

**TECHNISCHE, ÖKOLOGISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE
MACHBARKEITSSTUDIE**

**FALL 2: GEBÄUDE VON WENIGER ALS 1000 M² FÜR
VERSCHIEDENE NUTZUNGSZWECKE (MEHRFAMILIENHAUS
UND KRIPPE)**

Projekt: xxxxxxxxxxxx | Nr. der GEE-Akte: xxx-xxx-xxx | Ersteller: xxxxx



Das vorliegende Dokument wurde im Rahmen des öffentlichen Dienstleistungsauftrags „Stärkung von Machbarkeitsstudien im Rahmen der GEE“ ausgearbeitet.

Version Juli 2014

Auftraggeber



OPERATIVE GENERALDIREKTION
RAUMORDNUNG, WOHNUNGSWESEN, ERBE UND
ENERGIE
Place de la Rue 1, B-5100 Namur (Jambes). Tel.: 081 00 00 00 •
Fax : 081 00 00 00

Durchführung



écoorce Sprl
Rue Sohet 9b
B-4000 Lüttich

Projekt

Musterfallstudie – **Gebäude von weniger als 1000 m² für verschiedene Nutzungszwecke**

Adresse - 4000 Lüttich

Ersteller

Name

Adresse Zeile 1

Adresse Zeile 2

Architekt

Name

Adresse Zeile 1

Adresse Zeile 2

GEE-Verantwortlicher

Name

Adresse Zeile 1

Adresse Zeile 2

Autor der Machbarkeitsstudie

écorce Sprl

Rue Sohet 9b

B-4000 Lüttich



OPERATIVE GENERALDIREKTION

RAUMORDNUNG, WOHNUNGSWESEN, ERBE UND ENERGIE

Place de la Rue 1, B-5100 Namur (Jambes). Tel.: 081 00 00 00 • Fax : 081 00 00 00

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	5
Vorwort.....	6
Einführung und Methodologie.....	8
Zusammenfassung der Ergebnisse.....	9
Detaillierter Bericht	12
Technische Eigenschaften und Integration	25
Finanzieller Aspekt	27
Ergebnisse	29
Technische Eigenschaften und Integration	30
Energetische und ökologische Aspekte.....	30
Finanzieller Aspekt	31
Ergebnisse	31
Technische Eigenschaften und Integration	32
Energetische und ökologische Aspekte.....	32
Finanzieller Aspekt	33
Ergebnisse	33
Technische Eigenschaften und Integration	35
Finanzieller Aspekt	35
Ergebnisse	36
Technische Eigenschaften und Integration	38
Finanzieller Aspekt	38
Ergebnisse	38



VORWORT

Die Rechtsvorschriften zur Gebäudeenergieeffizienz (GEE) in Wallonien gehen auf die am 16. Dezember 2002 verabschiedete europäische Richtlinie 2002/91/EG zurück. Diese Richtlinie macht endgültig Schluss mit der sorglosen Energienutzung im Bauwesen und zielt darauf ab, den Verbrauch durch eine verbesserte Energieeffizienz zu verringern. Sie enthält die wichtigsten Leitlinien für die von den Mitgliedstaaten umzusetzenden Maßnahmen, die sich in erster Linie auf die Methode zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz, die Erstellung eines Energieausweises für Gebäude und die Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz beziehen. Die Richtlinie sieht ferner die Durchführung einer **technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Machbarkeitsstudie** für die Bewertung der Systeme zur Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern für neue Gebäude von mehr als 1000 m² vor. Die wallonische Regierung hat am 19. April 2007 das Rahmendekret zur Umsetzung dieser Richtlinie und am 17. April 2008 den Anwendungserlass zur Festlegung der Berechnungsmethode und der Anforderungen, Zulassungen und anzuwendenden Sanktionen in Bezug auf die Gesamtenergieeffizienz und das Innenraumklima von Gebäuden verabschiedet.

Nach der Richtlinie 2002/91/EG wurden noch zwei weitere europäische Richtlinien zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verabschiedet. Die europäische Richtlinie 2009/28/EG verpflichtet die Mitgliedstaaten, **erneuerbare Energieträger in neue Gebäude zu integrieren**. Die Richtlinie 2010/31/EU (RECAST) vom 19. Mai 2010 sieht ihrerseits vor, dass für alle Neubauten in den Mitgliedstaaten eine **Machbarkeitsstudie durchzuführen ist und zwar unabhängig von der Fläche**. Von dieser Verpflichtung waren zuvor nur Gebäude von mehr als 1000 m² betroffen. Die RECAST-Richtlinie wurde durch den Erlass der wallonischen Regierung vom 10. Mai 2012 teilweise in der wallonischen Region umgesetzt. Mit dem neuen wallonischen Dekret zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, das 2015 in Kraft treten soll, wird die Umsetzung abgeschlossen.

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, **effiziente alternative Energieerzeugungssysteme zu fördern oder auf erneuerbare Energieträger zurückzugreifen**. Planer von neuen Gebäuden können dadurch unter anderem dazu angeregt werden, deren ökologischen Fußabdruck durch Verwendung dieser Technologien zu verringern (Primärenergieverbrauch, CO₂-Emissionen). Das neue wallonische Dekret ermöglicht es über die entsprechenden Erlasse, die Anforderungen an den Inhalt der Machbarkeitsstudien zu verschärfen. Das Dekret sieht unter anderem vor, dass bei Gebäuden von weniger als 1000 m² der GEE-Verantwortliche die Machbarkeitsstudien durchführen kann. Zur Erleichterung der Arbeit des GEE-Verantwortlichen wird eine Software zur Untersuchung der verschiedenen in Frage kommenden erneuerbaren Energieträger für einfache Gebäude und zur Auswahl der am besten geeigneten Technologie zur Verfügung gestellt. Studien für Gebäude von mehr als 1000 m² werden nach wie vor von zugelassenen Experten für Machbarkeitsstudien durchgeführt.

Das vorliegende Dokument stellt einen beispielhaften Aufbau einer Machbarkeitsstudie mit den verschiedenen Abschnitten für ein Mustergebäude von weniger als 1000 m² mit verschiedenen Nutzungszwecken vor. Die vorgestellte Studie beruht auf einem fiktiven Gebäude, wird jedoch nicht mit der speziellen Software für Machbarkeitsstudien ausgeführt, da diese nur für einfache Fälle von weniger als 1000 m² (ein Nutzungszweck) vorgesehen ist. Als Hilfe für den Autor der Machbarkeitsstudie enthält die Studie Kommentare und Leitlinien. Der Autor kann dieses Beispiel nutzen, unbeschadet dessen ist er für den Inhalt der von ihm durchgeführten Studie verantwortlich. Die wallonische Region oder der Verfasser des vorliegenden Dokuments haften in keinem Fall für die fehlerhafte oder unsachgemäße Verwendung der in diesem Dokument beschriebenen Methode. Die Machbarkeitsstudie im Sinne der GEE-Vorschriften hat qualitativen Charakter (Relevanzstudie). Der Ansatz ist denn auch nicht darauf ausgerichtet, die Bemessungsberechnungen eines spezialisierten Planungsbüros zu ersetzen.

Es gibt nicht „die eine“ Methode zum Ermitteln der Lösung, die für den Bauherrn immer genau richtig ist. Aufgabe des Autors von Machbarkeitsstudien ist es einerseits, zweckdienliche Systeme auszuwählen und andererseits dem Bauherrn eine objektive Beratung bei der Auswahl einer passenden Lösung zu bieten, die dessen eigenen Erwartungen, Bedürfnissen und Erwägungen entspricht. Der Autor muss die Ergebnisse seiner Studie objektiv darlegen, damit der Bauherr eine Wahl treffen kann. Zwei verschiedene Bauherren bedeutet potenziell die Auswahl von zwei unterschiedlichen Systemen.



Das Dokument ist wie folgt aufgebaut:

Die braunen Kästen beschreiben den Inhalt, der in den verschiedenen Kapiteln zu behandeln ist.



Die grauen Kästen enthalten Kommentare und Informationen, die für den Autor bei der Durchführung seiner Studie nützlich sind.



EINFÜHRUNG UND METHODOLOGIE

In der Einführung stellt der Autor den rechtlichen Kontext, in dem die Studie durchgeführt wird, die Zielsetzung sowie die bei der Durchführung der Studie vorgesehenen Etappen in klaren, knappen Worten vor.

Die vorliegende Studie wird gemäß den Vorschriften des Dekrets vom 28. November 2013 zur Förderung der Gebäudeenergieeffizienz (GEE) und dessen Anwendungserlassen erstellt.

Wenn ein Antrag auf Städtebaugenehmigung die Errichtung eines neuen Gebäudes¹ zum Gegenstand hat, legt der GEE-Erklärungspflichtige seinem Genehmigungsantrag die technische, ökologische und wirtschaftliche Machbarkeitsstudie sowie die ursprüngliche GEE-Erklärung bei. Mit dieser Studie soll anhand von objektiven (technischen, finanziellen und ökologischen) Kriterien die Möglichkeit der Verwendung von Ersatzsystemen mit hoher Energieeffizienz geprüft werden.

Die Machbarkeit der folgenden Systeme zur alternativen Energieerzeugung wird in Betracht gezogen:

- Biomasse;
- Thermische Solarmodule;
- Fotovoltaische Solarmodule;
- Wärmepumpe;
- Fernwärmenetz;
- Kraft-Wärme-Kopplung.

Es werden verschiedene Szenarien der Nutzung dieser Systeme untersucht, um die am besten geeigneten Mittel zur Deckung des Bedarfs zu ermitteln und eine optimale technische, ökologische und wirtschaftliche Bilanz zu erzielen.

Im ersten Teil der Studie wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen geboten. Die Methodologie, die Hypothesen sowie die Einzelheiten der Berechnungen werden im zweiten Abschnitt des Berichts dargelegt.

Für jede Technologie werden die Aspekte der Integration in das Gebäude analysiert. Sodann werden die Parameter erörtert, die die Rentabilität beeinflussen, z. B. die Kosten und die Zuschüsse.



Der Autor der Studie muss mindestens die Möglichkeit prüfen, die unten genannten Technologien zu nutzen (mit Biomasse betriebene Wärmeerzeuger, thermische Solaranlagen, fotovoltaische Solaranlagen, Wärmepumpen, Fernwärmenetze). Der Autor kann außerdem weitere Energieerzeugungssysteme mit hoher Energieeffizienz ins Auge fassen, beispielsweise hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung, natürliche Kühlung usw.

¹ Und für damit gleichgestellte Gebäude.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Dieser Teil umfasst eine vereinfachte Darstellung der Studie. Die Hauptergebnisse und eine kurze Analyse dieser Ergebnisse werden auf einer Seite vorgestellt. Dieser Abschnitt muss „sich selbst genügen“ und allgemein verständlich sein.

Die Zusammenfassung erfolgt in Form von Diagrammen oder Tabellen zu den drei Hauptfragestellungen in Bezug auf die einzelnen Lösungen zur Nutzung erneuerbarer Energien, nämlich Umweltfreundlichkeit, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit.

In einer kurzen Schlussfolgerung wird die Auswahl der untersuchten Technologien begründet und dargelegt, weshalb der Autor der Studie die übrigen Haupttechnologien verworfen hat.

Bei dem untersuchten Projekt handelt es sich um ein neues Wohngebäude mit zwei Obergeschossen und Erdgeschoss in der Region Lüttich. Das Gebäude umfasst eine Krippe im Erdgeschoss und 8 auf zwei Etagen verteilte Mietwohnungen.

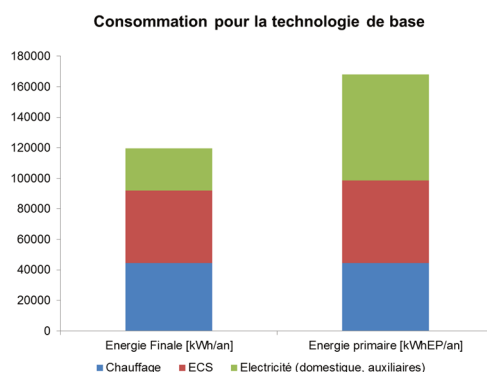
Die folgenden Technologien wurden in Betracht gezogen:

Technologie	Biomasse	Wärmepumpe	Fernwärmenetz	Thermische Solarenergie	Hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung	Fotovoltaische Solarenergie
Begründung	T1	T2	Nicht in der Nähe verfügbar	T3	T4	T5

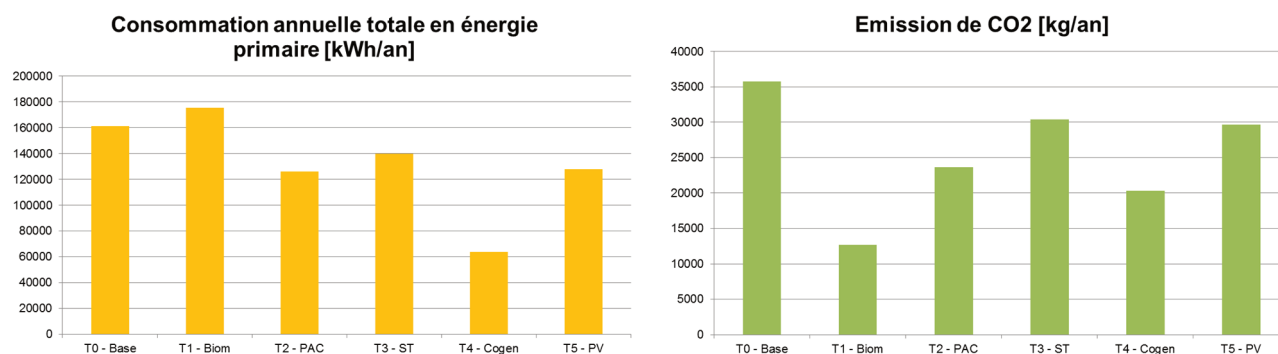
Die folgenden Technologien wurden für die Analyse in Betracht gezogen:

- **T0 – Herkömmliche Grundtechnik:** Gas-Brennwertkessel für Heizung und SWW-Bereitung
- **T1 - Biomasse:** Pellets-Heizkessel für Heizung und SWW-Bereitung
- **T2 - Sole/Wasser-Wärmepumpe:** Kombi-Erdwärmepumpe mit vertikalem Wärmetauscher für die Heizung und elektrische Widerstandsheizung für SWW-Bereitung
- **T3 - Gas-Brennwertkessel mit thermischen Solarmodulen**
- **T4 - Kraft-Wärme-Kopplung mit Gas-Brennwertkessel zum Nachheizen**
- **T5 - Gas-Brennwertkessel mit photovoltaischen Solarmodulen**

Der Endenergie- und Primärenergieverbrauch für den Grundfall T0 wird nachstehend veranschaulicht.

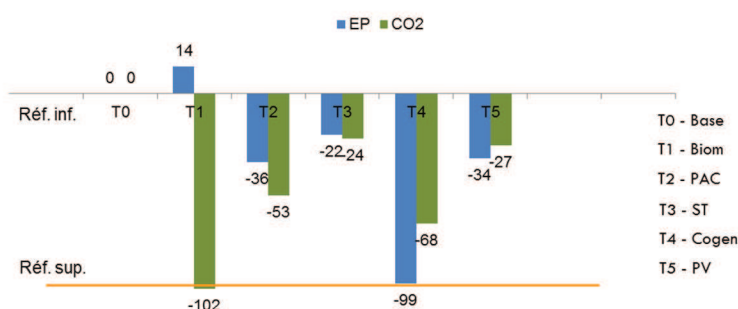


Für jedes betrachtete Szenario wurden der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für Heizung, Sanitärwarmwasser und Strom (Haushalt und Hilfsgeräte Pumpen und Ventilatoren) mit den Werten der herkömmlichen Technologie verglichen.



Technologie	CO ₂ -Einsparung [kg/Jahr]	PE-Einsparung [kWh/Jahr]	Dynamische Amortisationszeit [Jahr]
Biomasse	23.073	-14.225	13
Sole/Wasser-Wärmepumpe	12.082	35.175	24
Thermische Solarenergie	5.347	21.302	17
Kraft-Wärme-Kopplung	15.402	97.678	11
Fotovoltaische Solarenergie	6.108	33.488	14

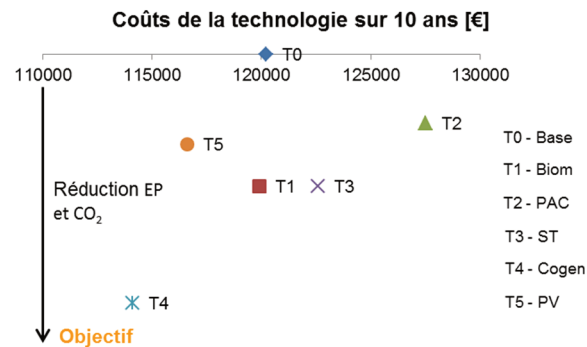
Die **Verringerung** des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen ist auf einer Werteskala zwischen dem unteren Referenzwert (Effizienz des Grundfalls T0) und dem Zielwert eines hoch energieeffizienten Gebäudes ($E_{spez} = 55 \text{ kWh/m}^2\text{Jahr}$) angegeben. Eine Verringerung des Primärenergieverbrauchs (PE) oder der CO₂-Emissionen um 100 % bedeutet, dass das Ziel erreicht ist.



Dieses Diagramm wird wie folgt analysiert:

- Im Fall **T1** (Pellets) sind die CO₂-Emissionen sehr gering, da die Wärme über eine Biomasseanlage erzeugt wird, der Primärenergieverbrauch ist jedoch im Vergleich zum Grundfall höher. Dafür gibt es zwei Gründe: der Umwandlungsfaktor in Primärenergie ist in den GEE-Vorschriften für Gas und Biomasse gleich und zudem weist der Biomasse-Heizkessel einen niedrigeren Wirkungsgrad als der Gas-Brennwertkessel auf.
- Die Technologien **T3** und **T5** führen zu ähnlichen Ergebnissen.
- Im Fall **T4** kann das Ziel in Bezug auf die Verringerung des Primärenergieverbrauchs erreicht werden.

Analysiert man nur die Kosten über 10 Jahre (Investition und Betriebskosten), ist die Kraft-Wärme-Kopplung die kostengünstigste Technologie und hat die geringsten Auswirkungen auf die Umwelt. Die Auswirkungen auf die Umwelt sind bei Biomasse, bei den gleichen Kosten wie bei der Referenztechnologie, geringer.



DETAILLIERTER BERICHT

In diesem Abschnitt werden die Methodologie, die Hypothesen und die Berechnungen, die zu den Ergebnissen der Studie geführt haben, detailliert dargelegt.

1. Zusammenfassende Tabelle der Hypothesen

In dieser Tabelle werden die unterschiedlichen Hypothesen und allgemeinen Daten dargestellt, die in der Studie verwendet werden. Die letztgenannten Daten stammen im Wesentlichen von der Portal-Website der wallonischen Region, wo die Hypothesen angegeben sind, auf die bei der Durchführung von Machbarkeitsstudien zurückzugreifen ist.



Die Daten in der Datenbank der wallonischen Region werden regelmäßig aktualisiert. Einige der Daten erweisen sich im Kontext der Studie jedoch als ungeeignet oder wenig realistisch. Dies trifft zum Beispiel auf einen gewerblichen Bauherren zu, der einen Vorzugsenergietarif ausgehandelt hat. Der Standardwert ist in diesem Fall ungeeignet und muss angepasst werden.

Wirtschaftliche Daten			
		Einheit	Wert
Preis der Brennstoffe	Gas	€ zzgl. MwSt./kWh oberer Heizwert	0,055
	Strom	€ zzgl. MwSt./kWh	0,17
	Pellets (einschließlich Lieferung, max. 30 km)	€ zzgl. MwSt./kWh oberer Heizwert	0,046
	Erhöhung des Energiepreises	%	3
Finanzielle Parameter	Abzinsungssatz	%	6,5
	Evaluierungszeitraum	Jahre	20
Zuschüsse ²	Im Einzelfall je nach den in Betracht gezogenen Technologien aufgeführt.		

² Die finanziellen Beihilfen schwanken stark von einem Jahr zum anderen, und was heute gilt, gilt vielleicht morgen schon nicht mehr. Man muss allerdings auf eine logische Kontinuität bei der Vergabe der Finanzhilfen hoffen, damit diese sich an den Markt anpassen, ohne sich zu Ungunsten einer bestimmten Technologie zu entwickeln. Man sollte also den angegebenen Zahlen mit Vorsicht begegnen und sie bei Bedarf aktualisieren.

Energetische Daten			
		Einheit	Wert
PE-Umwandlungsfaktor ³	Gas	kWh _{PE} /kWh _{Efin}	1
	Pellets	kWh _{PE} /kWh _{Efin}	1
	Strom	kWh _{PE} /kWh _{Efin}	2,5
Wirkungsgrade der Systeme	Im Einzelfall je nach den in Betracht gezogenen Technologien aufgeführt.		
Ökologische Daten			
		Einheit	Wert
CO ₂ -Umwandlungsfaktor ³	Gas	kg CO ₂ /kWh _{Efin}	0,251
	Strom	kg CO ₂ /kWh _{Efin}	0,456
	Pellets	kg CO ₂ /kWh _{Efin}	0



Zusätzlich zum Preis der ins Auge gefassten Brennstoffe kann man die wahrscheinliche Entwicklung der Preise der einzelnen Energieträger im Laufe der Zeit berücksichtigen [%/Jahr], wobei man sich auf die bisherige Entwicklung des Preises des jeweiligen Brennstoffs stützt.

Je nach der vom Autor zur Berechnung der finanziellen Indikatoren (Rentabilität, Amortisationszeit usw.) gewählten Berechnungsweise müssen die in der Methode verwendeten Hypothesen näher dargelegt werden: Laufzeit des Darlehens, Zinssatz, Abzinsungssatz, Abschreibungsdauer, Steuersatz usw.

Die verwendeten Umwandlungsfaktoren sind die gesetzlichen Faktoren, die in der GEE festgelegt sind. Es ist wichtig, den Endenergieverbrauch unter Verwendung derselben Regeln zu berechnen, die auch in der GEE verwendet werden, das heißt, die Wirkungsgrade müssen mit einem Multiplikationsfaktor umgewandelt werden, der dem Verhältnis von unterem Heizwert/oberem Heizwert (Anhang F des Erlasses) entspricht.

Die Umwandlungsfaktoren zur Ermittlung der CO₂-Einsparungen durch die untersuchten Lösungen stützen sich auf die gesetzlichen Werte, die von der Region festgelegt wurden.



Als erste Näherung sind die Wirkungsgrade von Abgabe, Regelung, Verteilung und Lagerung für die verschiedenen berücksichtigten Varianten identisch. Wenn allerdings die Technologie eine Änderung des Wirkungsgrades des Systems mit sich bringt (beispielsweise die Installation eines Wärmespeichers oder die Zentralisierung der Erzeugung an einem Standort, was zu langen Verteilungsstrecken führt), so muss dies Auswirkungen auf den globalen Wirkungsgrad haben. Dieser Wirkungsgrad wird dann je Technologie angegeben.

³ Es werden die Umwandlungsfaktoren angewendet, die von der wallonischen Region zum Zeitpunkt der Studie vorgeschlagen werden.

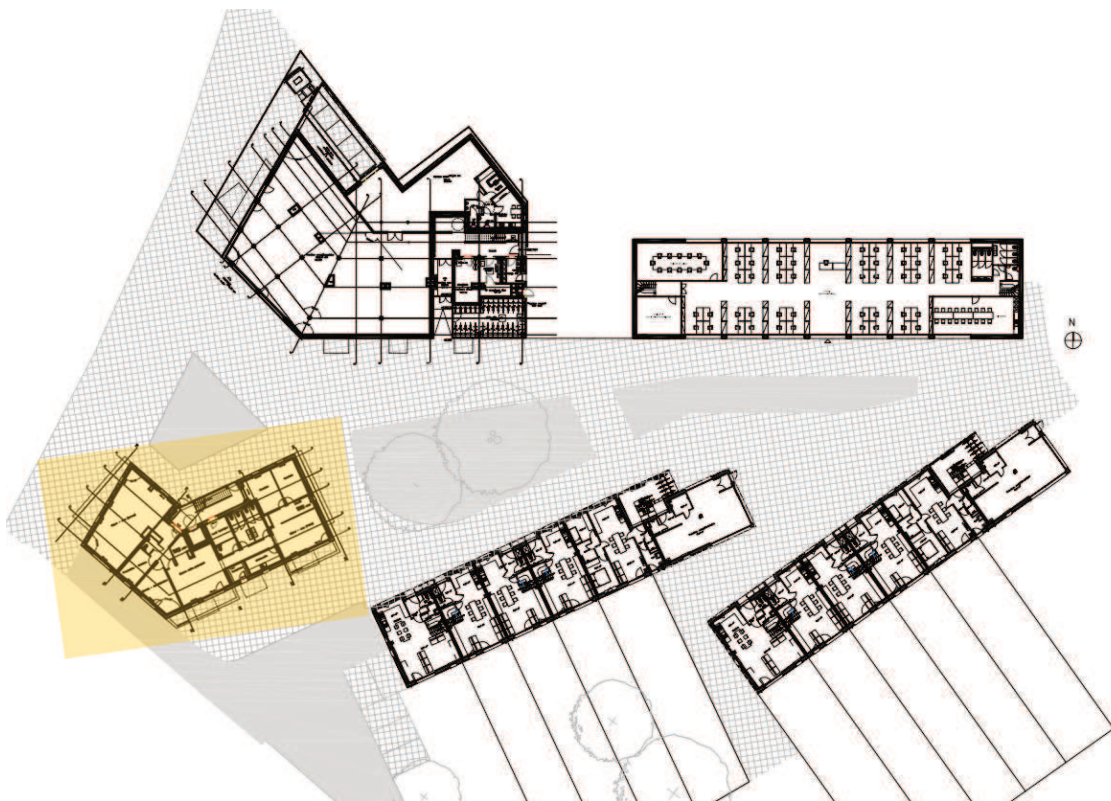
2. Beschreibung des Gebäudes

Der Autor der Studie beschreibt das untersuchte Gebäude, um den Gegenstand der Studie besser einordnen zu können.

Er gibt alle sachdienlichen Informationen an, beispielsweise die Anzahl der GEE-Einheiten und deren Zweckbestimmung, die Bauart, die Ausrichtung, die Nettofläche nach Verwendung oder Nutzung und sonstige Kennzahlen (Anzahl Betten, Bewohner, Schüler, Öffnungszeiten usw.). Die für die Durchführung der Studie verwendeten Pläne müssen angegeben werden.

Der Autor beschreibt außerdem die technischen Elemente, die die zu untersuchenden Systeme beeinflussen, beispielsweise das Vorhandensein von Gasanschlüssen, die Möglichkeit der Abfallverwertung (Holzschnitzel, Biogas usw.), die verfügbare Grundstücksfläche usw.

Bei dem untersuchten Projekt handelt es sich um ein neues Wohngebäude mit zwei Obergeschossen und Erdgeschoss in der Region Lüttich. Das Gebäude umfasst **1 Krippe** im Erdgeschoss und **8** auf zwei Etagen verteilte **Mietwohnungen**. Die Gesamtnutzfläche beträgt 822 m² und das Bruttovolumen 3.171 m³. Bei den für die Studie verwendeten Plänen handelt es sich um die im Anhang aufgeführten Pläne der Städtebaugenehmigung.



In jeder Wohnung ist ein Technikraum mit einer durchschnittlichen Fläche von 3 m² und einer Deckenhöhe von 3 m vorgesehen. Im Erdgeschoss steht ebenfalls ein Technikraum mit einer durchschnittlichen Fläche von 7 m² und einer Deckenhöhe von 3,7 m zur Verfügung. Das Gebäude verfügt über ein Untergeschoss mit Kellern für die Wohnungen und der Möglichkeit zur Unterbringung eines Technikraums.

Merkmale des Gebäudes	
Dachtyp	Flachdach
Dachfläche	336 m ²
Gasanschluss vorhanden?	ja
Freifläche	400
Merkmale der Wohnungen	
Anzahl der Wohnungen	8
Anzahl der Bewohner	22
Fläche der Wohnungen 1 und 5 A_{Heiz}	87 m ²
Fläche der Wohnungen 2 und 6 A_{Heiz}	61 m ²
Fläche der Wohnungen 3 und 7 A_{Heiz}	94 m ²
Fläche der Wohnungen 4 und 8 A_{Heiz}	90 m ²
Belüftung	Doppelter Luftstrom mit Wärmerückgewinnung
Merkmale der Krippe	
Nutzfläche [m ²]	241 m ²
Anzahl der Kinder	15
Nutzungsdauer	7.00 Uhr - 18.00 Uhr Montag-Freitag
Belüftung	Doppelter Luftstrom mit Wärmerückgewinnung

3. Energiebedarf des Gebäudes

Der Nettobedarf und die zu dessen Evaluierung verwendeten Berechnungsmethoden müssen präzise sein und auf nachvollziehbare Weise angegeben werden. Der Nettobedarf dient als gemeinsame Grundlage für die folgenden Berechnungen.

Der Bedarf wird in kWh/Jahr und in kWh/m²/Jahr angegeben. Die genutzte Fläche ist die Nutzfläche für die Tertiärräume und A_{Heiz} für die Wohnungen.

Der Autor stellt in jedem Fall seine Quellen und seine Ausgangshypothesen ganz klar dar.

Der Bedarf wird pro GEE-Einheit ermittelt. Falls zahlreiche ähnliche Einheiten vorhanden sind, kann der Bedarf für eine repräsentative GEE-Einheit desselben Typs in kWh/m²/Jahr ermittelt werden und daraus kann der Gesamtbedarf extrapoliert werden. Wenn das Gebäude mehrere Nutzungszwecke hat, wird der Bedarf für jeden Nutzungszweck speziell berechnet.

Da die Machbarkeitsstudie zum Zeitpunkt der ursprünglichen Erklärung durchgeführt wird, wird der

Energiebedarf für die Nutzungszwecke, für die Bedarfswerte verfügbar sind, vorzugsweise aus der GEE-Software ausgelesen. Im Falle einer Nutzung, für die der Bedarf nicht von der GEE-Software bereitgestellt wird, verweist der Autor auf die angewendete Methode. Für jeden Bedarf wird ein Nutzungsprofil angegeben. Falls der Autor kein präzises Profil angeben kann, reicht ein qualitatives Profil (Nutzungsdauer, Hauptbestandteile usw.).

Selbst wenn der Energiebedarf von der GEE-Software vorgegeben wird, bildet dieser nicht unbedingt die Realität ab. Der Autor der Studie kann versuchen, den tatsächlichen Bedarf möglichst genau darzustellen. Nehmen wir als Beispiel ein Gebäude, das die Installation einer großen Fläche von Fotovoltaikmodulen erlaubt. Die Rentabilität des Projekts hängt von dessen Stromeigenverbrauch ab.

Für Wohngebäude kann der Autor der Studie den **Strombedarf** ausgehend vom häuslichen Stromverbrauch berücksichtigen. Der Autor kann auch ein anderes Profil der Sanitärwarmwassernutzung in Betracht ziehen und den entsprechenden Wärmebedarf berechnen, falls die Geräte mehr oder weniger Wasser verbrauchen.

Bei Nichtwohngebäuden werden die Leuchten bei der ursprünglichen Erklärung nicht immer eingegeben. Der tatsächliche Stromverbrauch kann also beträchtlich unter dem von der GEE-Software berechneten Wert liegen. Außerdem berücksichtigt die GEE-Software den Verbrauch von Geräten (Bürotechnik, Maschinen usw.) nicht.

In bestimmten Fällen sind in den Vorprojekt-Studien dynamische thermische Simulationen vorgesehen. Der Wärme- und Kältebedarf kann dann genauer angegeben werden. Der Autor kann diese Werte verwenden und seine Wahl begründen.

Das Gebäude besteht aus 9 GEE-Einheiten (8 Einheiten des Typs „Wohnung“ und eine 9. Einheit des Typs „Krippe“). Die Dämmung beträgt K35 und der durchschnittliche U-Wert der Gebäudehülle beträgt 0,38 W/m²/K. Die Räume werden über eine Lüftungseinheit mit doppeltem Luftstrom und Wärmerückgewinnung belüftet (Wirkungsgrad EN308 von 75 %). Die Standardwerte der GEE-Software für die Trägheit werden beibehalten. Der Verluststrom wurde je nach Wärmeverlustfläche und einem Luftdichtheitsgrad n50=1,5 vol/h jedoch genauer berechnet.

Der **Nettoheizbedarf** wird mit der GEE-Software v5.0.5 berechnet und beläuft sich auf durchschnittlich **2.500 kWh/Jahr/Wohnung**. Für die Krippe wird dieser Bedarf mit der PHPP-Software v8.5 berechnet. Die bei der PHPP-Berechnung für die Krippe verwendeten inneren Wärmeeinträge wurden abhängig von der täglichen Nutzung der Räumlichkeiten berechnet und betragen 3,3 W/m². Die nachstehende Tabelle enthält den Nettoheizbedarf für jede Einheit.

Einheiten	Nettobedarf (kWh)
	Heizung
1	2.122
2	1.610
3	1.508
4	2.589
5	3.481
6	2.496
7	2.998

8	3.339
Krippe	13.030
Gesamtbedarf	33.173

Der **jährliche Nettobedarf an Sanitärwarmwasser** wird ausgehend von einem Tagesverbrauch von 60 l mit einer Temperatur von 45 °C pro Person für die Wohnungen und von 30 l/Kind/Tag mit einer Temperatur von 60 °C für die Krippe berechnet.

Der **Kühlungsbedarf** wird in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Für die Krippe beträgt die Überhitzungshäufigkeit laut PHPP-Software 2,5 % Stunden über 25 °C, wobei ungünstige innere Wärmeeinträge berücksichtigt werden (6,5 W/m², dies entspricht den Wärmeeinträgen von Personen und Geräten).

Der **Stromverbrauch** ist im Wesentlichen auf Hilfsgeräte (Pumpen und Belüftung), die Beleuchtung und den Stromverbrauch von elektrischen Haushaltsgeräten zurückzuführen. Der Verbrauch der Hilfsgeräte wird den GEE- und PHPP-Berechnungen entnommen. Der Verbrauch durch die Beleuchtung entspricht 46,11 kWh/Jahr/Person, unter der Annahme, dass zu 90 % Energiesparlampen verwendet werden. Der Verbrauch der elektrischen Haushaltsgeräte wird gemäß den folgenden Hypothesen geschätzt:

- 1 Waschmaschine mit **2 kWh pro Waschgang**
- 1 Trockner mit **6,53 kWh pro Trocknungsvorgang**
- 1 Geschirrspülmaschine mit **2,45 kWh pro Spülvorgang**
- Der Verbrauch sonstiger Geräte wird nicht berücksichtigt

Stromverbrauch (kWh/Jahr)	Einheit 1	Einheit 2	Einheit 3	Einheit 4	Einheit 5	Einheit 6	Einheit 7	Einheit 8
Beleuchtung	139	93	139	139	139	93	139	139
Hilfsgeräte (Pumpen und Belüftung)	762	541	841	806	762	541	841	806
Elektrische Haushaltsgeräte	1.750	1.100	1.750	1.750	1.750	1.100	1.750	1.750
Gesamtverbrauch h/Einheit	2.651	1.734	2.730	2.695	2.651	1.734	2.730	2.695
Gesamtverbrauch h	19.620							

Im Fall der Krippe wird der gesamte Stromverbrauch der PHPP-Berechnung entnommen:

Stromverbrauch [kWh/Jahr]	Krippe
Beleuchtung	4.631
Hilfsgeräte (Pumpen und Belüftung)	1.501
Elektrische Haushaltsgeräte	981
Gesamtverbrauch	7.113

Der Verbrauch des Aufzugs wird auf 500 kWh/Jahr geschätzt und der Verbrauch der Beleuchtung für die gemeinsamen Flächen auf 540 kWh/Jahr, um eine Beleuchtung von 100 Lux sicherzustellen.

Gesamtstromverbrauch [kWh/Jahr]	
Wohnungen	19.620
Krippe	7.113
Gemeinsam genutzte Flächen	1.040
Gesamtverbrauch	27.773

Der **Nettobedarf** ist in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 1	Heizung	2.122	24	GEE
	Sanitärwarmwasser	2.674	31	Eigene Berechnung
	Strom	2.651	30	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 2	Heizung	1.610	26	GEE
	Sanitärwarmwasser	1.783	29	Eigene Berechnung
	Strom	1.734	28	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 3	Heizung	1.508	16	GEE
	Sanitärwarmwasser	2.674	28	Eigene Berechnung

	Strom	2.730	29	Eigene Berechnung
--	--------------	-------	----	-------------------

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 4	Heizung	2.589	29	GEE
	Sanitärwarmwasser	2.674	30	Eigene Berechnung
	Strom	2.695	30	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 5	Heizung	3.481	40	GEE
	Sanitärwarmwasser	2.674	31	Eigene Berechnung
	Strom	2.651	30	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 6	Heizung	2.496	41	GEE
	Sanitärwarmwasser	1.783	29	Eigene Berechnung
	Strom	1.734	28	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GE E-Ein	Heizung	2.998	32	GEE

	Sanitärwarmwasser	2.674	28	Eigene Berechnung
	Strom	2.730	29	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 8	Heizung	3.339	37	GEE
	Sanitärwarmwasser	2.674	30	Eigene Berechnung
	Strom	2.695	30	Eigene Berechnung

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr/m²]	Quelle
GEE-Einheit 9 (Krippe)	Heizung	13.030	54	PHPP
	Sanitärwarmwasser	9.552	40	Eigene Berechnung
	Strom	7.113	30	PHPP

Der Strombedarf für die gemeinsam genutzten Flächen beträgt 1.040 kWh/Jahr.



Für bestimmte Nutzungszwecke kann der Energiebedarf nicht mit der GEE-Software berechnet werden (z. B. Krippe, Laden, Altersheim, Sporthalle usw.). Der Autor muss demnach eine Methode verwenden, mit der der zusätzliche Heiz- und Energiebedarf berechnet werden kann (z. B. die PHPP-Software).

4. Referenztechnologie

Um den Nutzen von auf erneuerbaren Energien basierenden Lösungen zu bewerten, vergleicht der Autor diese mit einer geplanten Technologie, in der Regel mit einem Gas- oder Ölheizkessel für Heizung und Brauchwarmwasser ohne Erzeugung von Strom durch eine Fotovoltaikanlage oder Kraft-Wärme-Kopplung. Die Auswahl muss durch die Verfügbarkeit der Energieträger begründet sein. Falls eine mechanische Kälteerzeugung vorgesehen ist, wird eine Kältemaschine in Betracht gezogen.

Als Bezugspunkt für den Vergleich der verschiedenen alternativen Technologien definieren wir einen Grundfall, der einer herkömmlichen und wenig kostspieligen Anlage entspricht. Für dieses Projekt steht ein Gasanschluss vor Ort zur Verfügung. Bei der gewählten Technologie handelt es sich um einen zentralen Erdgas-Brennwertkessel mit angeschlossenen Heizkörpern. Der Brennwertkessel ist nach wie vor eine sehr wettbewerbsfähige Lösung und eine sehr ausgereifte Technologie. In Verbindung mit einem leistungsstarken Regler kann ein modulierender Brennwertkessel eine äußerst energieeffiziente Technologie für die Wärmeerzeugung sein. Der Brennwertkessel wird auch für die Warmwasserbereitung verwendet. Das Sanitärwarmwasser wird über eine Zirkulationsleitung an die einzelnen Einheiten verteilt.

Im Grundfall wird kein Strom erzeugt.



Die als Referenz gewählte Technologie muss realistisch sein. Es wäre beispielsweise nicht realistisch, einen Gas-Brennwertkessel vorzuschlagen, wenn der Standort nicht durch ein Erdgasnetz versorgt wird.

Im vorliegenden Fall kann auch die Zentralisierung/Dezentralisierung der Wärmeerzeugung untersucht werden. Da die Wohnungen zur Vermietung vorgesehen sind, will der Bauherr die Technik aus Instandhaltungsgründen nicht dezentralisieren.

Für die Untersuchung bestimmter erneuerbarer Technologien (Biomasse, Kraft-Wärme-Kopplung, thermische Solaranlage usw.) ist im Allgemeinen eine zentrale Erzeugung notwendig.

4.1. Technische Eigenschaften und Integration

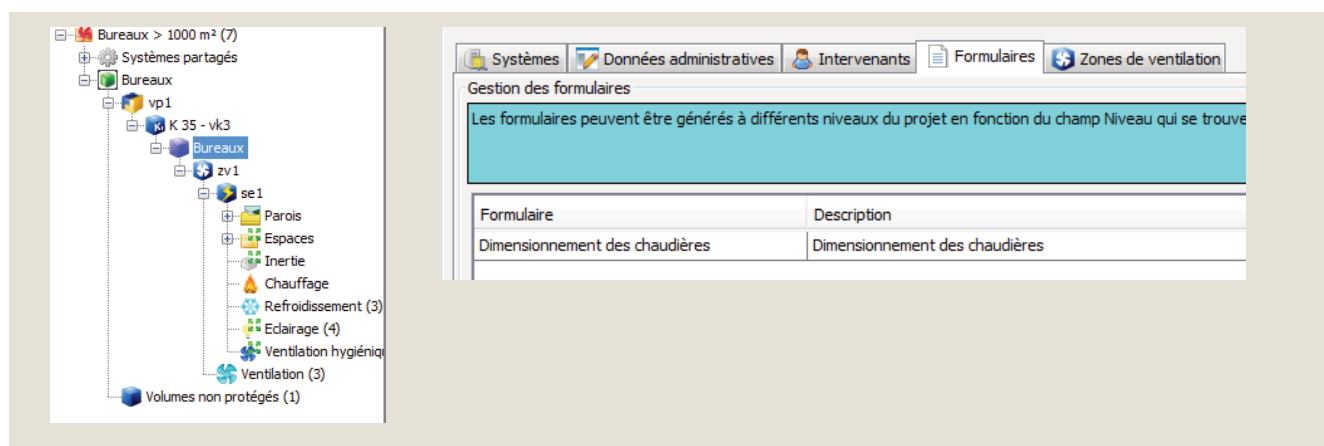
In der Datenbank, die von der Region zur Verfügung gestellt wird, stehen Standardwerte für die saisonalen Wirkungsgrade. Der Autor kann auch die Werte der GEE oder einer anderen Methode (z. B. PACE) verwenden. Es sollten jedoch keine zu konservativen Wirkungsgrade verwendet werden, um keine Technologie auszuschließen.

Im Keller ist genügend Platz zum Aufstellen eines zentralen Heizkessels mit Warmwasserspeicher (500 l).

Leistung		
Heizung	50 kW	GEE + eigene Berechnung



Die von der GEE-Software berechnete Heizleistung entspricht nicht der gemäß NBN B 62-003 (1986) oder NBN EN 12831 (2003) genormten Bemessung. Als erster Näherungswert kann aber der im Bemessungsformular für Heizkessel angegebene Wert verwendet werden. Bei der GEE-Software wird die geschätzte Leistung des Heizkessels im Bemessungsformular für Heizkessel bereitgestellt (über die unten dargestellten Reiter).



4.2. Energetische und ökologische Aspekte

In der Datenbank, die von der Region zur Verfügung gestellt wird, stehen Standardwerte für die saisonalen Wirkungsgrade.

Ein guter Heizkessel mit richtiger Regelung kann hohe Wirkungsgrade erzielen und damit den Endverbrauch verringern. Die Effizienz der Zirkulationsleitung ist dagegen nicht so hoch, da sie ständig warmes Wasser führt und sich daher hohe Verluste ergeben.

Die bei den Energieumwandlungsprozessen verwendeten Wirkungsgrade entsprechen Standardwerten aus der GEE-Methode, mit Ausnahme der Zirkulationsleitung, bei der der geschätzte durchschnittliche Verlust pro Leitungsmeter bei der Ermittlung des Wirkungsgrads berücksichtigt wurde.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Brennwertkessel	Wirkungsgrad (oberer Heizwert)	88 %
Verteilung und Lagerung		
Heizung (ohne Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	95 %
SWW (mit Zirkulationsleitung und Speicher)	Wirkungsgrad	70 %
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %

4.3. Finanzieller Aspekt

Die Investitionskosten für jede Lösung werden geschätzt und es wird angegeben, was diese Kosten beinhalten. Die Investition für die Einrichtungen, die zur Referenztechnologie gehören (z. B. die Heizkörper), müssen nicht berücksichtigt werden. Es steht dem Autor jedoch frei, in seiner Studie die Gesamtkosten für jede Technologie zu erwähnen.

Es werden nicht die Kosten für sämtliche Arbeiten im Zusammenhang mit den einzelnen Technologien angegeben, da bestimmte Investitionen in allen Fällen notwendig sind. So ist beispielsweise bei allen in Betracht gezogenen Heizungssystemen die Installation von Heizkörpern und Reglern erforderlich. Für die

Grundlösung entsprechen die berücksichtigten Investitionskosten in der Regel den Installationskosten des Wärmeerzeugers.

Wir stützen uns hier auf die folgenden Zahlen einschließlich MwSt.:

Heizung und Brauchwarmwasser		
	Betrag	Betreff
Investition (ohne MwSt.)	7.300,00 €	Gas-Brennwertkessel mit Kamin und SWW-Speicher
Jährliche Wartungskosten (ohne MwSt.)	109,50 €	Wartung des Heizkessels - 1,5 % der Investitionskosten
Subventionen	-	-



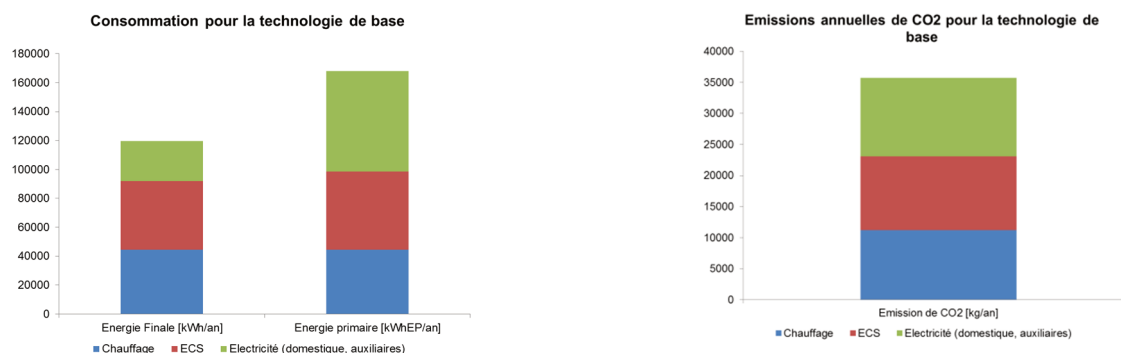
Die COZEB-Studie⁴ liefert Zahlen zu den Wartungs- und Betriebskosten zahlreicher Systeme in % der Investitionskosten.

4.4. Ergebnisse

Nun können der **Primärenergieverbrauch** und die entsprechenden **CO₂-Gesamtemissionen** ermittelt werden.

Ergebnisse PE und CO ₂	
PE [kWh/Jahr]	161.356
CO ₂ [kg/Jahr]	35.740

Der Primärenergieverbrauch wird gemäß den Verhältnissen aufgeteilt, die auf der nachstehenden Grafik veranschaulicht werden. Die jährlichen CO₂-Gesamtemissionen werden in etwa auf dieselbe Weise aufgeteilt.



⁴ Studie CO-ZEB, „Optimalkosten“, 2013, Ergebnis der Studie zur Bestimmung des optimalen Energieeffizienzniveaus im Verhältnis zu den Kosten gemäß der Richtlinie 2010/31/EU. <http://energie.wallonie.be/fr/etude-co-zeb-cout-optimum.html?IDC=8012>

5. Alternative Technologien

5.1. Analyse der Verfügbarkeit der Varianten

Wenn eine der vorgeschriebenen Technologien sofort verworfen wird, kann dies nur aufgrund von eindeutigen und präzisen technischen Argumenten erfolgen (eindeutig unangemessener Energiebedarf oder ungeeignetes Profil; technische Unmöglichkeit der Umsetzung). Unzureichend begründete *A-priori*-Annahmen werden nicht akzeptiert. Besondere Aufmerksamkeit wird der Frage gewidmet, ob die Techniken mit dem Profil der Anforderungen übereinstimmen.

Die Relevanz der folgenden Lösungen muss zumindest untersucht werden:

- Biomasse;
- Thermische Solarmodule;
- Fotovoltaische Solarmodule;
- Wärmepumpe;
- Fernwärmenetz.

Der Autor kann natürlich die Installation von Technologien in Betracht ziehen, die nicht in der obligatorischen Mindestliste der GEE-Vorschriften vorgesehen sind.

Die alternativen Technologien, für die eine mit Zahlen belegte Studie nicht begründet ist, werden aufgrund der in der nachstehenden Tabelle angeführten technischen Argumente verworfen.

Die Varianten werden unabhängig voneinander und je nach Nutzung, d. h. Heizung, SWW, Kühlung und Stromerzeugung, analysiert. Sodann wählen wir die relevantesten Fälle aus, um Kombinationen von Varianten zu prüfen.

	Varianten	Relevante Technologie ?	Technische Begründung
Heizung	Biomasse	Ja	Möglichkeit der Lagerung des Brennstoffes, ausreichende Kellerfläche, lokale Brennstoff-Versorgungsquelle
	Wärmepumpe	Ja	Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe wird nicht in Betracht gezogen, da keine Außeneinheiten auf dem Dach oder dem Grundstück integriert werden können. Eine Sole/Wasser-Wärmepumpe kann in Betracht gezogen werden, da die Installation eines Erdkollektors möglich ist.
	Fernwärmenetz	Nein	Kein städtisches Fernwärmenetz in der Nähe

	Kraft-Wärme-Kopplung	Ja	Denkbare Technologie zur Deckung des BWW-Bedarfs.
SWW	Thermische Solarmodule	Ja	Installation thermischer Solarmodule denkbar zur Deckung des SWW-Bedarfs.
	Wärmepumpe	Ja	Ausreichender SWW-Bedarf für die Nutzung einer Wärmepumpe. Wir planen eine Kombi-Wärmepumpe „Heizung/SWW“.
Kühlung	Kein Kühlungsbedarf		
Strom	Fotovoltaische Solarmodule	Ja	Flachdachfläche ohne Schatten

5.2. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - Heizung + SWW

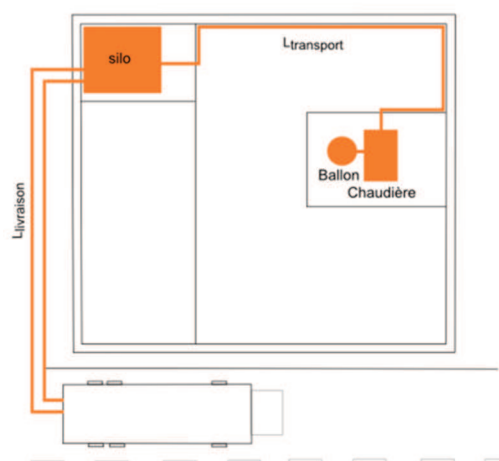
5.2.1. Biomasse

Technische Eigenschaften und Integration

Analyse der technisch kohärenten Integration der Technologien in das Projekt. Falls in dieser Phase eine größere Unvereinbarkeit festgestellt wird, die nicht in der Relevanzanalyse festgestellt wurde, muss die Machbarkeitsstudie zu der Technologie nicht fortgesetzt werden, wobei der Ausschluss dieser Technologie argumentativ zu begründen ist.

Die **Lagerung** und die **Beförderung der Brennstoffe** stellen die größte Schwierigkeit dar. Bei Holz wird das Problem dadurch verschärft, dass es einen dreimal größeren Lagerraum als Heizöl benötigt (bei gleicher Energiemenge).

Es muss daher der erforderliche Raum in der Nähe des Heizkessels sowie ein Weg für das Befüllen des Lagerbehälters (Silo oder Vorratsraum) durch einen Pumpwagen vorgesehen werden (siehe nachstehende Schemata). Der Anschluss des Lagerraums darf höchstens 30 m von der Haltestelle des Pumpwagens entfernt sein. Außerdem sollte sich der Lagerraum vorzugsweise in unmittelbarer Nähe zu einer Außenwand befinden; andernfalls muss ein Einfüllrohr vorgesehen werden.



Der vorzusehende Lagerraum hängt vom Bedarf des Gebäudes und von der gewünschten Befüllungshäufigkeit ab.

Ein Pellets-Heizkessel ist modulierend, aber **wenig reaktiv**. Um dem zu begegnen, können zwei Möglichkeiten ins Auge gefasst werden: entweder wird ein reaktiveres System zur Wärmeerzeugung parallel hinzugeschaltet (in der Regel ein Gas- oder Heizölkessel), oder es wird ein großzügig dimensionierter Pufferspeicher an das System angeschlossen.

Der Heizkessel muss mit Verbrennungsluft versorgt werden. Er muss daher in einem **belüfteten Raum** untergebracht werden. Bei geringerem Leistungsbedarf kann der Kesselraum in einen luftdichten Raum gestellt werden. In diesem Fall muss ein Heizkesselmodell gewählt werden, das eine Luftzufuhrleitung verwendet, die den Betrieb unabhängig von dem Raum, in dem der Heizkessel steht, gewährleistet.

Wenn der gesamte Wärmebedarf für das untersuchte Projekt mit Pellets gedeckt wird, beläuft sich der Verbrauch des Gebäudes auf rund **35 m³** Pellets pro Jahr. Auf der Grundlage von **2 Befüllungen pro Jahr** ist von einem Volumen von **17 m³** auszugehen.

Bemessung des Lagerraums	
Daten	
Verbrauch [kWh/Jahr]	106.148
Dichte [kg/m ³]	650
Oberer Heizwert [kWh/kg]	4,7
Oberer Heizwert [kWh/m ³]	3.051
Ergebnisse (erforderliches Volumen [m ³])	
Bei 1 Befüllung/Jahr	34,8
Bei 2 Befüllungen/Jahr	17,4
Bei 3 Befüllungen/Jahr	11,6

Technische Merkmale	
Pellets-Heizkessel	50 kW

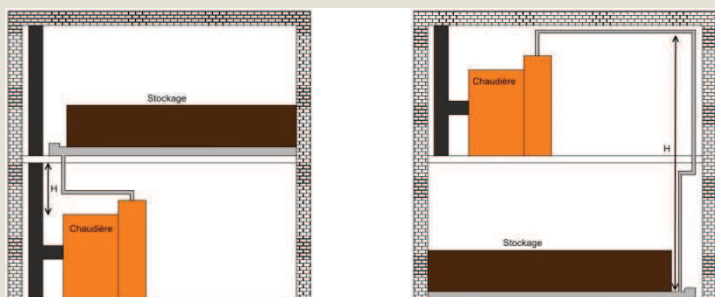
Puffervolumen	1.250 Liter
Lagervolumen für Granulate [m³]	17,4 m ³ / 2 Befüllungen

In dem Keller mit einer Fläche von 262 m² und einer Deckenhöhe von 2,4 m sind die Installation eines Heizkessels und eventuell sogar die Lagerung der Pellets in einem Silo oder Vorratsraum möglich. Es muss auch geprüft werden, ob der Zugang zu diesem Raum eine Anlieferung des Materials ermöglicht und ob der Raum richtig belüftet ist.



Der Lagerraum kann sich über oder unter dem Heizkessel befinden. In diesem Fall muss ein Absatz (horizontale Entfernung von 1 m) nach einer Höhe von 3 m vorgesehen werden. Die maximale Gesamthöhe mit Absatz beträgt 5 m.

Es gibt auch Lösungen zur Lagerung im Freien (unter einer Überdachung) oder im Boden.



Für das untersuchte Projekt werden nur die CO₂-Emissionen in Betracht gezogen. Sonstige Emissionen werden nicht erfasst. In Bezug auf den Heizkessel und das Heizsystem (einschließlich der Verteilung und Speicherung (Pufferspeicher), Abgabe und Regelung) werden die folgenden Wirkungsgrade untersucht.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Pellets-Heizkessel	Wirkungsgrad bezogen auf oberen Heizwert	77 %
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	92 %
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %

Finanzieller Aspekt

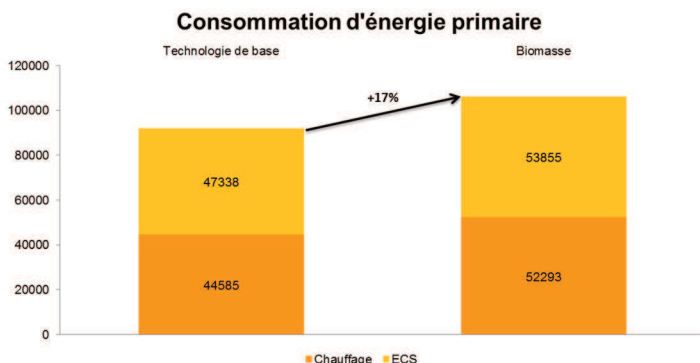
Die Investitionskosten für die einzelne Lösung werden bestimmt und es wird angegeben, was diese Kosten beinhalten. Die Investitionen für die Einrichtungen, die zur Referenztechnologie gehören (z. B. die Heizkörper), müssen nicht berücksichtigt werden. Es steht dem Autor jedoch frei, in seiner Studie die Gesamtkosten für jede Technologie zu erwähnen.

In dieser Studie gehen wir von folgenden Investitionen aus. Zur Erinnerung: Es werden nur die Mehrkosten angegeben, die durch das für die Technologie benötigte zusätzliche Material entstehen.

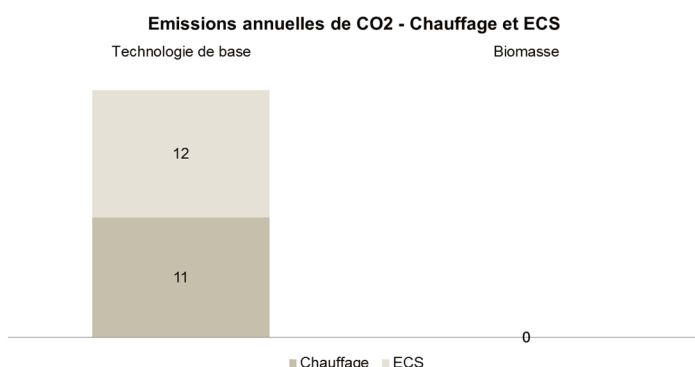


Heizung		
	Betrag	Betreff
Investitionen (ohne MwSt.)	17.500,00 €	Pellets-Heizkessel, Pufferspeicher, Silo
Jährliche Wartungskosten (ohne MwSt.)	350,00 €	Wartung des Heizkessels - 2 % der Investitionskosten
Subventionen: Biomasse-Heizvorrichtung mit automatischer Beschickung	1.750,00 €	Quelle: Portal-Website der wallonischen Region

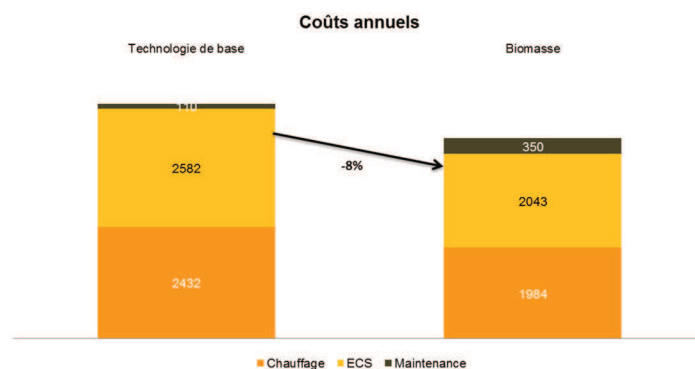
Ergebnisse



Da der Umwandlungsfaktor für beide Energieträger gleich ist und der Gesamtwirkungsgrad der Pellets-Anlage schlechter ist, verbraucht die Biomasseanlage 17 % mehr Primärenergie für Heizung und SWW wie der Gas-Brennwertkessel.

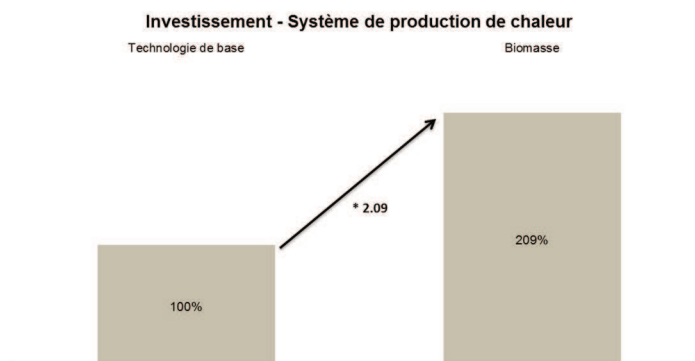


Die Verbrennung von Biomasse wird als CO₂-neutral angesehen. Es wird eine lokale und nachhaltig erzeugte Biomasse in Betracht gezogen. Sonstige Schadstoffemissionen werden nicht erfasst.



Die Wartungskosten für die Pellets-Anlage sind höher, die Brennstoffkosten sind jedoch niedriger.

Die Pellets-Anlage weist einen niedrigeren Wirkungsgrad auf, da die Brennstoffkosten jedoch ebenfalls geringer sind, sind die Jahresbetriebskosten für die Biomasseanlage nach wie vor niedriger.



Die Mehrkosten eines Pellets-Systems sind hoch. Geht man davon aus, dass das dem Heizkessel nachgelagerte System das gleiche ist wie im Grundfall (gleiche Heizkörper und gleiches Netz), ist das Erzeugungssystem doppelt so teuer.

Die Mehrkosten des Systems werden niemals ausgeglichen.

5.2.2. Sole/Wasser-Wärmepumpe

Technische Eigenschaften und Integration

Ein vertikaler Wärmetauscher reicht bis in eine Tiefe von 50 bis 150 m. Die Vorteile einer vertikalen Erdwärmesonde sind eine stabilere Temperatur (höhere jährliche Leistungszahl) und hohe entnommene Leistungen von 50 W/m unter normalen hydrogeologischen Bedingungen und bis zu 70 W/m unter sehr günstigen Bedingungen. Für die Anlage sind Bohrungsarbeiten (von Fachleuten untersucht und ausgeführt) und eine Genehmigung erforderlich. In unserem Fall, d. h. auf der Grundlage einer vollständig durch die Sole/Wasser-Wärmepumpe gedeckten Leistung, einer durchschnittlich dem Boden entnommenen Leistung von 50 W/m und einer Betriebszeit von 2000 Stunden, müssen 8 Sonden mit einer Länge von 100 m installiert werden.

Um einen einwandfreien Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten, wird die Nutzung eines Primärwasser-Pufferspeichers nachhaltig empfohlen. Seine Kapazität wird je nach der Betriebsdauer festgelegt. Das Speichervolumen beträgt etwa 1250 Liter.

Man geht davon aus, dass die Wärmepumpe 100 % des Heizbedarfs und 95 % des SWW-Bedarfs deckt. Für die zusätzliche Warmwasserbereitung ist ein elektrischer Widerstand vorgesehen.



Die Wärme wird dem Boden mittels eines erdverlegten horizontalen Kollektors oder vertikalen Sonden entnommen. Sie wird vom Boden an den Solekreislauf abgegeben, der sie anschließend an das Arbeitsmedium in der Wärmepumpe, das Kältemittel, abgibt.

Die Leistungen, die dem Boden entnommen werden können, hängen von der Bodenart ab. Eine Kartographie der Bodenart in der wallonischen Region ist unter folgender Adresse erhältlich: <http://cartopro3.wallonie.be/CIGALE/viewer.htm>. Die jeweils entnommenen Leistungen betragen:

- Trockener Sandboden 10 – 15
- Feuchter Sandboden 15 – 20
- Trockener Lehmboden 20 – 25
- Feuchter Lehmboden 25 – 30
- Grundwasser im Untergrund 30 – 35

In einer ersten Näherung kann ein trockener Lehmboden in Betracht gezogen werden.

Daraus ergibt sich je nach Kühlleistung der Wärmepumpe eine Bodenfläche für den Erdkollektor.

Energetische und ökologische Aspekte

Bei Verwendung von Kältemitteln, bei denen es sich um starke Treibhausgase handelt, kann es zu Lecks kommen. Dieser Aspekt wird in der Studie nicht berücksichtigt.

Es ist schwierig, die Energiebilanz genau zu bewerten, da sie von der saisonalen Leistungszahl abhängt, die wiederum von einer ganzen Reihe von Faktoren wie dem Typ der Wärmepumpe, der verwendeten Zusatzheizung, der Bodenart, dem Klima, der Nutzung der Wärme usw. abhängt. Nur durch eine dynamische Untersuchung ließe sich der Gesamtverbrauch des Systems genau bewerten und gleichzeitig auch die ökologischen Vorteile und die Rentabilität des Projekts. In dieser Phase des Projekts ist es daher angebracht, allgemeine und repräsentative Hypothesen aufzustellen.



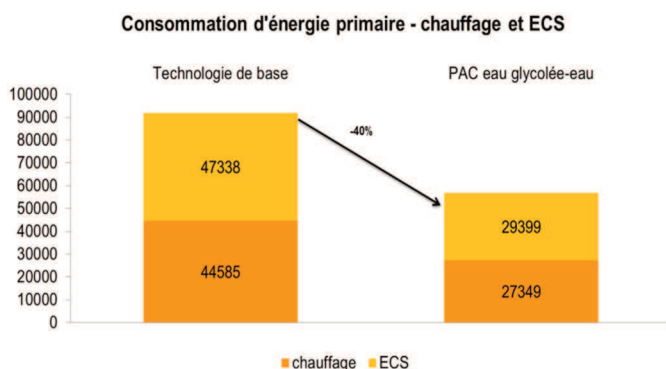
Für das untersuchte Projekt beträgt der für die Wärmeerzeugung berücksichtigte saisonale jährliche Leistungsfaktor 4. Außerdem nehmen wir an, dass das installierte Abgabesystem mit einer Niedrigtemperaturverteilung kompatibel ist.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Sole/Wasser-Wärmepumpe	SCOP	4
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	92 %
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %

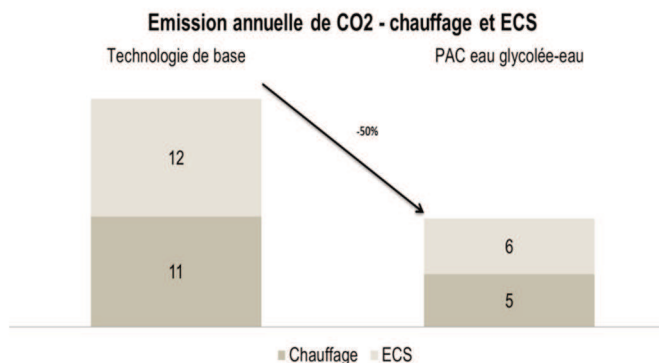
Finanzieller Aspekt

Heizung und Sanitärwarmwasser		
	Betrag	Betreff
Investitionen (ohne MwSt.)	40.000,00 €	Wärmepumpe, Sonden, Pufferspeicher
Jährliche Instandhaltungskosten der Heizung (ohne MwSt.)	800,00 €	2 % der Investitionskosten
Subventionen	-	-

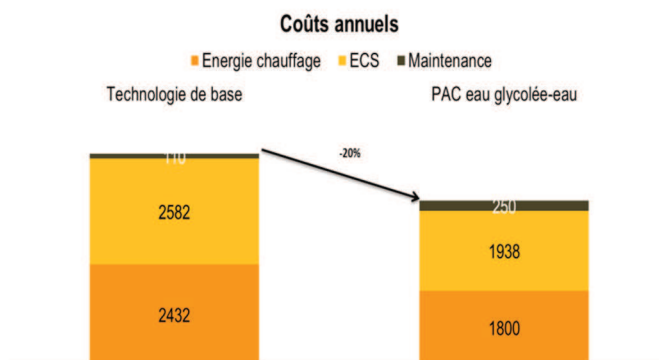
Ergebnisse



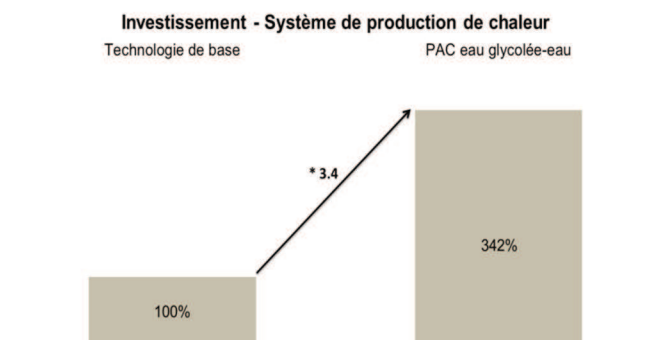
Der Primärenergieverbrauch ist bei der Wärmepumpe um 40 % niedriger, wenn man sowohl Heizung als auch SWW berücksichtigt.



Die CO₂-Emissionen werden um 50 % verringert.



Berücksichtigt man die Energie- und Wartungskosten des Systems, sind die jährlichen Kosten um 20 % niedriger.



Die Investitionen sind um das Dreifache höher als bei dem Grundsystem. Das System kann nicht in 20 Jahren amortisiert werden (Evaluierungszeitraum für Wohngebäude). Die Amortisationszeit beträgt über 35 Jahre.

5.3. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - dezentrales SWW-System

5.3.1. Thermische Solarmodule

Technische Eigenschaften und Integration

Die flache, nicht beschattete Dachfläche ist für die Aufstellung der Solarthermie-Kollektoren völlig ausreichend. Es wird eine Anlage von 40 m² Flachkollektoren mit einem Neigungswinkel von 35 ° auf einer unabhängigen Tragestruktur vorgesehen, die über 45 % des Bruttobedarfs an Brauchwarmwasser decken soll. Die Solarkollektoren werden mit einem im Keller untergebrachten Pufferspeicher zu 900 Litern verbunden. Die zusätzliche Wärmeerzeugung erfolgt über den Gasheizkessel.

Energetische und ökologische Aspekte

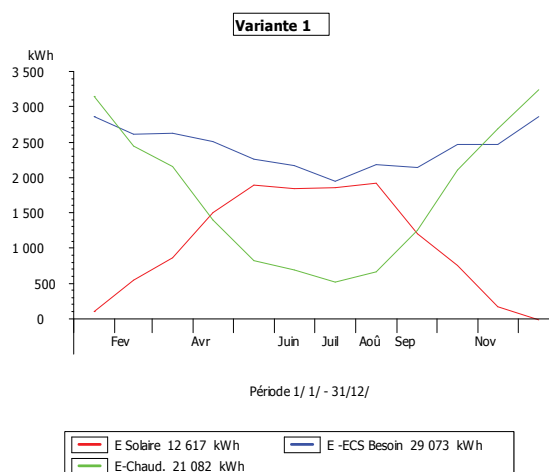


Finanzieller Aspekt

Thermische Solarmodule		
	Betrag	Betreff
Investition (ohne MwSt.)	31.000,00 €	Thermische Solarmodule und Speicher
Jährliche Wartungskosten (ohne MwSt.)	- €	Keine spezifische Wartung
Subventionen:		
Soltherm	14.700,00 €	Portal-Website der wallonischen Region
Prämie der Stadt Lüttich	650,00 €	Website der Stadt Lüttich

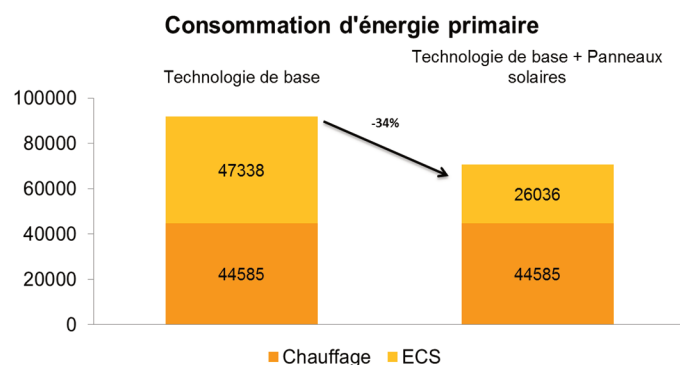
Ergebnisse

Mit einer nach dem TSol-Tool festgelegten 45 %-igen Deckung des SWW-Bedarfs bietet dieses System einen solarthermischen Beitrag von 13.122 kWh/Jahr.

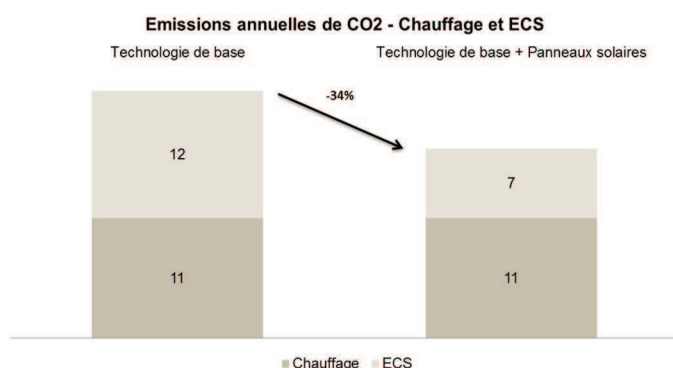


Fall	Primärenergieeinsparung kWh/Jahr	Vermiedene CO ₂ - Emissionen kg/Jahr	Dynamische Amortisationszeit [Jahr]	Kapitalwert 25 Jahre [€]
1	21.302	5.347	23	511

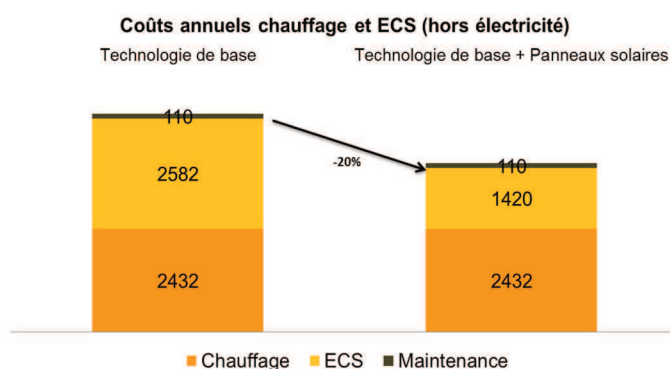
Die Amortisationszeit ist trotz der Prämien lang. Die Investition liegt bei 2,02 € je eingesparter kWh Primärenergieeinsparung und 8,05 € je kg vermiedener CO₂-Ausstoß.



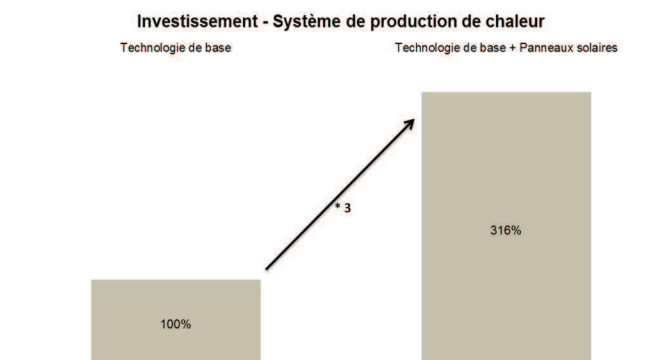
Der Primärenergieverbrauch für die Wärmeerzeugung ist 34 % niedriger, da der SWW-Bruttobedarf zu 45 % gedeckt ist.



Die CO₂-Emissionen gehen ebenfalls um 34 % zurück.



Die jährlichen Kosten verringern sich um 20 %.



Die Investitionen sind hoch und die Amortisationszeit ist trotz Prämien lang (23 Jahre). Die Investition liegt bei 1,1 € je eingesparte kWh_{PE} und 4,3 € je kg vermiedener CO₂-Ausstoß.

5.4. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - Strom

5.4.1. Fotovoltaische Solarenergie

Technische Eigenschaften und Integration

Es sind zurzeit mehrere Technologien auf dem Markt für Fotovoltaikmodule verfügbar: mono- oder polykristallin, amorph oder in „Dünnschicht“-Ausführung.

Für dieses Projekt gehen wir von der Installation von monokristallinen Modulen aus.

Verfügbare Dachflächen

Fall	Lage/Ausrichtung	Fläche Nicht beschattet	Dachtyp	Bemerkungen
1	Dach/Süd-Südost	290 m ²	flach	



Ein Energiezähler ist für die Bewilligung von Zuschüssen verpflichtend.

Das Nettoprinzip kann nur angewendet werden, wenn die Leistung der Fotovoltaikanlage geringer als 10 kVA ist (Beschränkung großer Installationen).

Bei einer höheren Leistung muss ein Zwei-Richtungs-Zähler angebracht werden, sodass ein Überschuss ggf. weiterverkauft werden kann, allerdings zu einem Preis, der deutlich unter dem Einkaufspreis liegt (+/- 1/3 des Einkaufspreises). Daher sollte der erzeugte Strom so weit wie möglich für den Eigenbedarf genutzt werden.

Die Quali watt-Prämie sieht die Bewilligung einer Prämie für Haushalte (und vergleichbare Einheiten) vor, die sich für eine Fotovoltaikanlage entscheiden (Leistung ≤ 10 kWp). Die Prämie wird vom Verteilnetzbetreiber (VNB) ausgezahlt, an dessen Netz die Anlage während der ersten drei Jahre angeschlossen ist. Bei einer 3 kWp-Anlage können so die Investitionskosten innerhalb von 8 Jahren amortisiert werden.

Auf einem Flachdach können die Neigung und die Ausrichtung der Kollektoren frei gewählt werden. Eine maximale spezifische Produktion wird erzielt, wenn die Module eine Neigung von 35° aufweisen.

Die Fläche der Solarmodule ist so bemessen, dass möglichst viele Module auf dem Dach installiert werden können, wobei der von den Modulen erzeugte Schatten berücksichtigt wird. Die Solarmodulfläche wird aufgeteilt und an die Zähler der einzelnen Einheiten angeschlossen, für die jeweils das Nettoprinzip gilt.

Insgesamt werden 70 Solarmodule installiert, davon sind 38 für den Gesamtstrombedarf der Krippe vorgesehen sowie 4 Module pro Wohnung, um deren Strombedarf teilweise zu decken. Die Leistung der Anlage beträgt alles in allem 14,56 kWp, die sich auf mehrere Anlagen von unter 10 kWp verteilen.

Finanzieller Aspekt

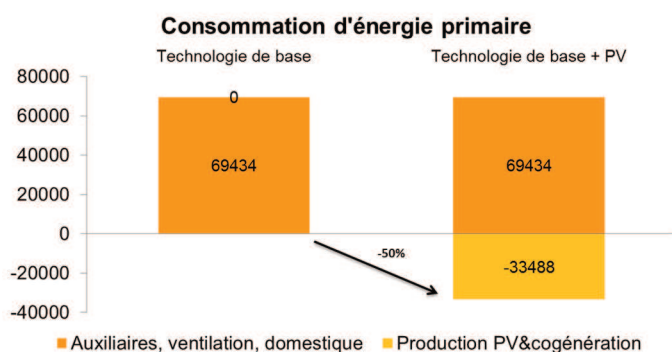
Fotovoltaische Solarmodule



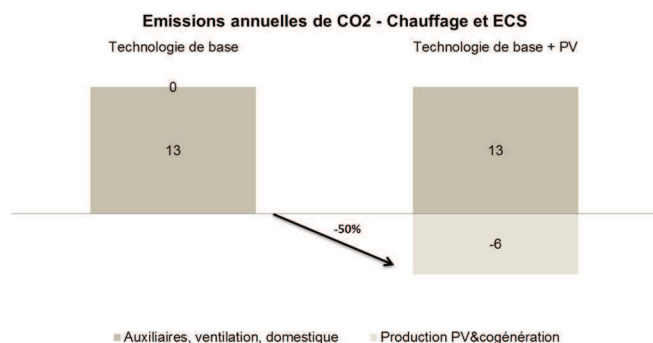
	Betrag	Betreff
Investition (ohne MwSt.)	2,28 € / Wp	-
Wartungskosten (ohne MwSt.) Fotovoltaische Solarmodule Wechselrichter	500,00 € 1.500,00 €	1,5 % der Investitionskosten Austausch nach 15 Jahren
Subventionen: Qualiwatt	3.217 €/Jahr	Auf 5 Jahre

Ergebnisse

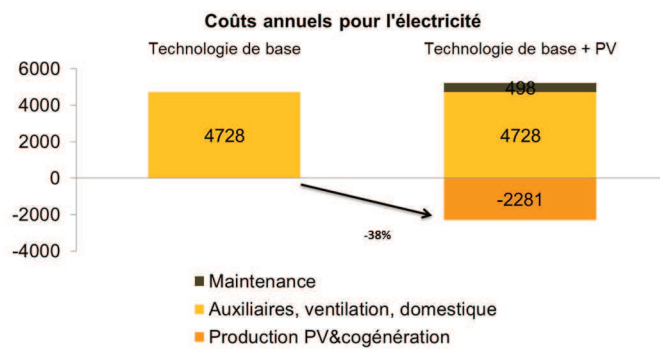
Fall	Primärenergieeinsparung kWh/Jahr	Verhinderte CO ₂ - Emissionen kg/Jahr	Dynamische Amortisationszeit [Jahr]	Kapitalwert 20 Jahre [€]
1	33.488	6.110	19	645



Der Primärenergieverbrauch für Strom ist aufgrund der fotovoltaischen Stromerzeugung 50 % niedriger.



Die CO₂-Emissionen gehen um 50 % zurück.



Die jährlichen Stromkosten verringern sich um 40 %. Die jährlichen Zuschüsse sind in der nebenstehenden Grafik nicht enthalten, wurden jedoch bei der Rentabilitätsberechnung berücksichtigt.

5.4.2. Kraft-Wärme-Kopplung

Technische Eigenschaften und Integration

In Anbetracht des Wärmebedarfs und des Nutzungsprofils kann eine Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung auf der Grundlage eines internen Verbrennungsmotors (kleinstmöglicher Motor - 5,5 kW_{el}, 12,5 kW_{th}) in Betracht gezogen werden.

Aufgrund der reduzierten Leistung dieser Art von Wärmeerzeuger und des ungünstigen Kosten-Leistungs-Verhältnisses wäre die gleichzeitige Nutzung eines Heizkessels vorteilhaft. Um die Nutzung flexibler zu gestalten, ist es auch wichtig, einen gut bemessenen Speicherbehälter (~ 3.000 l) zu verwenden.

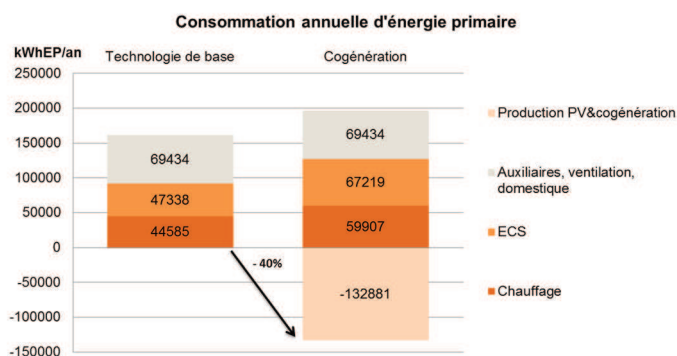
Auf dem Markt für Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung gibt es auch Einheiten mit Stirling-Motor, die sich für einen geringeren Bedarf und variable Profile besser eignen.

Finanzieller Aspekt

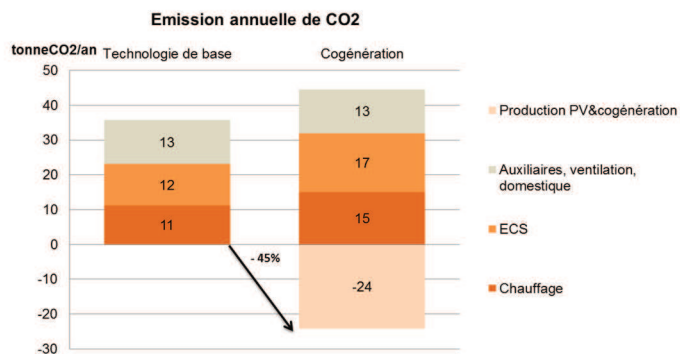
Kraft-Wärme-Kopplung		
	Betrag	Betreff
Investition (ohne MwSt.)	35.000 €	- Preis für Kraft-Wärme-Kopplung
Wartungskosten (ohne MwSt.)	2.625 €	7,5 % der Investitionskosten
Subventionen: Prämie Grünes Zertifikat	7.000 € 22 GB 65 € während 15 Jahren	20 % der Investition

Ergebnisse

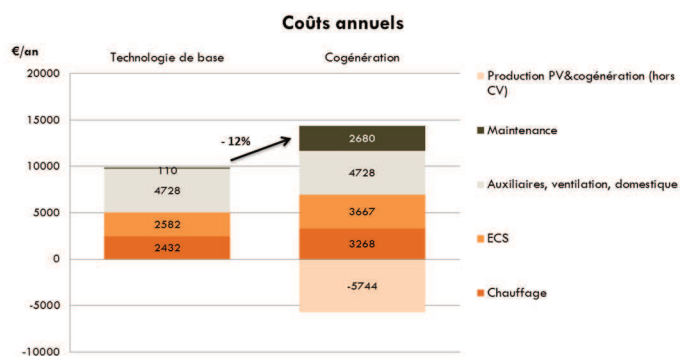
Fall	Primärenergieeinsparung kWh/Jahr	Verhinderte CO ₂ - Emissionen kg/Jahr	Dynamische Amortisationszeit [Jahr]	Kapitalwert 20 Jahre [€]
1	97.677	15.400	11	11.786



Der Primärenergieverbrauch für Heizung, SWW und Strom ist 40 % niedriger.



Die CO₂-Emissionen gehen um 45 % zurück.



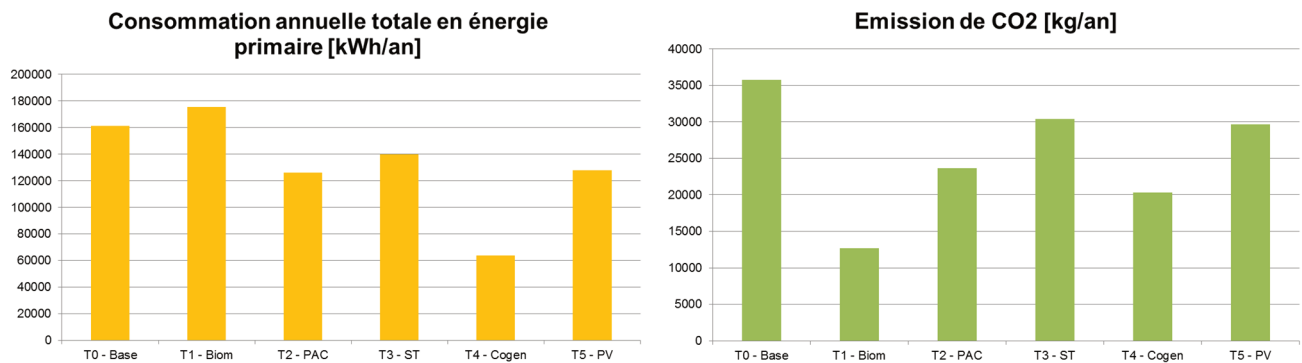
Die jährlichen Stromkosten verringern sich um 12 %. Die jährlichen Zuschüsse (grüne Zertifikate) sind in der nebenstehenden Grafik nicht enthalten, wurden jedoch bei der Rentabilitätsberechnung berücksichtigt.

6. Vergleichende Studie

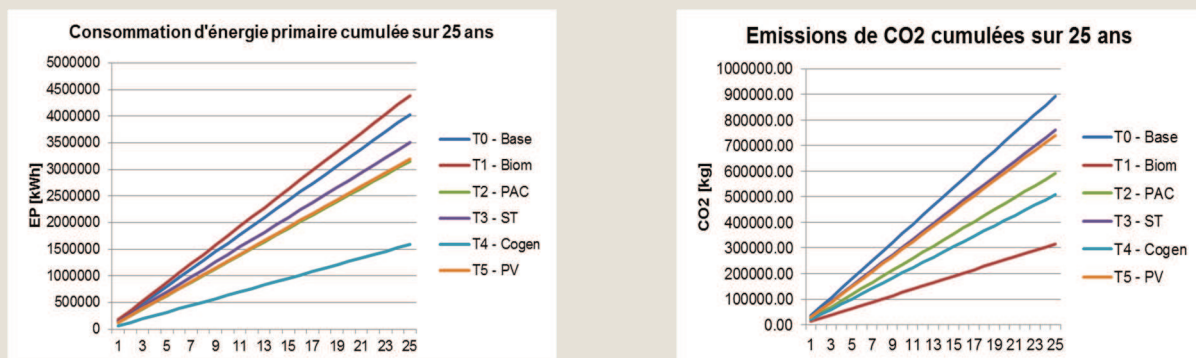
In diesem Kapitel werden die verschiedenen vorgeschlagenen Kombinationen kurz verglichen:

- **T0 – Grundtechnologie:** Gas-Brennwertkessel für die Heizung und SWW-Bereitung
- **T1 - Biomasse:** Pellets-Heizkessel für Heizung und SWW-Bereitung
- **T2 - Sole/Wasser-Wärmepumpe:** Kombi-Erdwärmepumpe mit vertikalem Wärmetauscher für die Heizung und elektrischer Widerstandsheizung für die SWW-Bereitung.
- **T3 - Gas-Brennwertkessel mit thermischen Solarmodulen**
- **T4 - Kraft-Wärme-Kopplung mit Gas-Brennwertkessel zum Nachheizen**
- **T3 - Gas-Brennwertkessel mit fotovoltaischen Solarmodulen**

Der Vergleich wird zunächst auf einer nicht-finanziellen Grundlage durchgeführt, um die „Qualität“ der Maßnahme zu bewerten. Für jedes betrachtete Szenario wurden der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für die Heizung, das Brauchwarmwasser und den Strom (häuslicher Bereich und Hilfsgeräte, Pumpen und Ventilatoren) mit den Werten der Referenztechnologie verglichen.



Der Primärenergieverbrauch und der CO₂-Ausstoß während der Lebensdauer der Systeme kann zusammenfassend dargestellt werden. So kann der Leistungsverlust bestimmter Systeme im Laufe der Zeit aufgezeigt werden (z. B. Leistungseinbußen bei fotovoltaischen Systemen)



Um die Kriterien später zu kombinieren und eine Auswahl zu treffen, wurde eine Werteskala für diese Kriterien erstellt:

- Der untere (oder neutrale) Referenzwert ist der Wert, der der Referenztechnologie **T0** entspricht, die die zu erreichende Mindestleistung definiert, das heißt den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen in dem Fall, dass kein System mit erneuerbaren Energien installiert wird.
- Der **Zielwert** (oberer Referenzwert) für die beiden Kriterien entspricht Werten, die für ein Gebäude mit hoher Energieeffizienz festgelegt wurden, das heißt ein Primärenergieverbrauch von 55,55 kWh/m²/Jahr⁵ und CO₂-Emissionen von 10 kg CO₂/m²/Jahr. Der obere Referenzwert stellt den Wert dar, der im „Idealfall“ erreicht würde.

⁵ Diese Werte werden berechnet für die Heizung, die Kühlung, den Hilfsstrom und die Energieerzeugung, der Wert stammt aus dem Projekt COZEB, <http://energie.wallonie.be/fr/etude-co-zeb-cout-optimum.html?IDC=8012>



Es kann zweckmäßig sein, **zusätzliche Indikatoren** wie die Lebensdauer der Systeme oder auch einen Indikator zur Bewertung sonstiger ökologischer Risiken im Zusammenhang mit den Technologien einzubeziehen. Wir denken da beispielsweise an die ökologischen Auswirkungen der Verbrennung von Holz in der Stadt (Emission von Partikeln, von VOC usw.) oder auch an den potenziellen Ausstoß von anderen Treibhausgasen wie z. B. Kältemitteln.

Für jeden der Fälle wird ein Profil auf der Grundlage dieser Indikatoren und unter Berücksichtigung der Referenzwerte erstellt:

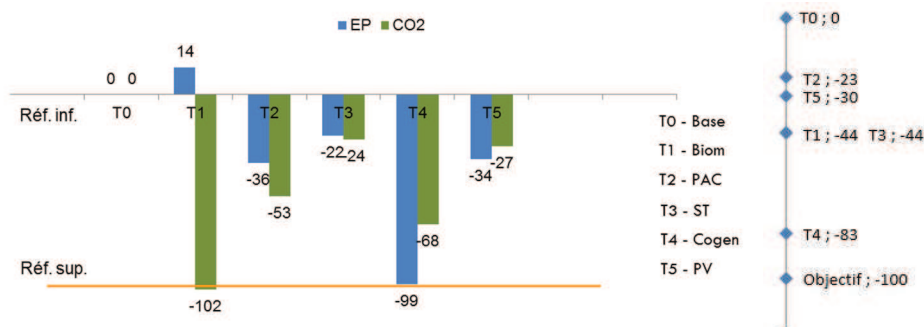
- **E_{prim,unt}: 178 kWh/m²/Jahr → Wert der gesamten Primärenergie geteilt durch die Fläche**
- **E_{prim,Ziel}: 55 kWh/m²/Jahr**, wozu der Stromverbrauch für elektrische Haushaltsgeräte, Beleuchtung, gemeinsam genutzte Flächen und die Warmwasserbereitung der Krippe hinzukommen, das heißt 24 kWh/m²/Jahr. Der obere PE-Referenzwert für dieses Projekt beträgt also **79 kWh/m²/Jahr**, d. h. es handelt sich um eine Verringerung von rund 60 %.
- **CO₂Grund: 39 kg CO₂/m²/Jahr**
- **CO₂Ziel: 10 kg CO₂/m²/Jahr**, zuzüglich der Emissionen, die auf elektrische Haushaltsgeräte, Beleuchtung, gemeinsam genutzte Flächen und die Warmwasserbereitung der Krippe, das heißt 4,4 kg CO₂/m²/Jahr. Der obere Referenzwert des CO₂-Indikators für dieses Projekt beträgt also **14,4 kg CO₂/m²/Jahr**, das entspricht einer Verringerung von 64 %.

Der Zielwert (oberer Referenzwert) ist der Wert, der im „Idealfall“ erreicht würde.

Nach der oben beschriebenen Methodik werden unten die Profile der vorgeschlagenen Technologien auf Grundlage der Primärenergie- und CO₂-Indikatoren dargestellt.

Die **Verringerung** von Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen wird auf der Werteskala zwischen dem unteren (neutralen) Referenzwert und dem oberen Referenzwert (Zielwert) angegeben. So kann bewertet werden, ob mit einer Technologie eine „gute“ Leistung erzielt wird. Wenn der erhaltene Wert 100 beträgt, ist das Leistungsziel für dieses Kriterium erreicht.

Geht man davon aus, dass eine Verringerung des Primärenergieverbrauchs dieselbe Bedeutung wie die Verringerung der CO₂-Emissionen hat, so kann man die „Qualität“ jedes der betrachteten Szenarien evaluieren, indem man eine gewichtete Summe der Werte der vorstehenden Indikatoren berechnet (Abbildung rechts).



Das Profil der Biomasse-Technologie unterscheidet sich von den anderen Technologien. Dies hängt mit den verwendeten Umwandlungsfaktoren in Primärenergie und CO₂ zusammen.



Das Ergebnis in Bezug auf die Qualität ergibt sich aus dem rechnerischen Durchschnittswert der Prozentsätze der erzielten Verringerung von Primärenergieverbrauch und CO₂-Ausstoß. Es ist auch möglich, ein Kriterium stärker als das andere zu gewichten und die Gewichtungsfaktoren der Kriterien in der Summe zu ändern.

Die folgende Tabelle zeigt die Kosten der einzelnen Technologien über 10 Jahre. Bei den Werten der Tabelle handelt es sich nicht um Kapitalwerte.

	Über 10 Jahre kumulierte Energiekosten (einschließlich Inflation) [€]	Über 10 Jahre kumulierte jährliche Wartungskosten (einschließlich Inflation) [€]	Investition [€]	Gewinne GB oder Quali watt [€]	Insgesamt [€]
T0	111.685	1.199	7.300		120.200
T1	100.366	3.832	15.750		119.900
T2	93.881	8.760	40.000		142.600
T3	98.365	1.199	23.047		122.600
T4	67.855	29.343	32.650	-14.300	115.500
T5	85.542	6.651	40.496,8	-16.085	116.600

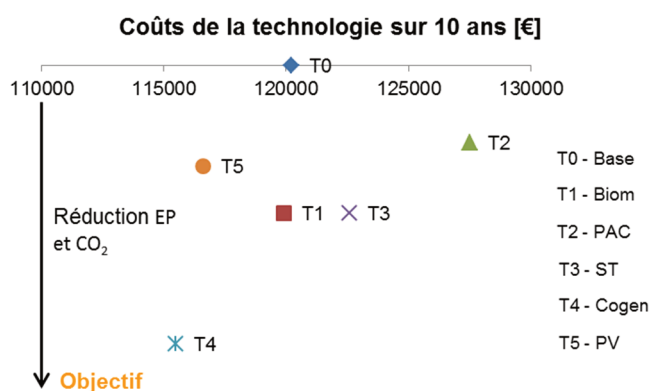
Die verschiedenen Szenarien werden auf der Grundlage der Qualität des vorgeschlagenen Szenarios (nahe am oberen Referenzwert) und der kumulierten Kosten über 10 Jahre verglichen.

Durch die Installation einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (**T5**) können die ökologischen Auswirkungen um mehr als 80 Punkte verringert werden, gleichzeitig ist dieses Szenario über 10 Jahre kostengünstiger als die Referenzanlage.

Szenario **T3** mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe ist das teuerste, kommt aufgrund des Qualitätskriteriums jedoch an zweiter Stelle.

Durch die Installation von thermischen Solarmodulen (**T4**) wird eine höhere Qualität erreicht als bei der Referenzanlage, auf 10 Jahre ist dieses Szenario jedoch etwas teurer. Durch die Installation von Fotovoltaikmodulen (**T6**) dagegen wird eine bessere Qualität als bei der Referenzanlage erreicht, gleichzeitig ist dieses Szenario auf 10 Jahre etwas kostengünstiger.

Szenario **T2** mit Biomasse ist genauso teuer wie das Referenzszenario, weist jedoch eine um 40 Punkte höhere Qualität auf.





Die verschiedenen Fälle können auf der Grundlage von Kapitalwerten verglichen werden, die auf 20 Jahre berechnet werden. Da es sich bei den Werten in der vorangehenden Tabelle nicht um abgezinste Werte handelt, können die Schlussfolgerungen unterschiedlich sein. Die nachstehende Grafik stellt den abgezinsten Wert jeder Investition auf 20 Jahre dar (unter Berücksichtigung eines Abzinsungssatzes von 6,5 %).

Es zeigt sich, dass die „dynamische“ Amortisationszeit länger ist.

