



MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH

**klimaaktiv**



# LEBENSZYKLUSKOSTEN- ANALYSE FÜR DIE WÄRME- UND KÄLTEVERSORGUNG VON QUARTIEREN

## LEITFADEN



**IMPRESSUM**



**Medieninhaber und Herausgeber**

BUNDESMINISTERUM  
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,  
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT  
Stubenring 1, 1010 Wien  
[www.bmlfuw.gv.at](http://www.bmlfuw.gv.at)

Strategische Gesamtsteuerung von klima**aktiv**:  
BMLFUW, Abt. Energie- und Wirtschaftspolitik  
Dr.<sup>in</sup> Martina Schuster, Mag. Philipp Maier,  
Elisabeth Bargmann BA, DI Hannes Bader

Text und Redaktion: Gerhard Hofer, Walter Hüttler, Paul Lampersberger (e7 Energie Markt Analyse GmbH)

Alle Rechte vorbehalten.  
Wien, April 2017



Original wurde gedruckt von: Zentrale Kopierstelle des  
BMLFUW, UW-Nr. 907, nach der Richtlinie  
„Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	4
2	RAHMENBEDINGUNGEN FÜR INNOVATIVE ENERGIEVERSORGUNGS LÖSUNGEN .....	7
2.1	ZIELSETZUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN FÜR EINE NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNG .....	7
2.2	PROZESS ZUR LEBENSZYKLUSKOSTENANALYSE.....	8
3	LEBENSZYKLUSKOSTEN FÜR DIE WÄRME- UND KÄLTEVERSORGUNG .....	12
3.1	BETRACHTUNGSZEITRAUM .....	13
3.2	NUTZUNGSDAUERN.....	14
3.3	SYSTEMGRENZEN .....	15
3.3.1	RÄUMLICHE SYSTEMGRENZE.....	15
3.3.2	KOSTENABGRENZUNG - RELEVANTE KOSTEN DER ENERGIEVERSORGUNG .....	16
3.3.3	SYSTEMGRENZE ZAHLUNGEN .....	17
3.4	BERECHNUNGSMETHODE.....	18
3.5	BERECHNUNGSPARAMETER .....	19
3.5.1	KALKULATIONSZINSSATZ .....	19
3.5.2	INFLATIONSRATE .....	21
3.5.3	PREISSTEIGERUNGSRATEN .....	21
3.5.4	RESTWERT .....	21
3.6	UNSICHERHEITEN .....	22
4	BEAUFTRAGUNG EINER LEBENSZYKLUSKOSTENANALYSE .....	23
5	ERFAHRUNGEN UND BEISPIELE.....	26
5.1	WÄRMEVERSORGUNGSOPTIONEN FÜR DAS DONAUFELD .....	26
5.2	SOZIO-ÖKONOMISCHE UNTERSUCHUNG FÜR WÄRMENETZE IN DÄNEMARK .....	29
6	HILFSMITTEL UND TOOLS .....	31
6.1	TOOLS.....	31
6.2	NORMEN .....	31
6.3	WEITERFÜHRENDE INFORMATION.....	31
7	LITERATURVERZEICHNIS .....	32
8	TABELLENVERZEICHNIS.....	33
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	33

# 1 EINLEITUNG

**VOR DEM HINTERGRUND KLIMAPOLITISCHER ENTSCHEIDUNGEN** und deren Umsetzung in Österreich gibt es im Neubau von Gebäuden eine immer kleinere Wärmenachfrage. Gleichzeitig führen eine Zunahme der individuellen Wohnfläche und eine gesteigerte Zuwanderung in Ballungszentren zu einer Erweiterung der Wohngebiete. Neue Siedlungen und Stadtentwicklungsgebiete werden entwickelt und realisiert.

Es stellt sich die Frage, ob die Energieversorgung weiterhin auf Einzelgebäude abgegrenzt betrachtet werden soll, oder ob es Vorteile gibt, insbesondere die Wärme- und Kälteversorgung gebäudeübergreifend zu betrachten. Unter diesem Gesichtspunkt stellt sich auch die Frage der Energieraumplanung für diese Gebiete mit neuer Dringlichkeit. Ausschlaggebende Gründe dafür sind unter anderem:

- Technischer Fortschritt im Hinblick auf die verbesserten Nutzungsmöglichkeiten lokaler, erneuerbarer Energiequellen;
- Wegen der zunehmend besseren thermisch-energetischen Qualität von Neubauten wird in Siedlungsgebieten die gleichzeitige Erschließung durch mehrere Energienetze (Gas, Wärme, Strom) aus ökonomischen Gründen verstärkt hinterfragt;
- Wärmenetze sind ein zentrales Element der Energiewende im Wärmebereich, da hier die Energie aus Sonne, Biomasse, Wärmepumpe oder Abwärme optimal einsetzt und somit lokale Energieträger genutzt werden können;
- Bei lokalen Wärmenetzen können viele lokal verfügbare Energiequellen deutlich effizienter und wirtschaftlicher eingesetzt werden als in Einzelanwendungen
- Durch die Liberalisierung der Energiemärkte haben sich die ökonomischen Rahmenbedingungen verändert. Aufgrund der Änderungen in den Strommärkten ist die Fernwärme (mit Kraft-Wärme-Kopplung als Hauptquelle) derzeit mit ernststen wirtschaftlichen Problemen konfrontiert, sodass städtische Energieversorger vermeiden, die Fernwärmeanlagen zu erweitern;
- Die herkömmliche Gasversorgung und Wärmeproduktion mittels Gas-Kessel vor Ort ist nicht im Einklang mit dem zunehmenden Bedürfnis nach Nachhaltigkeit und mit den Zielen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Dieser Leitfaden behandelt die ökonomische Bewertung der Wärme- und Kälteversorgung von Quartieren. Quartiere definieren sich dabei als Ansammlung von zwei und mehreren Gebäuden in einem abgegrenzten Untersuchungsgebiet, die – aufgrund zeitlich nahestehender Realisierung und ähnlicher Gebäudequalität – die technische Möglichkeit aufweisen, eine gemeinsame Wärmeversorgung zu realisieren. Die Kosten und Erlöse der ökonomischen Bewertung fallen dabei ausschließlich im Untersuchungsgebiet an, mit Ausnahme einer Verbindung zu einer bereits vorhandenen Fernwärme oder zu potentiellen Gebäuden und Prozessen mit Abwärmenutzung (siehe Abbildung 1)

Dieses Dokument grenzt sich dabei ab, dass die Energienachfrage von Gebäuden gering ist (Niedrigstenergiegebäude) und somit das Temperaturniveau für die Raumheizung niedrig bzw. für Raumkühlung hoch sein kann. Auch das Temperaturniveau für Warmwasserversorgung kann bei Einplanung von geeigneten technischen Lösungen abgesenkt werden. Diese Reduktion der Energienachfrage sowie die Anpassung der Vorlauftemperaturen der Raumheizung und –kühlung verschafft Haustechniklösungen unter

Einbeziehung von erneuerbaren Energieträgern eine höhere Effizienz und somit ein größeres ökonomisches Potential.

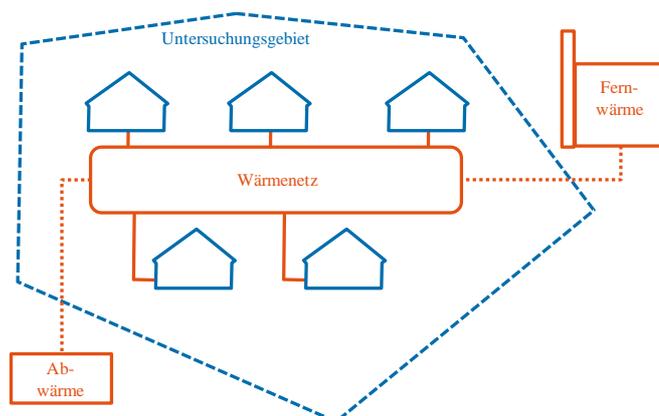


Abbildung 1: Wärmeversorgung von Quartieren  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Dieses Dokument basiert auf anderen Studien und Berichten zu Lebenszykluskostenrechnung mit Fokus auf Gebäuden (siehe Abschnitt 7). In diesem Leitfaden wurden diese Vorgangsweisen und Beschreibung auf das genannte Untersuchungsfeld der Wärme- sowie Kälteversorgungsanlagen für Quartiere bezogen. Dabei wurden auch Erfahrungen von der Umsetzung von Lebenszykluskostenanalyse von konkreten Gebieten berücksichtigt.

### Definition von Lebenszykluskosten

Für die Berechnung von Lebenszykluskosten von Immobilien liegen bereits eine Vielzahl von Normen und Definitionen vor. Der Lebenszyklus eines Gebäudes besteht dabei aus der gesamten Lebensdauer einer Immobilie, von der Initiierung des Projektes, über die Planung, Errichtung, Betrieb und Nutzung, Umbau und Sanierung, bis hin zum Abriss und zur Entsorgung. Die während des Lebenszyklus entstehenden Kosten, die unmittelbar dem Projekt zugeordnet werden können, bilden dann die Lebenszykluskosten. Bei Wärme- und Kälteversorgungsanlagen sind jene Kosten zu berücksichtigen, die aufgrund der konkreten Lösung anfallen.

Durch den Vergleich von Lebenszykluskosten für verschiedene Ausführungsvarianten kann die auf die gesamte Lebensdauer bezogene wirtschaftlich optimale Variante ermittelt werden. Damit können alternative Haustechniksysteme, die höhere Errichtungskosten vorweisen, in der Gesamtkostenbetrachtung vorteilhaft sein.

Neben der ökonomischen Betrachtung von Varianten mit gleichen funktionalen Äquivalenten darf jedoch die soziale und ökologische Säule der Nachhaltigkeit nicht zu kurz kommen und muss in der Analyse berücksichtigt werden. Die Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen und ein verbesserter Nutzungskomfort im Gebäude führen in der Regel zu Mehrkosten im Vergleich zu anderen Wärme- oder Kälteversorgungsanlagen. Diese Unterschiede müssen in der Analyse der Ergebnisse einfließen.

### Lebenszykluskosten in der frühen Entwicklungsphase

Die frühen Projektphasen sind besonders entscheidend für die Beeinflussung von Lebenszykluskosten. Insbesondere jener Zeitpunkt der Initiierung eines Projekts (z.B. im Rahmen einer Machbarkeitsstudie) bevor die Planungen beginnen und der „erste Strich“ gezeichnet wird (siehe Abbildung 2).

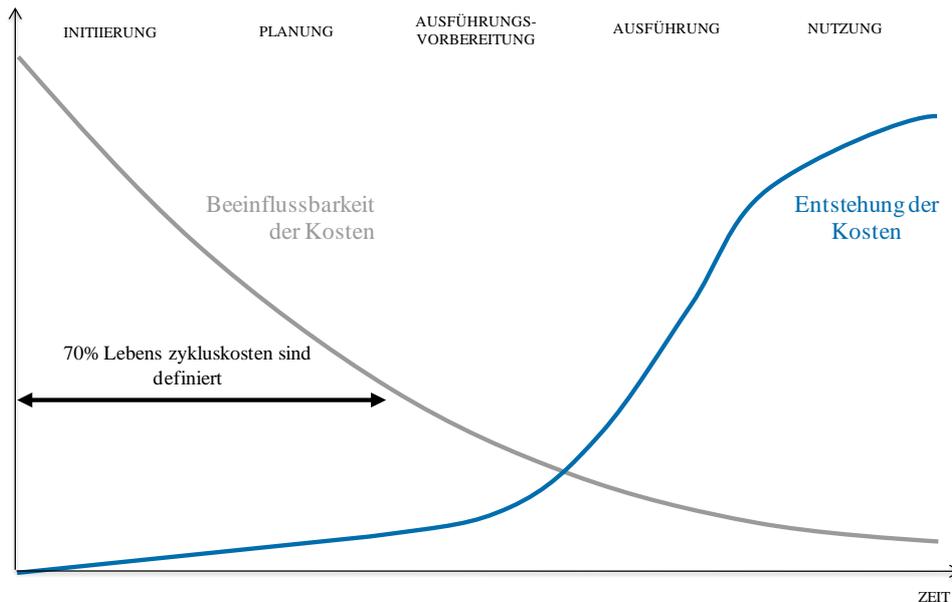


Abbildung 2: Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten in der frühen Entwicklungsphase  
 Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Dieser Leitfaden zielt auf jene Stakeholder ab, die in der frühen Phase bei der Entwicklung von Siedlungen und Stadtentwicklungs-gebieten beteiligt sind und Entscheidung über die Energieversorgung treffen können. Im Allgemeinen bietet der Leitfaden Hilfestellung, wie bei einer gebäudeübergreifenden Wärme- und Kälteversorgung eine faire ökonomische Analyse umgesetzt werden kann. Die Zielgruppen dafür sind:

- **Öffentliche Verwaltung:** Städte und Gemeinden haben zum einen die Möglichkeit, Rahmenbedingungen (also Ziel- und Grenzwerte für die Energieversorgung) festzulegen, die nachhaltige Wärmeversorgungsoptionen ermöglichen. Darüber kann vorgegeben werden, dass die Energieversorgung auf Basis von ökologischen Kriterien und der Bewertung der Lebenszykluskosten für das gesamte Gebiet ausgewählt wird.
- **Investoren und Bauträger:** Investoren und Bauträger von größeren Gebieten mit mehreren Gebäuden können mit Hilfe des Leitfadens detailliertere Informationen zur langfristigen ökonomischen Bewertung generieren und Vorgaben für Berechnung der Lebenszykluskostenanalysen geben.
- **Architekten, Planer und Durchführende von Lebenszykluskostenanalysen:** Jene Personen, die die LZKA realisieren und an den Auftraggeber berichten, finden in diesem Dokument Hilfestellung, wie bei gebäudeübergreifender Energieversorgung ökonomisch bewertet werden muss.

Der Leitfaden teilt sich in die inhaltlichen Kapitel 2 und 3, gibt eine Hilfestellung für die Ausschreibung von LZKA in Abschnitt 4 und beschreibt Hilfsmittel, Normen und Literaturquellen in den Kapiteln 6 und 7. Kapitel 5 bietet einzelne konkrete Beispiele zur Veranschaulichung.

## 2 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR INNOVATIVE ENERGIEVERSORUNGSLÖSUNGEN

**IN DER FRÜHEN PHASE DER ENTWICKLUNG VON SIEDLUNGEN ODER STADTTEILEN** gilt es festzulegen, welche Randbedingungen und Zielwerte für die geplante Energieversorgung vorgesehen werden. Dabei können lokale Rahmenbedingungen sowie Energieeffizienz- und Klimaschutzziele berücksichtigt werden. Dieser Abschnitt beschreibt die Vorgangsweise für die öffentliche Verwaltung oder Investoren von der Zielfindung bis zur Entscheidungsgrundlage zur Auswahl einer geeigneten Energieversorgung.

Die Lebenszykluskostenanalyse von Energieversorgungslösungen ist nur eine Dimension, die bewertet wird. Darüber hinaus sind weitere Dimensionen wie ökologische oder soziale Auswirkungen für die Auswahl einer geeigneten Energieversorgung wichtig. Daher sind zu Beginn die Zielsetzungen in verschiedenen Dimensionen festzulegen und ein Prozess zu definieren, wie eine ökonomisch optimierte Gesamtlösung ausgewählt werden kann.

### 2.1 ZIELSETZUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN FÜR EINE NACHHALTIGE ENERGIEVERSORUNG

Zielsetzungen und Randbedingungen stecken die Möglichkeiten für verschiedene Wärme- und Kälteversorgungs-lösungen ab. Zielsetzungen geben dabei eine Orientierung für die Lösungen vor. Randbedingungen sind Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen.

Die Zielsetzungen und Randbedingungen hängen zum einen von den Voraussetzungen am Standort der geplanten Energieversorgung ab, zum anderen von den Zielsetzungen und Vorgaben der öffentlichen Hand oder eines Betreibers. Abbildung 3 bietet einen Überblick über mögliche Zielsetzungen und Randbedingungen.



Abbildung 3: Mögliche Zielsetzungen und Randbedingungen für die Wärmeversorgung  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Die öffentliche Hand setzt Ziele und Randbedingungen für die Energieversorgung im Bereich von Gebäuden und Wärmeversorgungssysteme beispielsweise in Bauordnungen, Wohnbauförderungssysteme oder länderspezifischen Klimaschutzplänen. Diese können als Randbedingungen für die Wärmeversorgung definiert werden.

In Wien sind Energiekriterien u.a. in der Smart City Rahmenstrategie enthalten. Die Smart City Ziele umfassen u.a. Kriterien für umfassende Ressourcenschonung. Dabei wird als Ziel gesetzt, dass je Person nicht mehr als 2.000 W Dauerleistung auf Primärenergieebene eingesetzt werden soll. Für Wohnen kann diese Anforderung auf rund 500 W Dauerleistung auf Primärenergieebene umgelegt werden. Bei diesem Wert muss noch der Energiebedarf für Haushaltsstrom abgezogen werden (rund 250 W). Die restliche Leistung – also rund 250 W – ist die Randbedingung für die Wärmeversorgung.

Die Zielsetzungen und Grenzwerte sind vor der Ermittlung von Lebenszykluskosten für eine bestimmte Siedlung festzulegen. Sie bieten Orientierung in der Auswahl der geeigneten Wärmeversorgungslösungen und stellen sicher, dass die Wärmeversorgung entsprechend den Vorstellungen der Ausschreibenden realisiert wird. Ein Beispiel für die Festlegung von Zielsetzungen und Grenzwerten ist in Tabelle 1 dargestellt.

**TABELLE 1: MÖGLICHE ZIELSETZUNGEN UND GRENZWERTE IM BEREICH ÖKOLOGIE**

Bezeichnung	Grenzwert	Wert	Methode
Dauerleistung Primärenergie	x	≤ 250 W/Pers.	Methode 2000W Gesellschaft
Anteil erneuerbarer Energie vor Ort	x	≥ 70%	Energetechnisches Konzept der Wärmeversorgung, Energiebilanz
Verbrennung vor Ort	x	keine	Nachweis Wärmebereitstellungssysteme
Energieträger	x	Keine fossilen Brennstoffe	--

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

## 2.2 PROZESS ZUR LEBENSZYKLUSKOSTENANALYSE

Für die Entwicklung und Bewertung von geeigneten Lösungen zur Energieversorgung wird ein mehrstufiger Ansatz gewählt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Ausgangsbasis ist die Festlegung von Zielen und Grenzwerten entsprechend Abschnitt 2.1:

### SCHRITT 1: ERMITTLUNG DER ENERGIENACHFRAGE

Zu Beginn ist es erforderlich jene Energiemenge und jene Energielasten für Gebäudenutzung zu ermitteln, die im Untersuchungsgebiet zu erwarten sind. Die Energiemengen hängen im Wesentlichen von den Nutzungsarten in den Gebäuden ab. Wohnungen, Büroflächen, Verkaufsstätten oder gar Produktionsstätten. Davon abhängig können die Energiemenge und die –lasten für Raumheizung, Warmwasser, Kühlung und sonstige Stromnutzungen skizziert werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, mit welcher Kompaktheit der Gebäude und mit welchem Wärmeschutz zu rechnen ist. Ergebnis dieses Schrittes ist ein Energie-Nachfragemodell für Wärme, Kälte und Strom.

TABELLE 2: PROZESS ZUR LEBENSZYKLUSKOSTENOPTIMIERUNG VON WÄRMEVERSORGUNGSLSÖSUNGEN: FESTLEGUNG VON ZIELWERTEN UND RANDBEDINGUNGEN: ÖKOLOGIE, SOZIAL, TECHNISCH, BETRIEBLICH. OPTIMIERUNG IN DER ÖKONOMISCHEN DIMENSION.



Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

## SCHRITT 2: ERMITTLUNG DER ENERGIERESSOURCEN VOR ORT

Entscheidend für die Entwicklung geeigneter Lösungen zur Energieversorgung sind die Energieressourcen im Untersuchungsgebiet und in der unmittelbaren Umgebung. Das sind zum einen bestehende leitungsgebundene Energieträger wie Gas, Fernwärme, Fernkälte oder Strom, zum anderen lokale erneuerbare Energieressourcen wie Abwärmenutzung, Grundwasser, Erdwärme oder Solarenergie.

### **SCHRITT 3: ENTWICKLUNG MÖGLICHER LÖSUNGEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG (LONGLIST)**

Auf Basis der Energienachfrage und der möglichen Energieressourcen vor Ort können mögliche Lösungen zur Wärmeversorgung aufgezeigt werden. Das kann am besten unter Einbeziehung von Stakeholdern für das Untersuchungsgebiet erfolgen, um das Know-how für den Standort gebündelt einzubringen. Zusätzlich bietet die Mitbestimmung von Stakeholdern eine höhere Akzeptanz bei der Festlegung einer Energieversorgungslösung.

### **SCHRITT 4: QUALITATIVE PRÜFUNG DER LÖSUNGEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG**

Die möglichen Lösungen zur Energieversorgung („Longlist“) werden im Rahmen einer ersten Plausibilitätsprüfung in Bezug auf die Eignung für das vorliegende Untersuchungsgebiet bewertet. Die Lösungen werden dahingehend geprüft, in wie weit die Zielsetzungen und Grenzwerte für die Wärmeversorgung eingehalten oder überschritten werden. Dabei soll erarbeitet werden, welche Lösungen am vielversprechendsten sind und demnach detaillierter untersucht werden sollen.

### **SCHRITT 5: ENTWICKLUNG EINER SHORTLIST VON ENERGIEVERSORGUNGSOPTIONEN**

Basierend auf der qualitativen Bewertung der einzelnen Wärmeversorgungsoptionen wird eine Shortlist an Varianten festgelegt, die in weiterer Folge detailliert untersucht wird. Diese Festlegung soll nach Möglichkeit wieder unter Einbeziehung der Stakeholder erfolgen.

### **SCHRITT 6: FESTLEGUNG VON REFERENZSZENARIEN**

Den Lösungen zur Energieversorgung sollen Referenzszenarien für technische Lösungen gegenübergestellt werden, die derzeit üblicherweise umgesetzt werden. Dabei muss jedoch geprüft werden, ob die üblichen Wärmeversorgungssysteme alle Grenzwerte einhalten (z.B. bei Gas-Kesseln). Die Referenzszenarien müssen gegebenenfalls so adaptiert werden, dass die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden.

### **SCHRITT 7: FESTLEGUNG DER SYSTEMGRENZEN UND DER BERECHNUNGSPARAMETER**

Für die Bewertung der Energieversorgungsoptionen ist vorab zu klären, welche Systemgrenzen gezogen werden. Hier gilt es beispielsweise Fragen zu klären, welche Investitionskosten in der Bewertung berücksichtigt werden (Grundstückskosten für Heizwerke? Erweiterung des Haustechnikraums durch zusätzliche Elemente des Energiesystems?) oder welche Bestandteile die Energiekosten umfassen (Kosten für Betriebsführung der Anlagen? Gewinn-Marge für ein Unternehmen?). Die Systemgrenzen sind für alle Varianten gleich anzusetzen.

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten gilt es jene finanziellen Parameter festzulegen, die in der Berechnung eingesetzt werden sollen. Das sind bei einer dynamischen Methode beispielsweise Werte für die Energiepreissteigerungen, Kalkulationszinssätze oder die Dauer des Betrachtungszeitraumes. Zusätzlich soll festgelegt werden, welche Parameter unsicher oder bei einer anderen Betrachtungsweise zu einem anderen Wert führen. Beispielsweise kann der Kalkulationszinssatz aus Sicht der öffentlichen Hand geringer ausfallen als aus der Sicht eines Privatunternehmens. Diese Parameter können im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht werden.

## **SCHRITT 8: DETAILLIERTE PRÜFUNG DER ENERGIEVERSORGUNGSOPTIONEN**

Im Rahmen einer technischen Machbarkeitsprüfung werden bei der Prüfung die als am vielversprechendsten befundenen Varianten weiter detailliert. Für die technische Machbarkeitsprüfung sollen Erfahrungen aus realisierten vergleichbaren Projekten berücksichtigt werden. Die technische Machbarkeitsprüfung umfasst die grundsätzliche Prüfung, ob die Variante realisiert werden kann und welche Randbedingungen zur Realisierung vorliegen. Gleichzeitig werden die Elemente der Wärmeversorgungsoptionen im Detail definiert und die Dimensionierung berechnet.

Auf Basis der technischen Grundlagen erfolgt die ökologische und ökonomische Bewertung. Die ökologische Bewertung umfasst die Berechnung des Energieeinsatzes der jeweiligen Varianten und die Berechnung der Indikatoren Primärenergie und CO<sub>2</sub> Emissionen. Die ökonomische Bewertung besteht aus der Berechnung der Investitionskosten und der Folgekosten. Die Folgekosten bestehen aus den jährlichen Kosten für Energie und Wartung/Instandhaltung, der Re-Investition der Elemente am Ende der Nutzungsdauer, der Kosten für die Betriebsführung der Anlagen und allenfalls eine Gewinn-Marge für das Unternehmen, das das Energieversorgungssystem errichtet und betreibt.

## **SCHRITT 9: BERECHNUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN**

Für sämtliche Varianten sind die Lebenszykluskosten zu ermitteln. Neben den Grundannahmen für die Kostenparameter soll auch eine Sensitivitätsanalyse für kritische Parameter durchgeführt werden. Die Sensitivitätsanalyse soll prüfen, inwieweit Änderungen in den Parameter einen Einfluss auf das Ergebnis haben.

## **SCHRITT 10: INTERPRETATION DER ERGEBNISSE UND BERICHT ALS ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGE**

Wenn sämtliche Kostendaten und Energiekennwerte vorliegen, können die Ergebnisse ganzheitlich bewertet werden. In dieser Methode soll nicht ausschließlich der Fokus auf die Investitionskosten liegen, sondern auch die Vorteile in der ökologischen Bewertung und die Lebenszykluskosten Berücksichtigung finden. Wenn bei Erneuerbaren Energieträgern ein längerer Betrachtungshorizont verwendet wird, können auf dem ersten Blick (aus Sicht der Investitionskosten) ökonomisch nicht vorteilhafte Projekte eine wirtschaftlichere Wärmeversorgung darstellen als konventionelle Anwendungen. Die Ergebnisse sollen in einem Bericht aufbereitet werden, der als transparente Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der Energieversorgung genutzt werden kann.

### 3 LEBENSZYKLUSKOSTEN FÜR DIE WÄRME- UND KÄLTEVERSORGUNG

**FÜR DIE LEBENSZYKLUSKOSTENANALYSE** im Allgemeinen oder im Speziellen für Gebäude liegen bereits eine Vielzahl von Normen, Leitfäden und Berechnungstools vor. In diesem Abschnitt werden die Besonderheiten bei der Berechnung der Lebenszykluskosten von gebäudeübergreifenden Energieversorgungslösungen dargestellt.

Die Lösungen verschiedener Wärme- oder Kälteversorgungsoptionen basieren auf der gleichen Ausgangsbasis. Alle Lösungen gehen von der gleichen Energienachfrage für einzelne Gebäude und für Gruppen von Gebäuden aus. Für die zu liefernde Energiemenge sowie für die bereitzustellende Leistung ab den Steigstrang im Gebäude und Temperatur bei der Abgabe des Warmwassers in den Wohnungen müssen Anforderungswerte definiert sein. Zusätzlich gelten natürlich Komfortanforderungen wie beispielsweise Mindesttemperaturen in einzelnen Räumen. Allfällige zusätzliche Komfortanforderungen müssen bereits zu Beginn feststehen (z.B. ein Heizkörper mit höherer Temperatur im Bad), um geeignete technische Lösungen konzipieren zu können.

Aufbauend auf den Mindestanforderungen werden die Konzepte der Energieversorgung geplant. Diese können – je nach eingesetzten Komponenten – bei der Dimensionierung bereits unterschiedlich sein. Beispielsweise können Wärmbereitstellungssysteme niedriger dimensioniert werden, wenn Lastausgleichsspeicher integriert sind. Entscheidend dabei ist die Erfüllung der bereits definierten Mindestanforderungen.

Wenn Konzepte für die Energieversorgung vorliegen, gilt es Lebenszykluskostenrechnungen zu erstellen, um die Varianten hinsichtlich der ökonomischen Qualität bewerten zu können und kostenoptimale Lösungen zu finden.

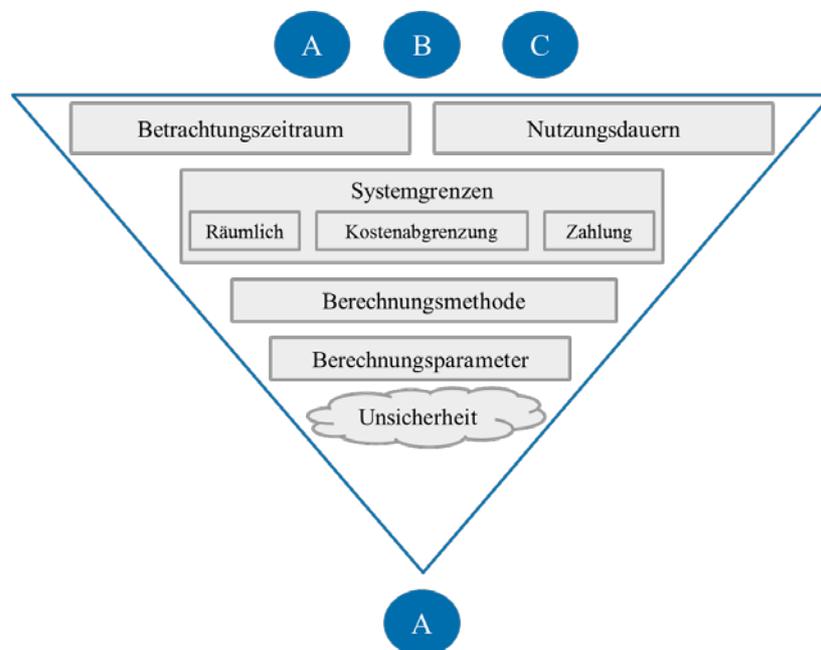


Abbildung 4: Wichtige Aspekte bei der Lebenszykluskostenrechnung  
Quelle: GEFMA 220, mit Änderungen von e7 Energie Markt Analyse GmbH

Bei der ökonomischen Bewertung spielen folgende Parameter eine entscheidende Rolle (siehe Abbildung 4):

- Betrachtungszeitraum
- Nutzungsdauern
- Systemgrenzen
  - Räumlich
  - Relevante Kosten für die Wärmeversorgung
  - Zahlungen
- Berechnungsmethode
- Berechnungsparameter
  - Kalkulationszinssatz
  - Restwert
- Unsicherheiten

In diesem Abschnitt ist eine detaillierte Beschreibung zum Umgang mit diesen Parametern zu finden.

### 3.1 BETRACHTUNGSZEITRAUM

Der Betrachtungszeitraum ist jene Zeitspanne, für die Nutzungskosten der Wärmeversorgung berücksichtigt werden. Die Länge dieses Zeitraums entscheidet dabei, welche Rolle die Nutzungskosten der Wärmeversorgung spielen.

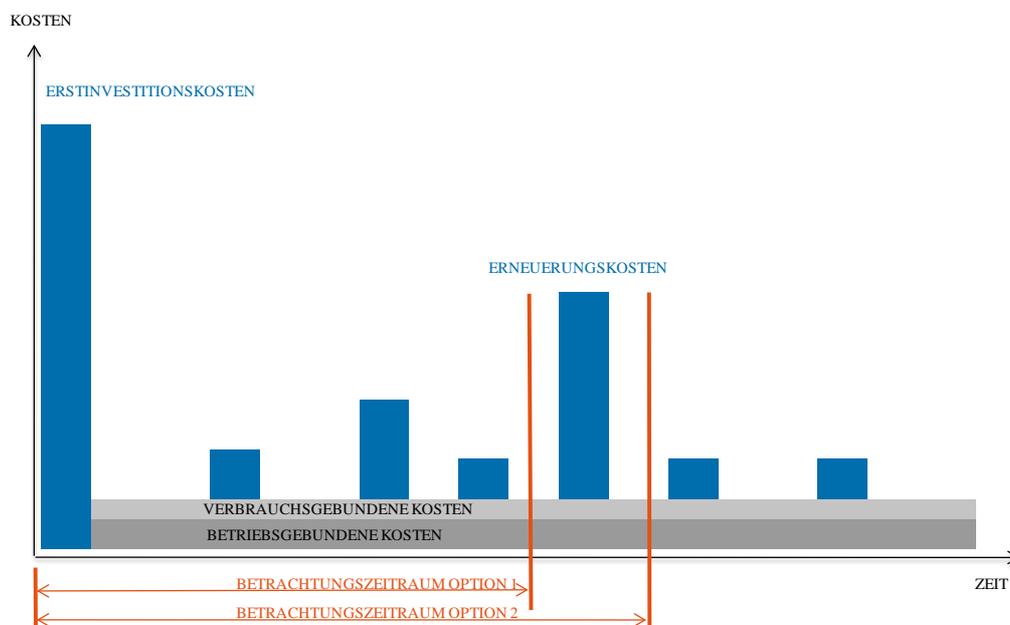


Abbildung 5: Mögliche Enden der Betrachtungszeiträume  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Das ist insbesondere bei erneuerbaren Energielösungen entscheidend, da höhere Investitionskosten sofort anfallen, die niedrigeren Betriebskosten aber während des ganzen Betrachtungszeitraums wirksam sind.

Kritische Kosten können auch Instandsetzung und Erneuerungskosten sein, die entweder vor oder erst nach dem Ende des Betrachtungszeitraumes schlagend werden. Entsprechend **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** kann das Ende des Betrachtungszeitraumes kurz vor (Option 1) oder nach (Option 2) einer größeren Erneuerung stattfinden (siehe Abbildung 6).

Die Berechnung der Lebenszykluskosten kann für unterschiedliche Betrachtungszeiträume erfolgen. In der Literatur liegen die Zeiträume für Gebäude zwischen 30 und 60 Jahren (siehe Tabelle 3).

TABELLE 3: ENTSCHEIDUNGSHILFEN FÜR DEN BETRACHTUNGSZEITRAUM

Art des Betrachtungszeitraums	Jahre	Quelle
Betrachtungszeitraum für Gebäude	30	ÖNORM B 1801-4, Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten
Betrachtungszeitraum für Gebäude	30	Niedrigstenergiestandard für öffentliche Gebäude, Wirtschaftliche Aspekte nachhaltiger Beschaffung im öffentlichen Bauwesen, Österreichisches Ökologie Institut, 2013
Betrachtungszeitraum für Büro- und Verwaltungsgebäude	50	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), BNB_BN 2.1.1, Deutschland, 2015
Nutzungsdauer Straßenbau-Hochbauten	60	Verkehrsplanung: Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen, Österreich, RVS 02.01.22, 2010
Technische Lebensdauer von Fernwärmenetzen	40 – 50	District Heating - Danish experiences, Dänische Energie Agentur, Dänemark, 2015

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Bei der Länge des Betrachtungszeitraums spielt die Perspektive der Analyse eine wesentliche Rolle:

- **Zeitraum der Investitionsrechnung von Unternehmen:** beispielsweise vom Errichter des Wärmeversorgungssystems. Dieser Zeitraum liegt in den meisten Fällen bei 20 Jahren. Das entspricht in etwa jener Länge, in der übliche Kesselsysteme auszutauschen sind.
- **Zeitraum für eine nachhaltige Energieversorgung:** Bei nachhaltigen Wärmeversorgungslösungen können Elemente eine deutlich längere Nutzungsdauer aufweisen, als der Betrachtungszeitraum bei einer Investitionskostenrechnung. Bei Erdwärmesonden geht man beispielsweise von einer Lebensdauer von rund 80 Jahren aus. Diese Investitionen sollen auch weitgehend im Betrachtungszeitraum abgebildet werden können.

Bei längeren Betrachtungszeiträumen muss berücksichtigt werden, dass die Prognosesicherheit mit zunehmender Dauer abnimmt. Aussagen zu technischen Lösungen und Erwartungen künftiger Nutzungen zum Zeitpunkt einer Erneuerung nach rund 25 oder 30 Jahren sind mit Unsicherheit behaftet und können so die Aussagekraft mindern.

Für nachhaltige Wärmeversorgungslösungen wird ein **Betrachtungszeitraum zwischen 30 und 50 Jahren** vorgeschlagen. Dieser Zeitraum soll über einzelne Investitionsrechnungen von Unternehmen hinausgehen, jedoch die Prognoseunsicherheiten begrenzen.

### 3.2 NUTZUNGSDAUERN

Die Nutzungsdauer von Bauteilen und Gewerken ist die rechnerische Lebensdauer eines Produktes. Nach Ablauf dieses Zeitraumes wird in der LZKA das Produkt durch ein neues, identes Produkt ersetzt. Am Ende

des Betrachtungszeitraumes kann der Wert der restlich verbleibenden Nutzungsdauer ökonomische angerechnet werden (siehe Kapitel 3.5.4).

Die Nutzungsdauer von Gewerken und Elementen ist primär der ÖNORM M 7140, Anhang C zu entnehmen. Weiters können der Nutzungsdauerkatalog der Sachverständigen in Steiermark und Kärnten oder die VDI 2067 genutzt werden.

Für nachfolgende Elemente werden Nutzungsdauern hier festgelegt, weil diese in Normen oder Nutzungsdauerkatalogen nicht oder nur unzureichend abgebildet sind:

**TABELLE 4: EINZELNE KONKRETE NUTZUNGSDAUERN VON ANLAGENTEILEN UND DAZUGEHÖRIGE QUELLEN**

Anlagenteil	Nutzungsdauer in Jahren	Quellen
<b>Erdwärmesonden</b>	80	In der VDI 2067 sowie der SIA 384/6 wird eine Lebensdauer von mindestens 50 Jahren angenommen; der Nutzungsdauerkatalog des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen in Deutschland setzt > 50 Jahre an; die Studie „Optimierung Erdwärmesonden“ geht von 50 bis 100 Jahren aus. Der Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen legt den Wert auf „80 -“ fest. Hier wird der Wert auf 80 Jahre gesetzt.
<b>Grundwasserbrunnen</b>	50	Nutzungsdauern für Brunnen in der Siedlungswasserwirtschaft sowie im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen in Deutschland liegen bei 50 Jahren. Der Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen gibt für mehrere Brunnenarten eine Bandbreite von 30 – 80 Jahren an. Hier wird der Wert auf 50 Jahre gesetzt.

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

### 3.3 SYSTEMGRENZEN

#### 3.3.1 RÄUMLICHE SYSTEMGRENZE

Die räumliche Systemgrenze entspricht dem Untersuchungsgebiet für die Energieversorgung. Das kann mehreren Gebäude oder einem gesamten Stadtentwicklungsgebiet entsprechen. Wichtig dabei ist, dass bei einem Untersuchungsgebiet, das zwei oder mehrere Gebäude berücksichtigt, auch Lösungen konzipiert werden können, die auf der Ebene eines Einzelgebäudes funktionieren. Ein über das gesamte Untersuchungsgebiet erstreckendes Wärmenetz ist nicht zwingender Bestandteil der Analyse. Es kann auch zu einer kostenoptimalen Lösung führen, wenn für jedes Gebäude eigene Wärmebereitstellungssysteme geplant werden.

Kritisch bei der räumlichen Systemgrenze sind Lösungen mit Nah- oder Fernwärme, wenn die Kraftwerke für die Wärmeproduktion nicht im Untersuchungsgebiet sind. Die Kosten für eine Erhöhung der Wärmeproduktion aufgrund des gegenständlichen Untersuchungsgebietes sind jedoch zu berücksichtigen. Das kann einerseits durch entsprechende konkrete Zusatzkosten für die Wärmeproduktion erfolgen, oder über einen Wärmetarif, der die Produktionserweiterung bereits einkalkuliert hat.

Bei Abwärmenutzung kommt es auch vielfach vor, dass der Abwärmeproduzent (beispielsweise ein Gewerbebetrieb oder Industrieunternehmen) nicht im Untersuchungsgebiet ist, jedoch die Abwärme in das Wärmeversorgungskonzept integriert wird. Hier gilt die Übergabe der Wärme ab den räumlichen Systemgrenzen. Allfällige Kosten und Erlöse sind in der LZKA zu berücksichtigen.

### 3.3.2 KOSTENABGRENZUNG - RELEVANTE KOSTEN DER ENERGIEVERSORGUNG

Vor Beginn der Kostenanalyse gilt es festzulegen, welche Kosten in der Analyse berücksichtigt werden. Zum einen werden nur jene Kosten analysiert, die mit der Energieversorgung direkt oder indirekt verknüpft sind, zum anderen auch nur jene Kosten, die bei den verschiedenen Energieversorgungsvarianten zu Unterschieden führen. Wenn beispielsweise bei jeder Variante ein und dasselbe Wärmenetz konzipiert wird, dann sind die Kosten in der Erreichung und im Betrieb für alle gleich und müssen in der Kostenanalyse nicht zwingend berücksichtigt werden.

Die direkten Kosten der Energieversorgung sind jene Komponenten, die direkt für die Energieversorgung benötigt werden, beispielsweise Kesselanlagen in der Wärmebereitstellung und Wärmeverteilungen. Indirekte Kosten sind jene, die von der Wahl des Energieversorgungskonzepts sowie der Komponenten ausgelöst werden. Diese Kostenart ist sehr vielfältig und schwieriger zu definieren. Dabei ist es gerade hier wichtig, eine saubere und faire Systemgrenze zu ziehen.

Nachfolgend eine Liste möglicher indirekter Kosten:

- Grundsätzlich sind sämtliche zusätzlichen Planungs- und Genehmigungskosten für einzelne Varianten zu berücksichtigen.
- Im Vergleich zu Nah- oder Fernwärmelösungen müssen bei der Wahl eines Heizkessels sämtliche Errichtungs- und Folgekosten für den Rauchfang berücksichtigt werden.
- Bei der Planung von Wärmepumpenlösungen sind die höheren Anschlussgebühren für den Transformator der elektrischen Energie zu berücksichtigen. Dafür können gegebenenfalls niedrigere Energietarife in die Analyse einfließen, falls der Strom auf einer höheren Netzebene bezogen werden kann.
- Im Vergleich zu Nah- oder Fernwärmelösungen müssen bei lokalen Wärmeversorgungssystemen der Flächen- und Raumbedarf für eine größere Heizungszentrale einbezogen werden. Bei dezentraler Wärmeerzeugung in den Wohnungen (z.B. mit einem Durchlauferhitzer) muss auch hier der Platzbedarf berücksichtigt werden.
- Bei einer gebäudeübergreifenden Versorgungslösung mit einer Heizungszentrale neben den Wohngebäuden sind die Kosten für das Grundstück einzuberechnen.
- Die Wärmeabgabe über eine Fußbodenheizung kann zu einem höheren Fußbodenaufbau führen im Vergleich zu einer Wärmeabgabe über Radiatoren. Anfallende unterschiedlichen Kosten im Fußbodenaufbau und höhere Kosten bei einer größeren Gebäudehöhe sind zu berücksichtigen.

Bei den Energieversorgungskonzepten ist daher immer zu prüfen, welche zusätzlichen Maßnahmen und Kosten erforderlich sind, um einzelne Konzepte realisieren zu können.

### 3.3.3 SYSTEMGRENZE ZAHLUNGEN

Die zahlungsbedingten Systemgrenzen beschreiben jene Arte der Kosten und Erträge, die in der LZKA einbezogen werden.

Grundsätzlich gilt für die Kostenanalyse jene Definition der Lebenszykluskosten entsprechend ÖNORM B 1801-2. Hier sind alle Kostenkategorien für Erstinvestition und Folgekosten Bestandteil der Lebenszykluskosten mit Ausnahme der Grundstücks- und Finanzierungskosten. Die ÖNORM B 1801-4 lässt jedoch in eigenen definierten Parametern auch LZKA mit der Berücksichtigung von Kostenanteilen von Grundstücken und Finanzierung zu.

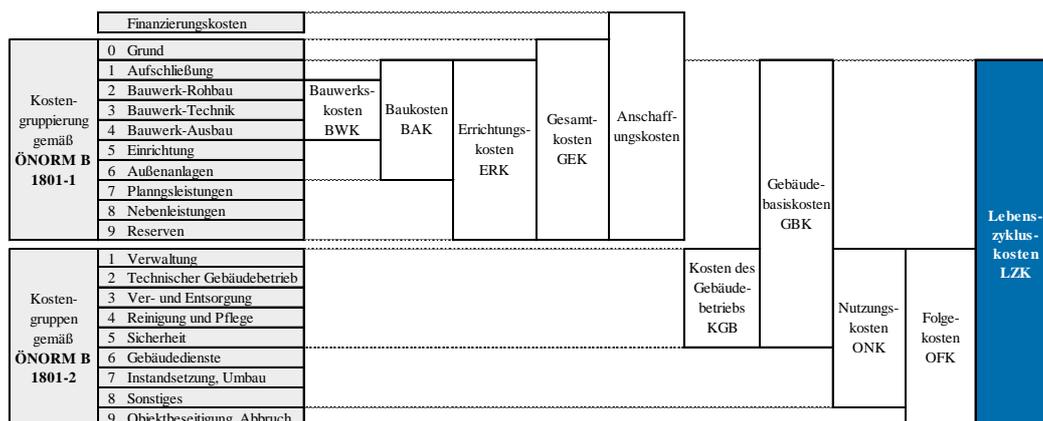


Abbildung 6: Definition der Lebenszykluskosten nach ÖNORM B 1801-2  
Darstellung: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Gemäß ÖNORM B 1801-2 sind die Energietarife für den Betrieb der Anlagen in Kostengruppe 3 Ver- und Entsorgung abgebildet. Die Energietarife umfassen jene Kosten für Betreiber, um die Energieversorgungslösung betreiben zu können. Zusätzlich muss ein Betreiber noch Kosten in der Kostengruppe 1 und 2 für Verwaltung und den technischen Gebäudebetrieb berücksichtigen, um die Heizungsanlage betreiben zu können.

Bei einem Vergleich mit Fernwärme-Lösungen und dem Endkundentarif für Fernwärme ist hier eine kritische Auseinandersetzung der Kostenaufgliederung erforderlich. Die Fernwärme Wien beispielsweise enthält im Wärmetarif Kosten für die Errichtung von Heizkraftwerken, den Betrieb und die Verwaltung, den Um- und Ausbau der Netze, sowie Anteile für den Gewinn für das Unternehmen. Eine ähnliche Situation ist auch bei anderen Nah- und Fernwärmebetreibern zu erwarten. Eine detaillierte Auflistung der Kostenanteile im Wärmetarif ist in der Regel nicht zu erwarten. Daher sind bei einem Vergleich mit der Fernwärme neben den Kosten für die Errichtung und die Energietarife auch Kostenbestandteile für den Betrieb, die Verwaltung (z.B. Versicherungen) und einen anteiligen Gewinn dieses Unternehmens zu berücksichtigen, um annähernd gleiche Systemgrenzen wie eine Lösung mit Fernwärmeversorgung zu erhalten.

Die betrachtenden Kosten sind konkrete Zahlungen des Anlagenbetreibers von der Initiierung bis zum Ende des Lebenszyklus. Neben konkreten Zahlungen können auch kalkulatorische Kosten berücksichtigt werden. Bei der Wärmeversorgung stellt sich vor allem die Frage, ob externe Kosten in die Bewertung einfließen sollen. Externe Kosten der Wärmeversorgung umfassen die dem Energieeinsatz verbundenen Kosten der Umweltbelastung, die von der Allgemeinheit getragen werden, ohne dass die Kunden der Wärmeversorgung dafür bezahlen müssen. Insbesondere durch fossile Energieträger entstehen Umweltauswirkungen, die in den direkten Energietarifen nicht abgebildet sind. Hier kann durch eine klare Vorgabe von Zusatzkosten je verbrauchter Energieeinheit für Gas oder Öl ein Beitrag zu Kostenwahrheit getragen werden. Beispielsweise kann durch einen Tarif für die Kosten je entstehender Tonne CO<sub>2</sub> eine energieträgerspezifische Erhöhung

des Grundpreises berücksichtigt werden. Die aktuell gehandelten Tarife für CO<sub>2</sub> sind „Marktpreise“ und decken nicht die Kosten für die entstehenden Schäden ab. Sie bieten jedoch ein Hilfsmittel um einen Schritt näher zur Kostenwahrheit zu kommen.

Neben den Kosten der Energieversorgung können auch Erlöse in der Analyse miteinbezogen werden. Diese treten zum einen direkt beim Konzept der Energieversorgung auf oder sie können auch indirekt als Resultat des Konzeptes auftreten. Direkte Erlöse können beispielsweise Erträge von PV Anlagen sein, die ins elektrische Netz eingespeist werden und nicht direkt genutzt werden können. Zusätzlich können Kosten und Erlöse von Abwärmenutzungen von Anlagen berücksichtigt werden, die sich nicht im Untersuchungsgebiet befinden. Indirekte Erlöse könnten durch Verbesserung der Komfortsituationen in den Wohnungen resultieren. Bei Konzepten mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden in Wohngebieten ist bei Erdsondenfeldern so zu dimensionieren, dass die entzogene Wärmemenge durch Wärme-Rückspeisungen zurück in die Erdsonde ausgeglichen wird, sodass eine langfristige fehlerfreie Nutzung sichergestellt werden kann. Eine Möglichkeit im Sommer kostenfreie Wärme in die Erdsonden zu schicken, ist die (passive) Kühlung von Wohnungen. Die (passive) Kühlung im Sommer führt zu einer Verbesserung des sommerlichen Komforts in den Wohnungen und könnte sich somit auch im Mietniveau widerspiegeln. Dieser zusätzliche Erlös kann bei der LZKA berücksichtigt werden.

Zusätzlich kann neben der Auflistung der Kosten über den Lebenszyklus auch der zu erwartende Ertrag aus dem Wärmetarif berücksichtigt werden. Hier wird der Cash-Flow der Ausgaben den Einnahmen gegenübergestellt. Bei diesem Ansatz soll insbesondere die Erlös- und Gewinnerwartung des Energieversorgers bei entsprechendem Zinssatz überprüfen werden.

### 3.4 BERECHNUNGSMETHODE

Die Berechnungsmethoden lassen sich in statische, dynamische und moderne Methoden untergliedern. Bei der statischen Methode wird der Zeitpunkt der Zahlungen nicht berücksichtigt, bei der dynamischen Methode werden sämtliche Zahlungen mit einem Kalkulationszinssatz auf einen bestimmten Zeitpunkt verzinst, bei modernen Methoden können für einzelne Zahlungen unterschiedliche Verzinsungs- und Finanzierungsszenarios berücksichtigt werden.

Die klassische Betrachtung der Lebenszykluskosten erfolgt nach einer dynamischen Methode, üblicherweise die Barwertmethode. Zweck dieser Berechnungen ist der Vergleich von verschiedenen Varianten und die Auswahl eines ökonomischen Optimums. Beim Barwert wird als Referenzzeitpunkt der Zeitpunkt der Fertigstellung der Bauarbeiten/Start des Betriebs definiert. Für die Barwertmethode gilt folgende Formel:

$$B = I + \sum_{t=0}^n \frac{Z}{(1+i)^n} + \frac{R}{(1+i)^n}$$

Abbildung 7: Formel für die Barwertberechnung, mit Bestandteilen *B* - Barwert, *I* - Investitionskosten, *Z* - Jährliche Zahlungen, *i* - Kalkulationszinssatz, *n* - Anzahl der Jahre des Betrachtungszeitraums, *R* - Restwert

### 3.5 BERECHNUNGSPARAMETER

Die Berechnungsparameter sind konkrete Werte, die als Eingabedaten in der gegebenen Berechnungsmethode eingesetzt werden und einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis haben können. Einer der wichtigsten Parameter ist der Kalkulationszinssatz. Mit der Festlegung eines Wertes gibt man Orientierung in wie weit Folgekosten eine Rolle spielen und damit eine langfristige Betrachtung erfolgt, oder eben der Fokus auf die Erstinvestitionen liegt, auch wenn Lebenszykluskosten berechnet werden.

#### 3.5.1 KALKULATIONSZINSSATZ

Der Kalkulationszinssatz oder kalkulatorischer Zinssatz dient zur Abzinsung von an unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten auf einen Bezugszeitpunkt. Dieser Zinssatz spiegelt die Erwartungen eines Investors hinsichtlich der Mindestverzinsung wider. Dabei gibt es verschiedene Methoden, die Höhe des Zinssatzes festzulegen [Stadt Zürich 2011]:

- **Actual Cost of Capital (ACC):** Als Basis für dieses Niveau gilt ein langfristiges, festverzinsliches und (annähernd) risikofreies Wertpapier wie beispielsweise Wertpapiere des Bundes ([www.bundesschatz.at](http://www.bundesschatz.at)). Dieser Zinssatz wird zum einen auf Grund des allgemeinen Umsetzungsrisikos (z.B. Illiquidität) und zum anderen auf Grund des individuellen Risikoprofils des einzelnen Projektes (Art der Wärmeversorgung, Standort, Mieterprofil) angepasst.
- **All Risk Yield (ARY):** Als Basis dient in diesem Fall die Rendite, welche bei ähnlichen Projekten in jüngster Vergangenheit erzielt wurde. Dies erfordert eine hohe Übereinstimmung der Risikoprofile, was in der Praxis selten ist. Erfahrungen von Nah- und Fernwärmenetzen können hier berücksichtigt werden.
- **Weighted Average Cost of Capital (WACC):** Der WACC Ansatz basiert auf den gewichteten Kapitalkosten des eingesetzten Fremd- und Eigenkapitals. Insbesondere der effektive Eigenkapitalzinssatz ist schwierig zu bestimmen, da dieser nicht direkt zu beobachten ist. Durch Managementvorgaben vorgegebene Eigenkapitalverzinsungen sind vor allem Führungs- und Bewertungsinstrumente und lassen nicht auf die effektiven Kosten des Eigenkapitals schließen.

Bei der Bestimmung des Kalkulationszinssatzes ist zu beachten, dass nicht von aktuellen bzw. kurzfristigen Zinssätzen ausgegangen werden darf, sondern ein langfristig zu erwartender Zinssatz herangezogen werden muss. Der Einsatz von kurzfristigen Zinssätzen, die sehr oft vom Durchschnitt abweichen, würde das Ergebnis stark beeinträchtigen und damit verfälschen. [Pichler 2009]

Beim Kalkulationszinssatz gilt es festzulegen, welche Perspektive der Verzinsung gewählt wird. Hier bildet sich in vielen Fällen eine hohe Bandbreite. Geht man von einer Fremdkapitalverzinsung und der Berücksichtigung zusätzlicher, definierter Risiken aus, oder sind es die Renditeerwartungen eines Unternehmens, die in der Regel deutlich höher sind (WACC Ansatz). Will man auf die betriebswirtschaftlichen Erfordernisse der Eigenkapitalverzinsung nicht eingehen und sieht den öffentlichen Auftrag der Wärmeversorgung, so ist der Kalkulationszinssatz niedriger.

Das ist auch in der Auflistung verschiedener Kalkulationszinssätze in anderen Bereichen und bei internationalen Anwendungsfällen zu sehen (siehe Tabelle 5). Hier ist eine Durchmischung des ACC und WACC Ansatzes sichtbar.

TABELLE 5: QUELLEN FÜR KALKULATIONSZINSSÄTZE

Art des Kalkulationszinssatz	Kalkulationszinssatz	Quelle
<b>Realer Kalkulationszinssatz für Neubau- und Erneuerungsinvestitionen</b>	2,0 - 3,0 %	Ott W., v. Grünigen S., Wirtschaftlichkeit von Neubau- und Erneuerungsinvestitionen in der 2000-Watt-Gesellschaft, Schweiz, 2011
<b>Realer Kalkulationszinssatz für Büro- und Verwaltungsgebäude</b>	1,5 %	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), BNB_BN 2.1.1, Deutschland, 2015
<b>Realer Kalkulationszinssätze für lange Betrachtungszeiträume im Energiesektor</b>		Dänische Energie Agentur, Leitlinien zur sozioökonomischen Analysen im Energiesektor, Dänemark, 2013
- Jahr 0-35	4,0 %	
- Jahr 36-70	3,0 %	
- Jahr 70 und danach	2,0 %	
<b>Realer Kalkulationszinssatz im Verkehrswesen</b>	3,0 %	Verkehrsplanung: Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen, Österreich, RVS 02.01.22, 2010
<b>Realer Kalkulationszinssatz für Energie System Analysen</b>	1,0 – 7,0 %	Discount rates in energy system analysis, Discussion Paper, Steinbach J. et al., Buildings Performance Institute Europe, 2015

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Für einen Optionenvergleich von Wärmeversorgungslösungen ist der ACC Ansatz zweckmäßig. Ziel des Vergleichs ist in erster Linie eine ökonomisch nachhaltige Wärmeversorgungslösung zu finden.

Vor der Berechnung ist klarzustellen, ob die allgemeine Preissteigerung (Inflation) berücksichtigt ist (Nominalwert), oder ob der Kalkulationszinssatz darauf aufbaut (Realwert).

Die Festlegung des Niveaus des Kalkulationszinssatzes hat auf alle Fälle einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung. Letztendlich wird hier festgelegt, in welchem Ausmaß zukünftige Kosten in der Berechnung des Barwertes Einfluss haben (siehe

Abbildung 8). Bei einem niedrigen Zinssatz haben die Folgekosten einen hohen Einfluss, je höher der Zinssatz, desto niedriger wird der Einfluss. Laufende Kosten der Wärmeversorgung gehen im Jahr 40 bei einer Verzinsung von 2% mit einer Gewichtung von rund 45% in die Berechnung, bei 8% liegt die Gewichtung bereits bei rund 5 %.

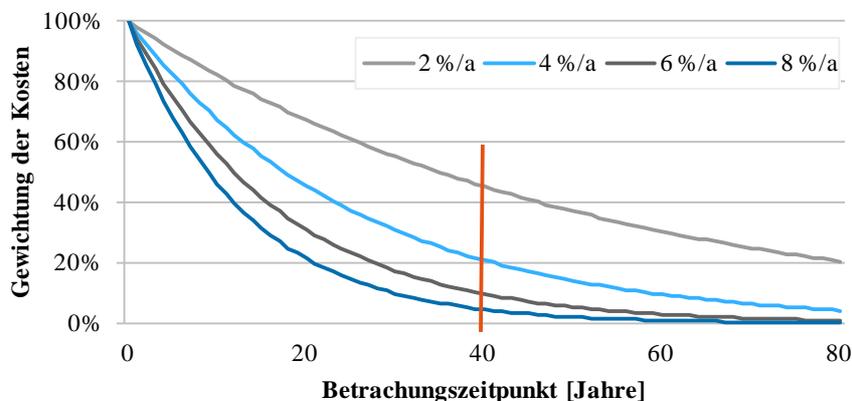


Abbildung 8: Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Folgekosten  
Darstellung: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Bei Wärmeversorgungslösungen basierend auf erneuerbaren Energieträgern liegt oft eine höhere Erstinvestition vor, im Betrieb sind die Kosten geringer als mit herkömmlichen Systemen. Bei einem niedrigen Zinssatz haben diese niedrigen Betriebskosten ein höheres Gewicht.

Aufgrund der langfristigen Betrachtung der Wärmeversorgungslösungen und unter Berücksichtigung der verschiedenen Methoden der Festlegung des Wertes soll der reale **Kalkulationszinssatz zwischen 2,0 und 2,5 %** liegen.

### 3.5.2 INFLATIONSRATE

Die Entwicklung der Kosten und Erlöse im Lebenszyklus wird durch eine Inflationsrate in %/a abgebildet. Die gewählte Inflationsrate muss mit dem gewählten Kalkulationszinssatz zusammenhängen. Bei einer angenommenen Inflationsrate von 1 %/a, muss der nominale Kalkulationszinssatz ebenfalls dieses Niveau berücksichtigen (z.B. bei 4% nominalem Kalkulationszinssatz ist 1% Inflationsrate bereits enthalten). Alternativ kann ein realer Kalkulationszinssatz definiert werden, der nur jenen Anteil berücksichtigt, der unabhängig von der Inflationsrate festgelegt wird (z.B. bei 1% Inflationsrate ist der reale Kalkulationszinssatz 3%).

Aktuelle und historische Daten zum Verbraucherpreisindex sind der Website der Statistik Austria zu entnehmen: [www.statistik.at](http://www.statistik.at)

### 3.5.3 PREISSTEIGERUNGSRATEN

Unabhängig von der allgemeinen Inflationsrate können spezifische Güter Preissteigerungsraten in unterschiedlicher Höhe aufweisen. Das betrifft die Preissteigerungsraten der Anlagen, die im Baupreisindex abgebildet sind. Weiter sind davon die Preissteigerungen im Bereich Energie betroffen, die sehr unterschiedlich sind, jedoch auch sehr schwierig langfristig vorherzusagen sind. Im Allgemeinen orientieren sich die Energiepreissteigerungen an der allgemeinen Inflation, bei Lösungen mit höherer Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen kann eine geringfügig höhere Preissteigerungsrate angenommen werden. Hier wird berücksichtigt, dass langfristig eine Reduktion der beförderten Energiemengen zu einem Preisanstieg führen wird, auch wenn diese Preise kurzfristig eine hohe Instabilität aufweisen.

Aktuelle und historische Daten zum Baupreisindex sind der Website der Statistik Austria zu entnehmen: [www.statistik.at](http://www.statistik.at)

Aktuelle und historische Daten zu Energiepreissteigerungen (Energiepreisindex, Strompreisindex) sind auf der Website der Österreichischen Energieagentur zu finden: [www.energyagency.at](http://www.energyagency.at)

### 3.5.4 RESTWERT

Der Restwert ist jener kalkulatorische Erlös, der berücksichtigt wird, wenn ein Element am Ende des Betrachtungszeitraums noch nicht am Ende der Nutzungsdauer angelangt ist. In der Regel wird dann jener Anteil, der nach dem Betrachtungszeitraum anfallen würde, in einer linearen Berechnung über die Nutzungsdauer dem Element gutgeschrieben.

Bei Wärmeversorgungskonzepten die auf eine langfristige Nutzung aufbauen (das sind Konzepte mit Elementen, die eine Nutzungsdauer über rund 25 Jahren aufweisen) ist entscheidend, ob ein kalkulatorischer Restwert berücksichtigt wird oder nicht. Bei der Kalkulation von Wärmetarifen wird bei üblichen Wärmeversorgungskonzepten mit Kesselanlagen oder Solarthermiekomponenten ein Betrachtungszeitraum von 20 – 25 Jahren angenommen. Danach werden alle Komponenten abgeschrieben, der Restwert wird dann nicht berücksichtigt.

Konzepte mit Erdwärmesonden planen jedoch in deutlich längeren Zeitfristen, da es nicht möglich ist, Erdsonden nach einem Zeitraum von 25 Jahren auszutauschen. Diese längerfristige Betrachtung soll in der Betrachtung der Lebenszykluskosten berücksichtigt werden, in dem der Restwert von Komponenten in die Analyse einfließt.

### **3.6 UNSICHERHEITEN**

Die Lebenszykluskostenanalyse ist eine Prognose von Kosten und Erlösen, die in der Zukunft anfallen. In der Analyse wird versucht, auf Basis möglichst konkreter Vorstellungen und aktueller Informationen, die künftigen Werte realitätsnah abzubilden. Jedoch ist eine Unsicherheit über die künftige Entwicklung unausweichlicher Bestandteil der Berechnung. Daher ist es von großer Bedeutung, mit dieser Unsicherheit aktiv umzugehen, um die Aussagekraft der LZKA nicht zu schmälern.

Durch den langen Betrachtungszeitraum der LZKA ergeben sich Unsicherheiten in der Prognose von Ausmaß und Zeitpunkt künftiger Betriebs- und Wartungskosten sowie Erneuerungskosten. Mögliche Unsicherheiten in der LZKA können die Überschreitung der kalkulierten Nutzungsdauer aber auch das Auftreten von geplanten Kosten zu einem anderen Zeitpunkt als dem prognostizierten sein.

Die Aussagekraft der LZKA kann durch zusätzliche Sensitivitätsanalysen bekräftigt werden. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden zuerst jene Parameter analysiert, bei denen kein gemeinsames Verständnis unter den beteiligten Akteuren erreicht werden konnte oder bei denen eine Änderung des Niveaus gerechnet wird. Für diese Parameter können zusätzliche Werte festgelegt werden, die in Abänderung der Basisvarianten ermittelt werden. Hier ist dann zu beobachten, inwieweit das Ergebnis der Basisvariante geändert wird. Ändert sich dabei das Ergebnis so, dass bei Änderungen der Parameter andere Varianten die geringsten Lebenszykluskosten aufweisen? Oder liegt nur eine Änderung des Kostenniveaus vor, jedoch keine Änderung der Reihenfolge der kostengünstigsten Varianten. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind Bestandteil des Berichtes und transparent zu kommunizieren.

## 4 BEAUFTRAGUNG EINER LEBENSZYKLUSKOSTENANALYSE

**DIE ANALYSE DER LEBENSZYKLUSKOSTEN** von Varianten der Energieversorgung erfolgt in der Regel durch ExpertInnen oder FachplanerInnen. Als Grundlage für die Analyse sind konkrete Randbedingungen und Vorgaben erforderlich, wie die Berechnung durchzuführen ist und die Ergebnisse aufzubereiten sind.

Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten sind die Vorstellungen des Auftraggebers einzuhalten und eine Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse zu gewährleisten. Daher ist es sinnvoll, dass die Lebenszykluskosten von verschiedenen Ausführungsvarianten möglichst von einer Institution berechnet werden. Bei mehreren Anbietern von Konzepten zur Wärmeversorgung sollen die Anbieter die Basisdaten (in der Regel Kostendaten und ein Energiekonzept) liefern, die vergleichende Berechnung der Lebenszykluskosten soll durch die eine Institution erfolgen. Diese Institution soll möglichst konkrete Vorgaben zur Lebenszykluskostenanalyse erhalten, um aussagekräftige Ergebnisse als Entscheidungshilfe zu erhalten.

Nachfolgend ist ein konkreter Vorschlag für Anforderungen an die LZK-Berechnung. Die Werte für Berechnungsparameter hängen von den Vorstellungen des Auftraggebers ab. Sie sollen jedoch grundlegende Orientierung für Größenordnungen der Werte und mögliche Sensitivitätsanalysen bieten.

### ZIELWERTE

Die von der ausschreibenden Stelle festgelegten Ziel- und Grenzwerte für ökologische, soziale und betriebliche Aspekte sind Rahmenbedingungen für die Berechnung. Die Einhaltung der Grenzwerte ist bei jeder Variante zu prüfen.

### KOSTENABGRENZUNG

Die Lebenszykluskosten beinhalten die Errichtungskosten nach ÖNORM B 1801-1 (Kostengruppen 1 bis 9 lt. ÖNORM B 1801-1, exkl. Kostengruppe 5 Einrichtung) sowie die anlagenbezogenen Folgekosten nach ÖNORM B 1801-2. Die gebäudebezogenen Folgekosten umfassen Kosten für Energie, für Wartung und Instandsetzung von Elementen der Energieversorgung, für Betriebsführung der technischen Anlagen und für Re-Investition von Komponenten.

### PARAMETER DER BERECHNUNG

In Tabelle 6 ist ein konkreter Vorschlag für die Berechnungsparameter eine LZK-Berechnung dargestellt.

TABELLE 6: KONKRETER VORSCHLAG FÜR BERECHNUNGSPARAMETER

<u>Parameter</u>	<u>Basiswert</u>	<u>Sensitivitätsanalyse</u>
<b>Betrachtungszeitraum</b>	40 Jahre	20 Jahre
<b>Kalkulationszinssatz real</b>	2,0 %	3,0 %
<b>Energiepreissteigerung real</b>		
- <b>Fossile Energieträger</b>	1,0 %/a	3,0 %/a
- <b>Erneuerbare Energieträger</b>	0,0 %/a	2,0 %/a
- <b>Strom</b>	0,0 %/a	2,0 %/a
<b>Baupreisindex real</b>	0,5 %/a	---
<b>Restwertbetrachtung</b>	Ja	Nein

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

## METHODE

Barwertmethode, beispielsweise nach ÖNORM M 7140 oder ÖNORM B 1801-4.

## KOSTENGRUNDLAGE WÄRMEVERSORGUNGSANLAGE

Die Struktur der Kostengliederung orientiert sich an der 3. Ebene der Baugliederung nach ÖNORM B 1801-1. In dieser Ebene sind die Komponenten der Wärmeversorgung als Elemente darzustellen. Diese Datengrundlage ist die Basis der Berechnung der Lebenszykluskosten und kann – bei mehreren Anbietern – eingefordert werden und durch eine einzelne Institution berechnet werden.

Die Darstellung der Kostengrundlage sowie der Nutzungsdauern je Variante erfolgt in folgender Struktur:

**TABELLE 7: GLIEDERUNG UND BESCHREIBUNG DER KOSTENGRUNDLAGE FÜR DIE LZK-BERECHNUNG**

<b>Daten</b>	<b>Einheit</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Zuordnung nach ÖNORM B 1801-1</b>	-	Dient zur Hilfestellung in der Strukturierung und für Benchmarking von Wärmeversorgungslösungen
<b>Elemente</b>	-	Name des Elements
<b>Beschreibung</b>	-	Beschreibung von technischen Daten der Elemente, beispielsweise Effizienzangaben, Randbedingungen für die Einsatzmöglichkeit
<b>Dimensionierung</b>	-	Festlegung der Größenordnung der Elemente, beispielsweise in Leistung, Fläche oder Laufmeter
<b>Einheit</b>	-	Angabe der Einheit der Dimensionierung, beispielsweise in kW, m <sup>2</sup> oder m.
<b>Anzahl</b>	-	Bei mehreren gleichen Elementen kann einfach mit der Anzahl multipliziert werden.
<b>Spezifische Kosten</b>	EUR/Einheit	Spezifische Kosten der Elemente, dient als Benchmarking der Kostenarten
<b>Absolute Kosten</b>	EUR	Angabe der Kosten der Elemente, dient zur Berechnung der Gesamtkosten
<b>Jahr der Kostenbasis</b>	-	Jahresangabe ist erforderlich für die Indizierung der Kosten je nach Baustart
<b>Wartung + Instandsetzung</b>	EUR/a	Jährliche Kosten für regelmäßig Wartung und Instandsetzung des Elements
<b>Quelle der Kosten</b>	-	Angabe der Quellen der Kosten für Elemente sowie für Wartung und Instandsetzung
<b>Nutzungsdauer</b>	a	Angabe der Nutzungsdauer als Jahreswert
<b>Quelle der Nutzungsdauer</b>	-	Angabe der Quellen, beispielsweise Nutzungsdauerkatalog, Begründung für etwaige Abweichung von Katalogwerten

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

In Tabelle 8 ist ein Beispiel für die Dokumentation der Kostengrundlage dargestellt:

**TABELLE 8: VEREINFACHTES BEISPIEL FÜR DIE KOSTENGRUNDLAGE EINER LZK-RECHNUNG**

ÖNORM	Element	Dim.	Einheit	Anzahl	Spez. Kosten	Kosten	Nutzungsdauer	Quelle
3C	Luft/Wasser Wärmepumpe	100	kW	1	330	23.300	15	Ausschreibung
3C	Wärmespeicher	30	m <sup>3</sup>	2	1.000	30.000	25	Herstellerangaben
3F	Photovoltaik	50	kWp	1	1.000	50.000	25	Interne Daten

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

### NUTZUNGSDAUER

Die Nutzungsdauer von Gewerken und Elemente ist der ÖNORM M 7140, Anhang C zu entnehmen. Weiters ist der Nutzungsdauerkatalog der Sachverständigen in Steiermark und Kärnten oder die VDI 2067 genutzt werden.

Zusätzlich ist die Nutzungsdauer für nachfolgende Elemente festgelegt:

**TABELLE 9: EINZELNE KONKRETE NUTZUNGSDAUERN VON ANLAGENTEILEN**

Anlagenteil	Nutzungsdauer in Jahren
Erdwärmesonden	80
Grundwasserbrunnen	50

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

### ENERGIEKOSTEN

Die Energiekosten sind als Endenergiekennwerte je Wärmebereitstellungseinheit darzustellen. Zusätzlich ist sämtliche Hilfsenergie, beispielsweise für die Wärmebereitstellungseinheiten und für die Pumpen im Wärmenetz, darzustellen.

Als Energietarif können einerseits Werte von der ausschreibenden Stelle vorgegeben werden (z.B. unternehmensinterne Tarife für Strom oder Gas), oder Werte eines Anbieters eingegeben werden. Die Entscheidung der Vorgangsweise sowie die Festlegung sind zu kommunizieren.

### KOSTEN FÜR BETRIEBSFÜHRUNG UND VERWALTUNG

Neben den Kosten für die Komponenten der Wärmeversorgung sind auch alle übergeordneten Kosten zu berücksichtigen, die erforderlich sind, um die Energieversorgungslösung als Ganzes betreiben zu können. Das sind Kosten der Betriebsführung sowie Versicherungen etc. Diese Kosten sind in Einzelpositionen transparent darzustellen.

### ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN

Neben den Daten für die Lebenszykluskostenrechnung sind noch weitere Informationen erforderlich, um die Kostendaten hinsichtlich Plausibilität prüfen zu können.

- Beschreibung des Konzeptes der Wärme- und/oder Kälteversorgung
- Beschreibung der geplanten Betriebsstrategie der Wärme- und/oder Kälteversorgung

## 5 ERFAHRUNGEN UND BEISPIELE

### 5.1 WÄRMEVERSORGUNGSOPTIONEN FÜR DAS DONAUFELD

Ziel der Studie war die Entwicklung von Lösungen zur Wärmeversorgung unter Berücksichtigung von lokalen, erneuerbaren Energiequellen. Im Rahmen der Studie wurden konkrete Systeme zur Energieversorgung analysiert und anhand von ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet.

Die Auswahl der Wärmeversorgungsvarianten (siehe Abbildung 9) gliedert sich in Referenzvarianten, Varianten mit Wärmenetz (mit/ohne Fernwärme) und einer Variante ohne Wärmenetz. Referenzvarianten sind jene Varianten, die derzeit in der Regel zum Einsatz kommen. Das ist zum einen der Anschluss an die Fernwärme (Variante 0) oder eine Wärmebereitstellung mittels Gas-Kessel in jedem Gebäude (Variante 4).

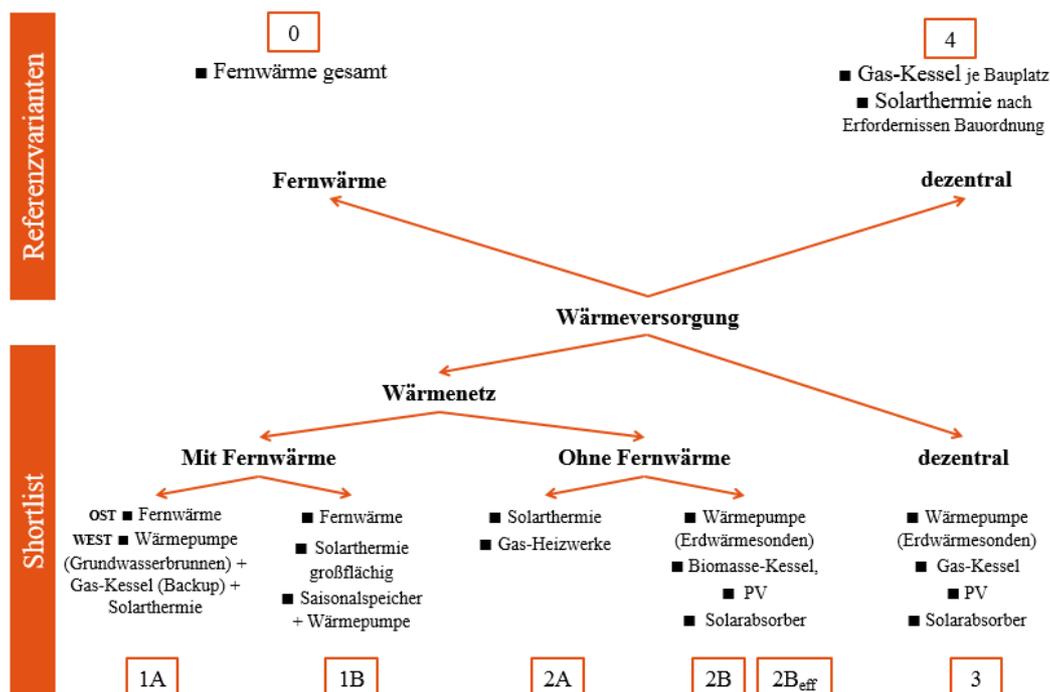


Abbildung 9: Überblick zu den untersuchten Energieversorgungsvarianten  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Die Varianten mit Wärmenetz und Fernwärme teilen sich wie folgt auf: Variante 1A wird in einem Bauabschnitt mit Fernwärme versorgt, in einem anderen Bauabschnitt mittels Wärmepumpe und einem zentralen Gas-Kessel im Bauabschnitt zur Spitzenlastabdeckung. Variante 1B versucht eine größtmögliche Abdeckung mit Solarthermie. Die Solarwärme wird in mehreren Saisonspeichern je Bauabschnitt gespeichert. Für den zusätzlichen Wärmebedarf steht eine Wärmepumpe je Saisonspeicher sowie Fernwärme zur Verfügung.

Jene Varianten – mit Wärmenetz, jedoch ohne Fernwärme – sind wie folgt gegliedert: Variante 2A berücksichtigt Solarthermie auf ca. 30 % der Dachfläche, der restliche Wärmebedarf wird mit einem zentralen Gas-Heizwerk je Bauabschnitt bereitgestellt. Variante 2B und 2B<sub>eff</sub> enthält kleine Mikro-Wärmenetze je Baufeld, die Wärme wird mittels Wärmepumpe und Erdwärmesonden bereitgestellt. Spitzenlastabdeckung durch einen Biomasse-Kessel. Regenerationswärme der Erdsonden durch Free-Cooling der Wohnungen, Solarabsorbern und den vorhandenen Wärmepumpen. Variante 2B<sub>eff</sub> hat durch zusätzliche Energieeffizienzmaßnahmen eine geringe Energienachfrage.

Variante 3 kommt ohne ein Wärmenetz zwischen den Gebäuden aus. Hier wird eine Wärmepumpe je Bauplatz eingebaut sowie ein Gas-Spitzenlastkessel. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen Erdwärmesonden. Regenerationswärme der Erdsonden wird durch Free-Cooling der Wohnungen, Solarabsorbern und den vorhandenen Wärmepumpen bereitgestellt.

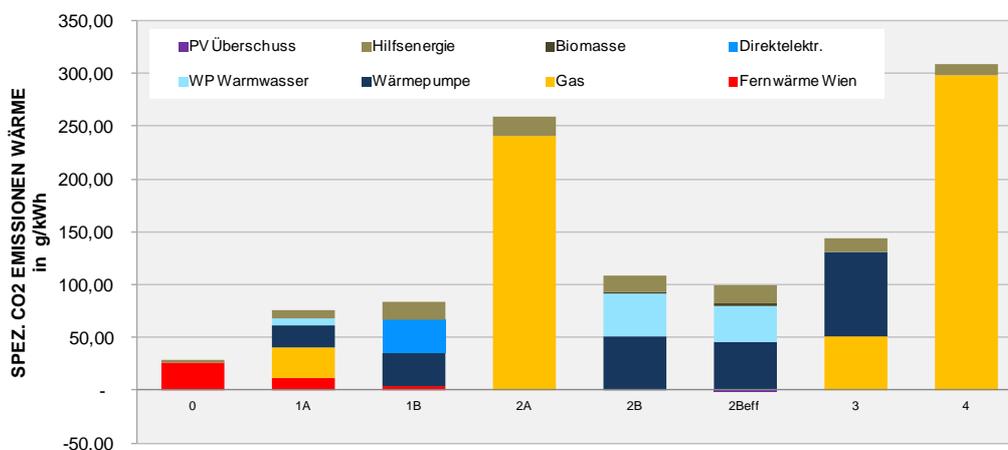


Abbildung 10: Spezifische CO<sub>2</sub> Emissionen der Energieversorgungsvarianten  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Die ökologische Bewertung der Varianten ergibt ein sehr heterogenes Bild. Bei den CO<sub>2</sub> Emissionen ist sichtbar, dass Varianten mit Fernwärme (bester Wert) und Wärmepumpen niedrige CO<sub>2</sub> Werte ausweisen (0, 1A, 1B, 2B, 2B<sub>eff</sub>). Varianten mit hohem Anteil an Gas als Energiequelle müssen mit einem hohen CO<sub>2</sub> Ausstoß rechnen (Varianten 2A, 3, 4).

Bei einer dynamischen Barwertmethode sind für die Ermittlung der Lebenszykluskosten ökonomische Parameter zu definieren. Für das vorliegende Projekt sind als Basisvariante nachfolgende Parameter festgelegt worden:

TABELLE 10: BERECHNUNGSPARAMETER DER LEBENSZYKLUSKOSTENRECHNUNG

Parameter Nominalwerte	Basiswert	Sensitivität	Einheit
Kalkulationszinssatz	3,0	7,0	%/a
Marge für Risiko und Gewinn des Energieversorgers	4,0	-	%/a
Betrachtungszeitraum	40	20	Jahre
Inflation/Preissteigerung allgemein	2,0	-	%/a
Preissteigerung Bau	2,5	-	%/a
Preissteigerung Haustechnik	2,5	-	%/a
Preissteigerung Wartung/Instandsetzung	2,5	-	%/a
Preissteigerung Energie – Strom	2,0	4,0	%/a
Preissteigerung Energie – Fernwärme Wien	2,0	4,0	%/a
Preissteigerung Energie – Gas	2,0	4,0	%/a
Restwertbetrachtung	ja	nein	-

Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Bei den Lebenszykluskosten wurden die Investitionskosten, Folgekosten und der Restwert der Energieversorgungssysteme berücksichtigt. Bei den Folgekosten sind Aufwände für Energie, Wartung und Instandhaltung, Erneuerung nach Ablauf der Nutzungsdauer, Betriebsführung und eine Gewinn-Marge für Energieversorgungsunternehmen enthalten.

Die Ergebnisse zeigen derzeit Vorteile bei Gas-Kessel Lösungen (Variante 4). Die Wärmepumpen-Lösung ohne Wärmenetze (Variante 3) kommt auf ein ähnliches Kostenniveau wie Fernwärme (Variante 0). Die Wärmepumpenvariante mit Mikro-Wärmenetz (Variante 2B) liegt darüber. Die zusätzlichen Energieeffizienzmaßnahmen in Variante 2B<sub>eff</sub> sind in diesem Fall nicht wirtschaftlich. Bei der Variante mit Saisonalpeicher (1B) ist ersichtlich, dass dieses Konzept ökonomisch nicht geeignet für die Rahmenbedingungen im Donaufeld ist.

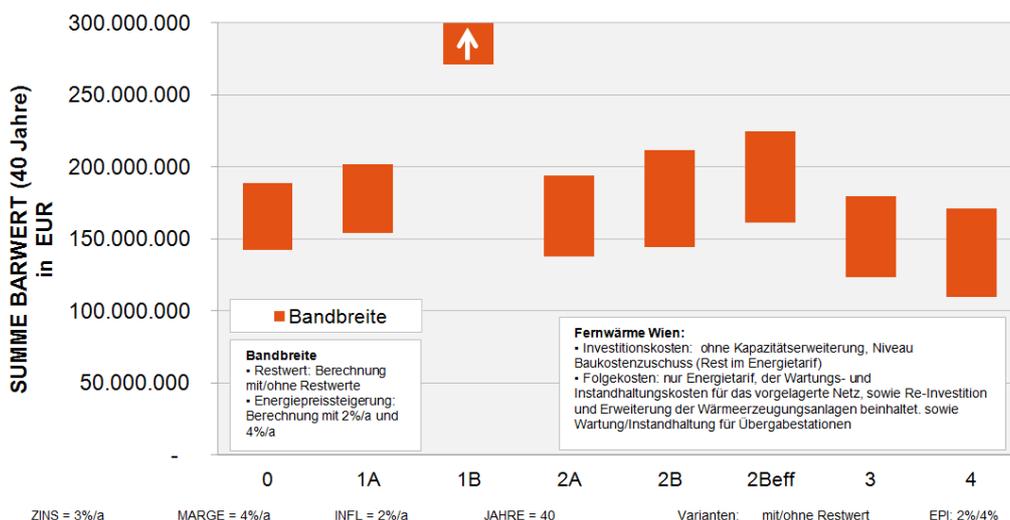


Abbildung 11: Lebenszykluskosten für die Energieversorgungsvarianten  
Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

Aus den Ergebnissen ableitend sind sowohl ökonomisch als ökologisch Zielgebiete für Energiesysteme sinnvoll: dort, wo bereits Fernwärme-Primärleitungen vorhanden sind, soll auch künftig die Wärmeversorgung über Fernwärme erfolgen. In anderen Gebieten bietet sich die Möglichkeit an, alternative Systeme mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden einzusetzen.

Bei alternativen Lösungen mit Wärmepumpen und Erdsonden kann die finanzielle Gesamtbelastung für die Nutzer der Gebäude über einen längeren Zeitraum somit in einem gleichen Niveau gewährleistet werden als für die derzeitigen Lösungen zur Wärmeversorgung. Aus derzeitiger Sicht ist es entscheidend, Lösungen für die Finanzierung der höheren Erstinvestition mit moderater Verzinsung des eingesetzten Kapitals sicherzustellen, sodass keine Mehrbelastungen verursacht werden. Hier müssen noch geeignete Geschäfts- oder Finanzierungsmodelle definiert werden.

Zusätzlich lässt sich ein deutlich höherer sommerlicher Komfort erreichen. Durch den Regenerationsbetrieb für die Erdwärmesonden werden die Wohnungen im Sommer passiv gekühlt. Das stellt einen zusätzlichen Nutzen für die Bewohnenden dar, der jedoch monetär nicht abgebildet wurde. Die aktuelle Nachfrage bei Bauträgern zeigt eine hohe Sensibilität für Kühlmöglichkeit im Sommer. Wenn der Trend anhält können Systeme mit Wärmepumpe und Erdwärmesonden durch den zusätzlichen Nutzen der passiven Kühlung auch wirtschaftlich tragfähig sein.

## 5.2 SOZIO-ÖKONOMISCHE UNTERSUCHUNG FÜR WÄRMENETZE IN DÄNEMARK

Die dänische Gesetzgebung verpflichtet lokale Kommunen zur Mitwirkung an der Planung und Entscheidungsfindung bei der Entwicklung lokaler Energie-Infrastrukturprojekte.

Ein Hauptkriterium für den Genehmigungsprozess von Wärmeversorgungsprojekten sind sozio-ökonomische Untersuchungen, um relevante Szenarien nach dem besten Nutzen für die Gesellschaft priorisieren zu können. Diese verpflichtende sozio-ökonomische Analyse sorgt dafür, dass alle gesellschaftlichen Kosten von Wärmeversorgungs-lösungen inkludiert werden und immer zwischen zwei oder mehreren Alternativlösungen verglichen wird.



Abbildung 12: Stadterweiterung Kopenhagen Nord  
Quelle: Dänische Energie Agentur

Für die Wärmeversorgung eines neuen Stadtteils im Norden von Kopenhagen wurden beispielsweise sozio-ökonomische Untersuchungen angestellt. Das Gebiet umfasst Gebäude auf Niedrigenergiestandard mit einer voraussichtlich beheizten Fläche von 864.000 m<sup>2</sup> im Jahr 2060. Die umliegenden Stadtteile sind bereits durch Fernwärme versorgt. In einer Vor-Studie wurde festgestellt, dass ein separiertes Fernwärmenetz im vorliegenden Gebiet unter sozio-ökonomischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll ist. Für die Untersuchungen wurden daher folgende drei Wärmeversorgungsszenarien definiert:

1. Gesamte Versorgung des Gebiets durch Erweiterung des bestehenden Fernwärmenetzes
2. Gesamte Versorgung des Gebiets durch Erdwärme-Wärmepumpensysteme
3. Gesamte Versorgung des Gebiets durch Luft-Wärmepumpensysteme

Der Betrachtungszeitraum wurde auf 25 Jahre festgelegt (2013 - 2037).

### ERGEBNISSE DER SOZIO-ÖKONOMISCHEN ANALYSE

Die Fernwärme-Lösung erzielte den günstigsten Gesamt-Kapitalwert und wurde als die beste Variante gewählt, obwohl sie die höchsten Energiekosten aller Varianten aufwies.

TABELLE 11: KAPITALWERTE FÜR DREI WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN, STADTERWEITERUNG KOPENHAGEN

Kapitalwerte in Millionen EUR	Fernwärme-Erweiterung	Erdwärme-Wärmepumpen	Luft-Wärmepumpen
Investitionskosten	30	49	38,5
Energiekosten	17	10	11
Betrieb- und Instandhaltungskosten	3,2	4	4
Erlöse aus Elektrizitätsverkauf	-18,8	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>31,4</b>	<b>63</b>	<b>53,5</b>

Quelle: Dänische Energie Agentur

Die Umweltauswirkungen, welche auch Teil der dänischen sozio-ökonomischen Betrachtungen sind, wurden für das Jahr 2037 veröffentlicht. Hier erzielte die Fernwärme-Lösung eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, während die NO<sub>x</sub>-Emissionen gegenüber der anderen Alternativen leicht erhöht sind. Die Summe aller Umweltauswirkungen ergibt bei der Fernwärme-Lösung eine Kostenersparnis von EUR 194.000. Die Annahme dafür ist, dass im Jahr 2037 die Fernwärmeversorgung durch neue KWK-Kraftwerke gespeist wird, deren generierte Elektrizität Kohle-Strom ersetzen wird.

TABELLE 12: KOSTEN DER UMWELTAUSWIRKUNGEN IM JAHR 2037, STADTERWEITERUNG KOPENHAGEN

Kosten der Umweltauswirkungen im Jahr 2037 in EUR	Fernwärme-Erweiterung	Erdwärme-Wärmepumpen	Luft-Wärmepumpen
CO <sub>2</sub>	-225.000	85.000	93.000
SO <sub>2</sub>	0	0	0
NO <sub>x</sub>	33.000	13.000	13.000
<b>Gesamt</b>	<b>-194.000</b>	<b>98.000</b>	<b>106.000</b>

Quelle: Dänische Energie Agentur

## 6 HILFSMITTEL UND TOOLS

### 6.1 TOOLS

**Wirtschaftlichkeits- und Kostenrechner „econ calc v2.0“:** Das Tool kann zur Wirtschaftlichkeitsberechnung für einzelne Energieeffizienzmaßnahmen und zum Vergleich von Gebäudevarianten in unterschiedlicher energetischer Qualität eingesetzt werden. Die Excel-basierende Software hat den Fokus auf Wohngebäude, gebäudeübergreifende Energiesysteme können jedoch berechnet werden. [www.klimaaktiv.at/tools](http://www.klimaaktiv.at/tools)

**Photovoltaik-Rechner:** bietet eine rasche Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen für Neuba und Sanierung [www.klimaaktiv.at/tools](http://www.klimaaktiv.at/tools)

**JAZcalc:** ermittelt die Jahresarbeitszahl (JAZ) von Wärmepumpenanlagen unter Normbedingungen. [www.klimaaktiv.at/tools](http://www.klimaaktiv.at/tools)

**Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach ÖNORM M 7140 - Demoversion BVE 10.6:** Diese Software ermittelt die Wirtschaftlichkeit von Energiesystemen nach ÖNORM M 7140, EN 15459 und VDI 2067. [www.austrian-standards.at](http://www.austrian-standards.at)

**District Energy Concept Adviser – Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere DistrictECA:** Das Tool unterstützt in der Bewertung von Energiekonzepten für Siedlungsgebiete und ermöglicht einen schnellen Vergleich von diversen Strategien im Gebäudebereich und bei der dezentralen (gebäudeweisen) und zentralen Energieversorgung. Diese Software wurde im Rahmen des IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme entwickelt. [www.district-eca.de](http://www.district-eca.de)

### 6.2 NORMEN

**ÖNORM M 7140 - Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden:** Diese Norm bietet Methoden für die Berechnung des Barwertes und von Annuitäten für Energiesysteme, auch für gebäudeübergreifende Wärmeversorgungs-lösungen.

**ÖNORM B 1801-4 - Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten:** Diese Norm ist konzipiert als Hilfestellung für die Berechnung der Lebenszykluskosten von Gebäuden, Gebäudeteilen oder einem Portfolio von Gebäude. Als Berechnungsmethode wird die Barwertmethode vorgegeben. Die Ermittlung der Lebenszykluskosten der Wärmeversorgung für das Portfolio von Gebäude ist zulässig.

### 6.3 WEITERFÜHRENDE INFORMATION

**klimaaktiv:** Informationen zu nachhaltigen gebäudeübergreifenden Wärmeversorgungs-konzepten bietet das Programm Erneuerbare Energie der Klimaschutzinitiative klimaaktiv des Umweltministerium mit Fokus auf erneuerbare Wärme in Städten und Quartiere. [www.klimaaktiv.at/erneuerbare/erneuerbarewaerme/stadt-quartiere.html](http://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/erneuerbarewaerme/stadt-quartiere.html)

**Stadt der Zukunft:** Das Forschungs- und Technologieprogramm "Stadt der Zukunft" bietet Ergebnisse von Forschungsprojekten und Veranstaltungen von neuen Technologien, technologischen (Teil-)Systemen und urbanen Dienstleistungen für die Stadt der Zukunft an. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/>

**EnEff:Stadt** und **EnEff:Wärme** ist das deutsche Forschungsprogramm für die energieeffiziente Stadt und für energieeffiziente Kälte- und Wärmenetze. [www.eneff-stadt.info/de/](http://www.eneff-stadt.info/de/)

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Hauptkriterium Ökonomie, Kriteriengruppe Lebenszykluskosten, Kriterium Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus, Steckbrief 2.1.1. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2015.

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Nutzungsdauerkatalog von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2011.

Büro- und Verwaltungsgebäude Bundesamt für Energie: Optimierung von Erdwärmesonden, Effizienzsteigerung für kleinere Anlagen, Schlussbericht. Zürich, 2014.

GEFMA 220:2010-09: Lebenszykluskosten-Ermittlung im FM, Einführung und Grundlagen. GEFMA e.v. Deutscher Verband für Facility Management, Bonn, 2010.

Hofer, Gerhard et al.: Energieversorgungsoptionen für das Donaufeld. Stadt Wien, MA 20 Energieplanung, Wien, veröffentlicht im Frühjahr 2017.

Life Cycle Costing (LCC) as contribution to sustainable construction: a common methodology. Davis Langdon Management Consulting, London, 2007.

Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile. Hauptverband der allgemein beeideten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs (Hauptverband der Gerichtssachverständigen), Landesverband Steiermark und Kärnten, Graz, 2006. ÖNORM B 1801-1:2015-12.01: Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objektterrichtung. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2015.

ÖNORM B 1801-2: 2011-04-01: Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 4: Objekt-Folgekosten. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2011.

ÖNORM B 1801-4:2014-04-01: Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2014.

ÖNORM M 7140:2013-07-01: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode - Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2014.

Pichler, Veronika: Wirtschaftlichkeit von integralen Erneuerungsmassnahmen im Wohnungsbau, Dissertation. ETH Zürich, Zürich, 2009.

Smart ReFlex, Renewable District Heating and Cooling: Intelligente und flexible Lösungen für 100 % erneuerbare Wärmenetze in europäischen Kommunen, Projektinformation Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 2016.

Stadt Zürich, Wirtschaftlichkeit von Neubau- und Erneuerungsinvestitionen in der 2000-Watt-Gesellschaft. Amt für Hochbauten, Zürich, 2011.

SIA 384/6, Erdwärmesonden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2010.

VDI 2067, Teil 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung. Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, September 2001.

## 8 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Mögliche Zielsetzungen und Grenzwerte im Bereich Ökologie .....	8
Tabelle 2: Prozess zur Lebenszykluskostenoptimierung von Wärmeversorgungs-lösungen: Festlegung von Zielwerten und Randbedingungen: Ökologie, Sozial, Technisch, Betrieblich. Optimierung in der ökonomischen Dimension. ....	9
Tabelle 3: Entscheidungshilfen für den Betrachtungszeitraum .....	14
Tabelle 4: Einzelne konkrete Nutzungsdauern von Anlagenteilen und dazugehörige Quellen.....	15
Tabelle 5: Quellen für Kalkulationszinssätze.....	20
Tabelle 6: Konkreter Vorschlag für Berechnungsparameter .....	23
Tabelle 7: Gliederung und Beschreibung der Kostengrundlage für die LZK-Berechnung.....	24
Tabelle 8: Vereinfachtes Beispiel für die Kostengrundlage einer LZK-Rechnung.....	25
Tabelle 9: Einzelne konkrete Nutzungsdauern von Anlagenteilen.....	25
Tabelle 10: Berechnungsparameter der Lebenszykluskostenrechnung.....	27
Tabelle 11: Kapitalwerte für drei Wärmeversorgungsvarianten, Stadterweiterung Kopenhagen .....	30
Tabelle 12: Kosten der Umweltauswirkungen im Jahr 2037, Stadterweiterung Kopenhagen .....	30

## 9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Wärmeversorgung von Quartieren Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	5
Abbildung 2: Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten in der frühen Entwicklungsphase Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	6
Abbildung 3: Mögliche Zielsetzungen und Randbedingungen für die Wärmeversorgung Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH .....	7
Abbildung 4: Wichtige Aspekte bei der Lebenszykluskostenrechnung Quelle: GEFMA 220, mit Änderungen von e7 Energie Markt Analyse GmbH .....	12
Abbildung 5: Mögliche Enden der Betrachtungszeiträume Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH .....	13
Abbildung 6: Definition der Lebenszykluskosten nach ÖNORM B 1801-2 Darstellung: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	17
Abbildung 7: Formel für die Barwertberechnung, mit Bestandteilen B - Barwert, I - Investitionskosten, Z - Jährliche Zahlungen, i – Kalkulationszinssatz, n - Anzahl der Jahre des Betrachtungszeitraums, R - Restwert.....	18
Abbildung 8: Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Folgekosten Darstellung: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	20
Abbildung 9: Überblick zu den untersuchten Energieversorgungsvarianten Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	26
Abbildung 10: Spezifische CO <sub>2</sub> Emissionen der Energieversorgungsvarianten Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	27
Abbildung 11: Lebenszykluskosten für die Energieversorgungsvarianten Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	28
Abbildung 12: Stadterweiterung Kopenhagen Nord Quelle: Dänische Energie Agentur .....	29







MINISTERIUM  
FÜR EIN  
LEBENSWERTES  
ÖSTERREICH

**klimaaktiv**  


[www.bmlfuw.gv.at](http://www.bmlfuw.gv.at)  
[www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at)