

Technische, ökologische und wirtschaftliche Machbarkeitsstudie

FALL 3: Gebäude von mehr als 1.000 m² - Büros

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

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

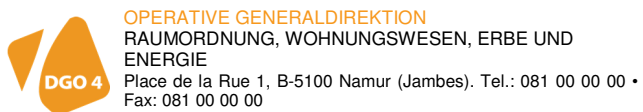


OPERATIVE GENERALDIREKTION
RAUMORDNUNG, WOHNUNGSWESEN, ERBE UND ENERGIE
Place de la Rue 1, B-5100 Namur (Jambes). Tel.: 081 00 00 00 • Fax : 081 00 00 00

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

Fassung Juli 2014

Auftraggeber



Ausführung



écoorce Sprl
Rue Sohet 9b
B-4000 Lüttich

Projekt

Musterfallstudie 3 - **Einfaches Gebäude von mehr als 1.000 m² (Büros)**

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



INHALTSVERZEICHNIS

TOC



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 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 1.000 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 oder erneuerbare Energieträger nutzende Energieerzeugungssysteme zu fördern**. Planer von neuen Gebäuden können dadurch unter anderem dazu angeregt werden, den ökologischen Fußabdruck der Gebäude 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 stärken. Das Dekret sieht unter anderem vor, dass der GEE-Verantwortliche die Machbarkeitsstudien für Gebäude von weniger als 1.000 m² 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 1.000 m² werden nach wie vor von anerkannten Autoren von Machbarkeitsstudien durchgeführt.

Das vorliegende Dokument stellt einen beispielhaften Aufbau einer Machbarkeitsstudie mit den verschiedenen Abschnitten für ein einfaches Mustergebäude von mehr als 1.000 m² vor. Die Studie wird für ein fiktives Gebäude durchgeführt. Als Hilfe für den Autor der Machbarkeitsstudie enthält die Studie Kommentare und Leitlinien. Der Autor kann dieses Beispiel nutzen und ist 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 sieht denn auch nicht vor, die Dimensionierungsberechnungen 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 zu bieten, damit dieser eine passende Lösung wählen kann, die seinen eigenen Erwartungen, Bedürfnissen oder 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 enthalten den für die verschiedenen Kapitel erwarteten Inhalt.



Die grauen Kästen enthalten Kommentare und nützliche Informationen für den Autor zur Durchführung seiner 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-erklärungspflichtige 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;
- Kraft-Wärme-Kopplung.

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 unten 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 allgemein verständlich 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.

Bei dem untersuchten Projekt handelt es sich um ein Bürogebäude in der Region Lüttich, das aus einem Erdgeschoss mit einer Etage und einem Keller besteht.

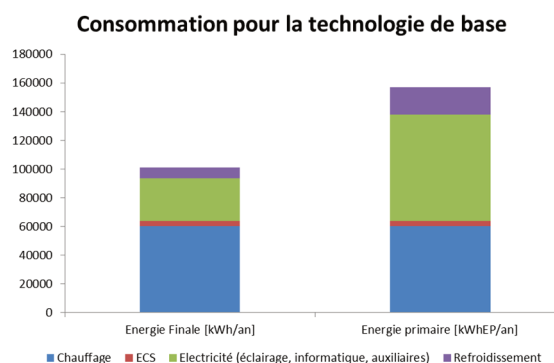
Die folgenden Technologien wurden in Betracht gezogen:

Technologie	Biomasse	Wärmepumpe	Fernwärme	Solarthermie	Hocheffiziente Kraft-Wärme	Fotovoltaik	Sonstige
Begründung	T1	T2 und T3	Nicht in Nähe verfügbar	Kein SWW-Bedarf	Zu geringer Wärmebedarf	T5 und T6	T4: Passive Kühlung

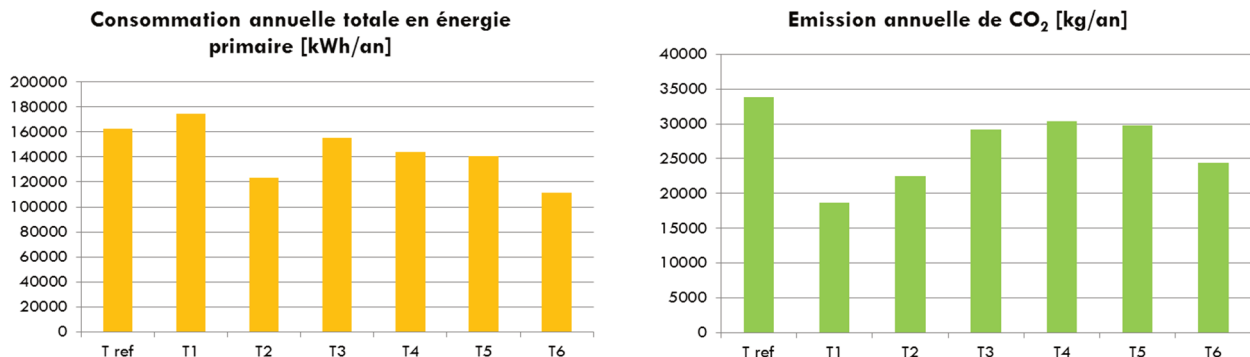
Die folgenden Technologien wurden für die Analyse in Betracht gezogen:

- **T0 - Herkömmliche Grundtechnologie:** Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat
- **T1 - Biomasse:** Pellets-Heizkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat
- **T2 - Sole/Wasser-Wärmepumpe:** Erdwärmepumpe mit vertikalem Wärmetauscher und Kühlung mittels Geokühlung
- **T3 - Reversible Luft/Wasser-Wärmepumpe**
- **T4 - Gas + passive Kühlung:** Gas-Brennwertkessel und Überhitzungsregelung über eine intensive nächtliche Belüftung und Sonnenschutzvorrichtungen
- **T5 - Referenztechnologie + FV (Fall 1):** Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat + 10 kWp Fotovoltaikmodule
- **T6 - Referenztechnologie + FV (Fall 2):** Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat + 24.2 kWp Fotovoltaikmodule

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



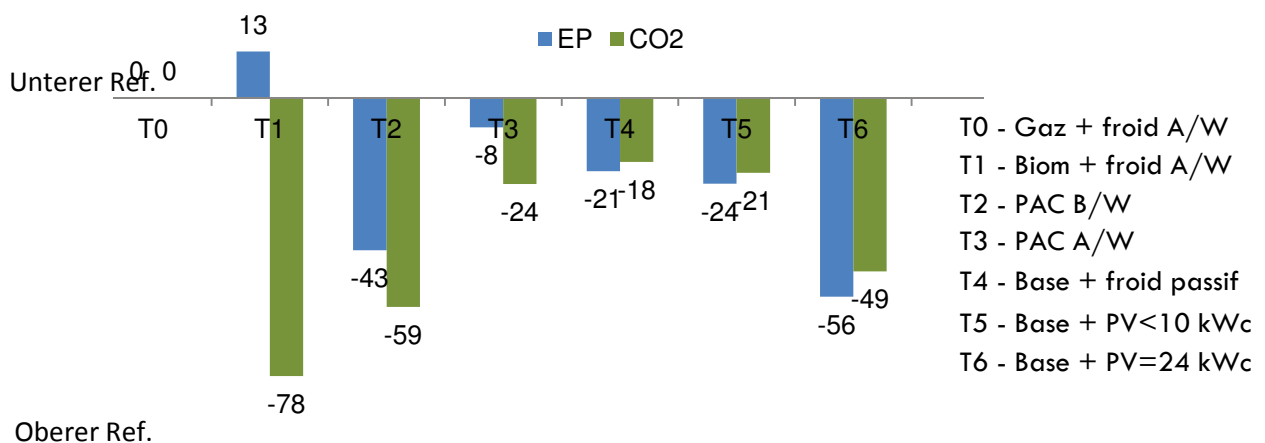
Für jedes betrachtete Szenario wurden der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für Heizung, Sanitärwarmwasser und Strom (häuslicher Bereich und Hilfsgeräte, Pumpen und Ventilatoren) mit den Werten der herkömmlichen Technologie verglichen.



Die Verringerungen des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen sind auf einer Werteskala zwischen dem unteren Referenzwert (Effizienz des Grundfalls T0) und dem Zielwert eines hoch energieeffizienten Gebäudes (Espez = 45 kWh/m²/Jahr) angegeben. Eine Verringerung des Primärenergieverbrauchs (PE) oder der CO₂-Emissionen um 100 % bedeutet, dass das Ziel erreicht ist.

Der untere (oder neutrale) Referenzwert ist der Wert, der der herkömmlichen Technologie 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 obere Referenzwert für die beiden Kriterien entspricht Werten, die für ein Gebäude mit hoher Energieeffizienz festgelegt wurden. Die **Verringerungen** von Primärenergie und CO₂-Emissionen wurden auf dieser Werteskala beziffert und sind in der nachstehenden Grafik dargestellt.

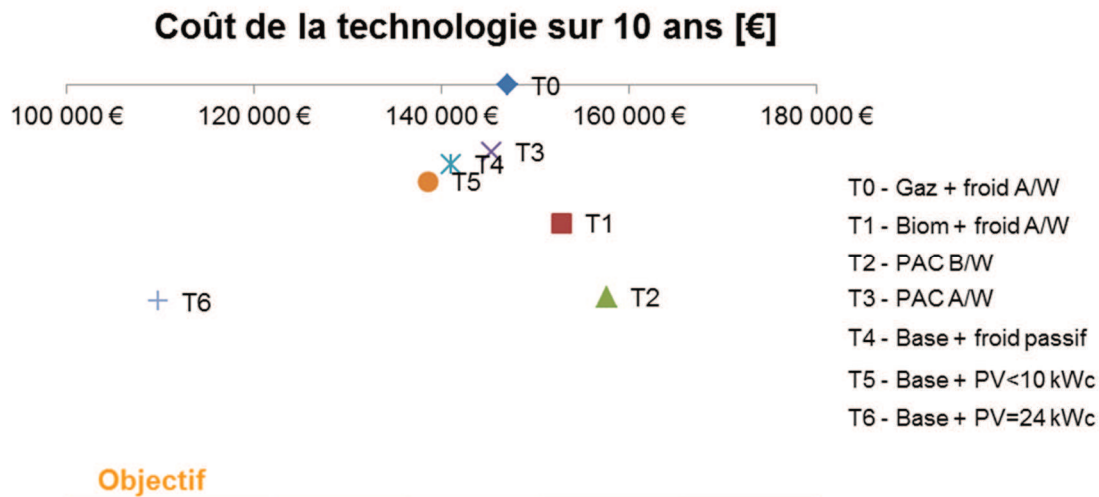


Dieses Diagramm wird wie folgt analysiert:

- 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 T6 führen zu ähnlichen Ergebnissen. Die gleiche Tendenz gilt für die Technologien T3, T4 und T5.

Analysiert man die Kosten jeder der Technologie über 10 Jahre kumuliert (Investition und Betriebskosten), ist der Brennwertkessel in Verbindung mit einem Kälteaggregat und die Installation von FV-Kollektoren die kostengünstigste Technologie mit geringeren ökologischen Auswirkungen als die Referenztechnologie. Bei dieser Technologie sind die Auswirkungen in Bezug auf den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen auch am geringsten.



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 (einschließlich Gebühr)	€ zzgl. MwSt./kWh Brennwert	0,055
	Elektrizität (einschließlich Gebühr)	€ zzgl. MwSt./kWh	0,17
	Elektrizität (Verkauf ohne Ausgleich)	€ zzgl. MwSt./kWh	0,04
	Pellets (einschließlich Lieferung, max. 30 km)	€ zzgl. MwSt./kWh Brennwert	0.046
	Steigerung des Energiepreises	%	3
Finanzielle Parameter	Abzinsungsfaktor	%	4.5
	Steuersatz	%	33.99
	Amortisierungszeit	Jahre	10
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.

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
	Pellets	kgCO ₂ /kWh _{Efin}	0
	Elektrizität	kgCO ₂ /kWh _{Efin}	0.456



Zusätzlich zum Preis der ins Auge gefassten Brennstoffe kann man eine vernünftige Entwicklung dieser Preise im Laufe der Zeit für jeden der Energieträger berücksichtigen [% / Jahr], wobei man sich auf die historische Entwicklung des Preises des jeweiligen Brennstoffs stützt.

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.

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 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 Verteilungstrecken führt), so muss der globale Wirkungsgrad dadurch beeinflusst werden. Dieser Wirkungsgrad wird daher pro Technologie angegeben.

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

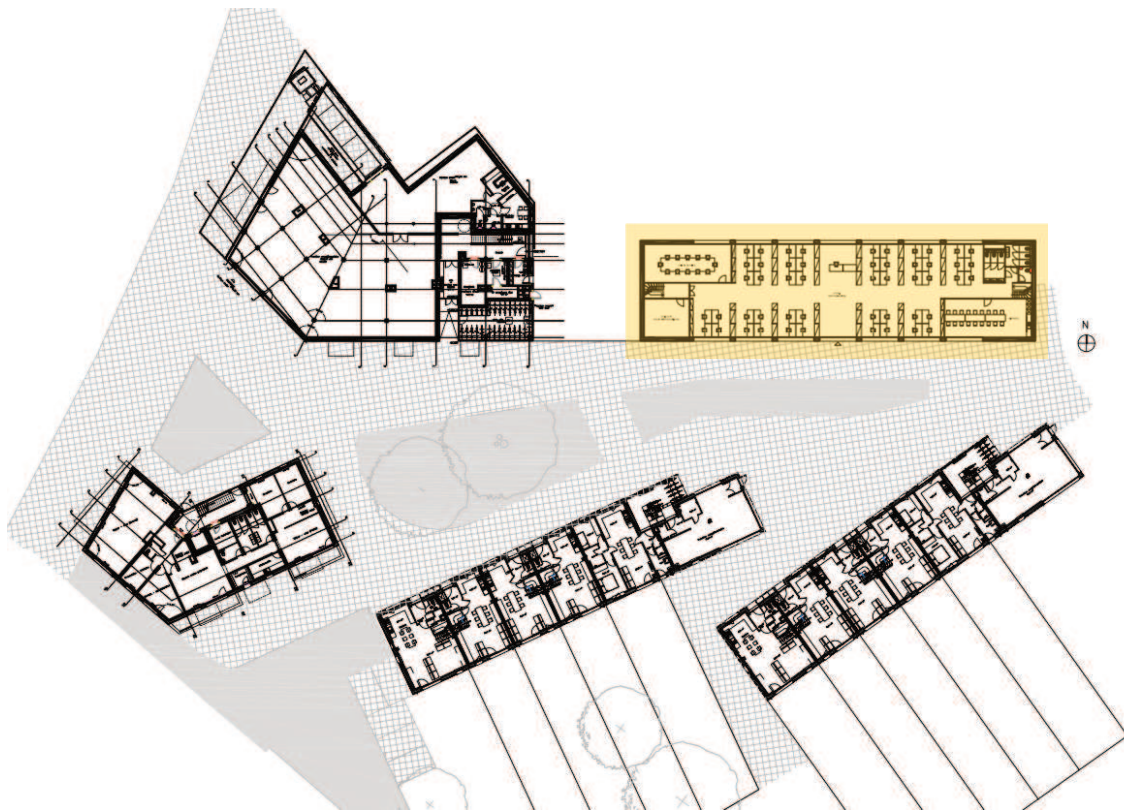
2. Präsentation des Gebäudes

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

Bei dem untersuchten Projekt handelt es sich um ein neues **Bürogebäude** in der Region Lüttich, das als Sitz für ein Unternehmen vorgesehen ist. Das Gebäude hat eine Gesamtnutzfläche von 1.012 m² und ein Bruttovolumen von 3.390 m³.



Das Gebäude weist ein Flachdach mit einer Fläche von 560 m² auf.

Das Gebäude erstreckt sich auf zwei Etagen und umfasst einen Keller außerhalb des geschützten Volumens. Es verfügt über eine Freifläche von +/- 600 m². Auf dem Gelände ist ein Gasanschluss verfügbar.

Im Keller steht ein Technikraum mit einer Fläche von 44 m² und einer Deckenhöhe von 2,5 m zur Verfügung. Im Erdgeschoss + 1 steht ein Technikraum mit einer Fläche von 24 m² und einer Deckenhöhe von 3 m vorrangig für Belüftungszwecke zur Verfügung.

Was die Nutzung betrifft, arbeiten 80 Personen in dem Gebäude. Das Personal ist im Allgemeinen das ganze Jahr über von Montag bis Freitag von 7.30 Uhr bis 17.30 Uhr anwesend.

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

Zusammenfassung der Gebäudedaten	
Typ der Bedachung	Flachdach
Nutzfläche	922 m ²
Dachfläche	560 m ²
Anzahl der Nutzer	80
Gasanschluss verfügbar?	ja
Freifläche	600 m ²
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 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/m²Jahr ermittelt und daraus der Gesamtbedarf extrapoliert werden. Wenn das Gebäude mehrere Verwendungszwecke beinhaltet, wird der Bedarf spezifisch für jeden Verwendungszweck berechnet.

Da die Machbarkeitsstudie zum Zeitpunkt der Ersterklärung 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 Autor der Studie den Elektrizitätsbedarf ausgehend vom häuslichen Stromverbrauch berücksichtigen. Der Autor kann auch 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 Ersterklärung 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 kann diese Werte verwenden und seine Wahl rechtfertigen.

Das Projekt soll die rechtlichen Anforderungen an die Energieeffizienz erfüllen. Die Dämmung beträgt K35 und der durchschnittliche U-Wert der Gebäudehülle beträgt 0,42 W/m²/K. Die Räume werden über eine Lüftungseinheit mit doppeltem Luftstrom von 2.000 m³/h und Wärmerückgewinnung belüftet (Wirkungsgrad EN308 von 75 %). Die Verlustmenge bei 50 Pa je Flächeneinheit beträgt 3 m³/h/m²/s und die Trägheits-Standardwerte der GEE-Software werden beibehalten. Der **Heizbedarf**, der so mit der GEE-Software v5.0.5 berechnet wurde, beläuft sich auf **49,460 kWh/Jahr**.

Angesichts der Verwendung der Räumlichkeiten ist der Bedarf an Sanitärwarmwasser gering. Das Gebäude verfügt über eine Dusche für die Angestellten, die jedoch kaum genutzt wird. Da kein besonderer Bedarf besteht (Dusche, Restaurant), kann der Warmwasserbedarf von 60 °C der Website Energie-Plus zufolge auf

rund 2 l/Person/Tag geschätzt werden⁴. Der **jährliche Nettobedarf an Sanitärwarmwasser** beläuft sich daher auf **3.400 kWh/Jahr**.

Der **Kühlungsbedarf** wird mit der GEE-Software v5.0.5 berechnet und beläuft sich auf **31.300 kWh/Jahr**.

Der **Stromverbrauch** ist im Wesentlichen auf die Beleuchtung, Hilfsgeräte und den Verbrauch der Bürogeräte zurückzuführen. Der Verbrauch für die Beleuchtung und Hilfsgeräte wird der GEE-Berechnung entnommen. Der Verbrauch der Bürogeräte wird nach den Daten von Energy Star⁵ mit folgenden Hypothesen geschätzt:

- 1 PC/Person;
- 41 W/PC in Betrieb, 2,3 W/PC im Ruhemodus und 1,4 W/PC im ausgeschalteten Zustand;
- 20 W/Bildschirm in Betrieb, 0,4 W im Ruhemodus und 0,3 W im ausgeschalteten Zustand;
- 8 h/Tag in Betrieb, 2 h/Tag im Ruhemodus und 14 h/Tag in Betrieb;
- 250 kWh/Server;
- 4 Farblaserdrucker mit 115 kWh/Jahr/Drucker.

Die Außenbeleuchtung wird vernachlässigt. Der Aufzug arbeitet mit geringer Geschwindigkeit (1 m/s) und nach Energieklasse A.

Gesamtstromverbrauch [kWh/Jahr]	
Beleuchtung	10.000
Haustechnik	8.000
Bürotechnik	11.100
Aufzug	500
Gesamtbetrag	29.600

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

		Nettobedarf [kWh/Jahr]	Nettobedarf pro Flächeneinheit [kWh/Jahr.m ²]	Quelle
Einheit GEE 1	Heizung	49.460	50	GEE
	Sanitärwarmwasser	3.400	1	Energie-plus
	Kühlung	31.300	34	GEE
	Elektrizität	29.600	32	GEE und eigene Berechnung

⁴ <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11314>

⁵ http://www.eu-energystar.org/fr/fr_008.shtml



Die nachstehenden Daten wurden durch Codierung von „Standardleuchten“ für die Beleuchtung ermittelt (Typ TL ohne Reglersystem). Wenn die Standardbeleuchtung in der GEE-Berechnung beibehalten wird, erhöht sich der Verbrauch für die Beleuchtung bis auf 43.350 kWh/Jahr, d.h., ein Wert, der fast fünfmal so hoch ist wie die eigene Schätzung. Der Standardverbrauch wird unter Berücksichtigung einer installierten Leistung von 20 W/m² während 2.350 h/Jahr berechnet. Der entsprechende E-Wert beträgt 96 und liegt über dem gesetzlichen Grenzwert.

Es ist demnach wenig wahrscheinlich, dass ein Bürogebäude die Vorschriften erfüllt, wenn die Standardbeleuchtungswerte beibehalten werden, da sich der Primärenergieverbrauch entsprechend auf die Bilanz auswirkt.

Wenn die Standardwerte zur Berechnung des Beleuchtungsbedarfs beibehalten werden und der gesetzliche E-Wert dennoch erreicht wird, muss sich der Autor dieser ungünstigen Auswirkung bewusst sein, die zu falschen Schlussfolgerungen führen kann.



Um die Energie sinnvoll zu nutzen, können andere Maßnahmen umgesetzt werden.

Wenn bereits Bemühungen unternommen wurden, um den Heiz- und Kühlungsbedarf so weit wie möglich zu verringern, sollten auch besondere Anstrengungen unternommen werden, um den **Stromverbrauch** zu senken. Zu diesem Zweck stehen mehrere Maßnahmen zur Verfügung:

- Auswahl von energieeffizienter Bürotechnik;
- Auswahl einer energieeffizienten Beleuchtung in Verbindung mit einer leistungsstarken Regelung: Zielwert von 2 W/(m²/100 Lux), Anwesenheits- oder Abwesenheitsdetektoren, Zeitschaltuhren, Flächenaufteilung und/oder Dimmen der Beleuchtung je nach natürlicher Beleuchtung;
- Auswahl einer energieeffizienten Lüftungsanlage in Verbindung mit einer leistungsstarken Regelung: Begrenzung der Druckverluste, Variation des Frischluftstroms je nach Nutzung (CO₂- oder Anwesenheitssonde) usw.
-

4. Referenztechnologie

Um das Interesse von erneuerbare Energien nutzenden 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. Falls eine mechanische Kälteerzeugung vorgesehen ist, wird eine Kältemaschine in Betracht gezogen.

Als Vergleichspunkt für die verschiedenen alternativen Technologien legen wir einen Basisfall fest, der einer herkömmlichen, wenig kostspieligen Installation entspricht. Bei diesem Projekt ist auf dem Gelände ein Gasanschluss verfügbar. Als Technologie wurde daher ein Erdgas-Brennwertkessel mit Anbindung an Gebläsekonvektoren gewählt, die auch zum Verteilen der Kälte verwendet werden. Der Brennwertkessel ist eine sehr wettbewerbsfähige Lösung und eine Technologie, die gut beherrscht wird. In Verbindung mit einem leistungsstarken Regler ist ein modulierender Brennwertkessel eine sehr energieeffiziente Technologie zur Wärmeerzeugung. Bei dem Gebäude besteht auch Kühlungsbedarf, die Kühlung erfolgt über eine Luft/Wasser-Kältemaschine.



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.

Der Autor kann ein Erzeugungsverfahren sofort ausschließen, wenn er der Meinung ist, dass es nicht realistisch ist. Im vorliegenden Beispielfall entscheidet sich der Autor für eine dezentrale Warmwasserbereitung und begründet seine Wahl.

Angeichts des geringen Bedarfs an Sanitärwarmwasser und damit sich außerhalb der Heizperiode die Produktionsleistung des Brennwertkessels nicht verschlechtert, ziehen wir eine Warmwasserbereitung mittels kleiner elektrischer Boiler in der Nähe der Entnahmestellen (unter der Spüle und neben der Dusche) in Betracht. Im Basisfall gibt es keine Stromerzeugung.

4.1. Technische Eigenschaften und Integration

Für jede in Betracht gezogene Technologie wird eine Vordimensionierung durchgeführt und die technische Integration untersucht.

In der Datenbank, die von der Region 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 ist jedoch angebracht, keine zu konservativen Wirkungsgrade zu verwenden, um keine Technologie auszuschließen.

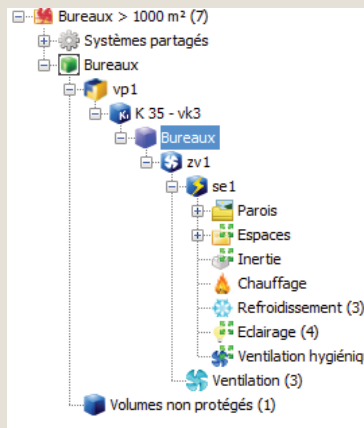
Der Platz im Untergeschoss reicht zur Installation des Heizkessels und des Kühlaggregats aus, das mit einer Außeneinheit (z. B. auf dem Dach) verbunden ist.

Leistung		
Heizung	50 kW	GEE
Kühlung	30 kW	Dynamische Simulation einer Fläche mit der Software IES VE - Module Apache load für einen heißen Tag





Die von der GEE-Software berechnete Heizleistung entspricht nicht der gemäß NBN B 62-003 (1986) oder NBN EN 12831 (2003) genormten Dimensionierung. Als erster Näherungswert kann aber der im Dimensionierungsformular für Heizkessel angegebene Wert verwendet werden.



4.2. Energetische und ökologische Aspekte

Ein Heizkessel mit richtiger Regelung kann hohe Wirkungsgrade erzielen und damit den Endverbrauch verringern. Der Vorteil des Luft/Wasser-Systems für die Kälteerzeugung ist die einfache Installation und die Möglichkeit das System zur „Free-chilling“-Belüftung zu verwenden.

Die Abgabe erfolgt über Gebläsekonvektoren, einem zum Heizen und Klimatisieren von Räumen gängigen System.

Die in den Energieumwandlungsprozessen verwendeten verschiedenen Wirkungsgrade sind je nach verwendetem Material entweder Standardwerte oder Werte, die von der GEE-Software stammen.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Brennwertkessel	Wirkungsgrad Brennwert	90 %
Verteilung und Lagerung		
Heizung (ohne Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	95 %
SWW (Speicherung)	Wirkungsgrad	90 %
Abgabe und Regelung		
Heizung (Gebläsekonvektor)	Wirkungsgrad	89 %
Kühlung		
Erzeugung (saisonal)	SEER	5
Verteilung - Abgabe - Regelung	Wirkungsgrad	82 %

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. Heizkörper). 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. Bei allen in Betracht gezogenen Heizungs- und Kühlungsanlagen müssen beispielsweise Heizkörper oder eine Regelung installiert werden. Bei der Basislösung entsprechen die berücksichtigten Investitionskosten in der Regel den Kosten der Maschine.

Die Abschreibung der Investition (Verringerung der Steuer) wird bei der Finanzberechnung berücksichtigt, wird jedoch nicht als Subvention angesehen.

Heizung		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	8.500,00 €	Gas-Brennwertkessel mit Kamin
Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	170,00 €	2 % der Investitionskosten
Subventionen: Gas-Brennwertkessel oder Warmlufterzeuger	450,00 €	Portal-Website der wallonischen Region
Sanitärwarmwasser		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	500,00 €	Dezentrale Boiler
Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	-	-
Zuschüsse	-	-
Kühlung		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	20.000,00 €	Luft/Wasser-Aggregat mit Pufferspeicher
Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	800,00 €	4 % der Investitionskosten des Geräts
Zuschüsse	-	-



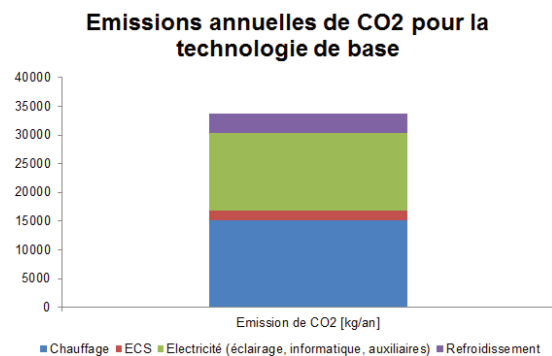
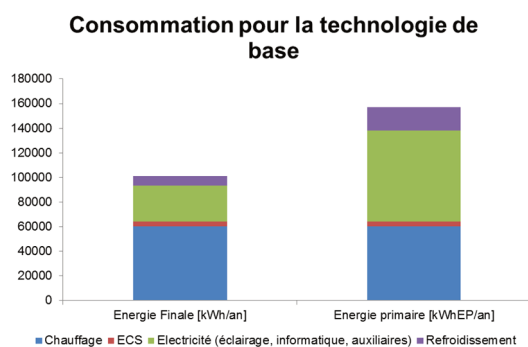
Die Studie COZEB⁶ liefert für viele Systeme Zahlen zu den Kosten für Wartung und Betrieb in % der Investitionskosten.

4.4. Ergebnisse

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

Ergebnisse PE und CO ₂	
PE [kWh/Jahr]	162.000
CO ₂ [kg/Jahr]	33.800

Der Primärenergieverbrauch wird wie in der nachstehenden Grafik aufgeteilt. Die jährlichen Gesamtemissionen von CO₂ werden in etwa auf dieselbe Weise aufgeteilt.



⁶ Studie CO-ZEB, „Optimalkosten“, 2013, Ergebnis der Studie zur Bestimmung des optimalen Energieeffizienzlevels 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 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 Anforderungsprofil übereinstimmen.

Es muss mindestens die Relevanz der folgenden Lösungen untersucht werden (obligatorische Technologien):

- 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 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. Manche Technologien wie die Wärmepumpe können zu mehreren Zwecken gebraucht werden.

	Varianten	Relevante Technologie?	Technische Rechtfertigung
Heizung	Biomasse	Ja	Möglichkeit der Lagerung des Brennstoffes, ausreichende Fläche des Technikraums, lokale Brennstoff-Versorgungsquelle
	Wärmepumpe Sole/Wasser	Ja	Ausreichende Fläche vorhanden, Kombination mit Geokühlung oder im Umschaltbetrieb für die Kühlung der Räume
	Wärmepumpe Luft/Wasser	Ja	Reversible Wärmepumpe, die auch den Kältebedarf decken kann
	Fernwärmenetz	Nein	Kein Fernwärmenetz in der Nähe
	Kraft-Wärme-Kopplung	Nein	Ausreichende Fläche für Technikraum, jedoch geringer Bedarf an Sanitärwarmwasser. Bei der Prüfung dieser Lösung sollte von einem Betrieb ausschließlich während der Heizperiode ausgegangen werden, und die Rentabilität sollte geprüft werden. Die Technologie mit Stirling-Motor wird nicht in Betracht gezogen, da der Heizkessel nur während der Heizperiode in Betrieb ist. Der Bedarf ist im Jahresverlauf nicht ausreichend konstant.
SWW	Thermische Solarmodule	Nein	Keine Cafeteria im Gebäude (nur eine Kantine), Duschen sind vorhanden, werden jedoch laut Bauherr kaum genutzt, daher geringer SWW-Bedarf.
	Wärmepumpe	Nein	Ebenso
Kühlung	Passive Kühlung	Ja	Sonnenschutzvorrichtungen und Fensteröffnungen/oder Hybridsystem mit Gitter
	Wärmepumpe Sole/Wasser	Ja	Wärmepumpe mit Geokühlung oder im Umschaltbetrieb
	Wärmepumpe Luft-Luft	Ja	Reversible Wärmepumpe
Elektrizität	Fotovoltaische Solarmodule	Ja	Große Flachdachfläche ohne Schatten

5.2. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - Heizung

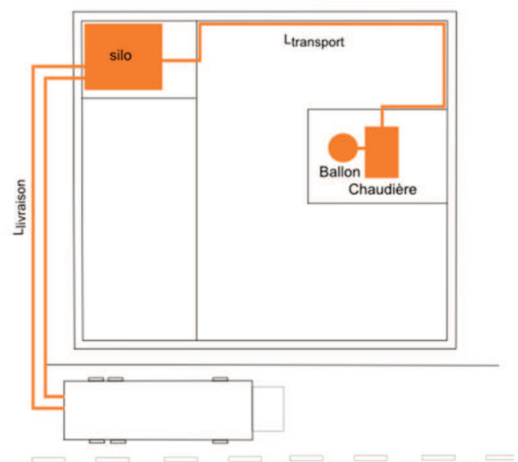
5.2.1. Biomasse

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 zu der Technologie nicht fortgesetzt werden, sondern muss der Ausschluss dieser Technologie argumentativ begründet werden.

Unabhängig vom Brennstoff sind die **Lagerung** und die **Beförderung des Brennstoffs** die größte Schwierigkeit. 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 der erforderliche Raum in Nähe des Heizkessels sowie ein Mittel zum 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. 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 reaktiveres System zur Wärmezeugung parallel hinzugeschaltet (in der Regel ein Gas- oder Heizölkessel), oder es wird ein großzügig dimensionierter Pufferspeicher an das System angeschlossen.

Der Heizkessel muss ferner mit Verbrennungsluft versorgt werden. Der Heizkessel muss daher in einen **belüfteten Raum** gestellt 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 **31 m³** Pellets pro Jahr. Bei **2 Befüllungen pro Jahr** muss ein **Lagervolumen von 15.3 m³** vorgesehen werden.

Dimensionierung des Lagerraums	
Daten	
Verbrauch [kWh/Jahr]	93.300
Dichte [kg/m ³]	650
Heizwert [kWh/kg]	4.7
Heizwert [kWh/m ³]	3.051
Ergebnisse (erforderliches Volumen [m ³])	
Bei 1 Befüllung/Jahr	31
Bei 2 Befüllungen/Jahr	15
Bei 3 Befüllungen/Jahr	10

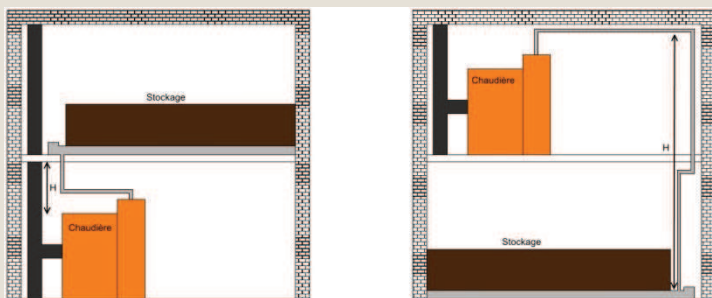
Technische Merkmale	
Pellets-Heizkessel	50 kW
Puffervolumen	1.100 Liter
Lagervolumen für Granulate [m ³]	15,3 m ³ / 2 Befüllungen

Der im Untergeschoss des Gebäudes vorgesehene Heizraum (44 m² - Deckenhöhe 2,5 m) ermöglicht die Installation eines Heizkessels und eventuell sogar die Lagerung der Pellets in einem Silo oder Vorratsraum. 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 betrachtete Projekt werden nur die CO₂-Emissionen berücksichtigt. Die anderen Emissionen werden nicht beziffert. 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 (Durchschnittswert Hersteller)	Wirkungsgrad Brennwert	77 %
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher) - GEE-Wert	Wirkungsgrad	92 %
Abgabe und Regelung		
Heizung (Gebläsekonvektor) - GEE-Wert	Wirkungsgrad	89 %

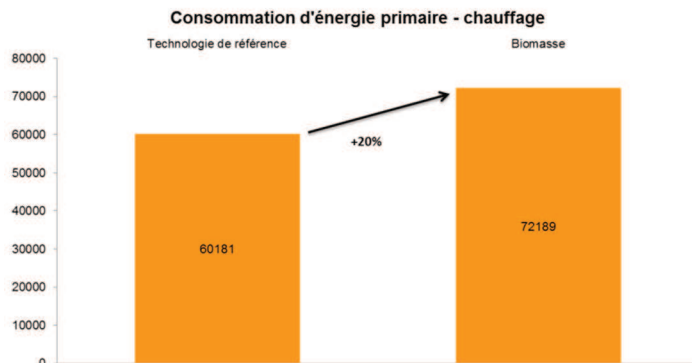
Finanzielle Aspekte

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

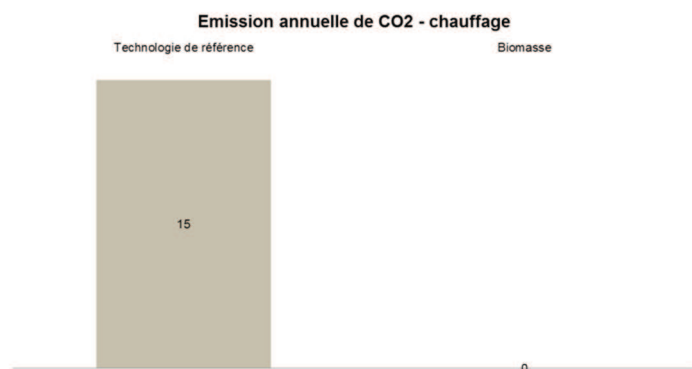
Für diese Studie betrachten wir die folgende Investition. Es werden nur die Mehrkosten angegeben, die durch das für die Technologie benötigte zusätzliche Material entstehen.

Heizung		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	19.000,00 €	Pellets-Heizkessel, Puffervolumen, Silo
Jährliche Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	380,00 €	Wartung des Heizkessels
Subventionen: Biomasse-Heizgerät mit automatischer Zuführung	1750,00 €	Portal-Website der wallonischen Region

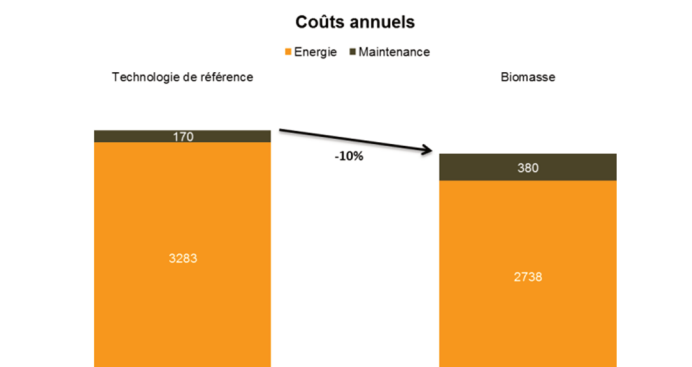
Ergebnisse



Gemäß den Vorschriften bezüglich der zwei Energieträger ist der Umwandlungsfaktor von Biomasse und Gas in Primärenergie derselbe. Die Biomasse-Anlage verbraucht 20 % mehr Primärenergie für Heizung und SWW als der Brennwertkessel, während bei der Pellets-Anlage der Gesamtwirkungsgrad geringer ist.

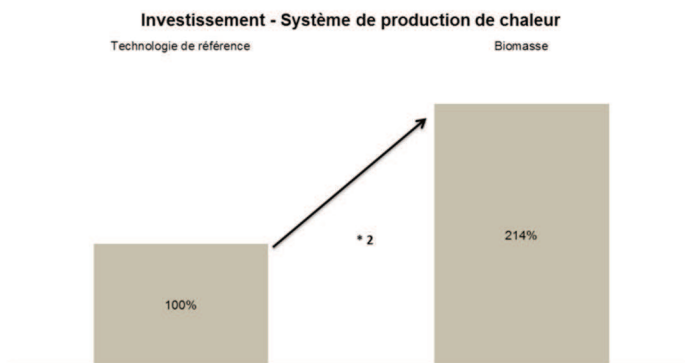


Die Verbrennung von Biomasse wird als CO₂-neutral angesehen.



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

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



Die Anlage ist rund doppelt so teuer.

Berücksichtigt man nur den finanziellen Aspekt beträgt die Amortisationszeit über 35 Jahre. Der Kapitalwert über 25 Jahre beträgt -5.400 €.

5.2.2. Wärmepumpe

Technische Eigenschaften und Integration

Die jährliche Leistungszahl einer Anlage, die Luft als Kältequelle nutzt, ist niedriger als die Leistungszahl einer WP, die Wärme aus dem Boden zieht; allerdings ist auch die erforderliche Investition geringer.

Geothermie

Ein vertikaler Wärmetauscher reicht in eine Tiefe zwischen 50 und 150 m. Die Vorteile einer vertikalen Sonde 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 Wärmepumpe gedeckten Leistung, einer durchschnittlich dem Boden entnommenen Leistung von 50 W/m und einer Betriebszeit von 2.000 Stunden, müssen 10 Sonden mit einer Länge von 100 m installiert werden.

Um einen guten Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten, wird die Nutzung eines Heizwasser-Pufferspeichers wärmstens empfohlen. Seine Kapazität wird je nach der Betriebsdauer festgelegt. Das Speichervolumen beträgt etwa 1.250 Liter.

Die oben angegebenen Werte stammen aus einer Vordimensionierung zwecks Untersuchung der Relevanz der Technologie und müssen in der Projektphase näher bestimmt werden, wenn die Technologie für relevant befunden wird.



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.

Die Leistungen, die dem Boden entnommen werden können, hängen von der Bodenart ab. 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 Lehmböden 20 - 25
- Feuchte Lehmböden 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.

Luft/Wasser-WP

Wir ziehen auch den Fall in Betracht, dass eine reversible Luft/Wasser-Wärmepumpe installiert wird, die einen Betrieb im Heiz- und Kühlmodus ermöglicht. Um den Jahresleistungskoeffizienten zu verbessern, funktioniert die Wärmepumpe nicht bei einer Außentemperatur unter 0 °C und ein Gas-Brennwertkessel wird dem Heizkreis zugeschaltet, um die Wärmepumpe bei Bedingungen unter dieser Temperatur zu ergänzen. Die Wärmepumpe ist so bemessen, dass sie 80 % des Jahresbedarfs deckt. Auf dem Markt gibt es heute hybride Wärmepumpensysteme (Wärmepumpe und Heizkessel in einem Wärmeerzeuger), die eine Optimierung der Ergänzung der Wärmepumpe durch den Heizkessel auf der Grundlage der Betriebsparameter (gewünschte Wassertemperatur, Außentemperatur) und der Kosten der Energieträger (Gas- und Stromkosten) ermöglichen.

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.

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 Nachheiztechnik, der Bodenart, dem Klima, der Nutzung der Wärme usw. abhängt. Nur durch eine dynamische Untersuchung könnte man den 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 ziehen wir in Bezug auf die Wärmeerzeugung und die Geothermie einen saisonalen jährlichen Leistungsfaktor von 4 in Betracht. Bei der Aerothermie ist der saisonale Koeffizient niedriger, aber angesichts der Tatsache, dass die Wärmepumpe bei Minustemperaturen durch einen Heizkessel ergänzt wird, immer noch gut. Außerdem gehen wir davon aus, dass das installierte Wärmeabgabesystem mit einer Niedrigtemperaturverteilung vereinbar ist.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Wärmepumpe Sole/Wasser (vertikale Erdwärmesonde)	SCOP	4
Luft/Wasser-Wärmepumpe	SCOP	3.5
Verteilung (und Lagerung)		
Heizung (mit Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	92 %
Abgabe und Regelung		
Heizung - Gebläsekonvektor	Wirkungsgrad	89 %

Finanzieller Aspekt

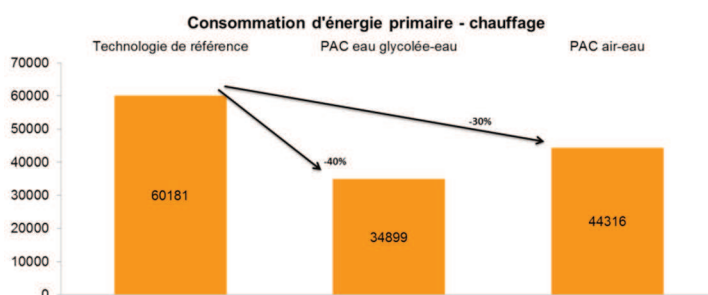
Heizung geothermische WP		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	70.000,00 €	Wärmepumpe, Sonden, Pufferspeicher
Jährliche Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	1400,00 €	2 % der Investitionskosten



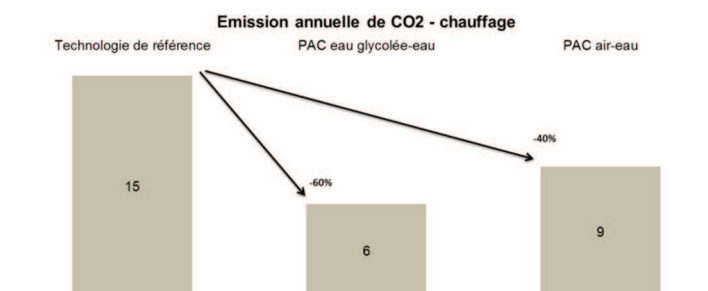
Subventionen: Gas-Brennwertkessel oder Wärmeluftherzeuger	450,00 €	Portal der Wallonischen Region
Heizung WP Luft/Wasser + Brennwertkessel		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	27.900,00 €	Wärmepumpe, Pufferspeicher, Brennwertkessel
Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	740,00 €	3 % der Investitionskosten für die Wärmepumpe und 2 % für den Heizkessel
Subventionen: Gas-Brennwertkessel oder Wärmeluftherzeuger	450,00 €	Portal der Wallonischen Region

Ergebnisse

Es werden nur die Ergebnisse in Bezug auf Primärenergie und CO₂ erläutert. Da die Systeme auch Kälte erzeugen, wird die Kostenanalyse bei der vergleichenden Studie der Varianten durchgeführt.



Betrachtet man nur den Heizmodus ist der Primärenergieverbrauch bei der Sole/Wasser-Wärmepumpe rund 40 % und bei der Luft/Wasser-Wärmepumpe 30 % niedriger.



Die CO₂-Emissionen gehen je nach geplantem Wärmepumpentyp nicht im gleichen Maße zurück. Mit der Sole/Wasser-Wärmepumpe können die CO₂-Emissionen um mehr als 50 % verringert werden.

5.3. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - Kühlung

5.3.1. Passive Kühlung

Technische Eigenschaften und Integration

Um im Sommer angenehme Temperaturen zu gewährleisten und zugleich den Kühlungsbedarf des Gebäudes möglichst einzuschränken oder sogar ganz zu beseitigen, ist es ratsam, einerseits die Wärmezufuhr zu begrenzen und andererseits die Ableitung von Wärme zu begünstigen.

Die **Auftriebslüftung** hat zum Ziel, einen Luftstrom zu schaffen, mit dem die Warmluft im Innern durch frische Außenluft ersetzt wird. Wenn sie über Nacht erfolgt, wird durch eine intensive Lüftung die Masse des

Gebäudes von Energie entlastet. Das Gebäude kann sodann die Energiezufuhr im Laufe des Tages absorbieren, ohne dass es zu einer Überhitzung kommt.

Die Wirksamkeit der Nachtlüftung wird durch die Strömungsmengen, die Außentemperatur und die thermische Masse des Gebäudes beeinflusst. Ein Gebäude mit hoher Speichermasse kann mehr Energie speichern. Diese thermische Masse muss außerdem zugänglich sein. Aus diesem Grund wird von geschlossenen abgehängten Decken und Doppelböden abgeraten. Es gibt jedoch perforierte Systeme, die eine Luftzirkulation in den thermischen Massen (Bodenplatten) ermöglichen.

Damit sie wirksam ist, muss die natürliche Belüftung quer durch das Gebäude verlaufen (Öffnungen an gegenüberliegenden Fassaden und/oder durch das Dach) und es müssen genügend Öffnungen vorhanden sein. Das in Betracht gezogene System muss jedoch das Eindringen von Insekten und das Einsickern von Regen verhindern und Schutz vor Einbrüchen bieten, vor allem im Falle einer Nachtkühlung.

Für das untersuchte Projekt sind externe Sonnenschutzvorrichtungen an der südlichen Fassade vorgesehen (feste Sonnenschutzvorrichtungen im Süden oder Außenrolläden). Um eine intensive natürliche Nachtlüftung zu erhalten, sind Gitter an der Fassade sowie motorbetriebene Oberlichter im Innern vorgesehen, die die Durchlüftung des Gebäudes ermöglichen.

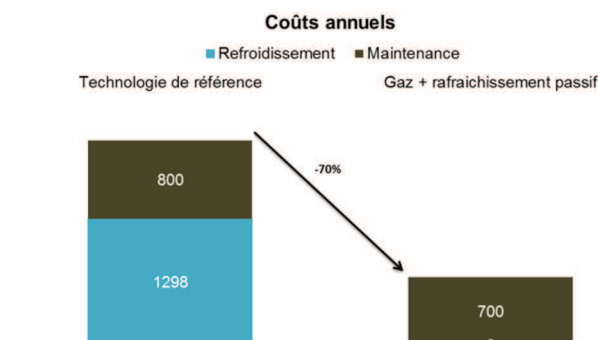
Um eine gute Temperaturregulierung im Sommer zu gewährleisten, sollte diese Lösung anhand einer dynamischen thermischen Simulation untersucht werden, falls sie im weiteren Verlauf des Projekts einbezogen wird.

Finanzieller Aspekt

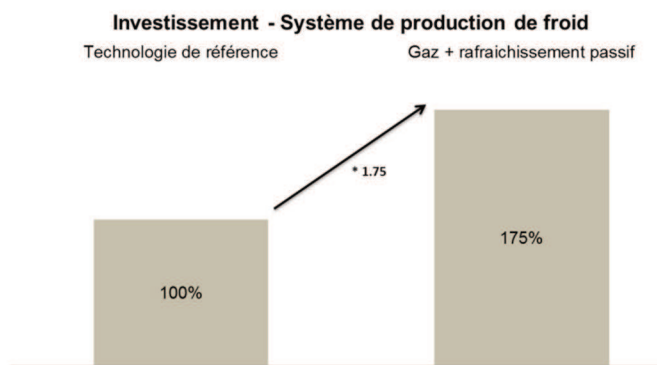
Kühlung		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	35.000,00 €	Externer Sonnenschutz, Gitter an der Fassade und motorbetriebene Oberlichter im Gebäude
Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	700,00 €	Instandhaltung der Motoren für den Sonnenschutz und/oder Gitter und Oberlichter - 2 % des Investitionswertes
Zuschüsse	-	-

Ergebnisse

Die Grafiken zum Primärenergieverbrauch für die Kühlung und zu den CO₂-Emissionen sind nicht dargestellt, da es in diesem Fall keinen berücksichtigten Energieverbrauch gibt.



Die jährlichen Betriebskosten sind im Fall der passiven Kühlung um 70 % niedriger, da nur die Instandhaltung der Motorsysteme berücksichtigt wird.



Die Investitionskosten sind 75 % höher wie bei einer herkömmlichen Kältemaschine.

Der interne Zinsfuß beträgt 8,9 % und der Kapitalwert über 25 Jahre liegt bei 3.260 €.

5.3.2. Wärmepumpe

Einige Wärmepumpen können auch Kälte erzeugen, entweder aktiv oder passiv. Im **aktiven Funktionsmodus** wird die Tatsache genutzt, dass die Pumpe umgekehrt funktionieren kann, so dass sie als Kälteaggregat dient. Im **passiven Funktionsmodus** („Geokühlung“ oder „natürliche Kühlung“) wird das Gebäude gekühlt, ohne das Kälteaggregat zu nutzen. Der einzige Verbrauch ist in diesem Fall derjenige der Umwälzpumpen. Das für die Kühlung verfügbare Fluid hat ungefähr die Temperatur der kalten Quelle (Erdreich oder Außenluft). Die Technik ist sehr interessant, wenn es nur einen begrenzten Kältebedarf gibt. Sie hat auch den Vorteil, das Erdreich wieder mit Energie für den Heizzeitraum aufzuladen.

Technische Eigenschaften und Integration

Diese Aspekte werden im Abschnitt „Heizung“ erörtert.

Energetische und ökologische Aspekte

Kühlung		
Erzeugung (saisonal)		
Wärmepumpe Sole/Wasser (vertikale Erdwärmesonde) - Geokühlung	SEER	20
Wärmepumpe Luft/Wasser - Kühlungsmodus	SEER	3.5
Verteilung, Lagerung, Abgabe und Regelung		
Standardwert	Wirkungsgrad	82 %
Erzeugung (saisonal)		

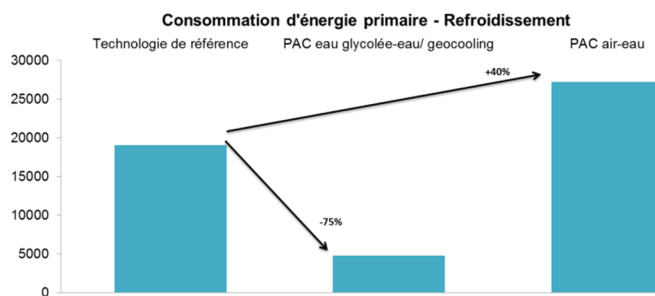
Finanzieller Aspekt

Kühlung geothermische WP		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	70.000,00 €	Wärmepumpe, Sonden, Pufferspeicher Die Investitionskosten müssen auf die Kälte- und Wärmeerzeugung verteilt werden.
Jährliche Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	1400,00 €	2 % der Investitionskosten

Zuschüsse	-	-
Kühlung Luft/Wasser		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	19.000,00 €	Wärmepumpe Die Investitionskosten müssen auf die Kälte- und Wärmeerzeugung verteilt werden.
Jährliche Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.)	570,00 €	3 % der Investitionskosten für die Wärmepumpe
Zuschüsse	-	-

Ergebnisse

Es werden nur die Ergebnisse in Bezug auf Primärenergie und CO₂ erläutert. Da die Systeme auch Kälte erzeugen, wird die Kostenanalyse im Rahmen der vergleichenden Studie der Varianten durchgeführt.



Beim Betrieb mit Geokühlung ist der Primärenergieverbrauch um 75 % niedriger.

Die CO₂-Emissionen variieren im gleichen Verhältnis wie die Primärenergie. Die drei Technologien funktionieren mit Strom. Die Grafik für die CO₂-Emissionen ist nicht dargestellt, da sie das gleiche Profil hat.

Der Primärenergieverbrauch der Luft/Wasser-Wärmepumpe ist höher als im Grundfall, da die Leistung der Wärmepumpe für die Kälteerzeugung nicht „optimiert“ ist.

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 ziehen wir die Installation von polykristallinen Modulen in Betracht. Der Wirkungsgrad dieser Module ist niedriger (150 Wp/m²) als derjenige von monokristallinen Modulen (200 Wp/m²), die Kosten sind jedoch geringer.

Verfügbare Dachflächen

Nr.:	Lage/Ausrichtung	Fläche	Typ der Bedachung	Anmerkungen
1	Hauptdach/Süd	500 m ²	flach	Fläche ohne Schatten verfügbar



Der Stromzähler ist Pflicht, um in den Genuss der Zuschussregelung zu kommen.

Das Ausgleichsprinzip kann nur angewendet werden, wenn die Leistung der Fotovoltaikanlage auf 10 kVA begrenzt ist (Grenzwert für Großanlagen).

Ist die Leistung höher, sollte ein Doppelzähler installiert werden, der es unter Umständen ermöglicht, den erzeugten Überschuss zu einem Preis zu verkaufen, der allerdings weit unter dem Kaufpreis liegt (+/- 1/3 des Kaufpreises). Daher sollte der erzeugte Strom so weit wie möglich für den Eigenbedarf genutzt werden.

Auf einem Flachdach können die Neigung und die Ausrichtung der Kollektoren frei gewählt werden. Die optimale Erzeugung wird mit einer südlichen Ausrichtung und einem Neigungswinkel der Kollektoren von 30 bis 35° im Verhältnis zur Horizontalen erreicht. Um die optische Beeinträchtigung durch die Module zu verringern, wurde jedoch eine Neigung der Module von 15° gewählt.

Wir ziehen 2 Fälle in Betracht:

- Begrenzung der Anlage auf 10 kVA
- Dimensionierung auf der Grundlage der maximal verfügbaren Dachfläche

Fall 1- 10 kVA

Die jährliche **Gesamterzeugung**, die mit dem Tool *PVGis* geschätzt wurde, beträgt **8.920 kWh**. Die berücksichtigten Berechnungshypothesen und die Ergebnisse sind nachstehend dargestellt. Die jährliche spezifische Erzeugung beträgt ca. 890 kWh/kWp/Jahr. Die Modulfläche beträgt rund 64 m², d. h. 40 Module. Die auf dem Dach verfügbare Fläche ist für die Installation dieser Module mehr als ausreichend.

PV estimation

Radiation mensuelle

Radiation journalière

PV hors-réseau

Performance du système PV connecté au réseau
 Base de données de radiation: Climate-SAF PVGIS [\[Qu'est-ce que c'est?\]](#)
 Technologie PV: Silicium cristallin
 Puissance PV crête installée 10 kWp
 Pertes estimées du système [0;100] 14 %
Options montage fixé:
 Position de montage: Position libre
 Incl. [0;90] 15 deg. ☐ Optimiser l'inclinaison
 Azimut [-180;180] 0 deg. ☐ Optimiser aussi l'azimut
 (Angle d'azimut de -180 à 180, Est=90, Sud=0)
Options du système de poursuite:
☐ Axe vertical Incl. [0;90] 0 deg. ☐ Optimiser
☐ Axe incliné Incl. [0;90] 0 deg. ☐ Optimiser
☐ Suiveur solaire à 2 axes
 Fichier de l'horizon: Choisissez un fichier Aucun fichier choisi
Formats de sortie
☒ Montrer graphiques ☐ Montrer l'horizon
☒ Site web ☐ Fichier texte ☐ PDF

Calculer [\[aide\]](#)

re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

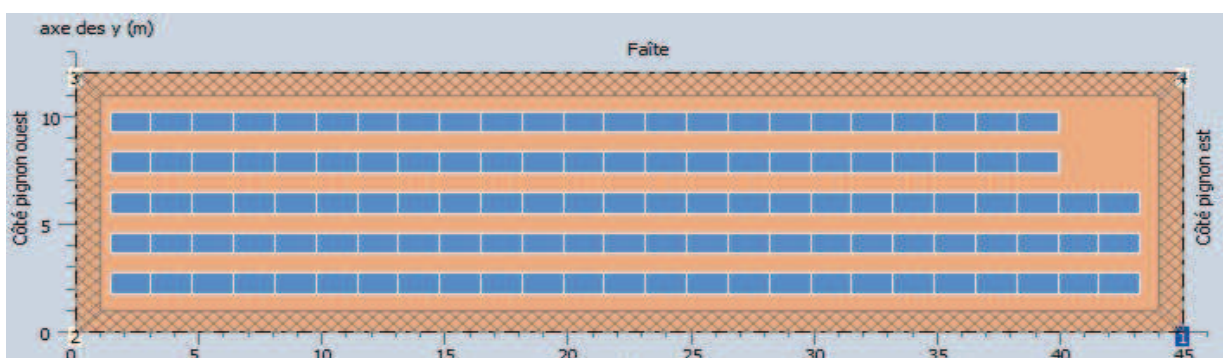
Performance du système PV connecté au réseau
 REMARQUE: avant d'employer ces calculs pour sérieux but, vous devriez lire [\[ce\]](#)
PVGIS estimation de la production d'électricité solaire
 Site: 50°37'57" Nord, 5°34'46" Est, Élévation: 69 m.s.n.m.
 Base de données de radiation solaire employée: PVGIS-CMSAF
 Puissance nominale du système PV: 10.0 kW (silicium cristallin)
 Pertes estimées à cause de la température et des niveaux faibles de rayonnement: 7.4% (employons température ambiante locale)
 Pertes estimées à cause des effets de la réflectance angulaire: 3.5%
 D'autres pertes (câble, onduleur, etc.): 14.0%
 Pertes conjuguées du système PV: 23.2%

Système fixe: inclinaison=15°, orientation=0°				
Mois	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	8.05	249	0.99	30.6
Fev	13.00	363	1.59	44.6
Mar	23.30	723	2.91	90.2
Avr	36.00	1080	4.62	139
Mai	38.60	1200	5.09	158
Juin	41.80	1250	5.60	168
Jui	38.00	1180	5.14	159
Aug	33.50	1040	4.48	139
Sep	27.10	812	3.55	107
Oct	17.80	551	2.27	70.3
Nov	9.45	284	1.18	35.4
Dec	6.32	196	0.78	24.3
Moyenne annuelle	24.5	744	3.19	97.1
Total pour l'année		8920		1160

E_d : Production d'électricité journalière moyenne par le système défini (kWh)
 E_m : Production d'électricité mensuelle moyenne par le système défini (kWh)
 H_d : Moyenne journalière de la somme de l'irradiation globale par mètre carré reçue par les modules du système défini (kWh m⁻²)
 H_m : Somme moyenne de l'irradiation globale par mètre carré reçue par les modules du système défini (kWh m⁻²)

Fall 2 - maximale Fläche

Es wurde eine zweite Simulation durchgeführt, bei der die maximale Fläche der Kollektoren ohne Schatten auf dem Dach berücksichtigt wurde. Für eine Kollektorfläche von 200 m², d. h. rund 120 Kollektoren, die wie nachstehend dargestellt verteilt sind, beträgt die entsprechende Leistung 24 kWp.



Die Berechnung wurde mit der Software *PV-Sol Expert 5.0* durchgeführt. Die Ergebnisse sind nachstehend dargestellt. Die pro Jahr erzeugte Energie beträgt 20.650 kWh_{el}. Im Grundfall muss auch der durch die Kälteerzeugung verbrauchte Strom berücksichtigt werden. Um grüne Zertifikate nutzen zu können, müssen mindestens 60 % des erzeugten Stroms für den Eigenbedarf verbraucht werden. In diesem Fall wird von 80 % Eigenverbrauch ausgegangen.

Energetische Merkmale <i>PV-Sol</i> [kWh]	
Erzeugte FV-Energie	20.643
Wiederverkaufte Energie	4.123
Direkte Nutzung der FV-Energie	16.520
Zur Deckung des Verbrauchs gekauft Energie	13.080

Finanzieller Aspekt

Fotovoltaik		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	2,0 € / Wp 2,1 € / Wp	24 kWp 10 kWp
Jährliche Instandhaltungskosten (zzgl. MwSt.) Fall 2	500,00 €	Kontrolle durch eine für Großanlagen zugelassene Einrichtung
Zuschüsse Qualiwatt Grüne Zertifikate	999,00 €/Jahr 3 GB-MWh 65,00 € während 10 Jahren	Jährliche Obergrenze während 5 Jahren Wir ziehen im europäischen Wirtschaftsraum hergestellte Module in Betracht.

Ergebnisse

In **Fall 1** kann durch die Stromerzeugung 22.300 kWh/Jahr Primärenergie eingespart werden, d. h. fast 14 % des jährlichen Gesamtverbrauchs des Gebäudes an Primärenergie. Dadurch können auch 4 t CO₂-Emissionen vermieden werden, d. h. rund 12 % der durch den Betrieb des Gebäudes verursachten CO₂-Gesamtemissionen.

Die Einsparung ist proportional zur Anzahl der installierten Module. In **Fall 2** beträgt die Primärenergieeinsparung im Vergleich zum Grundfall 34 % und die CO₂-Einsparung beläuft sich auf 30 %.

Fall	Einsparung an Primärenergie kWh/Jahr	Vermiedene CO ₂ - Emissionen kg/Jahr	Dynamische Amortisierungszeit [Jahr]	NPV 25 Jahre [€]	IRK [%]
------	--	---	--	------------------------	---------



1	22.300	4.100	14	7.302	8
2	51.600	9.400	9	20.285	9

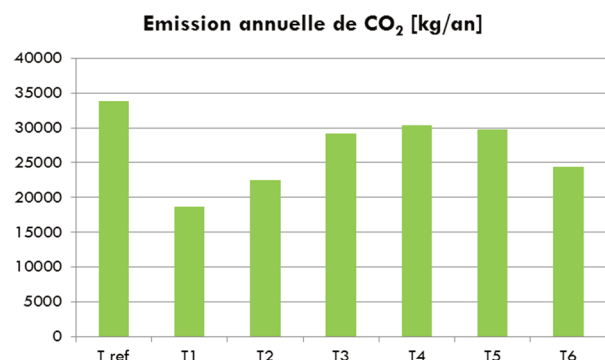
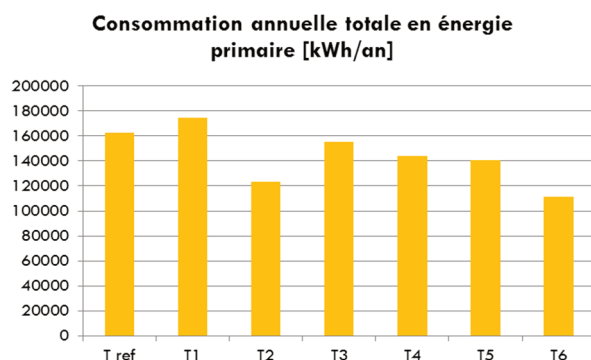
In **Fall 1** beträgt die Amortisationszeit 14 Jahre, da die Obergrenze der Quali watt-Prämie für eine Anlage von 3 kWp berechnet ist. Bei einer Anlage dieser Größe reicht die Prämie für eine Amortisationszeit von unter 10 Jahren nicht aus. Im zweiten Fall liegt der Eigenverbrauch bei 80 %. Der Wiederverkaufspreis des Stroms bei einer Wiedereinspeisung in das Netz ist um das Vierfache niedriger als der Kaufpreis, dennoch liegt die dynamische Amortisationszeit unter 10 Jahren.

6. Vergleichende Studie

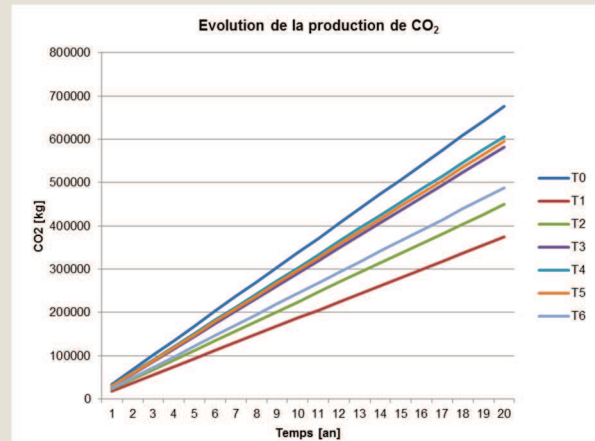
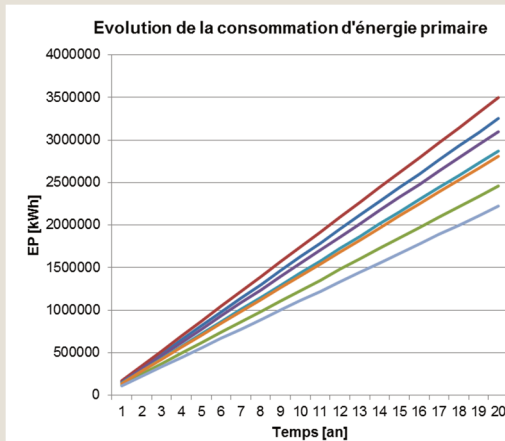
In diesem Kapitel werden die verschiedenen nachstehend vorgeschlagenen Kombinationen kurz verglichen:

- **T0 - Herkömmliche Grundtechnologie:** Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat;
- **T1 - Biomasse:** Pellets-Heizkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat;
- **T2 - Sole/Wasser-Wärmepumpe:** Erdwärmepumpe mit vertikalem Wärmetauscher und Kühlung mittels Geokühlung;
- **T3 - Reversible Luft/Wasser-Wärmepumpe;**
- **T4 - Gas + passive Kühlung:** Gas-Brennwertkessel und Überhitzungsregelung über eine intensive Nachtlüftung und Sonnenschutzvorrichtungen;
- **T5 - Referenztechnologie + FV (Fall 1):** Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat + 10 kWp Fotovoltaikmodule;
- **T6 - Referenztechnologie + FV (Fall 2):** Gas-Brennwertkessel und Luft/Wasser-Kühlaggregat + 24.2 kWp Fotovoltaikmodule;

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 Heizung, Warmwasserbereitung und Strom (häuslicher Bereich und Hilfsgeräte, Pumpen und Ventilatoren) mit den Werten der herkömmlichen Grundtechnologie 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, 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) für die beiden Kriterien entspricht Werten, die für ein Gebäude mit hoher Energieeffizienz festgelegt wurden, das heißt ein Primärenergieverbrauch von 45,55 kWh/m²/Jahr⁷ und CO₂-Emissionen von 10 kg CO₂/m²/Jahr. Der obere Referenzwert stellt den Wert dar, der im „Idealfall“ erreicht würde.

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

- E_{prim,inf}: 176 kWh/m²/Jahr**, dies entspricht dem Gesamtverbrauch an Primärenergie für die Technologie T0 (herkömmliche Grundtechnologie);
PE_{Ziel}: 76 kWh/m²/Jahr, d. h. eine Verringerung um 57 % im Vergleich zum unteren Referenzwert. Dieser Wert ergibt sich, indem der Wert des Primärenergieverbrauchs für Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Hilfsstrom für die Pumpen und Ventilatoren (abzüglich einer möglichen Stromerzeugung) für ein hoch energieeffizientes Tertiärgebäude, d. h. 45 kWh/m²/Jahr, zu dem von diesem Indikator nicht berücksichtigten Stromverbrauch (anderer Verbrauch als Beleuchtung und Hilfsgeräte), d. h. 31 kWh/m²/Jahr, hinzugezählt wird.
- CO_{2unt.Ref.}: 37 kg CO₂/m²/Jahr**, dies entspricht den CO₂-Emissionen für die Technologie T1;
CO_{2oberer}: 15,6 kg CO₂/m²/Jahr. Dieser Wert ergibt sich, indem der Wert der CO₂-Emissionen für ein hoch energieeffizientes Tertiärgebäude, d. h. 10 kg/m²/Jahr, zu den von diesem Indikator nicht berücksichtigten Emissionen (Bürotechnik, SWW usw.), d. h. 5,6 kg CO₂/Jahr/m² hinzugezählt wird.

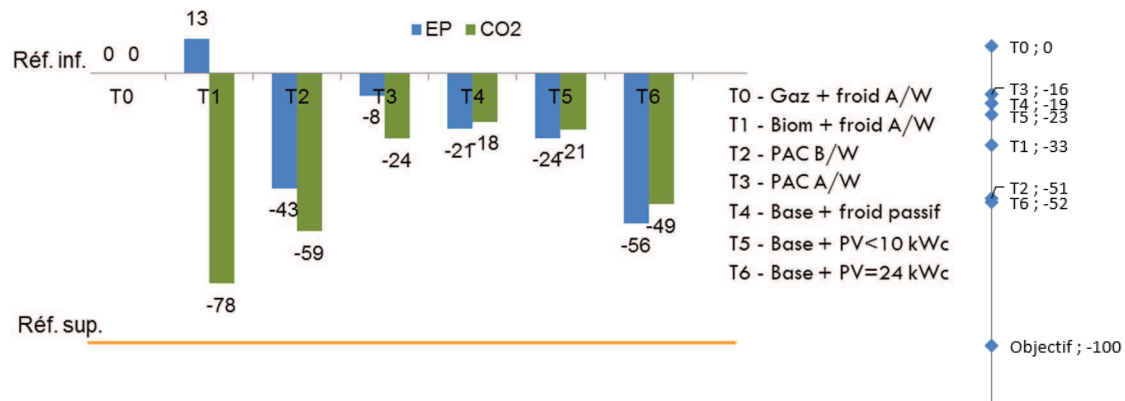


*Es kann zweckmäßig sein, **zusätzliche Indikatoren** wie die Lebensdauer der Systeme oder auch einen Indikator zur Evaluierung anderer ökologischer Risiken, die mit den Technologien in Zusammenhang stehen, einzuführen. Wir denken da beispielsweise an die ökologischen Auswirkungen der Verbrennung von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

⁷ 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>

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) beziffert. 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.



Die Analyse dieser Ergebnisse ist wie folgt:

- Die Biomasse-Technologie (T1) weist aufgrund der für die Primärenergie und CO₂-Emissionen verwendeten Umwandlungsfaktoren ein anderes Profil auf. Die CO₂-Emissionen sind sehr gering, da die Wärme über eine Biomasseanlage erzeugt wird, der Primärenergieverbrauch ist jedoch im Vergleich zum Grundfall höher. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass der Biomasse-Heizkessel einen niedrigeren Wirkungsgrad als der Gas-Brennwertkessel hat, der Endenergieverbrauch ist bei der Biomasse somit höher. Berücksichtigt man, dass der Umwandlungsfaktor in Primärenergie in den GEE-Vorschriften für Gas und Biomasse gleich ist, ist der Primärenergieverbrauch bei der Biomasse höher.
- Die Technologien T2 und T6 führen zu ähnlichen Ergebnissen. Die gleiche Tendenz gilt für die Technologien T3, T4 und T5.

Man kann die „Qualität“ jedes dieser untersuchten Szenarien bewerten, indem eine gewichtete Summe der Werte der vorstehenden Indikatoren ermittelt wird. Die Gewichtung dieser Indikatoren ist dieselbe (0,5), wenn davon ausgegangen wird, dass eine Verringerung des Primärenergieverbrauchs genauso wichtig wie die Verringerung der CO₂-Emissionen ist.



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 enthält die Kosten für jede Technologie, über 10 Jahre kumuliert und unter Berücksichtigung der Anfangsinvestition und möglicher Prämien.

Über 10 Jahre kumulierte jährliche Energiekosten (einschließlich)	Jährliche Kosten Wartungskosten über 10 Jahre (einschließlich)	Investition [€]	Gewinne (grüne Zertifikate, Qualiwart und Abschreibung der Investition)	Insgesamt [€]
---	--	-----------------	---	---------------

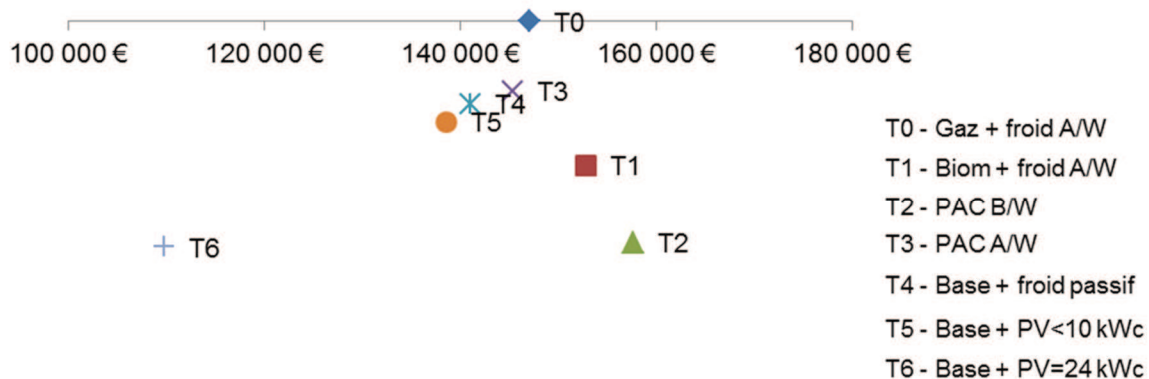
	Energie- Indexierung) [€]	Inflation) [€]		[€]	
T0	117.659 €	10.621 €	28.550 €	-9.704 €	147.100 €
T1	111.420 €	16.425 €	37.750 €	-12.831 €	152.800 €
T2	96.109 €	15.330 €	70.000 €	-23.793 €	157.600 €
T3	119.075 €	8.103 €	27.550 €	-9.364 €	145.400 €
T4	102.775 €	9.526 €	43.550 €	-14.803 €	141.000 €
T5	100.250 €	10.621 €	49.550 €	-21.837 €	138.600 €
T6	83.523 €	16.096 €	76.600 €	-66.304 €	109.900 €

Die verschiedenen Szenarien werden im Verhältnis zur Qualität des vorgeschlagenen Szenarios (nahe dem oberen Referenzwert) und bezüglich der Kosten auf 10 Jahre miteinander verglichen. Die Fälle **T2** und **T6** weisen eine ähnliche Qualität auf, Szenario T2 ist jedoch 50 % teurer als T6.

Die Technologien **T3** und **T4** kosten ungefähr gleich viel wie die Referenztechnologie und sind von vergleichbarer Qualität. Es müssten andere Indikatoren als die verwendeten eingeführt werden, um genauer zwischen diesen Technologien unterscheiden zu können.

Berücksichtigt man die Investitionskosten nicht, ist die Technologie **T6** (Referenztechnologie mit hoher fotovoltaischer Erzeugung) am interessantesten, da sie über 10 Jahre kostengünstiger und qualitativ hochwertiger ist, denn diese Technologie kommt dem erwünschten Zielwert am nächsten, d. h. einer Verringerung der CO₂-Emissionen und des Primärenergieverbrauchs.

Coût de la technologie sur 10 ans [€]



Objectif





Die einzelnen Fälle können anhand der über einen Zeitraum von 20 Jahren berechneten aktuellen Nettowerte verglichen 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 über 20 Jahre dar (unter Berücksichtigung eines Abzinsungssatzes von 4,5 %).

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

