

Wirtschaftlichkeit nachhaltiger energeti- scher Massnahmen im Gebäudebereich

Grundlagen für erweiterte Wirtschaftlichkeits-
rechnungen für die Energieziele

Auftraggeber:

Dr. Heinrich Gugerli, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen

Begleitung:

Bruno Bébié, Departement der Industriellen Betriebe, Energiebeauftragter

Toni Püntener, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich, Energieinformation

Martin Thürlemann, Amt für Hochbauten, Projekt-Ökonomie

Bearbeitung:

e c o n c e p t AG, Lavaterstr. 66, 8002 Zürich

Tel. 01 286 75 75, Fax 01 286 75 76

walter.ott@econcept.ch; pia.steiner@econcept.ch; www. econcept.ch

Walter Ott, **e c o n c e p t** AG, Projektleitung

Pia Steiner, **e c o n c e p t** AG, Sachbearbeitung

Inhalt

Summary: Wirtschaftlichkeit nachhaltiger energetischer Massnahmen bei Gebäuden	1
1 Einleitung	4
1.1 Ausgangslage.....	4
1.2 Fragestellung, Zielsetzung.....	4
1.3 Vorgehen.....	5
2 Methodik Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	6
2.1 Grundsätzliche Überlegungen	6
2.1.1 Betriebswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	6
2.1.2 Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Einbezug der CO ₂ -Abgabe	6
2.1.3 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung	7
2.1.4 Nachhaltigkeitsrechnung	8
2.1.5 Methodik Kostenvergleich	8
2.2 Elemente der Wirtschaftlichkeitsrechnung	10
2.3 Betriebswirtschaftliche Rechnung	11
2.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Einbezug der CO ₂ -Abgabe.....	12
2.5 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung	12
2.6 Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	13
3 Fallstudien	16
3.1 Übersicht	16
3.2 Resultate der Fallbeispiele.....	17
3.3 Fazit Fallbeispiele	19
3.3.1 Betriebswirtschaftliche Rechnung.....	19
3.3.2 Betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der CO ₂ - Abgabe.....	20

3.3.3 Betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten.....	20
3.4 Fazit zur Investitionspolitik im Bereich Gebäude und Energie.....	21
A-1 Energiepreistabelle	26
A-2 Annahmen der Fallstudien	28
A-3 Fallstudien	29
A-3.1 Fallstudie 1: Solare Warmwasser-Vorwärmung Wohnsiedlung Heuried, 8055 Zürich	29
A-3.2 Fallstudie 2: Sonnenkollektoranlage Leimbacherstrasse	35
A-3.3 Fallstudie 3: Sonnenkollektoranlage Hüslibachstrasse	40
A-3.4 Fallstudie 4: MINERGIE-Sanierung Wohnhaus Überlandstrasse 385- 387, Schwamendingen	45
A-3.5 Fallstudie 5: MINERGIE-Neubau Schulhaus Kugeliloo	50
A-3.6 Fallstudie 6: MINERGIE-Sanierung Schulhaus HPS, Gotthelfstrasse	56
A-4 Vergleich mit den Wirtschaftlichkeitsrechnungen der MINERGIE- Fachstelle.....	61
A-5 Literatur.....	63

Summary: Wirtschaftlichkeit nachhaltiger energetischer Massnahmen bei Gebäuden

Das Potenzial von Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich ist sehr gross. Wegen den langen Erneuerungszyklen von Gebäuden ist es für eine nachhaltige Entwicklung der Gebäudeinfrastruktur entscheidend, dass diese Potenziale bei Neubauten und bei Sanierungen genutzt werden. Gemäss Masterplan Energie vom 2. Oktober 2002 will sich die Stadt Zürich für die Erstellung energetisch vorbildlicher Bauten einsetzen. Das hat Konsequenzen für die Evaluation von Neubau- und Sanierungslösungen.

Umfassende Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zeigen in aller Deutlichkeit, dass die Evaluation baulicher Massnahmen einzig aufgrund ihrer Investitionsaufwendungen zu nicht nachhaltigen Lösungen führt. Nur erweiterte Kosten-/ Nutzenbetrachtungen über die ganze Lebensdauer der Investitionen führen zu nachhaltigkeitsorientierten Massnahmen. Aus diesem Grund hat der Stadtrat schon 1998 beschlossen, die Evaluation baulicher Massnahmen der Stadt auf Wirtschaftlichkeitsüberlegungen über die gesamte Lebensdauer, mit Einbezug der vom Bundesamt für Energie empfohlenen Energiepreiszuschläge (für die externen Kosten der Energie) abzustützen.

Der Vergleich von drei Sonnenkollektoranlagen, zwei MINERGIE-Sanierungen und einem MINERGIE-Neubau der Stadt mit den jeweils zugehörigen konventionellen Lösungen nach den gültigen städtischen Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsrechnungen zeigt, wie wichtig der Einbezug aller Nutzen und Kosten für nachhaltiges Investieren ist. Wird mit den Energiepreiszuschlägen zur Berücksichtigung der externen Kosten gerechnet, dann wird eine der Kollektoranlagen wirtschaftlich. Nur einer der drei MINERGIE-Bauten ist wirtschaftlich, die beiden anderen sind selbst mit Energiepreiszuschlägen noch nicht wirtschaftlich. Eine vertiefte Analyse dieser Beispiele zeigt jedoch ein differenzierteres Bild:

- Die ausgeführten MINERGIE-Lösungen sind nicht in allen Fällen kostenoptimal. Günstigere MINERGIE-Alternativen könnten bei transparenten Entscheidungsgrundlagen / Benchmarks in der Projektierung umgesetzt werden.
- Die MINERGIE-Bauten weisen nichtenergetische Zusatznutzen wie behagliches Wohnklima, gute Raumluftqualität, Schutz vor Aussenlärm auf. Diese widerspiegeln sich nicht in tieferen Energiekosten. Sie können aber den Gebäudewert steigern und über ein erhöhtes Mietpreispotenzial das Kosten-/ Nutzenverhältnis verbessern.

- Die zugrundegelegten Annahmen sind für die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit massgebend: Nutzungszeit, Unterhaltskosten, Definition der Referenzvariante (energietechnischer Standard und Referenzmassnahmen) usw.

Es ergibt sich das folgende Fazit für eine nachhaltige Neubau- und Sanierungsstrategie der Stadt im Gebäudebereich:

- An Sonnenkollektoranlagen müssen sehr hohe Anforderungen gestellt werden, damit sie über ihre Lebensdauer einigermaßen wirtschaftlich werden können: Es sollten grössere Anlagen erstellt werden, Planung und Ausführung sind möglichst kostensparend zusammenzubringen. Mit einer frühzeitigen Projektierung kann eine optimale Systemintegration erzielt werden, welche die Voraussetzung für eine kostengünstige Lösung ist.
- MINERGIE-Neubauten und –Sanierungen erfordern eine integrale und kreative Planung. Dabei gelten die folgenden Ziele: Möglichst geringe Mehrinvestitionen unter Berücksichtigung von Standort, Nutzung und baulicher Eignung von Sanierungsobjekten sowie möglichst wenig zusätzlicher Elektrizitätsverbrauch (Elektrizität ist teuer).
- Der Markt für MINERGIE-Neubauten und noch viel stärker der Markt für MINERGIE-Sanierungen sind noch wenig entwickelt. Der Know-how-Transfer und der Rückfluss von Erfahrungen aus realisierten Projekten zu den ausführenden Unternehmungen und Planern fehlt noch weitgehend. Zu viele MINERGIE-Projekte haben den Charakter von Pilotprojekten, sind das erste solche Projekt für das zuständige Planungsteam und die verantwortliche Unternehmung. Standardisierungen zur Kostensenkung und Qualitätssicherung fehlen weitgehend. Ein kostensenkender und qualitätssteigernder Wettbewerb hat sich noch kaum entwickelt.
- In dieser Situation kann die Stadt Zürich mit ihrer Neubau- und Sanierungsstrategie auf der Basis des MINERGIE-Standards einen massgeblichen Beitrag an die Marktentwicklung und die Beschleunigung der Know-how-Diffusion leisten. Voraussetzung dafür sind der Aufbau eines energietechnischen und -wirtschaftlichen Benchmarkings (ev. gleichzeitig erweitert um zusätzliche bautechnische, verfahrensmässige, soziale etc. Benchmarkindikatoren), das auf der Auswertung realisierter Projekte beruht sowie auf einer zugehörigen Informations- und Submissionspolitik. Die Benchmarks sind eine Orientierungshilfe für die Beurteilung von Massnahmenvorschlägen durch die Bauherren (Bauherrenkompetenz), aber auch für die planenden und projektierenden Unternehmungen. Die Benchmarks beschleunigen die Know-how-Diffusion zu den Unternehmungen und Bauherren und können unzuverlässige oder zu teure Lösungsansätze verhindern helfen.

- Die Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsüberlegungen bei baulichen Investitionen der Stadt sollten überprüft und auf die neuesten Entwicklungen (z.B. Richtlinie SIA 480) abgestimmt werden. Kostenvergleiche sollten auf der Basis von mittleren Jahreskosten mit Energiepreiszuschlägen vorgenommen werden.
- Die erwähnten nichtenergetischen Zusatznutzen von MINERGIE werden in der Wirtschaftlichkeitsrechnung infolge fehlender monetärer Angaben nicht berücksichtigt. Sie sind jedoch absolut zentral, stellen in der Regel einen echten Mehrwert dar und sollten wenn immer möglich monetarisiert werden. Gewisse MINERGIE-Massnahmen werden - wie die Komfortlüftung beim Beispiel Gotthelfstrasse zeigt – nicht aus energetischen sondern aus anderen Gründen realisiert (beim Beispiel Gotthelfstrasse zum Lärmschutz). Sie sind in solchen Fällen nutzungs- und standortbedingt und nicht der Energie anzurechnen.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Laut Masterplan Energie¹ will sich die Stadt Zürich in ihrem Einflussbereich für die Erstellung energetisch vorbildlicher Bauten einsetzen (Neubauten und Sanierungen). Gemäss Stadtratsbeschluss vom 7. Januar 1998 sollen in der Stadtverwaltung Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei energetischen Massnahmen auf der Empfehlung des Bundesamtes für Energie (BFE) für energetische Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit Einbezug der externen Kosten beruhen. Die Vorgaben des Hochbaudepartementes (HBD; "7 Meilenschritte zum umwelt- und energiege rechten Bauen", Juli 2001) für Neubauprojekte des Hochbaudepartementes verlangen den MINERGIE-Standard. Bei den energetischen Investitionsentscheidungen interessieren aber auch betriebswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsüberlegungen.

Die Vorgabe 'energetisch vorbildliche Bauten' des Masterplanes bedarf einer Konkretisierung, damit sie in der ganzen Stadtverwaltung, bei den von der Stadt unterstützten Projekten der Wohnbauförderung, bei Baurechtsverträgen, etc. verbindlich eingefordert werden kann. Bei der Konkretisierung dieser Vorgabe geht es darum, die Wirtschaftlichkeit von energetisch vorbildlichem Bauen zu ermitteln und die energetischen Vorgaben und Standards aus wirtschaftlicher Sicht zu überprüfen, auch aus der Sicht von erweiterten Kosten-/Nutzen-Rechnungen. Zur weiteren Konkretisierung der Masterplanvorgabe müssen danach Grundlagen zur Erleichterung des Vollzuges entwickelt, Entscheidungshilfen erarbeitet und die Abläufe und Zuständigkeiten bei der Beurteilung der energetischen Investitionen geklärt werden.

1.2 Fragestellung, Zielsetzung

Zur Konkretisierung der Zielsetzungen im Bereich der energetischen Investitionen bei Gebäudesanierungen und bei Neubauten werden die folgenden Grundlagen erarbeitet:

- Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnungen für nachhaltige energetische Investitionen: Methode, einbezogene Kosten- und Nutzenbereiche, Annahmen.
- Vergleich der Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss Stadtratsbeschluss vom 7. Januar 1998 mit einer betriebswirtschaftlichen Rechnung und mit einer Wirtschaftlichkeitsrechnung aus der Sicht der Nachhaltigkeit.

1 Verabschiedet am 2. Oktober 2002, Stadtratsbeschluss Nr. 1438

- Wirtschaftliche Beurteilung des MINERGIE-Standards mit Hilfe der Wirtschaftlichkeitsberechnung gemäss Stadtratsbeschluss vom 7.1. 1998 bzw. mittels einer betriebswirtschaftlichen Rechnung.
- Auswirkungen des Einbezuges einer CO₂-Abgabe auf Brennstoffe von 30 Fr./tCO₂ bei der betriebswirtschaftlichen Rechnung als Alternative zur Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss Stadtratsbeschluss bzw. zu einer nachhaltigkeitsorientierten Wirtschaftlichkeitsrechnung.
- Identifikation von sogenannten Zusatznutzen und Zusatzkosten, welche die Wirtschaftlichkeit von energetischen Massnahmen beeinflussen.
- Überprüfung und Illustration der Erkenntnisse mit Fallstudien bei konkreten Objekten

1.3 Vorgehen

In Kapitel 2 wird die Methodik der Wirtschaftlichkeitsrechnung erläutert. Dabei wird von der Richtlinie der Stadt Zürich vom 7.1. 1998, vom SIA-Normentwurf 506 480 sowie von den Empfehlungen des BFE von 1997 ausgegangen und die dynamische Annuitätenmethode verwendet. Neben der üblichen betriebswirtschaftlichen Rechnung, die neben den Investitionen alle während der Lebensdauer der Investition auftretenden betriebswirtschaftlichen Kosten und Erträge einbezieht, werden auch zwei erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnungen dargestellt:

- Einbezug einer CO₂-Abgabe in die Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Einbezug der externen Kosten gemäss der Empfehlung des BFE von 1997 in die Wirtschaftlichkeitsrechnung

In Kapitel 3 werden die drei Berechnungsmethoden mit sechs Fallbeispielen illustriert. Dabei werden die effektiv ausgeführten Projekte, die einen hohen energetischen Standard erreichen, mit der jeweils zugehörigen konventionellen Lösung verglichen, die mindestens die gesetzlichen Vorgaben erfüllt. Unter anderem wird damit aufgezeigt, wie sich die Erweiterung der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf die Wirtschaftlichkeit (Kosten-/Nutzenverhältnis) der ausgeführten Lösung auswirkt.

Im Anhang befinden sich die Berechnungsannahmen, die untersuchten Beispiele mit den Berechnungsblättern sowie in Anhang 4 ein kurzer Vergleich der Berechnungsannahmen dieser Studie mit den Annahmen der Fachstelle MINERGIE, die diese beim Vergleich von 50 MINERGIE-Gebäuden verwendet hat.

2 Methodik Wirtschaftlichkeitsrechnung

2.1 Grundsätzliche Überlegungen

Der Entscheid für oder gegen eine geplante energetische Massnahme hängt in hohem Masse von ihrer Wirtschaftlichkeit ab. Mit Hilfe der Wirtschaftlichkeitsrechnung können einzelne Investitionen aufgrund ihrer Kosten und wirtschaftlichen Nutzen beurteilt oder alternative Projekte miteinander verglichen werden. Bei energetischen Massnahmen stehen die Rentabilitätsbeurteilung und die Kostenminimierungsfrage im Vordergrund. Lohnt sich eine Energiesparmassnahme finanziell? Welche Massnahme ist bei mehreren Alternativen die wirtschaftlich günstigste? Es zeigt sich in der Praxis, dass viele energetische Massnahmen oft weitere nichtenergetische Verbesserungen und Nutzen zeitigen. Für einen umfassenden und nachhaltigen Investitionsentscheid sowie für das Marketing der jeweiligen Massnahmen stellt sich deshalb die Frage, wie solche zusätzliche Nutzen zu beurteilen sind und für die Investitionsentscheidungen wirksam gemacht werden können.

2.1.1 Betriebswirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsrechnung

In der üblichen betriebswirtschaftlichen Rechnung werden alle Kapitalkosten, Betriebs-/Unterhaltskosten und Nebenkosten (Versicherungen, Abgeltungen, veränderte Steuern, etc.) einer energetischen Massnahme erfasst und den Nutzen der energetischen Massnahme gegenübergestellt (Betrachtungszeitraum: Erwartete Lebensdauer der Massnahme). Diese (betriebswirtschaftlichen) Nutzen umfassen Energiekosteneinsparungen, unter Umständen Einsparungen bei Betriebs-/Unterhaltskosten und bei den Nebenkosten. Allfällige Subventionen/Beiträge und (Energie-) Abgaben werden bei den Investitions- und bei den Energiekosten mitberücksichtigt.

2.1.2 Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Einbezug einer CO₂-Abgabe zeigt die Wirtschaftlichkeit von Projekten, wenn auf die fossilen Energieträger eine Abgabe pro Tonne emittiertes CO₂ erhoben wird. Werden in einer erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung die externen Kosten mittels Energiepreiszuschlägen einbezogen, dann müssen die Energiepreiszuschläge im Ausmass der CO₂-Abgabe gekürzt werden (die CO₂ Abgabe internalisiert die externen Klimakosten mindestens teilweise). In den folgenden Fallbeispielen werden bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung mit CO₂-Abgabe keine weiteren externen Kosten mehr verrechnet.

2.1.3 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht und im Hinblick auf eine umfassende Nachhaltigkeitsoptik ist die betriebswirtschaftliche Rechnung unvollständig. Sie erfasst nur die Kosten und Nutzen, die direkt identifizierbare finanzielle Flüsse (bzw. Markttransaktionen) auslösen. Energetische Massnahmen weisen jedoch externe Kosten sowie sogenannte Zusatznutzen und Zusatzkosten auf, die in der betriebswirtschaftlichen Rechnung nicht berücksichtigt werden und die einen massgeblichen Einfluss auf den jeweiligen Investitionsentscheid haben können.

Die **externen Energiekosten** umfassen die mit dem Energieeinsatz verbundenen Kosten der Umweltbelastung (Auswirkungen der Luftschadstoffbelastung und der Treibhausgasemissionen), die Beeinträchtigung von Natur und Landschaft und nicht versicherbare Risiken von Grossunfällen, die von der Allgemeinheit getragen werden, ohne dass die EnergieverbraucherInnen dafür bezahlen. Von der Schätzung der externen Kosten des Energieverbrauches in der Schweiz wurden sogenannte **Energiepreiszuschläge** abgeleitet (Infras/ **eco** ncept/ Prognos 1996), welche den ungefähren externen Kosten beim Energieträgerverbrauch entsprechen (in Rp./kWh). Die Energiepreiszuschläge können in **erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnungen** zu den Energiepreisen addiert werden, was zu gesamtwirtschaftlich vorteilhafteren Investitions- und Verbrauchsentscheiden führt als bei der betriebswirtschaftlichen Rechnung. Verschiedene Kantone sowie der Bund (BBL) beziehen die Energiepreiszuschläge in die Evaluation energetischer Massnahmen ein. In der Richtlinie des Stadtrates zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmassnahmen vom 7.1. 1998 wird der Einbezug der externen Kosten mittels kalkulatorischer Energiepreiszuschlägen² für die Stadtverwaltung verbindlich erklärt.

Daneben vernachlässigt die betriebswirtschaftliche Rechnung in der Regel die vielfach bestehenden **nichtenergetischen Zusatznutzen und Zusatzkosten energetischer Massnahmen** (verbesserte Raumluftqualität, grössere Behaglichkeit/Wohnkomfort, geringere Feuchtigkeitsschäden und Unterhaltskostenrisiken, Wohnraumverluste durch Innenraumisolation, etc.). Wie die externen Kosten sollten in der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung auch die Zusatznutzen sowie allfällige Zusatzkosten energetischer Massnahmen mitberücksichtigt werden.

2 Die in der Richtlinie vorgeschlagenen Energiepreiszuschläge basieren auf der "Empfehlung für energetische Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit Einbezug der externen Kosten" (BFE 1997).

2.1.4 Nachhaltigkeitsrechnung

Die oben erwähnten Grenzen der üblichen betriebswirtschaftlichen Wirtschaftlichkeitsrechnung haben zur erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Einbezug der externen Kosten geführt. Ein nächster Schritt wäre die Erstellung einer **Nachhaltigkeitsrechnung**, die im Idealfall jene Elemente monetarisiert, die bezüglich der Nachhaltigkeitszielsetzungen relevant sind. In einem ersten Schritt, der über die um die externen Kosten erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung hinausgeht, werden die monetarisierbaren Zusatznutzen und Zusatzkosten energetischer Massnahmen in die Wirtschaftlichkeitsrechnung integriert (zusätzlich zu den Energiepreiszuschlägen).

2.1.5 Methodik Kostenvergleich

In der Investitionspraxis geht es in der Regel um den Vergleich unterschiedlicher Investitionsvarianten (Betrachtungszeitraum: Erwartete Lebensdauer der Investition), d.h. um die Fragen:

- Zu welchem Zeitpunkt soll investiert werden?
- Falls investiert wird: Welches ist die Lösung mit dem besten Kosten-/Nutzenverhältnis?

In der vorliegenden Arbeit gehen wir davon aus, dass es nicht um den grundsätzlichen Investitionsentscheid, sondern nur um die vorteilhafteste Investitionsvariante geht. Die „7 Meilenschritte zum umwelt- und energiegerechten Bauen“ des HBD der Stadt Zürich fordern bei stadteigenen Neubauten und Anlagen, bei deren Instandsetzung sowie bei Bauten, welche städtische Unterstützungsleistungen erhalten, vorbildliche energetische Massnahmen, die auch über die baurechtlichen Vorschriften hinausgehen.

In den folgenden Abschnitten wird die Methodik eines Kostenvergleichs zwischen einer üblichen Sanierung und einer Sanierung nach dem MINERGIE-Standard erläutert. Die übliche Sanierung wird als **Referenzprojekt** bezeichnet. Relevant sind nur die Differenzkosten und -nutzen. Jene Kosten, die für beide Varianten gleich sind, werden nicht berücksichtigt. Der Kostenvergleich bezieht sich somit auf die zusätzlichen Kosten sowie die zusätzlichen Einsparungen und Nutzen, die eine Sanierung mit MINERGIE-Standard zur Folge hat. Für den Kosten-/Nutzenvergleich müssen die energetischen Investitionen von den übrigen Investitionen abgegrenzt werden. Eine ähnliche Nutzungsdauer erleichtert die Vergleichbarkeit von Investitionsalternativen. Die Höhe der zulässigen Mehrkosten oder eines akzeptablen Kosten-/Nutzen-Verhältnisses muss noch festgelegt werden. Das Kosten-/Nutzen-Verhältnis, bzw. die Mehrkosten gemäss betriebswirtschaftlicher Rechnung sollten den volkswirtschaftlichen Kosten und den allfälligen Zusatznutzen näherungsweise Rechnung tragen.

Schon bei der betriebswirtschaftlichen Rechnung ist der Einbezug sämtlicher relevanter Kosten in den Entscheidungsprozess von zentraler Bedeutung. So sind beim Investitionsentscheid nicht nur die Kapitalkosten der Investition zu berücksichtigen, sondern auch die Betriebs-, Unterhalts-, Energie- und Nebenkosten, die jährlich anfallen. Es ist zu überprüfen ob weitere betriebswirtschaftlich relevante Kosten anfallen (beispielsweise Entsorgungskosten am Ende der Nutzungsdauer, veränderte Steuern).

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen wird die dynamische Annuitätenmethode verwendet, die zur Gruppe der vollständigen Investitionsrechnungen gehört. Die zukünftig erwarteten Kostenänderungen einer Investition (Kapital-, Betriebs- und Energiekosten) werden bei der Berechnung der durchschnittlichen Jahreskosten berücksichtigt.

Die künftige Entwicklung zentraler Berechnungsannahmen wie beispielsweise des Energiepreises oder Kapitalzinssatzes ist mit einer gewissen Unsicherheit verbunden. Die lange Lebensdauer der energetischen Investitionen macht aber einen bewussten Entscheid über die für diese Lebensdauer getroffenen Annahmen unerlässlich. Die erwähnten Richtlinien des Stadtrates vom 7.1. 1998 und die Empfehlung des BFE schlagen Energiepreisentwicklungen, Kapitalzinssätze und Normallebensdauern³ vor, die auch unter den heutigen Gegebenheiten weitgehend übernommen werden können und nur selektiv modifiziert werden müssen.

Jedes Fallbeispiel wird in mehreren Varianten gerechnet. Die eine der beiden Hauptvarianten legt die Annahmen des Stadtratsbeschlusses vom 7. Januar 1998 zugrunde, die andere Hauptvariante stützt sich auf den Entwurf der SIA-Norm 506 480.

	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“
Zinssatz	3%	2.5%
Teuerung Energiepreise		
Elektrizität	0%	1%
Öl	1.5%	1.5%
Gas	1%	1%
Holzchnitzel	0.5%	0.5%
Fernwärme	1.5%	1.5%
Energiepreise	Vgl. Tabelle 5, S. 17	Vgl. Tabelle 5, S. 17

Tabelle 1: Grundannahmen der Hauptvarianten

3 Diese "Normallebensdauer" ist ein approximativer Erfahrungswert, der auf einer mittleren technisch-wirtschaftlichen Lebensdauer basiert. Bei einem konkreten Projekt soll bei Bedarf von dieser Normallebensdauer abgewichen werden können.

Die beiden Hauptvarianten unterscheiden sich im gewählten Realzinssatz um ein halbes Prozent. Eine weitere Unterscheidung wird bei der Annahme zur zukünftigen realen Teuerung der Elektrizität vorgenommen. Die Variante SIA nimmt einen konstanten Realpreis an, die Variante der Stadt Zürich geht von einer realen Teuerung der Elektrizität von 1% aus. Die dritte Kriteriengruppe zur Unterscheidung der Hauptvarianten bilden die Energiepreise⁴. Für die Variante der Stadt Zürich gelten jeweils die aktuellen, von der Stadt Zürich jährlich neu festgelegten Energiepreise und für die Variante SIA die vom statistischen Amt der Stadt Zürich gelieferten Durchschnittspreise der letzten drei Jahre. Auch bei den angenommenen Lebensdauern gehen die Hauptvarianten teilweise von unterschiedlichen Annahmen aus (vgl. Fallstudien vier und fünf). Für die Berechnung der jährlichen Unterhaltskosten der Investitionen verwendet die Variante 'Stadt Zürich' dem Stadtratsbeschluss entsprechend die Empfehlungen des BFE. Da der SIA-Normentwurf keine expliziten Empfehlungen zur Berechnung der jährlichen Unterhaltskosten abgibt, werden auch bei dieser Variante die Empfehlungen des BFE übernommen.⁵

2.2 Elemente der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Darstellung der traditionellen betriebswirtschaftlichen Rechnung stützt sich auf die Richtlinien der Stadt Zürich, die Empfehlungen des Bundesamtes für Energie (BFE) sowie die Methodik des Impulsprogramms RAVEL⁶. Die jährlichen Gesamtkosten einer energetischen Massnahme werden mit der dynamischen Annuitätenmethode berechnet, die folgende Elemente verwendet:

Kalkulationszinssatz (i_r): Die Investition wird mit einem realen Zinssatz von 2.5% resp. 3% verzinst.

Nutzungsdauer (n): Im vorliegenden Bericht werden für Energiesysteme und energetische Massnahmen Nutzungsdauern von 15 oder 20 Jahren (Haustechnik, Geräte) resp. 30 Jahren (Gebäudehülle) angenommen.⁷

Jährliche Kapitalkosten der Investition (K_K) Die jährlichen Kapitalkosten setzen sich aus den Kosten für die Amortisation und die Verzinsung des Investitionsbetrages zusammen und werden als Annuität ermittelt. Die Annuität ist ein

4 Vgl. Tabelle 5, S. 17

5 Für Unterhaltskosten und Lebensdauer Vgl. Tabelle A2 „Annahmen der Fallstudien“ im Anhang

6 Rationelle Verwendung von Elektrizität, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1990-1995

7 Gemäss Empfehlungen BFE

über die Nutzungsdauer der Investition gleichbleibender Jahresbetrag, der die Rückzahlung und die Verzinsung des eingesetzten Kapitals gewährleistet. Bei einem Zinssatz i_r und einer Nutzungsdauer n berechnen sich die jährlichen Kapitalkosten K_K einer Investition I nach folgender Formel:

$$K_K = I \times a \text{ (Fr. / Jahr)}$$

Der Faktor a wird als Annuitätenfaktor bezeichnet: $a = (1+i_r)^n \times i_r / (1+i_r)^n - 1$

Mittlere jährliche Energiekosten (K_E): Die durchschnittlichen Energiepreise werden jährlich durch den Energiebeauftragten neu festgelegt. Diese Preise müssen mit Hilfe des Mittelwertfaktors m^8 jeweils noch um die während der Nutzungsdauer erwarteten **realen Energiepreissteigerungen** korrigiert werden.

Jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten (K_B) der Investition: (ohne Energiekosten) kalkulatorische Berechnung aus Prozenten der Investitionskosten gemäss den Empfehlungen des Bundesamtes für Energie. Es gilt die Annahme, dass die Teuerung der Betriebs- und Unterhaltskosten der allgemeinen Teuerung entspricht.

2.3 Betriebswirtschaftliche Rechnung

In den Fallstudien in Kapitel 3 wird jeweils die Sanierung nach MINERGIE-Standard einer Sanierung nach den gesetzlichen Mindestvorschriften gegenübergestellt (allerdings wird im Fallbeispiel 'Kügeliloo' eine Vergleichsvariante verwendet, die energetisch besser ist als das gesetzliche Minimum, was die Wirtschaftlichkeit der realisierten Variante schlechter aussehen lässt!). Wir gehen davon aus, dass bei den untersuchten Fällen eine Sanierung in jedem Fall notwendig ist. D. h. es erfolgt nicht der Vergleich Sanierung ja oder nein, sondern der Vergleich eines MINERGIE-Projektes mit dem Referenzprojekt. Die zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten der MINERGIE-Variante gegenüber dem Referenzprojekt werden mit den zusätzlichen Energiekosteneinsparungen gegenüber dem Referenzprojekt verglichen. Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich müssen daher auch die relevanten Daten eines realistischen Referenzprojektes abgeschätzt werden.

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Investition erfolgt aufgrund des Kosten-/Nutzen-Verhältnisses:

8 m wird bestimmt durch i , die reale Teuerung und die Nutzungsdauer

$$(K_K + K_B) / \Delta K_E$$

K_K : Kapitalkosten, K_B : Betriebs- und Unterhaltskosten; ΔK_E : Energiekosteneinsparung;

Ein Projekt ist wirtschaftlich, wenn die durch die Investition erzielten Energieeinsparungen grösser sind als die durch die Investition verursachten Kosten:

$$(K_K + K_B) / \Delta K_E < 1$$

Mit dieser Methode kann für alternative Projekte eine Rangfolge erstellt werden. Je kleiner das Kosten-/Nutzen-Verhältnis, desto wirtschaftlicher ist ein Projekt.

2.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

An Stelle der externen Kosten kann die Wirtschaftlichkeitsberechnung auch mit dem Einbezug einer CO₂-Abgabe erfolgen. Die übrigen externen Kosten werden in dieser Variante nicht verrechnet. Dadurch wird der Effekt, den eine CO₂-Abgabe auf die Kosten hat, verdeutlicht.

Wir gehen von einer CO₂-Abgabe von 30 CHF/t emittiertes CO₂ für den Wärmebereich aus (wird zur Zeit in der Schweiz für die CO₂-Abgabe ab 2004 diskutiert).

Energieträger	CO ₂ -Emission pro Einheit	Zuschläge pro Einheit
Heizöl	2.64 kg / lt.	8.0 Rp / lt.
Erdgas	0.18 kg / kWh	0.5 Rp / kWh
Fernwärme	0.084 kg / kWh	0.24 Rp. / kWh

Tabelle 2: Abgabebelastete CO₂-Emissionen und CO₂-Abgabe

2.5 Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Methodik der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung ist im Grundsatz gleich wie jene der betriebswirtschaftlichen Rechnung. Der Unterschied liegt in der Berücksichtigung der externen Kosten des Energieträgereinsatzes⁹ mit Hilfe von Energiepreiszuschlägen. Die externen Kosten widerspiegeln die ungedeckten Umwelt- und Risikokosten des Energieverbrauches und werden bei der Berech-

9 gemäss Empfehlungen BFE und Richtlinien Stadt Zürich

nung der jährlichen Energiekosten zu den Preisen der jeweiligen Energieträger dazugezählt.

Energieträger	Energiepreiszuschläge	Zuschläge pro Einheit
Heizöl	4.5 Rp./kWh	44.6 Rp./lt.
Erdgas	3.0 Rp./kWh	3.0 Rp./kWh
Holz	1.5 Rp./kWh	1.20 CHF/Schütt-m ³
Elektrizität	5.0 Rp./kWh	5.0 Rp./kWh
Fernwärme	1.5 Rp./kWh (gilt für Stadt Zürich)	1.5 Rp./kWh (gilt für Stadt Zürich)

Tabelle 3: Energiepreiszuschläge für externe Kosten (Quelle: Richtlinien Stadt Zürich vom 7. Januar 1998)

2.6 Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Nachhaltigkeitsrechnung hat zum Ziel, sämtliche relevanten Kosten- und Nutzelemente energetischer Massnahmen zu identifizieren und in die Wirtschaftlichkeitsrechnung einzubeziehen. Dazu gehören neben den bereits erläuterten externen Kosten der Energieträger noch weitere Nutzen und Kosten, die durch die Sanierung eines Gebäudes entstehen können. Zusatznutzen und -kosten werden in der traditionellen Investitionsrechnung vielfach nicht berücksichtigt, da sie zum Teil ausserhalb der limitierten und nicht auf alle Nachhaltigkeitszielsetzungen ausgerichteten Systemgrenze der Wirtschaftlichkeitsrechnung liegen und daher nicht wahrgenommen werden oder infolge ihres qualitativen Charakters nur sehr schwer monetarisierbar sind.

Optimal ist es, wenn Zusatznutzen und -kosten monetarisiert und in Geldwerten direkt in die betriebswirtschaftliche Rechnung integriert werden können. Ist dies nicht möglich, so sollten die identifizierten Zusatznutzen und -kosten mindestens qualitativ, beispielsweise mit einer Relevanzanalyse, bewertet werden.

Die Quantifizierung/Monetarisierung dieser Zusatznutzen und -kosten wird von **e c o n c e p t**/CEPE zur Zeit in einem Forschungsprojekt für das BFE ("Zusatznutzen von Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich") vorgenommen. Die monetären Ergebnisse werden Anfang 2003 vorliegen und stehen hier also noch nicht zur Verfügung. Hingegen können die dort identifizierten und relevanten Zusatznutzen und -kosten qualitativ übernommen werden. Die folgenden Tabellen listen Nutzen und Kosten einer Sanierung auf, die im allgemeinen in der traditionellen Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht berücksichtigt werden und bezeichnen die Relevanz für EigentümerInnen und MieterInnen.

Zusatznutzen einer Sanierung für Eigentümer und BewohnerInnen:

Massnahme, Ursache	Zusatznutzen, -wirkung	Relevanz (+ bis +++)	
		EigentümerInnen	MieterInnen / BewohnerInnen
Energetische Investitionen beim Gebäude, Dachstockausbau, Balkonvergrösserungen	Bessere Werterhaltung/Wertsteigerung (gegenüber Referenzfall), Quartieraufwertung, Verdichtung	++ bis +++ Neubau/Sanierung Sammelindikator	
Nutzung leerstehender Kaltvolumina, Dachstocknutzung, Begradiung einspringender Balkone und Wärmeschutz, Abbrüche alter Balkone und Ersatz durch neue grössere	Verdichtung, Reduktion Energieverbrauch/-kosten bei untenliegenden Wohnungen Ev. Quartieraufwertung		++ (grössere Wohnflächen / Aussenräume generell wachsendes Bedürfnis)
Neue energieeffiziente Fenster ohne / mit Komfortlüftung	Reduktion Aussenlärmimmissionen, ev. Feuchtigkeitsprobleme (ohne Lüftung)		+++
Komfortlüftung, Feuchtigkeitskontrolle, Luftansaugung im Schadstofflee, Staub- und Pollenfilter	Bessere/konstantere Raumluftqualität (Raucher), Wohnkomfort, angenehme Feuchtigkeit, Pollenschutz, Reduktion Wohngiftkonzentration Risiko Innenlärm, Probleme mit Komfortlüftung		+++ (Allergien / Asthma, Rauch; bei belasteten Wohnungen (Radon/Wohngifte))
Wärmeschutz Aussenhülle, Absenkung der Raumtemperatur und damit zusätzliche Energieeinsparung	Höherer Wohnkomfort (keine Zugluft, geringere Raumtemperatur für Behaglichkeit)		+++ bei bestehenden Bauten
Wärmeschutz Gebäudehülle, Sanierung Wärmebrücken, z.B bei der thermischen Trennung von Balkonen, Einbezug der Kellerräume in den Lüftungsparameter	Reduktion Feuchtigkeitsschäden (vor allem bei Gebäudeerneuerungen), Entfeuchtung Kalträume	++ (Schadensrisikominderung)	++ (Komfort, [Armut]-Image)
Reduzierter Energieverbrauch senkt den Nebenkostenanteil und den Einfluss von Energiepreisschwankungen auf Nebenkosten, was wiederum die Bruttomieten senkt.	Risikoreduktion bei Energiepreisschwankungen	+ (Risikoreduktion steigende Nebenkosten, Bonitätsverbesserung)	+ (Absicherung gegen Nebenkostenschwankungen)
Heutige (beschichtete) Fenster haben geringere UV-Transmissionswerte als Einfach- oder Doppelverglasungen	Geringere Ausbleichung von Teppichen, Möbelstücken und Bildern etc.	+ (Lebensdauer Bodenbeläge)	+
Wärmeschutz, Reduktion Lüftungsverluste	Höhere Störungstoleranz bei der Raumwärmebereitstellung		+

Massnahme, Ursache	Zusatznutzen, -wirkung	Relevanz (+ bis +++)	
		EigentümerInnen	MieterInnen / BewohnerInnen
Neue Fenster bei Sanierungen, Komfortlüftung (→ geschlossene Fenster) bei EFH/Erdgeschosswhg.	Einbruchsicherheit		++
Wärmeschutz, Nachtauskühlung mit Komfortlüftung, insbesondere bei Neubauten mit Erdregister	Sommerliche Behaglichkeit		+
Sehr guter Wärmeschutz, Wärme- gewinne	Systemeffekte: Reduktion / Ver- meidung Wärmeverteilsystem, Voraussetzung für Niedertempe- raturheizung	+(+)	

Zusatzkosten einer Sanierung für Eigentümer und BewohnerInnen

Massnahme, Ursache	Kosten, Wirkung	Relevanz (+ bis +++, für wen, wie)	
		EigentümerInnen	MieterInnen, BewohnerInnen
Dichte Gebäudehülle, Fenstersanierung: Energieeffiziente Fenster Innenisolation, Aussenisolation (bei beschränkter Ausnützungsziffer) etc.	Indirekte Kosten: - Wohngifte, Lichteinbus- se, Lüftungsprobleme, Feuchtigkeitsprobleme - Wohnflächenverluste, zusätzlicher Landbedarf, etc.	++(+)	++(+)
Wärmeflüsse innerhalb der Gebäude werden im Verhältnis zu denjenigen von/nach aussen bei sehr gutem Wärmeschutz immer grösser	Mindernutzen: Verminderte Differenzier- barkeit der Raumlufttem- peratur pro Zimmer (ins- besondere bei Passivhäu- sern)		(welche redu- zierte Tempera- turen im Schlaf- zimmer wün- schen)

3 Fallstudien

3.1 Übersicht

Die vorgängig beschriebenen Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden durch sechs Fallbeispiele illustriert. Eine erste Gruppe von Beispielen zeigt Kosten-/Nutzen-Verhältnisse der Installation von Sonnenkollektoren. Bei den übrigen Beispielen handelt es sich um Sanierungen oder Neubauten nach MINERGIE-Standard, die mit einer konventionellen Lösung verglichen werden.

Adresse	Heuried	Leimbacherstr.	Hüslibachstrasse	Überlandstrasse	Kügeliloo	Gotthelfstrasse
Objektart	Wohnsiedlung	Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Wohnsiedlung	Schulhaus	Schulhaus
Sanierung (S) / Neubau (N)	S	N	S	S	N	N+S
Massnahme	Sonnenkollektor	Sonnenkollektor	Sonnenkollektor	Komfortlüftung Minergie	Komfortlüftung Wärmepumpe Minergie	Komfortlüftung Minergie
Energieträger Mehrverbrauch	-	-	-	Elektrizität	Elektrizität	Elektrizität
Energieträger I Einsparungen	Gas	Holzschnitzel	Öl	Fernwärme	Gas	Gas
Energieträger II Einsparungen	Öl	Gas	-	-		

Tabelle 4: Übersicht Fallstudien

Die Berechnungen werden mit unterschiedlichen Annahmen über den Jahreszinssatz, die reale Teuerung der Elektrizität, die Energiepreise sowie die Lebensdauer durchgeführt. Dadurch zeigt sich, wie die Kennzahlen (Einsparungen, Kosten, Kosten-/Nutzen-Verhältnisse) auf Veränderungen bei den Grundannahmen reagieren. Die Resultate der Berechnungen nach sämtlichen möglichen Kombinationen der Grundannahmen sind im Anhang ersichtlich. Sofern in den Beispielen Elektrizität eingesetzt wird, ergeben sich acht Varianten mit unterschiedlichen Kennzahlen. In den Beispielen ohne Elektrizität resultieren vier unterschiedliche Varianten. Im Folgenden werden die Resultate der Wirtschaftlichkeitsberechnungen anhand von zwei Hauptvarianten dargestellt. Dies ist einerseits die Variante „SIA“ andererseits die Variante „Stadt Zürich“, die folgende Grundannahmen verwenden:

	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“	Grenzkostenstudie CEPE/BFE
Zinssatz	3%	2.5%	3% / 3.5%
Teuerung Energiepreise:			
-Elektrizität	0%	1%	--
-Öl	1.5%	1.5%	2.8%
-Gas	1%	1%	1.2%
-Holzschnitzel	0.5%	0.5%	
-Fernwärme	1.5%	1.5%	
Energiepreise			
-Elektrizität	16.8 Rp./kWh	17.69 Rp./kWh	
-Elektrizität Wärmepumpe	16.8 Rp./kWh	10.76 Rp./kWh	16.0 Rp./kWh
-Öl	39.46 CHF/100lt.	42 CHF/100lt.	54.56 CHF/100lt.
-Gas	4.8 Rp./kWh	3.8 Rp./kWh	5 Rp./kWh
-Holzschnitzel	35 CHF/Schütt-m ³	35 CHF/Schütt-m ³	
-Fernwärme	5.9 Rp./kWh	5.9 Rp./kWh	

Tabelle 5: Annahmen der gerechneten Haupt-Varianten der Fallstudien im Vergleich mit den Annahmen der Studie "Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden" (CEPE, 2002, S. 49ff. und S.240); Quellen s. Anhang A-1.

3.2 Resultate der Fallbeispiele

Die Resultate der betriebswirtschaftlichen Rechnung nach den beiden Hauptvarianten sowie die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse der Rechnungen mit Einbezug externer Kosten und einer CO₂-Abgabe werden in Tabelle 6 dargestellt.

	Sonnenkollektoren Heuried		Sonnenkollektoren Leimbacherstrasse		Sonnenkollektoren Hüslibachstrasse		MINERGIE-Sanierung Überlandstrasse		MINERGIE-Neu- bau Kugeliloo		MINERGIE-Sanierung Gotthelfstrasse	
	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“	Variante „SIA“	Variante „Stadt ZH“
Kollektorfläche [m ² _{SoK}]	160		215		223		--		--		--	
Jährlicher Ertrag [kWh/m ² _{SoK}]	649		460		627		--		--		--	
/ Einsparung [kWh/m ² _{EBF}]	k.a.		5.83		1'818/Whg.		9.5		50.7		30	
EBF Gebäude (korrigiert) [m ²]	k.a.		16'987		77Whg.		2'700		2'630		2'734	
Zusätzliche Investitions- kosten [Fr./m ² _{EBF}]	275'000 k.a.		317'000 18.7		250'000 3'246/Whg.		356'000 131.9		264'000 100.4		0 0	
Beiträge	45'000		92'000		93'200		0		14'600		0	
Investitionskosten ab- züglich Beiträge [Fr./m ² _{EBF}]	230'000 k.a.		225'000 13.3		156'800 2'036/Whg.		356'000 131.9		249'400 94.8		0 0	
Jährliche Kapitalkosten [Fr./a] [Fr./m ² _{EBF}]	19'266 k.a.	18'576 k.a.	18'847 1.1	18'172 1.1	13'135 170.6/Whg.	12'664 164.5/Whg.	18'163 6.7	20'143 7.5	16'045 6.1	17'075 6.5	0 0	0 0
Jährliche Unterhaltskosten [Fr./a] [Fr./m ² _{EBF}]	2'750 k.a.	2'750 k.a.	3'170 0.2	3'170 0.2	2'500 32.5/Whg.	2'500 32.5/Whg.	6'650 2.5	6'650 2.5	5'862 2.2	5'862 2.2	0 0	0 0
Jährliche Energiemehr- kosten [Fr./a] [Fr./m ² _{EBF}]	0 k.a.	0 k.a.	0 0	0 0	0 0	0 0	1'766 0.7	2006 0.7	4'771 1.8	3'297 1.3	0 0	0 0
Jährliche Mehrkosten total [Fr./a] [Fr./m ² _{EBF}]	22'016 k.a.	21'326 k.a.	22'017 1.3	21'342 1.3	15'635 199.2/Whg.	15'164 196.9/Whg.	26'579 9.8	28'799 10.7	26'678 10.1	26'234 10.0	0 0	0 0
Jährliche Energiekosten- einsparungen [Fr./a] [Fr./m ² _{EBF}]	6'012 k.a.	4'905 k.a.	5'468 0.3	5'067 0.3	6'936 90/Whg.	7'393 96/Whg.	2'524 0.9	2'528 0.9	8'372 3.2	6'634 2.5	4'510 1.7	3'583 1.3
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.66	4.35	4.03	4.21	2.25	2.05	10.53	11.39	3.19	3.95	--	--
Kosten-/Nutzen-Verhältnis mit Einbezug CO ₂ -Abgabe	3.29	3.82	4.02	4.21	1.87	1.72	10.12	10.95	2.89	3.49	--	--
Kosten-/Nutzen-Verhältnis mit Einbezug externer Kosten	2.20	2.39	3.34	3.44	1.06	0.99	8.56	9.26	2.07	2.34	--	--

Tabelle 6: Übersicht Fallstudien - Resultate der betriebswirtschaftlichen Rechnung und Kosten-/Nutzen-Verhältnisse der erweiterten und nachhaltigen Wirtschaftlichkeitsrechnungen

3.3 Fazit Fallbeispiele

3.3.1 Betriebswirtschaftliche Rechnung

Eine korrekte betriebswirtschaftliche Rechnung mit Einbezug der Investitionen, der Betriebsmehr- und Minderkosten sowie der Energiemehr- und Minderkosten über die voraussichtliche Lebensdauer der Investitionen ist eine unerlässliche Grundlage für nachhaltig-zweckmässige Investitionsentscheidungen. Ein reiner Investitionskostenvergleich führt zu systematischen Fehlinvestitionen mit zu hohen Energiekosten und zu geringen Investitionen in verbrauchssenkende Massnahmen. Allerdings liefert die betriebswirtschaftliche Rechnung allein noch keine hinreichenden Informationen und Signale für nachhaltige Investitionsentscheidungen: So vernachlässigt sie die gesamtwirtschaftlich relevanten **Umweltkosten** (bzw. externe Kosten), allenfalls zu erwartende künftige Abgaben wie die **CO₂-Abgabe** sowie die bei vielen energetischen Investitionen sehr wichtigen nichtenergetischen **Zusatznutzen** der Investitionen.

Die betriebswirtschaftliche Rechnung zeigt bei den hier einbezogenen Fallbeispiele bis auf eine Ausnahme, dass energetische Massnahmen wie die zusätzliche Installation von Sonnenkollektoren oder die Erfüllung des MINERGIE-Standardes verglichen mit einer gesetzeskonformen konventionellen Lösung (betriebswirtschaftlich) nicht rentabel sind, d.h. dass die Zusatzkosten durch die Energiekosteneinsparungen allein nicht voll kompensiert werden. Die Ausnahme bildet Fallbeispiel sechs, bei dem mit der Fassadenisolation eine andernfalls unumgängliche und aufwendige Betonsanierung vermieden werden konnte.

Der höhere Verbrauch **teurer Elektrizität** für die Komfortlüftung bzw. für die Wärmepumpe ist ein wichtiger Faktor für die schlechte Wirtschaftlichkeit der MINERGIE-Sanierung Überlandstrasse und des MINERGIE-Neubaus Kugeliloo. Trotz deutlichen Nettoenergieeinsparungen sinken deswegen die Energiekosten weit unterproportional. Dazu kommt, dass durch die geringeren rechnerischen Luftwechsel von SIA 380/1 2001 die Einsparungen von Lüftungswärmeverlusten durch Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung gegenüber der benutzerabhängigen Lüftung der konventionellen Vergleichsvariante sinken. Wieweit die Luftwechsel bei natürlicher Lüftung von SIA 380/1 in der Realität eingehalten werden und ausreichenden Komfort gewährleisten, ist in Zukunft bei dichten Gebäuden noch nachzuweisen.

3.3.2 Betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

Der Einbezug der zur Zeit diskutierten CO₂-Abgabe in die Wirtschaftlichkeitsrechnung verbessert die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Fallbeispiele. Der Effekt der CO₂-Abgabe ist jedoch massgeblich davon abhängig, welcher Energieträger durch die Einsparungen substituiert wird. So wird auf Elektrizität und Holz keine CO₂-Abgabe erhoben, bei der Fernwärme nur auf dem Wärmeanteil, der durch den Einsatz nichterneuerbarer Energien erzeugt wird und bei Gas ist die CO₂-Abgabe relativ tief. Deshalb verbessert die CO₂-Abgabe beim Fallbeispiel Leimbacherstrasse (Einsparung von Holzschnitzeln) die Wirtschaftlichkeit nicht und bei den andern Fallbeispielen nur relativ wenig (bei einem angenommenen Abgabesatz von 30 CHF/t CO₂).

3.3.3 Betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Einbezug der externen Kosten mit Hilfe der vom BFE vorgeschlagenen Energiepreiszuschläge verbessert die Kosten-/ Nutzenverhältnisse deutlich. Allerdings wird selbst beim Einbezug der externen Kosten nur im Fallbeispiel drei (Sonnenkollektoranlage Hüslibachstrasse) sowie im ohnehin wirtschaftlichen Fallbeispiel sechs (Sanierung Gotthelfstrasse) die Rentabilitätsschwelle erreicht. Die oben gemachten Feststellungen gelten auch hier: Der Elektrizitätsmehrverbrauch bei den Varianten vier und fünf schlägt überproportional zu Buche. Substituierte Fernwärme und Holzschnitzel haben nur geringe Energiepreiszuschläge. Ihre Substitution führt daher nur zu geringen Einsparungen bei den externen Kosten.

Die Fallbeispiele mit den Sonnenkollektoren demonstrieren, dass bei guten Voraussetzungen und grösseren Anlagen die Wirtschaftlichkeitsschwelle knapp erreicht werden kann, wenn mit externen Kosten gerechnet wird. Zu den guten Voraussetzungen gehören: Grosse Anlage, Erstellung im Rahmen einer Sanierung bzw. eines Neubaus (keine Gerüstkosten, geringere Planungskosten beim Neubau, geringere Kosten für die Sanitärzusatzinvestitionen), Reduktion der Planungskosten durch die Kombination von Lieferant und Planer, teurer substituierter Energieträger (d.h. Öl oder Elektrizität).

3.4 Fazit zur Investitionspolitik im Bereich Gebäude und Energie

Nachhaltige Investitionen erfordern entsprechende Entscheidungsgrundlagen

Die Fallbeispiele zeigen in aller Deutlichkeit: Nachhaltige, wirtschaftlich optimierte Lösungen benötigen Know-how und Kreativität, insbesondere bei Sanierungen. Sie setzen eine integrale Planung und Projektierung voraus. Dazu gehört eine umfassende Wirtschaftlichkeitsrechnung zur Evaluation bestehender Investitionsalternativen. Die Nachhaltigkeitszielsetzung gebietet, dass die Wirtschaftlichkeitsrechnung alle Kosten (inklusive externe Kosten und kommende Abgaben), Erträge und Zusatznutzen während der Lebensdauer der Investition umfasst. Die Zusatznutzen werden zur Zeit infolge fehlender Monetarisierung in der Regel nicht in die Wirtschaftlichkeitsrechnung einbezogen, obwohl sie oft für den Investitionsentscheid ausschlaggebend sind (s.u.). Entscheidungen aufgrund der Investitionskosten alleine sind nicht nachhaltig.

Bedeutung des Vergleichsprojektes

Die resultierenden Kosten-/Nutzen-Verhältnisse hängen massgeblich von der Art der gewählten Vergleichsprojekte ab. Wird die MINERGIE-Variante mit einem üblichen Projekt verglichen, dessen energetische Kennzahlen die minimalen energetischen Anforderungen erfüllen, aber nicht darüber hinausgehen, so resultieren relativ grosse Unterschiede im Energieverbrauch. Heute durchaus übliche Sanierungen und Neubauten weisen vielfach Energiekennzahlen auf, die über die bestehenden Anforderungen hinausgehen – auch wenn sie den MINERGIE-Standard noch nicht erreichen. Die in den Fallstudien verwendeten Vergleichsprojekte weisen diesen heute in der Regel üblichen, beachtlichen Standard auf. Das verringert die relative Wirtschaftlichkeit bzw. die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse der MINERGIE Fallbeispiele, welche zum Teil deutlich tiefer ausfallen als bei bestehenden Studien mit energieintensiveren Referenzvarianten (vgl. die Auswertung von MINERGIE-Neubauten und –Sanierungen durch die MINERGIE- Fachstelle.

Bedeutung der Berechnungsannahmen für die Wirtschaftlichkeit

Die Annahmen zur Lebensdauer der Investitionen, zu den Energiepreisen, zu ihrer realen Verteuerung sowie zu den Zinssätzen haben einzeln betrachtet einen moderaten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit energetischer Massnahmen. Die kumulierte Wirkung der unterschiedlichen Annahmen ist jedoch bedeutsam. In den Fallbeispielen zeigt sich, dass die Betriebs- und Unterhaltskosten einen relevanten Anteil der Gesamtkosten ausmachen und ebenfalls minimiert werden müssen. In den Fallbeispielen werden die Betriebs- und Unterhaltskosten in Prozent der Investition angenommen. Diese Annahmen sind undifferenziert und ergeben gerade bei grösseren Projekten u.U. zu hohe Betriebs- und Unterhaltskosten. Stattdessen sollten Erfahrungswerte aus der Praxis eingesetzt werden. Ganz generell zeigt sich, dass zu schematische Vorgaben von Lebensdauern und Unterhalts- und Betriebs-Kostensätzen zu nicht objektgerechten Wirtschaftlichkeitsangaben führen können. Die Vorgaben der Stadt oder des BFE schaffen zwar die Grundlagen, damit die Projekte miteinander verglichen werden können. Gerade bei den Lebensdauern, bei den Unterhaltskosten und bei den Zusatznutzen muss jedoch bei jedem konkreten Objekt geprüft werden, ob sie für die jeweilige Situation realistisch sind. Je nach Projektart müssen nur variable E-Preise (bei Teilsubstitution foss. Energieträger) oder var. E-Preise inkl. Grundgebühren und Leistungspreisen (bei E-System-Ersatz) berücksichtigt werden. Bei der Variante „Stadt Zürich“ sind z.B. beim Gaspreis nur die var. Kosten enthalten, bei der SIA-Methode auch Grundgebühren und Leistungspreise. Die effektiven Vorgaben für Wirtschaftlichkeitsberechnungen können daher im konkreten Einzelfall von den hier gemachten allg. Annahmen abweichen.

Die erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung ist nicht das einzige Kriterium nachhaltiger Investitionen im Gebäude: Zusatznutzen energetischer Massnahmen sind oft entscheidungsrelevant.

Aufgrund der umfassenden Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss den Richtlinien des Stadtrates sind vier der sechs untersuchten Fallbeispiele selbst beim Einbezug der externen Kosten nicht wirtschaftlich. Bei der Interpretation dieser Wirtschaftlichkeitsberechnungen muss berücksichtigt werden, dass die zusätzlichen Investitionen und Kosten der Massnahmen voll den Energieeinsparungen angerechnet werden, was nur bei den Sonnenkollektoren gerechtfertigt ist. Bei den MINERGIE-Sanierungen greift diese Betrachtung zu kurz: Mindestens die kontrollierte Wohnungslüftung ist nicht nur oder sogar nicht primär eine energetische Massnahme, sondern eine Massnahme zur Steigerung von Wohnqualität, Wohnkomfort und Behaglichkeit durch geringere Aussenlärmbelastung, durch bessere Raumluftqualität und vermiedene Feuchtigkeitsprobleme. Auch beim Erdkollector

überschneiden sich energetische Effekte mit Komfortwirkungen wie Raumluftkühlung im Sommer, die sonst nicht so angeboten würde. Das wirtschaftliche Fallbeispiel sechs (Schulhaus HPS Gotthelfstrasse) illustriert die Bedeutung der nichtenergetischen Wirkungen deutlich: Auch bei der konventionellen Vergleichsvariante zur MINERGIE-Sanierung müsste als Lärmschutz eine Komfortlüftung eingebaut werden, weshalb sie in diesem Beispiel nicht den Energieeinsparungen angerechnet wird, was massgeblich zur hohen Wirtschaftlichkeit dieses Fallbeispiels im Vergleich zur konventionellen Lösung beiträgt. Diese Hinweise zeigen, wie wichtig monetäre Angaben zu Zusatznutzen bei der wirtschaftlichkeitsorientierten Projektevaluation sind. Solange sie nicht verfügbar sind, besteht bei einer starken Ausrichtung auf die Wirtschaftlichkeitskennziffern die Gefahr, dass gerade langfristig vorteilhafte Projekte wegen fehlendem Einbezug der oft entscheidenden Zusatznutzen weniger nachhaltigen Projekten Platz machen müssen, die kurzfristig wegen tieferen Investitionskosten vorteilhafter erscheinen. Das unterstreicht aber auch die Bedeutung des Massnahmenmarketing, das auf solche Informationslücken hinweist und das die Zusatznutzen gezielt vermarktet.

Optimierung von Planung und Projektierung

Die Höhe der Zusatzinvestitionen für energetische Massnahmen ist in der Regel der entscheidende Faktor für deren Rentabilität. Die wenigen Fallbeispiele zeigen aber, dass für ähnliche Lösungen grosse Rentabilitätsunterschiede resultieren, die weitgehend von der Qualität und Kreativität der Planung und Projektierung der Massnahmenlösung abhängen. Durch das Ausnutzen von Planungschancen können und müssen die Zusatzinvestitionen vermindert und damit Kosten gespart werden. Der zusätzliche Verbrauch teurer Elektrizität ist möglichst gering zu halten und besonders zu beachten. Bestehende Subventions- und Beitragsprogramme sind auszuschöpfen.

Die grossen Rentabilitätsunterschiede für ähnliche Lösungen in den betrachteten Fallbeispielen illustrieren, dass der Markt für energetische Massnahmen im Gebäudebereich noch sehr heterogen ist, mit grossen Preis- und Qualitätsunterschieden. Für die meisten energetischen Massnahmen besteht noch kein gereifter Markt, in dem die bisherigen Erfahrungen und der Wettbewerb die Bandbreite der angebotenen Qualität und Preise vermindert haben. Der Baumarkt ist generell noch zu wenig standardisiert, was oft zu teuren Einzellösungen führt. Das gilt auch für das Bauen und Sanieren nach MINERGIE. Die Umsetzung des MINERGIE-Standardes steht noch in der Einführungsphase, besonders bei den Sanierungen nach MINERGIE. Noch immer haben (zu) viele Massnahmen den Charakter von Pilotanwendungen. Die Entwicklung der Effizienztechnologien ist im Gebäudebereich noch nicht ausgereift und die Know-how-Diffusion zu den

einzelnen Unternehmen und der Rückfluss von Know-how aus den realisierten Projekten ist unvollständig, was eine der Ursachen für nicht optimale und zu teure Lösungen darstellt.¹⁰ Die öffentliche Hand kann durch ihre Investitions- und Vergabepolitik zur Entwicklung des Marktes energetischer Massnahmen massgeblich beitragen. Dadurch schafft sie auch Zusatznutzen (externe Nutzen) für weitere, private Investorkategorien.

Benchmarking für einen effizienteren Mitteleinsatz und zur Förderung der Marktentwicklung

Die oben angesprochenen Bandbreiten der Kosten und der Wirtschaftlichkeit energetischer Massnahmen könnten durch den Aufbau eines Benchmarkings für energetische Massnahmen durch das AHB verringert werden. Benchmarks sind eine wichtige Voraussetzung für eine Investitions- und Vergabepolitik, welche zu kostenoptimalen, nachhaltigen Lösungen führt und die erwünschte Entwicklung des Marktes vorantreibt. Benchmarks vermitteln den Bauherren (Bauherrenkompetenz), den Planenden und den involvierten Unternehmungen Orientierungshilfen und regen die Suche nach optimalen Lösungen an. Vorausgesetzt die Benchmarks hinken nicht der Technologieentwicklung nach, erzeugen sie Druck in Richtung integrale Planung und Nutzung von Optimierungspotenzialen. Sie reduzieren den Informationsbedarf für die Bauherren und die Planer und leisten einen Beitrag zur schnelleren Know-how - Diffusion auf den zersplitterten Bau- und Sanierungsmärkten. Die Kommunikation und die periodische Anpassung der Benchmarks tragen zur Markttransparenz und -entwicklung bei und fördern den Wettbewerb. Die Bauherrenkompetenz der Stadt wird gefördert und die Effizienz der für energetische Massnahmen eingesetzten Mittel verbessert. Optimierungspotenziale bei energetischen Massnahmen werden mobilisiert und für Planungsfachleute, Unternehmer und Investoren ergeben sich Entscheidungshilfen.

Sind MINERGIE-Neubauten und -Sanierungen wirtschaftlich?

Auswertungen von realisierten MINERGIE-**Neubauten** durch die MINERGIE-Fachstelle¹¹ zeigen, dass MINERGIE-Neubauten vielfach ohne Zusatzkosten

10 Jakob M. et al.: "Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden", im Auftrag des BFE, Zürich/Bern 2002

11 MINERGIE FACHSTELLE: "Wirtschaftliche MINERGIE-Bauten: Daten, Beispiele, Erkenntnisse"

erstellt werden können. Die Resultate dieser Auswertungen sind mit den vorliegenden Fallbeispielen jedoch nicht direkt vergleichbar, da die MINERGIE-Fachstelle andere Berechnungsannahmen und für den Wirtschaftlichkeitsvergleich vorteilhaftere Referenzprojekte mit einem höheren Energieverbrauch wählte (siehe Anhang A 4). Bei den MINERGIE-**Sanierungen und -Neubauten** hängt die Rentabilität bei erweiterter Wirtschaftlichkeitsrechnung massgeblich von den folgenden Punkten ab:

- **Höhe der Zusatzinvestitionen für MINERGIE:** Sie werden wesentlich durch die baulichen Voraussetzungen und die Qualität/Kreativität der Planung beeinflusst. Noch ist der Markt für MINERGIE-Sanierungen wenig entwickelt. Benchmarking und eine flankierende Kommunikation der Erfahrungen mit MINERGIE-Sanierungen sind wichtige Voraussetzungen für eine schnelle Marktentwicklung und Know-how-Diffusion. Gesucht sind MINERGIE-Projekte, die nur geringe Zusatzinvestitionen verursachen: Deutlich unter der oberen Grenze von 10% Zusatzinvestitionen gemäss Fachstelle MINERGIE, erstrebenswert sind Zusatzinvestitionen im Bereich von 0 bis 3%.
- **Art der gesparten/substituierten Energie:** Wird Holzenergie oder Fernwärme substituiert, sind die Einsparungen von externen Kosten vergleichsweise gering. Die Energiepreiszuschläge bei der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung sind klein und Wirtschaftlichkeit ist schwieriger zu erreichen als bei der Substitution von Öl, Gas und Elektrizität.
- **Möglichst geringe Zunahme des Stromverbrauches:** Elektrizität ist teuer. Der zusätzliche Elektrizitätsverbrauch für Lüftung und/oder Wärmepumpen muss deswegen minimiert werden, was nur mit hoher Planungs- und Projektierungsqualität und mit Benchmarking (Stromverbrauch für Lüftung pro m²) gewährleistet werden kann.
- **Zurechnung der Zusatzinvestitionen:** Es stellt sich die Frage, ob die Zusatzinvestitionen nur der Energieeinsparung zuzurechnen sind oder ob sie primär dem Lärmschutz und/oder Komfortverbesserungen und Steigerungen der Wohnungsqualität anzurechnen sind. Diese Zurechnung ist in der Regel entscheidend für die Rentabilität der Massnahme und hat oft einen grösseren Einfluss als der Einbezug der Energiepreiszuschläge zur Berücksichtigung der externen Kosten. Die Monetarisierung dieser Zusatznutzen ist anzustreben, wonach sie als weitere Energiepreiszuschläge zu den Energiepreisen addiert werden können.

A-1 Energiepreistabelle

Aktuelle Preise der Stadt Zürich (PRESANZ) in CHF	Preiseinheit	Preis in CHF
Heizöl	100 lt.	42.00
Erdgas (Zweistoffheizung)	kWh	0.038
Holzschnitzel ¹	Schütt-m3	35
Elektrizität Tarif KMU und Private	kWh	0.177
Elektrizität Wärmepumpe	kWh	0.108
Fernwärme (Tarif Stadt Zürich)	kWh	0.059

Durchschnittspreise stat. Amt Stadt ZH (1999-2001) in CHF	Preiseinheit	Preis in CHF
Heizöl (Best. von 10'000 lt.)	100 lt.	39.46
Erdgas (Verbrauchstyp IV) ²	kWh	0.048
Holzschnitzel ¹	Schütt-m3	35
Elektrizität (Verbrauchstyp 3)	kWh	0.168
Elektrizität Wärmepumpe	kWh	0.108
Fernwärme (Tarif Stadt Zürich)	kWh	0.059

¹Gemäss Auskunft Herr Kehl / Schweiz. Verband f. Holzenergie (01 250 88 11), vgl. www.wvs.ch

Je nach Qualität der Schnitzel (trocken / nass; Laub / Nadel) unterschiedliche Heizwerte. Schwankt von ca. 500kWh/Schütt-m3 (nass / Nadel) bis max. 1000 kWh / Schütt-m3 (trocken/Laub)
 1 m3 Holz = 2,8 Schütt-m3
 Preisempfehlungen VHE: 28.- bis 50.- je nach Qualität
 bei angenommenem Heizwert von ca. 800 kWh Preis ca. bei 35.-
 Stand der Technik: Wirkungsgrad: 85-90%

² Der Gaspreis des statistischen Amtes der Stadt Zürich berücksichtigt auch die jährliche Grundgebühr. Dadurch erhöht sich der Preis pro kWh je nach Verbrauch und Höhe der Grundgebühr um ca. 0.3 Rp. bis 1 Rp.

Aufteilung des Stromverbrauchs im Vollversorgungsgebiet Zürich

(in %)

Verbrauch in % des Gesamtverbrauchs

Segment	Sommer	Sommer	Winter	Winter	Total
	Niedertarif	Hochtarif	Niedertarif	Hochtarif	
Grosskunden	7	23	10	27	67
Klein- und Mittelbetriebe (KMU)	1	6	1	8	16
Privatkunden	1	8	0	8	17
Total	9	37	11	43	100

Verbrauch in % des Segmentverbrauchs und Preise

Segment	Sommer	Sommer	Winter	Winter	Total	Gewichteter Preis in Rp.*
	Niedertarif	Hochtarif	Niedertarif	Hochtarif		
Grosskunden %	11	34	15	40	100	
akt. Preise ZH	5	17.5	17.5	22.5		18.125
Klein- und Mittelbetriebe (KMU) %	6	38	6	50	100	
akt. Preise ZH	5	18.5	18.5	18.5		17.69
Privatkunden %	6	47	0	47	100	
akt. Preise ZH	5	18.5	18.5	18.5		17.69
Ohne Unterteilung %	9	37	11	43	100	

Quellen/Erläuterungen:

Berechnungen wurden vom evz vorgenommen

- Auswertungen basieren auf Umsatzfakturierung, da Abgabenstatistik keine Tarif- bzw. Segmentangaben liefert
- Referenzjahr ist hydrologisches Jahr 1999/2000
- Werte sind bewusst auf ganze Prozentzahlen gerundet, da aufgrund obenerwähnten Erläuterungen genauere Angaben nicht sinnvoll wären
- Grosskunden-Segment = Verbrauch >= 200 MWh
- KMU-Segment sind keine Private (also juristische Personen)
- Privatkunden-Segment sind Private (also keine juristischen Personen)

Berechnung der CO₂-Abgabe auf Fernwärme

	GWh/a	Anteil in %	Anteilmässige CO ₂ -Abgabe	
			CO ₂ -Abgabe Rp./kWh	CO ₂ -Abgabe Rp./kWh
Anteil Heizöl	36	5	0.8	0.04
Anteil Gas	270	39	0.5	0.20
Anteil Kehrlicht	386	56	0	0.00
Total	692	100		0.24

A-2 Annahmen der Fallstudien

Nutzungsdauern und Unterhaltskosten in % der Investitionssumme

	Unterhaltskosten in % der Investition	Nutzungsdauer (Jahre) Variante SIA	Nutzungsdauer (Jahre) Variante Stadt ZH
Sonnenkollektoren	1	15	15
Lüftungsanlagen	3.5	30	15/30
Wärmepumpen	3	15	15

Angenommene Wirkungsgrade der Energiesysteme

Art	Wirkungsgrad
Ölheizung	90%
Erdgas (Zweistoffheizung)	88% (Heuried) / 85% (Gotthelfstrasse)
Holzsnitzelheizung	85%
Fernwärme	100%

A-3 Fallstudien

Die Berechnungen werden mit unterschiedlichen Annahmen über den Jahreszinssatz, die Teuerung der Elektrizität sowie die zugrunde gelegten Energiepreise durchgeführt. Dadurch ergeben sich folgende möglichen Varianten:

Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
Preise stat. Amt	aktuelle Preise ZH	Preise stat. Amt	aktuelle Preise ZH	Preise stat. Amt	aktuelle Preise ZH	Preise stat. Amt	aktuelle Preise ZH

Tabelle 7: Gerechnete Varianten der Fallstudien mit unterschiedlichen Annahmen

Die Berechnung mit unterschiedlichen Varianten zeigt, wie die Kennzahlen (Einsparungen, Kosten, Kosten-/Nutzen-Verhältnisse) auf Veränderungen bei den Grundannahmen reagieren.

Sofern in den Beispielen Elektrizität eingesetzt wird, ergeben sich acht Varianten mit unterschiedlichen Kennzahlen. In den Beispielen ohne Elektrizität resultieren vier unterschiedliche Varianten. Die Resultate der Berechnungen nach den verschiedenen möglichen Kombinationen der Grundannahmen sind aus den Tabellen 8 - 25 ersichtlich.

A-3.1 Fallstudie 1: Solare Warmwasser-Vorwärmung Wohnsiedlung Heuried, 8055 Zürich

Beim Einbau eines neuen Heizsystems in einer Wohnsiedlung werden folgende Alternativen miteinander verglichen:

A: 1 Heizkessel Gas/Öl kondensierend

B: 1 Heizkessel Gas/Öl kondensierend + Solare Warmwasser-Vorwärmung

Sowohl bei Variante A als auch bei Variante B wird derselbe Heizkessel installiert. In Variante B wird zusätzlich zum Heizkessel eine Solaranlage in Betrieb genommen. Da die Kosten und Einsparungen des Heizkessels für beide Varianten

ten identisch sind, müssen nur die Kosten und Einsparungen der Solaranlage beurteilt werden

Die eingesetzten Sonnenkollektoren liefern jährlich 374 GJ Wärme. Dies bewirkt unter Berücksichtigung der Jahreswirkungsgrade der Heizsysteme folgende Einsparungen an Öl und Gas:

Einsparung Öl (Anteil am Gesamtverbrauch 10%):

$$374 \text{ GJ} \times 0.1 = 37.4 \text{ GJ/a} = 10'389 \text{ kWh}$$

Mit einem Jahreswirkungsgrad der Ölheizung von 90% entspricht dies einer Einsparung von 1165 lt. Öl.

Einsparung Gas (Anteil am Gesamtverbrauch 90%):

$$374 \text{ GJ} \times 0.9 = 336.6 \text{ GJ/a} = 93'500 \text{ kWh}$$

Mit einem Jahreswirkungsgrad der Gasheizung von 88% (Mehrstoffheizung) entspricht dies einer Einsparung von 106'250 kWh.

Betriebswirtschaftliche Rechnung

Die Unterhaltskosten der Sonnenkollektoren betragen gemäss den Empfehlungen des Bundesamtes für Energie 1% der Investitionssumme. Zudem verursachen die Kollektoren selber keinen Energiemehrverbrauch. Die Kapitalkosten hingegen sind bedeutend, da die Investitionskosten der Anlage überdurchschnittlich hoch sind. Trotz deutlichen Energiekosteneinsparungen führt dies zu Kosten-Nutzen-Verhältnissen zwischen 3.54 und 4.49. Die Änderung des Zinssatzes von 2.5% auf 3% bewirkt eine Verteuerung der Kapitalkosten um knapp 4% und eine leichte Verschlechterung des Kosten-/Nutzen-Verhältnisses von 3.54 auf 3.66. Einen etwas stärkeren Einfluss auf das Kosten-/Nutzen-Verhältnis übt eine Veränderung der Energiepreise aus. Beim Zinssatz von 2.5% und unter Verwendung der aktuellen Energiepreise der Stadt Zürich liegt beispielsweise das Kosten-/Nutzen-Verhältnis bei 4.35 gegenüber 3.54 wenn die Preise des statistischen Amtes des Kantons Zürich verwendet werden. Insgesamt bewirkt die Variation des Zinssatzes und der Preise im gewählten Ausmass keine extremen Schwankungen.

Einbezug CO₂-Abgabe

Es gelten die gleichen Annahmen wie bei der betriebswirtschaftlichen Rechnung. Zusätzlich wird aber mit einer CO₂-Abgabe von 30 CHF pro Tonne emittiertes CO₂ gerechnet. Dies entspricht einer Abgabe von 8 Rp/lt. Heizöl und einer Abga-

be von 0.5 Rp/kWh Erdgas. Die Verteuerung der fossilen Brennstoffe verändert das Kosten-/Nutzen-Verhältnis zu Gunsten der Sonnenkollektoranlage, da die Einsparungen an Gas und Öl höher bewertet werden. Die Höhe der Kapitalkosten wird durch die Abgabe nicht tangiert. Im Vergleich zur betriebswirtschaftlichen Rechnung liegt das Kosten-/Nutzen-Verhältnis der Variante mit dem Zinssatz von 2.5% und den Preisen des statistischen Amtes um 0.35 tiefer bei 3.19. Die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse bewegen sich in einer Bandbreite von 3.19 bis 3.95 und sind auch mit der CO₂-Abgabe ungünstig.

Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Auch hier gelten die gleichen Grundannahmen wie bei der betriebswirtschaftlichen Rechnung. Zusätzlich werden die externen Kosten der Energieträger einbezogen. Im Gegensatz zur Rechnung mit der CO₂-Abgabe werden nicht nur die fossilen Brennstoffe sondern sämtliche Energieträger berücksichtigt. Das Kosten-/Nutzen-Verhältnis liegt im Bereich von 2.12 bis 2.47 und hat sich damit gegenüber der reinen betriebswirtschaftlichen Rechnung zwar deutlich verbessert, da fossile Energieträger relativ hoch bewertet werden. Es bleibt aber immer noch unwirtschaftlich.

Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

In der nachhaltigen Wirtschaftlichkeitsrechnung werden weitere Zusatznutzen und -kosten einbezogen. Der Hauptbeitrag der Anlage zur Nachhaltigkeit - die Verbrauchseinsparung an fossilen Brennstoffen - ist Gegenstand des vorhergehenden Abschnitts der externen Kosten und wird daher nicht nochmals behandelt.

Sonnenkollektoranlagen leisten auch einen Beitrag zur Nachhaltigkeit, da durch ihren Einsatz die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen vermindert wird. In bestimmten Fällen können Kollektoren aber auch Zusatzkosten in Form von ästhetischen Beeinträchtigungen der Nachbarschaft auslösen.

Fallbeispiel Heuried	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65
Preis Heizöl (100 lt)	39.46	42	39.46	42	39.46	42	39.46	42
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		-	-	-	-	-	-	-
Einsparung Gas (in kWh)	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250
Preis Gas (kWh)	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038
Teuerung Holzschnittel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnittel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnittel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnittel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnittel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Investition I	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000
Beiträge	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	18'576	18'576	18'576	18'576	19'266	19'266	19'266	19'266
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	21'326	21'326	21'326	21'326	22'016	22'016	22'016	22'016
Jährliche Energiekosteneinsparung	6'018	4'905	6'018	4'905	6'012	4'900	6'012	4'900
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.54	4.35	3.54	4.35	3.66	4.49	3.66	4.49

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Investition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= vorgegebene Werte
 = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 8: Fallbeispiel Heuried - betriebswirtschaftliche Rechnung

Fallbeispiel Heuried	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65
Preis Heizöl (100 lt)	47.46	50	47.46	50	47.46	50	47.46	50
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)	106'250	106250	106250	106250	106250	106250	106250	106250
Preis Gas (kWh)	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
Investition I	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00	275'000.00
Beiträge	45'000.00	45'000.00	45'000.00	45'000.00	45'000.00	45'000.00	45'000.00	45'000.00
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	230'000.00	230'000.00	230'000.00	230'000.00	230'000.00	230'000.00	230'000.00	230'000.00
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	18'576.28	18'576.28	18'576.28	18'576.28	19'266.31	19'266.31	19'266.31	19'266.31
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	2'750.00	2'750.00	2'750.00	2'750.00	2'750.00	2'750.00	2'750.00	2'750.00
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	21'326.29	21'326.29	21'326.29	21'326.29	22'016.32	22'016.32	22'016.32	22'016.32
Jährliche Energiekosteneinsparung	6'695.45	5'582.29	6'695.45	5'582.29	6'689.16	5'576.99	6'689.16	5'576.99
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.19	3.82	3.19	3.82	3.29	3.95	3.29	3.95

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 = vorgegebene Werte
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 9: Fallbeispiel Heuried - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

Fallbeispiel Heuried	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65	11.65
Preis Heizöl (100 lt)	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250	106'250
Preis Gas (kWh)	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068
Teuerung Holzsplitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzsplitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzsplitzel (Schütt-m3)	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Investition I	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000	275'000
Beiträge	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000	45'000
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000	230'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	18'576	18'576	18'576	18'576	19'266	19'266	19'266	19'266
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750	2'750
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	21'326	21'326	21'326	21'326	22'016	22'016	22'016	22'016
Jährliche Energiekosteneinsparung	10'039	8'926	10'039	8'926	10'030	8'918	10'030	8'918
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	2.12	2.39	2.12	2.39	2.20	2.47	2.20	2.47

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

Tabelle 10: Fallbeispiel Heuried - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

A-3.2 Fallstudie 2: Sonnenkollektoranlage Leimbacherstrasse

Beim Fallbeispiel Leimbacherstrasse wird auf zwei Mehrfamilienhäusern eine Sonnenkollektoranlage installiert. Bei dieser Investition wirken sich die überdurchschnittlich hohen geplanten Messkosten (Messung des Energieertrags) sowie die höheren Planungskosten durch öffentliche Ausschreibung kostensteigernd aus. Der geplante Energieertrag ist nach Auskunft von Herrn Marti vom EWZ vermutlich eher zu tief veranschlagt.

Das Gebäude wird mit einer kombinierten Holzsnitzel- /Gasheizung beheizt. Der Energieertrag der Anlage beträgt 99'000 kWh. Dies entspricht folgenden Einsparungen der Energieträger:

Einsparung Holzsnitzel¹² (Anteil am Gesamtverbrauch: 2/3):
 $99'000 \times 2/3 : 0.85$ (Wirkungsgrad) = 77'647 kWh = 97.1 Schütt-m³.

Einsparung Gas (Anteil am Gesamtverbrauch: 1/3):
 $99'000 \times 1/3 : 0.88$ (Wirkungsgrad) = 37'500 kWh. Der angenommene Jahreswirkungsgrad der Gasheizung entspricht demjenigen des Fallbeispiels Heuried und beträgt 88%.

Betriebswirtschaftliche Rechnung

Die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse der verschiedenen Varianten zur Berechnung schwanken zwischen 3.90 und 4.35. Da die Einsparung an Energie bei Holz und Gas anfällt, ergeben sich vier verschiedene Kosten-/Nutzen-Verhältnisse. Am besten schneidet jene Variante mit dem tieferen Zins und den Preisen des statistischen Amtes ab. Die Resultate sind insgesamt vergleichbar mit denjenigen des Fallbeispiels Heuried.

12 Der Energiegehalt von Holzsnitzeln schwankt je nach Holzqualität und Feuchtigkeitsgehalt zwischen 500 - 1000 kWh pro Schütt-m³. Der hier angenommene Energiegehalt beträgt 800 kWh und basiert - wie auch der Wirkungsgrad der Holzsnitzelheizung - auf einer Angabe des Schweizerischen Verbands für Holzenergie.

Einbezug CO₂-Abgabe

Unter Einbezug der CO₂-Abgabe verbessert sich das Kosten-/Nutzen-Verhältnis äusserst schwach (3.90 - 4.34), da lediglich der Gasverbrauch von der Abgabe betroffen ist. Die Holzschnitzel, die zwei Drittel des Gesamtenergieverbrauchs ausmachen gehören zu den erneuerbaren Energien und werden nicht mit einer CO₂-Abgabe belastet.

Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die betriebswirtschaftliche Rechnung mit externen Kosten verändert das Kosten-/Nutzen-Verhältnis nicht im selben Ausmass wie beim vorhergehenden Beispiel Heuried. Die externen Kosten von Holz (1.5 Rp/kWh) sind um einiges tiefer als jene von Öl (4.5 Rp/kWh) und Gas (3.0 Rp/kWh). Da zwei Drittel des Energieverbrauchs mit Holzschnitzeln gedeckt wird, ist die Auswirkung auf die Kosteneinsparung entsprechend gering.

Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Bemerkungen zur nachhaltigen Wirtschaftlichkeitsrechnung des Fallbeispiels Heuried gelten auch für dieses Beispiel.

Fallbeispiel Leimbacherstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	39.46	42	39.46	42	39.46	42	39.46	42
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		-	-	-	-	-	-	-
Einsparung Gas (in kWh)	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500
Preis Gas (kWh)	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel	97.1	97.1	97.1	97.1	97.1	97.1	97.1	97.1
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Investition I	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000
Beiträge	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	18'172	18'172	18'172	18'172	18'847	18'847	18'847	18'847
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	21'342	21'342	21'342	21'342	22'017	22'017	22'017	22'017
Jährliche Energiekosteneinsparung	5'472	5'067	5'472	5'067	5'468	5'064	5'468	5'064
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.90	4.21	3.90	4.21	4.03	4.35	4.03	4.35

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Investition II = vorgegebene Werte
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 11 Fallbeispiel Leimbacherstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung

Fallbeispiel Leimbacherstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	47.46	50	47.46	50	47.46	50	47.46	50
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)	37500	37500	37500	37500	37500	37500	37500	37500
Preis Gas (kWh)	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.061	0.0614	0.0614	0.0614	0.0614	0.0614	0.0614	0.0614
Investition I	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00	317'000.00
Beiträge	92'000.00	92'000.00	92'000.00	92'000.00	92'000.00	92'000.00	92'000.00	92'000.00
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	225'000.00	225'000.00	225'000.00	225'000.00	225'000.00	225'000.00	225'000.00	225'000.00
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	18'172.45	18'172.45	18'172.45	18'172.45	18'847.48	18'847.48	18'847.48	18'847.48
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	3'170.00	3'170.00	3'170.00	3'170.00	3'170.00	3'170.00	3'170.00	3'170.00
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	21'342.46	21'342.46	21'342.46	21'342.46	22'017.49	22'017.49	22'017.49	22'017.49
Jährliche Energiekosteneinsparung	5'477.59	5'073.00	5'477.59	5'073.00	5'474.16	5'069.94	5'474.16	5'069.94
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.90	4.21	3.90	4.21	4.02	4.34	4.02	4.34

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Investition II = vorgegebene Werte
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 12: Fallbeispiel Leimbacherstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

Fallbeispiel Leimbacherstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	84.06	88.6	84.06	88.6	84.06	88.6	84.06	88.6
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500	37'500
Preis Gas (kWh)	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7	91.7
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Investition I	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000	317'000
Beiträge	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000	92'000
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000	225'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	18'172	18'172	18'172	18'172	18'847	18'847	18'847	18'847
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170	3'170
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	21'342	21'342	21'342	21'342	22'017	22'017	22'017	22'017
Jährliche Energiekosteneinsparung	6'603	6'199	6'603	6'199	6'599	6'195	6'599	6'195
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.23	3.44	3.23	3.44	3.34	3.55	3.34	3.55

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= vorgegebene Werte
 = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 13: Fallbeispiel Leimbacherstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

A-3.3 Fallstudie 3: Sonnenkollektoranlage Hüslibachstrasse

In der Hüslibachstrasse wurden die Dächer von drei Mehrfamilienhäusern mit Sonnenkollektoren versehen. Das Projekt konnte relativ preisgünstig ausgeführt werden, da der Lieferant der Kollektoranlage gleichzeitig auch die Planung übernahm und so die Planungskosten relativ tief gehalten werden konnten. Zudem konnte die Installation der Kollektoren im Rahmen einer Gesamtanierung durchgeführt werden. Dadurch mussten gewisse Kosten, wie beispielsweise der Gerüstaufbau, nicht oder nur anteilmässig übernommen werden. Die Ertragsschätzung der Anlage ist eher optimistisch, d.h. möglicherweise dürfte der Planungswert in Realität nicht ganz erreicht werden.

Das Gebäude wird mit Öl beheizt. Der Energieertrag der Kollektoranlage liegt bei 140'000 kWh. Dies entspricht folgender Energieeinsparung bei der Heizung:

Einsparung Öl: $140'000 \text{ kWh} : 0.9 \text{ (Jahreswirkungsgrad)} = 155'555 \text{ kWh}$. Dies entspricht einer Einsparung von 15'700 lt. Heizöl.

Betriebswirtschaftliche Rechnung

Die im Vergleich zum Beispiel Leimbacherstrasse verhältnismässig tieferen Investitionskosten und der höhere Energieertrag pro m² dieses Projekts führen zu markant besseren Kosten-/Nutzen-Verhältnissen. Die vier Varianten bewegen sich im Bereich von 2.05 bis 2.25. Das beste Kosten-/Nutzen-Verhältnis ergibt sich aus der Kombination des tieferen Zinssatzes mit den aktuellen Preisen der Stadt Zürich, da der dort verwendete Ölpreis leicht über demjenigen des statistischen Amtes liegt.

Einbezug CO₂-Abgabe

Die CO₂-Abgabe wirkt sich deutlich aus, da der einzige Energieträger Öl mit einer Abgabe von 8 Rp/lt. belastet wird. Die Kosteneinsparungen steigen dadurch um ca. 1'400 CHF, was das Kosten-/Nutzen-Verhältnis auf 1.72 - 1.87 senkt.

Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

In der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung wird die Verbesserung des Kosten-/Nutzen-Verhältnis noch deutlicher als unter Einbezug der CO₂-Abgabe. Die relativ hohen externen Kosten von Öl erhöhen den Wert der Einsparungen durch die Sonnenkollektoranlage deutlich. Dies führt zu guten Resultaten im Bereich zwischen 0.99 und 1.06, so dass bei Verwendung der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung die Investition als wirtschaftlich beurteilt wird.

Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Bemerkungen zur nachhaltigen Wirtschaftlichkeitsrechnung des Fallbeispiels Heuried gelten auch für dieses Beispiel.

Fallbeispiel Hüslibachstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)	157	157	157	157	157	157	157	157
Preis Heizöl (100 lt)	39.46	42	39.46	42	39.46	42	39.46	42
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Gas (kWh)	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Investition I	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000
Beiträge	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	12'664	12'664	12'664	12'664	13'135	13'135	13'135	13'135
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	15'164	15'164	15'164	15'164	15'635	15'635	15'635	15'635
Jährliche Energiekosteneinsparung	6'946	7'393	6'946	7'393	6'936	7'383	6'936	7'383
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	2.18	2.05	2.18	2.05	2.25	2.12	2.25	2.12

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Investition II = vorgegebene Werte
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 14: Fallbeispiel Hüslibachstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung

Fallbeispiel Hüslibachstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)	157	157	157	157	157	157	157	157
Preis Heizöl (100 lt)	47.46	50	47.46	50	47.46	50	47.46	50
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Gas (kWh)	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
Investition I	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00	250'000.00
Beiträge	93'200.00	93'200.00	93'200.00	93'200.00	93'200.00	93'200.00	93'200.00	93'200.00
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	156'800.00	156'800.00	156'800.00	156'800.00	156'800.00	156'800.00	156'800.00	156'800.00
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	12'664.18	12'664.18	12'664.18	12'664.18	13'134.60	13'134.60	13'134.60	13'134.60
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	2'500.00	2'500.00	2'500.00	2'500.00	2'500.00	2'500.00	2'500.00	2'500.00
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	15'164.19	15'164.19	15'164.19	15'164.19	15'634.61	15'634.61	15'634.61	15'634.61
Jährliche Energiekosteneinsparung	8'353.66	8'800.73	8'353.66	8'800.73	8'342.42	8'788.89	8'342.42	8'788.89
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	1.82	1.72	1.82	1.72	1.87	1.78	1.87	1.78

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 15: Fallbeispiel Hüslibachstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

Fallbeispiel Hüslibachstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Annuitätenfaktor a	0.081	0.081	0.081	0.081	0.084	0.084	0.084	0.084
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)	157	157	157	157	157	157	157	157
Preis Heizöl (100 lt)	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Gas (kWh)	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	36.2	36	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Investition I	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000	250'000
Beiträge	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200	93'200
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800	156'800
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	12'664	12'664	12'664	12'664	13'135	13'135	13'135	13'135
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
jährliche Unterhaltskosten in Franken	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500	2'500
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	15'164	15'164	15'164	15'164	15'635	15'635	15'635	15'635
Jährliche Energiekosteneinsparung	14'796	15'243	14'796	15'243	14'776	15'222	14'776	15'222
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	1.02	0.99	1.02	0.99	1.06	1.03	1.06	1.03

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 16: Fallbeispiel Hüslibachstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

A-3.4 Fallstudie 4: MINERGIE-Sanierung Wohnhaus Überlandstrasse 385-387, Schwamendingen

Die Wohnsiedlung an der Überlandstrasse 385-387 wurde im Rahmen einer Gesamtrenovation nach MINERGIE-Standard saniert. Neben einer Wärmedämmung, die jedoch gegenüber einer konventionellen Sanierung keine Mehrkosten verursacht, wurde eine kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL) eingebaut. Die gesamten Kosten der KWL betragen 356'000 CHF. Dieser Betrag setzt sich zusammen aus den Kosten der Anlage (190'000 CHF) und den Kosten für den Einbau (166'000 CHF). Die hohen Einbaukosten ergeben sich aus den notwendigen Decken- und Bodendurchbrüchen und relativ langen Wegen der Lüftungskanäle, da der Monoblock der Lüftung im Keller, nicht im Zentrum der Gebäudegrundfläche platziert wird. Als Referenzszenario wurde dieselbe Sanierung ohne KWL angenommen.

Die Siedlung ist ans Fernwärmenetz der Stadt Zürich angeschlossen. Aus dem Einbau einer KWL resultieren folgende Einsparungen resp. Mehrverbrauch:

Einsparung Fernwärme: 38'212 kWh pro Jahr

Mehrverbrauch Elektrizität: (durch Betrieb des Lüftungsventilators): 10'512 kWh pro Jahr

Betriebswirtschaftliche Rechnung

Die finanziellen Einsparungen durch eine kontrollierte Wohnraumlüftung liegen weit unter den jährlichen Kapital- und Unterhaltskosten. Dementsprechend hoch sind die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse (10.58 – 11.39). Da der Betrieb der Lüftung einen Mehrverbrauch an Elektrizität verursacht, wirkt sich die Variante „Teuerung Elektrizität“ aus und es ergeben sich in diesem Fallbeispiel acht Varianten, die sich jedoch lediglich minim unterscheiden. Obwohl die Einsparung an Fernwärme in kWh fast viermal höher ist als der Mehrverbrauch an Elektrizität, fällt die Einsparung finanziell nur gering aus, da Elektrizität um einiges teurer ist als Fernwärme. Die hohen Kosten des Einbaus wirken sich zusätzlich negativ auf das Kosten-/Nutzen-Verhältnis aus. Wenn ausschliesslich die Energiekosteneinsparungen den Investitions- und Unterhaltskosten gegenübergestellt werden, ist diese Massnahme bei weitem nicht rentabel.

Einbezug CO₂-Abgabe

Eine allfällige CO₂-Abgabe wirkt sich in diesem Fallbeispiel nur schwach aus, da Elektrizität gar nicht und Fernwärme nur mit einer tiefen Abgabe von 0.24 Rp./kWh belastet würden. Die Energiekosteneinsparung steigt dadurch um 102 CHF.

Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung vermag das Kosten-/Nutzen-Verhältnis etwas zu verbessern, bewirkt jedoch keine grundlegende Änderung im Ergebnis: noch immer sind die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse der verschiedenen Varianten extrem hoch und bewegen sich im Bereich von 8.59 – 9.26.

Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Wohnsiedlung befindet sich in einem stark verkehrsbelasteten Gebiet mit relativ hohem Lärmpegel. Das ist mit ein wesentlicher Grund für den Einbau der KWL. Man könnte gar postulieren, dass die Energieeinsparungen in diesem Falle für einmal 'Zusatznutzen' der Lärmschutzmassnahme sind. Die KWL bietet einen hohen Nutzen für die Mieterinnen und Mieter, da die Raumluftqualität deutlich verbessert wird und ohne Lärmimmissionen gelüftet werden kann. Insofern ist die Konzentration auf die direkten Energiekosteneinsparungen für die betriebswirtschaftliche Rechnung eindeutig unvollständig und zu eng. Auch die Wärmedämmung führt neben den Energieeinsparungen zu einer beträchtlichen Verbesserung der Behaglichkeit und des Wohnraumklimas: Die Aussenwände sind wärmer, wodurch Zuglufterscheinungen infolge von Temperaturdifferenzen vermieden werden und die Behaglichkeit zunimmt. Um eine korrekte Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Investitionen vorzunehmen, müssten die höheren Mietzeineinnahmen in die Rechnung mit einbezogen werden.

Fallbeispiel Überlandstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer 1 (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Nutzungsdauer 2 (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	39.46	42	39.46	42	39.46	42	39.46	42
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Gas (kWh)	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038
Teuerung Holzsplitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzsplitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzsplitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212
Preis Fernwärme (kWh)	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Investition I	95'000	95'000	95'000	95'000	-	-	-	-
Investition II	261'000	261'000	261'000	261'000	356'000	356'000	356'000	356'000
Investition total	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000
Beiträge	-	-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	20'143	20'143	20'143	20'143	18'163	18'163	18'163	18'163
Investitionsanteil rel. f. Unterhaltskosten	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000
jährliche Unterhaltskosten in Franken	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650
jährl. Energiemehrkosten	1'766	1'860	1'905	2'006	1'766	1'860	1'904	2'004
Jährliche Kosten total	28'559	28'652	28'698	28'799	26'579	26'672	26'717	26'817
Jährliche Energiekosteneinsparung	2'528	2'528	2'528	2'528	2'524	2'524	2'524	2'524
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	11.30	11.34	11.35	11.39	10.53	10.57	10.58	10.62

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Unterhaltskosten sind 3.5% der Anlagekosten (ohne bauliche Massnahmen)

Tabelle 17: Fallbeispiel Überlandstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung

Fallbeispiel Überlandstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer 1 (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Nutzungsdauer 2 (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	47.46	50	47.46	50	47.46	50	47.46	50
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Gas (kWh)	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043
Teuerung Holzsplitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzsplitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzsplitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212
Preis Fernwärme (kWh)	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
Investition I	95'000	95'000	95'000	95'000	-	-	-	-
Investition II	261'000	261'000	261'000	261'000	356'000	356'000	356'000	356'000
Investition total	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000
Beiträge	-	-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	20'143	20'143	20'143	20'143	18'163	18'163	18'163	18'163
Investitionsanteil rel. f. Unterhaltskosten	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000
jährliche Unterhaltskosten in Franken	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650
jährl. Energiemehrkosten	1'766	1'860	1'905	2'006	1'766	1'860	1'904	2'004
Jährliche Kosten total	28'559	28'652	28'698	28'799	26'579	26'672	26'717	26'817
Jährliche Energiekosteneinsparung	2'630	2'630	2'630	2'630	2'627	2'627	2'627	2'627
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	10.86	10.89	10.91	10.95	10.12	10.15	10.17	10.21

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Unterhaltskosten sind 3.5% der Anlagekosten (ohne bauliche Massnahmen)

☐ = vorgegebene Werte

☐ = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 18: Fallbeispiel Überlandstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der CO₂-Abgabe

Fallbeispiel Überlandstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer 1 (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Nutzungsdauer 2 (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512	10'512
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Gas (kWh)	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212	38'212
Preis Fernwärme (kWh)	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Investition I	95'000	95'000	95'000	95'000	-	-	-	-
Investition II	261'000	261'000	261'000	261'000	356'000	356'000	356'000	356'000
Investition total	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000
Beiträge	-	-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000	356'000
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	20'143	20'143	20'143	20'143	18'163	18'163	18'163	18'163
Investitionsanteil rel. f. Unterhaltskosten	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000	190'000
jährliche Unterhaltskosten in Franken	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650	6'650
jährl. Energiemehrkosten	2'292	2'385	2'472	2'573	2'292	2'385	2'470	2'571
Jährliche Kosten total	29'084	29'178	29'265	29'366	27'104	27'198	27'283	27'384
Jährliche Energiekosteneinsparung	3'170	3'170	3'170	3'170	3'166	3'166	3'166	3'166
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	9.17	9.20	9.23	9.26	8.56	8.59	8.62	8.65

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Unterhaltskosten sind 3.5% der Anlagekosten (ohne bauliche Massnahmen)

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 19: Fallbeispiel Überlandstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

A-3.5 Fallstudie 5: MINERGIE-Neubau Schulhaus Kugeliloo

Der Schulhausneubau wird im MINERGIE-Standard erstellt und wird mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe beheizt. Zudem wird eine mechanische Lüftungsanlage mit Erdregister eingebaut. Der Einbau dieser Anlagen verursacht folgende Kosten:

Elektrowärmepumpe und Erdsonden	100'000 CHF
Mechanische Lüftungsanlage	110'000 CHF
Erdregister:	30'000 CHF
Übrige Mehrkosten für MINERGIE gemäss BKP	54'000 CHF
Beitrag für Wärmepumpe	-14'600 CHF
Total	279'400 CHF

Für das Referenzprojekt wird eine konventionelle Gasheizung ohne den Einbau der mechanischen Lüftungsanlage gewählt, was folgende Kosten im Energiebereich mit sich bringt:

Gasheizkessel	30'000 CHF
Mehrkosten der MINERIGE-Variante:	249'400 CHF

Das Schulhaus benötigt für die Heizung 59.7 MWh und für das Warmwasser 15.1 MWh Nutzenergie pro Jahr. Die Verbrauchsdaten der beiden Varianten präsentieren sich unter Berücksichtigung der Nutzungsgrade der Heizsysteme wie folgt:

MINERGIE-Bau:

Verbrauch Elektrizität Heizung: 59.7 MWh : 3.5 (Nutzungsgrad Wärmepumpe Heizung) = 17.1 MWh.

Verbrauch Elektrizität Warmwasser: 15.1 : 3 (Nutzungsgrad Wärmepumpe Warmwasser) = 5 MWh.

Verbrauch Elektrizität mechanische Lüftung: 6.3 MWh

Dies ergibt insgesamt einen Elektrizitätsverbrauch von 28.4 MWh pro Jahr

Referenzprojekt

Verbrauch Gas für Heizung und Warmwasser: 74.8 MWh x 0.85 (Jahreswirkungsgrad) = 88 MWh pro Jahr.

Verbrauch Gas durch erhöhten Lüftungswärmebedarf: 101 MJ pro m² und Jahr. Dies entspricht einem Verbrauch von 265'630 MJ resp. 73'786 kWh pro Jahr.

Dies ergibt insgesamt einen Gasverbrauch von 161.8 MWh pro Jahr.

Das Referenzprojekt erreicht einen energetischen Standard, der die aktuellen Vorschriften übertrifft, ein 'vorschriftsgemässes' Projekt wird nicht als zweckmässig erachtet. Das verschlechtert jedoch die Wirtschaftlichkeit des MINERGIE-Ausbaus (wegen der Relativbetrachtung), da mit dem MINERGIE-Ausbau geringere Zusatzenergieeinsparungen erzielt werden können.

Betriebswirtschaftliche Rechnung

Der Kosten-Nutzen-Vergleich der betriebswirtschaftlichen Rechnung zeigt, dass die Kosten der energetischen Massnahmen im Verhältnis zu den Einsparungen relativ hoch sind. Die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse bewegen sich in einer Bandbreite zwischen 3.19 und 3.92. Da der Strompreis pro kWh rund dreimal höher ist als der Gaspreis, wirkt sich der Stromverbrauch finanziell deutlich aus. Insbesondere bei der Variante mit einer angenommenen realen Teuerung der Elektrizität von 1% jährlich steigt das Kosten-/Nutzen-Verhältnis markant an. Mengenmässig ist die Einsparung durch den Einsatz der Wärmepumpe und der mechanischen Lüftung bedeutend: Pro Jahr werden über 130 MWh Energie eingespart.

Einbezug CO₂-Abgabe

Der Einbezug der CO₂-Abgabe verbessert die Kosten-/Nutzen-Verhältnisse nur geringfügig (2.89 - 3.49). Obwohl die Einsparung durch den Einsatz der Wärmepumpe und der Lüftung mengenmässig bedeutend ist, wirkt sich die CO₂-Abgabe nur schwach aus, da sie pro kWh Gas lediglich 0.5 Rp. beträgt. Dadurch steigt der Wert der angenommenen Einsparung an Gas um 873 CHF, was im Vergleich zu den Gesamtkosten in Höhe von mehr als 30'000 CHF nur schwach ins Gewicht fällt.

Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Der Einbezug der externen Kosten erhöht sowohl die Stromkosten als auch die Gaskosten merklich. Der Strompreis steigt um rund 30%, der Gaspreis um 60-75%, je nach Preis der gewählten Variante. Da die eingesparte Gasmenge viel höher ist als die benötigte Elektrizität und die Gaspreisteuerung rund doppelt so hoch ausfällt, verbessert sich das Kosten-/Nutzen-Verhältnis und sinkt auf Werte zwischen 2.07 und 2.34.

Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Neben den Energieeinsparungen bietet die mechanische Lüftung Zusatznutzen durch verbessertes Raumklima, angenehme Luftfeuchtigkeit, erhöhte Behaglichkeit und Schutz vor Aussenlärm. Gerade bei einem Schulhaus, das tagsüber, wenn der Lärmpegel aussen relativ hoch ist, stark beansprucht wird, ist es von Vorteil, wenn die Fenster zum Lüften nicht geöffnet werden müssen. Die Luftqualität bleibt den ganzen Tag über konstanter und sinkt gegen Ende der Unterrichtsstunden weniger ab als bei der konventionellen Lüftung durch Fensteröffnen. Zugluft und Abgasimmissionen werden vermieden. Im Sommer bietet die Lüftung mit Erdregister die Möglichkeit zur Nachtauskühlung.

Fallbeispiel Kugeliloo	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer 1 (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Nutzungsdauer 2 (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.108	0.168	0.108	0.168	0.108	0.168	0.108
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	39.46	42	39.46	42	39.46	42	39.46	42
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		-	-	-	-	-	-	-
Einsparung Gas (in kWh)	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800
Preis Gas (kWh)	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Investition I	156'400	156'400	156'400	156'400	101'400	101'400	101'400	101'400
Investition II	93'000	93'000	93'000	93'000	148'000	148'000	148'000	148'000
Investition total	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400
Beiträge	-	-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	17'075	17'075	17'075	17'075	16'045	16'045	16'045	16'045
Investitionsanteil rel. f. Unterhaltskosten	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400
jährliche Unterhaltskosten in Franken	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862
jährl. Energiemehrkosten	4'771	3'056	5'148	3'297	4'771	3'056	5'143	3'294
Jährliche Kosten total	27'708	25'993	28'085	26'234	26'678	24'963	27'050	25'201
Jährliche Energiekosteneinsparung	8'379	6'634	8'379	6'634	8'372	6'628	8'372	6'628
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	3.31	3.92	3.35	3.95	3.19	3.77	3.23	3.80

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet = vorgegebene Werte = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)
 Unterhaltskosten sind 3% der Anlagekosten (ohne bauliche Massnahmen) Beiträge für Wärmepumpe von CHF 14'600 wurden bei Inv.I abgezogen

Tabelle 20: Fallbeispiel Kugeliloo - betriebswirtschaftliche Rechnung

Fallbeispiel Kugeliloo	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer 1 (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Nutzungsdauer 2 (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)	28'400	28400	28400	28400	28400	28400	28400	28400
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.108	0.168	0.108	0.168	0.108	0.168	0.108
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	47.46	50	47.46	50	47.46	50	47.46	50
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		-	-	-	-	-	-	-
Einsparung Gas (in kWh)	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800
Preis Gas (kWh)	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
Investition I	156'400	156'400	156'400	156'400	101'400	101'400	101'400	101'400
Investition II	93'000	93'000	93'000	93'000	148'000	148'000	148'000	148'000
Investition total	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400
Beiträge		-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	17'075	17'075	17'075	17'075	16'045	16'045	16'045	16'045
Investitionsanteil rel. f. Unterhaltskosten	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400
jährliche Unterhaltskosten in Franken	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862
jährl. Energiemehrkosten	4'771	3'056	5'148	3'297	4'771	3'056	5'143	3'294
Jährliche Kosten total	27'708	25'993	28'085	26'234	26'678	24'963	27'050	25'201
Jährliche Energiekosteneinsparung	9'252	7'506	9'252	7'506	9'244	7'500	9'244	7'500
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	2.99	3.46	3.04	3.49	2.89	3.33	2.93	3.36

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet = vorgegebene Werte = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)
 Unterhaltskosten sind 3% der Anlagekosten (ohne bauliche Massnahmen) Beiträge für Wärmepumpe von CHF 14'600 wurden bei Inv.I abgezogen

Tabelle 21: Fallbeispiel Kugeliloo – betriebswirtschaftliche Rechnung mit Einbezug CO₂-Abgabe

Fallbeispiel Kugeliloo	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer 1 (Jahre)	15	15	15	15	15	15	15	15
Nutzungsdauer 2 (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.079	1.079	1.000	1.000	1.078	1.078
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400	28'400
Einsparung Elektrizität (in kWh)		-	-	-	-	-	-	-
Preis Elektrizität (kWh)	0.218	0.158	0.218	0.158	0.218	0.158	0.218	0.158
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.079	1.079	1.079	1.079	1.078	1.078	1.078	1.078
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		-	-	-	-	-	-	-
Einsparung Gas (in kWh)	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800	161'800
Preis Gas (kWh)	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068
Teuerung Holzsplitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzsplitzel	1.039	1.039	1.039	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038
Mehrverbrauch Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzsplitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzsplitzel (Schütt-m3)	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.121	1.121	1.121	1.121	1.120	1.120	1.120	1.120
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Investition I	156'400	156'400	156'400	156'400	101'400	101'400	101'400	101'400
Investition II	93'000	93'000	93'000	93'000	148'000	148'000	148'000	148'000
Investition total	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400
Beiträge		-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400	249'400
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	17'075	17'075	17'075	17'075	16'045	16'045	16'045	16'045
Investitionsanteil rel. f. Unterhaltskosten	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400	195'400
jährliche Unterhaltskosten in Franken	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862	5'862
jährl. Energiemehrkosten	6'191	4'476	6'680	4'829	6'191	4'476	6'674	4'825
Jährliche Kosten total	29'128	27'413	29'617	27'766	28'098	26'383	28'580	26'731
Jährliche Energiekosteneinsparung	13'616	11'871	13'616	11'871	13'604	11'860	13'604	11'860
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	2.14	2.31	2.18	2.34	2.07	2.22	2.10	2.25

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet = vorgegebene Werte = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)
 Unterhaltskosten sind 3% der Anlagekosten (ohne bauliche Massnahmen) Beiträge für Wärmepumpe von CHF 14'600 wurden bei Inv.I abgezogen

Tabelle 22: Fallbeispiel Kugeliloo - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

A-3.6 Fallstudie 6: MINERGIE-Sanierung Schulhaus HPS, Gotthelfstrasse

Die Sanierung und Aufstockung des Schulhauses HPS an der Gotthelfstrasse beinhaltet an energetischen Massnahmen eine Fassadensanierung mit Wärmedämmung sowie den Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage. Ausschlaggebend für den Entscheid zum Einbau der Lüftung war in erster Linie die Verbesserung des Komforts. Daher wird auch beim Referenzmodell der Einbau einer Lüftung angenommen und die Lüftungseinsparungen und -kosten in der Berechnung des Fallbeispiels nicht berücksichtigt. Das Gebäude wird mit Gas beheizt.

Im Referenzprojekt wird statt einer Wärmedämmung eine Beton-Fassadensanierung vorgenommen. Die Kosten der Variante Wärmedämmung und der Variante Betonsanierung sind ungefähr gleich hoch. Da die MINERGIE-Sanierung kostenneutral durchgeführt werden kann, werden bei diesem Beispiel keine Kosten-/Nutzen-Verhältnisse ausgewiesen sondern der direkte Nutzen der Energieeinsparung in Franken.

Einsparung Gas: (gegenüber Variante Betonsanierung) ca. 82 MWh pro Jahr.

Betriebswirtschaftliche Rechnung

Da in dieser Fallstudie das ausgeführte Projekt und das Referenzprojekt dieselben Kosten aufweisen, werden statt Kosten-/Nutzen-Verhältnisse, die ja in diesem Falle immer Null ergäben, direkt die Energiekosten der beiden Projekte verglichen. Die MINERGIE-Sanierung bewirkt Einsparungen in der Höhe von 3'570 CHF bis 4'526 CHF pro Jahr. Die Kostenunterschiede werden vor allem durch die Preisunterschiede der Varianten verursacht. Die Zinssatzänderung um ½% bewirkt nur eine geringe Veränderung. Je höher der Gaspreis, desto höher fallen die Einsparungen aus. Die MINERGIE-Sanierung ist betriebswirtschaftlich rentabel, da in jedem Fall gegenüber der Betonsanierung Einsparungen resultieren.

Einbezug CO₂-Abgabe

Der Einbezug der CO₂-Abgabe erhöht die Einsparungen der Sanierung mit Wärmedämmung gegenüber der Betonsanierung um ca. 10% auf 4'040 CHF - 4'997 CHF jährlich.

Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Der Zuschlag von 3 Rp./kWh für die externen Kosten von Gas erhöht den Gaspreis auf 7.8 Rp./kWh resp. 6.8 Rp./kWh Dies bewirkt eine deutliche Erhöhung der Einsparungen um rund 60% auf 6'412 CHF bis 7'354 CHF pro Jahr.

Nachhaltige Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Wärmedämmung verbessert das Raumklima, da eine gute Behaglichkeit mit einer tieferen Raumtemperatur erreicht werden kann.

Fallbeispiel Gotthelfstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Annuitätenfaktor a	0.048	0.048	0.048	0.048	0.051	0.051	0.051	0.051
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.150	1.150	1.000	1.000	1.146	1.146
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.236	1.236	1.236	1.236	1.229	1.229	1.229	1.229
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	39.46	42	39.46	42	39.46	42	39.46	42
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.150	1.150	1.150	1.150	1.146	1.146	1.146	1.146
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)	82'000	82'000	82'000	82'000	82'000	82'000	82'000	82'000
Preis Gas (kWh)	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038	0.048	0.038
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.072	1.072	1.072	1.072	1.070	1.070	1.070	1.070
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.236	1.236	1.236	1.236	1.229	1.229	1.229	1.229
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059
Investition I	-	-	-	-	-	-	-	-
Investition II	-	-	-	-	-	-	-	-
Investition total	-	-	-	-	-	-	-	-
Beiträge		-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	-	-	-	-	-	-	-	-
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	-	-	-	-	-	-	-	-
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)		-	-	-	-	-	-	-
jährliche Unterhaltskosten in Franken	-	-	-	-	-	-	-	-
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Energiekosteneinsparung	4'526	3'583	4'526	3'583	4'510	3'570	4'510	3'570
Kosten-/Nutzen-Verhältnis	-	-	-	-	-	-	-	-

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet
 Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

☐ = vorgegebene Werte

☐ = Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 23: Fallbeispiel Gotthelfstrasse – betriebswirtschaftliche Rechnung

Fallbeispiel Gotthelfstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Annuitätenfaktor a	0.048	0.048	0.048	0.048	0.051	0.051	0.051	0.051
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.150	1.150	1.000	1.000	1.146	1.146
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177	0.168	0.177
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.236	1.236	1.236	1.236	1.229	1.229	1.229	1.229
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	47.46	50	47.46	50	47.46	50	47.46	50
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.150	1.150	1.150	1.150	1.146	1.146	1.146	1.146
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)	82000	82000	82000	82000	82000	82000	82000	82000
Preis Gas (kWh)	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043	0.053	0.043
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.072	1.072	1.072	1.072	1.070	1.070	1.070	1.070
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	35	35	35	35	35	35	35	35
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.236	1.236	1.236	1.236	1.229	1.229	1.229	1.229
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
Investition I		-	-	-	-	-	-	-
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total	-	-	-	-	-	-	-	-
Beiträge		-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)	-	-	-	-	-	-	-	-
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)	-	-	-	-	-	-	-	-
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)		-	-	-	-	-	-	-
jährliche Unterhaltskosten in Franken	-	-	-	-	-	-	-	-
jährl. Energiemehrkosten	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total	-	-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Energiekosteneinsparung	4'997	4'054	4'997	4'054	4'980	4'040	4'980	4'040
Kosten-/Nutzen-Verhältnis								

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Unterhaltskosten werden von der Gesamtinvestition I (Beiträge unberücksichtigt) berechnet

Tabelle 24: Fallbeispiel Gotthelfstrasse – Betriebswirtschaftliche Rechnung mit Einbezug CO₂-Ab-

ga

Fallbeispiel Gotthelfstrasse	Zinssatz der Richtlinien Stadt Zürich				Zinssatz des SIA Normentwurfs 506 480			
	Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%		Teuerung Elektrizität = 0%		Teuerung Elektrizität = 1%	
	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise	Preise stat. Amt	aktuelle Preise
Zinssatz	0.025	0.025	0.025	0.025	0.03	0.03	0.03	0.03
Nutzungsdauer (Jahre)	30	30	30	30	30	30	30	30
Annuitätenfaktor a	0.048	0.048	0.048	0.048	0.051	0.051	0.051	0.051
Teuerung Elektrizität	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Elektrizität	1.000	1.000	1.150	1.150	1.000	1.000	1.146	1.146
Mehrverbrauch Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Elektrizität (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Elektrizität (kWh)	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227	0.218	0.227
Teuerung Heizöl	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Heizöl	1.236	1.236	1.236	1.236	1.229	1.229	1.229	1.229
Mehrverbrauch Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Heizöl (in 100 lt)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Heizöl (100 lt)	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6	84.06	86.6
Teuerung Gas	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mittelwertfaktor Gas	1.150	1.150	1.150	1.150	1.146	1.146	1.146	1.146
Mehrverbrauch Gas (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Gas (in kWh)		82'000	82'000	82'000	82'000	82'000	82'000	82'000
Preis Gas (kWh)	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068	0.078	0.068
Teuerung Holzschnitzel	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mittelwertfaktor Holzschnitzel	1.072	1.072	1.072	1.072	1.070	1.070	1.070	1.070
Mehrverbrauch Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Holzschnitzel		0	0	0	0	0	0	0
Preis Holzschnitzel (Schütt-m3)	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
Teuerung Fernwärme	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Mittelwertfaktor Fernwärme	1.236	1.236	1.236	1.236	1.229	1.229	1.229	1.229
Mehrverbrauch Fernwärme		0	0	0	0	0	0	0
Einsparung Fernwärme (in kWh)		0	0	0	0	0	0	0
Preis Fernwärme (kWh)	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074	0.074
Investition I		-	-	-	-	-	-	-
Investition II		-	-	-	-	-	-	-
Investition total		-	-	-	-	-	-	-
Beiträge		-	-	-	-	-	-	-
Investition abzgl. Beiträge (I_B)		-	-	-	-	-	-	-
jährliche Kapitalkosten (I _B *a)		-	-	-	-	-	-	-
Unterhaltskosten (Faktor von Inv. I)		-	-	-	-	-	-	-
jährliche Unterhaltskosten in Franken		-	-	-	-	-	-	-
jährl. Energiemehrkosten		-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Kosten total		-	-	-	-	-	-	-
Jährliche Energiekosteneinsparung	7'354	6'412	7'354	6'412	7'328	6'389	7'328	6'389
Kosten-/Nutzen-Verhältnis		-	-	-	-	-	-	-

ohne Hintergrundfarbe = wird automatisch berechnet

= vorgegebene Werte

= Individuelle Werte des Fallbeispiels (Eingabe)

Tabelle 25: Fallbeispiel Gotthelfstrasse - betriebswirtschaftliche Rechnung unter Einbezug der externen Kosten

A-4 Vergleich mit den Wirtschaftlichkeitsrechnungen der MINERGIE-Fachstelle

Am Berner Energie-Apéro "Investieren in MINERGIE lohnt sich" vom 20.3. 2001 wurden Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zu 50 realisierten MINERGIE-Objekten vorgestellt, 44 Neubauten und 6 Sanierungen. Im Durchschnitt benötigten die 50 Bauten 6.3% höhere Investitionen als die jeweiligen Standardausführungen. Die Jahreskosten der MINERGIE-Objekte über die Lebensdauer gerechnet sind im Durchschnitt jedoch nur 99,4% der Jahreskosten der Standardausführungen, (bei den Sanierungen: Investitionen + 6,8%; Jahreskosten: 97,5% der Standardsanierung).

Die Wirtschaftlichkeitsrechnungen basieren auf Mehr- bzw. Minderkosten für zusätzliche Investitionen und Energieeinsparungen des jeweiligen MINERGIE-Objektes gegenüber einem vom Architekten definierten zugehörigen Standardprojekt, mit dem die Wärmeschutzvorschriften eingehalten werden.

Definition STANDARD - Projekt:

Für die Standardprojekte wurde generell die folgenden Endenergiekennzahlen vorgegeben:

Heizung und Warmwasser mit moderner Gasheizung

- EKZ Neubauten Wohnen: 130 kWh/m²
- EKZ Sanierungen Wohnen: 170 kWh/m²
- EKZ Neubauten DL-Gebäude: 110 kWh/m²
- EKZ Sanierungen DL-Gebäude: 130 kWh/m²

Diese Energiekennzahlen sind hoch, es darf gehofft werden, heute werde nicht mehr so gebaut. In der Folge ergeben sich bei den realisierten MINERGIE - Projekten hohe Energiekosteneinsparungen gegenüber den STANDARD-Vergleichslösungen, was die Wirtschaftlichkeit von MINERGIE vorteilhaft beeinflusst.

Berechnungsannahmen (Unterschiede zu den hier getroffenen Annahmen):

Kapitalkosten:

Die Kapitalkosten basieren durchwegs auf einer **Lebensdauer von 30 Jahren**. Hier wird dagegen für Apparate, Geräte und Anlagen von einer Lebensdauer von 15 Jahren ausgegangen, was bei einem Realzins von 3% um 64% höhere Kapitalkosten für Geräte und Anlagen ergibt.

Die MINERGIE-Fachstelle rechnet mit einem nominalen Kalkulationszinssatz von 6 % und einer allgemeinen Teuerung von 4%, was einen **Realzinssatz** von 2%,

ergibt. Hier wird mit einem Realzinssatz von 2,5% bzw. von 3% gerechnet, was gegenüber 2% Realzinssatz für 30 Jahre Lebensdauer um 7% bzw. 14,3% höhere Kapitalkosten ergibt (bei 15 Jahren Lebensdauer: +3,8 bzw. +7,6%).

Die MINERGIE-Fachstelle rechnet generell mit einer **realen Energiepreissteigerung** von +1% p.a., d.h. nominal +5% p.a. Hier wird für Öl und FW von einer realen Energiepreissteigerung von 1,5% p.a. ausgegangen. Bei Holzschnitzeln wird hier eine reale Teuerung von nur 0,5% und beim Strom von 0% Variante 'SIA' bzw. 1% Variante 'Stadt' angenommen.

Energiepreise	MINERGIE	vorliegende Studie
- Öl	5.0 Rp./kWh	4.04 - 4.3 Rp./kWh
- Gas	7.0 Rp./kWh	3,8 - 4,8 Rp./kWh
- Elektrizität	18.0 Rp./kWh	16.8-17.7 Rp./kWh
- Elektrizität für WP		10.8-16.8 Rp./kWh
- Hackschnitzel	4.0 Rp./kWh	4.0 Rp./kWh

Unterhalts- und Betriebskosten MINERGIE

Sie wirken pauschal festgelegt: Beim EFH 100 Fr./a für den Kaminfeger und 110 Fr./a für den Brennerservice, bei grösseren Gebäuden mehr. MINERGIE hat zusätzlich noch die Unterschiede der Liegenschaftssteuer (0,1% vom amtl. Wert) und der Gebäudeversicherung (0,1% vom versicherten Wert) berücksichtigt. Hier wird dagegen mit prozentualen Unterhaltskostensätzen pro Jahr gerechnet (gemäss den Richtlinien). Diese Sätze dürften mindestens bei grösseren Gebäuden eher zu hohe Unterhaltskosten ergeben. Die Sätze von MINERGIE erscheinen jedoch tendenziell zu tief.

A-5 Literatur

Bundesamt für Energie (BFE): Empfehlung für energetische Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit Einbezug der externen Kosten, Bern, 1997.

Bundesamt für Konjunkturfragen: RAVEL zahlt sich aus, Bern, 1992.

Bundesamt für Konjunkturfragen: Materialien zu RAVEL: Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen, Bern, 1992.

e c o n c e p t/CEPE : Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Bauten, erste Ergebnisse, im Auftrag von BFE/EWG, Projektabschluss Mitte 2003.

e c o n c e p t : Neubauen statt Sanieren?, im Auftrag von BFE/EWG/BWO/ARE, Bern, 2002.

Jakob Martin et al.: Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden, CEPE / ETH, im Auftrag von BFE/EWG, Bern, 2002

Infras, **e c o n c e p t**, Prognos, Die vergessenen Milliarden – Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich; im Auftrag von BBL (früher AFB), BFE, ARE (früher Dienst für Gesamtverkehrsfragen) und Bundesamt für Konjunkturfragen (seco), Verlag Haupt, Bern 1996

Meier R. / Beck M. / Previdoli P.: Bauen, Sanieren, wirtschaftlich Investieren; Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit im Einklang, Chur, Zürich: Rüegger, 2002.

MINERGIE-Fachstelle: Wirtschaftliche MINERGIE-Bauten: Daten, Beispiele, Erkenntnisse, H.P. Bürgi, Bern, 2002.

SIA Normentwurf 506 480: Wirtschaftlichkeitsrechnung im Hochbau, 31.08.2001.

Stadt Zürich: Masterplan Energie der Stadt Zürich, Stadtratsbeschluss Nr. 1438 vom 2. Oktober 2002, in Kraft ab 1. Januar 2003

Stadt Zürich: Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsrechnung bei energetischen Massnahmen, 7. Januar 1998.

Stadt Zürich: Auszug aus dem Protokoll des Stadtrats von Zürich, 7. Januar 1998.

