

TECHNISCHE, ÖKOLOGISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE MACHBARKEITSSTUDIE

FALL 4: GEBÄUDE VON MEHR ALS 1.000 M² - ANGESCHLOSSENER KOMPLEX

Machbarkeitsstudie für alternative 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



Projekt

Musterfallstudie 4 - Gebäude von mehr als 1.000 m² mit verschiedenen Nutzungszwecken

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. Die Rechtsvorschriften zur Gebäudeenergieeffizienz (GEE) in Wallonien gehen auf die am 16. Dezember 2002 verabschiedete europäische Richtlinie 2002/91/EG zurück. Diese Richtlinie macht endgültig Schluss mit der sorglosen Energienutzung im Bauwesen und zielt darauf ab, den Verbrauch durch eine verbesserte Energieeffizienz zu verringern. Sie enthält die wichtigsten Leitlinien der von den Mitgliedstaaten umzusetzenden Maßnahmen, die sich in erster Linie auf die Methode zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz, die Erstellung eines Energieausweises für Gebäude und die Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz beziehen. Die Richtlinie sieht ferner die Durchführung einer **technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Machbarkeitsstudie** für die Bewertung der Systeme zur Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern für neue Gebäude von mehr als 1.000 m² vor. Die wallonische Regierung hat am 19. April 2007 das Rahmendekret zur Umsetzung dieser Richtlinie und am 17. April 2008 den Anwendungserlass zur Festlegung der Berechnungsmethode und der Anforderungen, Zulassungen und anzuwendenden Sanktionen in Bezug auf die Gesamtenergieeffizienz und das Innenraumklima von Gebäuden verabschiedet.

Nach der Richtlinie 2002/91/EG wurden noch zwei weitere europäische Richtlinien zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verabschiedet. Die europäische Richtlinie 2009/28/EG verpflichtet die Mitgliedstaaten, **erneuerbare Energien in neue Gebäude zu integrieren**. Die Richtlinie 2010/31/EU (RECAST) vom 19. Mai 2010 sieht ihrerseits vor, dass für alle Neubauten in den Mitgliedstaaten eine **Machbarkeitsstudie durchzuführen ist und zwar unabhängig von deren 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 Energien nutzende Energieerzeugungssysteme zu fördern**. Planer von Neubauten können dadurch unter anderem dazu angeregt werden, den ökologischen Fußabdruck der Gebäude durch Verwendung derartiger Technologien zu verringern (Primärenergieverbrauch, CO₂-Emissionen). Das neue wallonische Dekret ermöglicht es über die entsprechenden Erlasse, die Anforderungen an den Inhalt der Machbarkeitsstudien zu verschärfen. Das Dekret sieht unter anderem vor, dass bei Gebäuden von weniger als 1.000 m² die Machbarkeitsstudien von den GEE-Verantwortlichen durchgeführt werden können. 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 zugelassenen Experten für Machbarkeitsstudien durchgeführt.

Das vorliegende Dokument stellt einen beispielhaften Aufbau einer Machbarkeitsstudie mit den einzelnen Abschnitten für einen Gebäudekomplex mit verschiedenen Nutzungszwecken vor. Die Studie wird für ein fiktives Projekt durchgeführt. Als Hilfe für den Autor der Machbarkeitsstudie enthält die Studie Kommentare und Leitlinien. Der Autor kann dieses Beispiel nutzen, ist aber unabhängig davon 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). Das Konzept zielt nicht darauf ab, die Dimensionierungsberechnungen durch ein spezialisiertes Planungsbüro 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 zum einen die Auswahl der angemessenen Systeme und zum anderen eine objektive Beratung, die dem Bauherren dabei hilft, eine geeignete Wahl zu treffen, die seinen Erwartungen, Anforderungen und Überlegungen entspricht. Der Autor muss die Ergebnisse seiner Studie objektiv darlegen, damit der Bauherr eine Wahl treffen kann. Zwei verschiedene Bauherren bedeutet potenziell die Auswahl von zwei unterschiedlichen Systemen.





Das Dokument ist wie folgt aufgebaut:

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



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

EINFÜHRUNG UND METHODOLOGIE

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

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

Wenn ein Antrag auf Städtebaugenehmigung die Errichtung eines neuen Gebäudes¹ zum Gegenstand hat, legt die GEE-erklärungsspflichtige 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 Szenarien der Nutzung dieser Systeme untersucht, um die am besten geeigneten Mittel zur Deckung des Bedarfs zu ermitteln und eine optimale technische, ökologische und wirtschaftliche Bilanz zu erzielen.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie wird **für einen an das Wärmeverbundnetz angeschlossenen Gebäudekomplex** gemäß Dekret (DRW/20131128/AG, Art. 15, §3) durchgeführt. Dezentrale Technologien pro Einheit oder semizentrale Technologien pro Gebäude, werden in diesem Dokument nicht vorgestellt. Auch sie wurden untersucht, da ihre Prüfung vorgeschrieben ist (thermische Solarmodule, fotovoltaische Solarmodule, Wärmepumpe), die Ergebnisse werden jedoch in den Dokumenten vorgestellt, die sich auf die jeweiligen Gebäude beziehen.



Artikel 15 des Dekrets (DRW/20131128/AG, Art.15, §3) legt fest, dass „die technische ökologische und wirtschaftliche Machbarkeitsstudie durchgeführt werden kann: 1. für ein Einzelgebäude; 2. für eine Gruppe ähnlicher Gebäude; 3. wenn für alle Gebäude, die angeschlossen sind oder angeschlossen werden sollen, ein städtisches oder gemeinschaftlich genutztes Wärme- oder Kühlsystem vorhanden ist.“

Wir stellen in diesem Dokument nicht die Ergebnisse zu dezentralen Erzeugungslösungen vor (z. B. Fotovoltaik). Diese Technologien sind laut den Vorschriften jedoch zu untersuchen. Der Leser kann als Beispiel die drei anderen verfügbaren Studien für die Gebäude B, C und für Einzelwohnungen heranziehen. Es besteht die Möglichkeit, nur eine Machbarkeitsstudie für vergleichbare Gebäude durchzuführen. Ausgehend von der Konfiguration des nachstehend vorgestellten Standorts kann der Autor eine Studie für Gebäude A, eine Studie für Gebäude B, eine Studie für Gebäude C und eine Studie für die

¹ Und für damit gleichgestellte Gebäude.

Komplexe D und E vorlegen. In den beiden letztgenannten Fällen kann die Studie für jeweils vergleichbare Wohnungen durchgeführt werden, die Ergebnisse werden dann extrapoliert. Da die Räume für freie Berufe nahezu identisch sind, kann die Studie auf der Grundlage nur einer Einheit durchgeführt werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

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

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

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

Bei dem untersuchten Projekt handelt es sich um einen neuen Gebäudekomplex in der Region Lüttich mit einer Gesamtfläche von 5.210 m², der Folgendes umfasst:

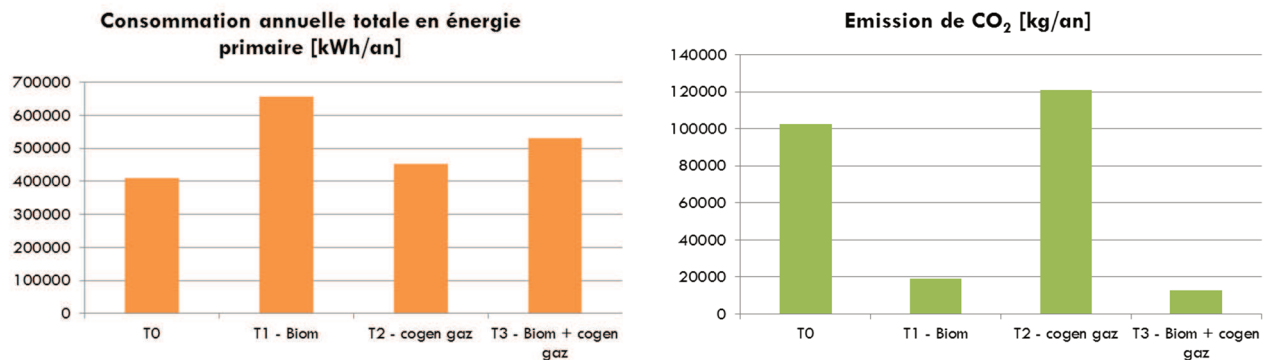
- ein neues Gebäude mit drei Obergeschossen und Erdgeschoss, in dem sich ein Laden und 14 auf die Stockwerke verteilte Wohnungen befinden (Gebäude A).
- ein Bürogebäude (Gebäude B).
- ein neues Gebäude mit zwei Obergeschossen und Erdgeschoss. Dieses Gebäude umfasst eine Krippe und 8 auf die Stockwerke verteilte Mietwohnungen (Gebäude C).
- zwei Komplexe mit 7 Wohnungen mit einem Raum für freie Berufe (Gebäude D und E).

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Umsetzung einer gemeinsamen Lösung zur Energieerzeugung und die Zweckmäßigkeit eines Mikro-Fernwärmenetzes. Die dezentrale Energieerzeugung (thermische und fotovoltaische Solaranlage) werden in den Machbarkeitsstudien untersucht, die pro Gebäude erstellt werden. Der Heiz- und SWW-Bedarf macht den größten Anteil aus, da es sich bei den Einheiten im Wesentlichen um Wohnungen handelt. Die zentrale Kälteerzeugung wird daher nicht untersucht.

Die folgenden Technologien wurden untersucht:

- **T0 - Herkömmliche Grundtechnologie:** Zentrale Gas-Brennwertkessel pro Gebäude und pro Wohneinheit bei Einzelwohnungen
- **T1 - Biomasse:** Zentraler Hackschnitzelkessel
- **T2 - Kraft-Wärme-Kopplung:** Heizkessel und Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas
- **T3 – Kombination von T1 und T2:** Hackschnitzelkessel, Heizkessel und Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas

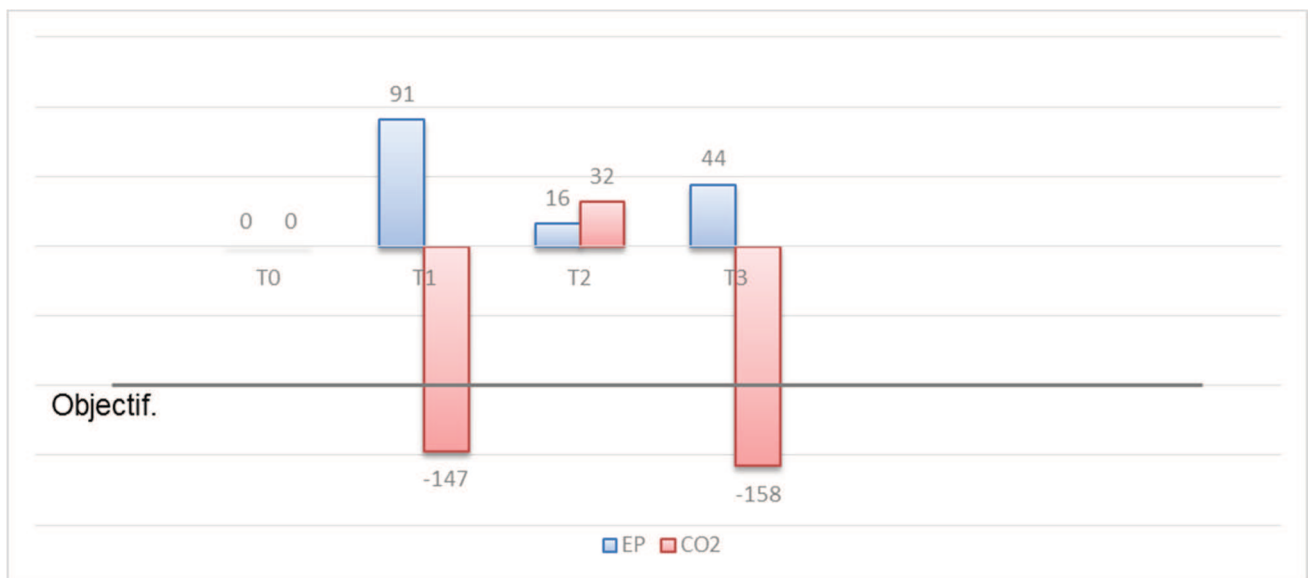
Für jedes betrachtete Szenario wurden der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen für Heizung und Warmwasserbereitung mit den Werten der Referenztechnologie verglichen.



Der Vergleich wird auf einer nicht-finanziellen Grundlage durchgeführt, um die „Qualität“ der Maßnahme zu bewerten. Zu diesem Zweck werden zwei Indikatoren berücksichtigt: der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen. Für diese Kriterien wurde eine Werteskala definiert:

- Der untere (oder neutrale) Referenzwert ist der Wert, der der Referenztechnologie T0 entspricht, die die zu erreichende Mindestleistung definiert, das heißt den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen in dem Fall, dass kein System mit erneuerbaren Energien installiert wird.
- Der obere Referenzwert für die beiden Kriterien entspricht Werten, die für Gebäude mit hoher Energieeffizienz festgelegt wurden, das heißt ein Primärenergieverbrauch von 45 kWh/m²/Jahr für Heizung und SWW und CO₂-Emissionen von 10 kg CO₂/m²/Jahr. Der obere Referenzwert stellt einen „Zielwert“ dar, der im „Idealfall“ erreicht würde.

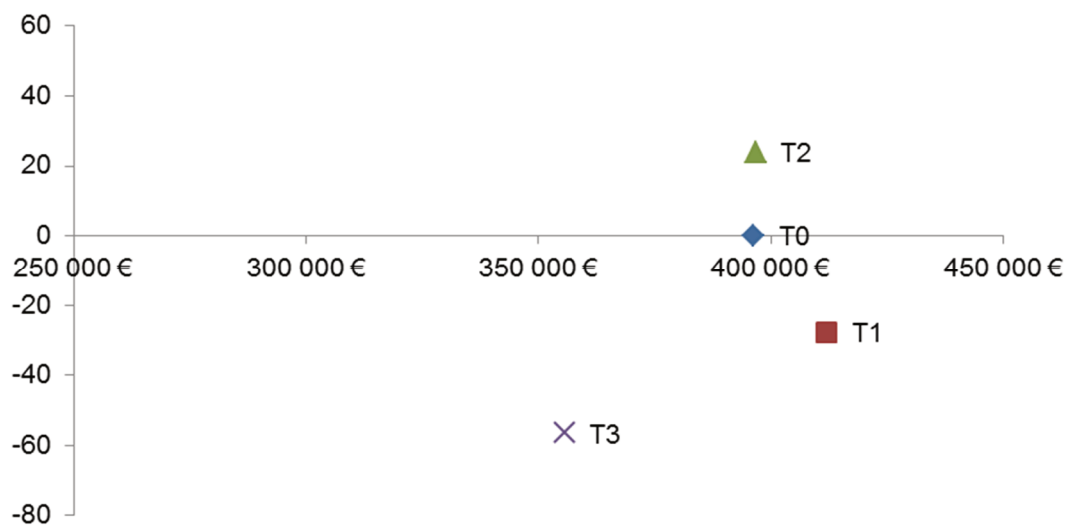
Die **Verringerung** von Primärenergie und CO₂-Emissionen durch die alternativen Technologien wurde auf dieser Werteskala beziffert und sind in der nachstehenden Grafik dargestellt.



In Anbetracht dessen, dass der untere Referenzwert der für alle Technologien „akzeptable“ Mindestwert ist, kann in keinem der untersuchten Fälle das PE-Kriterium für die Heizung und das SWW erfüllt werden. Dies ist auf die unterschiedlichen Wirkungsgrade der Anlagen in zentralen und dezentralen Systemen zurückzuführen. Da die Leistung der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage nicht sehr hoch ist, ist kein Ausgleich möglich. Es müsste eine leistungstärkere Kraft-Wärme-Kopplungsanlage installiert und sichergestellt werden, dass der erzeugte Strom tatsächlich vor Ort verbraucht wird. Was das CO₂-Kriterium anbelangt, kann mit der Biomasse-Technologie der Zielwert von 50 % übertroffen werden.

Geht man davon aus, dass eine Verringerung des Primärenergieverbrauchs genauso wichtig wie die Verringerung der CO₂-Emissionen ist, so kann man die „Qualität“ jedes der betrachteten Szenarien bewerten, indem man eine gewichtete Summe der Werte der vorstehenden Indikatoren berechnet (50 % PE und 50 % CO₂). Sieht man von der Tatsache ab, dass der Primärenergieverbrauch höher ist, weisen die Biomasse-Technologien in diesem Fall eine bessere Qualität auf.

Die folgende Grafik stellt die Qualität der PE- und CO₂-Verringerung abhängig von den über 10 Jahre kumulierten Kosten für jede der Technologien dar.



Dabei zeigt sich der Vorteil, den die Konzepte **T1** und **T3** bieten, deren Qualität hauptsächlich in Bezug auf die CO₂-Verringerung besser ist. Die über 10 Jahre kumulierten Kosten von **T3** sind niedriger als die Kosten der Grundtechnologie. Das Szenario Biomasse und Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas ist am rentabelsten.

DETAILLIERTER BERICHT

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

1. Zusammenfassende Tabelle der Hypothesen

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

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

Wirtschaftliche Daten			
		Einheit	Wert
Preis der Brennstoffe	Gas (einschließlich Gebühr)	€ zzgl. MwSt./kWh oberer Heizwert	0,055
	Strom (Kauf - einschließlich Gebühr)	€ zzgl. MwSt./kWh	0,17
	Strom (Verkauf ohne Ausgleich)	€ zzgl. MwSt./kWh	0,04
	Hackschnitzel (einschließlich Lieferung, max. 30 km)	€ zzgl. MwSt./kWh unterer Heizwert	0,03
	Erhöhung des Energiepreises	%/Jahr	3
Finanzielle Parameter	Abzinsungssatz	%/Jahr	4,5
Zuschüsse ²	Im Einzelfall je nach den in Betracht gezogenen Technologien aufgeführt.		

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



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. Angesichts der vielfältigen Möglichkeiten ist es schwierig, die allgemeinen Auswirkungen der Subventionen zu analysieren und alle angebotenen Möglichkeiten im Detail zu bewerten. Wir stützen uns daher auf die Lösung, die uns am wahrscheinlichsten erscheint.

Energetische Daten			
		Einheit	Wert
PE-Umwandlungsfaktor ³	Gas	kWh _{PE} /kWh _{Efin} (oberer Heizwert)	1
	Heizöl	kWh _{PE} /kWh _{Efin} (oberer Heizwert)	1
	Hackschnitzel	kWh _{PE} /kWh _{Efin} (oberer Heizwert)	1
	Strom	kWh _{PE} /kWh _{Efin}	2,5
Wirkungsgrade der Systeme	Im Einzelfall je nach den in Betracht gezogenen Technologien aufgeführt.		
Ökologische Daten			
		Einheit	Wert
CO ₂ -Umwandlungsfaktor ²	Gas	kg CO ₂ /kWh	0,251
	Heizöl	kg CO ₂ /kWh	0,306
	Hackschnitzel	kg CO ₂ /kWh	0
	Strom	kg CO ₂ /kWh	0,456



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 (Rentabilität, Amortisierungsdauer usw.) gewählten Berechnungsmethode müssen die verwendeten Hypothesen angegeben werden: Laufzeit des Darlehens, Zinssatz, Abzinsungsfaktor, Amortisierungszeit, Steuersatz usw.

Die verwendeten Umwandlungsfaktoren sind die gesetzlichen Faktoren, die in der GEE festgelegt sind.

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.

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



Zunächst 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 dies Auswirkungen auf den globalen Wirkungsgrad haben. Dieser Wirkungsgrad wird daher pro Technologie angegeben.

2. Projektbeschreibung

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

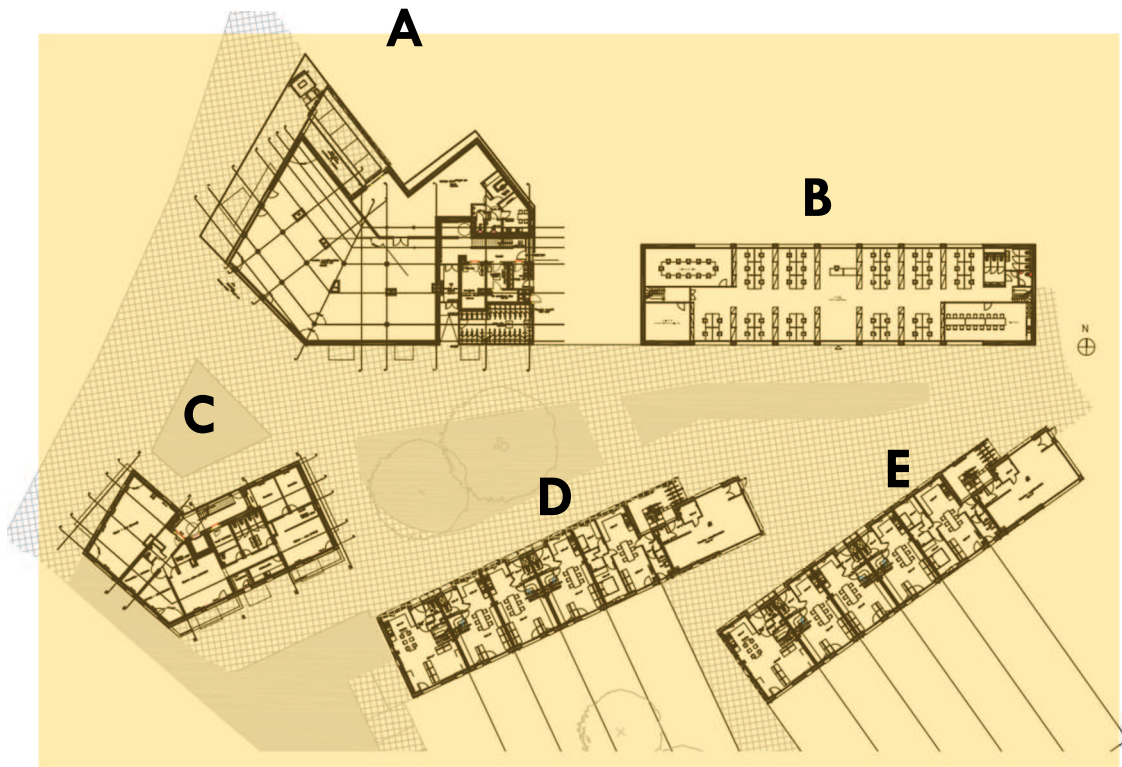
Er gibt alle sachdienlichen Informationen an, beispielsweise die Anzahl an GEE-Einheiten und deren Zweckbestimmung, die Bauart, die Ausrichtung, die Nettofläche nach Verwendung oder Nutzung und sonstige Kennzahlen (Anzahl Betten, Bewohner, Schüler, Öffnungszeiten usw.). Die für die Durchführung der Studie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

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

Bei dem untersuchten Projekt handelt es sich um einen neuen Gebäudekomplex in der Region Lüttich mit einer Gesamtfläche von 5.210 m², der Folgendes umfasst:

- A. ein neues Gebäude mit drei Obergeschossen und Erdgeschoss, in dem sich ein Laden und 14 auf die Stockwerke verteilte Wohnungen befinden. Die Gesamtnutzfläche beträgt 1.480 m² und das Bruttovolumen 5.926 m³.
- B. ein neues Bürogebäude, das einem Unternehmen als Geschäftssitz dienen soll, mit einer Gesamtnutzfläche von 1.012 m² und einem Bruttovolumen von 3.390 m³.
- C. ein neues Gebäude mit zwei Obergeschossen und Erdgeschoss. Dieses Gebäude umfasst eine Krippe und 8 auf die Stockwerke verteilte Mietwohnungen. Die Gesamtnutzfläche beträgt 822 m² und das Bruttovolumen 3.171 m³.
- D. ein neues Gebäude mit einem Obergeschoss und Erdgeschoss, in dem sich 7 Wohnungen und ein Raum für freie Berufe befinden. Die Gesamtnutzfläche beträgt 948 m² und das Bruttovolumen 3.850 m³.
- E. ein neues Gebäude mit einem Obergeschoss und Erdgeschoss, in dem sich 7 Wohnungen und ein Raum für freie Berufe befinden. Die Gesamtnutzfläche beträgt 948 m² und das Bruttovolumen 3.850 m³.

Bei den für die Studie verwendeten Plänen handelt es sich um die im Anhang aufgeführten Pläne der Städtebaugenehmigung.



Die Hypothesen bezüglich der Nutzung der Tertiärräume der Gebäude sind wie folgt:

- A.** Der Laden im Erdgeschoss wird von 12 Personen von Montag bis Samstag von 9.00 Uhr bis 18.00 Uhr genutzt.
- B.** 80 Personen arbeiten am Standort und das Personal ist von Montag bis Freitag von 7.30 Uhr bis 17.30 Uhr anwesend.
- C.** Die Krippe ist von Montag bis Freitag von 7.30 Uhr bis 17.30 Uhr geöffnet und beherbergt bis zu 15 Kinder.
- D.** Der Raum für freie Berufe wird von Montag bis Freitag von 9.00 Uhr bis 18.00 Uhr von 3 Personen genutzt.
- E.** Der Raum für freie Berufe wird von Montag bis Freitag von 9.00 Uhr bis 18.00 Uhr von 3 Personen genutzt.

Jedes Gebäude verfügt über einen Technikraum von unterschiedlicher Größe. Der Bauherr ist im Übrigen offen für die Lösung, dass das Wärmeerzeugungssystem in einem unterirdischen Raum als Blockanlage zentral untergebracht wird.

Der Standort ist an das Gasverteilungsnetz angeschlossen.

3. Energiebedarf des Gebäudes

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

Der Bedarf wird in kWh/Jahr und in kWh/m²/Jahr angegeben. Die genutzte Fläche ist die Nutzfläche 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/m²/Jahr ermittelt werden und daraus kann der Gesamtbedarf extrapoliert werden. Wenn das Gebäude mehrere Nutzungszwecke beinhaltet, wird der Bedarf eigens für jeden Nutzungszweck berechnet.

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

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

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

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

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

Das Projekt ist darauf ausgelegt, die gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf die Energieeffizienz zu erfüllen. Die Räume werden über Lüftungsanlagen oder Lüftungsaggregate mit doppeltem Luftstrom und Wärmerückgewinnung belüftet (Wirkungsgrad EN308 von 75 %). Die Verlustmenge bei 50 Pa je Flächeneinheit beträgt 3 m³/h/m² und die Trägheits-Standardwerte der GEE-Software werden beibehalten.

Für die „Wohnungs-“ und „Büroeinheiten“ wurde der Wärmebedarf mit der GEE-Software V5.0.5 berechnet. Für die Einheiten „Krippe“ und „Laden“ wurde die Berechnung mit der PHPP-Software durchgeführt. Der auf diese Weise für alle Gebäude berechnete **Gesamtheizbedarf** beläuft sich auf **187.000 kWh/Jahr**. Die Einzelheiten pro Einheit sind in der nachstehenden zusammenfassenden Tabelle aufgeführt.

Der Bedarf an Sanitärwarmwasser hängt von der Nutzung der Räume ab. Für die Wohnungen wird von einer Menge von 60 l von 45 °C pro Person und für die Krippe von 30 l/Kind/Tag von 60 °C ausgegangen. Für die Büros und den Laden kann der Warmwasserbedarf zu 60 °C der Website Energie-Plus zufolge auf rund 2 l/Person/Tag geschätzt werden⁴. Der **jährliche Nettogesamtbedarf an Sanitärwarmwasser** beläuft sich daher auf **92.000 kWh/Jahr**.

Der **Kühlungsbedarf** wird in diesem Teil der Studie nicht berücksichtigt. Die Kälteerzeugung wird pro Gebäude dezentral analysiert.

Auch die Lösungen im Hinblick auf dezentrale Stromerzeugungsanlagen werden nicht berücksichtigt. Die Nutzung von Strom, der durch eine mögliche Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird, wird im entsprechenden Kapitel behandelt.

Der **Nettowärmebedarf** des Standorts ist in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Gebäude	Einheit	Wärmebedarf	SWW-Bedarf
		kWh/Jahr	kWh/Jahr
A	Laden	30.780	0
	Wohnung 1	2.031	2.667
	Wohnung 2	2.127	2.667
	Wohnung 3	1.816	2.667
	Wohnung 4	1.410	1.778
	Wohnung 5	1.410	1.778
	Wohnung 6	2.079	2.667
	Wohnung 7	1.984	2.667
	Wohnung 8	884	1.778
	Wohnung 9	1.338	1.778
	Wohnung 10	2.270	2.667
	Wohnung 11	1.721	1.778
	Wohnung 12	4.498	3.557
	Wohnung 13	3.898	2.667
	Wohnung 14	4.498	2.667
B	Büros	49.460	3.400
C	Krippe	13.030	9.552
	Wohnung 1	2.122	2.674

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

	Wohnung 2	1.610	1.783
	Wohnung 3	1.508	2.674
	Wohnung 4	2.589	2.674
	Wohnung 5	3.481	2.674
	Wohnung 6	2.496	1.783
	Wohnung 7	2.998	2.674
	Wohnung 8	3.339	2.674
	Gemeinsame Flächen	0	0
D	Raum für freie Berufe	3.872	0
	Wohnung 1	6.200	4.460
	Wohnung 2	4.181	3.557
	Wohnung 3	4.181	3.557
	Wohnung 4	4.181	3.557
	Wohnung 5	2.489	2.667
	Wohnung 6	2.489	2.667
	Wohnung 7	3.315	1.778
	Gemeinsame Flächen		
E	Raum für freie Berufe	3.872	0
	Wohnung 1	6.200	4.460
	Wohnung 2	4.181	3.557
	Wohnung 3	4.181	3.557
	Wohnung 4	4.181	3.557
	Wohnung 5	2.489	2.667
	Wohnung 6	2.489	2.667
	Wohnung 7	3.315	1.778

Insgesamt	Gebäude A	62.744	34.295
	Gebäude B	49.460	3.400
	Gebäude C	13.030	9.552
	Gebäude D	30.909	22.370

	Gebäude E	30.909	22.370
	INSGESAMT	187.052	91.987

4. Referenztechnologie

Um den Nutzen von erneuerbare Energien nutzenden Lösungen zu bewerten, vergleicht der Autor diese mit einer geplanten Technologie, in der Regel mit einem Gas- oder Ölheizkessel für Heizung und Warmwasserbereitung ohne Erzeugung von Strom durch eine Fotovoltaikanlage oder Kraft-Wärme-Kopplung. Falls eine mechanische Kälteerzeugung vorgesehen ist, wird eine Kältemaschine in Betracht gezogen.

4.1. Zentrale oder individuelle Wärmeerzeugung

Vor- und Nachteile dieser Erzeugungsarten sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt:

Vorteile	Nachteile
<i>Zentrale Erzeugung für einen Standort</i>	
Geringe Anschaffungs-, Installations- und Wartungskosten; Einfache Wartung; Geringer Raumbedarf; Einfache Lagerhaltung des Brennstoffs (gegebenenfalls); Zahlreiche Brennstoffe und Kraft-Wärme-Kopplung möglich; Hohe Zuverlässigkeit; Niedrigere Leistung im Vergleich zur Summe der bei der dezentralen Erzeugung installierten Leistungen (Flächenwirkung); Rauchgasbehandlung möglich.	Komplexere Verteilung des Verbrauchs; Große Verluste pro Verteilung; Sicherungssystem notwendig, falls das Haupterzeugungssystem ausfällt.
<i>Zentrale Erzeugung pro Gebäude</i>	
Gleiche Vorteile wie bei dem zentralen System	Gleiche Nachteile wie bei dem zentralen System am Standort, allerdings in

am Standort, allerdings in geringerem Umfang; Geringe Verluste pro Verteilung im Vergleich zum zentralen System am Standort; Im Falle einer Störung ist nur ein Gebäude betroffen.	geringerem Umfang;
<i>Dezentrale Erzeugung</i>	
Geringe Verteilungsverluste	Zuleitung des Brennstoffs und Ableitung der Rauchgase für jedes Appartement oder jede Gruppe von Appartements erforderlich Anschaffung, Installation und Wartung eines Erzeugungssystems pro Wohnung oder Gebäude erforderlich Beschränkte Auswahl möglicher Brennstoffe Kurze Betriebszyklen: Verringerung der Produktionsleistung und der Lebensdauer des Heizkessels Überdimensionierte installierte Leistung Geringe Zuverlässigkeit

Der Bauherr möchte die Techniken so weit wie möglich zentralisieren und ein Mikro-Fernwärmeverteilungsnetz einrichten. Um einen Vergleichswert für die verschiedenen alternativen Technologien festzulegen, definieren wir einen Grundfall mit einer herkömmlichen und wenig kostspieligen Anlage, die ohne besonderen Aufwand installiert werden kann. Für dieses Projekt steht ein Gasanschluss vor Ort zur Verfügung. Die Vergleichstechnologie umfasst einen Gas-Brennwertkessel pro Gebäude (oder Wohnung im Fall von Einzelwohnungen), der pro Gebäude an Heizkörper angebunden ist.



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.

Das Sanitärwarmwasser wird über Teilspeicherheizung in Speicherbehältern pro Gebäude erzeugt, mit Ausnahme der Büroräume, wo eine elektrische Speicherheizung in der Nähe der Entnahmestellen vorgesehen ist. Dieser SWW-Bedarf wird nicht berücksichtigt.



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 getrennte Warmwasserbereitung für die Tertiärräume und begründet seine Wahl.

4.2. Technische Eigenschaften und Integration

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

Im Untergeschoss oder in den Technikräumen ist ausreichend Platz für die Installation der Heizkessel in jedem Gebäude vorhanden. Die Leistungswerte wurden, soweit dies möglich war, mit der GEE-Software v5.0.5 ermittelt⁵. Diese Leistung wird für die SWW-Erzeugung in den Mehrfamilienhäusern erhöht, um einen möglichen gleichzeitigen Bedarf decken zu können. Für die Nutzungsarten „Krippe“ und „Laden“ wird die Heizleistung der PHPP-Berechnung entnommen. Die verschiedenen Einheiten der Gebäude A und C sind mit einzelnen Unteranlagen ausgestattet (die die sofortige SWW-Erzeugung ermöglichen, sodass keine ständig Wasser führende Zirkulationsleitung erforderlich ist).

Heizleistung und SWW	
Gebäude A	90 kW
Gebäude B	50 kW
Gebäude C	50 kW
Gebäude D	8*5 kW
Gebäude E	8*5 kW
Insgesamt	270 kW

⁵ Die von der GEE-Software oder der PHPP-Software berechnete Heizleistung entspricht nicht der gemäß NBN B 62-003 (1986) oder NBN EN 12831 (2003) genormten Bemessung. Der Wert der GEE-Software wird jedoch als erste Näherung genommen.

4.3. Energetische und ökologische Aspekte

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

Ein Heizkessel mit richtiger Regelung kann hohe Wirkungsgrade erzielen und damit den Endverbrauch verringern. Die Wärmeabgabe erfolgt über Heizkörper.

Die in den Energieumwandlungsprozessen verwendeten verschiedenen Wirkungsgrade sind je nach Fall entweder Standardwerte oder Werte, die von der GEE-Software stammen. Für die Mehrfamilienhäuser wurden die Verluste der Zirkulationsleitung anhand der in der PHPP-Software entwickelten Methode berechnet. Der erhaltene Wirkungsgrad beträgt durchschnittlich 70 %.

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Gas-Brennwertkessel	Jährlicher Wirkungsgrad oberer Heizwert	88 %
Verteilung und Lagerung		
Heizung (ohne Pufferspeicher)	Wirkungsgrad	95 %
SWW (ohne Zirkulationsleitung, mit Teilspeicherheizung - Einzelwohnungen)	Wirkungsgrad	90 %
SWW (mit Zirkulationsleitung und Teilspeicherheizung)	Wirkungsgrad	70 %
Abgabe und Regelung		
Heizung (Heizkörper)	Wirkungsgrad	89 %

4.4. Finanzieller Aspekt

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

Es werden nicht die Kosten für sämtliche Arbeiten im Zusammenhang mit den einzelnen Technologien angegeben, da bestimmte Investitionen in allen Fällen notwendig sind. So ist beispielsweise bei allen in Betracht gezogenen Heizungssystemen die Installation von Heizkörpern und Reglern erforderlich. Für die Grundlösung entsprechen die berücksichtigten Investitionskosten in der Regel den Installationskosten des Wärmeerzeugers. Die Untereinrichtungen für die Wohnungen in den Gebäuden A und C werden in allen Konfigurationen dargestellt und sind nicht im Gesamtpreis enthalten.

Heizung und Warmwasserbereitung		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	115.800 €	Gas-Brennwertkessel mit Kamin und SWW-Speicher (Teilspeicherheizung). Ein Heizkessel pro Gebäude für A (12.000 €), B (8.500 €) und C (7.300 €). Ein Heizkessel pro Einheit für D und E mit SWW-Speicher (16 * 4.500 €)
Jährliche Wartungskosten (zzgl. MwSt.)	2.320 €	2 % der Investitionskosten
Subventionen: Gas-Brennwertkessel oder Warmluftzeuger (Gebäude B)	450 €	Portal-Website der wallonischen Region



Die COZEB-Studie⁶ liefert Zahlen zu den Wartungs- und Betriebskosten zahlreicher Systeme in % der Investitionskosten.

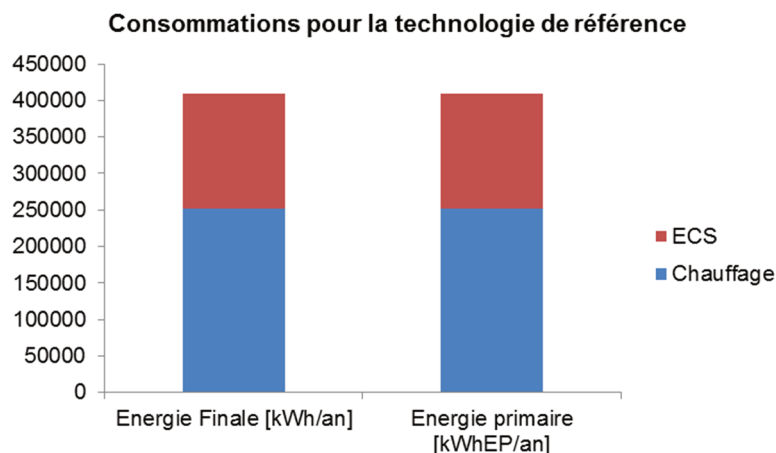
4.5. Ergebnisse

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

Ergebnisse PE und CO ₂	
PE [kWh/Jahr]	251.400
CO ₂ [kg/Jahr]	157.400

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

⁶ 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>



5. Alternative Technologien

5.1. Analyse der Verfügbarkeit der Varianten

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

Die Relevanz der folgenden Lösungen muss zumindest untersucht werden:

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

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

Dezentrale Technologien pro Einheit oder semizentrale Technologien pro Gebäude, werden in diesem Dokument nicht vorgestellt. Sie wurden ebenfalls untersucht, da ihre Analyse laut den Vorschriften durchgeführt werden muss (thermische Solarmodule, fotovoltaische Solarmodule, Wärmepumpe), die Ergebnisse werden jedoch direkt in den Dokumenten vorgestellt, die sich auf die einzelnen Gebäude beziehen.

Folgende zentrale Varianten wurden untersucht.

	Varianten	Zentrale Technologie?	Technische Begründung
Heizung und SWW	Biomasse	Ja	Lagerung des Brennstoffs möglich, Integration des Heizkessels als Blockanlage möglich, lokale Brennstoff-Versorgungsquelle
	Wärmepumpe	Nein	Ein Wasserkreislauf (Niedrigtemperatur) wäre denkbar. Die in jedem Gebäude installierten Wärmepumpen entnehmen dann ihre Wärme/Kälte diesem Kreislauf. Da es sich bei den Einheiten dieses Projekts im Wesentlichen um Wohnungen handelt, ist der Kühlungsbedarf gering. Eine dynamische Feinanalyse der Energieflüsse (kalt und warm) des Gebäudekomplexes ist notwendig, um eine hohe Leistung des Systems sicherzustellen. Vor allem könnte im Anschluss an eine Untersuchung des gleichzeitigen SWW- und Kältebedarfs (Büros und Läden) die Wärmeübertragung von einem Ort zum anderen ohne Betrieb der Wärmepumpe umgesetzt werden. Die Technologie wird zu diesem Zeitpunkt nicht für das Fernwärmenetz untersucht.
	Fernwärmenetz	Ja	Das Fernwärmenetz wird zusätzlich zu den anderen Technologien untersucht
	Kraft-Wärme-Kopplung	Ja	Denkbare Technologie zur Deckung des Heiz- und SWW-Bedarfs

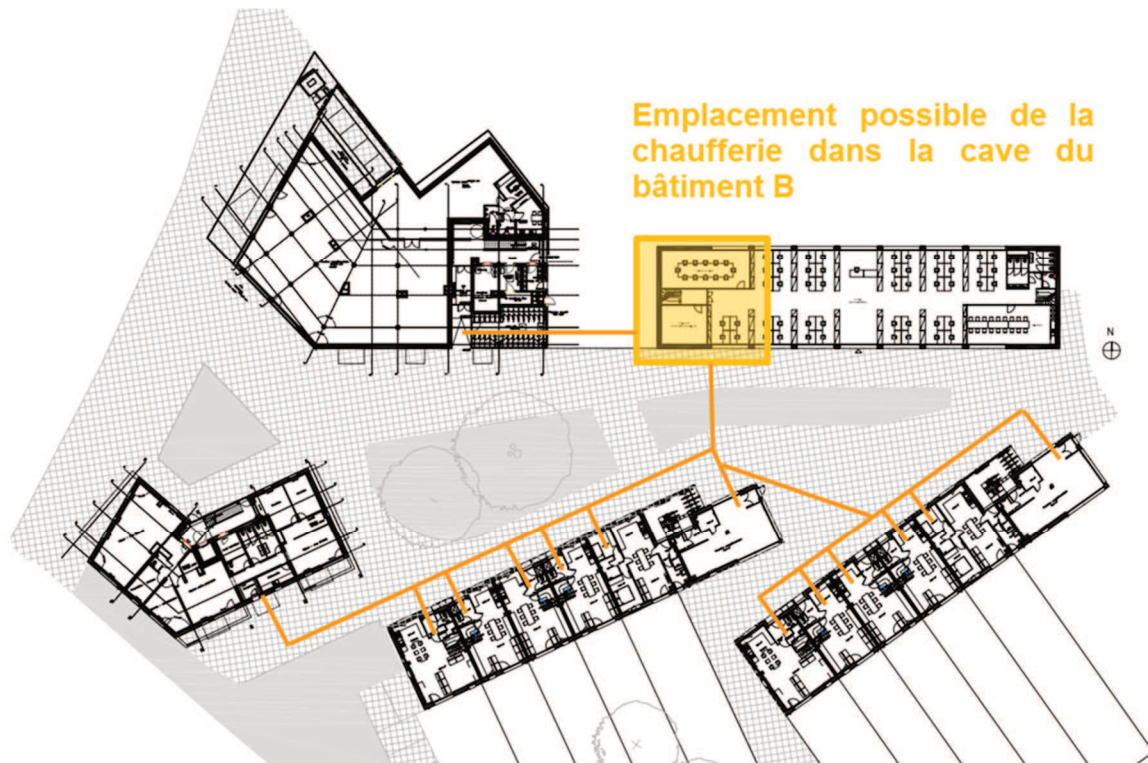
5.2. Machbarkeit der berücksichtigten Lösungen - Heizung + SWW

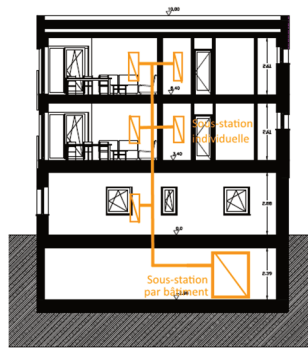
5.2.1. Fernwärmenetz

Technische Eigenschaften und Integration

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

Ein zentraler Heizraum muss so zentral wie möglich geplant werden. Wir schlagen vor, den Heizraum im Untergeschoss von Gebäude B (Bürogebäude) vorzusehen. Das Fernwärmenetz besteht aus einem erdverlegten Kreislauf aus PE-Xa-Rohren von 300 m Länge. Die Wärme für Heizung und Warmwasserbereitung für die verschiedenen Einheiten kommt von Unteranlagen mit Plattenwärmetauschern.





Energetische Aspekte

Der jährliche Verlustwirkungsgrad des Fernwärmenetzes wird für einen isolierten Kreislauf mit 50 mm Isolierung $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$ berechnet. Geht man von einem linearen Verlust von $0,16 \text{ W/mK}$ aus, beträgt der Verlust bei den erdverlegten Rohren rund 10 %.

In dem Gesamtverteilungswirkungsgrad sind auch die Verluste bei der Verteilung in den Gebäuden (Kreislauf und Speicherung) zu den Einheiten enthalten. **Der jährliche Gesamtverteilungswirkungsgrad beträgt 63 %.**

Finanzielle Aspekte

Zentralisierung der Erzeugung		
	Betrag	Betreff
Verteilungskreislauf (zzgl. MwSt.)	35.000 €	Erdverlegte Leitungsrohre
Unteranlagen (zzgl. MwSt.)	35.500 €	Jede Einheit verfügt über eine eigene Unteranlage. Die Unteranlagen für die Wohnungen der Gebäude A und C sind im Preis nicht enthalten, da diese in allen Varianten vorkommen. Die Gebäude A und C sind allerdings mit zwischengeschalteten Unteranlagen pro Gebäude ausgestattet.

Ergebnisse

Diese Daten werden in den verschiedenen unten vorgestellten Netzvarianten berücksichtigt.

5.2.2. Biomasse

Technische Eigenschaften und Integration

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

Die notwendige Gesamtleistung beträgt 270 kW. Die Leistung des Holz-Heizkessels ist jedoch nicht auf den Höchstwert ausgelegt, sondern auf 50 %, sodass 85 % des Gesamtwärmebedarfs über die gesamte Heizperiode gedeckt werden. Ein Heizkessel von **130 kW** ist vorgesehen.

Zum Nachheizen ist ein Gas-Brenntwertkessel installiert. Dieser Heizkessel ist zur Sicherheit überdimensioniert, um den Bedarf im Falle einer Störung oder Wartung zu decken. Ein modulierender Heizkessel von **150 kW** ist vorgesehen.

Die Heizkessel sind mit einem Pufferspeicher von **3.000 Litern** verbunden.

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

Der vorzusehende Lagerraum hängt vom Bedarf des Gebäudes, vom verwendeten Brennstoff und von der gewünschten Befüllungshäufigkeit ab. Für den in Betracht gezogenen Leistungsbereich kann ein Pellets- oder Hackschnitzel-Heizkessel installiert werden. Der Vorteil von Hackschnitzeln besteht darin, dass die Brennstoffkosten niedriger sind. Bei 4 Befüllungen pro Jahr beträgt das erforderliche Volumen für die Pellets 35 m³ gegenüber 80 m³ für die Hackschnitzel. **Für die Hackschnitzel kann ein unterirdisches Lagersilo** mit einer anfahrbaren Einfüllklappe für einen Kipper zur Befüllung vorgesehen werden.

Bemessung des Lagerraums	
Daten	
Verbrauch [kWh/Jahr]	410.510
Dichte [kg/m ³]	300
Oberer Heizwert [kWh/kg]	4.2
Oberer Heizwert [kWh/m ³]	1.250
Ergebnisse (erforderliches Volumen [m ³])	
Bei 4 Befüllungen/Jahr	82

Zum Volumen des Lagerraums kommt noch ein Beschickungssystem (Drehentnahmefräse oder hydraulische Abstreifer) hinzu, das den Transport des Brennstoffs vom Silo zum Heizkessel ermöglicht.

Es muss ein Heizraum gebaut werden, der sich idealerweise in der Nähe des Silos befindet. Dieser Heizraum sollte die beiden Heizkessel und das Speichervolumen (Bodenfläche von 30 m² mit einer Deckenhöhe von 3 m) aufnehmen. Es muss auch darauf geachtet werden, dass das Material durch den Zugang zu diesem Raum befördert werden kann und dass der Raum richtig belüftet wird.

Energetische und ökologische Aspekte

Ein wichtiger Aspekt, der häufig vernachlässigt wird, ist die **Qualität der Rauchgase**. Die Verbrennung von Holz in Form von Pellets und vor allem von Hackschnitzeln verursacht einen höheren Ausstoß von

Schadstoffen (NO_x, SO_x usw.) als bei fossilen Brennstoffen. Um dieses Problem teilweise zu beheben, sollte man sich vorzugsweise für eine zentrale Erzeugung mit höherer Leistung für einen Standort entscheiden, möglicherweise mit Filtern.

Für das untersuchte Projekt werden nur die CO₂-Emissionen in Betracht gezogen. Die anderen Emissionen werden nicht berücksichtigt. Die folgenden Wirkungsgrade werden für den Heizkessel und das Heizsystem angegeben (einschließlich Verteilung und Speicherung (Pufferspeicher), Abgabe und Regelung).

Heizung und SWW		
Erzeugung (saisonal)		
Holzsnitzel-Heizkessel	Wirkungsgrad oberer Heizwert	75 %
Verteilung (und Lagerung)		
Zentrale Heizung und SWW	Wirkungsgrad	63 %
Abgabe und Regelung		
Heizung (Heizkörper)	Wirkungsgrad	89 %

Finanzielle Aspekte

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

Für diese Studie stützen wir uns auf die Investition in der nachstehenden Tabelle. Zur Erinnerung: Es werden nur die Mehrkosten angegeben, die durch das für die Technologie benötigte zusätzliche Material entstehen. Im vorliegenden Fall betrifft dies im Wesentlichen die Holzheizung sowie die Kosten des erdverlegten Fernwärmenetzes und der Unteranlagen pro Gebäude.

Heizung und SWW		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	168.500,00 €	Holzsnitzel-Heizkessel (40.000 €) und Gas-Heizkessel (15.000 €), Pufferspeicher (8.000 €), Silo (35.000 €), erdverlegtes Netz und Unteranlagen (70.500 €).
Wartungskosten (MwSt.)	3.400,00 €	Wartung der Heizkessel und des Netzes: 2 % der Investition
Subventionen: Biomasse-Heizvorrichtung mit automatischer Beschickung	4.040,00 € (Biomasse-Heizkessel)	Portal-Website der wallonischen Region

5.2.3. Kraft-Wärme-Kopplung

Technische Eigenschaften und Integration

Nach dem Wärmebedarf und dem Nutzungsprofil ist es möglich, eine Kraft-Wärme-Kopplung auf der Grundlage eines internen Verbrennungsmotors in Betracht zu ziehen. Im Stadium der provisorischen Machbarkeitsstudie wurde die Software Cogencalc untersucht, um die Angemessenheit dieser Technologie für das Projekt zu bewerten. Cogencalc zufolge kann eine Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Wärmemotor von 31,7 kW_{th} für 16 kW_{el} geeignet sein. Diese Lösung würde jedoch 97.000 kW_{el} nach sich ziehen. Um so viel Strom wie möglich selbst zu verbrauchen, ist vorab eine genauere Studie der Verbrauchsprofile erforderlich. Der Stromverbrauch der Läden von Gebäude A ist nicht bekannt. Besteht auch Kältebedarf? Wie hoch ist der Beleuchtungsbedarf usw. Es wäre auch vorstellbar, dass die Büros in Gebäude B den erzeugten Strom verbrauchen. Der Verbrauch der Büros wird auf 29.600 kWh geschätzt, zuzüglich des Verbrauchs eines Kühlaggregats (rund 10.000 kWh/Jahr), d.h. insgesamt 40.000 kW_{el}. Die Wärmeleistung der zuvor in Betracht gezogenen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage muss demnach verringert werden, damit die erzeugte Energie für den Eigenbedarf verbraucht werden kann.

Die simulierte Lösung bezieht sich auf eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage von 8 kW_{el} für 17 kW_{th}, die mit einem Speichervolumen von 2 m³ verbunden ist, damit die Nutzung etwas flexibler und der Betrieb der Kraft-Wärme-Kopplung optimaler gestaltet werden kann (weniger Anlauf-/Stoppszyklen).

Diese Kraft-Wärme-Kopplungsanlage deckt 15 % des jährlichen Heizbedarfs ab. Gleichzeitig muss ein Heizkessel verwendet werden. Der Gas-Brennwertkessel hat eine Leistung von 250 kW.

Finanzieller Aspekt

Kraft-Wärme-Kopplung		
	Betrag	Betreff
Investition (zzgl. MwSt.)	150.500 €	Kraft-Wärme-Kopplung (55.000 €), Gas-Heizkessel (15.000 €), Pufferspeicher (10.000 €), Fernwärmenetz und Untereinrichtungen (70.500 €).
Wartungskosten (zzgl. MwSt.)	3.700 €	4 % der Investitionskosten für die Kraft-Wärme-Kopplungsanlage und 2 % für den Rest der Anlage.
Subventionen: Prämie Grünes Zertifikat	9.000 € für die Kraft-Wärme-Kopplung 17.500 € für das Netz 43 GB 65 € während 10 Jahren	20 % der Investition, 100 € pro Leitungsmeter für das Fernwärmenetz mit einer Obergrenze von 50 % der Rechnung

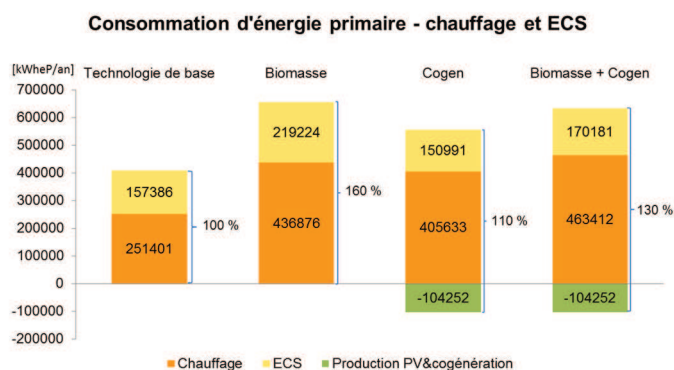
6. Vergleichende Studie

In diesem Kapitel werden die verschiedenen nachstehend vorgeschlagenen Fälle kurz verglichen: Die folgenden Fälle wurden analysiert:

- **T0 - Herkömmliche Grundtechnologie:** Zentrale Gas-Brennwertkessel pro Gebäude und pro Wohneinheit für die Einzelwohnungen
- **T1 - Biomasse:** Zentraler Hackschnitzel-Heizkessel
- **T2 - Kraft-Wärme-Kopplung:** Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas und zentraler Gas-Brennwertkessel
- **T3 - Kombination von T2 und T3:** Hackschnitzel-Heizkessel, Brennwertkessel und Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas

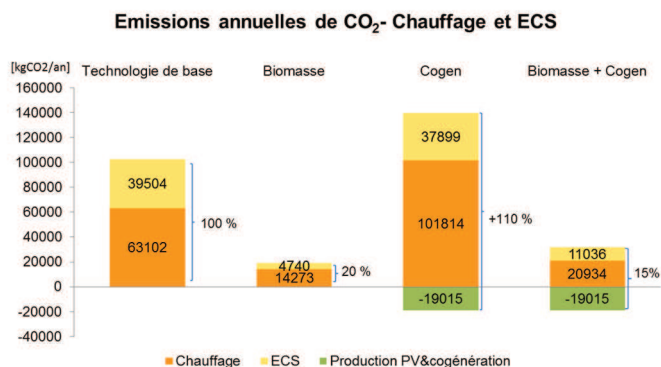
Der Vergleich wird zunächst auf einer nicht-finanziellen Grundlage durchgeführt, um die „Qualität“ der Maßnahme zu bewerten. Zu diesem Zweck werden zwei Indikatoren berücksichtigt: der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen.

Die Ergebnisse sind nachstehend dargestellt.

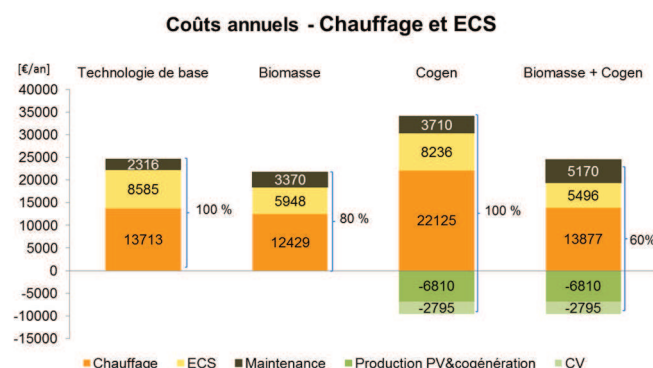


Da der Umwandlungsfaktor für beide Energieträger (Gas und Biomasse) gleich ist und der Gesamtwirkungsgrad der zentralen Anlage schlechter ist, verbraucht die Biomasseanlage mehr Primärenergie für Heizung und SWW wie der dezentrale Gas-Brennwertkessel pro Gebäude.⁷ Die bei der Stromerzeugung mit einer Kraft-Wärme-Kopplung eingesparte Primärenergie gleicht den niedrigen Wirkungsgrad der Anlage nicht aus, da die Leistung der Anlage gering ist. Es muss eine genauere Studie durchgeführt werden, um zu ermitteln, ob der Wärme- und Strombedarf am Standort adäquat ist und die Kraft-Wärme-Kopplung so zu bemessen, dass die Stromerzeugung optimiert wird.

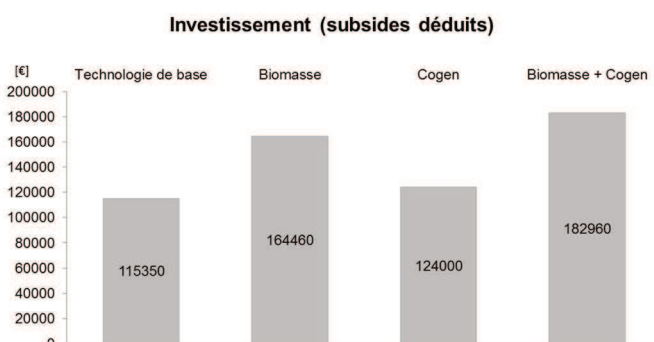
⁷ Die Umwandlungsfaktoren zur Umrechnung in Primärenergie und CO₂-Emissionen sind kritisch zu betrachten. Die Berechnungsregeln für die verschiedenen Energieträger müssen spezifizieren, ob die nachgelagerten Auswirkungen der Energieversorgungs- und -umwandlungsketten (Erzeugung, Transport, Verteilung, mögliches Recycling) einbezogen werden und ob andere Emissionen von Treibhausgasen (CH₄, N₂O usw.) berücksichtigt werden.



Aus dem gleichen Grund erzeugt die Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit Erdgas mehr CO₂ als die dezentralen Heizungsanlagen. Es wird davon ausgegangen, dass die CO₂-Bilanz der Wärmeherzeugung durch Biomasse gleich Null ist, daher sind die CO₂-Emissionen für die Biomasselösungen sehr gering. Die übrigen CO₂-Emissionen gehen zum Teil auf den Zusatzheizkessel zurück.



Die jährlichen Energiekosten sind bei den Biomasselösungen niedriger, da der geringe Wirkungsgrad der zentralen Anlage durch die Brennstoffkosten ausgeglichen werden kann. Bei den Kraft-Wärme-Kopplungssystemen können die Mehrkosten des Systems durch den Vorteil bei der Stromrechnung und den Verkauf von Grünen Zertifikaten ausgeglichen werden.



Die Kraft-Wärme-Kopplungsanlage kostet kaum 10 % mehr, wenn **die Prämien** für die Kraft-Wärme-Kopplung und die Prämien für das Fernwärmenetz **abgezogen** werden.

In der Projektphase ist dennoch eine Machbarkeitsstudie erforderlich, um die Rentabilität der Investition zu prüfen.

Um die Kriterien später kombinieren und eine Wahl treffen zu können, wurde eine Werteskala festgelegt, bei der das Primärenergiekriterium und das CO₂-Kriterium kombiniert werden:

- Der untere (oder neutrale) Referenzwert ist der Wert, der der herkömmlichen Grundtechnologie (Referenztechnologie T0) entspricht, die die zu erreichende Mindestleistung definiert, das heißt den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen in dem Fall, dass kein System mit erneuerbaren Energien installiert wird.

E_{prim,unt}: 89 kWh/m²/Jahr

CO_{2unt}: 22 kg CO₂/m²/Jahr

- Der obere Referenzwert für die beiden Kriterien entspricht Werten, die für ein Gebäude mit hoher Energieeffizienz festgelegt wurden, das heißt ein Primärenergieverbrauch von 30 kWh/m²/Jahr⁸ und CO₂-Emissionen von 10 kg CO₂/m²/Jahr. Der obere Referenzwert stellt den Wert dar, der im „Idealfall“ erreicht würde.

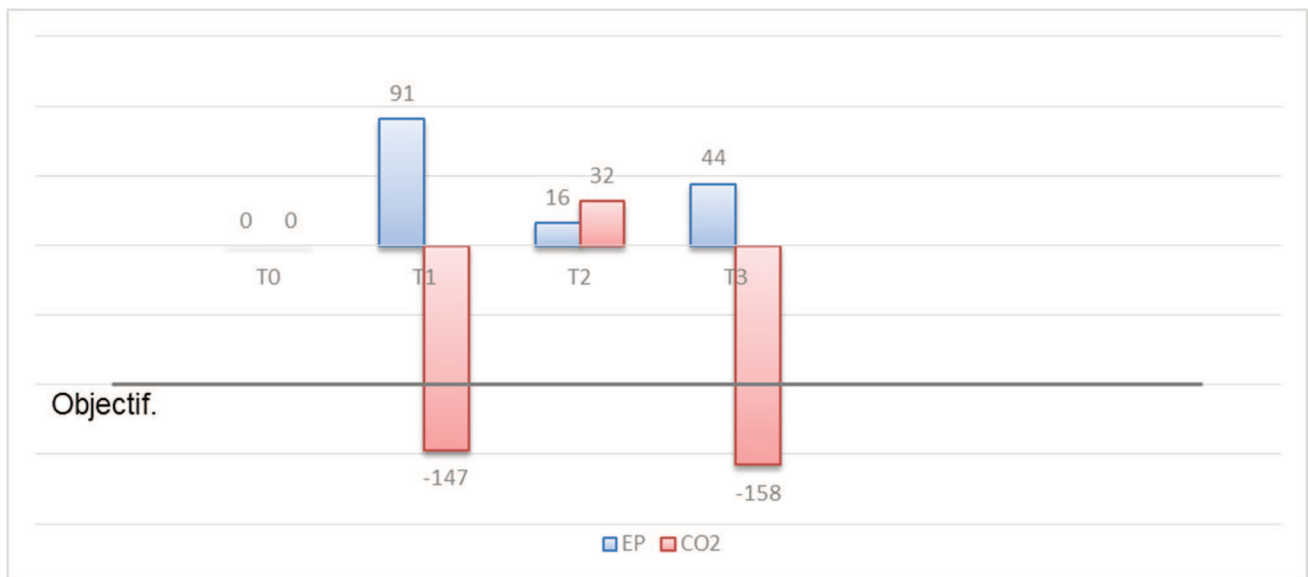
E_{prim,oberer} : 30 kWh/m²/Jahr

CO_{2oberer} : 10 kg CO₂/Jahr/m²



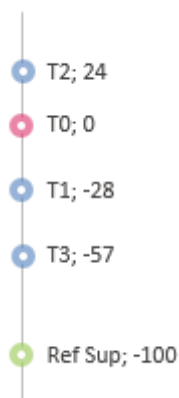
Es kann zweckmäßig sein, zusätzliche Indikatoren wie die Lebensdauer der Systeme oder auch einen Indikator zur Evaluierung anderer ökologischer Risiken, die mit den Technologien in Zusammenhang stehen, einzuführen. Wir denken da beispielsweise an die ökologischen Auswirkungen der Verbrennung von Holz (Emission von Partikeln, von VOC usw.) oder auch an die Möglichkeit, eine Rauchgasbehandlung bei einer zentralen Erzeugung durchzuführen.

Nach der vorstehend beschriebenen Methodologie wird nachstehend das Profil der vorgeschlagenen Technologien auf der Grundlage der Primärenergie- und CO₂-Indikatoren vorgestellt.



In Anbetracht dessen, dass der untere Referenzwert der für alle Technologien „akzeptable“ Mindestwert ist, kann in keinem der untersuchten Fälle das PE-Kriterium für die Heizung und das SWW erfüllt werden. Dies ist auf die unterschiedlichen Wirkungsgrade der Anlage in zentralen und dezentralen Systemen zurückzuführen. Da die Leistung der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage nicht sehr hoch ist, ist kein Ausgleich möglich. Es müsste eine leistungsstärkere Kraft-Wärme-Kopplungsanlage installiert werden und sichergestellt werden, dass der erzeugte Strom tatsächlich vor Ort verbraucht wird. Was das CO₂-Kriterium anbelangt, kann mit der Biomasse-Technologie der Zielwert von 50 % überschritten werden.

⁸ Berechnet für die Heizung und SWW-Bereitung.

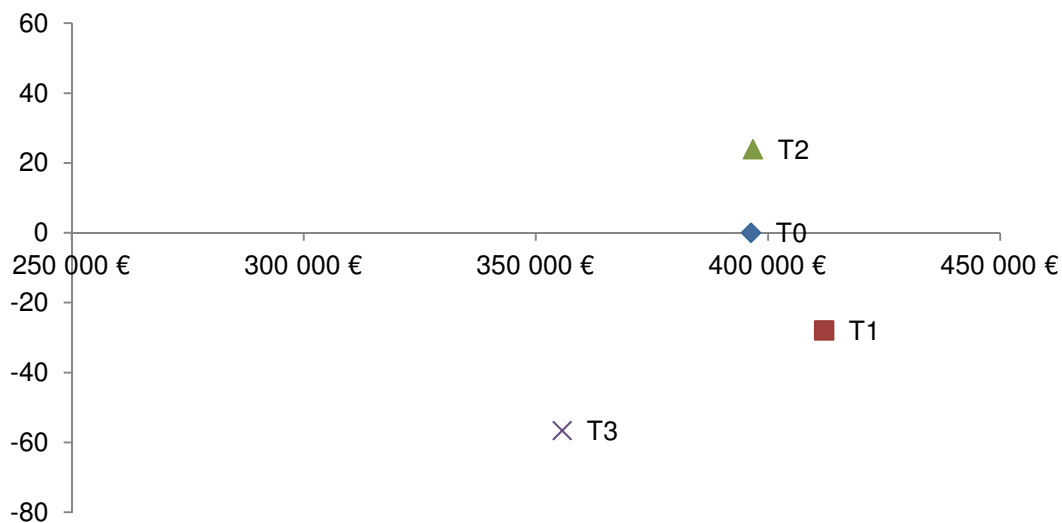


Geht man davon aus, dass eine Verringerung des Primärenergieverbrauchs genauso wichtig wie die Verringerung der CO₂-Emissionen ist, so kann man die „Qualität“ jedes der betrachteten Szenarien bewerten, indem man eine gewichtete Summe der Werte der nebenstehenden Indikatoren berechnet (50 % PE und 50 % CO₂). In diesem Fall weisen die Biomasse-Technologien eine bessere Qualität als die Referenztechnologie T0 auf (Verringerung bei T1 von -28 % und bei T3 von -57 %). Technologie T2 verbraucht mehr Primärenergie und gibt mehr CO₂ ab als die Referenztechnologie.

Die folgende Tabelle enthält die Kosten für jede Technologie, über 10 Jahre kumuliert. Die Werte der Tabelle sind nicht abgezinst, eine jährliche Erhöhung der Energie- und Instandhaltungskosten um 2 % wird jedoch berücksichtigt.

	Über 10 Jahre kumulierte jährliche Energiekosten (einschließlich Indexierung) [€]	Über 10 Jahre kumulierte jährliche Instandhaltungskosten (einschließlich Indexierung) [€]	Investition (einschließlich Zuschüsse) [€]	Gewinne GB [€]	Insgesamt [€]
T0 - Grund	255.616 €	25.360 €	115.350 €		396.300 €
T1 – Biomasse	210.669 €	36.901 €	164.460 €		412.000 €
T2 - KWK Erdgas	269.991 €	42.813 €	124.000 €	-27.950 €	408.900 €
T3 - Biomasse + KWK Erdgas	144.021 €	56.610 €	182.960 €	-27.950 €	355.600 €

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



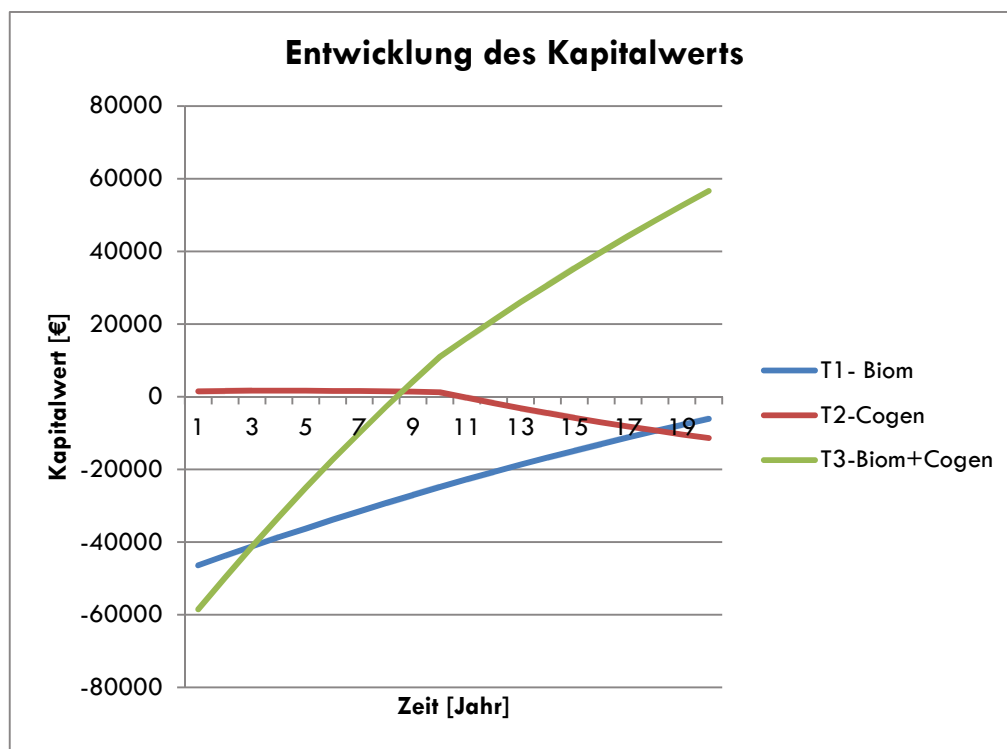
Dabei zeigt sich der Vorteil des Konzepts **T1** und **T3**, die vor allem in Bezug auf CO₂ eine bessere Qualität aufweisen und im Fall von **T3** niedrigere Kosten über 10 Jahre. Das Szenario Biomasse und Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas (**T3**) ist am rentabelsten, auch wenn die Anfangsinvestition am höchsten ist.

Die folgende Grafik zeigt den Kapitalwert (20 Jahre) der drei untersuchten Fällen unter Berücksichtigung der Zuschüsse.

Der Holzschnitzel-Heizkessel (**T1**) hat den Vorteil, dass der Brennstoffpreis niedrig ist. Dieses System erfordert allerdings eine komplexere Instandhaltung und einen Brennstoff mit einer „kontrollierten Qualität“, um Probleme mit der Beschickung des Heizkessels zu vermeiden.

Nur Kraft-Wärme-Kopplung mit Gas-Heizkessel zum Nachheizen (**T2**) ist ohne Verkauf von Grünen Zertifikaten nicht rentabel (der Kapitalwert ist +/- konstant). Mit dem Verkauf von Grünen Zertifikaten können die höheren Instandhaltungskosten ausgeglichen werden, nach 10 Jahren ist das System jedoch nicht mehr rentabel (der Kapitalwert verringert sich).

Die Installation eines Holzschnitzel-Heizkessels mit Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas und eines Gas-Heizkessels zum Nachheizen (**T3**) hat sich nach 8 Jahren amortisiert. In diesem Fall dient der Biomasse-Heizkessel im Rahmen der Kraft-Wärme-Kopplung zum Nachheizen. Der Erdgas-Heizkessel ist als Sicherungssystem für den Biomasse-Heizkessel vorgesehen. Die jährlichen Energiekosten sind somit geringer als in Fall T1.



Diese Studie ist eine Machbarkeitsvorstudie. Bei der Investition in diese Art von System muss im Projektstadium eine detailliertere Machbarkeitsstudie durchgeführt werden. Die Rentabilität hängt im hohen Maße von der Bewilligung von Zuschüssen ab. Ohne Zuschüsse sind diese Investitionen nicht rentabel.