



**Ingenieurbüro für
Energieberatung, Haustechnik
und ökologische Konzepte GbR**

Schellingstr. 4/2
D-72072 Tübingen
Tel. 0 70 71 93 94 0
Fax 0 70 71 93 94 99
www.eboek.de
mail@eboek.de

Wirtschaftlichkeit energiesparenden Bauens für kommunale Gebäude in Heidelberg

Erstellt im:	Januar 2004
im Auftrag von:	Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Energie und Gesundheitsförderung
Projektleitung:	Prof. Dr. Claus Kahlert
Inhaltliche Bearbeitung:	Dipl.-Phys. Rosemarie Hellmann Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt Dipl.-Phys. Thomas Kirtschig Dipl.-Ing. Ulrich Rochard
Layout:	Aagje Ricklefs M.A.

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung.....	2
3 Wirtschaftlichkeit im Entwurfsprozess – eine Auswertung von Architekturwettbewerben.....	3
3.1 Bandbereiten der Baukostenermittlung	3
3.2 Einfluss des Energiestandards	7
4 Wirtschaftlichkeit einer energetisch verbesserten Gebäudehülle	9
4.1 Investitionsvergleich	9
4.2 Kostenbilanz	11
5 Wirtschaftlichkeit optimierter TGA Systeme	15
5.1 Kostenbilanz	15
6 Empfehlung	19
7 Anhang – Heizwärme- und Primärenergiebedarf nach EnEV.....	20
7.1 Die Beispielgebäude.....	20
7.1.1 Beispiel: Bürogebäude (ENERGON, Ulm)	20
7.1.2 Beispiel: Sporthalle (Weil im Schönbuch)	20
7.1.3 Beispiel: Grundschule (Freiburg, Rieselfeld).....	20
7.2 Berechnungsvarianten EnEV.....	21
8 Anhang – Grundlagen der Systemvergleiche Lüftung und Kühlung	23
8.1 Lüftungsanlage Sporthalle	23
8.2 Lüftungsanlage Bürogebäude mit Kühlung.....	27
9 Anhang – Grundlagen der Kostenrechnung.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Realisierungswettbewerb Verwaltungsgebäude (Vorprüfung 1993).....	4
Abb. 2: Realisierungswettbewerb Kultur- und Bürgerhaus (Vorprüfung 1999).....	4
Abb. 3: Realisierungswettbewerb Neubau Gymnasium (Vorprüfung 2001).....	5
Abb. 4: Realisierungswettbewerb Neubau Gymnasium - Sporthalle (Vorprüfung 2001).....	5
Abb. 5: Bandbreiten der Baukostenermittlungen aus drei Realisierungswettbewerben.....	6
Abb. 6: Passivhausbürogebäude ENERGON	7
Abb. 7: Einfluss des energetischen Standards auf die Gesamtinvestitionen für ein Verwaltungsgebäude	8
Abb. 8: Investitionsvergleich Mindestanforderungen nach EnEV und NEH-Standard	10
Abb. 9: Kostenbilanz Verwaltung	11
Abb. 10: Kostenbilanz Sporthalle	12
Abb. 11: Kostenbilanz Schule	12
Abb. 12: Wirtschaftlichkeit des Beispielgebäudes Schule bei verschiedenen Energiepreisszenarien	13
Abb. 13: Kostenbilanz optimierte Lüftungsanlage, Sporthalle.....	16
Abb. 14: Kostenbilanz optimierte Lüftungsanlage mit Kühlung, Verwaltung	16
Abb. 15: Kostenbilanz optimierte Kühlanlage, Verwaltung.....	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Berechnungsergebnisse nach EnEV	21
Tab. 2: Elektrische Energie Lüftung; Beispiel Sporthalle, konventionelle Lüftungsanlage	25
Tab. 3: Elektrische Energie Lüftung; Beispiel Sporthalle, energetisch optimierte Lüftungsanlage	26
Tab. 4: Elektrische Energie Lüftung; Beispiel Bürogebäude, konventionelle Lüftungsanlage	30
Tab. 5: Elektrische Energie Lüftung; Beispiel Bürogebäude, energetisch optimierte Lüftungsanlage	31
Tab. 6: Elektrische Energie Kühlung; Beispiel Bürogebäude, konventionelle Anlage.....	32
Tab. 7: Elektrische Energie Kühlung; Beispiel Bürogebäude, energetisch optimierte Anlage.....	33

1 Zusammenfassung

Für drei Architekturwettbewerbe wurde die Bandbreite der Baukosten nach DIN 276 jeweils für alle Teilnehmer und die Preisgruppe bestimmt. Verglichen mit diesen Bandbreiten erweisen sich die notwendigen Investitionen für einen verbesserten Wärmeschutz als so klein, dass sie im Rahmen eines Wettbewerbs als unterhalb der Erhebungsgenauigkeit und damit als nicht entscheidungsrelevant eingestuft würden.

In einer zweiten Untersuchung erfolgte anhand von typischen Beispielgebäuden und -anlagen der technischen Gebäudeausrüstung eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, bei welcher der Kapitaldienst für die qualitativ hochwertigere Ausführung mit den ersparten Betriebskosten verglichen wurde. **In fast allen Fällen erweisen sich diese Investitionen in Qualität als wirtschaftlich.**

Werden die für die Energiekonzeption empfohlenen Planungsschritte im konkreten Fall konsequent vollzogen und für die wirtschaftliche Optimierung genutzt, so ergeben sich erhebliche zusätzliche Einsparpotentiale bei den Investitionen ebenso wie bei den Betriebskosten.

2 Einleitung

Die Stadt Heidelberg ist im Begriff, ihre Energiekonzeption aus dem Jahr 1992 grundlegend zu überarbeiten. Als wichtiger Baustein für die Neufassung wird auch das Kapitel über die energetische Qualität städtischer Gebäude sowie von Gebäuden, die auf städtischen Grundstücken errichtet werden, neu gefasst werden. Die aktualisierten Anforderungen sollen inhaltlich die technischen Entwicklungen der vergangenen zehn Jahre berücksichtigen und formal an das veränderte technische Regelwerk anschließen, insbesondere soll die Methodik der Energieeinsparverordnung (EnEV) weitgehend übernommen werden. In einer Studie vom März 2003 unterbreitete ebök hierzu eine Reihe von Vorschlägen. Einerseits wurde der bisher praktizierte Beschluss des Gemeinderats zur Niedrigenergiebauweise in die Sprache der EnEV übersetzt, andererseits enthielt die Untersuchung Vorschläge, wie ein energieeffizienter und kostensparender Betrieb gebäudetechnischer Anlagen durch planerische Qualitätsstandards sichergestellt werden kann.

Die vorliegende Untersuchung befasst sich nun mit der Frage der Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen energetischen Standards unter den finanziellen Randbedingungen einer Kommune. Hierzu erfolgt die Auswertung und Aufbereitung von typischen Beispielen auf drei Realisierungsebenen. Zunächst werden in Kapitel 3 durch Auswertung mehrerer Architektur-Wettbewerbe (Verwaltungsgebäude, Schule und Kultur- und Bürgerhaus) die energierelevanten Investitionen identifiziert und in Relation zu anderen ökonomischen Faktoren gesetzt. Das 4. Kapitel befasst sich mit den Bilanzen für Betriebs- und Kapitalkosten. Diese werden für zwei energetische Standards eines Verwaltungsgebäudes, einer Schule sowie einer Sporthalle, die teilweise aus der ersten Studie übernommen wurden, erstellt und verglichen. Die dritte Untersuchung (Kapitel 5) widmet sich drei Anlagenkonzepten und den Möglichkeiten, diese energetisch und ökonomisch zu optimieren.

3 Wirtschaftlichkeit im Entwurfsprozess – eine Auswertung von Architekturwettbewerben

Anhand vorliegender Vorprüfberichte von drei Realisierungswettbewerben wurde die Baukostenbandbreite der eingereichten Entwürfe ermittelt. Datengrundlage bilden die von der Vorprüfung im Rahmen der Wettbewerbe ermittelten Flächen und Investitionskosten.

Ziel dieser Auswertung ist es aufzuzeigen, welchen Einfluss die Entscheidung eines Preisgerichts für den einen oder anderen Entwurf auf die Höhe der Investitionen hat. In einem zweiten Schritt wird die erhobene Bandbreite mit den für einen verbesserten energetischen Standard notwendigen Investitionen verglichen.

3.1 Bandbreiten der Baukostenermittlung

Bei den ausgewerteten Wettbewerben handelt es sich um Realisierungswettbewerbe für den Neubau eines Verwaltungsgebäudes (mit einer BGF von 60.000 bis 80.000 m²) aus dem Jahr 1993, eines Kultur- und Bürgerhauses (mit einer BGF von 2.000 bis 3.000 m²) aus dem Jahr 1999 und eines Gymnasiums mit Sporthalle aus dem Jahr 2001 (Schulgebäude mit einer BGF zwischen 6.000 und 10.000 m², Sporthalle mit einer BGF zwischen 2.000 und 4.000 m², Schulgebäude und Sporthalle wurden getrennt ausgewertet).

Für alle drei Wettbewerbsaufgaben wurden die Baukostenkennwerte (Investitionen pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche, BGF nach DIN 277) aus den Vorprüfberichten extrahiert und grafisch dargestellt. Dabei erfolgte keine Korrektur aufgrund der Preisentwicklung, da die Investitionsbandbreite der jeweiligen Entwürfe und nicht das absolute Niveau Gegenstand der Untersuchung sind.

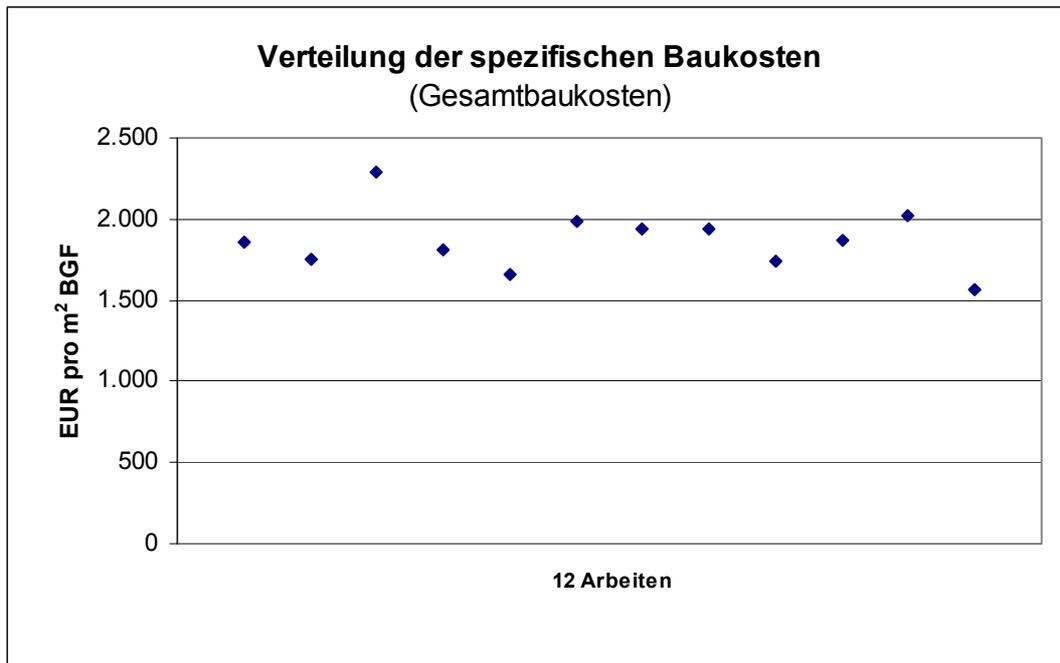


Abb. 1: Realisierungswettbewerb Verwaltungsgebäude (Vorprüfung 1993)

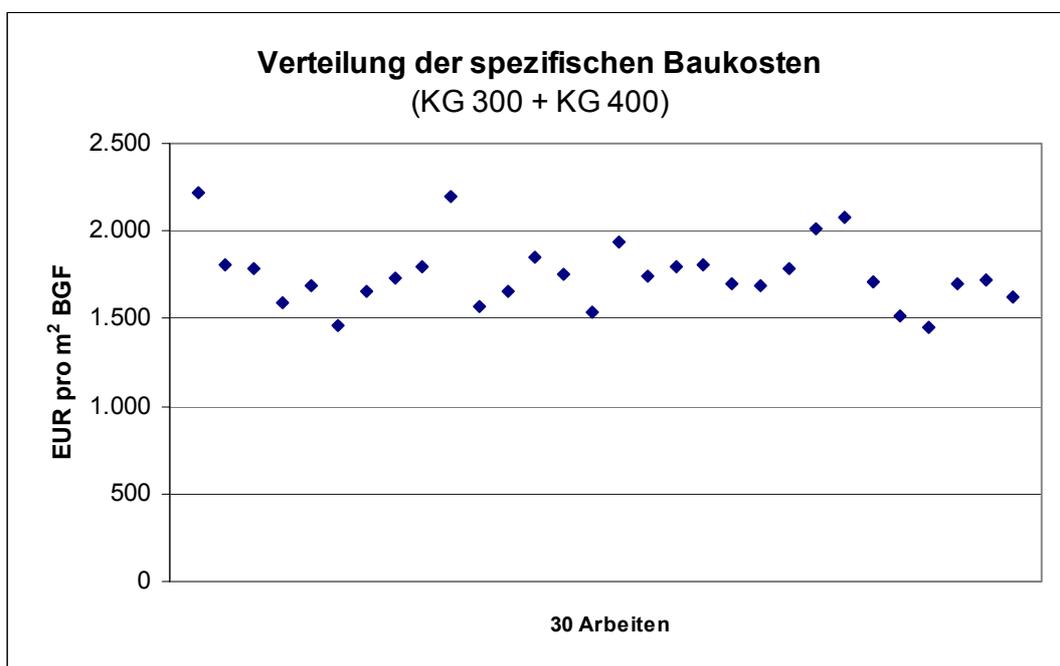


Abb. 2: Realisierungswettbewerb Kultur- und Bürgerhaus (Vorprüfung 1999)

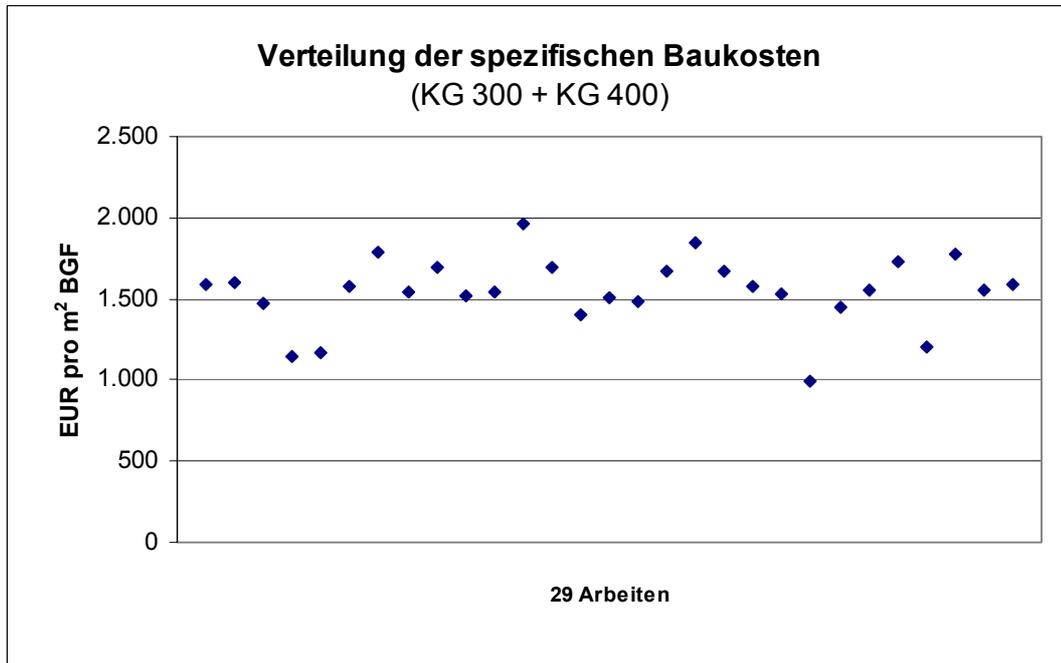


Abb. 3: Realisierungswettbewerb Neubau Gymnasium (Vorprüfung 2001)

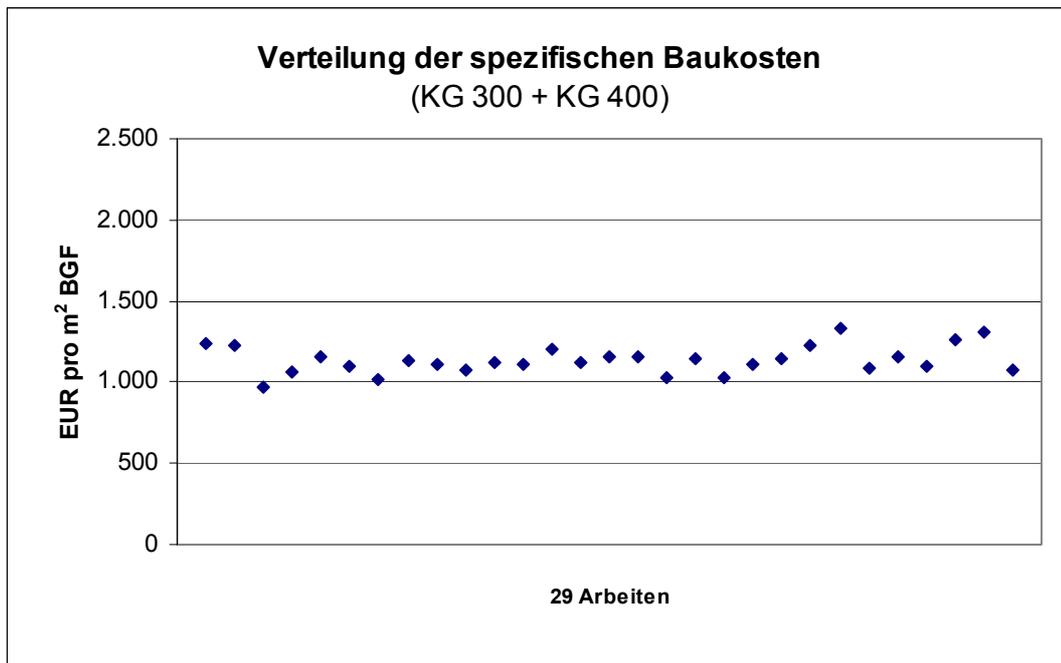


Abb. 4: Realisierungswettbewerb Neubau Gymnasium - Sporthalle (Vorprüfung 2001)

Bei der Beurteilung der Baukostenbandbreiten muss berücksichtigt werden, dass aufgrund unterschiedlich erfasster Daten in den einzelnen Wettbewerben die Kostenbandbreite für die Verwaltungsgebäude die gesamten Baukosten einschließt, während für Kultur- und Bürgerhaus, Gymnasium und Sporthalle die Kostengruppen KG 300 und KG 400 getrennt erhoben und ausgewertet wurden.

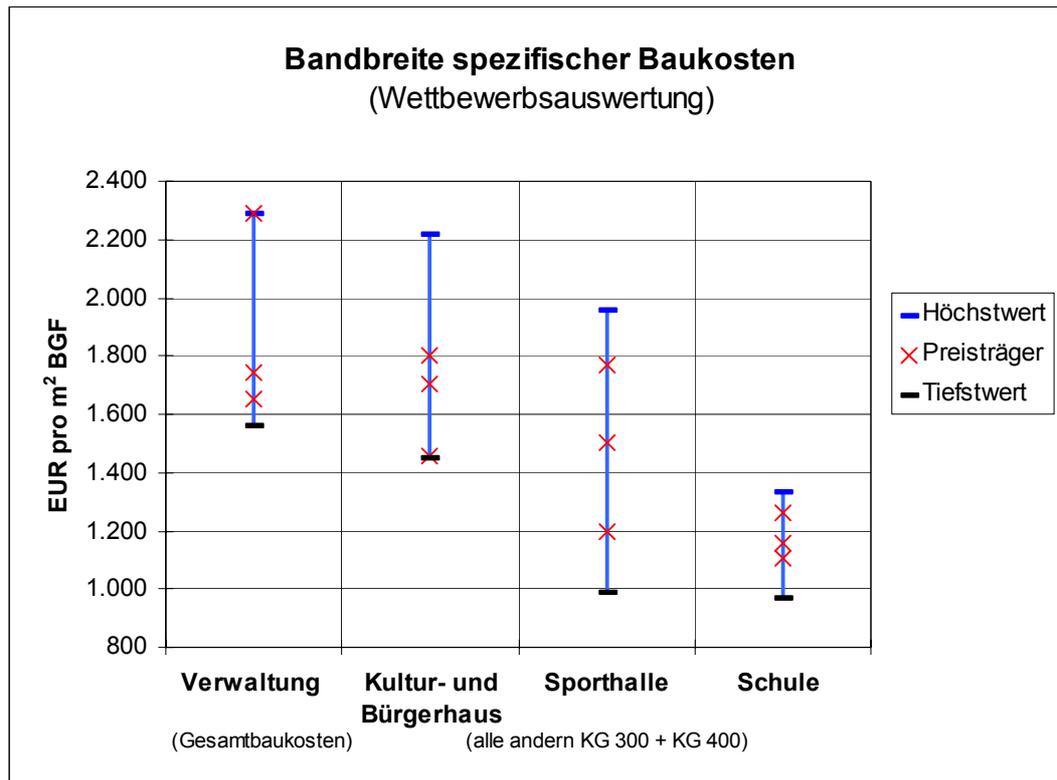


Abb. 5: Bandbreiten der Baukostenermittlungen aus drei Realisierungswettbewerben

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bandbreite der ermittelten Baukosten mindestens ein Drittel und bis zu nahezu 100% des jeweils günstigen Entwurfs umfasst. In die erstellten Grafiken wurden zusätzlich die drei ersten Preissträger eingezeichnet, auch für diese beläuft sich die Bandbreite auf 50% oder mehr der gesamten Spanne aller von der Vorprüfung ausgewerteten Entwürfe.

Mit der Entscheidung des Preisgerichts über die Preissträger wird somit eine Entscheidung über Mehrinvestitionen von bis zu 100% gefällt.

Obgleich hierzu keine durchgängigen quantitativen Daten vorliegen, legt eine visuelle Betrachtung der vorgelegten Arbeiten doch den Schluss nahe, dass die preiswerten Entwürfe, die in jedem der untersuchten Wettbewerbe ja auch in der Preisgruppe vertreten sind, sich durch eine kompakte Gebäudehülle und moderate

Verglasungsanteile in der Fassade ausgezeichneten, beides Attribute mit denen sich ein geringer Energieverbrauch ohne hohen konstruktiven Aufwand erreichen lässt.

3.2 Einfluss des Energiestandards

Um den Einfluss des gewählten energetischen Standards auf die Investitionen in den Neubau eines Gebäudes zu veranschaulichen, wurde das Beispiel Bürogebäude gewählt. Hierzu liegen uns detailliertere Daten vor.

Die Bandbreite der Baukosten in Abb. 7 ist den Kostenermittlungen der zwölf beim Wettbewerb für ein Verwaltungsgebäude eingereichten Entwürfe entnommen. Sie bezieht sich auf die Bruttogrundfläche (BGF) der Gebäude nach DIN 277. Parallel dazu werden für ein realisiertes Gebäude (ENERGON¹) die Mehrinvestitionen dargestellt, die für einen gegenüber den Mindestanforderungen nach Energieeinsparverordnung verbesserten Wärmeschutz (NEH-Standard) anfallen (bezogen auf die beheizte BGF).



Abb. 6: Passivhausbürogebäude ENERGON

¹ ENERGON: Bürogebäude der Software AG-Stiftung, Darmstadt, in Ulm. Bürogebäude im Passivhausstandard

Anzumerken ist hier noch, dass ENERGON als Passivhaus realisiert wurde. Bei den in Abb. 7 dargestellten spezifischen Investitionen handelt es sich also um die Baukosten eines Passivhauses. Dass diese so deutlich unter den Entwürfen des Wettbewerbs liegen, ist eine Folge der Anforderung an die Ausstattung der Gebäude. ENERGON wird als Softwarehaus in die Kategorie „mittlere bis gehobene Ausstattung“ eingruppiert, dem gegenüber waren die Wettbewerbsentwürfe für eine Versicherung konzipiert. Damit wird auch deutlich, dass sich selbst Passivhäuser mit attraktiver Architektur preiswerter erstellen lassen als zahlreiche andere Gebäude mit vergleichbarer Nutzung.

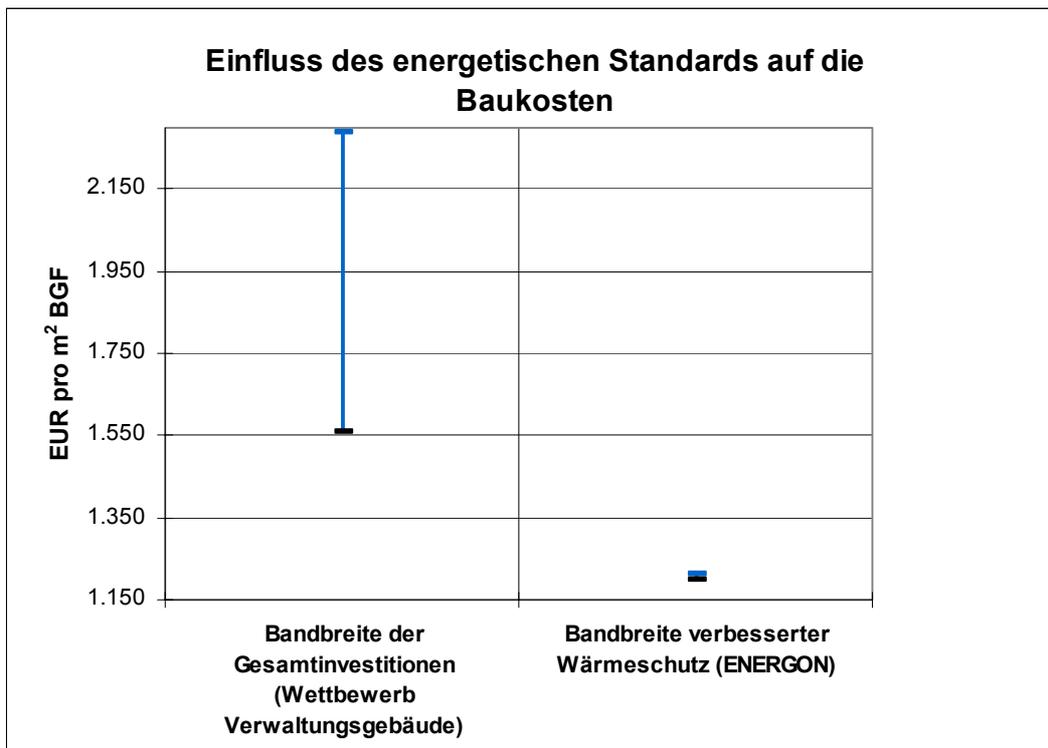


Abb. 7: Einfluss des energetischen Standards auf die Gesamtinvestitionen für ein Verwaltungsgebäude

Bei der Gegenüberstellung wird deutlich, dass die zusätzlichen Investitionen in energetische Standards neben den Gesamtbaukosten zu vernachlässigen sind. Allein die Bandbreite der Wettbewerbsentwürfe von rund 730 Euro pro Quadratmeter ist um ein Vielfaches (hier nahezu das 60fache) höher als die Mehrinvestitionen in den Wärmeschutz von etwa 13 Euro pro Quadratmeter BGF. Ein solch kleiner Betrag wäre im Rahmen eines Wettbewerbs unterhalb der Betrachtungsschärfe und deshalb nicht entscheidungsrelevant.

4 Wirtschaftlichkeit einer energetisch verbesserten Gebäudehülle

Für drei Beispielgebäude, ein Verwaltungsgebäude, eine Schule und eine Sporthalle, wurden die Betriebs- und Kapitalkosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren für zwei energetische Standards berechnet.

Die Grundvariante berücksichtigt die energetischen Mindestanforderungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV). Diese Grundvariante wurde in einem weiteren Schritt mit einem verbesserten Wärmeschutz nach den Anforderungen eines Niedrigenergiegebäudes ausgestattet.

4.1 Investitionsvergleich

Am Beispiel Verwaltungsgebäude wird die Vorgehensweise veranschaulicht. Den Investitionen (Kostengruppen KG 300 und KG 400) für ein Gebäude nach EnEV wurden die Investitionen für das gleiche Gebäude mit einem verbesserten Wärmeschutz auf NEH-Niveau gegenübergestellt.

Nach dem Baukostenindex liegen die spezifischen baulichen und haustechnischen Investitionen für ein Verwaltungsgebäude mittleren bis hohen Standards bei rund 1450 Euro pro Quadratmeter Brutto-Grundfläche (BGF). Das Ergebnis liegt in der selben Größenordnung wie die Investitionen für ENERGON. Eine Hochrechnung auf das Beispielgebäude ergibt Investitionen von knapp unter 12 Millionen Euro. Die Mehrinvestitionen für verbesserten Wärmeschutz liegen in der Größenordnung von 50.000 Euro.

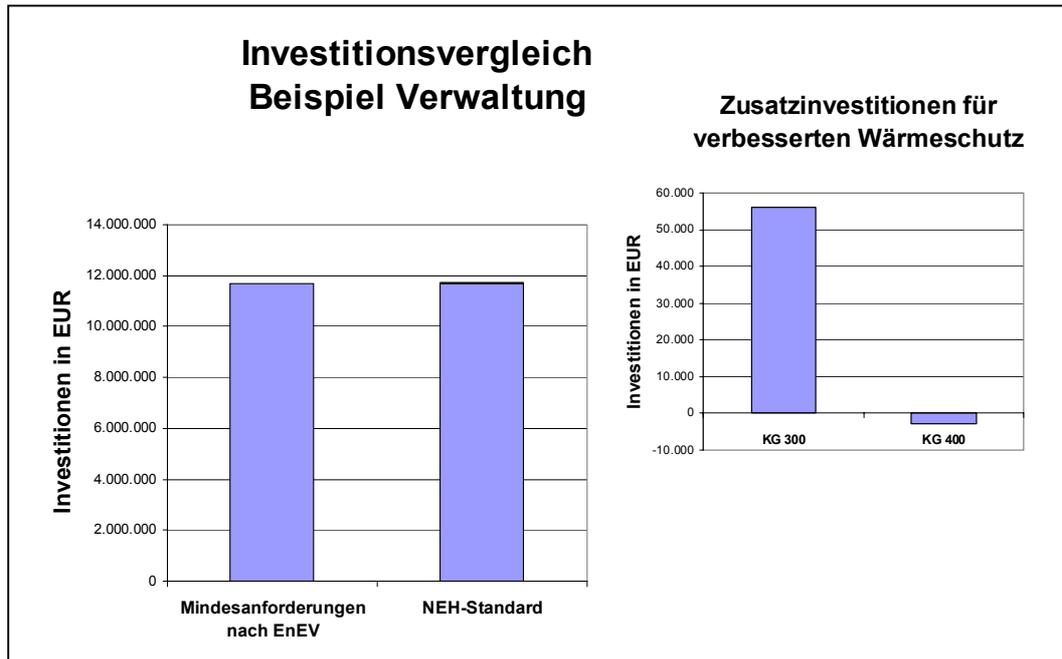


Abb. 8: Investitionsvergleich Mindestanforderungen nach EnEV und NEH-Standard

Es zeigt sich, dass die Zusatzinvestitionen für NEH-Standard in der Größenordnung von unter einem Prozent der Gesamtinvestitionen liegen. Diese Zusatzinvestitionen setzen sich zusammen aus bauliche Mehrausgaben für den zusätzlichen Wärmeschutz und Investitionseinsparungen auf der haustechnischen Seite (geringer dimensionierte Fernwärmübergabestation und Heizkörper).

Für die Zusatzinvestitionen in den NEH-Standard wurden die investiven Mehrkosten über eine Nutzungsdauer von 30 Jahren errechnet und den eingesparten Energiekosten über diesen Zeitraum gegenübergestellt. Dabei wurde von folgenden, mit dem Auftraggeber abgestimmten Annahmen ausgegangen:

Standzeit Gebäude	30 Jahre
Standzeit haustechnische Komponenten	25 Jahre
Zinssatz	5,5 %
Fernwärmepreis	5 Cent pro kWh
Energiepreissteigerung	3 % pro Jahr

4.2 Kostenbilanz

Diese Gegenüberstellung erfolgte für alle drei Gebäudetypen (Verwaltung, Sport-
halle, Schule) mit unterschiedlichen Ergebnissen.

Beim Beispielgebäude Verwaltung stehen den investiven Mehrkosten von rund
100.000 Euro über 30 Jahre etwa doppelt so hohe eingesparte Energiekosten von
rund 200.000 Euro gegenüber.

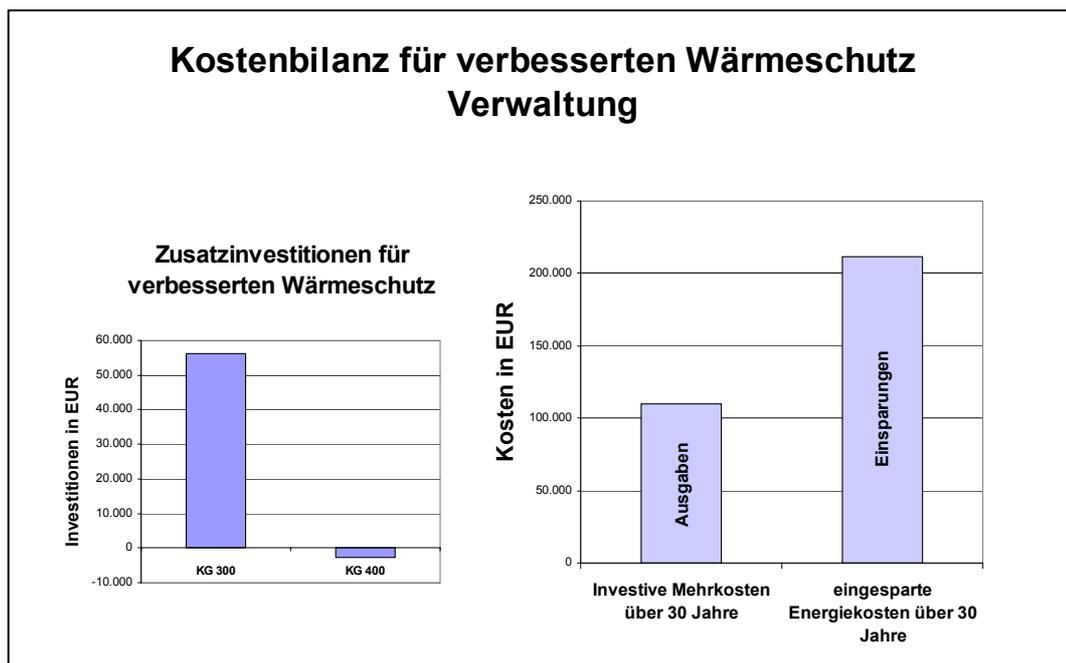


Abb. 9: Kostenbilanz Verwaltung

Die Energiekosteneinsparungen in 30 Jahren beim Beispielgebäude Sporthalle sind mit rund 150.000 Euro etwa $\frac{1}{3}$ höher als die Mehrausgaben von rund 90.000 Euro.

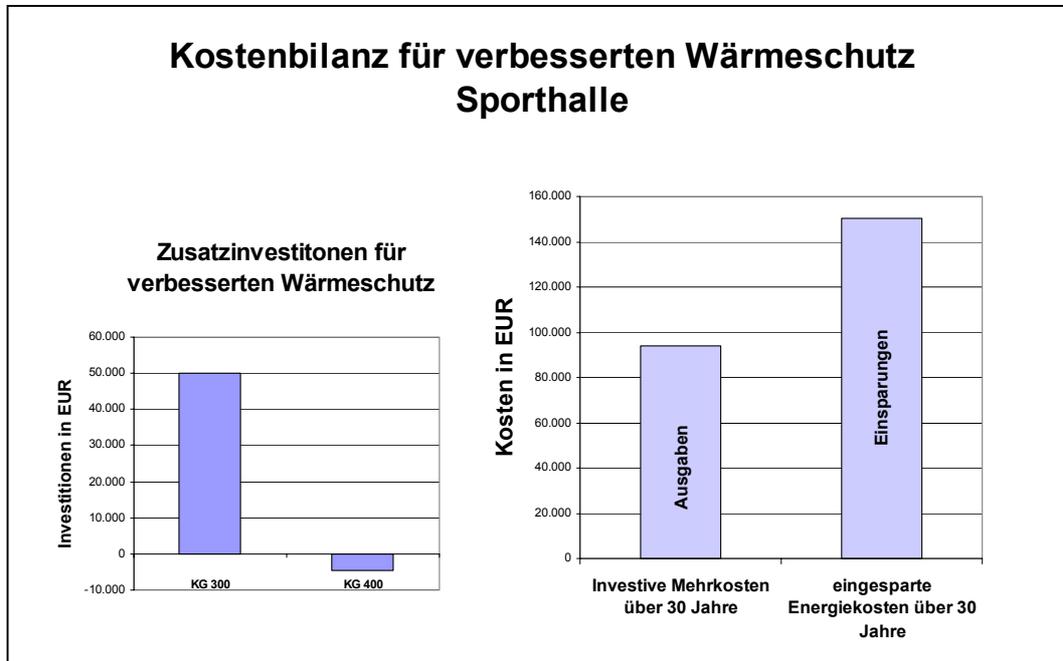


Abb. 10: Kostenbilanz Sporthalle

Das Beispiel Schule hingegen führt zu investiven Mehrkosten, die etwa 13% höher liegen als die Kostenersparnis durch geringeren Wärmebedarf.

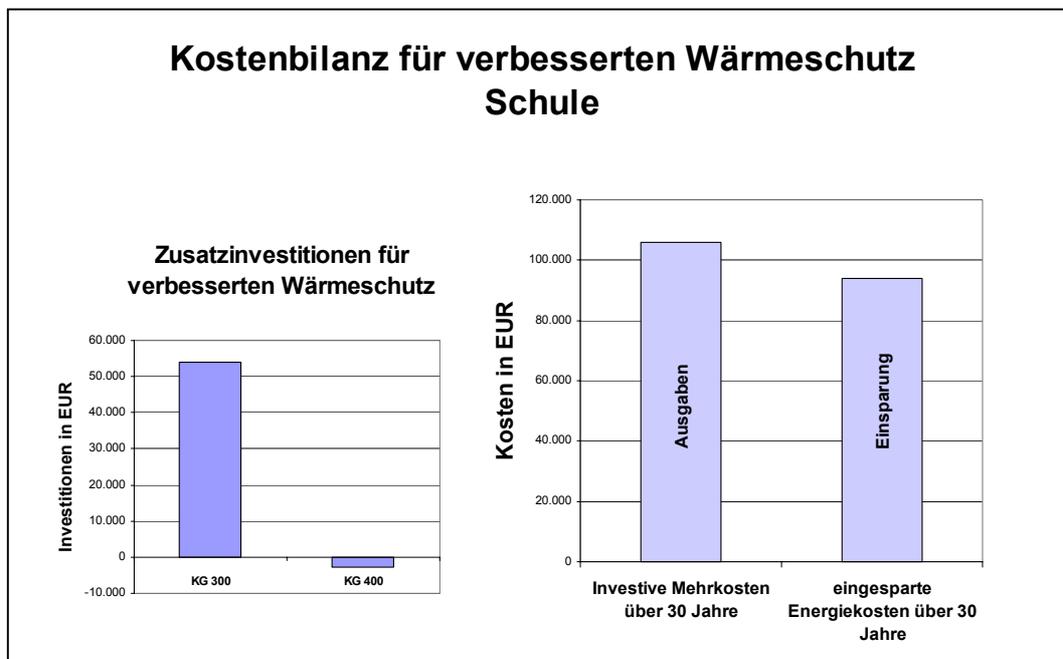


Abb. 11: Kostenbilanz Schule

Bei den oben dargestellten Kostenbilanzen wurde von einer durchschnittlichen Energiepreissteigerung von 3% pro Jahr im Betrachtungszeitraum ausgegangen. Sollte die Energiepreisentwicklung anders verlaufen, ändern sich die Ergebnisse natürlich. Fällt die Energiepreissteigerung höher aus, so werden die Kostenbilanzen günstiger, bei geringerer Preissteigerungsrate ergibt sich eine gegenläufige Entwicklung.

Unterschiedliche Energiepreisszenarien zeigen, dass bei einer durchschnittlichen Steigerung des Wärmepreises um 4% pro Jahr in den nächsten 30 Jahren auch das Beispiel Schule eine positive Kostenbilanz aufweist. Die beiden anderen Beispiele bleiben wirtschaftlich, selbst wenn sich der Fernwärmepreis in Zukunft überhaupt nicht erhöhen sollte.

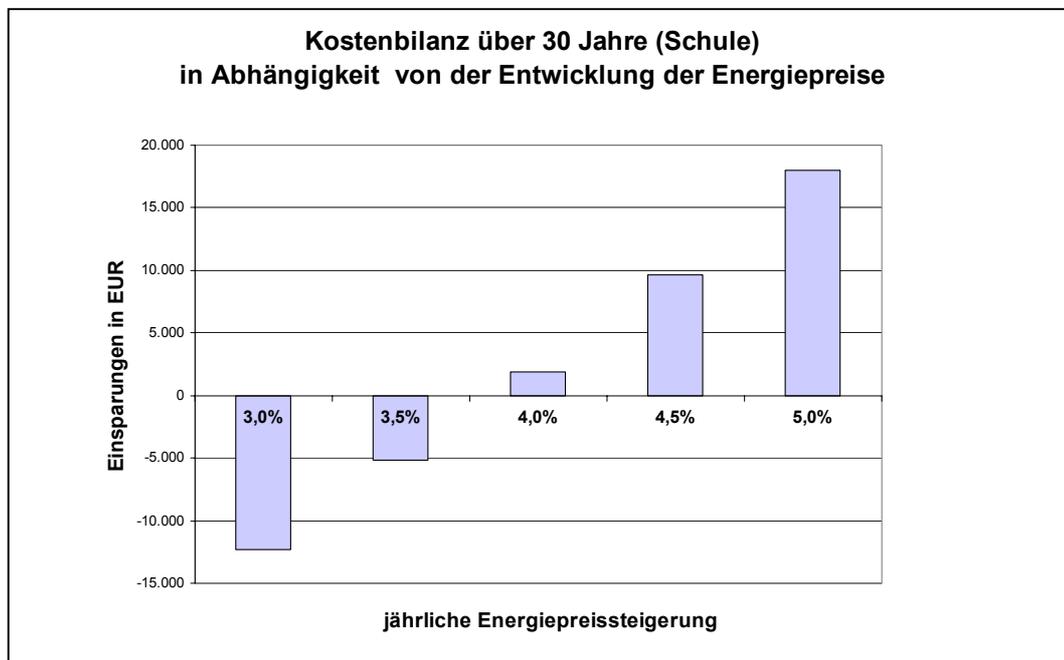


Abb. 12: Wirtschaftlichkeit des Beispielgebäudes Schule bei verschiedenen Energiepreisszenarien

Die Fernwärmepreise unterliegen in den letzten Jahren teilweise großen Schwankungen. Nach einer Untersuchung des Bundesverbandes der Energieabnehmer VEA sind allein im Jahr 2002 gegenüber dem Vorjahr die Fernwärmepreise bundesweit im Schnitt um mehr als zehn Prozent gestiegen.

Mit der angenommenen durchschnittlichen jährlichen Preissteigerung von 3% bewegen sich die vorliegenden Berechnungen eher auf der sicheren Seite. Selbst 4% oder 5% Preissteigerung pro Jahr sind durchaus nicht unrealistisch. Da sich auch in Zukunft die Finanzmärkte mit hoher Wahrscheinlichkeit stetiger verhalten werden als die Energiemärkte, liefern Investitionen in den Wärmeschutz auch einen Beitrag zur mittel- bis langfristigen Stabilisierung der kommunalen Haushalte.

Als Fazit dieses Untersuchungsschritts bleibt festzuhalten, dass es sich bei den gefundenen Kostendifferenzen (Gewinne wie Verluste) über 30 Jahre um verschwindend kleine Beträge handelt (<1%) – verglichen mit den absoluten Kosten für Betrieb und Bewirtschaftung der Gebäude. Dieser minimalen monetären Differenz steht auf der anderen Seite ein relative Einsparung von 30% oder mehr bei den CO₂-Emissionen aus Raumwärme gegenüber.

5 Wirtschaftlichkeit optimierter TGA Systeme

Analog zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer energetisch verbesserten Gebäudehülle in Kapitel 4 wurden für zwei Beispielgebäude, eine Sporthalle und ein Verwaltungsgebäude, die Betriebs- und Kapitalkosten für eine Lüftungsanlage (Beispiel Sporthalle) und eine Lüftungsanlage mit Kühlung (Beispiel Verwaltung) über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren berechnet.

Als Grundvariante wurde eine konventionelle Auslegung der Komponenten ohne besondere energetische Anforderungen zu Grunde gelegt. Diese Grundvariante wurde in einem zweiten Schritt optimiert. Die Spezifizierung verschiedener Anlagenvarianten ist im Anhang beschrieben. Die Zusatzinvestitionen für eine Optimierung der Lüftungs- und Kühlanlagen liegen für die Beispielgebäude in der Größenordnung von etwas unter 20% Prozent der Gesamtinvestitionen in diese Anlagen.

Für diese Zusatzinvestitionen wurden die investiven Mehrkosten über eine Nutzungsdauer von 15 Jahren errechnet und den eingesparten Energiekosten über diesen Zeitraum gegenübergestellt. Dabei wurde von folgenden, mit dem Auftraggeber abgestimmten Annahmen ausgegangen:

Standzeit Lüftungstechnische Komponenten	15 Jahre
Zinssatz	5,5 %
Fernwärmepreis	5 Cent pro kWh
Strompreis	13 Cent pro kWh
Energiepreissteigerung	3 % pro Jahr
Wasserpreis	3,00 Euro pro m ³
Steigerung Wasserpreis	3% pro Jahr

5.1 Kostenbilanz

Die Gegenüberstellung der beiden Optimierungen zeigt für beide Beispielgebäude ähnliche Ergebnisse. Aufgrund der eingesparten Energiekosten für Fernwärme- und Strombezug lassen sich die Maßnahmen wirtschaftlich darstellen. Im Betrachtungszeitraum von 15 Jahren übersteigen die eingesparten Energiekosten die investiven Mehrkosten um ein Viertel bis zur Hälfte.

Beim Beispiel Lüftungsanlage Sporthalle stehen den investiven Mehrkosten von rund 19.000 Euro eingesparte Energiekosten von rund 23.000 Euro gegenüber. Das entspricht einem „Gewinn“ in der Größenordnung von einem Viertel der Ausgaben über die Standzeit.

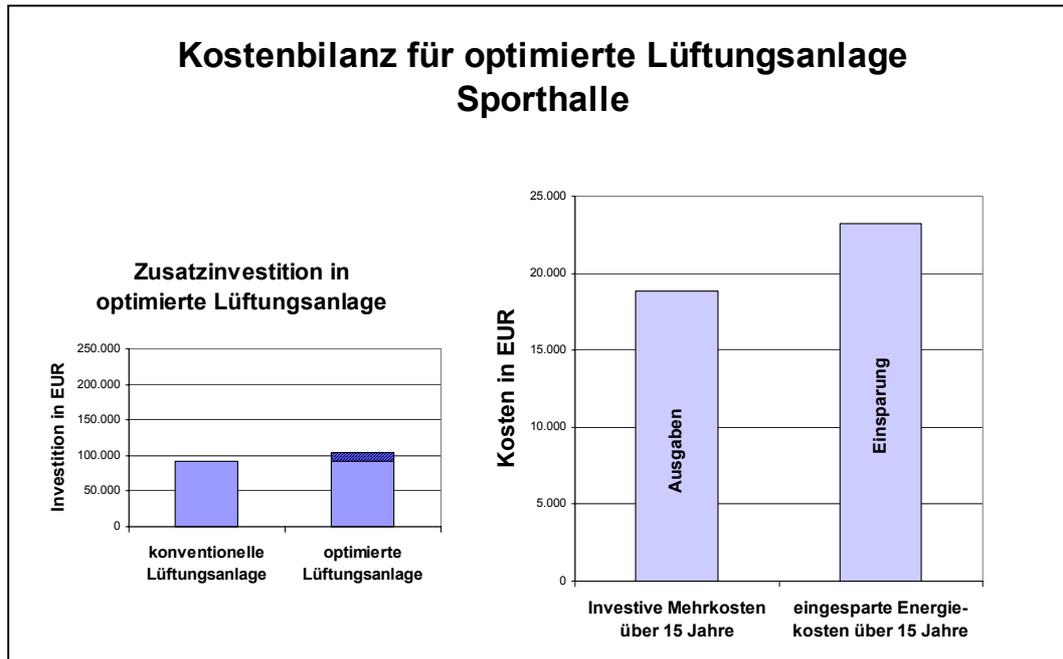


Abb. 13: Kostenbilanz optimierte Lüftungsanlage, Sporthalle

Die Energiekosteneinsparungen beim Beispiel Lüftungsanlage mit Kühlung für ein Verwaltungsgebäude liegen mit rund 45.000 Euro etwa 50% höher als die Mehrausgaben von rund 30.000 Euro.

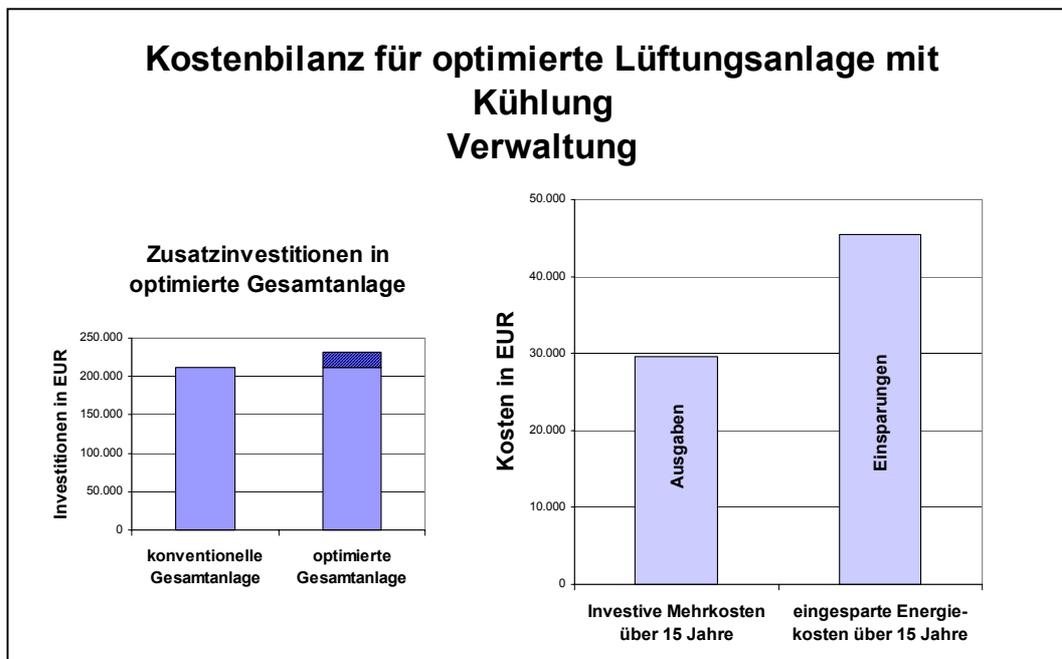


Abb. 14: Kostenbilanz optimierte Lüftungsanlage mit Kühlung, Verwaltung

Betrachtet man die Kühlung für sich, das heißt, nur die Kühlanlage des Verwaltungsgebäudes wird optimiert, so ergibt sich ein Gewinn durch eingesparte Energiekosten von 27.000 Euro bei investitionsbedingten Mehrkosten von nur 4.500 Euro.

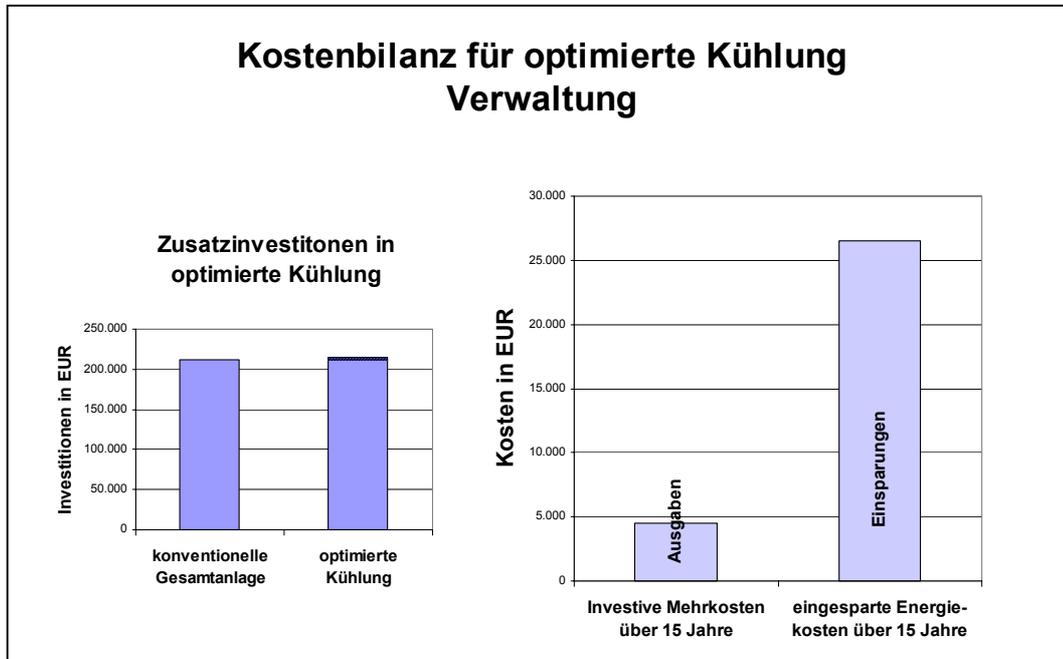


Abb. 15: Kostenbilanz optimierte Kühlanlage, Verwaltung

In sämtlichen Beispielen spielt der durch die Maßnahmen verminderte Strombezug die entscheidende Rolle. Obwohl bei der Lüftungs- und bei der Gesamtanlage etwa 20% bzw. 13% mehr Strom als Wärme eingespart werden kann, beträgt die Einsparung bei den Stromkosten jeweils rund das Dreifache der Einsparungen an Wärmekosten.

Die Optimierung der Kühlanlage zeigt besonders eindrucksvoll, wie durch geringe Mehrinvestitionen deutliche Energiekosteneinsparungen erzielt werden können. Eine zusätzliche Investition von 3.000 Euro für eine Kälteanlage mit adiabatischer Kühlung führt zu Einsparungen beim Fernwärmebezug von jährlich rund 13.000 kWh und beim Strombezug von jährlich 7.000 kWh. Trotz eines Mehraufwands für Wasser für die adiabatische Kühlung ergeben sich jährliche Einsparungen an Energiekosten von knapp 1.800 Euro. Über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren aufsummiert, sind das 26.500 Euro eingesparte Energiekosten.

Wie die aufgeführten Beispiele zeigen, sind die von der neuen Energiekonzeption geforderten gebäudetechnischen Standards stets wirtschaftlich zu gestalten, da sie sich in erster Linie durch planerische Maßnahmen und geringe Zusatzinvestitionen umsetzen lassen. Erfahrungsgemäß weist, speziell im Bereich der Kühlung, eine für die Sommersituation optimierte Gebäudehülle, die allerdings nicht Gegenstand dieser Untersuchung war, durch Reduktion von Glasflächen und Kühlanlagen, ein noch höheres Einsparpotential auf als die betrachteten analgentechnischen Verbesserungen.

6 Empfehlung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes vom architektonischen Entwurf dominiert wird. Die zusätzlichen Investitionen in einen verbesserten Wärmeschutz sind dem gegenüber vernachlässigbar. Diese zusätzlichen Investitionen, die dazu hin teilweise noch eine gute Rendite erwirtschaften, zusammen mit dem gezielten Einsatz von Planungskompetenz, wie er von den Gutachtern für die neuen Energiekonzeption empfohlen wurde, steuern einen wesentlichen Anteil der CO₂-Emissionen eines Gebäudes. Qualitativ gilt diese Aussage auch für den Sommerfall, bei dem neben den Betriebskosten auch die Aufenthaltsqualität und Funktionsfähigkeit der Gebäude zu beachten sind.

In ihrem eigenen Zuständigkeitsbereich sollte die Stadt die aufgezeigten Steuerungsinstrumente zum Erreichen ihrer Klimaschutzziele bewusst handhaben, sei es in ihrer Rolle als Bauherrin und Betreiberin von Gebäuden oder als Anbieterin auf den Grundstücks- und Immobilienmarkt, wo sich energetischen Standards bevorzugt über privatrechtliche Bindungen durchsetzen lassen.

7 Anhang – Heizwärme- und Primärenergiebedarf nach EnEV

7.1 Die Beispielgebäude

7.1.1 Beispiel: Bürogebäude (ENERGON, Ulm)

Beschreibung:	fünfgeschossiges Bürogebäude für bis zu 420 Personen mit dreieckigem Grundriss, Atrium innerhalb der thermischen Hülle mit Überkopfverglasung
Gebäudevolumen:	31616 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	10117 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,22 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	33% (incl. Dach und Dachverglasung)

7.1.2 Beispiel: Sporthalle (Weil im Schönbuch)

Beschreibung:	Dreifach-Turnhalle mit zusätzl. Gymnastikraum Tribüne für ca. 350 Zuschauer
Gebäudevolumen:	20047 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	6415 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,34 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	19% (vorwiegend Nordverglasung, incl. Dach und Dachverglasung)

7.1.3 Beispiel: Grundschule (Freiburg, Rieselfeld)

Beschreibung:	zweigeschossige Schule
Gebäudevolumen:	9724 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	3112 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,47 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	28% (incl. Dach) / 50% (ohne Dach)

7.2 Berechnungsvarianten EnEV

Tab. 1 enthält Berechnungsergebnisse nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) für die 3 Beispielgebäude (bei einem Primärenergiefaktor von $f_p=1,1$). Dargestellt sind die notwendigen baulichen Maßnahmen zur Erfüllung der Minimalanforderungen nach EnEV und die baulichen Verbesserungsmaßnahmen zur Erfüllung der vorgeschlagenen Heidelberger NEH – Anforderungen („HD-NEH“). Aus den Bauteilflächen und den Verbesserungsmaßnahmen für den NEH - Standard wurden die erforderlichen Zusatzinvestitionen überschlägig abgeschätzt.

Tab. 1: Berechnungsergebnisse nach EnEV

	Summe	Relation z. Grenzwert		U-Werte [W/m²K]				Lüftung	Druck - test
		Ht'	PE _{f_p=1,1}	AW	Dach	Boden	Fenster		
spez. Investitionen [EUR/cm] bzw. [EUR]				1,5	1	2			500
Schule									
Flächen [m²] / Faktor				906	1369	1365			2,5
Minimalanforderung		86%	97%	0,3	0,3	0,4	1,4 Fenster		ohne
HD-NEH		70%	74%	0,15	0,15	0,25	1,4 Fenster		mit
Zusatzdicken [cm]				13,3	13,3	6			
Zusatzinvestition [EUR]	53913			1807	5 18208	16380			1250
Energon									
Flächen [m²] / Faktor				2420	1387	1643			6
Minimalanforderung		49%	95%	0,4	0,4	0,5	1,7 Fenster		ohne
HD-NEH		41%	73%	0,25	0,2	0,3	1,7 Fenster		mit
Zusatzdicken [cm]				6	10	5,3			
Zusatzinvestition [EUR]	56066			2178	0 13870	17416			3000
Sporthalle									
Flächen [m²] / Faktor				609	2564	2970			3
Minimalanforderung		39%	96%	0,3	0,3	0,4	1,4 Fenster		ohne
HD-NEH		32%	75%	0,2	0,18	0,3	1,4 Fenster		mit
Zusatzdicken [cm]				6,7	8,9	3,3			
Zusatzinvestition [EUR]	50042			6120	22820	19602			1500

Die Investitionen können je nach Gebäude an einigen Stellen gesenkt werden, ohne die energetische Qualität dadurch zu verschlechtern. Beispiele hierfür sind:

- Bei einem A/V-Verhältnis von 0,47 1/m bei der Grundschule könnte der Fensterflächenanteil gesenkt werden. Die Investitionen sinken dadurch in der Regel, die energetische Qualität bleibt gleich oder kann sich sogar verbessern.
- Der Fenster-U-Wert des Bürogebäudes (ENERGON) kann durch Verwendung von Rahmenprofilen aus Holz oder Kunststoff anstatt den angenommenen Metall-Rahmen gesenkt werden, ohne dadurch Mehrinvestitionen zu erzeugen. Die energetische Verbesserung an dieser Stelle kann mit Kosteneinsparungen an anderen Bauteilen verbunden werden (z.B. geringere Dämmstoffdicken, günstigere Verglasungen, günstigere Haustechnik, o.ä.).

8 Anhang – Grundlagen der Systemvergleiche Lüftung und Kühlung

8.1 Lüftungsanlage Sporthalle

Dem Systemvergleich liegt folgende **Anlagenkonfiguration** zu Grunde:

- Lüftungsgerät für Sporthalle als Zu-/Abluftgerät liegende wetterfest Ausführung
Nennvolumenstrom 8000 m³/h
mit Wärmerückgewinnung, mit Nacherwärmung der Zuluft, mit Mischteil
(Umluftbetrieb für Aufheizung), mit freilaufenden Radialventilatoren mit
Anbaumotor und Frequenzumrichter, incl. Filter, Schalldämpfer, Ansaug- und
Ausblaskammer
- Lüftungskanalnetz mit runden und rechteckigen Kanälen, teilweise gedämmt.
- MSR-Technik mit DDC-Anlage

Energetische Kennwerte:

	konventionelle Anlage	optimierte Anlage
Wärmebereitstellungsgrad Wärmerückgewinnung	60%	80%
Auslegungs-Luftgeschwindigkeit für Kanalnetz	5 – 7 m/s	3 – 5 m/s
Interne Druckverluste Gerät	ZU: 700 Pa AB: 560 Pa	ZU: 320 Pa AB: 260 Pa
Gesamtwirkungsgrad Ventilator/ Motor/FU (Nennbetriebspunkt)	52%	61%
elektrische Aufnahmeleistung (Nennbetriebspunkt)	8,9 kW	3,7 kW

Investitionen:

	konventionelle Anlage	optimierte Anlage	relative Mehrinvestition
Netto fertig installiert	EUR	EUR	
Lüftungsgeräte	26.000	35.000	35%
Luftdurchlässe	14.400	14.400	
Kanalnetz, inkl. Dämmung und Einbauteile	18.000	21.600	20%
Regelung	28.800	28.800	
Insgemein, Stundenlohnarbeiten	4.800	4.800	
Summe:	92.000	104.600	14%

Lüftungswärmeverluste Sporthalle

Randbedingungen:			
Heizgrenztemperatur:	Θ_{ed}	12 °C	
Heizzeit:		220 d/a	nach DIN 4108-6
Anteil Nutzungstage in Heizzeit:		52%	Standardnutzungsbed. IWU
Nutzungsstunden je Nutzungstag:		12 h/d	Standardnutzungsbed. IWU
Nutzungsstunden Heizzeit:		1373 h/a	
Heizgradtagzahl Mannheim bezogen auf Nutzungszeit		2924 Kd	nach DIN 4108-6
		760 Kd	

mittlerer Luftvolumenstrom	Laufzeit	Anteil	Volumenstrom
	h/a		m³/h
Grundlüftung	275	20%	2200
Teillast	412	30%	5200
Nennlüftung	686	50%	8000
Mittlerer Luftvolumenstrom	1373	100%	6000

Lüftungswärmeverluste			
		konventionell	optimiert
Wärmebereitstellungsgrad		0,60	0,80
Korrekturfaktor Wärmegewinne	f_a	0,95	0,91
Lüftungswärmeverluste	Q_L	16.000	10.100 kWh/a
Bei Wärmeerzeugung mit Fernwärme:			
Aufwandszahl Übergabestation Fernwärme		103%	103%
Endenergie Fernwärmebezug:	$Q_{End.FW}$	16.480	10.400 kWh/a

elektrische Leistungsaufnahme Lüftungsanlage

konventionelle Auslegung			Grundlüftung	Teillast	Nennlüftung
Volumenstrom	m³/h		2200	5200	8000
externer Druckverlust (Kanalnetz)	Pa	Zuluft	40	180	400
	Pa	Abluft	50	200	440
Gesamtdruckverlust	Pa	Zuluft	120	510	1100
	Pa	Abluft	110	460	1000
Wirkungsgrad Ventilator			0,55	0,67	0,67
Wirkungsgrad Motor + FU			0,50	0,76	0,78
Gesamtwirkungsgrad			0,28	0,51	0,52
elektrische Aufnahmeleistung	W	Zuluft	270	1450	4680
		Abluft	240	1300	4250

optimierte Auslegung			Grundlüftung	Teillast	Nennlüftung
Volumenstrom	m³/h		2200	5200	8000
externer Druckverlust (Kanalnetz)	Pa	Zuluft	20	90	200
	Pa	Abluft	25	100	220
Gesamtdruckverlust	Pa	Zuluft	50	240	520
	Pa	Abluft	50	220	480
Wirkungsgrad Ventilator			0,64	0,74	0,75
Wirkungsgrad Motor + FU			0,54	0,80	0,81
Gesamtwirkungsgrad			0,35	0,59	0,61
elektrische Aufnahmeleistung	W	Zuluft	90	590	1900
		Abluft	90	540	1760

Tab. 3: Elektrische Energie Lüftung; Beispiel Sporthalle, energetisch optimierte Lüftungsanlage

Datenfassungsbogen elektrische Energie		Lüftung		Blatt Nr. 1					
Objekt: Beispiel Sporthalle, energetisch optimierte Auslegung		Blatt Nr. 1		von 1					
Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von:									
Datum:									
Kurzbeschreibung der Anlage: Zu-/Abfuhranlage, Wärmerückgewinnung mit Kreuzstromwärmetauscher, Luftwärmehilfsmittel auf 3 - 5 m/s ausgelegt, interne Druckverluste Gerät optimiert									
Wärmerückgewinnung 80%									
automatische Regelung über Zeitprogramm									
Auslegung Volumenstrom auf 2-fachen Luftwechsel									
Nr. Anlage	beheizte Fläche A_L [m ²]	Betriebspunkt	Volumenstrom V_L [m ³ /h]	elektr. Leistungsaufnahme $P_{el,L}$ [W]	spez. elektr. Leistungsaufnahme $P_{spez,el}$ [Wh/m ³]	Betriebsstunden je Betriebsstag [h/d]	Betriebsstage je Jahr [d/a]	geförderte Luftmenge V_L [m ³ /a]	Jahresenergiebedarf E_L [kWh/a]
1 Zuluft	1.000	Nennlüftung	8.000	1900	0,24	6	190	9.110.400	2164
		Teillast	5.200	590	0,11	3,6	190	3.553.056	403
		Grundlüftung	2.200	90	0,04	2,4	190	1.002.144	41
2 Abluft	gleiche Fläche wie Zuluft	Nennlüftung	8.000	1760	0,22	6	190	bei Zuluft berücksichtigt	2004
		Teillast	5.200	540	0,10	3,6	190	bei Zuluft berücksichtigt	369
		Grundlüftung	2.200	90	0,04	2,4	190	bei Zuluft berücksichtigt	41
Summen:	1000							13.665.600	5022
Berechnung der mittleren, volumenstromspezifischen, elektrischen Leistungsaufnahme $P_{spez,el,mitt}$		Jahresenergiebedarf ΣE_L [kWh/a]	Umrrechnung kWh in Wh 1000 [Wh/kWh]	geförderte Luftmenge ΣV_L [m ³ /a]	$P_{spez,el,mitt}$ [kWh/(m ³ a)]				
		5.022	1000	13.665.600	0,37				
Berechnung des flächenspezifischen Jahresenergiebedarfs e_L :		Jahresenergiebedarf ΣE_L [kWh/a]	Umrrechnung kWh in Wh 1000 [Wh/kWh]	beheizte Fläche ΣA_L [m ²]	e_L [kWh/(m ² a)]				
		5.022	1000	1000	5,02				
Umrrechnung in Primärenergie-Kennwert		[kWh/(m ² a)]	*	Strom	[kWh _{pe} /(m ² a)]				
		5,02	*	3,0	15,1				

Mehrkosten_Lueftung.xls; Strom LA Sporthalle optim. 21.01.2004

8.2 Lüftungsanlage Bürogebäude mit Kühlung

Dem Systemvergleich liegt folgende **Anlagenkonfiguration** zu Grunde:

- Lüftungsgerät für Bürogebäude als Zu-/Abluftgerät in liegender, wetterfester Ausführung
Nennvolumenstrom 8250 m³/h
mit Wärmerückgewinnung, mit Nacherwärmung der Zuluft, mit Kühlung, mit freilaufenden Radialventilatoren mit Anbaumotor und Frequenzumrichter, incl. Filter, Schalldämpfer, Ansaug- und Ausblaskammer
- Lüftungs kanalnetz mit runden und rechteckigen Kanälen, teilweise gedämmt.
- MSR-Technik mit DDC-Anlage
- Kühlung, konventionelle Anlage:
Kompaktkälteaggregat für Außenaufstellung, 45 kW, einstufiger Verdichter, luftgekühlter Kondensator, Kältemittel R 407C, Jahres-Arbeitszahl 3,5
- Kühlung, energetisch optimierte Anlage:
adiabatische Kühlung über Befeuchter in Abluft, Befeuchter mit Direktwasser ohne Zirkulation, Kompaktkälteaggregat für Entfeuchtung und Spitzenlastkühlung, 30 kW, einstufiger Verdichter, luftgekühlter Kondensator, Kältemittel R 407C, Jahres-Arbeitszahl 3,5

Energetische Kennwerte:

	konventionelle Anlage	optimierte Anlage
Wärmebereitstellungsgrad Wärmerückgewinnung	60%	85%
Auslegungs-Luftgeschwindigkeit für Kanalnetz	5 – 7 m/s	3 – 5 m/s
Interne Druckverluste Gerät	ZU: 610 Pa AB: 415 Pa	ZU: 380 Pa AB: 330 Pa
Gesamtwirkungsgrad Ventilator/ Motor/FU (Nennbetriebspunkt)	57%	61%
elektrische Aufnahmeleistung (Nennbetriebspunkt)	8,6 kW	5,1 kW

Es wurde ein Gebäude mit vergleichsweise geringer Kühllast als kritischer Fall untersucht. Bei Gebäuden mit höherer Kühllast und entsprechend größer dimensionierten Lüftungsanlagen nehmen die relativen Mehrkosten für die Energieoptimierung tendenziell ab, während das Einsparpotential bei den Energiekosten steigt.

Jahreskühlarbeit (aus dem Gebäude abgeführte Wärmemenge): 18.500 kWh
Jahreskältearbeit für Außenluftkühlung und Entfeuchtung: 6.840 kWh

Die Abluft-Befeuchtung bei der adiabatischen Kühlung erfolgt mit Direktwasser, so dass keine zusätzliche elektrische Energie benötigt wird.

Investitionen:

	konventionelle Anlage	optimierte Anlage	relative Mehrinvestition
netto fertig installiert	EUR	EUR	
Lüftungsgeräte	46.400	51.040	10%
Kälteanlage	15.000	12.000	20%
adiabatische Kühlung, Befeuchter mit Direktwasser		6.000	
Luftdurchlässe	20.000	20.000	
Kanalnetz, incl. Dämmung und Einbauteile	60.800	72.960	20%
Regelung	57.700	57.700	
Summe:	211.800	231.600	9%

Bei der energetisch optimierten Anlage kann die adiabatische Kühlung die konventionelle Kälteanlage nicht vollständig ersetzen, da ansonsten bei schwülwarmen Wetterlagen der Komfortbereich der Raumluftqualität hinsichtlich der Luftfeuchte nicht eingehalten werden kann. Deswegen wurde bei der optimierten Variante zusätzlich zur adiabatischen Kühlung eine etwas reduzierte Kälteanlage für die Außenluftentfeuchtung und Spitzenlastkühlung vorgesehen.

Eine adiabatische Kühlung mit Direktwasser kann nur bis zu einer bestimmter Wasserhärte eingesetzt werden. In Stadtteilen von Heidelberg, in denen die Wasserhärte über 19°dH liegt, muss unter Umständen eine zusätzliche Wasseraufbereitung erfolgen.

Für die adiabatische Kühlung wurde ein Wasserverbrauch bei 1-fachem Wasserüberschuss von ca. 40 m³ Wasser im Jahr berücksichtigt.

Der Energieaufwand für die Beheizung bzw. Nacherwärmung der entfeuchteten Zuluft wurde nicht berücksichtigt, da er bei beiden Varianten gleich hoch ist.

Bei der Ermittlung von Kosten und energetischen Kennwerten haben uns die Firmen Combitherm/Fellbach, Siegle&Epple/Stuttgart und SEW/Kempfen, freundlicherweise unterstützt.

Lüftungswärmeverluste Bürogebäude

Randbedingungen:				
Heizgrenztemperatur:	Θ_{ed}	12 °C		
Heizzeit:		220 d/a	nach DIN 4108-6	
Anteil Nutzungstage in Heizzeit:		69%	Standardnutzungsbed. IWU	
Nutzungsstunden je Nutzungstag:		13 h/d	Projekt	
Nutzungsstunden Heizzeit:		1973 h/a		
Heizgradtagzahl Mannheim bezogen auf Nutzungszeit		2924 Kd	nach DIN 4108-6	
		1093 Kd		

mittlerer Luftvolumenstrom	Laufzeit	Anteil	Volumenstrom	
	h/a		m ³ /h	
Teillast	612	31%	4.125	
Nennlüftung	1362	69%	8.250	
mittlerer Luftvolumenstrom	1973	100%	6.971	

Lüftungswärmeverluste				
		konventionell	optimiert	
Wärmebereitstellungsgrad	η'_{WRG}	0,60	0,85	
Korrekturfaktor Wärmegewinne	f_q	0,95	0,91	
Lüftungswärmeverluste	Q_L	26.700	14.100 kWh/a	
Bei Wärmeerzeugung mit Fernwärme:				
Aufwandszahl Übergabestation Fernwärme		103%	103%	
Endenergie Fernwärmebezug:	$Q_{End,FW}$	27.500	14.520 kWh/a	

elektrische Leistungsaufnahme Lüftungsanlage

konventionelle Auslegung					Teillast	Nennlüftung
Volumenstrom	m ³ /h			4.125	8.250	
externer Druckverlust (Kanalnetz)	Pa	Zuluft		180	550	
	Pa	Abluft		180	550	
Gesamtdruckverlust	Pa	Zuluft		330	1160	
	Pa	Abluft		280	965	
Wirkungsgrad Ventilator				0,65	0,70	
Wirkungsgrad Motor + FU				0,75	0,81	
Gesamtwirkungsgrad				0,49	0,57	
elektrische Aufnahmeleistung	W	Zuluft		780	4690	
		Abluft		660	3900	
optimierte Auslegung					Teillast	Nennlüftung
Volumenstrom	m ³ /h			4.125	8.250	
externer Druckverlust (Kanalnetz)	Pa	Zuluft		110	320	
	Pa	Abluft		110	320	
Gesamtdruckverlust	Pa	Zuluft		200	700	
	Pa	Abluft		190	650	
Wirkungsgrad Ventilator				0,72	0,71	
Wirkungsgrad Motor + FU				0,80	0,86	
Gesamtwirkungsgrad				0,58	0,61	
elektrische Aufnahmeleistung	W	Zuluft		400	2640	
		Abluft		380	2450	

Tab. 5: Elektrische Energie Lüftung; Beispiel Bürogebäude, energetisch optimierte Lüftungsanlage

Datenerfassungs-Blatt elektrische Energie										Blatt Nr. 1 von 1		
Objekt: Beispiel Bürogebäude mit Kühlung Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von: Datum: Kurzbeschreibung der Anlage: Zu-/Abluftanlage, Wärmerückgewinnung mit Gegenstromwärmetauscher, Lüfterhitzer, adiabate Kühlung, Erhitzer, Befeuchter automatische Regelung über Zeitprogramm, Bedarfslaster für außerplanmäßigen Betrieb Auslegung Volumenstrom nach DIN 1946 T2 hygieneorientiert Personen												
Nr. Anlage	belüftete Fläche A_L [m ²]	Betriebspunkt	Volumenstrom V_L [m ³ /h]	elektr. Leistungsaufnahme $P_{el,L}$ [W]	spez. elektr. Leistungsaufnahme $P_{spez,el}$ [Wh/m ³]	Betriebsstunden je Betriebstag [h/d]	Betriebsstage je Jahr [d/a]	geforderte Luftmenge V_L [m ³ /a]	Jahres-Energiebedarf E_L [kWh/a]			
1	1.520	Nennlüftung	8.250	2640	0,32	8	250	16.500.000	5280			
		Teillast	4.125	400	0,10	5	250	5.156.250	500			
2	gleiche Fläche wie Zuluft	Nennlüftung	8.250	2450	0,30	8	250	bei Zuluft berücksichtigt	4900			
		Teillast	4.125	380	0,09	5	250	bei Zuluft berücksichtigt	475			
									0			
									0			
									0			
									0			
									0			
Summen:										1520	21.656.250	11155
Berechnung der mittleren, volumensstromspezifischen, elektrischen Leistungsaufnahme $P_{spez,el,mit}$:										Jahres-Energiebedarf ΣE_L [kWh/a] = 11.155 geförderte Luftmenge ΣV_L [m ³ /a] = 21.656.250 $P_{spez,el,mit}$ [Wh/m ³] = $\frac{11.155}{21.656.250} = 0,52$		
Berechnung des flächenspezifischen Jahresenergiebedarfs e_L :										Jahres-Energiebedarf ΣE_L [kWh/a] = 11.155 belüftete Fläche ΣA_L [m ²] = 1520 e_L [kWh/(m ² a)] = $\frac{11.155}{1520} = 7,34$		
Umrechnung in Primärenergie-Kennwert										Strom = 3,0 e_{PE} [kWh _{PE} /(m ² a)] = $7,34 \cdot 3,0 = 22,0$		

Mehrkosten_Lueftung.xls, Lüftung Büro opti, 21.01.2004

Tab. 6: Elektrische Energie Kühlung; Beispiel Bürogebäude, konventionelle Anlage

Datenerfassungs-Blatt Energie				Kühlung				Blatt Nr.: 1					
Objekt: Beispiel Bürogebäude mit Kühlung								von 1					
Projekt-Nr. / Zeichen:													
bearbeitet von:													
Datum:													
Kurzbeschreibung der Anlage: Kühlung des Gebäudes über Lüftungsanlage				Kaltwassersatz				zusätzlich zur abgeführten Wärme sind 6940 kWh Kältearbeit für Außenluftabkühlung und Entfeuchtung in der Leistungszahl Kühlung berücksichtigt					
Nr. Anlage	gekühlte Fläche A_k [m ²]	Betriebspunkt	abgeführte Wärmemenge Q_k [kWh/a]	elektr. Leistungsaufnahme P_{elk} [kW]	Jahresbetriebsstunden t_k [h/a]	Energieeinsatz andere Energieträger [kWh/a]	Leistungszahl Kühlung [-]	Jahresenergiebedarf E_k [kWh/a]	Energieart	Primärenergiefaktor [kWh _{PE} /kWh]	Primärenergiebedarf $E_{k,PE}$ [kWh _{PE} /a]		
Kühlaggregat Lüftungsanlage	1520		18.500	12,90	563		2,55	7.263	Strom	3,0	21.788		
Ventilatoren Kondensator				1,50	563			845	Strom	3,0	2.534		
Pumpe Kaltwasser-Netz				0,40	1300			520	Strom	3,0	1.560		
Summen:	1520		18.500				2,1	8.627			25.882		
Berechnung der mittleren Aufwandszahl Kühlung $A_{k,mitt}$ bezogen auf Primärenergieeinsatz:						Primär-energiebedarf $\Sigma E_{k,PE}$ [kWh _{PE} /a]			abgeführte Wärmemenge ΣQ_k [kWh/a]			= $A_{k,mitt}$ [kWh _{PE} /kWh]	
						25.882			18.500			= 1,40	
Berechnung des flächenspezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs $q_{l,PE}$:						Primär-energiebedarf $\Sigma E_{k,PE}$ [kWh _{PE} /a]			gekühlte Fläche ΣA_k [m ²]			= $q_{l,PE}$ [kWh _{PE} /(m ² a)]	
						25.882			1.520			= 17,0	

Bemerkungen:

Primärenergiefaktor Strom nach DIN 4701 Teil 10

Mehrkosten_Lueftung.xls; Kühlung Büro konv 1, 21.01.2004

9 Anhang – Grundlagen der Kostenrechnung

Datengrundlage:

- Aktueller Fernwärmepreis, aktueller Strompreis: AKROPOLIS – Energiebewirtschaftung Stadt Heidelberg,
- Aktueller Wasser-/Abwasserpreis: Stadtwerke Heidelberg, Preise für die Versorgung mit Trinkwasser, Stand 1.1.2004
- Zinssatz für kommunale Kredite: Angaben der Stadt Heidelberg,
- Wirtschaftlichkeitsberechnung: Heizenergie im Hochbau, Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung, Anhang
- Wirtschaftlichkeitsberechnung: VDI 2067 Blatt 1
- Investitionen: BKI Baukosten 2000, Teil 1

Wärmekosten:

Der heutige spezifische Wärmepreis wurden mit einem Mischpreis Wärme (Leistungs- und Wärmepreis) von 5,00 Cent pro kWh angesetzt (Quelle: AKROPOLIS – Energiebewirtschaftung Stadt Heidelberg). Durch den Mischpreisansatz findet auch eine Einsparung beim Leistungspreis Berücksichtigung.

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung energetisch verbesserter Gebäudehüllen liegt ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zugrunde, der Wirtschaftlichkeitsberechnung optimierter TGA-Systeme ein Betrachtungszeitraum von 15 Jahren.

Die jährliche Energiepreissteigerung wurde mit 3% angenommen. Daraus ergibt sich für die Nutzungsdauer von 30 Jahren ein Mittelwertfaktor von 1,45, für die Nutzungsdauer von 15 Jahren ein Mittelwertfaktor von 1,24. Der mittlere Wärmepreis über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren errechnet sich damit zu 7,27 Cent/kWh, über 15 Jahren zu 6,20 Cent/kWh (Produkt aus dem heutigen Wärmepreis und dem Mittelwertfaktor).

Stromkosten:

Der heutige spezifische Strompreis wurde mit einem Mischpreis Strom (Leistungs- und Arbeitspreis) von 13,00 Cent pro kWh angesetzt (Quelle: AKROPOLIS – Energiebewirtschaftung Stadt Heidelberg).

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung optimierter TGA-Systeme liegt ein Betrachtungszeitraum von 15 Jahren zugrunde.

Die jährliche Energiepreissteigerung wurde auch hier mit 3% angenommen. Daraus ergibt sich für die Nutzungsdauer von 15 Jahren ein Mittelwertfaktor von 1,24. Der

mittlere Strompreis über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren errechnet sich zu 16,12 Cent/kWh (Produkt aus dem heutigen Strompreis und dem Mittelwertfaktor).

Wasserkosten:

Für die adiabatische Kühlung wird Wasser benötigt. Für den heutigen spezifischen Wasserpreis (inkl. Abwasserpreis für 50% der Wassermenge) wurden 3,00 Euro pro m³ angesetzt. Die Kubikmeterpreise für Trink- und Abwasser (in der Summe) für den Stadtkreis Heidelberg stiegen laut Statistische Berichte Baden-Württemberg in den Jahren 1979 bis 2001 um rund 4,5%. Da sich der Preisanstieg in den vergangenen Jahren verlangsamt hat (auf teilweise unter 2%), wird im vorliegenden Bericht auch hier eine jährliche Preissteigerung von 3% angenommen, was bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren zum Mittelwertfaktor von 1,24 führt.

Jährliche Investitionskosten / Kapitalkosten:

Die Finanzierung der kommunalen Gebäude der Stadt Heidelberg erfolgt zu 100% aus Eigenmittel. Der kalkulatorische Zins beträgt (ab 2004) 5,5% (Quelle: Stadt Heidelberg, Herr Koslowski).

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgte über die Annuitätenmethode. Die jährlichen Kapitalkosten ergeben sich aus den Investitionen multipliziert mit dem entsprechenden Annuitätsfaktor. Dieser beträgt nach VDI 2067 Blatt1 bei einem Kapitalzins von 5,5% und einer Nutzungsdauer von 30 Jahren 0,0688, bei einer Nutzungsdauer von 15 Jahren 0,0996.

Nach VDI 2067 Blatt 1 liegt die Nutzungsdauer der baulichen Anlagen bei mindestens 30 Jahren, ebenso die der Fernwärmeübergabestation. Da die Nutzungsdauer der Heizkörper (inkl. Raumregelung) bei 25 Jahren liegt, wurden die Investitionen hierfür mit dem Faktor 1,2 versehen (Quotient aus Betrachtungszeitraum und Nutzungsdauer), um auf diese Weise die Neuinvestition nach 25 Jahren mit zu berücksichtigen.

Für die rechnerische Nutzungsdauer der TGA Systeme wurde ein Mittel von 15 Jahren angesetzt. Nach VDI 2067 gelten

Wärmetauscher, Erhitzer, Kühler, Schalldämpfer, Luftkanäle	20 Jahre
Kälteanlagen, Befeuchter	15 Jahre
Ventilatoren	12 Jahre
Pumpen	10 Jahre