

TECHNISCHE, ÖKOLOGISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE MACHBARKEITSSTUDIE – CAS 1: EINFAMILIENHAUS

Machbarkeitsstudie der alternativen Energieerzeugungs- und -nutzungssysteme gemäß dem Dekret vom 28. November 2013

Projekt: **Einfamilienhaus** | Nr. der GEE-Akte: xxx-xxx-xxx | Ersteller: **xxxxxx**

Dieses Dokument wurde im Rahmen des öffentlichen Dienstleistungsauftrags „Ausweitung der Machbarkeitsstudien in Bezug auf die GEE“ erstellt.

Fassung 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

Ausführung



écoRce Sprl
Rue Sohet 9b
B-4000 Lüttich

Projekt

Fallstudie Typ 1 – Einfache Gebäude von weniger als 1000 m²

Adresse - 4000 Lüttich

Ersteller

Namen ergänzen

Adresszeile 1

Adresszeile 2

Architekt

Namen ergänzen

Adresszeile 1

Adresszeile 2

GEE-Verantwortlicher

Namen ergänzen

Adresszeile 1

Adresszeile 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.....	9
Zusammenfassung der Ergebnisse.....	10
Detaillierter Bericht	13
Technische Eigenschaften und Integration	23
Finanzieller Aspekt	25
Ergebnisse	26
Technische Eigenschaften und Integration	27
Energetische und ökologische Aspekte.....	28
Finanzieller Aspekt	28
Ergebnisse	29
Technische Eigenschaften und Integration	30
Energetische und ökologische Aspekte.....	30
Finanzieller Aspekt	30
Ergebnisse	31
Technische Eigenschaften und Integration	32
Energetische und ökologische Aspekte.....	32
Finanzieller Aspekt	32
Ergebnisse	32
Technische Eigenschaften und Integration	34
Finanzieller Aspekt	35
Ergebnisse	35



VORWORT

Der wallonischen Gesetzgebung über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (GEE) liegt die EU-Richtlinie 2002/91/EG vom 16. Dezember 2002 zugrunde. Mit dieser Richtlinie wird dem sorglosen Umgang mit Energie im Bauwesen endgültig ein Ende gesetzt und das Ziel verfolgt, durch die Verbesserung der Energieeffizienz eine Verringerung des Energieverbrauchs zu erreichen. Die Richtlinie enthält die wesentlichen Leitlinien für die Maßnahmen, welche die Mitgliedsstaaten insbesondere in Bezug auf die Methoden zur Berechnung der Energieeffizienz, die Zertifizierung von Gebäuden und die Minimalanforderungen an die Energieeffizienz treffen sollen. Sie schreibt außerdem die Einführung einer **technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Machbarkeitsstudie** zur Prüfung von Systemen der Energieerzeugung auf der Grundlage erneuerbarer Energiequellen für Neubauten mit einer Fläche von mehr als 1000 m² vor. In Umsetzung der Richtlinie hat die Wallonische Regierung das Rahmendekret vom 19. April 2007 erlassen sowie den Anwendungserlass vom 17. April 2008, mit dem die Berechnungsmethode, die Anforderungen, die Zulassungen und die Sanktionen in Bezug auf die Energieeffizienz und das Innenraumklima von Gebäuden festgelegt werden.

Im Anschluss an die Richtlinie 2002/91/EG wurden zwei weitere EU-Richtlinien über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verabschiedet. Die EU-Richtlinie 2009/28/EG sieht eine Verpflichtung für die Mitgliedsstaaten vor, **bei Neubauten erneuerbare Energiequellen einzubeziehen**. Die Richtlinie 2010/31/EU (RECAST) vom 19. Mai 2010 sieht vor, dass für alle Neubauten, die in den Mitgliedstaaten errichtet werden, **unabhängig von deren Fläche eine Machbarkeitsstudie** durchgeführt wird, während diese Verpflichtung bisher nur für Gebäude mit einer Fläche von mehr als 1000 m² galt. Die Richtlinie RECAST wurde in der Wallonischen Region durch den Erlass der Wallonischen Regierung vom 10. Mai 2012 teilweise umgesetzt. Mit dem jüngsten wallonischen Dekret über die Energieeffizienz von Gebäuden, das 2015 in Kraft treten soll, wird die Umsetzung abgeschlossen.

Ziel der Machbarkeitsstudie ist, **effiziente alternative oder erneuerbare Energien nutzende Systeme zur Energieerzeugung zu fördern**. Sie ermöglicht es unter anderem, die Planer von Neubauten dazu zu bewegen, durch die Einbeziehung entsprechender Technologien den ökologischen Fußabdruck der Gebäude zu verkleinern. Nach dem jüngsten wallonischen Dekret und seinen Anwendungserlassen ist es möglich, die Anforderungen an den Inhalt der Machbarkeitsstudien zu erhöhen. Das Dekret sieht unter anderem vor, dass bei Gebäuden von weniger 1000 m² die Machbarkeitsstudie von den GEE-Verantwortlichen durchgeführt werden kann. Zur Erleichterung der Aufgabe der GEE-Verantwortlichen wird eine Software bereitgestellt, mit der die verschiedenen erneuerbaren Energien, die für einfache Gebäude in Betracht kommen, geprüft und die am besten geeignete Technologie ausgewählt werden kann. Machbarkeitsstudien für Gebäude von mehr als 1000 m² werden weiterhin von zugelassenen Experten für Machbarkeitsstudien durchgeführt.

Dieses Dokument weist den typischen Aufbau einer Machbarkeitsstudie auf und enthält die verschiedenen Sektionen für ein einfaches Beispielgebäude von weniger als 1000 m². Die Studie wurde anhand eines fiktiven Gebäudes erstellt, allerdings nicht mithilfe der speziellen Software, da diese zum Zeitpunkt der Erstellung des Dokuments noch nicht verfügbar war. Die Studie wurde mit Anmerkungen und Guidelines als Hilfestellung für die Ersteller von Machbarkeitsstudien versehen. Den Erstellern ist es freigestellt, dieses Beispiel zu verwenden. Unabhängig davon haften sie für den Inhalt der von ihnen durchgeführten Machbarkeitsstudien. Die Wallonische Region und der Verfasser dieses Dokuments übernehmen keinerlei Haftung im Fall einer fehlerhaften oder unsachgemäßen Anwendung der in diesem Dokument beschriebenen Methoden. Die Machbarkeitsstudie im Sinne der GEE-Vorschriften ist eine qualitative Studie (Prüfung der Angemessenheit). Das Konzept zielt nicht darauf ab, die Dimensionierungsberechnungen durch ein spezialisiertes Planungsbüro zu ersetzen.

Es gibt kein „gebrauchsfertiges“ Verfahren, mit dem stets die Lösung gefunden werden kann, die dem Bauherren bzw. der Bauherrin zusagt. Aufgabe des Experten für Machbarkeitsstudien ist zum einen die Auswahl der angemessenen Systeme und zum anderen eine objektive Beratung mit dem Ziel, die Bauherren und Bauherrinnen zu einer geeigneten Wahl zu bewegen, die ihren eigenen Erwartungen, Anforderungen und Überlegungen entspricht. Die Expertin bzw. der Experte muss die Ergebnisse der Studie in anschaulicher Weise darlegen, sodass die Bauherren und Bauherrinnen eine Wahl treffen können.



Zwei verschiedene Bauherren heißt potenziell auch zwei verschiedene Entscheidungen für zwei unterschiedliche Systeme.



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

Das Dokument ist folgendermaßen aufgebaut:

In den braunen Kästen wird der Inhalt der einzelnen Kapitel umrissen



Die grauen Kästen enthalten nützliche Anmerkungen und Informationen zur Durchführung der Studie.

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 Ausführungserlassen erstellt.

Wenn ein Antrag auf Städtebaugenehmigung die Errichtung eines neuen Gebäudes¹ zum Gegenstand hat, legt die GEE-erklärspflichtige Person ihrem 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.

Es werden verschiedene Szenarios der Nutzung dieser Systeme mit Blick auf die Ermittlung der besten Methoden zur Deckung des Bedarfs untersucht, um eine optimale technische, ökologische und wirtschaftliche Bilanz zu erhalten.

Im ersten Teil der Studie wird eine Zusammenfassung der erhaltenen Ergebnisse und Schlussfolgerungen vorgestellt. 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 einer Nutzung der oben genannten Technologien prüfen (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 ...).

¹ Und für damit gleichgestellte Gebäude.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Dieser Teil umfasst eine vereinfachte Darstellung der Studie. Sie gibt auf einer Seite die wichtigsten Ergebnisse und eine Kurze Analyse derselben wieder. Dieser Teil muss in sich schlüssig und vor allem für jedermann zugänglich sein.

Die Zusammenfassung erfolgt in Form von Diagrammen oder Tabellen, die für jede untersuchte erneuerbare Lösung die drei großen Schwerpunkte vorstellen: Umwelt, Energie und Wirtschaft.

In einer kurzen Schlussfolgerung werden die Auswahl der untersuchten Technologien und der Grund, aus dem der Autor der Studie die anderen Haupttechnologien verworfen hat, dargelegt.

Das untersuchte Projekt ist ein neues Einfamilienhaus in der Region Lüttich mit Erdgeschoss, Obergeschoss und Keller.

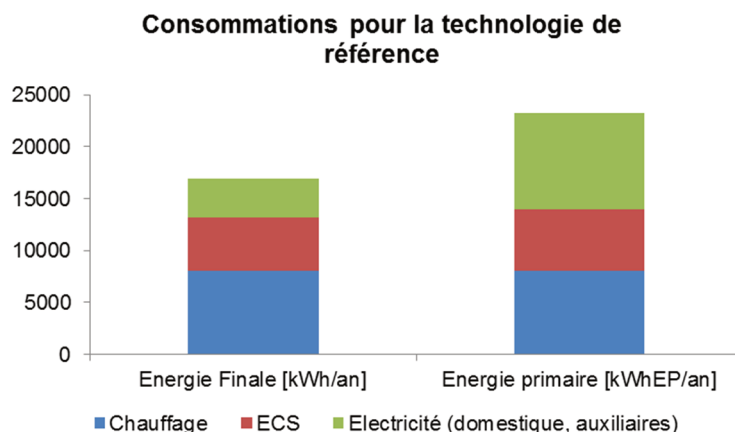
Die folgenden Technologien wurden in Betracht gezogen:

Technologie	Biomasse	Wärmepumpe	Fernwärmenetz	Solarthermie	Fotovoltaik
Begründung	T1	T2/T3	Nicht in Nähe verfügbar	T4	T5/T6

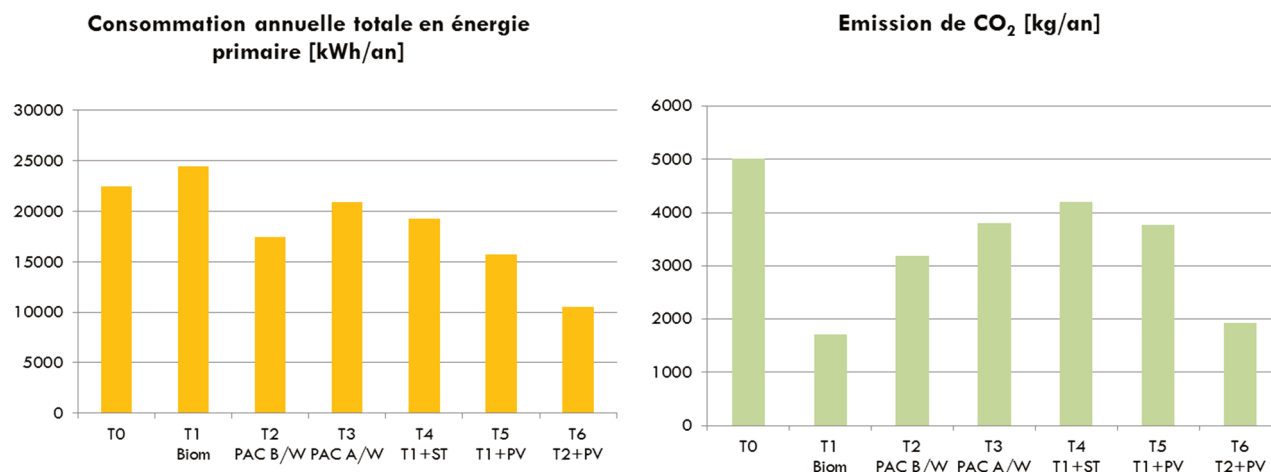
Die folgenden Technologien wurden für die Analyse in Betracht gezogen:

- **T0:** Herkömmliche Basistechnik: Gas-Brennwertkessel für Heizung und Warmwasserbereitung
- **T1:** Biomasse: Pellets-Heizkessel für Heizung und Warmwasserbereitung
- **T2:** Sole/Wasser-WP, kombinierte Erdwärmepumpe mit horizontalem Tauscher für Heizung und Warmwasserbereitung
- **T3:** Luft/Wasser-WP für Heizung und Warmwasserbereitung
- **T4:** Gas-Brennwertkessel mit solarthermischem Warmwasserbereiter (10 m²)
- **T5:** Gas-Brennwertkessel mit Solarmodulen (3kWc)
- **T6:** Sole/Wasser-WP, kombinierte Erdwärmepumpe mit horizontalem Tauscher für Heizung und Warmwasserbereitung, Solarmodule

Der Endenergie- und Primärenergieverbrauch im Fall T0 ist unten dargestellt.

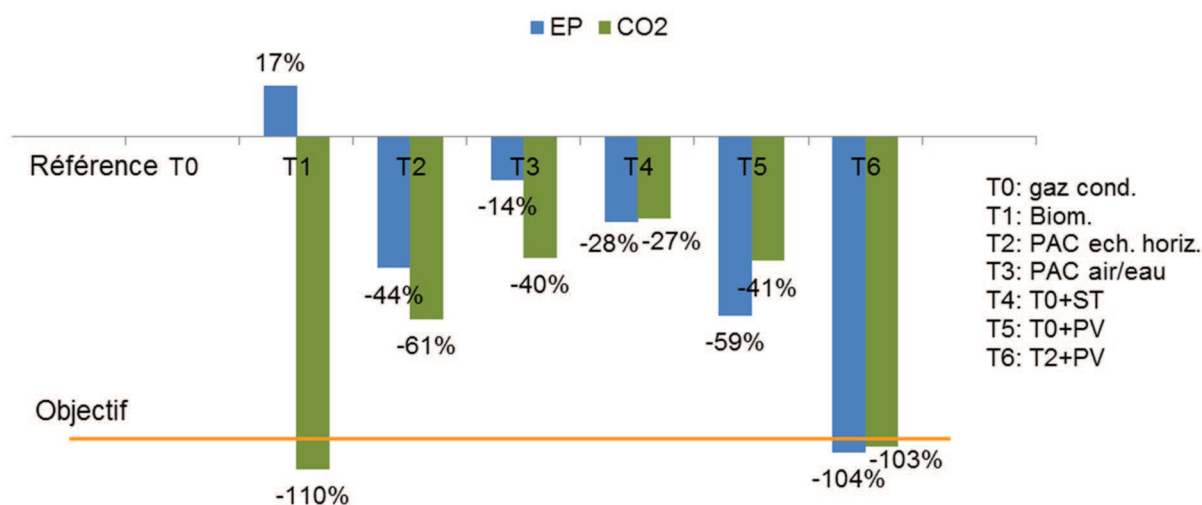


Für jedes betrachtete Szenario wurden der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für Heizung, Sanitärwarmwasser und Elektrizität (häuslicher Bereich und Zusatzgeräte, Pumpen und Ventilatoren) mit den Werten der Referenztechnologie verglichen.



Technologie	CO ₂ -Einsparung [kg / Jahr]	PE-Einsparung [kWh/Jahr]	Amortisierungszeit [Jahr]
Biomasse	3310	-1929	> 35 Jahre
Sole/Wasser-Wärmepumpe	1822	5012	> 35 Jahre
Luft/Wasser-Wärmepumpe	1206	1631	> 35 Jahre
Solarthermie	816	3233	26 Jahre
Fotovoltaik	1244	6799	8 Jahre

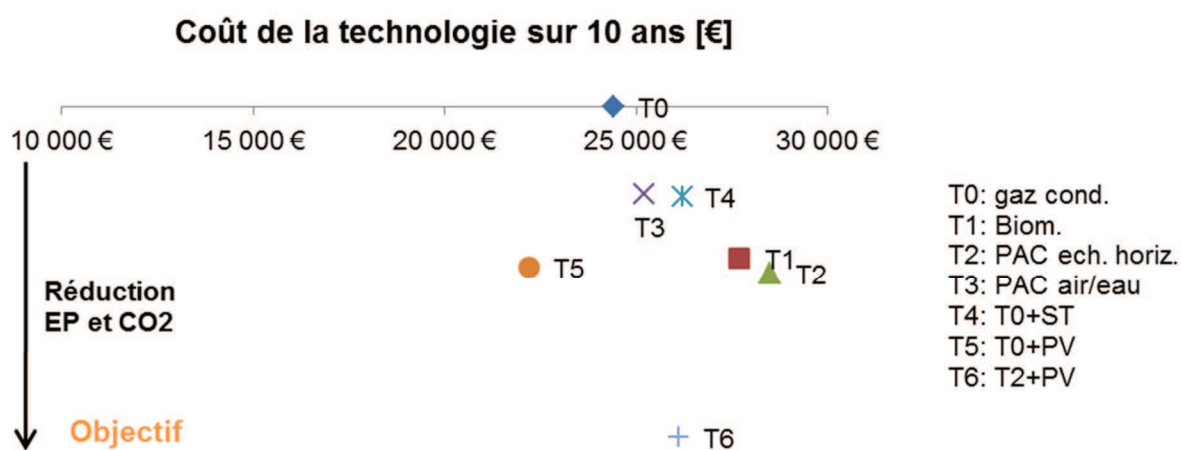
Die **Reduzierung** des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes wird auf einer Werteskala zwischen dem unteren Referenzwert (Leistung des Referenzsystems T0) und dem Zielwert für ein Gebäude mit hoher Energieeffizienz ($E_{spez} = 55 \text{ kWh/m}^2\text{Jahr}$) angegeben. Eine Reduzierung um 100 % des Primärenergieverbrauchs (PE) oder des CO₂-Ausstoßes bedeutet, dass das die Zielvorgabe erfüllt ist.



Dieses Diagramm wird wie folgt analysiert:

- Im Fall **T1** (Pellets) werden die CO₂ -Emissionen stark reduziert, da die Wärme mithilfe eines mit Biomasse betriebenen Systems erzeugt wird, allerdings ist der Primärenergieverbrauch höher als im Basisfall. Dies ist auf zwei Faktoren zurückzuführen: zum einen ist der Umwandlungsfaktor von Gas und Biomasse in Primärenergie in den GEE-Vorschriften derselbe und zum anderen hat der Biomasseheizkessel einen geringeren Wirkungsgrad als der Gas-Brennwertkessel.
- Die Technologien **T2** und **T5** sind vergleichbar. Die Tendenz ist dieselbe in den Fällen **T3** und **T4**.
- Im Fall **T6** kann die Zielvorgabe im Hinblick auf die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und des Primärenergieverbrauchs erfüllt werden.

Analysiert man die Kosten der einzelnen untersuchten Technologien über einen Zeitraum von 10 Jahren (Investition und gesamte Betriebskosten), so ergibt sich, dass die Technologie **T5**, bei der ein Brennwertkessel mit Solarmodulen kombiniert wird, am kostengünstigsten ist und im Vergleich zur Referenztechnologie in weniger als 10 Jahren amortisiert werden kann. Will man den geringstmöglichen PE-Verbrauch und CO₂-Ausstoß erreichen, ist die Technologie mit Erdwärmepumpe in Kombination mit Solarmodulen angebracht, sie ist allerdings mit Mehrkosten verbunden.



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. Manche Daten können sich im Rahmen einer Studie jedoch als ungeeignet oder unrealistisch erweisen. Das ist beispielsweise der Fall, wenn ein gewerblicher Bauherr einen Vorzugspreis für seine Energieversorgung aushandelt. Der Standardwert ist in diesem Fall ungeeignet und muss angepasst und begründet werden.

Wirtschaftliche Daten			
		Einheit	Wert
Preis der Brennstoffe	Gas	€ inkl. MwSt./kWh Brennwert	0.055
	Elektrizität	€ inkl. MwSt./kWh	0.18
	Pellets (einschließlich Lieferung, max. 30 km)	€ inkl. MwSt./kWh Brennwert	0.046
	Steigerung des Energiepreises	%	3
Finanzielle Parameter	Abzinsungsfaktor	%	5
	Bewertungszeitraum	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 schon morgen 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.



Die Angaben zu den verschiedenen Subventionen, die von den Gemeinden, Regionen und dem Föderalstaat angeboten werden, hängen vom Nutznießer ab (Förderungsgesellschaft, Wohnungseigentümer, Firma, die Geschäftsräume oder Büros besitzt, usw.) und unterliegen spezifischen Vergabebedingungen, die eingehalten werden müssen. Unter Berücksichtigung der Vielfalt der Möglichkeiten ist es schwierig, die globale Auswirkung der Subventionen zu analysieren und alle angebotenen Möglichkeiten im Detail zu evaluieren. Wir stützen uns daher auf die Lösung, die uns am wahrscheinlichsten erscheint. Die finanziellen Beihilfen schwanken stark von einem Jahr zum anderen, und was heute gilt, gilt vielleicht schon morgen 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
	Elektrizität	kWh _{PE} /kWh _{Efin}	2.5
Wirkungsgrad der Systeme	Im Einzelfall je nach den in Betracht gezogenen Technologien aufgeführt.		
Ökologische Daten			
		Einheit	Wert
CO ₂ -Umwandlungsfaktor ³	Gas	kgCO ₂ /kWh _{Efin}	0.251
	Elektrizität	kgCO ₂ /kWh _{Efin}	0.456
	Pellets	kgCO ₂ /kWh _{EI}	0



Neben dem Preis der vorgesehenen Brennstoffe kann auch die wahrscheinliche Preisentwicklung hinsichtlich der einzelnen Energieträger berücksichtigt werden [%/Jahr], die anhand der bisherigen Preisentwicklung der jeweiligen Brennstoffe ermittelt wird.

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

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

³ Angewandt werden die Umwandlungsfaktoren, die die Wallonische Region zum Zeitpunkt der Studie vorschlägt.

Die Umwandlungsfaktoren zur Ermittlung der CO₂-Emissionen, die mit den untersuchten Lösungen vermieden werden können, stützen sich auf die von der Region festgelegten vorschriftsgemäßen Werte.



Als erste Annäherung sind die Leistungen im Hinblick auf Wärmeabgabe, Regelung, Verteilung und Speicherung bei den 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 der globale Wirkungsgrad dadurch beeinflusst werden. Dieser Wirkungsgrad wird daher pro Technologie angegeben.

2. Präsentation des Gebäudes

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

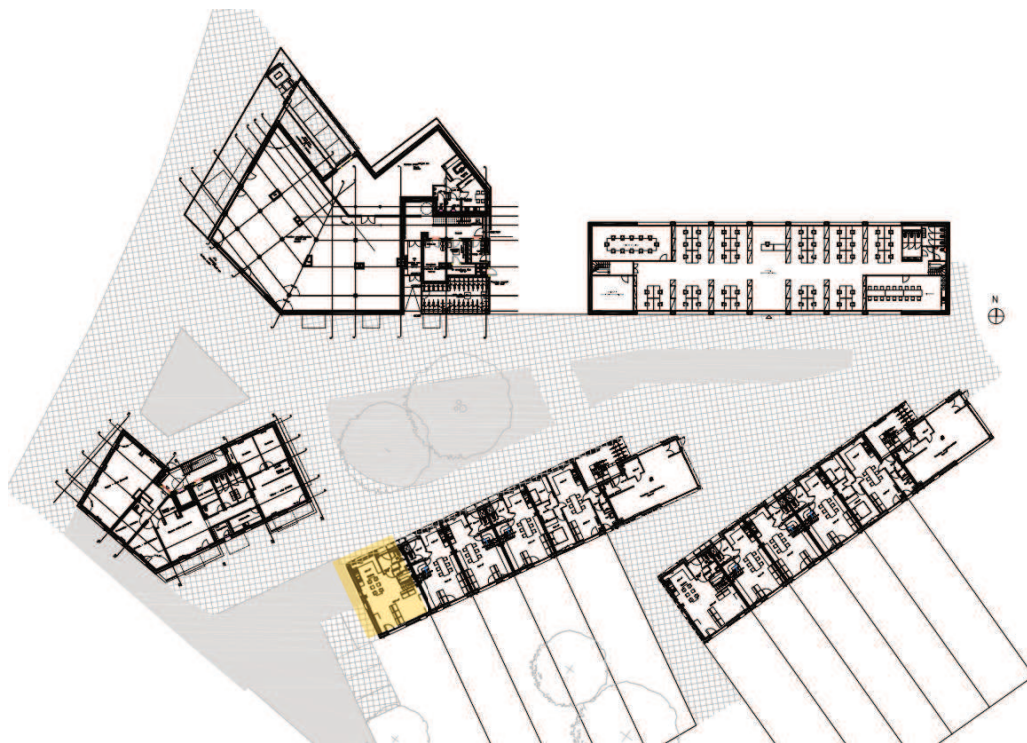
Er gibt alle sachdienlichen Informationen, beispielsweise die Anzahl GEE-Einheiten und deren Zweckbestimmung, die Art der Konstruktion, deren Ausrichtung, die Nettofläche nach Verwendung oder Nutzung, oder jede andere Kennzahl (Anzahl Betten, Bewohner, Schüler, Öffnungszeiten ...). Die für die Durchführung der Studie verwendeten Pläne müssen angegeben werden.

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

Das untersuchte Projekt ist ein neues Einfamilienhaus in der Region Lüttich mit einer Gesamtfläche von 192 m², einer beheizten Fußbodenfläche von 157 m² und einem Bruttovolumen von 526 m³. Die Eckdaten des Gebäudes sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt. Das Haus umfasst ein Erdgeschoss, ein Obergeschoss und einen Keller. Auf dem Gelände ist ein Gasanschluss verfügbar.

Es wurden die Pläne der Baugenehmigung verwendet, die in der Anlage beigelegt sind.

Zusammenfassung der Gebäudedaten	
Typ der Bedachung	Flachdach
A _{Heiz}	157 m ²
Dachfläche	78 m ²
Anzahl der Bewohner	5
Gasanschluss verfügbar?	ja
Lüftung	Doppelter Luftstrom mit Wärmerückgewinnung



3. Energiebedarf des Gebäudes

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

Der Bedarf wird in kWh/Jahr und in kWh/m²Jahr angegeben. Die genutzte Fläche ist die Nutzungsfläche für die Tertiärräume und Aheiz 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/m²Jahr ermittelt werden und kann der Gesamtbedarf daraus extrapoliert werden. Wenn das Gebäude mehrere Verwendungszwecke beinhaltet, wird der Bedarf spezifisch für jeden Verwendungszweck berechnet.

Da die Machbarkeitsstudie zum Zeitpunkt der ursprünglichen Erklärung durchgeführt wird, wird der Energiebedarf für die Verwendungszwecke, für die Bedarfswerte verfügbar sind, vorzugsweise aus der GEE-Software ausgelesen. Im Falle einer Verwendung, für die der Bedarf nicht von dem GEE-Software bereitgestellt wird, verweist der Autor auf die angewendete Methode. Ein Nutzungsprofil wird für jeden Bedarf angegeben. Falls der Autor kein präzises Profil angeben kann, reicht ein qualitatives Profil (Nutzungszeitplan, Hauptbestandteile ...).

Selbst wenn der Energiebedarf von der GEE-Software vorgegeben wird, bildet dieser nicht immer die Realität repräsentativ ab. Der Autor der Studie kann versuchen, den realen 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 Elektrizitäts-Eigenverbrauch ab.

Für Wohngebäude kann der Projektautor den Elektrizitätsbedarf ausgehend vom häuslichen Stromverbrauch berücksichtigen. Der Autor kann ebenfalls ein anderes Profil der Sanitärwarmwassernutzung in Betracht ziehen und den entsprechenden Wärmebedarf berechnen, falls die

Ausrüstung mehr oder weniger wassersparend ist.

Außerhalb des Wohnbereichs 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 nicht den Verbrauch der Ausrüstung (Büromaschinen, Maschinerie ...).

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

Das Projekt soll die rechtlichen Anforderungen an die Energieeffizienz erfüllen. Das Wärmedämmungsniveau ist K35 und der Durchschnittswert U der Gebäudehülle beläuft sich auf 0,23 W/m²K. Die Belüftung der Räume erfolgt über eine mechanische Belüftung mit doppeltem Luftstrom von 300 m³/h mit Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad EN308 de 75 %) Die Standardwerte der GEE-Software wurden als Trägheits-Standardwerte beibehalten. Der Verluststrom wurde jedoch entsprechend der Verlustfläche und einem Luftdichtigkeitsniveau von n₅₀=1.5 vol/h genauer berechnet.

Der **Heizungsbedarf**, der so mit der GEE-Software v5.0.5 berechnet wurde, beläuft sich auf **6200 kWh/Jahr**.

Der **jährliche Nettobedarf an Sanitärwarmwasser** beläuft sich auf **4460 kWh/Jahr** bei einem Tagesverbrauch von 60 Liter pro Person und einer Temperatur von 45 °C.

Der **Kühlungsbedarf** wird in dieser Studie nicht berücksichtigt. Der berechnete **Überhitzungsindex** beträgt **1170 Kh**, dieser Wert liegt unter 6500 Kh.

Der **Stromverbrauch** geht hauptsächlich auf die Zusatzgeräte (Umwälzpumpen und Ventilatoren), die Beleuchtung und den Verbrauch der Elektrogeräte zurück. Der Verbrauch der Zusatzgeräte wurde aus der GEE-Berechnung übernommen. Der Verbrauch der Beleuchtung beträgt 160 kWh/Jahr, sofern ausschließlich Energiesparlampen verwendet werden. Der Verbrauch der Elektrogeräte wird gemäß den folgenden Hypothesen geschätzt:

- 1 Waschmaschine mit **2 kWh pro Waschgang**;
- 1 Wäschetrockner mit **6.53 kWh pro Trockengang**;
- 1 Spülmaschine mit **2.45 kWh pro Spülgang**;
- Der Verbrauch der anderen elektrischen Geräte wird nicht berücksichtigt.

Gesamtstromverbrauch (kWh/Jahr)	
Beleuchtung	160
Zusatzgeräte (Umwälzpumpen, Ventilatoren)	1.372
Elektrogeräte	2.200
Gesamtbetrag	3.732

Die **Netto-Bedarfswerte** sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf [kWh/Jahr.m ²]	Quelle
Einheit GEE 1	Heizung	6.200	39	GEE
	Sanitärwarmwasser	4.460	28	Berechnung (60 Liter/Tag mit einer Temperatur von 60 °C)
	Elektrizität	3.732	24	Berechnung

4. Referenztechnologie

Um das Interesse von erneuerbaren Lösungen zu evaluieren, vergleicht der Autor diese mit einer geplanten Technologie, in der Regel also mit einem Gas- oder Ölheizkessel für die Heizung und die SWW-Bereitung, ohne Erzeugung von Elektrizität durch Fotovoltaik oder KWK. Die Auswahl muss durch die Verfügbarkeit der Energieträger gerechtfertigt werden. Falls eine mechanische Kälteerzeugung vorgesehen ist, wird eine Kältemaschine in Betracht gezogen.

Um einen Vergleichspunkt für die verschiedenen alternativen Technologien festzulegen, legen wir einen Basisfall fest, der mit einer herkömmlichen, wenig kostspieligen Installation übereinstimmt. Bei diesem Projekt ist auf dem Gelände ein Gasanschluss verfügbar. Als Technologie wurde ein Erdgas-Brennwertkessel in Verbindung mit Heizkörpern gewählt. Heizkessel sind weiterhin eine sehr interessante und ausgereifte technische Lösung. In Verbindung mit einem leistungsstarken Regler ist ein modulierender Brennwertkessel eine sehr energieeffiziente Technologie zur Wärmeerzeugung. Brennwertkessel werden auch für die Warmwasserbereitung im Durchlaufverfahren verwendet.

Im Basisfall gibt es keine Stromerzeugung.



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.

4.1. Technische Eigenschaften und Integration

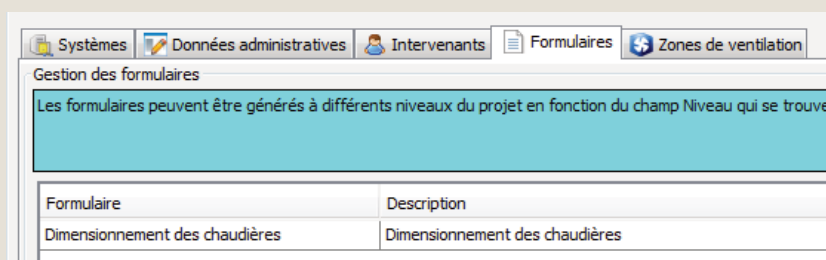
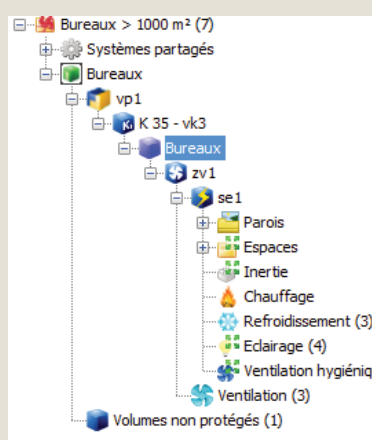
In der Datenbank, die von der Region zur Verfügung gestellt wird, stehen Standardwerte für die saisonalen Wirkungsgrade. Der Autor kann ebenfalls die Werte der GEE oder einer anderen Methode (z. B. PACE) verwenden. Es ist jedoch angebracht, keine zu konservativen Wirkungsgrade zu verwenden, um keine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

Im Keller ist ausreichend Platz für den Einbau eines Heizkessels vorhanden.

Leistung		
Heizung	5 kW	GEE



Die von der GEE-Software berechnete Heizleistung entspricht nicht einer Dimensionierung gemäß der Norm NBN B 62-003 (1986) oder NBN EN 12831 (2003). Als erster Näherungswert kann aber der im Formular zur Kesseldimensionierung angegebene Wert verwendet werden. Bei der GEE-Software steht die geschätzte Leistung des Heizkessels im Formular zur Kesseldimensionierung (abrufbar über die unten abgebildeten Reiter)



4.2. Energetische und ökologische Aspekte

Mit einem guten und richtig regulierten Heizkessel kann ein hoher Wirkungsgrad erreicht und damit der Endverbrauch reduziert werden. Die Umweltauswirkungen sind vom verwendeten Brennstoff abhängig.

Für den jeweiligen Wirkungsgrad der Energieumwandlungsprozesse sind Standardwerte angegeben. Tatsächlich hängt der Wirkungsgrad vom verwendeten Material und vom Wärmeabgabesystem ab. Die angegebenen Werte wurden überwiegend anhand der GEE-Berechnungsmethode ermittelt.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Brennwertkessel	Wirkungsgrad Brennwert	96 %
Verteilung und Lagerung		
Heizung (ohne Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	90 %
SWW (ohne Zirkulationsleitung falls Speicherung)	Wirkungsgrad	90 %
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %



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

4.3. Finanzieller Aspekt

Die mit der Investition verbundenen Kosten werden für jede Lösung geschätzt, und es wird angegeben, was diese Kosten umfassen. Es ist nicht erforderlich, die Investitionen für die Apparate zu berücksichtigen, die mit der Referenztechnologie übereinstimmen (z. B. die Radiatoren). 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. Bei der Basislösung entsprechen die berücksichtigten Investitionskosten in der Regel den Kosten der Maschine.

Wir stützen uns hier auf die folgenden Angaben, die sich einschließlich MwSt. verstehen:

Heizung und Sanitärwarmwasser		
	Betrag	Betreff
Investition (inkl. MwSt.)	5.500,00 €	Gas-Brennwertkessel mit Kamin und Gasrohrleitung
Jährliche Wartungskosten (inkl. MwSt.)	110,00 €	Wartung des Heizkessels - 2 % der Investitionskosten
Zuschüsse: Gas-Brennwertkessel oder Wärmeluftheizer	-	-



Die Studie COZEB⁴ liefert für viele Systeme Zahlen zu den Kosten für Wartung und Betrieb in % der Investitionskosten.

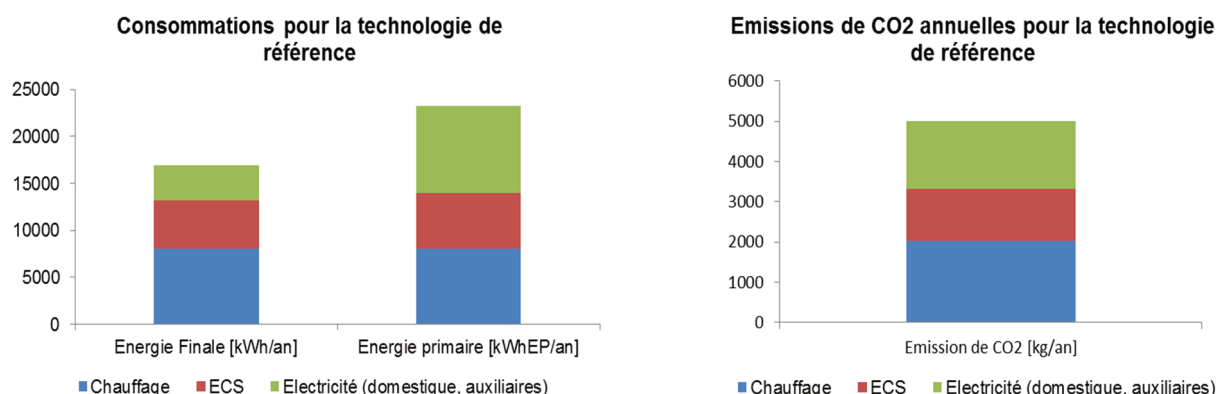
4.4. Ergebnisse

Der **Primärenergieverbrauch** kann sodann ermittelt werden. Gleiches gilt für die damit einhergehenden **globalen CO₂-Emissionen**.

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

Ergebnisse PE und CO ₂	
PE [kWh/Jahr]	22.000
CO ₂ [kg/Jahr]	5.000

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



5. Alternative Technologien

5.1. Analyse der Verfügbarkeit von Varianten

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

Es ist zumindest erforderlich, die Relevanz der folgenden Lösungen zu untersuchen (obligatorische Technologien):

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

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

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

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

	Varianten	Relevante Technologie ?	Technische Rechtfertigung
Heizung	Biomasse	Ja	Lagermöglichkeit für Brennstoff, ausreichende Kellerfläche, lokale Brennstoffversorgung
	Wärmepumpe	Ja	Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen können in Betracht gezogen werden, da ihre technische Integration möglich ist.
	Fernwärmenetz	Nein	Kein Fernwärmenetz in der Nähe
SWW	Thermische Solarmodule	Ja	Installation von thermischen Solarmodulen zur Deckung des SWW-Bedarfs kann erwogen werden.
	Wärmepumpe	Ja	SWW-Bedarf ausreichend groß für den Einsatz einer Wärmepumpe. Wir ziehen eine kombinierte Wärmepumpe für Heizung/SWW in Betracht. Eine Hochtemperatur-Wärmepumpe hätte eine bessere Leistungszahl, die Investitionskosten wären aber höher. Der Fall wurde nicht geprüft.
Kühlung	Kein Kühlungsbedarf		
Elektrizität	Fotovoltaische Solarmodule	Ja	Nicht beschattetes Flachdach

5.2. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen – Heizung + SWW

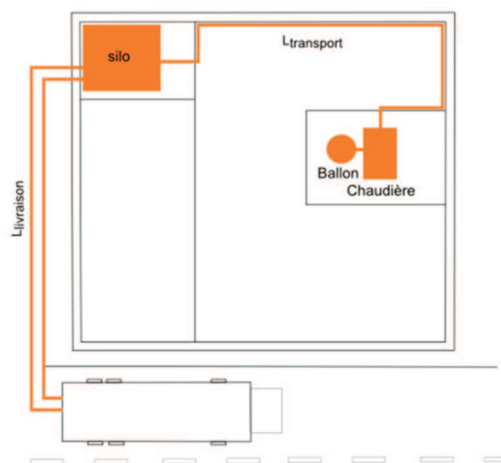
5.2.1. Biomasse

Technische Eigenschaften und Integration

Analyse der kohärenten Integration der Technologien in das Projekt in technischer Hinsicht. Falls in dieser Phase eine größere Unvereinbarkeit festgestellt wird, die nicht in der Relevanzanalyse festgestellt wurde, muss die Machbarkeitsstudie der Technologie nicht fortgesetzt werden, sondern muss der Ausschluss dieser Technologie argumentativ begründet werden.

Bei allen Brennstoffen stellen die **Lagerung** und der **Transport** das größte Problem dar. Bei Holz wird das Problem dadurch verschärft, dass es einen dreimal größeren Lagerraum benötigt (bei gleicher Energiemenge). Im vorliegenden Fall ziehen wir angesichts des zu berücksichtigenden Leistungsbereichs einen mit Pellets betriebenen Heizkessel in Betracht.

Es muss daher der erforderliche Raum in Nähe des Heizkessels sowie ein Mittel zum Befüllen des Lagertanks (Silo oder Vorratsraum) durch einen Tankwagen vorgesehen werden (siehe nachstehende Schemata). Der Anschluss des Lagerraums darf höchstens 30 m von der Haltestelle des Tankwagens entfernt sein. Andererseits 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 relativ **wenig reaktionsfähig**. Um dies zu beheben, können zwei Möglichkeiten ins Auge gefasst werden: entweder wird ein reaktionsfreudigeres 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 ebenfalls mit Verbrennungsluft versorgt werden; entweder muss der Heizkessel in einen belüfteten Raum gestellt werden oder er muss an eine angemessene Zufuhrleitung angeschlossen 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.

Bei dem untersuchten Projekt verbraucht das Gebäude, wenn der gesamte Wärmebedarf mit Pellets gedeckt wird, ungefähr **4.9 m³** Pellets pro Jahr. Bei **2 Befüllungen pro Jahr** muss ein **Lagervolumen von 2.5 m³** vorgesehen werden.

Bemessung des Lagerraums	
Daten	
Verbrauch [kWh/Jahr]	15098
Masse pro Volumeneinheit [kg/m ³]	650
Heizwert [kWh/kg]	4.7
Heizwert [kWh/m ³]	3051
Ergebnisse (erforderliches Volumen [m ³])	
Bei 1 Befüllung/Jahr	4.9
Bei 2 Befüllungen/Jahr	2.5

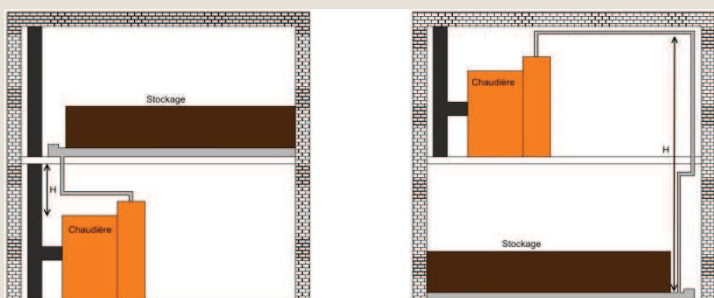
Technische Merkmale	
Pellets-Heizkessel	10 kW
Puffervolumen	500 Liter
Lagervolumen für Granulate [m ³]	5 m ³ / 1 Befüllung

Ein Kesselraum kann im Keller im Untergeschoss des Gebäudes vorgesehen werden (Deckenhöhe 2,4 m). Eine Bodenfläche von 10 m² wäre ausreichend. Das Raumvolumen sollte außerdem die Integration eines Heizkessels und auch die eventuelle Lagerung von Pellets in einem Silo oder einem Vorratsraum erlauben. Es ist außerdem wichtig, dass das Material durch den Zugang zu diesem Raum transportiert und dort gut belüftet gelagert werden kann.



Der Lagerraum kann sich oberhalb oder unterhalb des Heizkessels befinden. In diesem Fall ist ein Podest (horizontaler Abstand 1 m) nach einer Höhe von 3 m vorzusehen. Die maximale Gesamthöhe mit Podest beträgt 5 m.

Es gibt auch Lösungen für die Außenlagerung (überdacht) oder eine unterirdische Lagerung.



Für das betreffende Projekt werden nur die **CO₂-Emissionen** geprüft. Sonstige Emissionen (NO_x, SO_x usw.) werden nicht angegeben. Die folgenden Wirkungsgrade werden für den Heizkessel und das

Heizsystem berücksichtigt (einschließlich der Verteilung und Speicherung (Pufferspeicher), Abgabe und Regelung).

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Pellets-Heizkessel	Wirkungsgrad Brennwert	86 %
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	87 %
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %

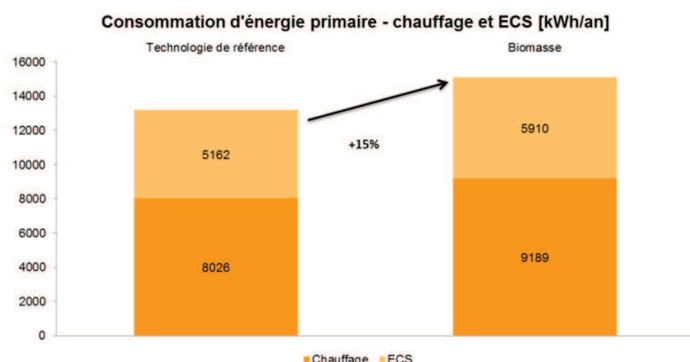
Finanzieller Aspekt

Die mit der Investition verbundenen Kosten werden für jede Lösung festgesetzt, und es wird angegeben, was diese Kosten umfassen. Es ist nicht erforderlich, die Investitionen für die Apparate zu berücksichtigen, die mit der Referenztechnologie übereinstimmen (z. B. die Radiatoren). Es steht dem Autor jedoch frei, in seiner Studie die Gesamtkosten für jede Technologie zu erwähnen.

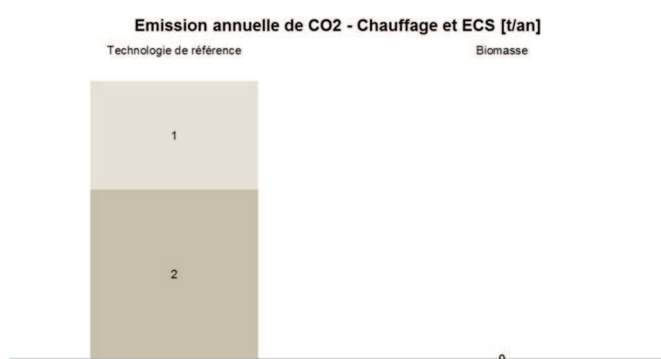
Für diese Studie betrachten wir die folgende Investition. Es werden nur die Mehrkosten angegeben, die durch das für die Technologie benötigte zusätzliche Material entstehen.

Heizung		
	Betrag	Betreff
Investition (inkl. MwSt.)	10.800,00 €	Pellets-Heizkessel, Puffervolumen, Silo
Jährliche Wartungskosten (inkl. MwSt.)	270,00 €	Wartung des Heizkessels - 2.5 % der Investitionskosten
Zuschüsse: Biomasse-Heizgerät mit automatischer Zuführung	1.750,00 €	Portal der Wallonischen Region

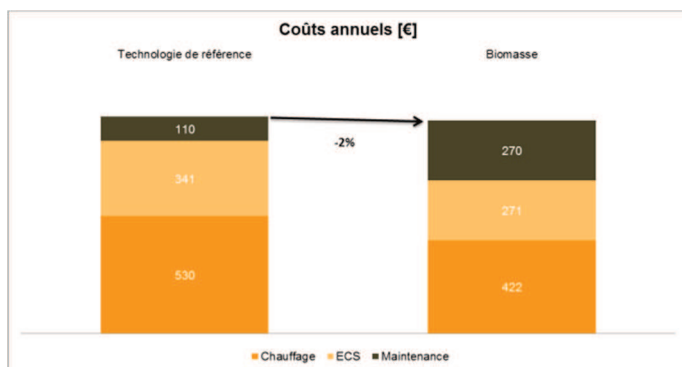
Ergebnisse



Gemäß den Vorschriften bezüglich der zwei Energieträger ist der Umwandlungsfaktor von Biomasse und Gas in Primärenergie derselbe. Die Biomasse-Anlage verbraucht 15 % mehr Primärenergie für Heizung und SWW als der Brennwertkessel, während bei der Pellets-Anlage der Gesamtwirkungsgrad geringer ist.⁵



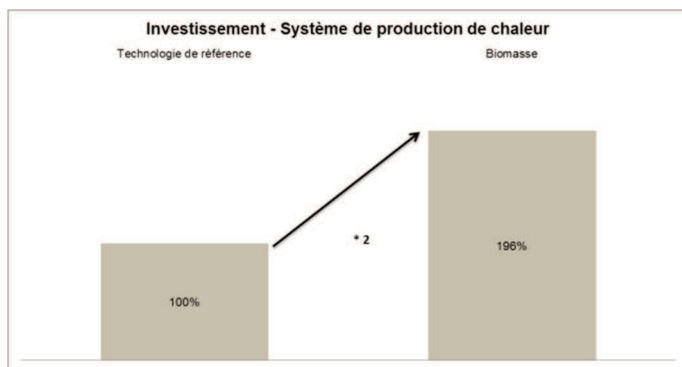
Für die Verbrennung von Biomasse gilt die Annahme, dass sie CO₂-neutral ist⁶.



Der geringere Wirkungsgrad der Anlage wird durch geringere Brennstoffkosten ausgeglichen. Die jährlichen Wartungskosten sind etwas höher.

Die Betriebskosten der beiden Systeme sind im Großen und Ganzen vergleichbar.

⁵ Die Umwandlungsfaktoren zur Umrechnung in Primärenergie und CO₂-Emissionen sind kritisch zu betrachten. Bezüglich der einzelnen Energieträger muss angegeben werden, ob die Berechnungsmethoden die Auswirkungen aufgrund der Versorgungs- und Energieumwandlungsabläufe (Produktion, Transport, Vertrieb, eventuelles Recycling) einbeziehen und, ob der Ausstoß sonstiger Treibhausgase (CH₄, N₂O ...) berücksichtigt wird.



Die Mehrkosten für den Betrieb eines Pellets-Systems sind erheblich. Wenn das dem Heizraum nachgeschaltete System das gleiche ist wie im Basisfall (Heizkörper und Netz gleich), dann ist das Produktionssystem doppelt so teuer.

Die Mehrkosten für das System werden niemals ausgeglichen.

5.2.2. Sole/Wasser-Wärmepumpe

Technische Eigenschaften und Integration

Die jährliche Leistungszahl einer Anlage, die Luft als Kältequelle nutzt, ist niedriger als die Leistungszahl einer WP, die Energie aus dem Boden zieht. Falls eine Erdwärmetechnologie in Betracht gezogen werden kann, prüfen wir die Angemessenheit des Einbaus einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit horizontaler Sonde.

Ein horizontaler Wärmetauscher befindet sich in 1,2 bis 1,5 m Tiefe. Wird der gesamte Bedarf durch die WP gedeckt und bei einer durchschnittlich entnommenen Leistung von 25 W/m² (trockener Lehm Boden), muss eine Bodenfläche von 300 m² für eine Kühlleistung der Wärmepumpe von 7,5 kW bei 0 °C vorgesehen werden.

Um einen guten Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten, wird die Nutzung eines Primärwasser-Pufferspeichers wärmstens empfohlen. Die Kapazität des Pufferspeichers wird je nach Betriebsdauer bestimmt. Das Speichervolumen beträgt etwa 150 Liter. Außerdem ist ein SWW-Speicher von etwa 200 Liter vorzusehen. Die oben angegebenen Werte stammen aus einer Vorbemessung und müssen in der Projektphase genauer bestimmt werden, wenn die Technologie für relevant befunden wird.

Man geht davon aus, dass die Wärmepumpe 100 % des Heizungsbedarfs und 95% des SWW-Bedarfs deckt. Eine elektrische Widerstandsheizung ermöglicht den Temperaturanstieg im SWW-Pufferspeicher.



Die Wärme wird über einen horizontalen Erdreichkollektor oder über vertikale Sonden dem Boden entnommen. Sie wird von der Erde auf den Solekreislauf übertragen und anschließend an das Arbeitsfluid der Wärmepumpe, das Kältefluid, abgegeben. Welche Leistung dem Boden entnommen werden kann, ist vom Bodentyp abhängig. Eine Karte zu den Bodentypen in der Wallonischen Region kann unter folgender Adresse abgerufen werden: <http://cartopro3.wallonie.be/CIGALE/viewer.htm>. Die jeweilige Leistungsentnahme beträgt:

- Trockene Sandböden 10 – 15
- Feuchte Sandböden 15 – 20
- Trockene Lehm Böden 20 – 25
- Feuchte Lehm Böden 25 – 30
- Grundwasservorkommen 30 – 35

Es kann zunächst ein trockener Lehm Boden angenommen werden.

Es ergibt sich eine durch den Erdwärmekollektor genutzte Bodenfläche je nach Kühlleistung der Wärmepumpe.



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 beziffert.

Die Energiebilanz lässt sich recht schwer ermitteln, da sie von der saisonalen Leistungszahl abhängig ist, die wiederum von einer bestimmten Anzahl von Faktoren wie WP-Typ, verwendete Zusatzgeräte, Bodentyp, Klima, Nutzung der Wärme usw. abhängt. Der Gesamtverbrauch des Systems und auch die ökologischen Vorteile und die Rentabilität des Projekts können nur im Rahmen einer dynamischen Studie ermittelt werden. In dieser Phase ist es daher angebracht, allgemeine und fundierte Hypothesen aufzustellen.

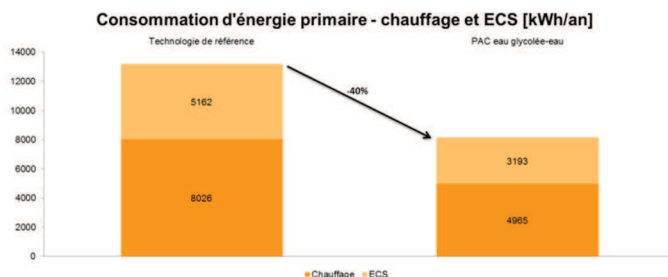
Bei dem untersuchten Projekt gehen wir hinsichtlich der Wärmeerzeugung von einem jährlichen jahreszeitbedingten Leistungsfaktor von 4 aus. Außerdem gehen wir davon aus, dass das installierte Wärmeabgabesystem mit einer Niedrigtemperaturverteilung vereinbar ist.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Sole/Wasser-Wärmepumpe	SCOP	4
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	87 %
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %

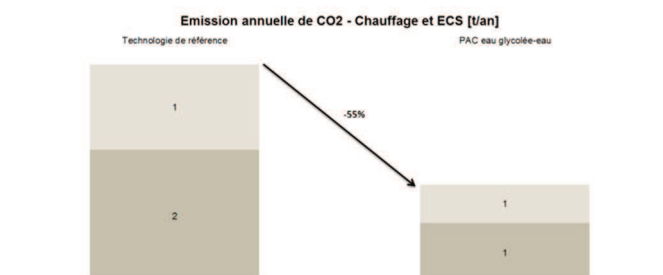
Finanzieller Aspekt

Heizung und Sanitärwarmwasser		
	Betrag	Betreff
Investition (inkl. MwSt.)	11.500,00 €	Wärmepumpe, Messfühler, Pufferspeicher
Jährliche Wartungskosten Heizung (inkl. MwSt.)	230,00 €	2 % der Investitionskosten
Zuschüsse	-	-

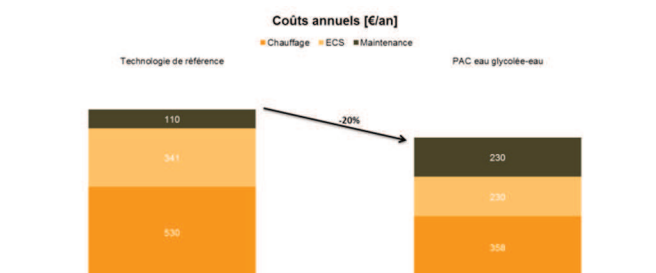
Ergebnisse



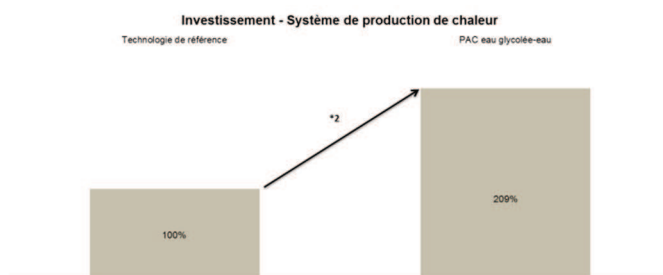
Berücksichtigt man den Heiz- und den SWW-Betrieb, ist der Primärenergieverbrauch einer Wärmepumpe um 40 % geringer.



Der CO₂-Ausstoß ist um die Hälfte geringer.



Die jährlichen Energie- und Wartungskosten des Systems sind um 20 % geringer.



Die Investitionen sind im Vergleich zum Referenzsystem doppelt so hoch. Das System kann nicht innerhalb von 20 Jahren amortisiert werden (Bewertungszeitraum bei Wohngebäuden).

5.2.3. Luft/Wasser-Wärmepumpe

Technische Eigenschaften und Integration

Die jährliche Leistungszahl einer Anlage, die Luft als Kältequelle nutzt, ist niedriger als die Leistungszahl einer WP, die Energie aus dem Boden zieht. Wir ziehen diese Lösung dennoch in Betracht, da sie kostengünstiger (kein Erdwärmetauscher) und einfacher umzusetzen ist.

Bei einem Wärmebedarf von 5 kW bei -10 °C und einem zusätzlichen Bedarf von 0.25 kW/Person für SWW beträgt die erforderliche Gesamtleistung 7.5 kW bei -10 °C. Um eine Überdimensionierung der Wärmepumpe zu vermeiden, gehen wir davon aus, dass sie mit einer zusätzlichen elektrischen Widerstandsheizung zur ergänzenden Wärmeerzeugung während der kältesten Tage ausgestattet ist (Bivalenzpunkt zwischen 0 und -5 °C). Die Leistung der WP beträgt etwa 4.5 kW bei -10 °C und der Widerstand 3 kW. Damit deckt die WP etwa 95 % des jährlichen Wärmebedarfs ab. Um einen guten Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten, wird die Nutzung eines Primärwasser-Pufferspeichers wärmstens empfohlen. Sein Volumen beträgt etwa 100 Liter. Außerdem ist ein SWW-Speicher von etwa 200 Liter vorzusehen.

Die oben angegebenen Werte stammen aus einer Vorbemessung und müssen in der Projektphase genauer bestimmt werden, wenn die Technologie für relevant befunden wird.

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 beziffert.

Die Energiebilanz lässt sich recht schwer ermitteln, da sie von der saisonalen Leistungszahl abhängig ist, die wiederum von einer bestimmten Anzahl von Faktoren wie WP-Typ, verwendete Zusatzgeräte, Klima, Nutzung der Wärme usw. abhängt. Der Gesamtverbrauch des Systems und zugleich auch die ökologischen Vorteile und die Rentabilität des Projekts können nur im Rahmen einer dynamischen Studie ermittelt werden. In dieser Phase ist es daher angebracht, allgemeine und fundierte Hypothesen aufzustellen.

Bei dem untersuchten Projekt gehen wir hinsichtlich der Wärmeerzeugung von einem jährlichen jahreszeitbedingten Leistungsfaktor von 3 aus. Außerdem gehen wir davon aus, dass das installierte Wärmeabgabesystem mit einer Niedrigtemperaturverteilung vereinbar ist.

Heizung		
Erzeugung (saisonal)		
Luft/Wasser-Wärmepumpe	SCOP	3
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	87%
Abgabe und Regelung		
Heizung	Wirkungsgrad	89 %

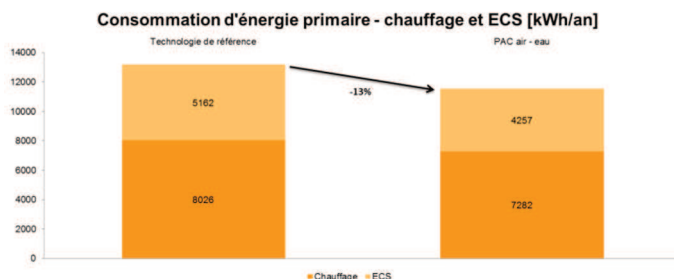
Finanzieller Aspekt

Heizung und Sanitärwarmwasser		
	Betrag	Betreff
Investition (inkl. MwSt.)	6.500,00 €	Lokale Wärmepumpe und Speicher
Jährliche Wartungskosten (inkl. MwSt.)	130,00 €	2 % der Investitionskosten

Zuschüsse:

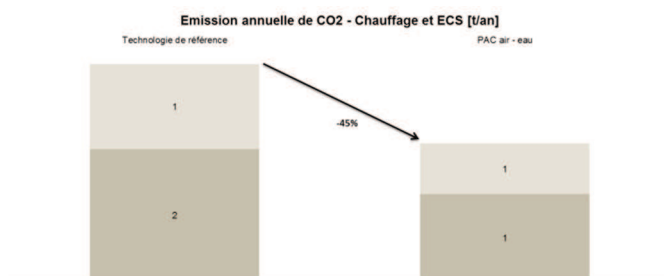
-

-

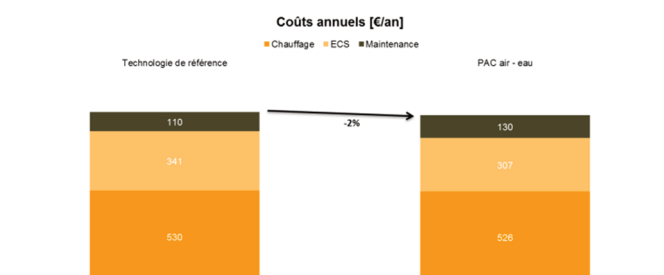
Ergebnisse

Der Primärenergieverbrauch der Luft/Wasser-Wärmepumpe ist um 13 % geringer.

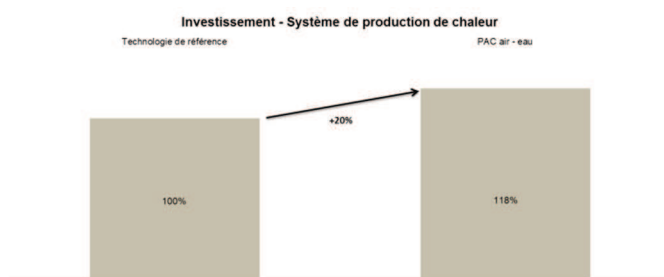
Der Primärenergieverbrauch ist höher als im Fall einer Sole/Wasser-Wärmepumpe, da die elektrische Widerstandsheizung 5 % des jährlichen Bedarfs liefert und der jahreszeitbedingte Leistungskoeffizient niedriger ist.



Der CO₂-Ausstoß ist um etwa die Hälfte geringer.



Die jährlichen Betriebskosten sind im Fall der Wärmepumpe etwas niedriger (-2 %). Der Gewinn aufgrund der Leistungszahl wird durch die höheren Kosten der kWh Elektrizität (3,5 teurer als die kWh Gas bei einem Brennwertkessel) aufgewogen.



Das System ist nicht viel teurer, allerdings ist die Differenz der jährlichen Kosten nicht groß genug, als dass sich das System in weniger als 20 Jahren rechnen würde.

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. Eine 8 m² große Anlage mit flachen Kollektoren mit einer Neigung von 35° auf einer unabhängigen Struktur ist vorgesehen, die mehr als 60 % des Bruttobedarfs an Sanitärwarmwasser decken soll, sodass die Bedingungen für die Prämie erfüllt sind. Die Solarkollektoren werden mit einem Pufferspeicher von 300 Litern verbunden, der sich im Keller befindet. Der Gaskessel stellt die zusätzliche Heizung im Winter und in den Übergangszeiten sicher.

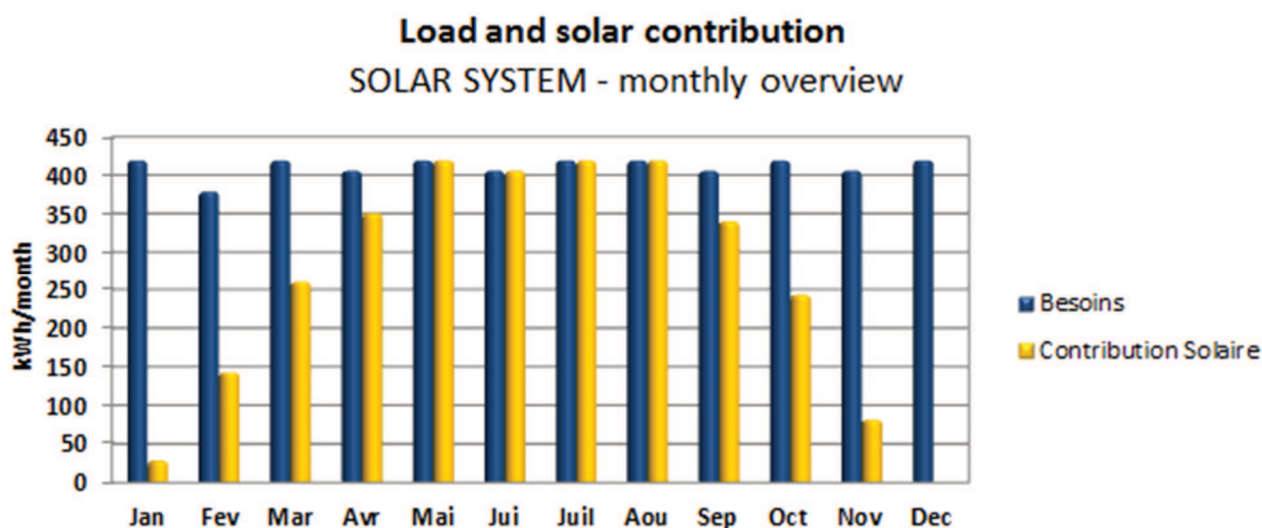
Energetische und ökologische Aspekte

Finanzieller Aspekt

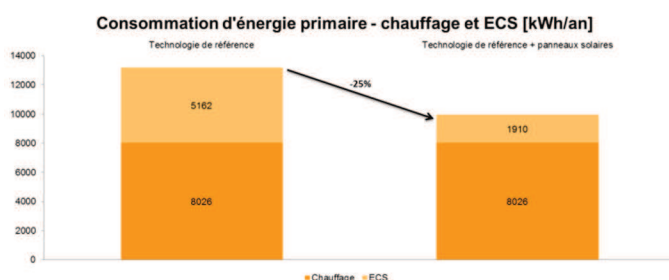
Thermische Solarmodule		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	5.700,00 €	Thermische Solarmodule und Speicher
Jährliche Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	25 €	Kontrolle der Anlage alle 3 Jahre
Zuschüsse:		
Soltherm	1.100,00 €	Portal der Wallonischen Region
Prämie der Stadt Lüttich	650,00 €	Website der Stadt Lüttich

Ergebnisse

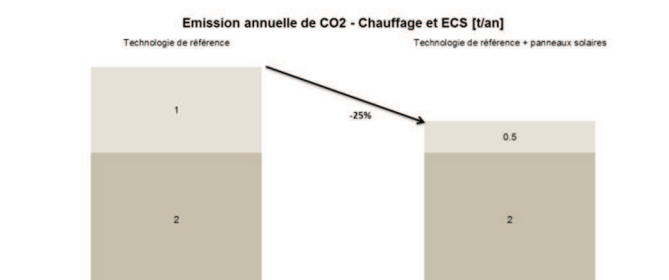
Das System ermöglicht einen solarthermischen Beitrag in das SWW-System von 2.810 kWh/Jahr, das entspricht laut dem auf der Norm EN15316-4-3 basierenden COMBI-EN-Tool einer Deckung von 63 % des SWW-Bedarfs. Im Sommer wird der Energiebedarf zu 100 % durch Solarenergie gedeckt, siehe Abbildung unten.



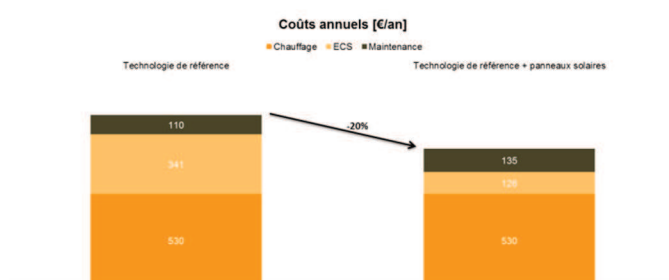
Fall	Einsparung an Primärenergie kWh/Jahr	Vermiedene CO ₂ -Emissionen kg/Jahr	Dynamische Amortisierungszeit [Jahr]	NPV 25 Jahre [€]	IRK [%]
1	3.250	817	26	-822	3



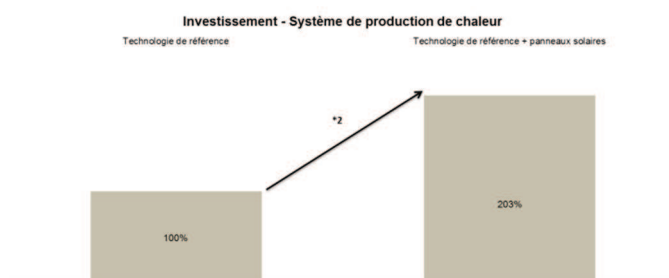
Der Primärenergieverbrauch für die Wärmeerzeugung ist um 25 % geringer, da der SWW-Bruttobedarf zu 60 % gedeckt ist.



Auch der CO₂-Ausstoß wird um 25 % gesenkt.



Die jährlichen Kosten sind um 20 % geringer.



Die Investitionskosten sind hoch und die Amortisationsdauer trotz der Prämien erheblich (26 Jahre). Die Investitionen belaufen sich auf 2.9 € je eingesparter kWh_{PE} und 11.6 € je vermiedenen kg CO₂.

5.4. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - Elektrizität

5.4.1. Fotovoltaik

Technische Eigenschaften und Integration

Es sind zurzeit mehrere Technologien auf dem Markt der 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	Typ der Bedachung	Anmerkungen
1	Dach / Süd-Südost	70 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 Qualiwatt-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 kann so gewählt werden, dass:

- der Gesamtbedarf an Strom gedeckt wird, die erforderliche Leistung läge dann bei 4.1 kWp;
- so viele Module wie möglich auf dem Dach installiert werden, das entspräche etwa 7 kWp;
- nur die durch die Qualiwatt-Prämie abgedeckte Leistung erbracht wird, d. h. 3 kWp.

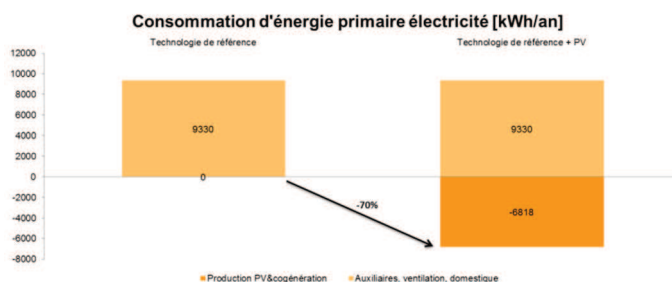
Hier wurde die letzte Option gewählt.

Finanzieller Aspekt

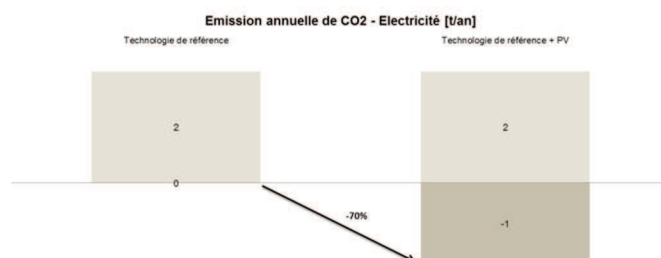
Fotovoltaik		
	Betrag	Betreff
Investition (inkl. MwSt.)	2,40 € / Wp	-
Jährliche Wartungskosten (inkl. MwSt.)		
Fotovoltaische Solarmodule	110,00 €	1,5 % der Investitionskosten
Wechselrichter	1.500,00 €	Austausch nach 15 Jahren
Zuschüsse:		
Qualiwatt	999,00 €/Jahr auf 5 Jahre	CWaPE

Ergebnisse

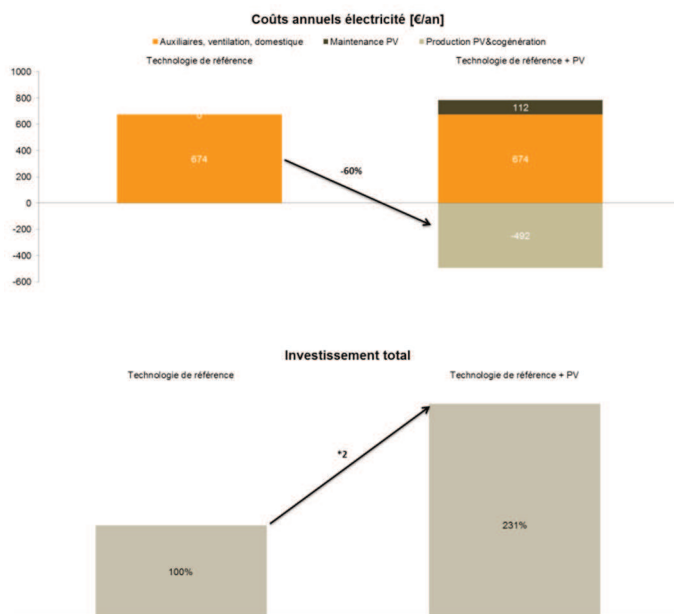
Fall	Einsparung an Primärenergie kWh/Jahr	Vermiedene CO ₂ -Emissionen kg/Jahr	Dynamische Amortisierungszeit [Jahr]	NPV 20 Jahre [€]	IRK [%] 20 Jahre
1	6.820	820	8	2870	11



Der Primärenergieverbrauch zur Stromerzeugung ist um 70 % geringer als bei der fotovoltaischen Stromerzeugung.



Der CO₂-Ausstoß ist um 70 % geringer.



Die jährlichen Kosten sind um 60 % geringer. **Die Quali watt-Prämie wird in der nebenstehenden Grafik nicht berücksichtigt**, sie wird aber bei der Berechnung der Rentabilität miteinbezogen.

Um die Mehrkosten zu veranschaulichen, die entstehen, wenn die Anlage mit einer Fotovoltaikinstallation kombiniert wird, betrachten wir die Gesamtinvestitionen einschließlich des Wärmeerzeugungssystems.

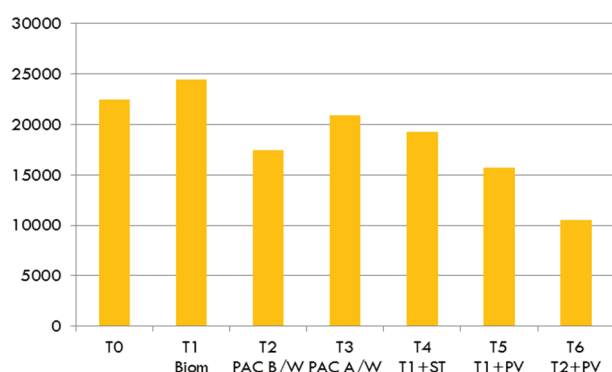
6. Vergleichende Studie

In diesem Kapitel werden die verschiedenen oben vorgeschlagenen Kombinationen verglichen. Auch andere Kombinationen sind möglich, werden in diesem Bericht aber nicht vorgestellt:

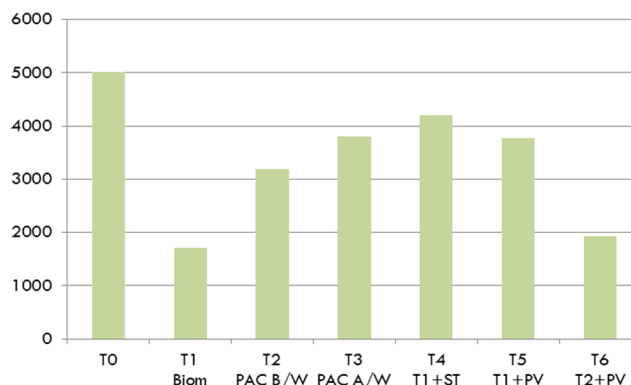
- **T0 - Referenztechnologie:** Gas-Brennwertkessel für Heizung und SWW-Bereitung
- **T1 - Biomasse:** Pellets-Heizkessel für Heizung und SWW-Bereitung
- **T2 - Sole/Wasser-WP:** kombinierte Erdwärmepumpe mit horizontalem Tauscher für Heizung und SWW-Bereitung
- **T3 - Luft/Wasser-WP für Heizung und SWW mit einer zusätzlichen elektrischen Widerstandsheizung.**
- **T4 - Gas-Brennwertkessel mit solarthermischem Warmwasserbereiter**
- **T5 - Gas-Brennwertkessel mit Solarmodulen**
- **T6 - Sole/Wasser-WP:** kombinierte Erdwärmepumpe mit horizontalem Tauscher für Heizung und SWW-Bereitung mit Sonnenkollektoren

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

Consommation annuelle totale en énergie primaire [kWh/an]

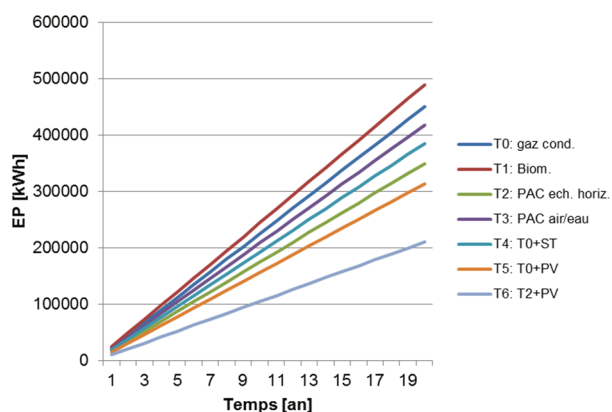


Emission de CO₂ [kg/an]

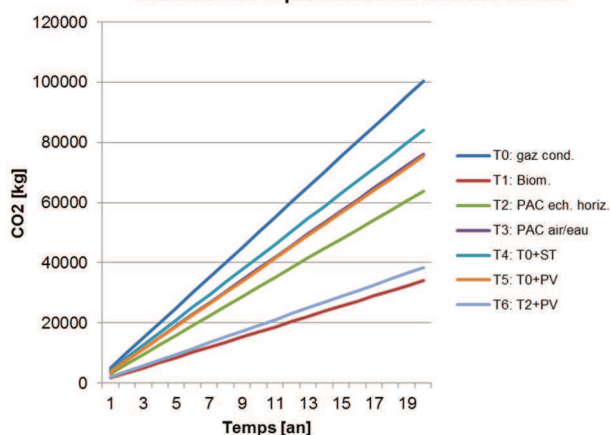


Der Primärenergieverbrauch und der CO₂-Ausstoß während der Lebensdauer der Systeme kann zusammenfassend dargestellt werden. So kann der Leistungsverlust bestimmter Systeme im Laufe der Zeit aufgezeigt werden (z. B. Leistungseinbußen bei fotovoltaischen Systemen)

Consommation d'énergie primaire cumulée sur 20 ans



Evolution de la production de CO₂ sur 20 ans



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, welche 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) entspricht für die beiden Kriterien Werten, die für ein Gebäude mit hoher Energieeffizienz festgelegt wurden, das heißt ein Primärenergieverbrauch von

55 kWh/m²Jahr⁶ und CO₂-Emissionen von 10 kg CO₂/m²Jahr. Der obere Referenzwert stellt den Wert dar, der im „Idealfall“ erreicht würde.



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 ...) oder auch an den potentiellen Ausstoß von anderen Treibhausgasen wie z. B. Kältemitteln.

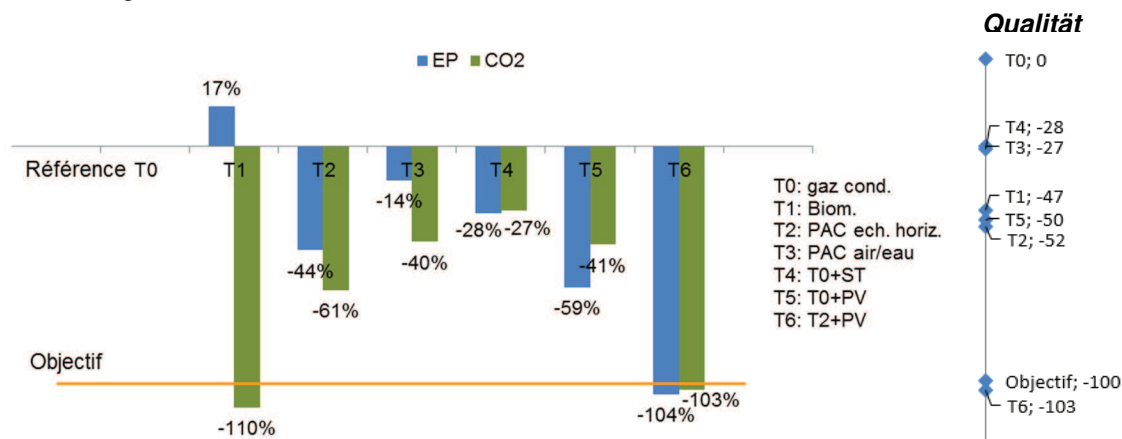
Für jeden der Fälle wird ein Profil auf der Grundlage dieser Indikatoren unter Berücksichtigung der Referenzwerte erstellt.

- **PE_{Basis}: 143 kWh/m²Jahr** (einschließlich des Verbrauchs von Elektrogeräten)
PE_{Ziel}: Vorschlagswert für Gebäude mit hoher Energieeffizienz von 55 kWh/m²Jahr zuzüglich des nicht in diesem Indikator enthaltenen Stromverbrauchs (außer Zusatzgeräte) von 15 kWh/m²Jahr. Der obere PE-Referenzwert für dieses Projekt beträgt damit **70 kWh/m²Jahr**, was einer Verringerung um etwa 50 % entspricht.
- **CO_{2unt.Ref.}: 32 kg CO₂/m²Jahr**
CO_{2Ziel}: Vorschlagswert für Gebäude mit hoher Energieeffizienz von 10 kgCO₂/m²Jahr zuzüglich der Emissionen aufgrund des Stromverbrauchs von Elektrogeräten von 3 kgCO₂/m²Jahr. Der obere Referenzwert des CO₂-Indikators für dieses Projekt beträgt also **13 kgCO₂/m²Jahr**, was einer Verringerung um 60 % entspricht.

Der obere 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 **Einsparungen** an Primärenergie und CO₂-Emissionen werden 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.



⁶ Diese Werte werden berechnet für die Heizung, die Kühlung, die Hilfelektrizität und die Energieerzeugung, der Wert stammt aus dem Projekt COZEB, <http://energie.wallonie.be/fr/etude-co-zeb-cout-optimum.html?IDC=8012>

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 Szenarios evaluieren, indem man eine gewichtete Summe der Werte der oben stehenden Indikatoren berechnet (Abbildung rechts).



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.

Das Profil der Biomasse-Technologie unterscheidet sich von den anderen Profilen. Dies ist auf die Umwandlungsfaktoren zurückzuführen, die für die Umrechnung in Primärenergie und CO₂ verwendet wurden. Die CO₂-Emissionen werden stark reduziert, da die Wärme mithilfe eines mit Biomasse betriebenen Systems erzeugt wird, allerdings ist der Primärenergieverbrauch höher als im Basisfall. Dies ist auf zwei Faktoren zurückzuführen: zum einen ist der Umwandlungsfaktor von Gas und Biomasse in Primärenergie in den GEE-Vorschriften derselbe und zum anderen hat der Biomasseheizkessel einen geringeren Wirkungsgrad als der Gas-Brennwertkessel.

Die Technologien T2 und T5 sind vergleichbar. Die Tendenz ist dieselbe in den Fällen T3 und T4.

Im Fall T6 kann die Zielvorgabe im Hinblick auf die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes und des Primärenergieverbrauchs erfüllt werden.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Kosten der einzelnen Technologien innerhalb von 10 Jahren. Die Werte der Tabelle entsprechen nicht den aktuellen Nettowerten.

	Jährliche Energiekosten über 10 Jahre (einschließlich Indexierung) [€]	Jährliche Wartungskost en über 10 Jahre (einschließlic h Inflation) [€]	Investition [€]	Gewinne GB oder Quali watt [€]	Insgesamt [€]
T0	17.700 €	1.204 €	5.500 €		24.400 €
T1	15.666 €	2.956 €	9.050 €		27.700 €
T2	14.472 €	2.517 €	11.495 €		28.500 €
T3	17.270 €	1.423 €	6.500 €		25.200 €
T4	15.239 €	1.478 €	9.437 €		26.200 €
T5	12.058 €	2.426 €	12.700 €	-4.995 €	22.200 €
T6	8.698 €	3.739 €	18.700 €	-4.995 €	26.100 €

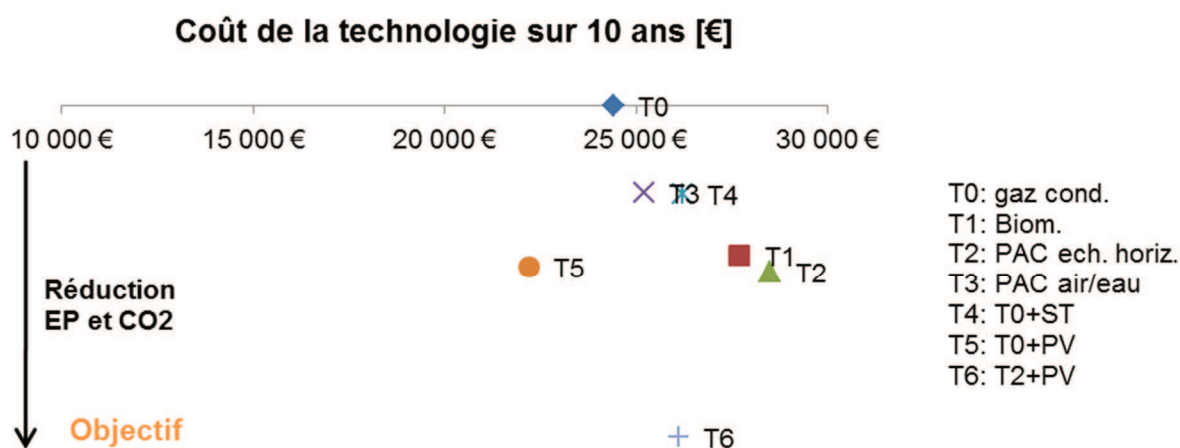
Die verschiedenen Szenarien werden im Verhältnis zur Qualität des vorgeschlagenen Szenarios (nahe dem oberen Referenzwert) und bezüglich der Kosten auf 10 Jahre miteinander verglichen.

Es zeigt sich, dass das Szenario **T6**, in dem eine Erdwärmepumpe mit Sonnenkollektoren kombiniert wird, eine hohe Qualität aufweist. Hier kann der obere Referenzwert erreicht werden.

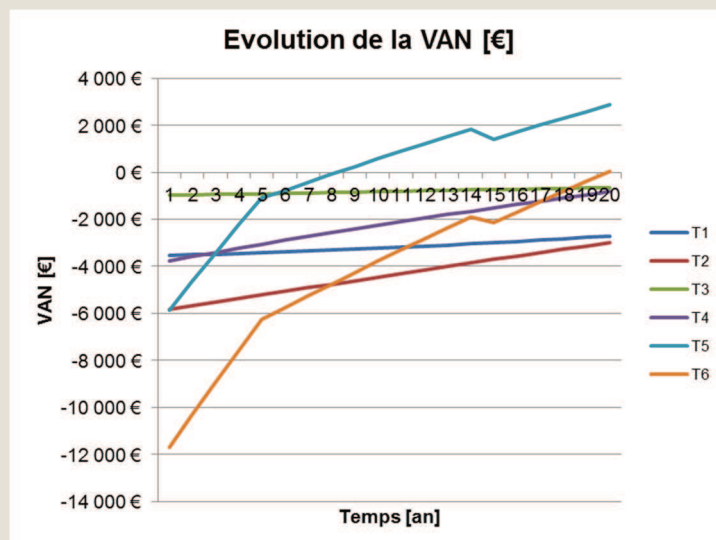
Die Technologien **T3** und **T4** sind gleichwertig sowohl im Hinblick auf die Kosten als auch bezüglich der Qualität. Zur Unterscheidung dieser Technologien sollten weitere Indikatoren einbezogen werden.

Szenario **T1** ist genauso teuer wie Szenario **T2** und von vergleichbarer Qualität.

Lässt man die Investitionskosten außer Acht, ist die Technologie **T5** sehr vorteilhaft. Durch die Montage von Solarmodulen können die Umweltauswirkungen um 20 Punkte verringert werden, auf 10 Jahre ist die Anlage außerdem kostengünstiger als die Referenzanlage.



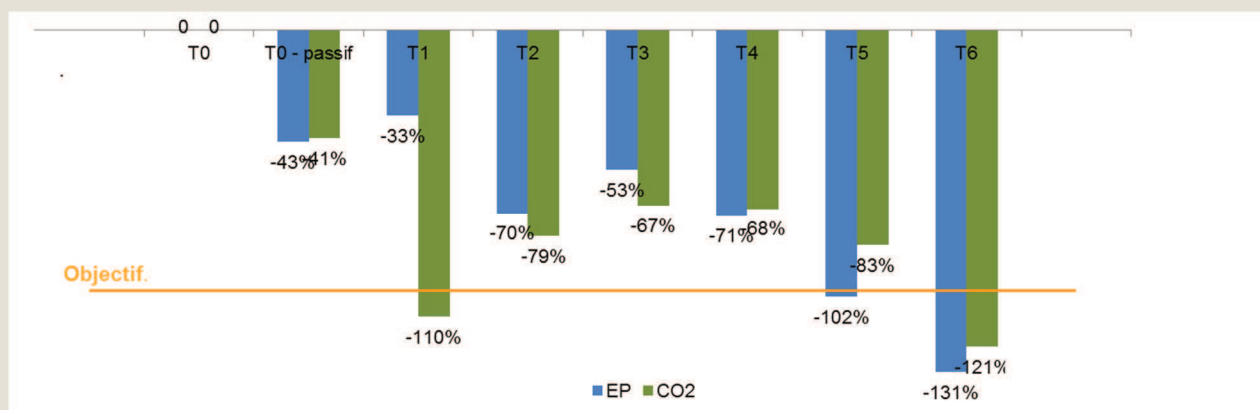
Die einzelnen Fälle können anhand der über einen Zeitraum von 20 Jahren berechneten aktuellen Nettowerte verglichen werden.



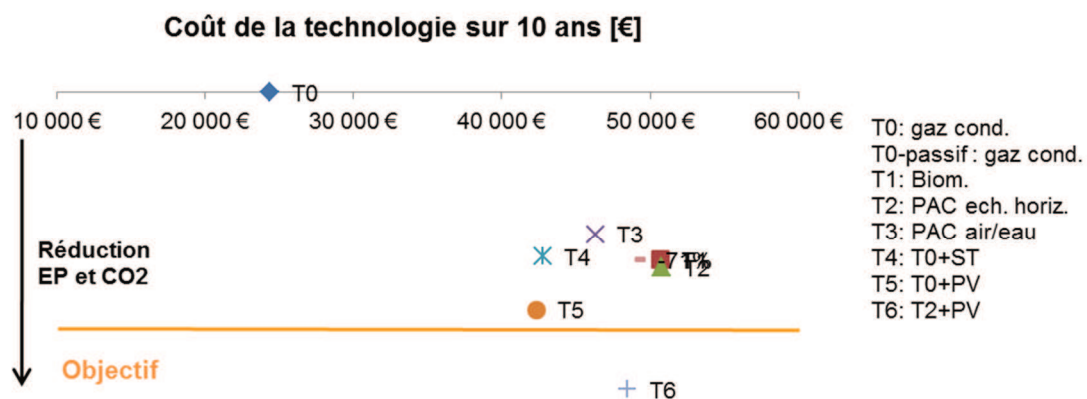
Und wenn ...

Nehmen wir den Fall einer passiven Gebäudehülle. Die oberen und unteren Referenzwerte behalten wir bei (Basisfall T0 mit einem Heizbedarf von 40 kWh/m²Jahr).

In den anderen Fällen (T0 - passiv bis T6) gehen wir von einem Heizbedarf von 15 kWh/m²Jahr aus (Passiv-Fall). Im Fall T6 kann eine um 25 % höhere Leistung als bei dem Referenzgebäude mit hoher Effizienz erreicht werden.



Geht man von 10 % Mehrkosten für die Verbesserung der Gebäudehülle aus (anfängliche Kosten des Gebäudes im Fall T01 von 1300 €/m²), ergeben sich für einen Zeitraum von 10 Jahren die folgenden Daten:



Es zeigt sich, dass im Fall T5 (Gas-Brennwertkessel und Solarmodule) in Bezug auf die Umweltfreundlichkeit eine Qualität erzielt wird, die praktisch dem oberen Referenzwert entspricht. Die Mehrkosten entstehen bei den anfänglichen Investitionen für die Verbesserung der passiven Gebäudehülle. Fall T6 ist hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit am vorteilhaftesten, ist auf 10 Jahre aber teurer.