

# Kosten-Nutzen-Argumente für die Betriebsoptimierung von komplexen Anlagen (BOK)



**Projektteam Betriebsoptimierung von komplexen Haustechnikanlagen**

J.-M. Chuard, Enerconom AG, Bern

Dr. A. Jaecklin, Gerling Consulting Gruppe AG, Zürich

H. Jöri, Institut für angewandte Psychologie (IAP), Zürich

R. Messmer, K.M. Marketing, Winterthur

H.P. Nützi, Bundesamt für Energie BFE, Bern

V. Prochaska, Axima Refrigeration AG, Winterthur

E. Schadegg, Gruenberg & Partner AG, Zürich

Prof. Dr. H.R. Schalcher, pom+Consulting AG, Zürich

**Überarbeitung 2. Auflage**

J.-M. Chuard, Enerconom AG, Bern

Bern, Dezember 2002

© Bundesamt für Energie BFE, Bern

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt.

**EnergieSchweiz**

Bundesamt für Energie BFE, Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen – Postadresse: CH-3003-Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 – office@bfe.admin.ch – www.energie-schweiz.ch

BBL-EDMZ Bestellnummer 805.220.3 d

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Zielsetzung der Kosten-Nutzen Argumente .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Beteiligte bei der Betriebsoptimierung .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Definition BO bestehender Anlagen .....</b>	<b>6</b>
3.1	Grundsätzliches .....	6
3.2	Vorgehen bei der BOK bei bestehenden Anlagen .....	6
<b>4.</b>	<b>Argumente für BOK.....</b>	<b>7</b>
4.1	Quantifizierbare Argumente .....	7
4.2	Qualitative Argumente .....	9
<b>5.</b>	<b>BOK-Projektphasen aus finanzieller Sicht .....</b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsanalyse einer BOK .....</b>	<b>11</b>
6.1	Ausgangslage .....	11
6.2	Aufbau des Analyse-Konzeptes / Restriktionen .....	12
6.3	Wirtschaftlichkeitsanalyse am Beispiel eines Rechenzentrums .....	13
6.3.1	BOK-Projektbeschrieb .....	13
6.3.2	Energieauswertung Rechenzentrum .....	15
6.3.3	Auswertung der umgesetzten BOK-Einzelmaßnahmen .....	17
<b>7.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>21</b>

# 1. Zielsetzung der Kosten-Nutzen-Argumente

Im Rahmen des "Social Marketings für die Betriebsoptimierung haustechnischer Anlagen" sollen die Verhaltensziele für einen aktiven Beitrag der Beteiligten zur Ressourcenschonung erreicht werden. Die eigentlichen Motivatoren können wie folgt umschrieben werden:

- Die Interessenlage des **Bauherrn / Eigentümers** ist in erster Linie die Erzielung einer Rendite aus dem Objekt. Die Betriebskosten werden in der Regel auf den Mieter/Betreiber abgewälzt. Es besteht daher kein direktes Interesse, die Vorhaben des Betreibers für eine Betriebsoptimierung von komplexen Anlagen (BOK) zu unterstützen oder zusätzliche Massnahmen zu realisieren.
- Das Interesse des **Betreibers / Mieters** liegt in der Kostenminimierung des Betriebsaufwandes. Der Aufwand für den Zuzug einer BOK-Fachperson oder für Massnahmen wird nicht ohne weiteres betrieben.

Der gemeinsame Nenner aller Beteiligten liegt damit in der Kostenreduzierung oder Erhöhung des Gewinnes. Der vorliegende Argumentenkatalog zur Erreichung der geforderten Verhaltensziele richtet sich daher in erster Linie auf die kostenmässig erfass- und belegbaren Ziele aus. Es geht dabei im wesentlichen um folgende Bereiche:

- Zusammenfassung des Argumentenkataloges und Aufgliederung nach der Bedeutung für die Beteiligten
- Kosten-Nutzen-Darstellung und Begründung der Argumente aus der möglichen Sicht der Beteiligten
- Gesamtnutzendarstellung mit den möglichen Zusatznutzen zur reinen Kosten-Nutzen-Analyse.

Die Argumente werden aus Beispielen abgeleitet und mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse belegt.

## 2. Beteiligte bei der Betriebs-optimierung

Die BOK ist ein dynamischer Prozess und umfasst alle Ebenen vom Anlagenbetreuer / Mieter / Benutzer bis zum Eigentümer / Bauherren. Die Betrachtungen müssen entsprechend der Vernetzung der Probleme ebenenübergreifend erfolgen. Folgende Ebenen konnten definiert werden:

<b>Betriebsebene "Normalbetrieb":</b> Betreiber Betreuer Mieter	Unterstützung:  Unterhalt Service Kontrollen	Bemerkungen:  Betriebsoptimierung durch Kontrollen, Aufzeichnungen und Regelung der Einstellungen; keine Investitionen ausser laufender Unterhalt
<b>Betriebsebene "BOK-Unterstützung":</b> Betreiber Betreuer Mieter	BOK-Fachperson Messwerte Kennwerte	Gezielte Betriebsoptimierung aufgrund spezifischer Auswertungen und Messungen; minimale Investitionen, z.B. CHF<3000.–
<b>Betriebsebene "BOK-Investitionen":</b> Bauherr Eigentümer	Planer Unternehmer/Installateur Hersteller	Betriebsoptimierung durch selektive Investitionen, die der Betriebsoptimierung dienen.

Die Zusammenhänge sind im folgenden Kreislaufdiagramm mit den entsprechenden Bezugsebenen der Beteiligten zusammengefasst:

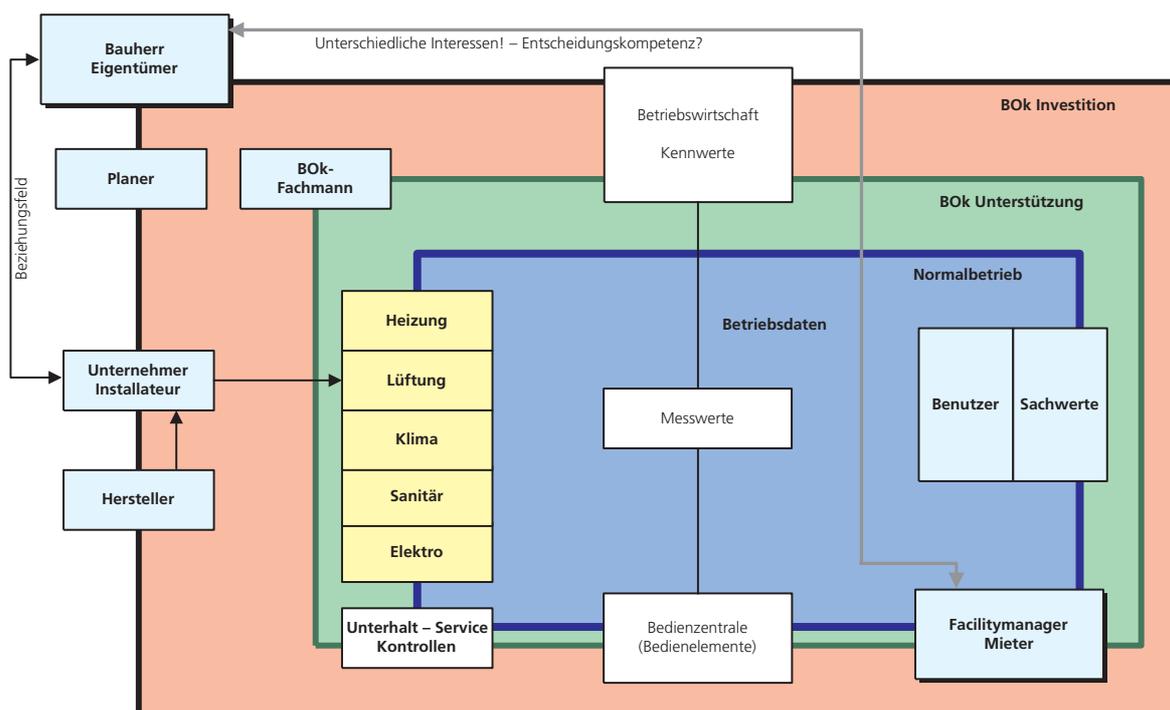


Abbildung 1: Das 3-Ebenen BOK-Modell zeigt die verknüpften Interessenkreise sowie die für den BO-Prozess relevanten Kreisläufe.

## 3. Definition BOK bestehender Anlagen

### 3.1 Grundsätzliches

Den Untersuchungen der Kosten-Nutzen-Argumente liegen folgende Überlegungen zu Grunde:

#### **Was ist eine bestehende Anlage?**

Unter bestehenden Anlagen werden komplexe haustechnische Anlagen im laufenden Betrieb verstanden, die nach einer korrekten Inbetriebsetzung (IBS) vom Bauherrn abgenommen wurden. Die Garantiezeit ist in der Regel abgelaufen, womit das Risiko für deren optimales Funktionieren dem Eigentümer bzw. Betreiber übertragen ist.

#### **Wie setzt sich eine BOK-Investition bei bestehenden Anlagen zusammen?**

Eine BOK-Investition setzt sich primär aus zwei Komponenten zusammen:

- Einer "Softwarekomponente", welche grösstenteils aus dem Honorar für die erbrachte BOK-Dienstleistung besteht.
- Einer "Hardwarekomponente", welche die mit der BOK unausweichlich verbundenen Sachinvestitionen beinhaltet.

In der Regel nicht erfasst werden Aufwendungen des Betreibers für Evaluation, Datenerfassung, Installation.

#### **Wie gross darf die Hardwarekomponente im Rahmen einer BOK sein?**

Eine BOK bei bestehenden Anlagen erfordert aufgrund des möglicherweise fortgeschrittenen Alters dieser Anlagen, vermehrt höhere Investitionen in Sachwerte. Aus diesem Grund erweist es sich als schwierig, den Betrag einer BOK-Investition hardwareseitig einzugrenzen.

Überschneidungen mit dem Begriff der "Sanierung" sind im Bereich von Sachinvestitionen bei einer BOK daher nicht zu vermeiden, und eine definitorische Zuweisung ist eine Ermessensfrage.

#### **Welche Optimierungsdimensionen weist eine BOK bei bestehenden Anlagen auf?**

Eine BOK weist grundsätzlich zwei Optimierungsdimensionen auf:

- Technische Optimierung
- Optimierung der Anforderungen

Unter die technische Optimierung fallen z.B. Massnahmen wie Abstellen überflüssiger Anlagen, Betriebszeitverkürzungen oder Feinabstimmungen von Regelungen. Die Optimierung der Anforderungen umfasst die Festlegung durch die Benutzer / Verwender, wie z.B. Betriebszeiten, Temperatur- und Feuchtigkeitsanforderungen etc.

### 3.2 Vorgehen bei der BOK bei bestehenden Anlagen

**Eine BOK bei bestehenden Anlagen ist ein schrittweises Vorgehen mit rollender Evaluation und Umsetzung von Einzelmassnahmen.**

#### **Betriebsebene "Normalbetrieb":**

BOK durch Kontrollen, Aufzeichnung und Regelung der Einstellungen; keine Investitionen ausser laufender Unterhalt.

#### **Betriebsebene "BOK-Unterstützung":**

Gezielte BOK aufgrund spezifischer Auswertungen und Messungen; minimale Investitionen.

#### **Betriebsebene "BOK-Investitionen":**

BOK durch selektive Investitionen, die der Betriebsoptimierung dienen.

Die sorgfältige Analyse der Anlage mit der Auswahl der Massnahmen mit dem grössten Einsparpotenzial schafft Transparenz im Projekt und bestimmt das weitere Vorgehen. Die gewonnenen Erfahrungen und das erlangte Know-how über die zu optimierende Anlage dienen der BOK-Fachperson als Grundlage für weitere Schritte.

## 4. Argumente für BOK

Der folgende Argumentenkatalog ist unterteilt in quantifizierbare Argumente und in qualitative Argumente. Den aufgeführten Argumenten sind Begründungen aus der Sicht der Beteiligten (Bauherr/Eigentümer, Betreiber/Betreuer, Benutzer/Verwender, BOK-Fachperson) beigefügt. Das Vorgehen für die eigentliche Wirtschaftlichkeitsanalyse ist in Abschnitt 6 zusammengefasst.

### 4.1 Quantifizierbare Argumente

#### Argument 1

**Eine BOK bei bestehenden Anlagen ist ein schrittweises Vorgehen mit rollender Evaluation und Umsetzung von Einzelmassnahmen.**

Die rollende Evaluation und Umsetzung wird in der Grafik "BOK-Projektphasen aus finanzieller Sicht" (Abschnitt 5) verdeutlicht.

Das sich aus den BOK-Einzelmassnahmen ergebende Gesamtergebnis kommt sowohl verbrauchs- als auch kostenmässig im Referenzbeispiel, in der Grafik "Aufteilung des Gesamtenergieverbrauchs" prägnant zum Ausdruck (Abschnitt 6.3.2).

#### Argument 2

**Die Energie- und Kosteneinsparung durch umfassende BOK bei bestehenden Anlagen, variiert von 10-40%.**

Das Energie-Einsparpotenzial hängt stark von der Konfiguration der Haustechnikanlagen ab. Weist die Anlage Lüftungs-, Kälte- und Wärmekomponenten auf, so sind grössere Sparpotenziale möglich, als wenn nur eine Wärmekomponente zu optimieren ist.

Die sich bei der jeweils betrachteten Haustechnikanlage ergebende Redundanz und Überdimensionierung beeinflusst in starkem Masse die Höhe der erzielbaren Kosteneinsparungen.

#### Argument 3

**"Low-Budget" BOK-Einstiegsmassnahmen mit grösserem Einsparpotential stellen wichtige Basissteine zu einer umfassenden BOK dar.**

Jede BOK sollte darauf abzielen, mit geringen Kosten maximale Einsparungen zu erzielen. Aus der Sicht von Betreiber/Betreuer bzw. Bauherr/Eigentümer fördern geringe Anfangsinvestitionen mit grossem Einsparpotenzial die Einsicht in die Leistungsfähigkeit der BOK und die Bereitschaft, weitergehende Analysemassnahmen an die Hand zu nehmen.

Dieses Argument stellt für die BOK-Fachperson ein wichtiges "Marketinginstrument" dar, um sich langfristig einen BOK-Auftrag zu sichern.

**Argument 4****BOK-Massnahmen weisen kurze Rückzahlfristen (z.B. unter 3-4 Jahre) auf.**

Dies gilt insbesondere für die im BOK-Zyklus entscheidenden Einstiegsmassnahmen mit hohem Einsparpotential.

Die Rückzahlfristen sind am konkreten Beispiel in der "Grafik 14: Payback" (Abschnitt 6.3.3) dargestellt. Bis auf eine der betrachteten BOK-Investitionen, bewegen sich alle im oben erwähnten Payback-Bereich von 3-4 Jahren.

**Argument 5****Die Rendite des in BOK-Massnahmen investierte Kapital erreicht Grössenordnungen von 30-300%.**

Die durch kapitalarme Einstiegsmassnahmen aufgezeigten Renditen motivieren den Eigentümer/Betreiber, sein Engagement in eine BOK fortzusetzen.

Die Auswertung des Referenzbeispiels zeigt (Grafik 13, Abschnitt 6.3.3), dass hohe Renditen möglich sind. Die durchgeführte Analyse der Rendite ist als Globalbetrachtung zu verstehen, entsprechend dem Kommentar zu den Kennzahlen.

**Argument 6****Die Wirtschaftlichkeit von BOK-Massnahmen erlaubt die Anwendung massgeschneiderter Finanzierungsmodelle (z.B. Energie-Contracting).**

Finanzierungsformen wie z.B. Contracting stellen BOK-begünstigende Instrumente dar. Dabei spielt insbesondere das "Performance-Contracting" eine Rolle:

Bei dieser Finanzierungsform trägt die BOK-Fachperson das Investitionsrisiko, während ihm der Auftraggeber, die im ersten Jahr nach erfolgter BOK erzielten jährlichen Einsparungen, als Entgelt für die erbrachten BOK-Massnahmen zukommen lässt. Die Erfahrungen mit dieser Form von Contracting zeigen jedoch, dass diese meistens nur bei den BOK-Einstiegsmassnahmen eingesetzt werden, weil der Auftraggeber danach meistens einsieht, dass für ihn die herkömmliche Finanzierungsweise finanziell interessanter ist.

Zum "Energie-Contracting" besteht eine Arbeitsgruppe der ÖBU<sup>1</sup>, die Auslagerung der Energiemanagements bearbeitet.

**Argument 7****Kenndaten leisten einen wesentlichen Beitrag zur Vergleichbarkeit (Benchmarking) und Kostenübersicht. Der Betrag an Nebenkosten pro m<sup>2</sup> und Jahr ist eine taugliche Kennzahl, um die Dimension der Nebenkosten, und damit die Erfolge einer BOK, auf einen gemeinsamen, vergleichbaren Nenner zu bringen.**

Betriebswirtschaftlich betrachtet, können günstige Nebenkosten als Standortvorteil interpretiert werden. Tiefe Nebenkosten dienen dem Bauherrn/Eigentümer auch als schlagkräftiges Argument, um leerstehende Büro- oder Ladenlokalitäten zu vermieten.

Die erwähnte Grösse wird von professionellen Eigentümern oder Betreibern konsequent erfasst und dient als Optimierungsgrösse, bzw. mieterseits als Druckmittel des Betreibers/Verwenders auf den Bauherrn/Eigentümer bei Mietvertragsverhandlungen<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>ÖBU: Schweiz. Vereinigung für Ökologisch Bewusste Unternehmensführung (Obstgartenstr. 28, 8006 Zürich, Tel. 01 364 37 38, Fax 01 364 37 11, www.oebu.ch, e-mail: oebuinfo@oebu.ch)

<sup>2</sup>Vgl. dazu SIA 180/4 "Energiekennzahl" und SIA 380/1 "Energie im Hochbau"; SIA 380/4 "Elektrische Energie im Hochbau", etc.

Es kann auch notwendig sein, dass sich Unternehmen eigene Kennzahlen definieren. Am Referenzbeispiel (Abschnitt 6.3.3) wird gezeigt, wie durch gezielte BOK die Energiekosten pro Mio. Transaktionen innerhalb 10 Jahren auf 24% des ursprünglichen Wertes gesenkt werden konnten. Im gleichen Zeitraum sind die Energiekosten von CHF 48.-/m<sup>2</sup>\*a auf CHF 44.-/m<sup>2</sup>\*a, bzw. -8,3% gesunken.

Für die gezielte Erfassung von Finanzkennzahlen ist es notwendig, "Energieauswertungen" (vgl. Anhang) mit monetären Kennzahlen als Entscheidungsgrundlage für die Finanzverantwortlichen zu ergänzen.

## 4.2 Qualitative Argumente

**Argument 8**  
BOK-Projekte tragen zur Imagebildung im Rahmen einer umfassenden Umweltpolitik bei.

**Argument 9**  
Rechtliche Anforderungen (LRV/FCKW/Isolation) sind vermehrt Auslöser für konzeptionelle Energiesparmassnahmen mit Betriebsoptimierung.

**Argument 10**  
Eine Veränderung der Nutzungsart, bzw. -bedingungen einer Liegenschaft, stellt andere Anforderungen an die Haustechnikanlagen und ruft damit vermehrt auch nach einer BOK.

Bei einer Nutzungsänderung kommt die Anlage so aus dem Gleichgewicht, dass sich eine Anpassung mit BOK als wirtschaftlich erweist.

**Argument 11**  
Investitionen in eine BOK bewirken, neben Energieeinsparungen, eine Werterhaltung, bzw. Nutzwert- oder Komfortsteigerung der Liegenschaft (je nach Art der BOK-Massnahme).

Die im Referenzbeispiel aufgeführten Hardware-Investitionsanteile (vgl. Abschnitt 6.3.1) beinhalten zusätzlich auch eine Werterhaltung, bzw. Nutzwert- oder Komfortsteigerung.

**Argument 12**  
Das Anforderungsprofil der Benutzer und Verwender an die Haustechnikanlage ist in der Regel zu hoch und kann situationsbezogen adaptiert werden. Anpassungen erfolgen prioritär und schrittweise.

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Massnahmenkatalog erarbeitet<sup>3</sup>. Folgende grundsätzliche Prioritätenrangfolge ergibt sich:

1. Priorität: Abstellen überflüssiger Anlagen wie Befeuchtung/Abluft/Kälte.
2. Priorität: Betriebszeitverkürzung von überdimensionierten Anlagen, dann bedarfsabhängige Steuerung (CO<sub>2</sub>, Wärme als Steuerungsgrössen).
3. Priorität: Benutzer-/Verwender-/Prozessanforderungen hinterfragen. Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass der BO-Fachmann mit dem Hinterfragen von sog. "populären" Anforderungen (z.B. Temperatur) zuwartet.

<sup>3</sup>Grundlagen für die Betriebsoptimierung von komplexen Haustechnikanlagen, EDMZ 805.220.1d

## 5. BOK-Projektphasen aus finanzieller Sicht

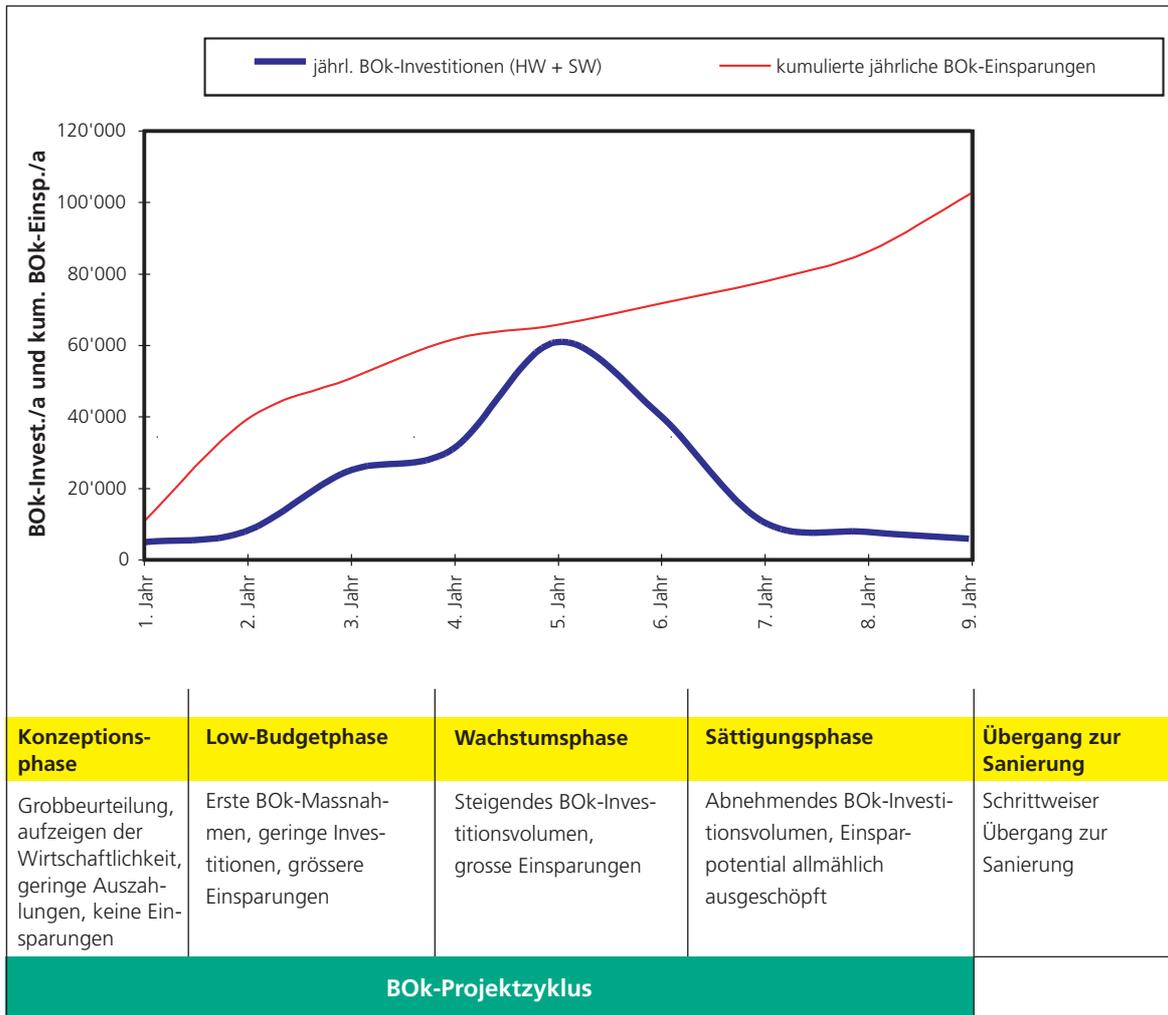


Abbildung 2: Die Auswertung von Praxisbeispielen zeigt den Zusammenhang der BOK mit monetären Grössen. Zum zweiten ist ersichtlich, dass die BOK die Summe von Einzelmassnahmen darstellt.

### Eine BOK bei bestehenden Anlagen ist ein schrittweises Vorgehen mit rollender Evaluation und Umsetzung von Einzelmassnahmen.

Eine BOK ist ein Projekt, das sich über einen längeren Zeitraum hinzieht. Sie umfasst mindestens 1-2 jahreszeitliche Zyklen und kann mehrere Jahre dauern. Die jährlichen BOK-Investitionen lassen sich in Hardware und Software, wie z.B. Beratung unterteilen.

Die Schritte einer BOK können wie folgt definiert werden: Es folgt einer Konzeptionsphase, in welcher das Chancen-/Risikenpotenzial einer BOK abgeklärt wird, die Low-Budget-Phase, in welcher die Plausibilität einer BOK mit ersten geringen Investitionen und grösseren Einsparungen aufgezeigt wird. In der folgenden Wachstumsphase ist der Eigentümer/Betreiber zusehends bereit, mehr in eine konsequente BOK zu investieren. In der Sättigungsphase sind investitionsseitig die Potenziale gemäss gegebener Konfiguration der Haustechnikanlage ausgeschöpft, während sich jedoch die Einsparungen mit einem bescheidenen finanziellen, jährlichen Aufwand (für die Kontrolle der erfolgten BOK-Massnahmen) konstant halten lassen.

In der Regel gehen mit zunehmender BOK die Massnahmen schleifend in eine Sanierung über.

# 6. Wirtschaftlichkeitsanalyse einer BOK

## 6.1 Ausgangslage

Bei der betriebswirtschaftlichen Beurteilung von BOK-Massnahmen, geht es primär darum aufzuzeigen, welche ökonomischen Beweggründe eine BOK-Investition auslösen.

Die folgende, in verschiedene Phasen gegliederte, betriebswirtschaftliche Optik liegt diesen Betrachtungen zugrunde.

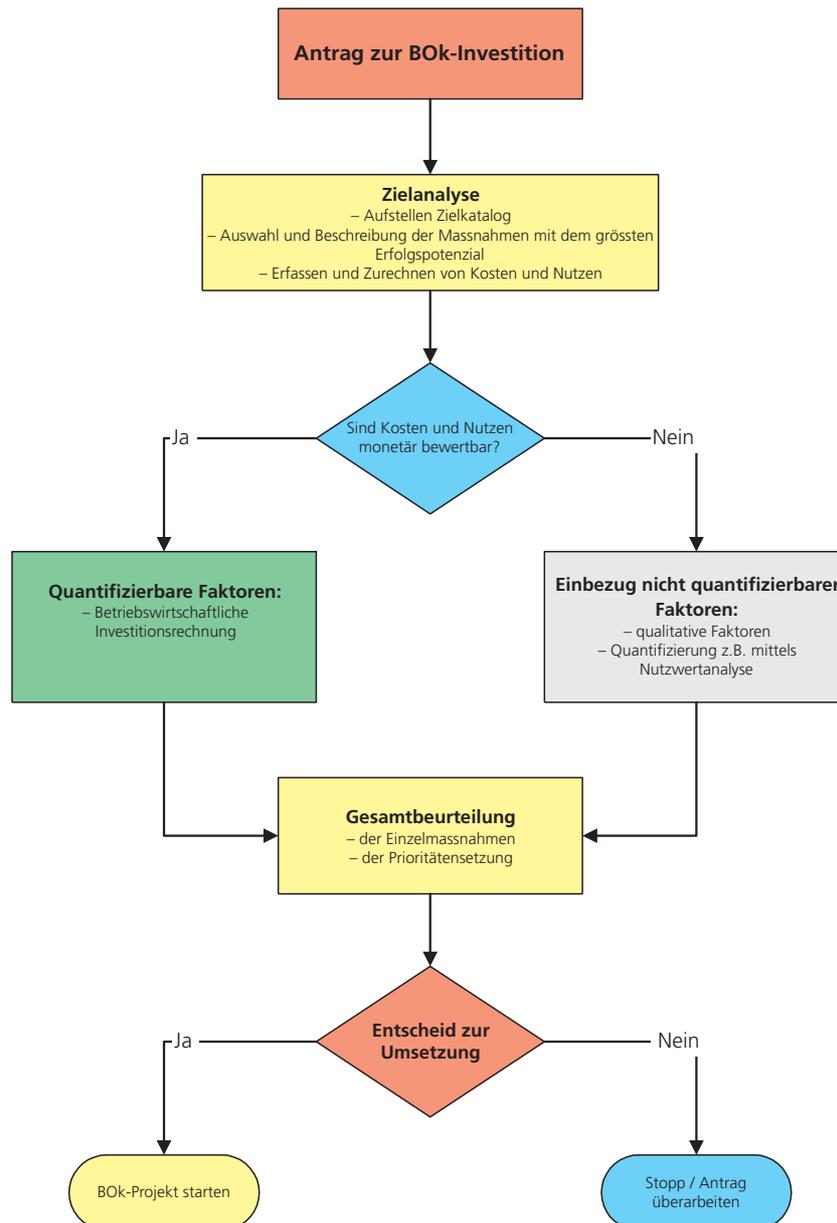


Abbildung 3: Entscheidungswege zum Auslösen von Investitionen für Investitionen im Bereich BOK.

Gemäss dem oben aufgeführten Schema wurde in der vorliegenden Beurteilung vor allem auf die Analyse der quantifizierbaren Nutzenfaktoren Wert gelegt, da diese den gemeinsamen Nenner aller Beteiligten verkörpern. Sie bilden in der Regel eine unabdingbare Basis für eine rationale Entscheidung, da sie die konkreten Informationen über die finanziellen Erfolgswirkungen der geplanten BOK liefern.

Die qualitativen Nutzenfaktoren sind je nach Betrachtungsstandpunkt des jeweiligen Beteiligten unterschiedlich. Eine mögliche Bewertung könnte durch eine Nutzwertanalyse erfolgen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse sind zwar in der konkreten (unternehmerischen) Entscheidungssituation durchaus wertvoll. Sie bedingen aber sehr genaue Angaben und Daten über die zu betrachtende Investition bzw. Betriebsoptimierung.

## 6.2 Aufbau des Analyse-Konzeptes / Restriktionen

Der Untersuchungsbereich jeder Wirtschaftlichkeitsanalyse wird durch die vorhandene Datenbasis bestimmt.

Es erwies sich als sehr schwierig, an umfassende und vollständige Datengrundlagen von konkreten, bereits realisierten BOK-Projekten zu gelangen. Die Gründe dafür sind einerseits, dass die entsprechenden Daten vom betroffenen Unternehmen bzw. von der ausführenden BOK-Fachperson nur rudimentär oder gar nicht erfasst werden und andererseits, dass die Art der erfassten Daten von Betrieb zu Betrieb variiert.

Die Analyse versucht sich soweit wie möglich auf Vergangenheitszahlen zu stützen. Eine BOK-Fachperson verfügt jedoch in der Konzeptionsphase einer BOK nur über Planwerte. Nachträglich werden die konkreten, durch die einzelnen BOK-Massnahmen erzielten Energiekosteneinsparungen in den seltensten Fällen zeit- und mengenadequat erfasst.

Zudem hat jedes Unternehmen eine Eigendynamik, welche dauernde Wachstums- und Anpassungsprozesse erfordert (bezüglich Kapazität, Personalbestand etc.). Die sich dadurch ergebenden Energieverbrauchsveränderungen verwässern die Energiebuchhaltung oft derart, dass eine klare Ausscheidung des Erfolges bestimmter einzelner BOK-Massnahmen schwierig ist, es sei denn, die betrachtete Unternehmung verfüge über eine differenzierte Energiekostenrechnung. Aus diesen Gründen wurde das Analysekonzept in drei verschiedene Betrachtungsebenen gegliedert:

1. Energieauswertung
2. Statische Betrachtung der erfolgten Einzelmassnahmen mit jährlicher Kumulierung
3. Dynamische Betrachtung im Sinne einer Nachkalkulation einzelner statischer Werte.

### 1. Energieauswertung

**Ziel:** Aufzeigen des globalen, unternehmensweiten Energieverbrauchs, welcher auch alle BOK-neutralen, kapazitätsbedingten Verbrauchsentwicklungen beinhaltet.

Diese betrachtet den gesamten Energieverbrauch eines Unternehmens anhand der bezogenen Verbrauchsmengen der entsprechenden Jahre und bewertet diese monetär mit den jeweiligen Jahresdurchschnittspreisen. Zudem werden Objektdaten (Gebäudefläche, Mitarbeiterzahlen, Heizgradtage, Kapazitätsangaben) und Energiekennzahlen über die betrachtete Liegenschaft aufgeführt.

### 2. Statische Betrachtung der erfolgten BOK-Einzelmassnahmen

**Ziel:** Aufzeigen der monetären Auswirkungen der BOK-Einzelmassnahmen bezüglich Investitionsvolumen, wertmässigen Einsparungen, sowie die sich daraus ergebenden Kennzahlen Kapitalrendite (ROI = Return on Investment) sowie Rückzahlfrist (Payback).

Im Unterschied zu Ebene 1 werden hier nur noch die durch die BOK bewirkten Energieverbrauchsveränderungen monetär erfasst und den relevanten BOK-Investitionen gegenübergestellt.

Datenbasis: BOK-Einsparmengen, monetär bewertet zu den jeweiligen Jahresdurchschnittspreisen. Die BOK-Investitionsgrössen sind zudem unterteilt in ein Hardware- (Sachinvestition) und eine Softwarekomponente (BOK-Dienstleistung).

### **3. Dynamische Betrachtung im Sinne einer Nachkalkulation einzelner statischer Werte**

**Ziel:** "Nachkalkulierte", dynamische Investitionsrechnung soll die in Betrachtungsebene 2 erhaltenen Ergebnisse anhand von BOK-Einzelmassnahmen mit höherem Hardwareanteil erhärten. Den dadurch gewonnenen Erkenntnissen kommt somit eine ergänzende Analysefunktion zu.

Dynamische Investitionsrechnung gemäss E2000-Dokumentation, "Ravel zahlt sich aus"<sup>4</sup>, Abschnitt 3b): Wirtschaftliche Beurteilung von Energiesparmassnahmen. Die angewendeten Investitionsrechenverfahren sind (Beispiele siehe Anhang):

- Annuitätenmethode
- Dynamischer Payback

## **6.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse am Beispiel eines Rechenzentrums**

### **6.3.1 BOK-Projektbescrieb**

Beim Projekt handelt es sich um das Rechenzentrum der Schweizer Regionalbanken. Die BOK wurde durch eine ausgewiesene BOK-Fachperson durchgeführt. Auslöser des Projekts waren die hohen Energiekosten.

Die Geschäftsleitung entschloss sich, eine Gesamtenergieanalyse zu erstellen. Im ersten Jahr wurden detaillierte Messungen und Versuche zum Sommer- und Winterbetrieb durchgeführt. Die Übersicht über den Betrieb der einzelnen Anlagen sowie über die Zusammenhänge wurden in einem Bericht des Ingenieurs zusammengefasst. Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse kristallisierten sich folgende grundsätzlichen Ziele heraus:

- Realisierung von Sparmassnahmen ohne Komforteinbusse
- Nutzung der grossen Abwärmemenge
- Beibehaltung und Verbesserung der Betriebssicherheit.

Anhand der aufgestellten Prioritätenliste wurden, teilweise im Zusammenhang mit Unterhaltsarbeiten oder mit Kapazitätserweiterungen des Rechenzentrums, die vorgeschlagenen BOK-Einzelmassnahmen schrittweise durchgeführt.

<sup>4</sup> Materialien zu RAVEL: Ravel zahlt sich aus (Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die erfolgten BOK-Einzelmassnahmen im BOK-Projekt des Rechenzentrums:

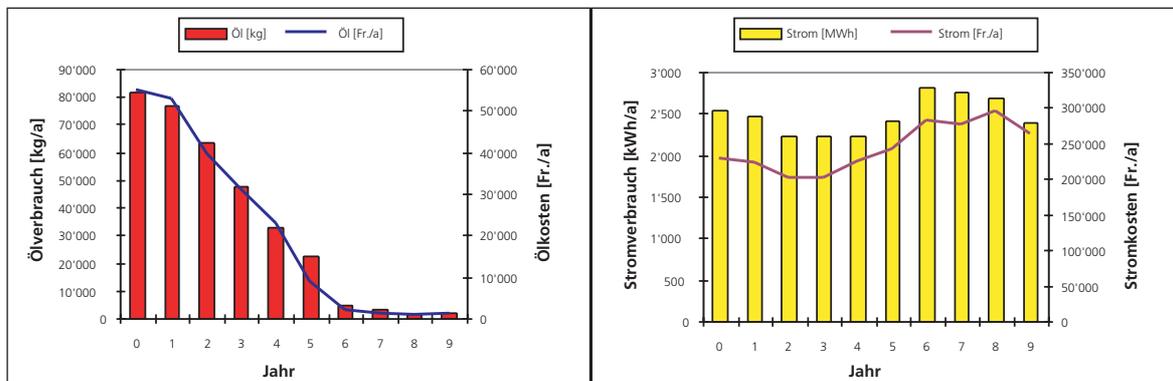
Jahr	Kurzbeschreibung der erfolgten Einzelmassnahmen	Investitionen	BOK-Investitionssumme [CHF]	Öl-Einsp. [kg p.A.]	Elektr.-Einsp. [kWh p.A.]
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkürzung der Betriebszeiten (Lüftung/Klima)</li> <li>• Zeitweilige Ausserbetriebssetzung eines Heizkessels</li> <li>• Öffnen der Explosionsklappen in den Kaminen zur Reduktion der Kessel-Stillstandsverluste</li> <li>• Reduktion der Brennerleistung durch den Einsatz kleinerer Öldüsen</li> <li>• Absenkung der Kessel- und Vorlauftemperaturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbau diverser Schaltuhren</li> </ul>	6'000	4'800	78'000
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatisierung Rechenzentrum (24 h-Betrieb). Kühlung nur noch mit 4, statt wie bisher mit 6 Umluftkühlgeräten. Ein Zuluft- und den Fortluftventilator der Aussenluftversorgung abgestellt. Installation eines separaten Kälteaggregates für die Entfeuchtung der Aussenluft im Sommer.</li> <li>• Abluftventilatoren der Heiz- und Lüftungszentrale ausser Betrieb gesetzt.</li> <li>• Ein Heizkessel ausser Betrieb gesetzt.</li> <li>• Wärmeerzeugung und -verteilung nur noch bei effektivem Bedarf in Betrieb.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbau eines Entfeuchtungsgerätes</li> </ul>	37'500	13'600	225'000
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der Aussenluftmengen bei den Klimaanlage durch die Installation von Angebot-/Nachfragerregulierungen</li> <li>• Absenkung der Heizölkesseltemperatur von 130° auf 75°. Kessel nur noch für Heizung und Warmwassererzeugung in Betrieb.</li> <li>• Umbau der Luftbefeuchtungen der Klimaanlage (Einbau von Elektro-Dampfbefeuchter). Reduktion der Befeuchtung auf den volatilen Bedarf, Aufhebung der Transportverluste.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dampfbefeuchter</li> </ul>	40'000	16'000	11'000
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation eines neuen, 2-stufigen Ölbrenners und Verkleinerung der Brennkammer, massive Erhöhung des Wirkungsgrades der Kesselanlage.</li> <li>• Nachisolation von Heizungsarmaturen</li> <li>• Auswechseln der Ventilatorenantriebe</li> <li>• Diverse Zusatzausrüstungen und Verbesserungen für die Regulierungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ölbrenner</li> <li>• Isolation</li> <li>• Ventilator</li> </ul>	30'000	16'000	----
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ersatz der defekten Wärmerückgewinnungseinheit durch eine neue Kanalverbindung. Anstelle der Abgabe an die Aussenluft wird die Abwärme der USV-Anlage bei Bedarf zur Aufheizung der Gebäudezuluft genutzt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftvorwärmer</li> </ul>	6'000	10'400	----
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anpassung der Kälterezeugung an den Ausbau der Computerkapazität</li> <li>• Installation einer Wärmepumpe anstelle einer zusätzlichen Kältemaschine.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizungswasserspeicher</li> <li>• hydraulische Einbindung ins Heizungssystem</li> </ul>	75'000	17'600	----
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus Sicherheitsgründen wurde der zu kleine, luftgekühlte Kondensator einer bestehenden Kältemaschine ersetzt. Gleichzeitig ergibt sich eine effizientere Kälterezeugung.</li> </ul>	-----	5'000	1'900	61'000
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infolge Ausbau des Rechenzentrums muss die alte USV-Anlage ersetzt und erweitert werden<sup>5</sup>. Mit der neuen Anlage entstehen bei der Umformung (Wechsel-/Gleich-/Wechselstrom) bedeutend weniger Verluste.</li> </ul>	-----	----	1'700	75'000
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung der Regulierungen für den Einsatz der Kältemaschinen.</li> </ul>	-----	5'000	----	150'000

<sup>5</sup> Der Ersatz der USV-Anlage gilt **nicht** als BOK-Investition.

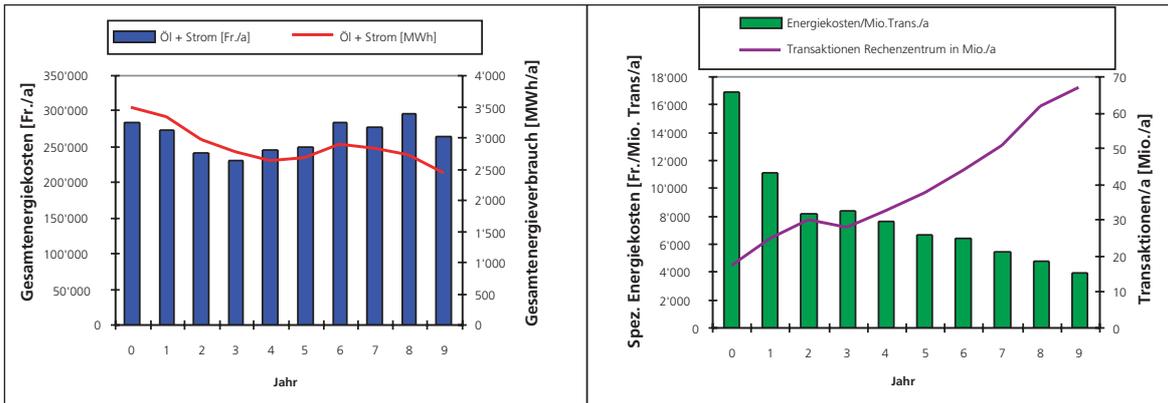
### 6.3.2 Energieauswertung Rechenzentrum

Jahr	Verbrauch				Preise		Energiekosten		
	Öl [kg]	Öl [MWh]	Strom [MWh]	Öl + Strom [MWh]	Öl [Fr./100 kg]	Strom [Fr./kWh]	Öl [Fr./a]	Strom [Fr./a]	Öl + Strom [Fr./a]
		914	2'540	3'454	67.05	0.09	54'713	228'600	283'313
1	76'640	858	2'462	3'320	68.55	0.09	52'537	221'580	274'117
2	63'440	711	2'237	2'948	62.30	0.09	39'523	201'330	240'853
3	47'840	536	2'226	2'762	65.15	0.09	31'168	200'340	231'508
4	33'040	370	2'237	2'607	68.95	0.10	22'781	223'700	246'481
5	22'720	254	2'409	2'663	39.39	0.10	8'949	240'900	249'849
6	5'040	56	2'820	2'876	33.60	0.10	1'693	282'000	283'693
7	3'168	35	2'759	2'794	34.70	0.10	1'099	275'900	276'999
8	1'600	18	2'684	2'702	40.40	0.11	646	295'240	295'886
9	2'080	23	2'390	2'413	45.80	0.11	953	262'900	263'853

Jahr	Spez. Energiekosten		Objektdaten				
	Energiekosten/Mio. Trans./a	Energiekosten/m²/a	Transaktionen Rechenzentrum Mio./a	Umsatz [TFr./a]	Mitarbeiter	Gebäudefläche	HGT (Bern)
0	16'864	47.62	16.8	10.9	125	5950	3679
1	11'098	46.07	24.7	13.2	123	5950	3553
2	8'165	40.48	29.5	14.3	120	5950	3720
3	8'449	38.91	27.4	15.1	123	5950	3911
4	7'607	41.43	32.4	16.3	123	5950	3916
5	6'663	41.99	37.5	19.1	125	5950	3748
6	6'477	47.68	43.8	20.2	137	5950	3885
7	5'485	46.55	50.5	22.3	142	5950	3416
8	4'803	49.73	61.6	25	136	5950	3540
9	3'974	44.34	66.4	27	156	5950	3269



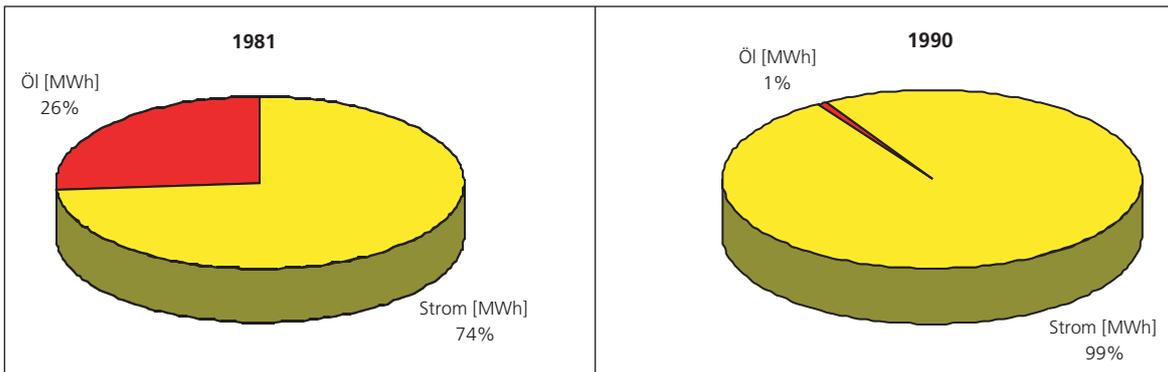
Grafik 1 + 2: Entwicklung Öl- und Stromverbrauch



Grafik 3 + 4: Entwicklung der Energiekosten

Aus der Grafik 1 und 2 geht eine Verminderung des Gesamtenergieverbrauches um 30% bei einer parallel dazu erfolgten Kapazitätsausweitung der Transaktionen des Rechenzentrums von 200% hervor.

Betrachtet man die Entwicklung von Kosten, so unterscheidet man grundsätzlich zwischen einem Mengen- und einem Preiseffekt. In der vorliegenden Situation ging zwar der Verbrauch um 30% zurück, gleichzeitig erhöhte sich jedoch der Strompreis, was sich in einer entsprechend geringeren Kostenabnahme von 9% äussert.



Grafik 5 + 6: Aufteilung des Gesamtenergieverbrauchs vorher/nachher

## 6.3.3 Auswertung der umgesetzten BOK-Einzelmassnahmen

## BOK Investitionen

Jahr	Daten zu Grafik 7			Daten zu Grafik 8		
	Jährliche Investitionen total [Fr.]	Jährliche Investition Hardware [Fr.]	Jährliche Investition Software [Fr.]	Investitionen total kumuliert [Fr.]	Investitionen HW kumuliert [Fr.]	Investitionen SW kumuliert [Fr.]
	(=A+B)	(=A)	(=B)	(= A+B kum.)	(=A kum.)	(=B kum.)
1	6'000	1'000	5'000	6'000	1'000	5'000
2	37'500	30'000	7'500	43'500	31'000	12'500
3	40'000	30'000	10'000	83'500	61'000	22'500
4	30'000	25'000	5'000	113'500	86'000	27'500
5	6'000	4'000	2'000	119'500	90'000	29'500
6	75'000	65'000	10'000	194'500	155'000	39'500
7	5'000	0	5'000	199'500	155'000	44'500
8	0	0	0	199'500	155'000	44'500
9	5'000	0	5'000	204'500	155'000	49'500
<b>Total</b>	<b>204'500</b>	<b>155'000</b>	<b>49'500</b>			

## BOK-Einsparungen und Energiepreise

Jahr	Jährliche Einsparmenge Strom [kWh/a]	Jährliche Einsparmenge Öl [kg/a]	Jährlicher Durchschnittspreis Strom [Fr./kWh]	Jährlicher Durchschnittspreis Öl [Fr./100kg]
	(=C)	(=D)	(=E)	(=F)
1	78'000	4'800	0.09	68.55
2	225'000	13'600	0.09	62.30
3	11'000	16'000	0.09	65.15
4	0	16'000	0.10	68.95
5	0	10'400	0.10	39.40
6	0	17'600	0.10	33.60
7	61'000	1'900	0.10	34.70
8	75'000	1'700	0.11	40.40
9	150'000	0	0.11	45.80

## Energieeinsparungen

Jahr	Daten zu Grafik 9			Daten zu Grafik 10		
	Jährliche Einsparung BOK Strom & Öl [Fr./a]	Jährliche Einsparung BOK Strom [Fr./a]	Jährliche Einsparung BOK Öl [Fr./a]	Kumulierte jährliche Einsparungen BOK Strom & Öl [Fr./a]	Kumulierte jährliche Einsparungen BOK Strom [Fr./a]	Kumulierte jährliche Einsparungen BOK Öl [Fr./a]
	(=C*E+D*F)	(=C*E)	(=D*F)	(=C*E+D*F kum.)	(G=C*E kum.)	(H=D*F kum.)
1	10'310	7'020	3'290	10'310	7'020	3'290
2	28'723	20'250	8'473	39'033	27'270	11'763
3	11'414	990	10'424	50'447	28'260	22'187
4	11'032	0	11'032	61'479	28'260	33'219
5	4'098	0	4'098	65'577	28'260	37'317
6	5'914	0	5'914	71'490	28'260	43'230
7	6'759	6'100	659	78'250	34'360	43'890
8	8'937	8'250	687	87'187	42'610	44'577
9	16'500	16'500	0	103'687	59'110	44'577
<b>Total</b>	<b>103'687</b>	<b>59'110</b>	<b>44'577</b>			

Jahr	Daten zu Grafik 11		
	Total Einsparung Projekt (total) [Fr./a]	Total Einsparung Strom Projekt [Fr./a]	Total Einsparung Öl Projekt [Fr./a]
	(=G+H kum.)	(=G kum.)	(=H kum.)
1	10'310	7'020	3'290
2	49'344	34'290	15'054
3	99'791	62'550	37'241
4	161'270	90'810	70'460
5	226'847	119'070	107'777
6	298'337	147'330	151'007
7	376'587	181'690	194'897
8	463'773	224'300	239'473
9	567'460	283'410	284'050
<b>Total</b>			

## Kennzahlen

Jahr	Daten zu Grafik 13	Daten zu Grafik 14	Nutzungsdauer Hardware [a]	Jährliche Investitionen [Fr./]
	ROI [Rendite]	Payback [Jahre]		
	$(=[C+D]/[A+B]*100)$	$(=[A+B]/[C+D])$		$(=A+B)$
1	172%	0.6	10	6'000
2	77%	1.3	15	37'500
3	29%	3.5	15	40'000
4	37%	2.7	15	30'000
5	68%	1.5	20	6'000
6	8%	12.7	15	75'000
7	135%	0.7	--	5'000
8	0%	0	--	0
9	330%	0.3	--	5'000

**Kommentar:**

**ROI =** Return on Investment = Rendite = Jährliche Einsparung BOK (Gewinn) in % des BOK-Investitionskapitals.

**Payback =** Amortisationszeit = Investiertes Kapital dividiert durch jährliche Einsparung BOK (Strom & Öl).

Bei der Beurteilung der wirtschaftlichen Kennzahlen ist eine globale, projektumfassende Optik wichtig.

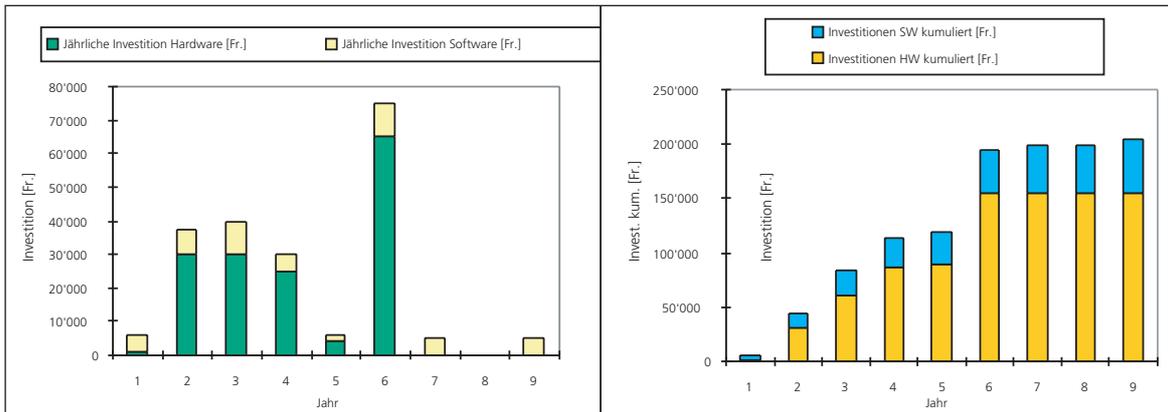
Die Wirksamkeit einer BOK-Massnahme ist mit technischen Feinregulierungen der Haustechnikanlage verbunden. Diese wirken sich mit gewissen zeitlichen Verzögerungen auf den Energieverbrauch aus. Die zeit- und mengenadequate Zuordnung der Einsparmengen zu den entsprechenden BOK-Massnah-

men bzw. BOK-Jahren ist demzufolge problematisch, was sich auch auf die Qualität der wirtschaftlichen Kennzahlen<sup>6</sup> auswirkt. Ihrer Aussage kommt eine Tendenz weisende, globale Bedeutung zu.

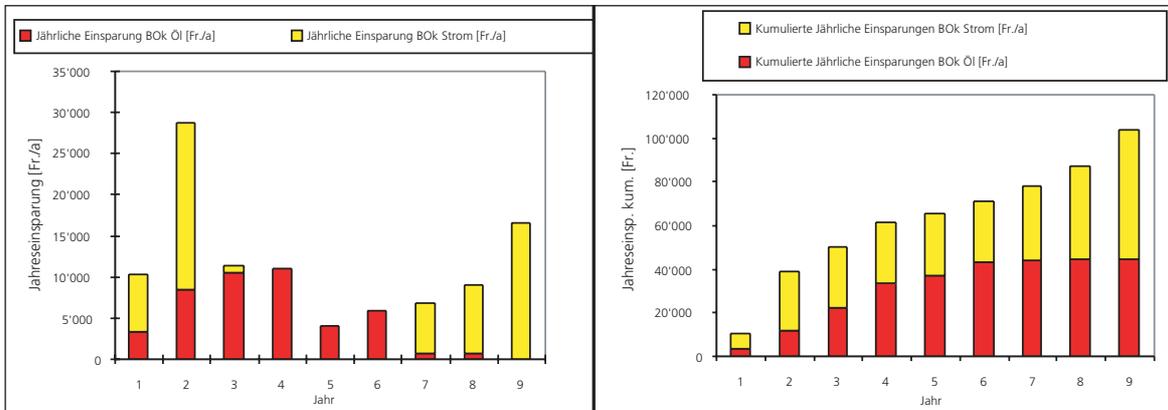
Die Payback-Werte liegen unter der für Investitionen dieser Grössenordnung kritischen Grösse von 3-4 Jahren.

Die Renditen liegen im sehr hohen Bereich von 30-330%.

Betrachtet man die Kennzahlen des Jahres 6 (Investitionssumme: CHF 75'000) losgekoppelt vom gesamten BOK-Zyklus, so erweist sich zumindest die Paybackdauer von ca. 12 Jahren als kritisch. Bezieht man jedoch die sehr guten Kennzahlen der restlichen BOK-Jahre (Investitionssumme insgesamt: CHF 129'500) mit ein, so helfen diese die BOK-Investition von 6 mitzutragen.

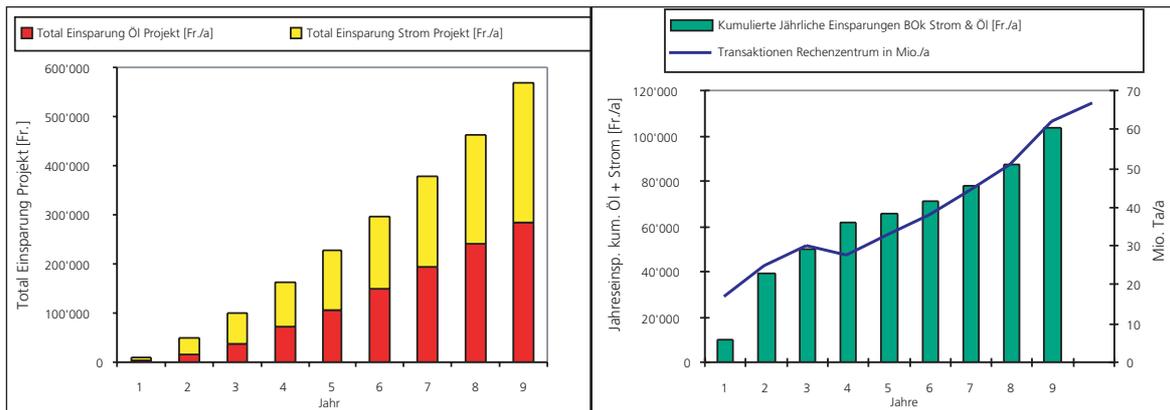


Grafik 7 + 8: Jährliche und kumulierte Investitionen

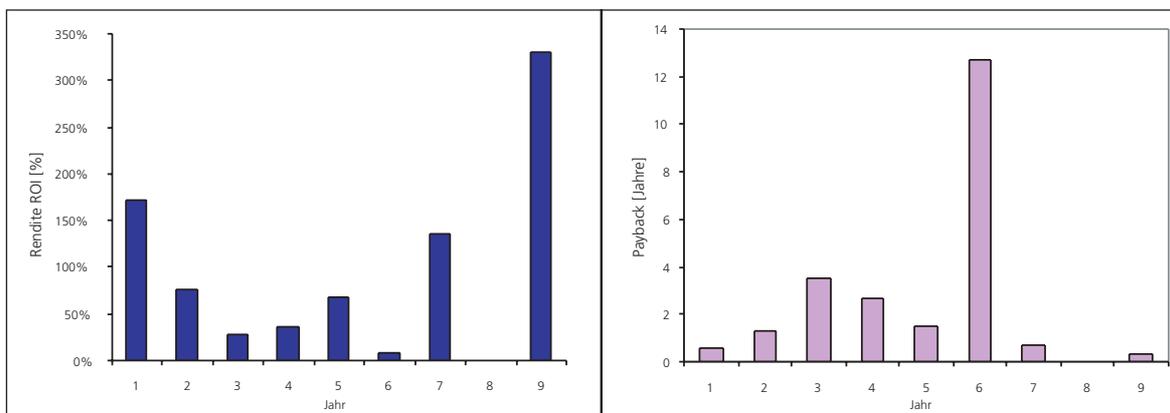


Grafik 9 + 10: Jährliche und kumulierte Einsparungen

<sup>6</sup> Wirtschaftliche Kennzahlen haben das betrachtete BOK-Investitionsjahr als Zeitbasis. Werden BOK-Einsparungen zeitlich verzögert wirksam, so verwässert dies die Kennzahlen.



Grafik 11 + 12: Total im Projekt realisierte Einsparungen und spezifische jährliche Einsparungen kumuliert.



Grafik 13+14: Rendite und Payback des Projekts.

# 7. Anhang

## Annuitätenmethode

### Wirtschaftlichkeit ohne Steuern/Umweltkosten

RAVEL

#### Wirtschaftliche Grundlagendaten

Kalkulationszinssatz:	Inflationsrate 4%	Realzins = 3.00%	Nominal =	7.00%
Betriebskostensteigerung:		Real =	Nominal =	
Energiepreissteigerung:	Elektrizität Hochtarif	Real = 0.50%	Nominal =	4.50%
	Elektrizität Niedertarif	Real = 0.50%	Nominal =	4.50%
	Heizöl	Real = -5.00%	Nominal =	-1.00%
	Erdgas	Real =	Nominal =	
		Real =	Nominal =	4.00%
		Real =	Nominal =	

#### Jährliche Kapitalkosten

Anlagenteil	Investitionsausgaben	Nutzungsdauer	Annuitätsfaktor	Jährliche Kapitalkosten
Entfeuchtungsanlage	-37'500	15 Jahre	0.110	-4'117
		Jahre		
		Jahre		
Total	-37'500			-4'117

#### Jährliche Betriebskosten

Anlagenteil	Anlagewert	Jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten in % des Anlagewertes	Jährliche Betriebskosten
Entfeuchtungsanlage	-300000	4.00%	-1'200
Total			-1'200

#### Jährliche Energiekosten bzw. Energiekosteneinsparungen

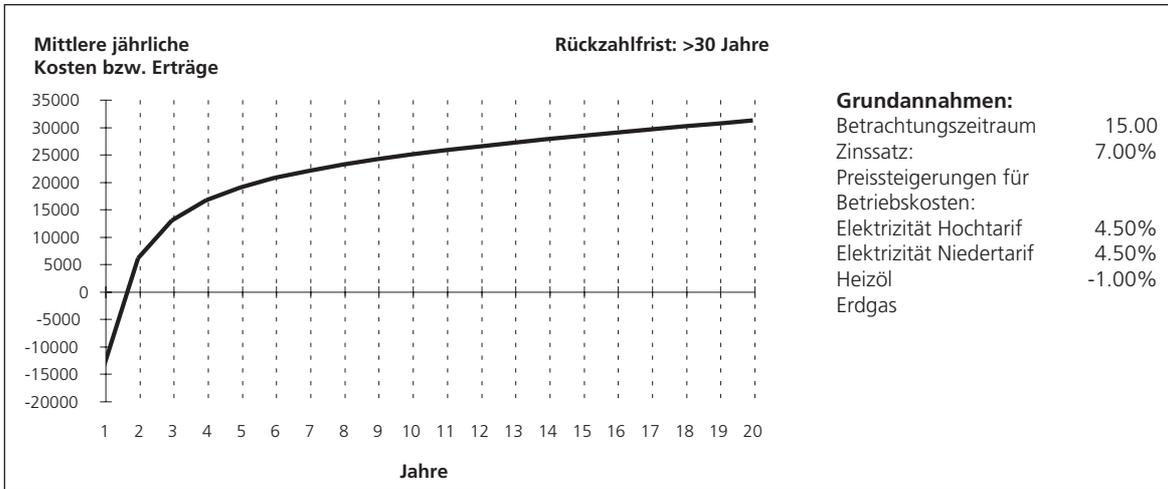
Energieträger	Jahresgrundgebühr (Grund-, Leistungspreis)	Verbrauch bzw. Einsparungen	spezifische Kosten	Jährliche Energiekosten bzw. Einsparungen
Elektrizität Hochtarif		225'000 kWh/Jahr	8.8 Rp./kWh	19'800
Elektrizität Niedertarif		kWh/Jahr	Rp./kWh	
Heizöl		13'200 kg	51 Fr./100 kg	6'732
Erdgas		kWh	Rp./kWh	
Total				26'532

#### Total der mittleren jährlichen Kosten bzw. Erträge

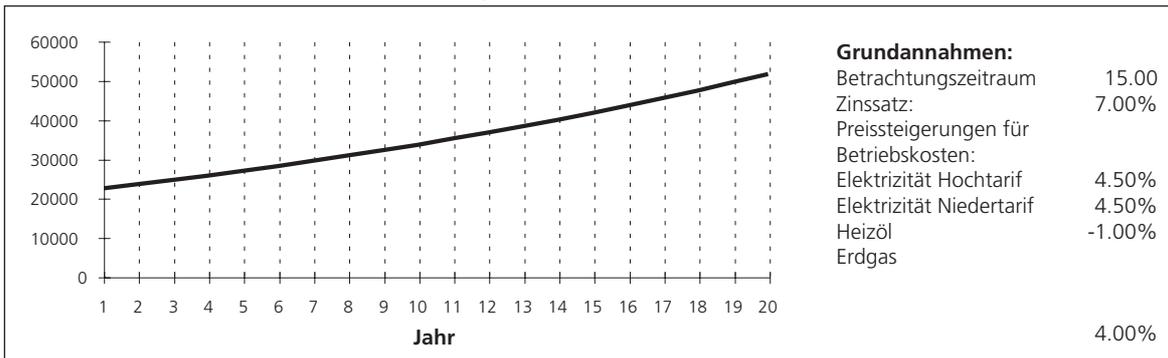
	Mittelwertfaktoren durchschn. Nutzungsdauer: 15.00 Betrachtungszeitraum: 15.00	Jährliche Kosten	mittlere jährliche Kosten bzw. Erträge über den Betrachtungszeitraum
Kapitalkosten	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	-4'117	-4'117
Betriebskosten	1.000	-1'200	-1'200
Elektrizität Hochtarif	1.370	19'800	27'131
Elektrizität Niedertarif			
Heizöl	0.935	6'732	6'296
Erdgas			
Total			28'109

## Dynamischer Payback

### Rückzahlfrist



### Jahreskosten bzw. Jahreskosteneinsparungen zu laufenden Preisen



### Jahreskosten bzw. Jahreskosteneinsparungen zu heutigen Preisen

