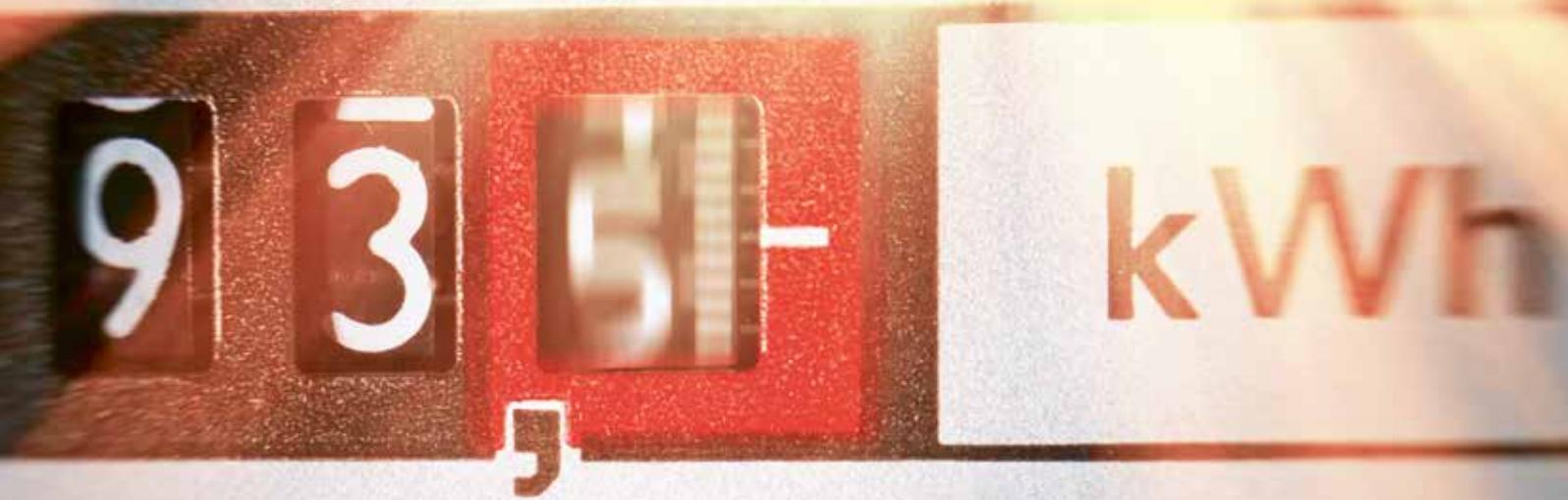


Balmer | Hubbuch | Sandmeier

Energetische Betrieboptimierung

Gebäude effizienter betreiben



energieschweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.



Konferenz Kantonalen
Energiedirektoren



Inhalt

1. Definitionen und Konzeptionelles	5	4.4 Kennzahlenbildung und -nutzung	93
1.1 Was ist energetische Betriebs-optimierung?	5	4.5 Massnahmen erarbeiten und priorisieren	94
1.2 Ziele und kritische Punkte	7	4.6 Massnahmen umsetzen	101
1.3 Nutzen für Eigentümer, Betreiber und Nutzer	8	4.7 Entscheide herbeiführen	106
1.4 eBO im Nutzungszyklus von Gebäuden	9	4.8 Betriebsoptimierung mit und ohne Investitionen?	109
1.5 Rahmenbedingungen	9	4.9 Wirtschaftlichkeit	112
1.6 Was können die Beteiligten voneinander lernen?	11	4.10 Erfolgskontrolle und -sicherung	118
1.7 Geschäftsmodelle und vertragliche Konzepte	12	4.11 Berichterstattung	121
1.8 Wer trägt die Kosten?	13	4.12 Betriebliche Risiken	122
1.9 Potenzial	13	5. Kommunikation	125
2. Komfort und Energie	15	5.1 eBO braucht mehr als technische Kompetenz	125
2.1 Physiologische Grundlagen	15	5.2 Motivation	127
2.2 Bauphysikalische Rahmenbedingungen	19	5.3 Umgang mit Widerständen und Konflikten	129
2.3 Komfortansprüche und Energieverbrauch	25	5.4 Akquisition	132
3. Anlagen und Systeme	29	5.5 Argumentation	135
3.1 Beleuchtung	29	5.6 Kommunikation und Nutzerinstruktion	136
3.2 Transportanlagen im Gebäude	34	5.7 Schnittstellen	140
3.3 Heizung	36	5.8 Bauwerksdokumentation	141
3.4 Warmwasseranlagen	42	6. Beispiele	145
3.5 Sanitäre Anlagen	46	6.1 Auch Neubauten haben Optimierungspotenzial	145
3.6 Lüftung	49	6.2 eBO als Grundlage für die Modernisierung von Anlagen	147
3.7 Raumkühlung	60	6.3 Kombination von Alt- und Neubau	150
3.8 Klimakälte	63	6.4 Grosses Potenzial bei Sporthallen	153
3.9 Druckluft	70	7. Anhang	157
3.10 Gebäudeelektrotechnik	71	7.1 Begriffe, Definitionen	157
3.11 Gebäudeautomation	74	7.2 Abkürzungen	159
3.12 Abwärmennutzung	77	7.3 Arbeitsinstrumente	160
3.13 Elektrische Energieversorgung	81	7.4 Autoren	162
3.14 Photovoltaik	82	7.5 Stichwortverzeichnis	163
3.15 Solarthermie	83		
4. Methodik	87		
4.1 Umfeld und Betrieb, Istzustand	87		
4.2 Daten beschaffen, prüfen, plausibilisieren	87		
4.3 Daten erfassen, analysieren und darstellen	90		

Impressum

Energetische Betriebsoptimierung – Gebäude effizienter betreiben

Autoren: Matthias Balmer, Markus Hubbuch, Ernst Sandmeier
Mit Beiträgen von Zoran Alimpic, Peter Böhler, Daniel Imgrüth, Thomas Lang, Angelo Lozza, Raphael Neuhaus, Roger Neukom, Björn Schrader, Roland Stadelmann, Olivier Steiger, Volker Wouters

Fachlektorat: Robert Uetz, Rüdiger Külpmann

Redaktion und Seitenherstellung:
Faktor Journalisten AG, Zürich; René Mosbacher, Christine Sidler

Titelbild: fotojog via iStockphoto

Diese Publikation ist Teil der Fachbuchreihe «Nachhaltiges Bauen und Erneuern». Die Publikation wurde durch das Bundesamt für Energie BFE /Energieschweiz und die Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (EnDK) finanziert.

Bezug: Als Download (kostenfrei) unter www.energieschweiz.ch oder als Buch beim Faktor Verlag, info@faktor.ch oder www.faktor.ch

Januar 2020
ISBN: 978-3-905711-57-8

Sinnvoll und risikoarm

Gebäude energieeffizient zu bauen, ist in der Schweiz mittlerweile Stand der Technik. Im Betrieb erreichen sie dann aber oft nicht die geplanten Werte. Das hängt einerseits mit dem Nutzerverhalten zusammen, das sich schlecht planen lässt. Andererseits liegt es daran, dass die gebäude-technischen Anlagen nicht optimal betrieben werden. Deshalb brauchen selbst neue, nach Energie-Labels gebaute Gebäude häufig deutlich mehr Energie als nötig. In noch stärkerem Mass trifft das auch auf den Bestand zu. Und hier liegt das eigentliche Problem, wenn wir die Ziele der Energie- und Klimapolitik erreichen wollen. Rund drei Viertel der Gebäude wurden vor 1990 erstellt und entsprechen meist nicht den heutigen Anforderungen hinsichtlich Energie. Hier schlummert ein grosses Potenzial für Effizienzgewinne.

Dieses Potenzial auszuschöpfen, ist das Ziel der energetischen Betriebsoptimierung, kurz eBO. Erfahrungsgemäss lassen sich damit zwischen 10 und 15 Prozent Energie sparen. In der Praxis sind es bei selbst genutzten Objekten oft mehr, bei fremdgenutzten eher weniger.

Natürlich rettet die eBO alleine nicht das Klima, aber sie liefert einen handfesten Beitrag dazu und entlastet obendrein die Nutzer und/oder Eigentümer von unnötigen Kosten. Das Geschäftsmodell ist interessant: Die Aufwendungen für die eBO müssen per Definition innerhalb von zwei Jahren durch Kosteneinsparungen wieder zurückbezahlt sein. Viel sinnvoller und risikoärmer kann man Geld heute wohl selten investieren. Trotzdem: Die eBO ist mittlerweile zwar etabliert, aber nicht so verbreitet, wie sie eigentlich sein müsste.

Das zu ändern ist auch ein Ziel dieses Buches – das, soweit bekannt, in der Schweiz das erste zu diesem Thema ist. Es ist gedacht als Grundlagenbuch und Arbeitsmittel für eBO-Fachleute und für solche, die es werden wollen. Im Grunde fährt es dort weiter, wo das Merkblatt SIA 2048 – Energetische Betriebsoptimierung aufhört. Es ergänzt Konzeptionelles und Theorie mit Know-how und Erfahrungen aus der Praxis. Es reichert Grundlagenwissen mit Tipps, realen Beispielen und handfesten Arbeitsanweisungen an. Dabei ist es nicht nötig, den Inhalt von vorne bis hinten durcharbeiten. Die einzelnen Kapitel sind soweit möglich in sich geschlossen und können für sich alleine gelesen werden.

Definitionen und Konzeptionelles

1.1 Was ist energetische Betriebsoptimierung?

Ernst Sandmeier

Das Merkblatt SIA 2048 [1] definiert die energetische Betriebsoptimierung (eBO) folgendermassen: «Die energetische Betriebsoptimierung (eBO) zeigt Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf, die für Gebäudenutzer keine merklichen Komforteinbussen bewirken, eine kurze Payback-Dauer (in der Regel kürzer als 2 Jahre) aufweisen, kostengünstig sind und in der Regel ohne ordentlichen Planungsprozess umgesetzt werden können. Die eBO stellt ein schrittweises Vorgehen mit strukturierter Planung und Umsetzung einzelner Massnahmen dar. Das Resultat ist die Summe der erfolgreich und dauerhaft umgesetzten Massnahmen».

In der Praxis ist eBO immer ein Projekt mit definiertem Beginn und Ende. Sie umfasst aber immer auch Vorkehrungen, die einmal getroffene Massnahmen über längere Zeit – also über das Projektende hinaus – sicherstellen.

In der erwähnten Norm wird zudem festgehalten, welche – ebenso wichtigen – Aktivitäten nicht als eBO gelten:

- Alle Aktivitäten vor der Abnahme und Übergabe eines Gebäudes, einer Anlage oder eines Bauteils an die Eigentümerschaft. Darunter fallen etwa bauliche Massnahmen, Installationsarbeiten und Montagen, die Inbetriebnahme, integrale Tests (im Sinne des Merkblatts SIA 2046) und die Abnahme als solches
- Planung von Anlagenersatz
- (Teil-)Ersatz von Anlagen
- Evaluation und Ausschreibung neuer Geräte
- Übliche Aktivitäten für die Instandhaltung
- Alters- oder funktionsbedingte Instandsetzungen
- Kontrolle der Einhaltung gesetzlicher Regelungen

Der Umgang mit Mängeln

Oft treten im Verlauf einer eBO Mängel an Anlagen oder Teilen davon zu Tage. Solche Mängel zu beheben ist jedoch nicht Teil einer eBO. Dies müsste idealerweise vor Beginn durch den Ersteller der Anlage erledigt werden.

Weil aufgedeckte Mängel die Resultate einer eBO signifikant beeinflussen können, lassen sie sich in meisten Fällen aber nicht ignorieren. Kritisch in dieser Hinsicht ist beispielsweise eine nicht funktionierende

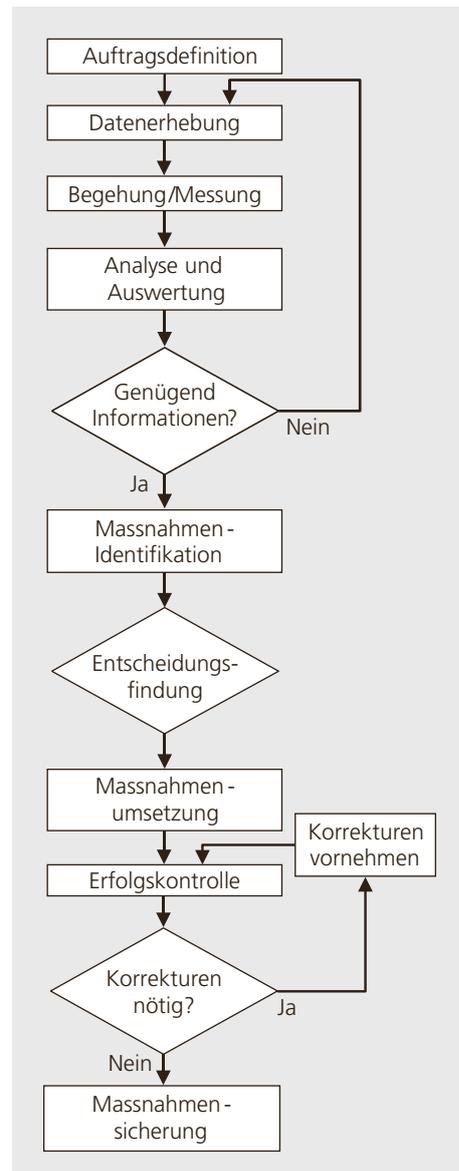


Abbildung 1.1: Eine eBO ist immer ein Projekt mit definiertem Anfang und Ende.

bedarfsorientierte Steuerung der Energieerzeugung und -verteilung.

Auf jeden Fall müssen Mängel, die im Rahmen einer eBO entdeckt werden, sofort dem Eigentümer gemeldet werden. An ihm ist es dann, dafür zu sorgen, dass die behoben werden.

In diesem Sinne umfasst eBO nicht nur die Optimierungsmassnahmen, die im Rahmen dieses Projekts auch umgesetzt werden. Sie liefert auch Hinweise auf mögliche Sanierungsmassnahmen, die in separaten Projekten angepackt werden müssen. Eine Abgrenzung liefert Tabelle 1.1.

Die Abgrenzung zur Mängelbehebung ist oft nicht einfach. Hier gilt es dann Fragen zu beantworten wie: Was wurde genau bestellt? In welcher Konfiguration und mit welchen Betriebsparametern? Wer behebt Mängel, die entstehen, wenn nicht zweck-

mässig bestellt, aber korrekt geliefert und installiert wurde?

Investition versus Optimierung

Unter Umständen werden bei der Bestandsaufnahme (siehe Kapitel 4.1 bis 4.3) auch Massnahmen identifiziert, die zwar den Gesamtverbrauch an Endenergie senken, aber mit namhaften Investitionen behaftet sind. Manchmal tauchen auch empfehlenswerte Massnahmen auf, deren Amortisationsdauer zwei Jahre übersteigt. In beiden Fällen gilt: Solche Massnahmen gehören nie zu einem eBO-Projekt. Sie müssen stets als separate Planungsleistungen zur Verbesserung des Betriebs vergeben werden. Sie können aber unter Umständen als Verbesserungsmassnahme im Rahmen einer Zielvereinbarung dienen (s. Kapitel 1.5).

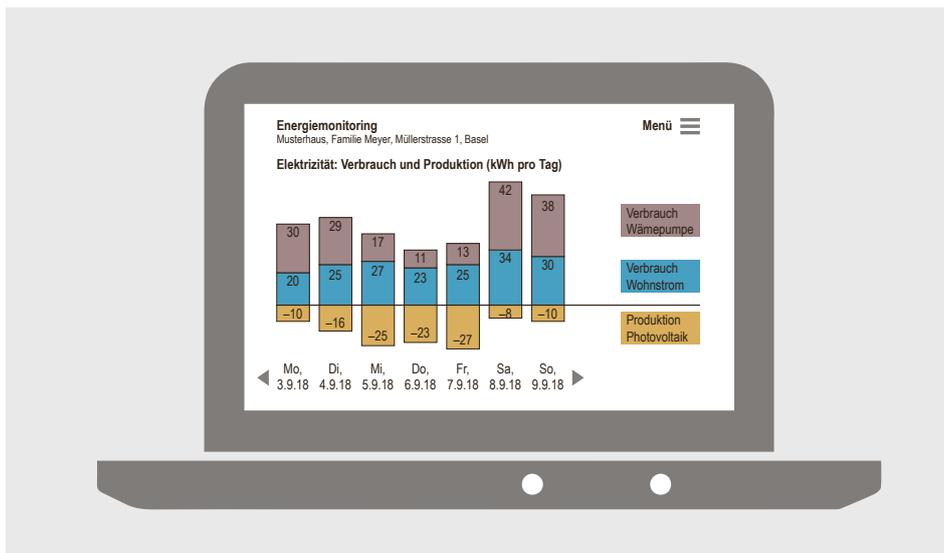


Abbildung 1.2: Ein Energiemonitoring gehört immer zu einer eBO. (Quelle: Minergie)

Eine eBO umfasst:

- Die Überprüfung der Nutzeranforderungen
- Die Dokumentation der (erwogenen, verworfenen, durchgeführten) Massnahmen sowie der erwarteten Bedarfsreduktion
- Das Planen, Einrichten und allenfalls Verbessern eines Energiemonitorings
- Eingriffe in die Regelung (Sollwerte, Betriebszeiten etc.)

Eine eBO umfasst nicht:

- Aktivitäten vor Übergabe des Gebäudes/der Anlage an den Besteller (Eigentümer), inkl. Abnahme
- Die Mängelbehebung
- Die Evaluation und Ausschreibung neuer Geräte
- Die Kontrolle, ob gesetzliche Vorgaben eingehalten werden
- Wartung, Instandhaltung/Instandsetzung
- Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, die namhafte Investitionen erfordern und/oder eine Payback-Dauer haben, die 2 Jahre übersteigt

Tabelle 1.1: Was gehört zur eBO, was nicht?

1.2 Ziele und kritische Punkte

Ziele

Die Ziele der eBO definiert das Merkblatt SIA 2048 folgendermassen [1]:

«Die Hauptziele einer eBO sind, den Betrieb der Anlagen der effektiven Nutzung bzw. dem effektiven Bedarf anzugleichen und darauf abzustimmen sowie die energetisch optimale Betriebsweise zu ermitteln, festzulegen, einzuführen und kontinuierlich beizubehalten.

Unterziele der eBO sind:

- Vorgaben der Nutzer überprüfen.
- Nichteinhalten der Vorgaben erkennen, Toleranzen aufzeigen.
- Nicht optimale Betriebszustände erkennen.
- Fehlfunktionen von Anlagen und Systemen erkennen und beheben (z.B. defekte Schalter oder Handschaltungen, verschmutzte Wärmerückgewinnungsanlagen, blockierte Ventile, hydraulische Abgleiche).
- Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz erkennen, aktivieren, ausschöpfen und halten.
- Betriebliche Massnahmen (organisatorische und technische) zur Steigerung der Energieeffizienz in den Betriebsprozess integrieren und das Betriebspersonal und den Nutzer beziehungsweise die Endnutzer diesbezüglich schulen.
- Den Erfolg der umgesetzten Massnahmen kontrollieren und dokumentieren.
- Grundlagen für das Energiecontrolling bereitstellen.
- Ergebnisse von Energiecontrolling-Daten auf Vollständigkeit und Plausibilität prüfen.
- Risiken für Betriebsunterbrüche verhindern oder reduzieren.»

Voraussetzung für eine erfolgreiche eBO ist in der Regel, dass die eBO-Fachleute optimal mit den Zuständigen für Unterhalt und Betriebssicherheit der technischen Anlagen in einem Gebäude zusammenspielen.

Kritische Punkte und Hemmnisse

Weiterhin führt SIA 2048 mögliche Hindernisse für eine erfolgreiche eBO auf. Sie sollen vorzugsweise vor Beginn der Arbeiten zusammen mit den involvierten Parteien aus dem Weg geräumt werden. Typischerweise können folgende Hemmnisse auftreten (inhaltlich angelehnt an SIA 2048):

- Die verantwortlichen Betreiber sind unklar
- Die Abgrenzung der Verantwortung zwischen Betreiber, Eigentümer und Nutzer ist unklar
- Der Betreiber stellt keine personellen Ressourcen zur Verfügung.
- Vor Ort fehlen Fachkompetenzen
- Anlagendokumentationen sind unvollständig, nicht aktuell, fehlen ganz oder es kann nicht auf sie zugegriffen werden
- Änderungen an Einstellparametern sind nicht dokumentiert (Anlagenjournal fehlt oder ist nicht nachgeführt)
- Nutzungsanforderungen sind nicht oder nur ungenau definiert
- Die Garanzzeiten einzelner Anlagenkomponenten sind nicht bekannt
- Betriebsrisiken sind unklar, eine Risikoanalyse fehlt
- Ein Messkonzept fehlt, und/oder die Messdatenaufzeichnung und -auswertung ist ungenügend oder lückenhaft.
- Anlagen sind mit Mängeln behaftet.
- Die Kostenverteilung des eBO-Projektes (z.B. Weiterverrechnung an Mietparteien) ist nicht geklärt.

Wer die wesentlichen Hemmnisse kennt, kann sich darauf vorbereiten und geeignete Massnahmen vorsehen, um sie zu überwinden.

1.3 Nutzen für Eigentümer, Betreiber und Nutzer

Besonders bei grossen Objekten mit verschiedenen Anspruchsgruppen ist die Situation komplex. Im Folgenden werden die Hauptnutzen einer eBO pro Anspruchsgruppe erläutert. Von manchem Nutzen können auch mehrere Gruppen profitieren.

Vorteile für Eigentümer

- Der direkte und indirekte Ausstoss von Schadstoffen und Treibhausgasen sinkt. Unter Umständen kann eine Rückerstattung der CO₂-Abgabe erwirkt werden. In jedem Fall aber verbessert eine solche Reduktion das Image der Betreiberschaft.
- Die eBO deckt die wirtschaftlichsten Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf und setzt sie auch dauerhaft um.
- Vermutete oder bereits vorgesehene Investitionen für Kapazitäts- oder Leistungserhöhungen können vermieden oder auf später verschoben werden.
- Der energetisch optimierte Betrieb kann die Lebensdauer der Anlagen verlängern, Störungen reduzieren und die Betriebssicherheit erhöhen. Damit trägt eine eBO wesentlich zum Werterhalt und zur Wertsteigerung einer Immobilie bei.

■ Mängel an den Anlagen werden erkannt und können durch die verantwortliche Stelle behoben werden.

■ Kommunikations- und Marketingvorteile: Die Politik, die Gesellschaft und die Konsumenten fordern von Unternehmern Taten bei der Nachhaltigkeit.

■ Grossverbraucher im Sinne der kantonalen Energiegesetze müssen entweder eine Zielvereinbarung abschliessen oder eine Energieanalyse durchführen (www.endk.ch) [2]. In beiden Fällen ist die eBO eine wichtige Massnahme.

Vorteile für Betreiber

- Der optimierte Betrieb senkt die Kosten für Instandhaltung und Betrieb.
- Ein Monitoring, das über das eBO-Projekt hinaus die energierelevanten Grössen erfasst, ermöglicht es, gegenüber dem Eigentümer fundiert zu argumentieren.
- Der Betreiber gewinnt Erkenntnisse, die er allenfalls andernorts gewinnbringend einsetzen kann.

Vorteile für Nutzende

- Optimal betriebene Anlagen verbessern in der Regel den Komfort.
- Weil Betriebskosten meist auf die Nutzenden überwältigt werden, profitieren sie auch finanziell.



Abbildung 1.3:
Grossverbraucher
wie Rechenzentren
bergen viel
Potenzial für Opti-
mierungen.
(Foto: pinkeyes/
stock.adobe.com)

1.4 eBO im Nutzungszyklus von Gebäuden

Eine eBO wird sinnvollerweise nach dem ersten Betriebsjahr durchgeführt und immer dann wiederholt, wenn sich die Nutzung (in einem Teil) des Gebäudes geändert hat. Änderungen bei der Nutzung verändern die Anforderungen an die installierte Gebäudetechnik, Zudem können sie auch die internen Lasten beeinflussen, sowohl thermisch als auch stofflich. Um den Nutzen der eBO langfristig zu sichern, sollen energierelevante Daten der Gebäudeausrüstung dauerhaft überwacht, aufgezeichnet und ausgewertet werden. So kann bei Abweichungen von den Sollwerten rasch und aufgrund einer gesicherten Datenbasis reagiert werden. Eine ähnliche methodische Vorgehensweise wie bei der eBO kann übrigens auch bei der Inbetriebnahme angewendet werden. Im Merkblatt SIA 2048 wird dies als eBO* bezeichnet und im Anhang D beschrieben. Da in diesem Fall aber keine Betriebsdaten zur Verfügung stehen, weicht das Vorgehen leicht von der normalen eBO ab.

1.5 Rahmenbedingungen

CO₂-Abgabe

Die CO₂-Abgabe ist eine Lenkungsabgabe. Sie wird – Stand 1.1.2020 – ausschliesslich auf fossilen Brennstoffen wie Kohle, Heizöl oder Erdgas erhoben, die zur Erzeugung von Wärme, Licht, elektrischer Energie genutzt werden. Nicht betroffen sind aber Treibstoffe wie Benzin, Diesel, Kerosin. Ein grosser Teil der Abgabe wird an die Bevölkerung und die registrierten Arbeitgeber zurückverteilt. So erhielten 2018 alle in der Schweiz wohnenden Personen rund 77 Franken zurück. Bei den Arbeitgebern waren es 147.50 Franken pro 100 000 Franken abgerechneter AHV-Lohnsumme [3]. Mit diesem Mechanismus werden jene finanziell belohnt, deren Bedarf an fossilen Brennstoffen unterdurchschnittlich ist. Unternehmen, die eine Tätigkeit gemäss Anhang 7 der CO₂-Verordnung ausüben [4] und sich zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen verpflichten, erhalten die bezahlte CO₂-Abgabe auf Antrag zurückerstattet [5]. Dann sind sie allerdings aus der Rückverteilung ausgeschlossen. Voraussetzung für dieses Vorgehen ist, dass

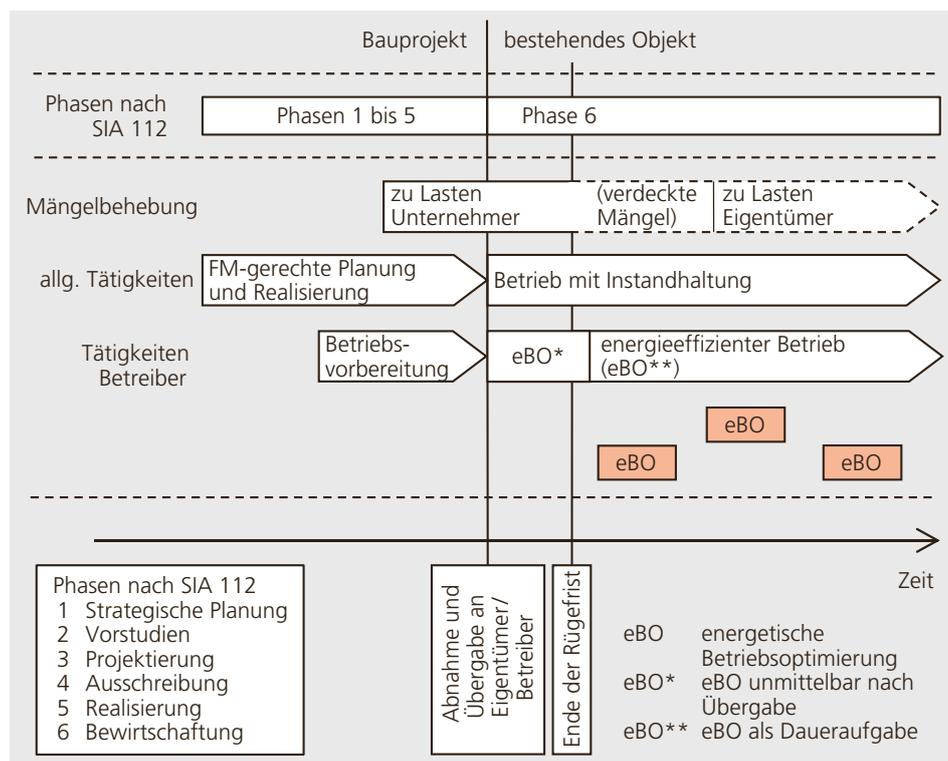


Abbildung 1.4: Die eBO in den Phasen nach SIA 112. (Quelle: Merkblatt SIA 2048)

solche Unternehmen mit der Behörde eine Zielvereinbarung mit Verminderungsverpflichtung abschliessen (siehe unten).

Netzzuschlag

Stromkunden bezahlen zusätzlich zur verbrauchten Energiemenge einen Netzzuschlag – quasi für die Nutzung des Verteilnetzes (Art. 35ff des Energiegesetzes [6]). Unternehmen, deren Elektrizitätskosten mindestens 10 % der Bruttowertschöpfung ausmachen, können den bezahlten Netzzuschlag vollumfänglich zurückfordern (Art 39ff EnG). Voraussetzung ist unter anderem, dass sie eine Zielvereinbarung mit dem Bund abschliessen. In dieser Zielvereinbarung müssen sie sich verpflichten, ihre Energieeffizienz zu verbessern.

MuKEn

Im Rahmen der eidgenössischen Gesetzgebung (unter anderem Energiegesetz, Stromversorgungsgesetz, CO₂-Gesetz) werden den Kantonen verschiedene energie- und klimapolitische Aufgaben übertragen. Zentrale Bestimmungen liefern beispielsweise:

- Artikel 45 des Energiegesetzes (EnG); er präzisiert, zu welchen Bereichen die Kantone Vorschriften erlassen müssen

- Der kantonale Vollzug von Artikel 5 Absätze 1 bis 4 sowie Artikel 14 Absatz 4 (1. Satz) des Stromversorgungsgesetzes (StromVG) [7]; sie regeln unter anderem die Bezeichnung der Netzgebiete, die Bestimmungen bezüglich der Anschlusspflicht ausserhalb von Netzgebieten oder Bauzonen und die Angleichung unverhältnismässiger Netznutzungstarife

- Artikel 9 des CO₂-Gesetzes [5]; er verpflichtet die Kantone, dafür zu sorgen, dass die CO₂-Emissionen aus fossil beheizten Gebäuden zielkonform vermindert werden; die Kantone sind zudem angehalten, über die Massnahmen Bericht zu erstatten.

Die kantonalen Fachbehörden haben sich für den Energievollzug über die Energiedirektorenkonferenz (EnDK) auf gemeinsame Standards, die sogenannten «Muster Vorschriften der Kantone» (MuKEn) geeinigt. Die MuKEn werden in ihren Kern-

bereichen unverändert in die kantonalen Energiegesetze und -verordnungen übernommen.

Die ersten MuKEn wurden 1992 beschlossen, die neusten am 9. Januar 2015 [2]. Am 20. April 2018 wurden sie redaktionell nachgeführt, beispielsweise hinsichtlich der Verweise auf Normen. Zurzeit laufen bereits die Vorbereitungen für die nächste Ausgabe der MuKEn.

Mit der Übernahme der relevanten Inhalte der MuKEn in kantonales Recht vereinheitlicht sich der Vollzug in der Schweiz ein Stück weit. Im Detail können die kantonalen Bestimmungen aber durchaus voneinander abweichen. Deshalb muss im Einzelfall sorgfältig abgeklärt werden, was gilt. Einen Überblick hierzu liefert die Website der EnDK (www.endk.ch) [8].

Die MuKEn 2014 fordern für alle Nicht-Wohngebäude (Betriebsstätten) mit mehr als 200 MWh/a Elektrizitätsbedarf eine eBO. Die notwendigen Nachweise, Fristen und Dokumentationen sind in der zugehörigen Vollzugshilfe festgelegt [9]. Zudem liefern die MuKEn auch Vorschriften für die (Energie-)Grossverbraucher. Darunter fallen alle (End-)Energiebezüger, die mehr als 500 MWh/a elektrisch oder 5000 MWh/a in Form von Brennstoffen verbrauchen.

Zielvereinbarungen

Zielvereinbarungen mit Vollzugsbehörden sind ein Weg, mit dem Unternehmen die rechtlichen Vorgaben von Bund (CO₂-Gesetz, EnG) und Kantonen (MuKEn) erfüllen können. In solchen Vereinbarungen verpflichten sich die Energiebezüger, ihren Endenergiebedarf und/oder ihren Ausstoss an Treibhausgasen innert einer bestimmten Frist um mindestens 10 % zu verringern.

Meist werden Zielvereinbarungen mit Unterstützung von Energiespezialisten und/oder einer vom Bund beauftragten Energieagentur abgeschlossen. In der Regel werden sie jährlich von einer akkreditierten Fachperson überprüft. Im Rahmen von Zielvereinbarungen sind eBO ein kostengünstiges Mittel zur Reduktion des Endenergiebedarfs und/oder der Treibhausgasemissionen.

1.6 Was können die Beteiligten voneinander lernen?

Herkömmlicherweise werden Gebäude von Architekten und Bauingenieuren entworfen und häufig erst danach von Fachleuten mit Gebäudetechnik ausgerüstet. Neuerdings werden öfter auch Betriebssimulationen verwendet, um vorgegebene Richtwerte zu überprüfen. Dabei beruhen die Simulationen auf Annahmen, die bei der Planung getroffen wurden, aber nicht notwendigerweise der Betriebsweise des fertiggestellten Gebäudes entsprechen. Grund für solche Divergenzen kann sein, dass ein Bauprojekt während der Projektierung den Besitzer wechselt. Denkbar ist auch, dass sich die Nutzung im Lauf der Entwicklung geändert. Aber selbst, wenn sich weder Besitzer noch Nutzung ändern, lassen sich verlässliche Annahmen zum Nutzerverhalten kaum treffen. So bleibt beispielsweise bis zuletzt unklar, mit welchen Geräten im Betrieb gearbeitet wird. Entsprechend unsicher sind auch die Annahmen zu den internen Lasten.

Informationen austauschen!

Umso wichtiger ist es, dass die Planenden ihre Annahmen und Vorgaben für den Betrieb der Anlagen gegenüber den Betreibern vollständig offenlegen. In der Praxis gehen solche Informationen freilich nicht selten bei der Übergabe des Bauwerks ver-

loren. Zumindest aber kommen sie oft nicht vollständig bei den Betreibern an.

Deshalb sollte der Eigentümer frühzeitig den Dialog zwischen Planenden, Erstellern und Betreiberinnen initiieren und überwachen. Das schafft Verständnis für die Anforderungen der anderen Beteiligten und fördert den Austausch von betriebsrelevanten Informationen. Damit verbessern sich auch die Chancen für eine erfolgreiche Inbetriebnahme und einen reibungslosen Betrieb. Für die Zukunft lässt sich hoffen, dass der Informationsfluss zwischen den Beteiligten vom konsequenten Einsatz von BIM (Building Information Modelling) profitiert.

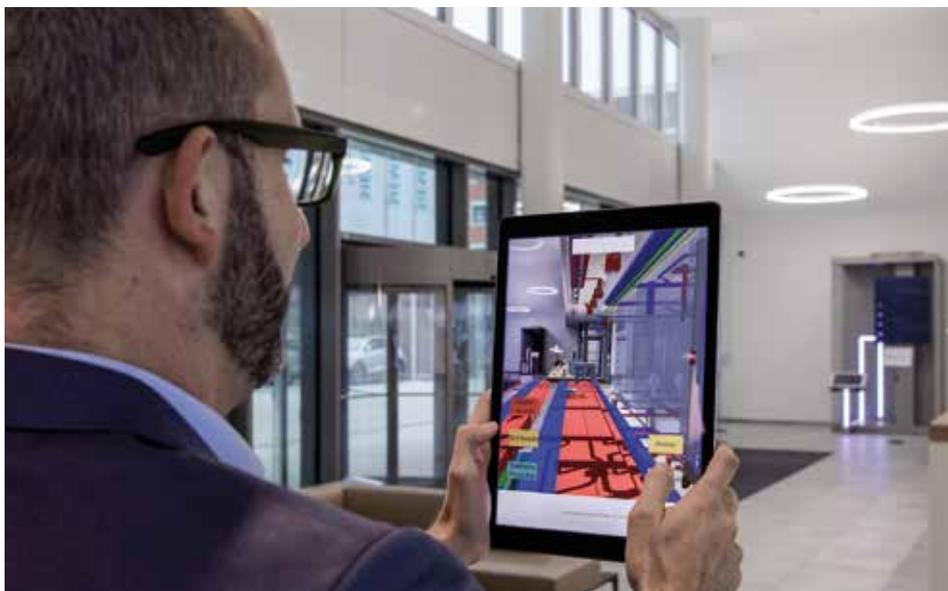


Abbildung 1.5: BIM könnte in Zukunft den Informationsfluss zwischen den Beteiligten vereinfachen. (Foto: Siemens)

1.7 Geschäftsmodelle und vertragliche Konzepte

Um ein eBO-Projekt erfolgreich umsetzen zu können, braucht es Entscheidungsbefugnisse und Fachkenntnisse. Der Anstoss sollte deshalb aus dem Management des Anlageneigentümers kommen. Nur so ist gewährleistet, dass die nötigen Ressourcen bereitgestellt werden. Mit der technischen Bearbeitung werden Energiefachleute betraut. Je nach ihrer Stellung gegenüber dem Auftraggeber, der Eigentümerin kommen verschiedene Geschäftsmodelle und vertragliche Konzepte in Frage.

Dauerauftrag

Besteht eine auf Dauer ausgelegte vertragliche Bindung (Arbeits- oder Servicevertrag) zwischen Energiespezialisten und der Eigentümerin, empfiehlt es sich, periodische eBO-Projekte im Pflichtenheft zu verankern. Selbstverständlich müssen Durchführung und Ergebnisse solcher Projekte von der Auftraggeberin laufend überprüft werden. Ist die eBO nicht Teil des Pflichtenhefts, bietet sich der Honorarauftrag als Form an.

Honorarauftrag

Das eBO-Projekt – ausgelöst durch einen Managemententscheid – wird als Sonderaufwendung einem (externen) Energiespezialisten übertragen. Er übernimmt alle Aufgaben, die in Kapitel 4 des Merkblatts SIA 2048 [1] beschrieben sind. Der Auftrag schreibt die Aufgaben detailliert fest. Am gebräuchlichsten sind Vergütungen nach Aufwand, ohne Einbezug des Projekterfolgs respektive der Einsparungen bei den Energiekosten.

Der Honorarauftrag basiert meist auf einer genau umschriebenen Offerte des Energieexperten. Sorgfältig ausgewählte eBO-Fachleute vermittelt unter anderem die Energie Agentur der Wirtschaft (EnAW) oder die Cleantech Agentur Schweiz (ACT).

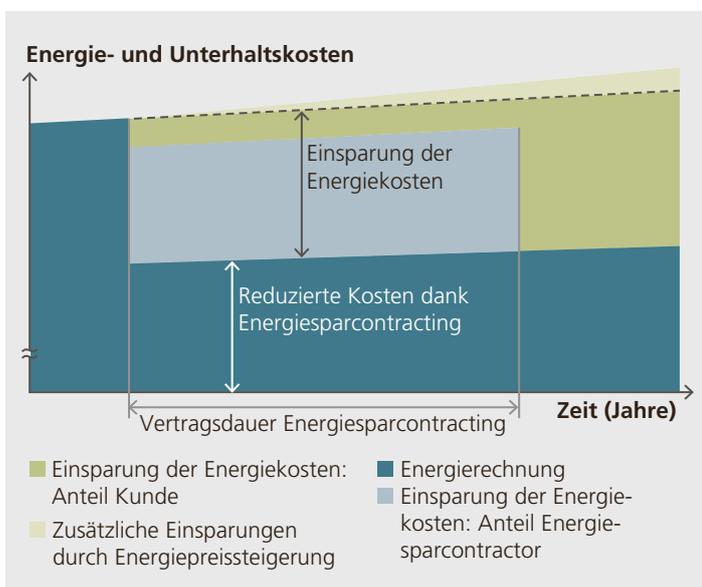
Energiesparcontracting

Beim Energiesparcontracting werden die erzielten Einsparungen zwischen Auftraggeberin und Auftragnehmer aufgeteilt. Sie machen also einen Teil des Honorars für die Expertenleistungen aus. Wie genau und über welche Dauer die Einsparungen ermittelt werden sollen, ist naturgemäss mit Unwägbarkeiten behaftet. Umso mehr muss der Vertrag auf möglichst alle Eventualitäten eine Antwort geben. Zu regeln sind insbesondere:

- Die massgebliche Bezugsgrösse, an welcher der Erfolg gemessen wird; meist wird es der aktuelle Endenergiebezug sein, verbunden mit Angaben zu Produktionsmengen, Personalbestand, Heizgradtagen und ähnlichem
- Wie mit Preisänderungen bei der Endenergie umgegangen wird
- Wie die Schliessung oder Neueröffnung von Betriebsteilen behandelt wird

Welche Vertragsform im Einzelfall die geeignetste ist, bleibt den beteiligten Parteien überlassen und ist somit Verhandlungssache.

Abbildung 1.6:
So funktioniert
ein Energiespar-
contracting.
(Quelle: Swissecso)



1.8 Wer trägt die Kosten?

Bei einem eBO-Projekt fallen verschiedenartige Kosten an, zum Beispiel:

- Honoraraufwendungen für die eBO-Fachleute
- Personalaufwand der Betreibergesellschaft, etwa für das Bereitstellen von Unterlagen, für Begehungen oder das Umsetzen der Massnahmen
- Personalaufwand der Eigentümerschaft, zum Beispiel durch die Entgegennahme der Massnahmenliste, die Mitwirkung bei der Entscheidungsfindung
- Umsetzungsaufwand, also Material-, Personal- und Honorarkosten

Die eigenen Aufwendungen der Betreiber und der Eigentümerschaft müssen in deren ordentlichen Budgets eingestellt werden. Die Kosten für die Umsetzung der Massnahmen können auf die Nebenkosten der Mietparteien umgelegt werden. Zurzeit (Oktober 2019) gibt es weder eine gesetzliche Grundlage noch eine anerkannte Praxis oder ein Gerichtsurteil, das den Umfang der Kostenverteilung regelt. Im Allgemeinen sinken die Energiekosten infolge einer eBO so stark, dass sich die Aufwendungen für die Umsetzung im Lauf der ersten beiden Abrechnungsjahre amortisieren. In den folgenden Abrechnungsjahren profitiert vor allem die Mieterschaft finanziell von den Einsparungen bei den Betriebskosten.

1.9 Potenzial

Die eBO als Massnahme zum Sparen von Energie und Betriebskosten hat sich breit bewährt und ist bereits weit verbreitet. Oft werden aber nur einzelne Aspekte oder Gewerke bearbeitet und deshalb nur ein begrenzter Nutzen erzielt. Dies wurde auch in einer breit angelegten, im Herbst 2019 publizierten Studie [10] festgestellt. Dabei wurden im Auftrag des Bundesamts für Energie die Ergebnisse der eBO an rund 1400 Gebäuden untersucht. Davon waren 55 % Wohngebäude, 24 % Geschäftsliegenschaften mit Schwerpunkt auf Büronutzung und 21 % Liegenschaften mit gemischter Nutzung.

Durchschnittlich 5 % Einsparung

Über alles wurde eine klimakorrigierte Einsparung an Endenergie von durchschnittlich rund 5 % festgestellt. Wie sich zeigte, blieben die erzielten Einsparungen bei fremdgenutzten Liegenschaften eher unterdurchschnittlich. Als Gründe dafür werden aufgeführt:

- Der Komfortbereich der Nutzenden wird nicht tangiert, da keine Interventionen in den Nutzflächen stattfanden.
- Mehrfamilienhäuser sind ständig genutzt und haben deshalb kaum Optimierungspotenzial im «Betrieb ohne Nutzen» (siehe Kapitel 3.10)
- Die eBO-Massnahmen interferieren mit vor- oder nachgelagerten Steuer- oder Regelsystemen, beispielsweise mit manuellen Sperrungen oder Freigaben durch die Hauswartung oder mit Einzelraumregelungen wie Thermostatventilen

Ebenso kommt diese breit angelegte Studie zum Schluss, dass eine periodische eBO insbesondere hinsichtlich Mängelanalyse und Investitionsplanung zuhanden der Bewirtschafter und Eigentümer empfehlenswert ist.

Was leistet die eBO für die nachhaltige Entwicklung?

Eine eBO trägt auf vielfältige Weise zur Nachhaltigkeit des Betriebs von Gebäuden oder Anlagen bei. Zu nennen wären etwa:

- Verringerter Energieaufwand und dadurch Reduktion der damit verbundenen Emissionen
- Verlängerung der Anlagenlebensdauer durch besser überwachten Betrieb
- Erhöhung der Aufenthaltsqualität für die Nutzenden
- Verbesserung der Dokumentation zum Objekt. Dies wiederum steigert den Immobilienwert und erleichtert die Beurteilung von Umnutzungen.

Die langfristige Überwachung der Anlagen durch ein zweckmässiges Energiemonitoring fördert bei den Betreibern zudem das Verständnis für Fragen rund um die Energienutzung.

1.10 Literatur

- [1] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt SIA 2048:2015, Energetische Betriebsoptimierung, Zürich, 2015
- [2] Mustervorschriften der Kantone in Energiebereich, www.endk.ch
- [3] Bundesamt für Umwelt: Rückverteilung der CO₂-Abgabe, auf www.bafu.admin.ch, abgerufen Oktober 2019
- [4] Bundesverordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen, SR 641.711
- [5] Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen, SR 641.71
- [6] Energiegesetz (EnG), SR 730.0
- [7] Bundesgesetz über die Stromversorgung, SR 734.7
- [8] Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK: Stand der Energiepolitik in den Kantonen, auf www.endk.ch, abgerufen Oktober 2019
- [9] Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK: Vollzugshilfe zur Energetischen Betriebsoptimierung, auf www.endk.ch, abgerufen Oktober 2019
- [10] Bundesamt für Energie: EnBo800, Analyse des Energieverbrauchs und der Wirkung der energetischen Betriebsoptimierung von Gebäuden in der Schweiz, 2019. Download via www.aramis.admin.ch

Komfort und Energie

2.1 Physiologische Grundlagen

Markus Hubbuch **Metabolische Leistung des Menschen**

Um den Stoffwechsel und die lebensnotwendigen Körperfunktionen wie Blutzirkulation und Atmung aufrecht zu erhalten, benötigt der menschliche Körper einen Grund- oder Ruheumsatz an Energie. Er beträgt bei einem 70 kg schweren Mann etwa 80 W bei ruhigem Liegen. Diese Leistung wird als ein metabolisches Äquivalent (1 met) gesetzt. Bei schnellem Laufen braucht derselbe Mann, sofern er fit ist, rund 14 met, also 1120 W. Biologisch gesehen wird der Nahrungsumsatz «kalt verbrannt». Der hierfür nötige Sauerstoff wird über die Lunge, also die Atmung, zugeführt. Sie führt auch das Oxidationsprodukt CO₂ und das Wasser ab. Die physische Leistung in Watt, die ein Mensch erbringen kann, beträgt etwa:

$$P = (met - 1) / 0,05$$

Bei Büroarbeit beispielsweise erreicht der met-Wert etwa 1,5. Dabei beläuft sich der Nahrungsumsatz (quasi die Bruttoleistung) zwar auf 120 W – die physische (mechanische) Leistung erreicht aber gemäss obiger Gleichung nur 10 W. Die restlichen 110 W

werden in Körperwärme umgewandelt und an den Raum als sensible und latente Wärme abgegeben.

Wärmehaushalt des Menschen

Der Mensch als «Warmblüter» kann seine Körpertemperatur unabhängig von den Umgebungsbedingungen konstant halten. Im Mittel liegt sie bei etwa 36,5°C. Ist sie höher, bezeichnet man das als Fieber. Steigt sie über 42°C, drohen Kreislaufversagen und Tod. Fällt sie unter 27°C, kann dies ebenfalls tödlich sein.

Deshalb muss die metabolische Leistung im Körper, die ja überwiegend als Wärme anfällt, immer im richtigen Mass an die Umgebung abgegeben werden können. Hierfür verfügt der Mensch über entsprechende Regulierungsmechanismen im Zwischenhirn (Hypothalamus) und über Temperatursensoren (Abbildung 2.1).

Als «Aktoren» zur Temperaturregulierung stehen insbesondere die Hautdurchblutung, das Schwitzen (Abgabe von Verdunstungswärme), und Muskelaktivität (Wärmeproduktion) zur Verfügung. Daneben kann der Wärmehaushalt über die Kleidung beeinflusst werden.

Die Mechanismen der Wärmeabgabe von Menschen an die Umgebung sind (Abbildung 2.2):

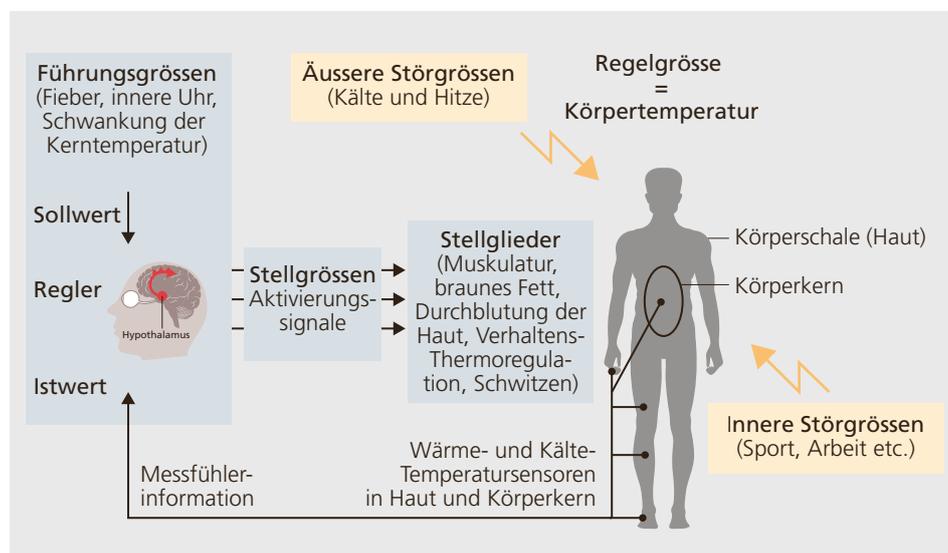


Abbildung 2.1: Regelmechanismus für die Körpertemperatur beim Menschen. (Quelle: Heinrich Heine, Uni Düsseldorf)

- **Konvektion:** Wärmeübertragung von der Körperoberfläche an die sich bewegende Umgebungsluft
- **Wärmestrahlung:** Wärmeabgabe von der Körperoberfläche auf umgebende, kühlere Flächen (oder umgekehrt)
- **Verdunstung:** Wärmeentzug vom Körper für die Verdunstung von Wasser auf der Haut (Schwitzen)
- **Atemluftbefeuchtung:** Die ausgeatmete Luft ist fast mit Wasserdampf gesättigt. Auch für diese Verdunstungsleistung wird dem Körper Wärme entzogen.
- **Wärmeleitung:** Wärmeübertragung an berührte, kühlere Flächen (z. B. über die Füße, Einfluss klein)
- **Ausscheidungen:** Wärmeverlust durch Urin und Stuhl (Einfluss klein)
- **Speisen, Getränke:** Wärmeverlust beim Einnehmen kalter Speisen, Getränke (Einfluss klein)

Die Hauttemperatur liegt immer unter der Kerntemperatur des Körpers und sinkt, je weiter ein Körperteil von der Körpermitte entfernt ist. Zudem beeinflussen die Umgebungstemperatur und die Hautbedeckung die Temperatur der Hautoberfläche. Durch die verschiedenen Wärmeabgabemechanismen verliert der Mensch je nach Umgebungstemperatur und metabolischer Leistung unterschiedlich viel Körperwärme konvektiv und durch Strahlung («sensible Wärme») sowie durch Schwit-

zen («latente Wärme»). Die Wärmeabgabe durch die Atemluftbefeuchtung hingegen hängt nicht von den Umgebungsbedingungen ab.

Die Abgabe von latenter Wärme steigt bei höherer Umgebungstemperatur und bei höherer körperlicher Aktivität (Tabelle 2.1). Im Winter (bei 20 bis 22 °C Raumtemperatur) wird der grössere Teil der Wärme über Konvektion und Strahlung abtransportiert, also über sensible (spürbare) Wärme. Dies erhöht die Temperatur im Raum. Im Sommer, bei 26 °C Raumtemperatur, wird etwa die Hälfte der Wärme über Verdunstung als latente Wärme abgegeben. Dies wiederum erhöht die Raumluftfeuchte. Ab rund 30 °C Lufttemperatur kann Wärme fast nur noch über Verdunstung (Schwitzen) abgegeben werden. Bei tiefer Luftfeuchte funktioniert das gut, bei hoher aber schlecht. Dann empfinden wir die Luft als schwül oder sogar tropisch.

Da der Mensch die produzierte metabolische Wärme immer abgeben muss, kann eine zu heisse und feuchte Umgebung zum Tod infolge zu hoher Kerntemperatur führen. Deshalb können wir nur in einer Umgebung überleben, in der die Feuchtkugeltemperatur der Luft nicht mehr als 35 °C beträgt. Die Feuchtkugeltemperatur ist die minimale Temperatur, die durch adiabate Kühlung («Verdunstungskühlung») erreicht werden kann.

Wärmeabgabe an die Umgebung durch:

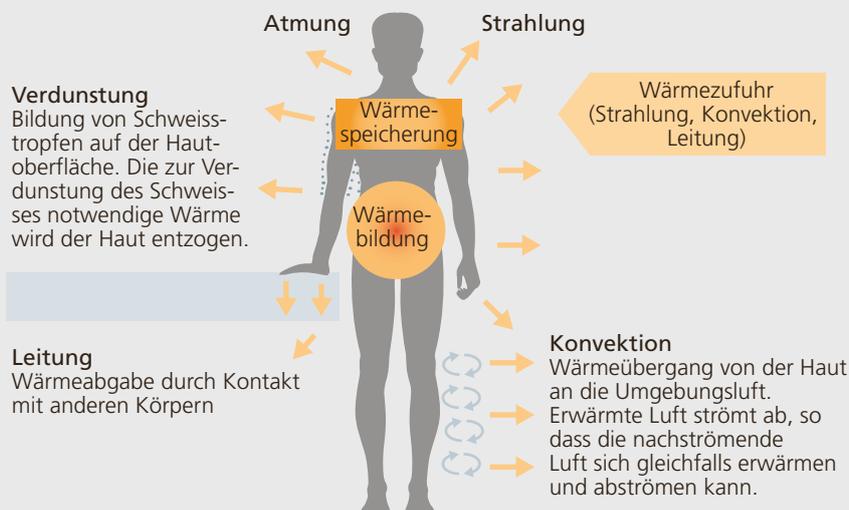


Abbildung 2.2:
Mechanismen der
Wärmeabgabe des
Menschen.
(Quelle: Berufsgenossenschaft Holz
und Metall)

Übersteigt die Feuchtkugeltemperatur 35°C, funktioniert die Kühlung des Körpers weder über Strahlung und Konvektion noch über Verdunstung durch Schwitzen (adiabate Kühlung). Ein gesunder Mensch stirbt in einer solchen Umgebung innert ca. 6 Stunden. Solche Bedingungen könnten in Zukunft während Hitzewellen in Teilen Asiens herrschen, wie Forscher des MIT und der ETH prognostizieren.

Wegen des Strahlungsaustausches mit der Umgebung spürt der Mensch nicht die Lufttemperatur seiner Umgebung, sondern den Mittelwert aus der Lufttemperatur und der mittleren Temperatur aller umgebenden Oberflächen. Im Weiteren beeinflusst auch die Luftströmung das Wärmeempfinden. Dies ist so, weil der Wärmeübergangskoeffizient für die konvektive Wärmeabgabe von der Luftströmung abhängt. Dabei spielt sowohl die mittlere Luftgeschwindigkeit als auch die Turbulenz eine Rolle. Hinzu kommt, dass Luftströmungen von der Seite anders empfunden werden als solche von vorne oder hinten.

Bei eher tiefen Raumtemperaturen wird eine Luftströmung auf jeden Fall dazu führen, dass es mehr Personen als zu kalt empfinden. Bei hohen Raumtemperaturen dagegen kann ein Luftzug als angenehm empfunden werden – der Körper kann dann über Konvektion mehr Wärme abgeben. Mit seiner Sensorik kann der Mensch allerdings nicht unterscheiden, ob er Wärme infolge Strahlung oder infolge erhöhter Konvektion verliert. Beides wird als «Zug» wahrgenommen.

Tabelle 2.1: Wärmeabgabe des Menschen in Abhängigkeit der Raumtemperatur. (Werte nach VDI 2078)

Tätigkeit	Wärmeabgabe	Raumlufttemperatur [°C]						
		18	20	22	23	24	25	26
Körperlich nicht tätig bis leichte Arbeit im Stehen (Aktivitätsgrad I und II nach DIN 1946-2)	Gesamt [W]	125	120	120	120	115	115	115
	Trocken [W]	100	95	90	85	75	75	70
	Feucht [W]	25	25	30	35	40	40	45
	Wasserdampfabgabe [g/h]	35	35	40	50	60	60	65
Mässig schwere körperliche Tätigkeit (Aktivitätsgrad III nach DIN 1946-2)	Gesamt [W]	190	190	190	190	190	190	190
	Trocken [W]	125	115	105	100	95	90	85
	Feucht [W]	65	75	85	90	95	100	105
	Wasserdampfabgabe [g/h]	95	110	125	135	140	145	150
Schwere körperliche Tätigkeit (Aktivitätsgrad IV nach DIN 1946-2)	Gesamt [W]	270	270	270	270	270	270	270
	Trocken [W]	155	140	120	115	110	105	95
	Feucht [W]	115	130	150	155	160	165	175
	Wasserdampfabgabe [g/h]	165	185	215	225	230	240	250

Zusätzlich zur Konvektion und zur Strahlung beeinflusst auch die Luftfeuchte das Verdunstungsvermögen des Schweißes auf der Haut. Eine hohe Luftfeuchte wird bei hohen Raumtemperaturen deswegen als unangenehm empfunden.

CO₂-Produktion

Je nach metabolischer Leistung gibt der Mensch mehr oder weniger CO₂ ab. Deshalb kann der CO₂-Gehalt auch als Indikator für die Raumlufqualität herangezogen werden. Streng genommen ist der CO₂-Gehalt aber nur ein Indikator für den Aussenluftbedarf (Tabelle 2.2). Um ein vollständiges Bild der Luftqualität zu erhalten, müssen alle anderen Schadstoffe und Geruchsstoffe hinzugezogen werden.

Der CO₂-Gehalt ist nur dann ein brauchbarer Indikator für die Raumlufqualität, wenn Menschen die wesentliche Ursache der Innenluftverschmutzung sind. Als beste erreichbare Innenluftqualität gelten in diesem Fall 410 ppm CO₂. Das entspricht der heutigen CO₂-Konzentration der Aussenluft und lässt sich naturgemäss nicht unterschreiten.

Tabelle 2.2: CO₂-Produktion und daraus folgender minimaler Aussenluftvolumenstrom pro Person.

Aktivität	CO ₂ -Abgabe [dm ³ /h]	Min. Aussenluftvolumenstrom pro Person [m ³ /h]	
		Für 1500 ppm	Für 1200 ppm
Ruhend	12	10	13
Sitzend	15	13	17
Leichte Arbeit	23	20	26
Schwere Arbeit	35	30	39

Einfluss der Bekleidung

Die Bekleidung beeinflusst den Wärmehaushalt des Menschen ganz wesentlich. Sie schirmt die Wärmestrahlung ab und behindert die Konvektion. Werden die Kleider also der Umgebungstemperatur und der Aktivität angepasst, können sie wesentlich zum Komfortempfinden beitragen.

Abbildung 2.3 zeigt den Zusammenhang zwischen der Aktivität (in met), der Bekleidung (in clo) und der von durchschnittlichen Personen empfundenen optimalen Temperatur. 1 clo entspricht dabei einer üblichen «Bürobekleidung» oder einem Wärmedurchgangswiderstand R_T von $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Der Einfluss der Kleider kann genutzt werden, um die jahreszeitlichen Unterschiede der Raumtemperatur auszugleichen. Im Winter wären etwa 1,2 clo optimal, während im Sommer bis auf 0,5 clo reduziert werden kann. Dies führt zur Empfehlung für Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Aussentemperatur nach SIA 180.

In Arbeitsräumen sollten keine unnötig strengen Kleidervorschriften gelten. Zudem kann sich der Mensch innerhalb einiger Tage begrenzt an unterschiedliche Klimabedingungen anpassen. So fühlt er sich dann bei tieferen Raumtemperaturen im Winter wohler als im Sommer.

Zudem steigt die Körperkerntemperatur von morgens bis abends um bis zu 1 K. Dadurch sind abends höhere Raumtemperaturen angebracht als morgens.

Einfluss des individuellen Empfindens

Oft lässt sich beobachten, dass Frauen eher frieren als Männer und ältere Menschen eher als jüngere. Dies dürfte mehr auf die unterschiedliche Physionomie und die dadurch unterschiedliche metabolische Leistung zurückzuführen sein als auf das Geschlecht.

So sind Frauen üblicherweise leichter und weniger muskulös als Männer. Sie kühlen also schneller aus und produzieren weniger Körperwärme. Ähnliches gilt für alte Menschen. Ihr Aktivitätsgrad dürfte meist deutlich tiefer sein als derjenige junger Menschen, was die unterschiedlichen Temperaturansprüche erklärt.

Die Unterschiede in Körperbau, metabolischer Leistung, Aktivität und Kleidungsstil haben zur Folge, dass nie alle Menschen mit der Temperatur in einem Raum zufrieden sein werden. Selbst dann, wenn die Raumtemperatur den Normen entspricht, werden es etwa 5 % der Anwesenden zu kalt und etwa gleich viele zu warm finden. Dieser Anteil Unzufriedener lässt sich nicht eliminieren.

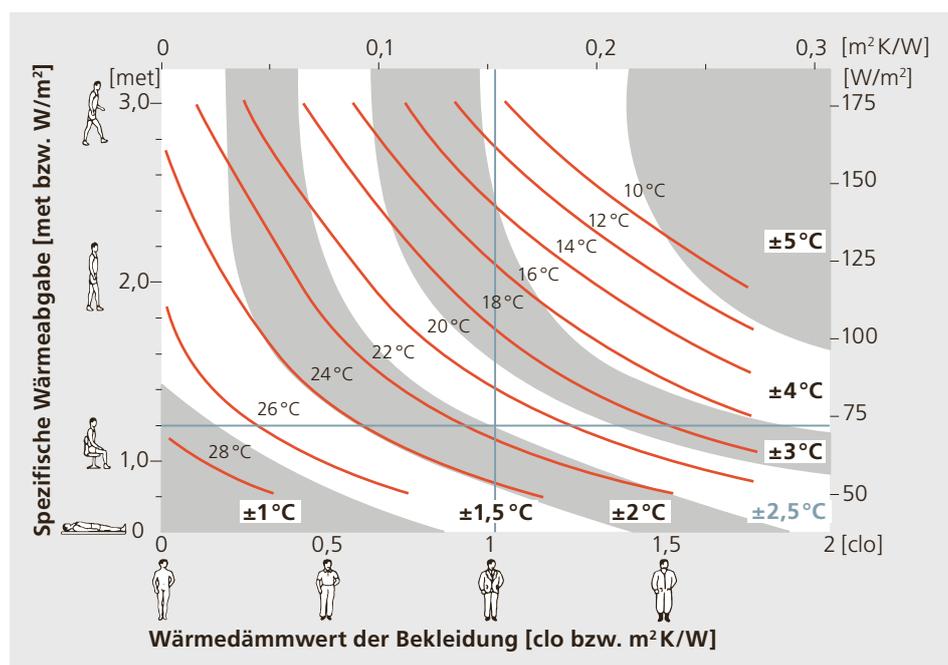


Abbildung 2.3: Optimale Raumtemperatur in Abhängigkeit von Kleidung und Aktivität nach ISO 7730.

2.2 Bauphysikalische Rahmenbedingungen

Die Bauphysik im Hochbau soll mit allen von ihr beeinflussbaren Aspekten ein gutes Wohn- und Arbeitsklima sicherstellen. Dies gilt insbesondere bezüglich Behaglichkeit, Schadstoffarmut und Energieeffizienz. Weitere Ziele dieser Disziplin sind die Optimierung der Nutzung und der Lebensdauer eines Gebäudes unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten.

Mit immer höheren Anforderungen an die Energieeffizienz, die Behaglichkeit sowie den Lärm- und Umweltschutz nimmt die Komplexität in der Bauphysik zu. So können heutige Standards der Wärmedämmung rasch zu Bauschäden führen, wenn eine Konstruktion bauphysikalische Mängel aufweist. Der Trend zu grossen Fenstern führt zusammen mit der Klimaerwärmung zu erhöhten Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz und an die Beschattung. Weitere Aspekte der Bauphysik betreffen Tageslichtnutzung, Raumakustik, Schalldämmung und Lüftung, insbesondere die natürliche respektive freie Lüftung.

Gebäudefunktionen aus Sicht der Bauphysik

Ein Gebäude hat primär die Aufgabe, vor unerwünschten Ausseneinflüssen geschützte Innenräume zur Verfügung zu stellen (Abbildung 2.4). Diese Innenräume sollen eine festgelegte Nutzung zulassen, also zum Beispiel Wohnen, Arbeiten, Produzieren.

Aus Sicht des Energiebedarfs fällt besonders die Schaffung von guten Innenraumkonditionen ins Gewicht. Hierzu zählen:

- Die passende Raumtemperatur im Sommer und im Winter
- Eine Raumluftfeuchte innerhalb bestimmter Grenzen
- Die natürliche und künstliche Lüftung
- Die natürliche und die künstliche Beleuchtung

Im Idealfall würde die Bauphysik, speziell die der Gebäudehülle, ganzjährig für optimale Innenkonditionen sorgen – ohne weitere Energiezufuhr durch technische Anlagen. In der Praxis ist dies nur bedingt möglich. Einzelne Beispiele besonders gut geplanter Bauten zeigen aber, dass eine bauphysikalisch optimierte Bauweise diesem Ziel erstaunlich nahe kommen kann. Es gibt heute bereits Bürogebäude, deren bauphysikalisches Konzept es erlaubt, auf jegliche Beheizung, Kühlung und mecha-



Abbildung 2.4: Einige Ausseneinflüsse, die auf ein Gebäude wirken.

nische Lüftung zu verzichten. Bei üblicher, aber nicht hoch verdichteter Büronutzung lässt sich die Raumtemperatur ganzjährig zwischen 22 und 26 °C halten. Die Raumluftqualität wird mit automatisch öffnenden Fenstern gewährleistet.

Bauphysik der Gebäudehülle

Besonders wichtig sind die bauphysikalischen Werte der Gebäudehülle. Wesentliche Anforderungen definiert die Norm SIA 180 (2014). Grundsätzlich gilt es zu beachten, dass die Gebäudehülle als kompakter und lückenloser Wärmedämmperimeter ausgestaltet wird. Wichtig sind die folgenden Parameter:

Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) ist das Mass für den Wärmeverlust durch Transmission. Die U-Werte aller opaken Bauteile der thermischen Gebäudehülle (des Wärmedämmperimeters) gegen Aussenluft sollen unter 0,2 W/m²K liegen. Dabei müssen Inhomogenitäten und unvermeidliche Wärmebrücken eingerechnet werden.

U-Werte unter 0,1 W/m²K sind in der Regel nur wenig sinnvoll, weil jenseits dieses Werts das zusätzliche Sparpotenzial nur noch klein ist. Fenster und Türen sowie allenfalls weitere transluzide Bauteile sollen einen U-Wert unter 1 W/m²K haben. Dabei muss das ganze Bauteil gemessen respektive berechnet werden und nicht nur das Glas.

Bauteile, die an Erdreich oder unbeheizte Räume grenzen, dürfen etwas höhere U-

Werte haben. Dies gilt es mit fachgerechten Berechnungen zu optimieren.

Besondere Aufmerksamkeit braucht die Vermeidung von Wärmebrücken (Abbildung 2.5). Sie können sowohl den Wärmeverlust erhöhen als auch bauphysikalischen Schäden verursachen, wenn an ihnen Kondensation auftritt. Der Wärmebrücken-katalog von EnergieSchweiz hilft, die Kennwerte der Wärmebrücken (den ψ -Wert in W/mK) zu bestimmen [1]. Alternativ gibt es auch Software, mit der sich die dreidimensionalen Wärmeflüsse durch Bauteile berechnen lassen.

Bei Neu- und Umbauten oder bewilligungspflichtigen Sanierungen verlangen die Behörden den Nachweis einer Wärmedämmung, die den kantonalen Gesetzen entspricht. Die gesetzlichen Anforderungen basieren dabei in der Regel auf den Vorgaben der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE). Sie sind ebenfalls mit den Anforderungen in SIA 380/1 koordiniert und liegen heute oft nahe bei einer optimalen Dämmung.

Stärker zu dämmen als vorgeschrieben, kann sinnvoll sein. Dies reduziert nicht nur den Heizenergiebedarf. Es ermöglicht auch, die gebäudetechnischen Installationen für die Beheizung zu vereinfachen, mit anderen Gewerken zu kombinieren oder sogar ganz wegzulassen.

Abbildung 2.5: Beispiel für einen Fenstereinbau mit minimierter Wärmebrücke. (Quelle: EnFK)

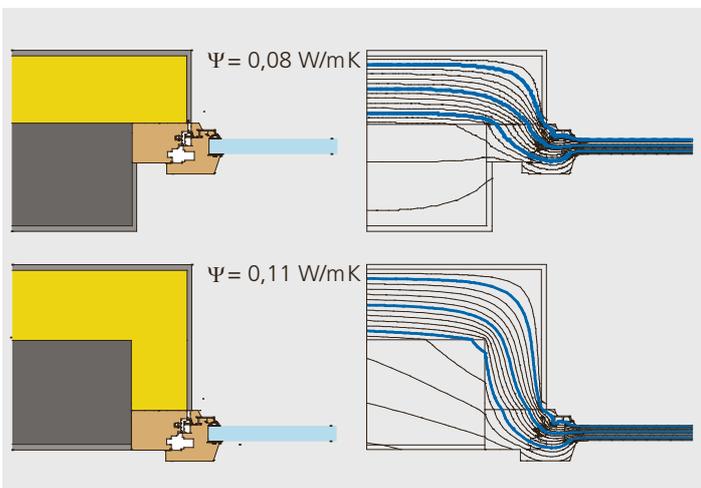
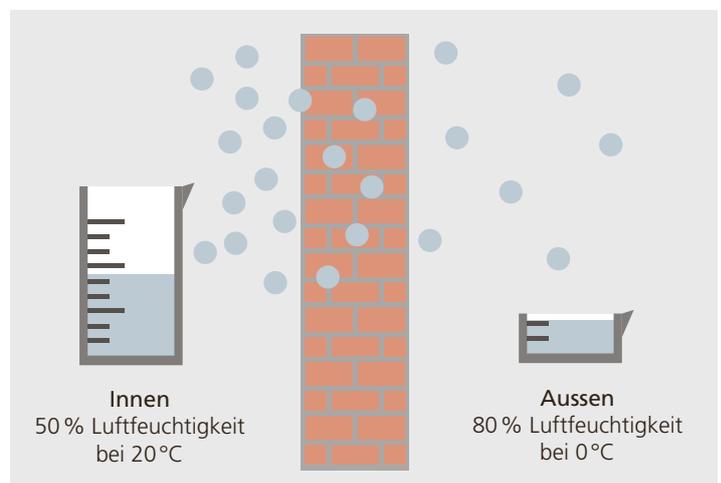


Abbildung 2.6: Der Partialdruck-Unterschied des Wasserdampfes zwischen Innen und Aussen ist der Treiber für die Dampfdiffusion in die Wand.



Dampfdiffusion

Um Kondensation zu vermeiden, gilt es zum einen, wärmebrückenfrei zu planen. Zum anderen muss auch verhindert werden, dass winters von innen in die Konstruktion diffundierende Feuchte (Abbildung 2.6) zu Problemen führt. Dies ist dann der Fall, wenn die eingedrungene Feuchte im Sommer nicht wieder vollständig austrocknen kann. Am besten bewähren sich Wand- und Deckenbauweisen mit einem von innen nach aussen abnehmenden Dampfdiffusionswiderstand. Wenn schlecht dampfdurchlässige Bauteile im äusseren Bereich nicht vermeidbar sind, muss das Eindringen von Feuchte mit Dampfbremsen oder -sperren innen vermindert werden.

Kondensation, Schimmel

An Oberflächen, die kälter als die Taupunkttemperatur der Raumluft sind, entsteht Kondensation (Abbildung 2.7). Dies führt zu feuchten Oberflächen an Bauteilen, was wiederum Verfärbungen, Materialschäden oder Schimmel zur Folge haben kann.

Schimmel ist nicht nur ein ästhetisches Problem, sondern kann auch zu Erkrankungen führen. Im Winter sollten deswegen Raumluftfeuchten über 50 % rel. Feuchte vermieden werden. Bei dichten Gebäuden muss allenfalls mehr gelüftet werden.

Abbildung 2.7:
Feuchte Ränder an Fenstern sind ein Alarmzeichen für zu hohe Innenraumfeuchte. (Foto: Christoph Gross/stock.adobe.com)



Wärmeabfuhr im Sommer

Tiefe U-Werte helfen nur an aussergewöhnlich heissen Tagen, den Kühlbedarf zu senken. Sie behindern aber immer den Wärmefluss nach aussen (was ja ihr Sinn und Zweck ist). Damit verbleiben die solaren Wärmegewinne durch Fenster und innere Wärmelasten im Gebäude. In der Übergangszeit und im Sommer kann dies zu unangenehm hohen Innentemperaturen führen. Deswegen muss für jedes gut gedämmte Gebäude auch ein Wärmeabfuhrkonzept erarbeitet werden.

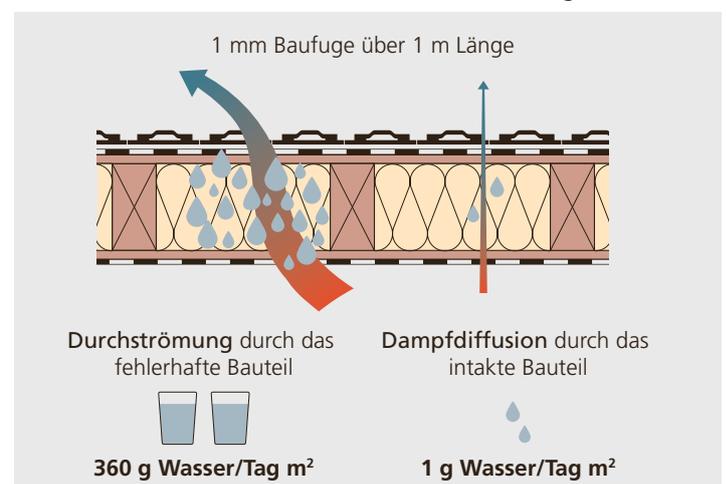
Luftdichtheit

Um nicht nur Transmissions-, sondern auch Lüftungsverluste zu minimieren, muss die Gebäudehülle luftdicht sein. Fugen bei Bauteilübergängen oder schlecht dichtende Fenster und Türen gegen aussen führen an kalten oder windigen Tagen zu unkontrolliertem Luftwechsel. Damit verbunden sind Wärmeverluste und oft eine zu trockene Raumluft.

Um unkontrollierten Luftwechsel zu verringern, kann es sinnvoll sein, Dichtungsmassnahmen an der Gebäudehülle mit Massnahmen zu kombinieren, die den Kamineffekt zwischen den Geschossen vermindern.

Ein weiteres Problem undichter Stellen in Bauteilen ist Feuchtekonvektion. Wenn Innenluft durch Fugen in Bauteilen austritt und dabei abkühlt, können im Winter grössere Mengen an Wasser kondensieren. Dies kann rasch zu Bauschäden führen (Abbildung 2.8).

Abbildung 2.8:
Feuchtekonvektion an Fugen.



Die Luftdichtheit eines Gebäudes kann mit einer «Blower-Door-Messung» überprüft werden (Abbildung 2.9).

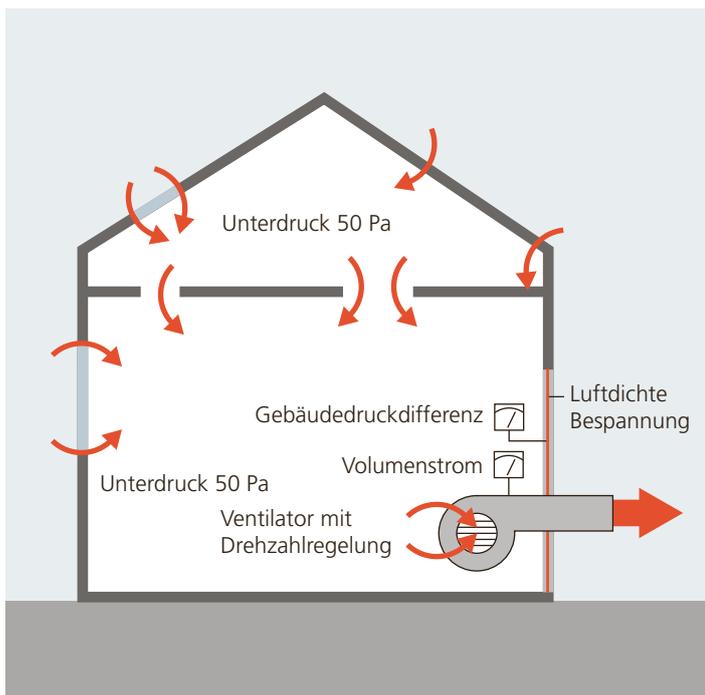
Regendichtheit

Gebäude müssen selbstverständlich auch regendicht sein. Besonders bei einer Kombination von starkem Regen und Wind ist die Schlagregendichtheit von Fenstern und Türen inklusive deren Rahmen und Anschlüssen wichtig. Der Meteorwasser-Abfluss muss auch bei Starkregen sichergestellt sein, insbesondere auf Flachdächern und Vorplätzen.

Schalldämmung

Zur Bauphysik gehört auch die Berechnung und Messung der Schalldämmwerte von Bauteilen. Gute Schalldämmungen zwischen Geschossen, Wohnungen oder Räumen werden als Qualitätsmerkmale immer wichtiger. Dasselbe gilt für die Schalldämmung von aussen nach innen an lärmbelasteten Standorten. Wärme- und Schalldämmung können hier unter Umständen zusammen betrachtet werden. Zum Festlegen und Nachweisen der Anforderungen kann die Norm SIA 181 (2006) genutzt werden.

Abbildung 2.9:
Schema Blower-Door-Messung.



Schall von gebäudetechnischen Anlagen

Gebäudetechnische Anlagen aller Art können Schall verursachen. Typisch sind etwa Motoren-, Strömungs- oder Bediengeräusche. Durch fachgerechtes Planen, kluge Komponentenwahl und Montage können solche Schallprobleme vermindert werden. Auch hier hilft die SIA 181 beim Festlegen der Anforderungen. Vor allem Lüftungsanlagen sollten so geplant und ausgeführt werden, dass keine störenden Schallprobleme auftreten.

Raumakustik

Die Raumakustik bewertet die Schallausbreitung und -absorption in Räumen sowie deren akustische Qualität. Zu ihren Zielen gehört es etwa, in akustisch heiklen Räumen wie Schlafzimmern einen tiefen Schallpegel zu erreichen. Sie soll auch für eine gute Sprachverständigung in einem Vortragssaal oder ein gutes Hörerlebnis in einem Konzertsaal sorgen. Die Mittel dazu sind schallabsorbierende Oberflächen. Dabei gilt es zu beachten: Wenn schallabsorbierende Materialien auf Decken oder Wände appliziert werden, beeinflusst dies die thermische Aktivierung solcher Bauteile. Dadurch sinkt die thermische Trägheit eines Raums, was wiederum stärkere Temperaturschwankungen zur Folge hat. Besonders im Sommer kann das unangenehm werden, weil es zu höheren Maximaltemperaturen führt.

Fensterplanung, Tageslicht

Anordnung, Grösse und Verglasung der Fenster beeinflussen den thermischen Komfort in einem Raum ganz entscheidend. Dasselbe gilt auch für den Heiz- und Kühlbedarf, die Versorgung mit Tageslicht und die Sicht nach aussen. Aus energetischer Sicht sind vollverglaste Fassaden ungünstig. Sie führen im Sommer zu hohen Wärmelasten. Im Winter liefern sie oft temporär zu hohe passive Wärmegewinne und verursachen höhere Transmissionsverluste. Bei üblichen Gewerbebauten sind etwa 50 % Fensteranteil an der Fassadenfläche optimal. Für eine gute Tageslichtnutzung sollten Fens-

ter immer bis ganz zur Decke reichen. Eine Verglasung bis auf den Geschossboden hilft eher wenig. Es sollten Verglasungen mit hohem Tageslicht-Transmissionsgrad τ und Fenster mit wenig Rahmenanteil gewählt werden.

Bei Wohnbauten sind grosse Südfenster vorteilhaft. Bei Gewerbebauten sollten Ost- und Westfenster klein sein, da sie zu hohen externen Wärmegewinnen im Sommer führen und schwierig zu beschatten sind. Über-Eck-Verglasungen oder -Fenster sollten in Bürobauten vermieden werden. Sie führen zu schwierig zu kontrollierenden Innenraumkonditionen und zu Blendung (Abbildung 2.10).

Beschattung

Alle Fenster (auch Nordfenster) brauchen eine aussenliegende, hinterlüftete und bewegliche Beschattung. Süd-, Ost- und Westfenster sollten bei abgesenkter Beschattung g-Werte unter 0,15 erreichen. Genauere Anforderungen liefert SIA 180 (2014) in Figur 12 [2].

Die Beschattung sollte möglichst windfest sein. Aus Sicht der Energieeffizienz und des Komforts haben sich Rafflamellen-Storen deutlich am besten bewährt. Sie können nicht nur abgesenkt oder hochgefahren werden – durch Anwinkeln der Lamellen lassen sich auch der Lichteinfall und die Lichtverteilung im Raum beeinflussen. Dies erlaubt es, Südfassaden mit offenen Lamellen zu beschatten, ohne dass der Ausblick ins Freie blockiert und die Tageslichtnutzung beeinträchtigt wird.

*Abbildung 2.10:
Ausgewogener
Fensteranteil bei ei-
nem Entwicklungs-
zentrum. (Foto:
Dietmar Strauss,
Besigheim)*



Automatisch gesteuerte Storen sollten nur wenige Bewegungen pro Tag ausführen. Optimal wäre, sie würden beispielsweise morgens, mittags und abends in die korrekte Position gefahren. Alles andere wird von den Raumnutzern nicht akzeptiert. Wer dies missachtet, muss damit rechnen, dass die Nutzenden entweder unzufrieden sind oder die Automatik manuell übersteuern respektive ganz ausser Betrieb setzen.

Die Storensteuerung sollte mit der Regelung der Heiz- und allenfalls der Kühlanlage vernetzt sein. Sie darf die Storen nur dann aktivieren, wenn wirklich Gefahr für Überhitzung besteht. Sie darf also die passive Solarnutzung im Winter nicht beeinträchtigen. Steuerungen, die stur die Storen absenken, sobald ein bestimmter Strahlungswert überschritten wird, taugen nichts.

Aussenstoren werden oft auch als Blendenschutz «missbraucht». Eine Storensteuerung kann aber nicht erkennen, ob die Nutzenden Blendenschutz, Sichtschutz oder Abdunkelung wünschen. Auch dies führt zu unzufriedenen Nutzern. Besser ist es, zusätzlich zu den Aussenstoren einen inneren, manuell zu bedienenden Blendenschutz zu montieren (Abbildung 2.11). Die Aussenstoren dienen dann einzig dem Schutz vor zu viel Sonnenwärme und werden im Winter nicht aktiviert.

*Abbildung 2.11:
Kombination
Aussen-Lamellen-
storen und innerer
Blendenschutz.
(Foto: M. Hubbuch)*



Einflüsse der Feuchtigkeit

Wie bereits beschrieben, sollte sich die relative Feuchte der Innenluft in gewissen Grenzen bewegen. Im Sommer sollte sie nicht zu hoch sein, um ein Gefühl der Schwüle zu vermeiden und die Wärmeabgabe durch Schwitzen nicht zu behindern. Werte über 65 % rel. Feuchte werden nicht mehr als komfortabel empfunden. Solche Raumluftverhältnisse können entstehen, wenn warme, feuchte Aussenluft mit Klimaanlage abgekühlt, aber nur wenig entfeuchtet wird.

Im Winter, insbesondere bei zu hohem Aussenluftwechsel, kann die Raumluft stark austrocknen. Fällt die rel. Feuchte unter 30 %, wird die Luft als zu trocken empfunden. Um die Feuchte im komfortablen Bereich zu halten, sollte nicht eine energieintensive, teure und hygienisch problematische Befeuchtung eingesetzt, sondern besser der Aussenluftwechsel reduziert werden. Damit sich dann keine problematischen Stoffe und Stäube in der Raumluft anreichern, müssen die Räume bauökologisch korrekt gebaut und ausgestattet sein.

Lüftung

Für eine gute Innenluftqualität braucht es einen optimalen Luftwechsel, und weil heutige Gebäude dicht sein müssen, erfordert dies ein Lüftungskonzept. Prinzipiell lässt sich gute Raumluft auch durch manuelles oder automatisches Lüften über Fenster oder Lüftungsklappen erreichen. Energetisch sinnvoller sind mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder Abwärmenutzung aus der Abluft.

Falsch betrieben können mechanische Lüftungen aber infolge andauernd zu hohen Luftwechsels zu trockener Raumluft führen. Deswegen darf bei Wohnungs- und Bürolüftungen der Luftwechsel nicht zu hoch sein. Am besten sind bedarfsgeregelte Systeme.

Als gute Alternative zu Kippfenstern bewähren sich in Büro- und Schulbauten Lüftungsklappen neben den Fenstern (Abbildung 2.12). Sie können auch bei Regen oder im Sommer über Nacht geöffnet bleiben, ohne die Gefahr, dass Wasser oder grössere Lebewesen eindringen. Damit lässt sich eine freie Kühlung etablieren, was hohen Innentemperaturen entgegenwirkt.

Unabhängig vom Lüftungskonzept sind die sorgfältige Wahl der Materialien für den Innenausbau, die Raumausstattung und Möblierung entscheidend für die Qualität der Raumluft. Es sollten nur natürliche oder bauökologisch geprüfte Materialien gewählt werden. Auf keinen Fall dürfen sie Lösungsmittel, Weichmacher, chemische Zusatzstoffe oder andere Bestandteile an die Raumluft abgeben.

Speicherung von Wärme und Feuchte

Günstig auf das Raumklima wirkt eine Gebäudesubstanz, die viel Wärme speichern kann. Sie hilft, Schwankungen der Raumtemperatur auszugleichen, und zwar nicht nur bei Kälte und Hitze draussen, sondern auch bei temporär intensiver Raumnutzung. Zudem fördern Speicherkapazitäten auch die Nutzung von passiven Solargewinnen.

Damit das funktioniert, müssen massive Bauteile wie Boden, Decke oder Wände mit der Innenluft in direktem Kontakt stehen. Teppiche, Doppelböden, Doppeldecken oder Schallabsorptionsflächen koppeln die Speichermassen thermisch ab.

Ähnliches gilt für die Raumluftfeuchte: Stehen feuchteabsorbierende Materialien in direktem Kontakt zur Raumluft, können sie Schwankungen ausgleichen. Gute Feuchtepuffer sind beispielsweise dicke Gipsplatten oder Lehmverputze.

Abbildung 2.12: Das Gebäude 2226 in Lustenau von Baumschlager Eberle Architekten. Fenster mit seitlichen Lüftungsklappen. (Foto: archphoto.inc)



2.3 Komfortansprüche und Energieverbrauch

Komfort im Innenraum

Menschen stellen recht unterschiedliche Ansprüche an den Komfort in einem Raum. Deshalb wird es nie gelingen, alle vollständig zufriedenzustellen. Vielmehr muss immer mit etwa 5 bis 10 % Unzufriedenen gerechnet werden.

Neben den Komfortansprüchen der Menschen können je nach Raumnutzungen weitere nutzungs- oder produktionsbedingte Ansprüche an das Raumklima bestehen. Diese werden hier nicht weiter behandelt.

Die energierelevanten Komfortansprüche der Raumnutzenden betreffen:

- Die empfundene Raumtemperatur
- Die Beleuchtung und den Sehkombfort
- Die Raumluftqualität hinsichtlich Gerüchen und Luftverunreinigungen
- Die Bewegung der Raumluft
- Die relative Luftfeuchte
- Die Raumakustik bezüglich Schallpegel und Art der Geräusche
- Den Warmwasserverbrauch

Raumtemperatur im Winter

Im Winter muss die Raumtemperatur üblicherweise durch Zufuhr von Heizwärme auf dem erforderlichen Niveau gehalten werden. Die Anforderungen an die Raumtemperatur sind im Vergleich zu früher gestiegen. Bei 20°C fühlen sich heute viele unwohl, eher werden 23°C oder mehr gefordert. Für Wohn-, Schul- und Büroräume sollen deshalb Innenlufttemperaturen von 21°C bis 23°C vorgesehen werden.

Pro Grad höherer Raumtemperatur werden etwa 6 % mehr Heizenergie benötigt. Bei gut gedämmten Bauten liegt der Wert noch höher.

Bezüglich Komfort lässt sich eine tiefere Raumtemperatur mit einer besser dämmenden Schicht Kleidung (mit einem höheren clo-Wert) kompensieren. Auch die Temperatur der Raumbooberflächen beeinflusst das Komfortempfinden deutlich. Sind Aussenwände und Fenster gut gedämmt, dann bleiben sie im Winter ver-

gleichsweise warm. Weil ein Raum mit hohen Oberflächentemperaturen wärmer wirkt als einer mit kalten, kann im Winter die Raumlufttemperatur gesenkt werden. Das spart nicht nur Energie, sondern wirkt auch dem Austrocknen der Raumluft entgegen.

Raumtemperatur im Sommer

Im Sommer muss unter Umständen mechanisch gekühlt werden, was elektrische Energie benötigt. Je tiefer die angestrebte Raumtemperatur, umso höher wird der Energiebedarf. Schon nur deshalb empfiehlt es sich, nicht unter 25°C zu kühlen. Die meisten Menschen empfinden gar 26°C noch als angenehm – sofern sie sommerliche Kleidung tragen (dürfen).

Der Energiebedarf hängt stark vom Kühlkonzept ab. Wird mit Kühldecken bei tiefen Aussenluftwechseln und gut beschatteten Fenstern gekühlt, ist der Energiebedarf tiefer als bei reiner Luftkühlung. Wird die Kälte via freie Kühlung, aus Fließgewässern oder Grundwasser, mit Energiepfehlen oder Erdwärmesonden erzeugt, benötigt das wenig Strom.

Erfahrungsgemäss sind viele herkömmliche Klimaanlageanlagen echte Energieschleudern. Hier kann mit jedem Grad höherer Raumtemperatur sehr viel Strom gespart werden.

Beleuchtung

Für normal genutzte Schul- oder Büroräume hat sich eine Beleuchtungsstärke (horizontal gemessener Lux-Wert) von 500 lx bewährt. Gerade ältere Personen verlangen aber oft nach mehr Licht. Höhere Beleuchtungsstärken werden auch verlangt, wenn der Sehkombfort schlecht ist, das heisst, wenn es im Blickfeld einer Person grosse Leuchtdichteunterschiede gibt.

Wird die Beleuchtungsstärke verändert, folgt der Stromverbrauch etwa linear. Tiefere Beleuchtungsstärken ermöglichen auch einen höheren Anteil an Tageslicht und damit oft weitere Energieeinsparungen. Mit Tageslicht werden von den meisten Personen auch tiefere Beleuchtungsstärken als 500 lx akzeptiert.

Am meisten Strom spart eine Steuerung, die bei über 500 lx das Kunstlicht dimmt oder ganz ausschaltet. Fällt die Beleuchtungsstärke wieder unter diesen Wert, müssen die Nutzer das Kunstlicht wieder manuell zuschalten.

Sehr wenig Energie brauchen moderne LED-Leuchtmittel. Sie können ihre Stärken vor allem dann ausspielen, wenn der Sehkomfort von Grund auf gut ist. Das bedeutet unter anderem: Die Arbeitsplätze müssen korrekt angeordnet sein (rechtwinklig zum Fenster) und es muss ein innerer Blendschutz vorhanden sein.

Raumluftqualität

Eine gute Raumluftqualität lässt sich fast immer mit einem hohen Aussenluftwechsel erreichen. Weil die zugeführte Luft im Winter erwärmt werden muss, braucht das viel Energie – besonders bei natürlicher Lüftung oder wenn die Wärmerückgewinnung nicht effizient arbeitet. Im Sommer ist unter Umständen weitere Energie für die Kühlung und die Entfeuchtung der Aussenluft erforderlich. Hohe Luftwechsel trocknen die Raumluft im Winter zudem aus und verursachen je nachdem zusätzlichen Energiebedarf für die Befeuchtung.

Vorausgesetzt die verwendeten Baumaterialien und die Raumausstattung emittieren keine unerwünschten oder schädlichen Stoffe, dann genügen für Wohnungen und Büros zwischen 25 m³/h und 35 m³/h pro Person.

Bewegung der Raumluft

Je nach Raumlufttemperatur, Aktivität und Bekleidung nehmen Raumnutzer Luftbewegungen («Zugluft») unterschiedlich wahr. Bei Lufttemperaturen unter etwa 23°C werden Luftbewegungen über 0,15 m/s vor allem dann als unangenehm empfunden, wenn sie von der Seite auf eine Person treffen oder wenn die Strömung turbulent ist. Bei Lufttemperaturen ab etwa 25°C werden Luftbewegungen generell als angenehm empfunden, weil sie die Wärmeabgabe des Menschen fördern.

Um Komforteinbussen infolge zu hoher Luftbewegungen zu vermindern, sollten Quellluftdurchlässe nicht in der Nähe von Sitzplätzen platziert und gross genug dimensioniert sein. Bei hoher Kühllast kann eine Mischlüftung mit Drallluft-Auslässen vorgesehen werden. Energetisch besser sind Kühldecken oder thermoaktive Bauteile. Sie ermöglichen einen guten Komfort und gute Raumluftqualität schon mit niedrigen Luftwechselzahlen.

Der Mensch kann nicht unterscheiden, ob Komforteinbussen von Luftströmungen oder von kalten Oberflächen herrühren. Gerade kalte Fensterflächen werden als unangenehm empfunden, weil sie zu Wärmestrahlungsverlusten führen. Deshalb lohnt es sich, genauer abzuklären, was die Gründe für Reklamationen speziell während der kalten Jahreszeit sind.

Relative Luftfeuchte

Wie erwähnt, liegt eine optimale relative Luftfeuchte aus physiologischer Sicht im Winter bei oder über 30%. Kurzzeitig darf dieser Wert auch unterschritten werden. Um bauphysikalischen Problemen durch Kondensation vorzubeugen, sollte sie aber unter 50% bleiben.

Wo eine aktive Befeuchtung unumgänglich ist, sollten 45% rel. Luftfeuchte nicht überschritten werden – sonst verschwendet man Energie. Besser wäre ohnehin, die Schadstoffemissionen im Raum so niedrig wie möglich und damit die erforderliche Aussenluftzufuhr tief zu halten. Dadurch trocknet die Luft weniger aus.

Helfen können bei Lüftungsanlagen Enthalpie-Tauscher, die neben Wärme auch Feuchte zurückgewinnen. Weil sich nicht die gesamte Feuchte aus der Abluft zurückgewinnen lässt, sind auch sie vor allem dann sinnvoll, wenn der Luftwechsel tief gehalten werden kann. Nicht mehr vorhandene Feuchte kann schliesslich nicht zurückgewonnen werden.

Aus medizinischer Sicht ist es kaum nachweisbar, dass tiefe Luftfeuchtwerte die Gesundheit schädigen. Bei sensiblen Personen können aber Beschwerden auftreten, wenn die Luftfeuchte über längere Zeit deutlich unter 30% liegt. Umgekehrt

ist es erwiesen, dass bei Schimmel infolge zu hoher Luftfeuchte Krankheiten auftreten. Auch Befeuchter aller Art bergen Risiken für die Gesundheit, besonders wenn sie mangelhaft gewartet sind. Dann können sie zu Brutstätten für Keime und Schimmel werden, die mit der Raumluft eingeatmet werden.

Im Sommer, besonders bei schwülem Wetter, kann bei den Nutzenden der Wunsch nach Entfeuchtung aufkommen. Eine Luftkühlung mit mechanisch erzeugter Kälte und tiefen Kühlmitteltemperaturen braucht aber viel Energie. Der Grund dafür: Bei Entfeuchtung muss zusätzlich zur fühlbaren Wärme der Luft auch noch die Kondensationswärme des Wasserdampfs abgeführt werden. Zudem arbeiten Kältemaschinen mit abnehmender kälteseitiger Temperatur immer ineffizienter. Und letztlich reduzieren tiefe Temperaturen im Kältenetz auch die Möglichkeiten der freien Kühlung.

Aus diesen Gründen sollte wo möglich auf gezielte Entfeuchtung verzichtet werden. Konkret: Zum Kühlen der Aussenluft sollten die Temperaturen im Kältenetz nicht unter 10°C/16°C liegen. Besser wären 12°C/18°C. Auch damit lassen sich Feuchtespitzen reduzieren und ein akzeptabler Komfort sichern. Kommt hinzu, dass mit solchen Temperaturen auch eine Kühlung über Kühldecken möglich ist.

Raumakustik und Schallpegel

Die heute verbreiteten offenen Arbeits- und Büroräume verlangen nach einer entsprechenden Raumakustik. Sie muss eine Arbeitsumgebung schaffen, die es den Mitarbeitenden ermöglicht, ihre Arbeit effizient zu erledigen.

Eine gute Akustik erreicht man in solchen Räumen meist durch genügend grosse schallabsorbierende Flächen. Um zu verhindern, dass diese Schallabsorptionsflächen die massiven Bauteile thermisch von der Raumluft entkoppeln, braucht es eine umsichtige Planung bei der Akustik und der Innenraumgestaltung. Zu empfehlen sind Teppiche, die keinen Schaumrücken haben und Wärme gut leiten. Auch schallabsorbierende Flächen auf Möbeln und

Trennwänden eignen sich, ebenso Akustikelemente auf der Decke, die Wärme gut leiten.

Eine sehr gute Lösung sind akustisch wirksame Heiz- und Kühldecken. Sie kombinieren preiswert und effizient Heizung, Kühlung und akustische Dämpfung in einem und dies bei hohem Komfort. Eine solche Lösung, auch stille Kühlung genannt, senkt zusätzlich den Energiebedarf der Lüftung, weil diese nur noch den minimalen, hygienisch bedingten Luftwechsel sicherstellen muss.

Warmwasserverbrauch

Sehr stark von den Nutzeransprüchen und -gewohnheiten hängt der Warmwasserverbrauch ab. Er kann ohne Komforteinbussen einfach und wirksam mit wassersparenden Armaturen für Waschtische und Duschköpfe minimiert werden. Wird Geschirr mit einer Spülmaschine statt von Hand gewaschen, spart das nicht nur Wasser und Energie, sondern erhöht auch den Komfort.

Bei Lavabos in WCs kann auf Warmwasser ganz verzichtet werden. Die Komforteinbussen ist gering, die Hygiene sogar einfacher gewährleistet.

2.4 Literatur

- [1] Bundesamt für Energie BFE: Wärmebrückenkatalog. www.bundespublikationen.admin.ch
- [2] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Norm SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden – Fragen und Antworten, Zürich 2017

Anlagen und Systeme

Björn Schrader

3.1 Beleuchtung

Die eBO sollte sich bei der Beleuchtung nicht nur auf das Kunstlicht beschränken. Weil die Nutzung von Tageslicht eng mit dem sommerlichen Wärmeschutz und der Nutzung solarer Gewinne verbunden ist, muss sie integral betrachtet werden. Vorauszuschicken ist zudem, dass sich die Kunstlichtinstallationen meist in der tertiären Struktur des Gebäudes befinden. Deshalb werden sie wesentlich früher erneuert als Bauteile, die sich in der Primär- oder Sekundärstruktur befinden. Die Kunstlichtinstallation bietet also eine niederschwellige Einstiegsmöglichkeit in die eBO.

Hintergrund

Die Relevanz der Beleuchtung zeigt sich schon nur daran, dass ihr Anteil am schweizerischen Elektrizitätsverbrauch bei rund 12 % liegt. Im Dienstleistungsbereich erreicht er sogar rund das Doppelte (Abbildung 3.1). Seit 2015 hat die LED-Technik nach und nach die bestehenden Leuchtmittel wegen ihrer wesentlich höheren Energieeffizienz fast vollständig verdrängt. Eine LED-Lampe verbraucht heute weniger als 15 % der Energie einer Glühlampe.

Bestandsaufnahme Kunstlicht

Vor einer eBO braucht es eine Bestandsaufnahme der zu optimierenden Bereiche.

Hierzu werden einerseits die Anzahl der Leuchten in einem Bereich und deren Systemleistung (Leistung der Lampe und des Betriebsgerätes) erfasst. Andererseits ist es zwingend erforderlich, die Beleuchtungsstärke zu messen und mit den lichttechnischen Anforderungen der Schweizer Norm SN EN 12464-1 zu vergleichen. Diese Werte werden vom Merkblatt SIA 2024 und der Norm SIA 387/4 referenziert.

Da die Auslegung der Beleuchtung oft einige Jahrzehnte zurückliegt, ist es nicht ungewöhnlich, wenn Anlagen teilweise unter- oder überdimensioniert sind. Werden die Leuchten dann 1:1 ersetzt, führt das zu einer nicht normenkonformen oder ineffizienten Anlage. Weiterhin gilt es zu prüfen, ob sich die ursprüngliche Nutzung inzwischen geändert hat.

Im Rahmen der eBO braucht es weiterhin zwingend eine Lichtberechnung. Erst damit kann nachgewiesen werden, dass alle lichttechnischen Quantitätsanforderungen erfüllt sind. Folgende Anforderungen sind relevant und auch in der Norm hinterlegt:

- Beleuchtungsstärke
- Blendungsbewertung
- Gleichmässigkeit der Beleuchtungsstärkeverteilung im Raum
- Farbtemperatur
- Farbwiedergabe

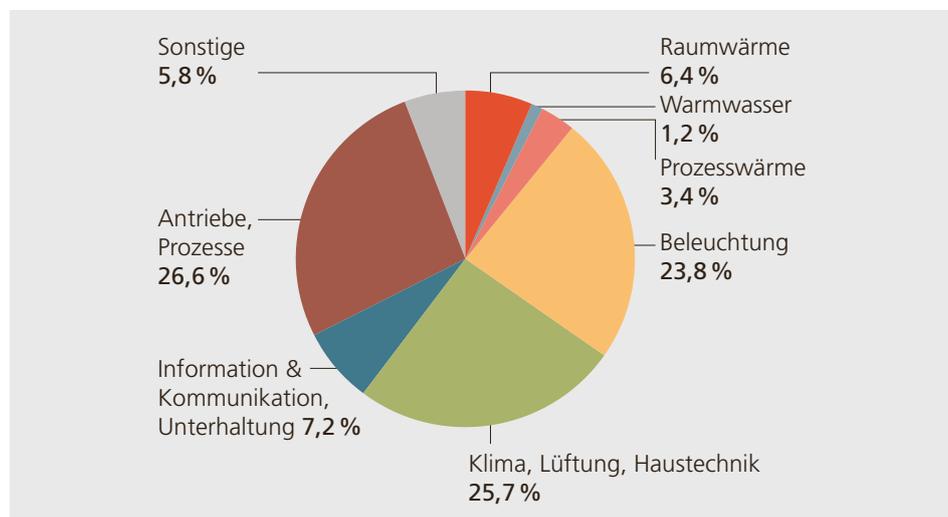


Abbildung 3.1: Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszweck im Schweizer Dienstleistungssektor 2017. (Quelle: BFE 2018)

Ermittlung des Elektrizitätsverbrauchs

Ob ein Bereich für eine eBO relevant ist, wird aufgrund der dort verbrauchten Energie und der Effizienz der Anlage entschieden. Der Elektrizitätsverbrauch pro Raum oder Bereich ergibt sich aus der Anschlussleistung aller Leuchten und der Zeit, während der sie über ein Jahr betrieben werden.

$$E = P \cdot \Delta t$$

E Energie

P Leistung

Δt Zeit

Die Angaben zu den Betriebsstunden pro Jahr sollten nutzungsbereichsspezifisch ermittelt werden. Ist dies nicht möglich, können sie dem Merkblatt SIA 2024 oder der Norm SIA 387/4 für die jeweilige Nutzung entnommen werden. Entsprechend der Nutzung gelten folgende Beleuchtungszeiten und Jahresstunden (ohne Steuerung/Reduzierung durch Präsenz oder Tageslicht):

24 h = 8760 h/a

12 h = 4380 h/a

Schulzimmer = 1180 h/a (SIA 2024)

Industrie/Prod. = 3980 h/a (SIA 2024)

Büro = 1860 h/a (SIA 2024)

Beispiel

Im folgenden Beispiel wird die eBO eines Schulzimmers betrachtet. Zur Reduktion des Elektrizitätsverbrauchs wird zunächst die Einflussgröße Leistung betrachtet.

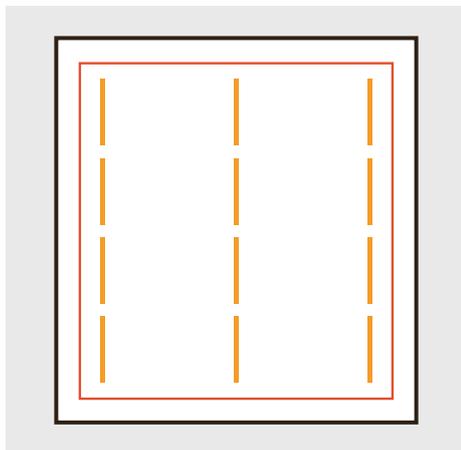


Abbildung 3.2:
Grundriss des Schulzimmers (8 x 8,6 m),
Anordnung der
12 Leuchten.

Weiterhin wird vereinfachend angenommen, dass der bestehende Leuchtentyp A durch einen neuen Typen mit LED ersetzt werden kann.

Ausgangslage ist eine Beleuchtung aus Aufbauleuchten mit je einem Reflektor und einem Raster für die Entblendung. Die Leuchte ist mit zwei Leuchtstofflampen T16 (16 mm Durchmesser) à 35 W bestückt. Der Betriebswirkungsgrad der Leuchte erreicht $\eta_{\text{LOR}} = 63\%$. Der Lichtstrom **einer** Leuchtstofflampe T16/35 W beträgt $\phi_{\text{Lampe}} = 3300$ Lumen.

Die Anschluss- respektive Systemleistung der Leuchte ergibt sich aus der Leistung der Lampen sowie der Verlustleistung des Betriebsgerätes, das für den Anschluss ans 230-Volt-Stromnetz erforderlich ist. Ist die Anschluss-/Systemleistung der Leuchte nicht bekannt, kann die Leistung der Lampen mit mindestens 10 % Zuschlag für das Betriebsgerät verwendet werden.

Elektrizitätsverbrauch der alten Leuchte

Der jährliche Elektrizitätsverbrauch für die Raumbeleuchtung mit der bestehenden Anlage lässt sich mit folgender Formel berechnen:

Steckbrief bestehende Leuchte

	Leuchtmittel	2 x Leuchtstofflampe T16 35W
	Lichtstrom ϕ_{Leuchte}	6600 lm
	Anschlussleistung P	78 W
	Wirkungsgrad η_{LOR}	63 %
	UGR*	< 19

*Der UGR-Wert (Unified Glare Rating, Blendwert) wird für jede Nutzung innerhalb der Norm SN EN 12464-1: 2013 angegeben und darf nicht überschritten werden. z. B. $\text{UGR}_{\text{Büro}} \leq 19$

Steckbrief neue Leuchte

	Leuchtmittel	LED
	Lichtstrom ϕ_{Leuchte}	4590 lm
	Anschlussleistung P	38 W
	Wirkungsgrad η_{LOR}	100 %
	UGR*	< 16

$$E_{\text{Bel}} = n \cdot P_{\text{Leuchte}} \cdot \Delta t$$

$$E_{\text{Bel}} = 12 \cdot 78 \text{ W} \cdot 1180 \text{ h/a}$$

$$E_{\text{Bel}} = 1104,5 \text{ kWh/a}$$

E_{Bel}	Beleuchtungsenergie [kWh]
n	Anzahl Leuchten
P_{Leuchte}	Anschlussleistung der Leuchte [W]
t	Zeit [h/a] oder gemäss SIA 2024 oder SIA 387/4: Jahresstunden [h]

Effizienz der Anlage mit alten Leuchten

Die Effizienz einer Beleuchtung wird über die spezifische elektrische Leistung ρ_L bei der gewünschten Beleuchtungsstärkeverteilung beurteilt. Sie ergibt sich aus der Anschlussleistung aller vorhandenen Leuchten geteilt durch die beleuchtete Fläche des Raumes.

$$\rho_L = \frac{n \cdot P_{\text{Leuchte}}}{A}$$

$$\rho_L = \frac{12 \cdot 78 \text{ W}}{68,8 \text{ m}^2}$$

$$\rho_L = 13,6 \text{ W/m}^2$$

ρ_L	spezifische elektrische Leistung [W/m ²]
A	beleuchtete Raumfläche [m ²]

Die berechnete spezifische elektrische Leistung ρ_L kann anschliessend mit den Vorgaben von SIA 2024 oder SIA 387/4 verglichen werden. Der dort angegebene Grenzwert ist ein Mindestwert, der mit dem heutigen Stand der Technik einfach erreicht werden kann. Der Zielwert hingegen ist ein maximaler Indexwert, der nur mit den technisch besten Komponenten erreicht werden kann. Für die hier betrachtete Anlage gibt die SIA 387/4 Folgendes vor:

■ Grenzwert 11,0 W/m²

■ Zielwert: 7,2 W/m²

Da im Beispiel der Grenzwert überschritten wird, handelt es sich um eine ineffiziente Anlage. Wird sie nur wenige Stunden im Jahr betrieben und ist ihr Anteil am gesamten Energieverbrauch klein, muss anhand von Kriterien abgewogen werden, inwieweit eine Optimierung sinnvoll ist.

Effizienz der alten Leuchte beurteilen

Die Effizienz einer bestehenden Leuchte wird über ihre Lichtstromausbeute η_{Leuchte} ermittelt. Anhand dieses Werts kann sie dann mit neuen Leuchten auf dem Markt verglichen werden. Auf www.toplicht.ch gibt es unter anderem eine Übersicht, die sich hierfür eignet. Sie führt alle Produkte auf, die als Minergie-Modul-Leuchte zertifiziert sind und eine hohe Effizienz bieten. Für das Beispiel gilt:

$$\eta_{\text{Leuchte}} = \frac{(\phi_{\text{Leuchte}} \cdot \eta_{\text{LOR}})}{P_{\text{Leuchte}}}$$

$$\eta_{\text{Leuchte}} = \frac{6600 \text{ lm} \cdot 0,63}{78 \text{ W}}$$

$$\eta_{\text{Leuchte}} = 53,3 \text{ lm/W}$$

η_{Leuchte}	Lichtstromausbeute der Leuchte [lm/W]
P_{Leuchte}	Anschlussleistung der Leuchte [W]
ϕ_{Leuchte}	Lichtstrom aller Lampen in der Leuchte [lm]
η_{LOR}	Wirkungsgrad der Leuchte

Effizienz der neuen Leuchte

Für die folgenden Berechnungen dienen dieselben Formeln wie bei der alten Leuchte, aber es werden die Spezifikationen der neuen eingesetzt.

Lichtstromausbeute der neuen Leuchte:

$$\eta_{\text{Leuchte}} = \frac{4590 \text{ lm} \cdot 1,00}{38 \text{ W}}$$

$$\eta_{\text{Leuchte}} = 120,8 \text{ lm/W}$$

Jährlicher Elektrizitätsverbrauch des Raumes mit der neuen Leuchte:

$$E_{\text{Bel}} = n \cdot P_{\text{Leuchte}} \cdot t$$

$$E_{\text{Bel}} = 12 \cdot 38 \text{ W} \cdot 1180 \text{ h}$$

$$E_{\text{Bel}} = 538,1 \text{ kWh/a}$$

Vergleicht man die alte mit einer neuen Leuchte auf LED-Basis, zeigt sich, dass die Effizienz beim 1:1-Ersatz auf das Doppelte gesteigert respektive der Elektrizitätsverbrauch halbiert werden kann.

Einflussgrösse Zeit

Die bisher betrachtete Optimierung des Elektrizitätsbedarfs beruht nur auf der Veränderung der installierten Leistung. Weiter lässt sich der Verbrauch über die Betriebszeit reduzieren. Hierfür eignen sich beispielsweise sensorgesteuerte Regelungen, welche die Präsenz und das Tageslicht erfassen.

Erfahrungen zeigen, dass sich die Einschaltzeiten durch das Erfassen der Präsenz um 10 bis 70 % reduzieren lassen. In der Praxis hängt dies von der Schaltungsart, der Häufigkeit der Nutzung und der Nachlaufzeit ab.

Bei bestehenden Gebäuden lassen sich im Rahmen einer eBO die Einschaltzeiten der künstlichen Beleuchtung nur begrenzt durch die Nutzung von Tageslicht reduzieren. Grund: Bauteile (Fenster, Storen, Verschattungselemente etc.), die für eine optimale Tageslichtnutzung relevant sind, sind grösstenteils in der Primär- oder Sekundärstruktur des Gebäudes integriert. Sie lassen sich also, wenn überhaupt, nur sehr aufwendig optimieren. Diese Diskrepanz zwischen Neu- und Bestandsbau ist besonders unbefriedigend, weil sich die Einschaltzeiten durch Tageslichtnutzung gemäss SIA 387/4 um bis zu 80 % reduzieren lassen.

Zielkonflikt

Fenster sorgen für Tageslicht, sie schaffen einen Bezug zur Aussenwelt und liefern somit Informationen bezüglich Wetter, Jahres- und Tageszeit. Seit 2019 gilt die Schweizer Norm SN EN 17037 – Tageslicht in Gebäuden. Fenster sind aber auch eng mit den Themen Heizen, Kühlen und Lüften verknüpft. Aufgrund dieser unterschiedlichen Funktionen sind Zielkonflikte vorprogrammiert. Wie sich optimale Bedingungen schaffen lassen, hängt von der Art des Gebäudes, der Raumnutzung und den Bedürfnissen der Nutzer ab. Extrem hohe oder tiefe Glasanteile führen zu ausgeprägten Zielkonflikten.

Nutzerintervention

Will man bei der eBO dennoch die Komponente Zeit bearbeiten, muss man die Nutzenden und ihr Verhalten beeinflussen. Die korrekte manuelle Steuerung von Sonnenschutz und Beleuchtung verbessert nicht nur den Komfort, sondern kann auch den Energieverbrauch für Beleuchtung, Heizen und Kühlen reduzieren. Viel Potenzial bietet die Schulung der Nutzer in der Bedienung des Sonnenschutzes.

Tabelle 3.1: Technische Daten von Leuchtstofflampen. Alle Angaben beziehen sich auf Lampen mit einer Farbwiedergabe CRI = 80 und 3000 oder 4000 K Farbtemperatur.

	Durchmesser [mm]	Länge [mm]	Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Systemleistung mit EVG* [W]	Systemleistung mit KVG* [W]
Leuchtstofflampe T16	16	549	14	1200	17	–
	16	849	21	1900	24	–
	16	1149	28	2600	31,5	–
	16	1449	35	3300	39	–
	16	549	24	1750	27	–
	16	849	39	3100	41,5	–
	16	1149	54	4450	60	–
	16	1449	49	4300	54	–
Leuchtstofflampe T26	16	1449	80	6150	86,5	–
	26	590	18	1350	21	
	26	1200	36	3350	36,5	ca. 44
Leuchtstofflampe T38	26	1500	58	5200	56	ca. 69
	38	590	20	1200	–	ca. 28
	38	1200	40	3000	–	ca. 48
	38		65	4800	–	ca. 76

*EVG: elektronische Vorschaltgeräte, KVG: konventionelle Vorschaltgeräte

LED-Retrofit-Lampen als mögliche Zwischenlösung

Nicht immer ist der Ersatz der gesamten Beleuchtungsanlage wirtschaftlich. Dies gilt gerade dann, wenn die Leuchten noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer stehen, die Lampen aber gewechselt werden müssen.

Dank der Miniaturisierung gibt es heute LED-Technik in derselben Form zu kaufen, in der auch Leuchtstofflampen angeboten werden. Solche sogenannten LED-Retrofit-Lampen passen 1:1 in bestehende Leuchten. Beim Ersatz muss allerdings darauf geachtet werden, dass der Lichtstrom der Retrofit-Lampe im Bereich der zu ersetzenden Leuchtstofflampe liegt. Die Lichtströme der unterschiedlichen Leuchtstofflampen sind in Tabelle 3.1 aufgeführt.

Eine LED-Retrofit-Lampe muss denselben Mindestlichtstrom liefern wie die zu ersetzende Leuchtstofflampe. Zudem muss ihre Farbwiedergabe, also der CRI- oder Ra-Wert, mindestens 80 erreichen. Schliesslich sollte auch die Farbtemperatur derjenigen der bestehenden Lampe entsprechen. Bei den meisten Anwendungen liegt sie zwischen 3000 K und 4000 K.

Da sich die Lichtverteilungscharakteristik der LED-Retrofit-Lampen von jener der Leuchtstofflampen unterscheidet, verändert sich die Lichtlenkung und die Entblendung der bestehenden Leuchte unter Umständen erheblich. Bei Nutzungen, die hohe Ansprüche an die Ergonomie stellen, also etwa Büros, sollte beim Einsatz von LED-Retrofit-Lampen die Expertise eines Lichtplaners eingeholt werden. Selbstverständlich muss der Ersatz auch mit den Vorgaben des Eidgenössischen Starkstrominspektorats (ESTI) konform sein.

Eine Besonderheit sind halbautonome LED-Retrofit-Lampen. Sie verfügen über eine integrierte Sensorik für Präsenz und Tageslicht. Damit lässt sich dann auch die Einschaltzeit ohne externe Sensoren optimieren. Dies wiederum steigert das Optimierungspotenzial gegenüber einem reinen Lampentausch deutlich.



Abbildung 3.3: LED-Retrofit-Lampe konventionell. (Foto: LEDCity AG)



Abbildung 3.4: LED-Retrofit-Lampe mit Sensorik. (Foto: LEDCity AG)

3.2 Transportanlagen im Gebäude

Volker Wouters

Transportanlagen wie Aufzüge, Fahrtreppen und Fahrsteige verbrauchen nach einer Modernisierung bis zu 50 % weniger Strom. Erreichen lässt sich dies durch den Einbau moderner Antriebstechnik und Rekuperatoren sowie durch Optimieren der Beleuchtung, der Steuerung und des Türantriebs.

Standby-Verbrauch senken

Alte Aufzüge verbrauchen bis zu 90 % ihrer Energie im Standby-Modus. Das ist so, weil Antrieb und Tableaus kontinuierlich unter Spannung stehen, damit der Aufzug immer einsatzbereit ist. Zudem verbrauchen veraltete Kabinenbeleuchtungen deutlich mehr elektrische Energie als moderne – die erst noch besser ausleuchten und angenehmere Lichtverhältnisse schaffen.

Sichere Fahrt mit weniger Verbrauch

Neue, getriebelose Antriebe arbeiten energieeffizient und gewährleisten eine ruhige und sichere Fahrt mit verbesserter Anhaltgenauigkeit. Zudem nutzen sich die Komponenten weniger schnell ab als bei Antrieben mit Getrieben. Ein hoher Wirkungsgrad und eine Frequenzregelung senken den Stromverbrauch für eine Fahrt spürbar. Zudem entfallen mit einem getriebelosen Antrieb die Kosten für den Einbau einer zusätzlichen Seilbremse oder einer zusätzlichen Fangvorrichtung.

Rekuperation

Die technisch aufwendigste Massnahme zur Verbesserung der Energieeffizienz ist die Rekuperation. Darunter versteht man ein technisches Verfahren zur Energierückgewinnung, wie es bei Neuanlagen zunehmend Standard ist. Während bei herkömmlichen Aufzügen die Bremsenergie als Wärme verloren geht, lässt sie sich in rekuperativen Aufzügen durch elektrogeneratorische Bremsen teilweise als elektrische Energie zurückgewinnen. Im besten Fall können das bis zu 40 % der Fahrenergie sein.

Auch in bestehenden Aufzügen lassen sich rekuperative Antriebssysteme einbauen. Ob das wirtschaftlich ist, hängt von der Fahrfrequenz, der Last, der Förderhöhe und weiteren Faktoren ab. Folgende Aussage trifft allgemein zu: Je höher das Gebäude und je mehr Fahrten pro Jahr, desto wirtschaftlicher ist der Einbau eines rekuperativen Antriebssystems. Nehmen wir zum Vergleich folgende Beispiele:

Aufzug A hat folgende Eckdaten:

- Nennlast: 630 kg
- Geschwindigkeit: 1,0 m/s
- Hubhöhe: 12 m
- Anzahl Halte: 5
- Anzahl Fahrten pro Jahr: 52 000

Hier lassen sich durch Rekuperation weniger als 4 % der Betriebsenergie sparen. Wenn der Strom 0.2 Fr./kWh kostet, macht das 6.00 Fr. pro Jahr.

Aufzug B hat folgende Eckdaten:

- Nennlast: 1500 kg
- Geschwindigkeit: 3,0 m/s
- Hubhöhe: 76 m
- Anzahl Halte: 20
- Anzahl Fahrten im Jahr: 360 000

Hier können fast 40 % der Betriebsenergie gespart werden oder 1350 Fr./a.

ProEleva: So funktioniert es

Das vom Bundesamt für Energie 2019 lancierte Förderprogramm unterstützt Effizienzmassnahmen mit Fördergeldern bis zu maximal 30 % der Investitionssummen. Es arbeitet mit ausgewählten Aufzugsherstellern als Technikpartner zusammen. Weil die Payback-Zeit länger als vier Jahre dauern muss, können eBO-Projekte nicht unterstützt werden. Förderberechtigt sind aber folgende Massnahmen: der Einsatz neuer, effizienterer Antriebstechnik, die Reduktion von Standby-Verbräuchen sowie die Nachrüstung von Aufzügen mit Rekuperatoren. Lanciert wurde das Programm von Aufzugsherstellern.

Bei Hochhäusern kann der Einsatz einer Zielwahlsteuerung in Betracht gezogen werden. Mit der Zielwahlsteuerung wird den Liftpassagieren die Kabine mittels Anzeigedisplay zugewiesen. Mit dieser Zuweisung lässt sich die Auslastung der Aufzüge optimieren, und nicht benützte Kabinen können in den Standby-Modus versetzt werden. Die Wartezeiten können zugunsten eines tieferen Energieverbrauchs etwas verlängert werden.

Effiziente Beleuchtung

Grundsätzlich immer empfehlenswert ist es, eine veraltete Beleuchtung durch eine neue zu ersetzen. Werden beispielsweise Halogenlampen durch LED ersetzt, reduziert dies den Stromverbrauch für die Beleuchtung um bis zu 80 %. Zudem leben LED-Beleuchtungen ein Vielfaches länger als solche mit älterer Leuchtmitteltechnik wie Halogenlampen.

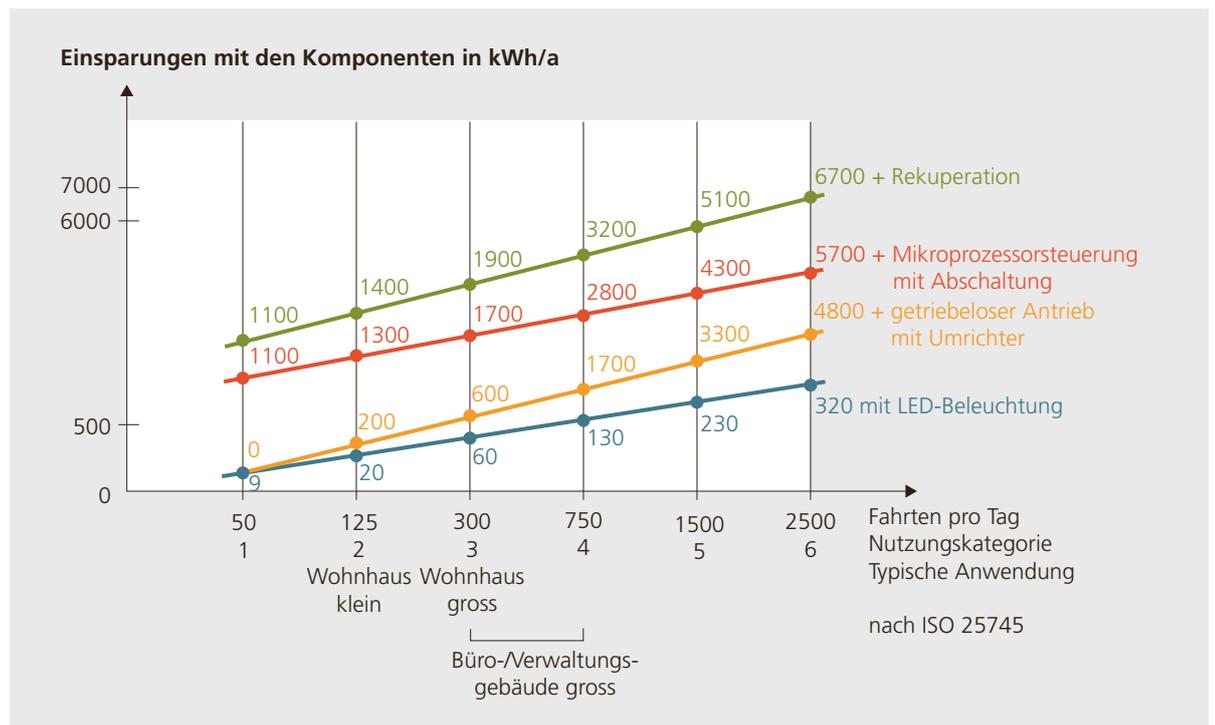
Mit einer Licht-Abschaltautomatik lässt sich ebenfalls elektrische Energie sparen. Je niedriger die Fahrtzahl eines Aufzugs ist, umso wichtiger ist sie. Doch auch in gut frequentierten Geschäftsgebäuden ruhen Aufzüge in der Nacht mehrheitlich. Die Beleuchtung eingeschaltet zu lassen, verursacht unnötigen Energieverbrauch.

Eine Abschaltautomatik lässt sich bei älteren Aufzügen problemlos über die Steuerung realisieren.

Fahrtreppen und Fahrsteige

Um Energie zu sparen, können Fahrtreppen und Fahrsteige mit einer Personendetektion überwacht und ausgeschaltet werden, wenn keine Personen befördert werden müssen (Stop-and-Go-Betrieb). Alternativ kann dann auch nur die Fahrgeschwindigkeit auf 0,1 m/s verringert werden (Schleichfahrt). Mit den beiden Massnahmen lassen sich je nach Gebäudenutzung und Betriebsart bis zu 30 % der Jahresenergie sparen. In der Praxis hängt die Einsparung stark von der Nutzungsintensität ab. Typische Jahresverbräuche von Fahrtreppen und -steigen liegen bei 10 000 bis 20 000 kWh.

Abbildung 3.5: Kumulative Einsparungen pro Jahr aus verschiedenen Optimierungsmassnahmen an Aufzügen. (Quelle: Marcel Ackermann)



3.3 Heizung

Angelo Lozza

Von eBO an Heizungsanlagen kann fast jedes Gebäude profitieren. In kleineren Gebäuden werden meist «Quick-Checks» durchgeführt, bei grösseren und komplexen Anlagen braucht es umfangreichere Betriebsoptimierungsprojekte. Im Zentrum stehen folgende Gebäudekategorien:

- Wohngebäude, Hotels
- Büros
- Heime, Spitäler
- Sportanlagen
- Bildungsstätten

Rund 90 % der Gebäude in der Schweiz wurden vor 1990 erstellt – man befasst sich also oft mit alten Anlagen und Reglern. Das heisst aber nicht, dass das Potenzial dadurch beschränkt ist – im Gegenteil! Wie zahlreiche realisierte Beispiele zeigen, lassen sich oft erstaunliche 10 bis 20 % Energie einsparen. Diese Einsparungen sind meist das Resultat vieler, auch kleiner Einzelmassnahmen. Die Ansatzpunkte für eBO sind vielfältig:

- Oft wurden Heizungsanlagen mit Werks-einstellungen geliefert und nicht an die tatsächlichen Nutzerprofile angepasst.
- Während der Planung waren Betreiber und Mieter unbekannt, es fehlten Kenntnisse über die tatsächlichen Nutzungsanforderungen und Bedürfnisse.
- Anlagen wurden so eingestellt, dass Reklamationen sicher ausbleiben. Dies führt oft zu einem Überangebot an Wärme.

Abbildung 3.6: Vorgehen für Korrektur der Heizkurve; rot: alte Heizkurve, grün: neue Einstellungen. (Methode: Jürg Tödtli)

■ Die Motivation für eBO hat in der Vergangenheit gefehlt.

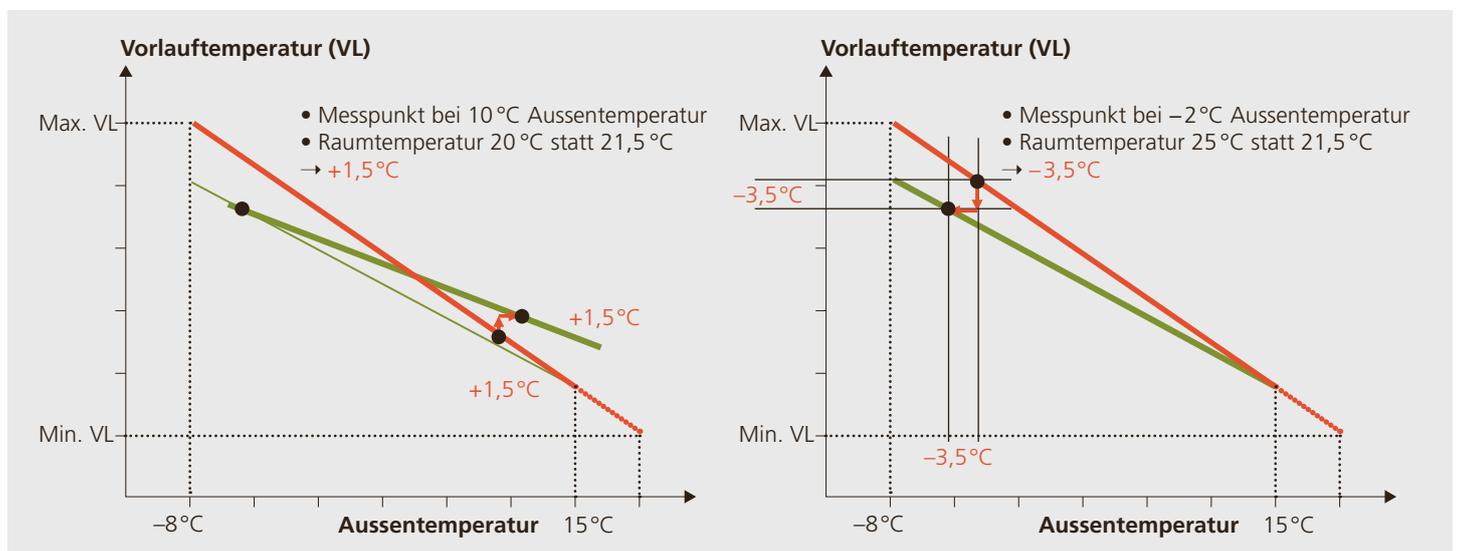
■ Oft gab es gar keinen Auftrag für die fachgerechte Einregulierung der Anlage.

■ Es werden keine «eBO-freundlichen» Anlagen und Bedienoberflächen eingesetzt.

■ Veränderungen der Nutzungsart und -bedingung wie Belegungen der Räume oder andere Nutzungszeiten stellen andere Anforderungen an die Anlagen. Dies bleibt während des Betriebs oft unberücksichtigt.

Verbrauch senken

Zuallererst haben es die Nutzenden selbst in der Hand, den Energiebedarf zu senken. Zu den Massnahmen, die ihnen in einer eBO vermittelt werden sollen, gehören: korrektes Lüften, richtiges Einstellen der Thermostatventile oder der Einzelraumregelung, Heizkörper entlüften und kontrollieren, dass sie nicht mit Gegenständen abgedeckt werden. Undichte Fenster, Türen und Tore sowie Fugen zwischen Bauteilen, etwa zwischen Rollladenkasten und Aussenwand, können meist mit kleinem Aufwand abgedichtet werden. Liftschacht-Entrauchungsöffnungen lassen sich mit Klappen und Steuerung nachrüsten, damit warme Innenluft wegen der Kaminwirkung nicht nach aussen strömt. Ausserdem sollen alle ungedämmten Leitungen und insbesondere Armaturen gedämmt werden.



Organisatorische Massnahmen

Meist liess sich die Temperatur in zeitweise unbenutzten Räumen ohne Komforteinbussen senken. Hierfür bieten sich folgende Massnahmen an:

- Definierte Nutzungszeiten einschränken und Absenkezeiten organisieren (nachts, Wochenende, Ferien).
- Nutzung «verdichten» durch Zusammenlegen und Umdisponieren von Räumen, danach den Absenkebetrieb in den jetzt ungenutzten Gebäudeteilen einführen.
- Maximale Raumtemperaturen vorgeben.
- Betreiber und Nutzende fürs Energiesparen motivieren.

Bedarfsgerecht Heizen

Grundsätzlich steht aber die bedarfsgerechte Regelung im Vordergrund. Erste Instanz sind hier korrekte Einstellungen am zentralen Heizungsregler. Die Grundfunktionen sind – ob topmodern mit Gebäudeleitsystem oder mit alten analogen Reglern – immer dieselben. Bei einer umfassenderen Untersuchung ist es auch sinnvoll, die Genauigkeit der Fühler für die Aussen-, Vor- und Rücklauftemperatur sowie die Uhrzeit am Regler zu prüfen. Eine zu hoch eingestellte Heizkurve macht sich meist nicht gleich bemerkbar. Die Raumthermostaten oder -regler drosseln ja den Durchfluss durch die Heizelemente, sobald die gewünschte Temperatur erreicht ist.

Heizkurve optimieren

Das korrekte Einstellen der Heizkurve braucht wegen der Trägheit des Gebäudes und den vielen Einflüssen, denen es ausgesetzt ist, viel Zeit. Stündliche, tägliche und längerfristige Temperaturmessungen bilden die Basis. Das Vorgehen in der Praxis:

- Repräsentative oder kritische Räume identifizieren: Nordseite, Ecklage, oberstes Geschoss.
- Thermostatventile entfernen oder ganz aufdrehen.
- Wenn möglich Temperatur bei warmem (rund 10 °C) und kaltem (unter 0 °C) Wetter am Tag und in der Nacht messen.
- Während der Messungen die Einwirkung von Fremdwärme, etwa von der Sonne,

von Lampen oder Geräten vermeiden. Die Fenster sollen geschlossen bleiben.

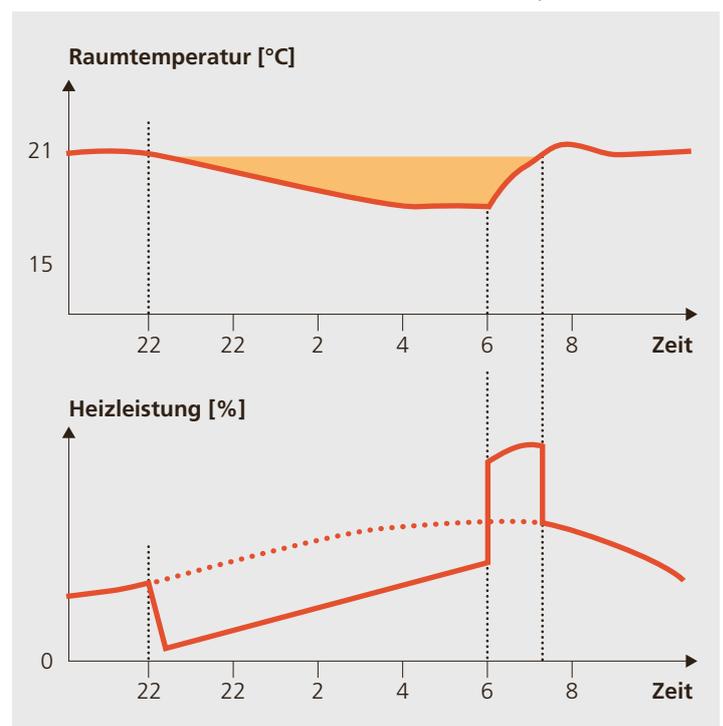
Anhand der Messresultate wird nun die Heizkurve gemäss Abbildung 3.6 neu eingestellt. Dabei wird sie jeweils bei kalten und bei milden Aussentemperaturen korrigiert. Die Soll-Raumtemperatur muss im vornherein mit dem Auftraggeber definiert werden. Sie muss zu Beginn der Nutzungszeit im ungünstigsten Raum erreicht sein. Ist die Temperatur nur in einzelnen Räumen deutlich zu tief, soll das Problem nicht durch Erhöhen der Heizkurve gelöst werden. Stattdessen gilt es, die Situation dort detailliert abzuklären:

- Durchfluss prüfen: Ist der Heizkörper vollflächig warm? Ist er oben warm und unten kalt, ist der Durchfluss zu klein → prüfen, ob die Ventile ganz offen sind. Ist der Heizkörper oben kalt, unten warm → entlüften.

- Raumseitige Umströmung der Heizkörper verbessern: Heizkörper von Versperungen durch Vorhänge, Möbel und Ähnliches befreien.

- Fussbodentemperaturverteilung mit einer Thermokamera messen. Nötigenfalls Durchfluss erhöhen oder Fussbodenheizungsrohre entschlammen.

Abbildung 3.7: Massnahme für einen optimierten Absenkebetrieb bei der Wärmeverteilung über Heizkörper.



■ Hohe Temperaturspreizung am Heizkörper, bei Fussbodenheizung: Durchfluss am Verteiler erhöhen, hydraulischen Abgleich verbessern.

■ Evtl. Umwälzpumpendruck durch Steigern der Drehzahl erhöhen (ist aber nur in den seltensten Fällen das Problem).

Absenkbetrieb

Besonders bei Altbauten und Gebäuden mit kurzer Nutzungsdauer ist eine Nachtabenkung sinnvoll. Oft ist sie zwar am Heizungsregler eingestellt, zeigt aber nicht den erwarteten Effekt und kann optimiert werden.

Die Absenkung ausserhalb der Nutzungszeiten soll möglichst so stark sein, dass zu Beginn der Nutzungsphase die Raumtemperatur im thermisch am stärksten reagierenden Raum wieder erreicht ist. Die Absenkung kann erfahrungsgemäss 2 (bei Heizkörpern) bis 5 Stunden (Bodenheizung) vor Ende der Nutzungszeit beginnen. Ebenso kann sie 2 bis 5 Stunden vor Beginn der Raumnutzung wieder ausgeschaltet werden. Ausschlaggebend ist hier die Speicherfähigkeit des Gebäudes, wel-

che die Dauer der Aufheizphase beeinflusst. Einige Regler besitzen eine selbstadaptierende Regelung und/oder eine Schnellaufheizfunktion. Sie erhöht während der Aufheizphase die Vorlauftemperatur um einige Grade über die Solltemperatur nach Heizkurve (Abbildung 3.7).

Den grössten Nutzen erreicht man mit einzelnen programmierbaren Räumen, also einer Einzelraumregelung. Sie ermöglicht in der Absenkphase das komplette Schliessen der Ventile und in der Nutzungsphase eine bedarfsgerechte Raumtemperatur.

Bei Wärmepumpen gilt es zu berücksichtigen, dass die Jahresarbeitszahl wegen der höheren Temperatur in der Aufheizphase sinken kann.

Einstellen der Sommer-Winter-Umschaltung

Die Umschaltung zwischen Winter- und Sommerbetrieb wird auch als Eco-Betrieb oder Heizgrenze bezeichnet. Bei korrekter Einstellung sorgt sie dafür, dass die Heizungspumpe in der Übergangszeit nicht länger läuft als nötig. Ist sie nicht korrekt eingestellt, geht viel Energie verloren.

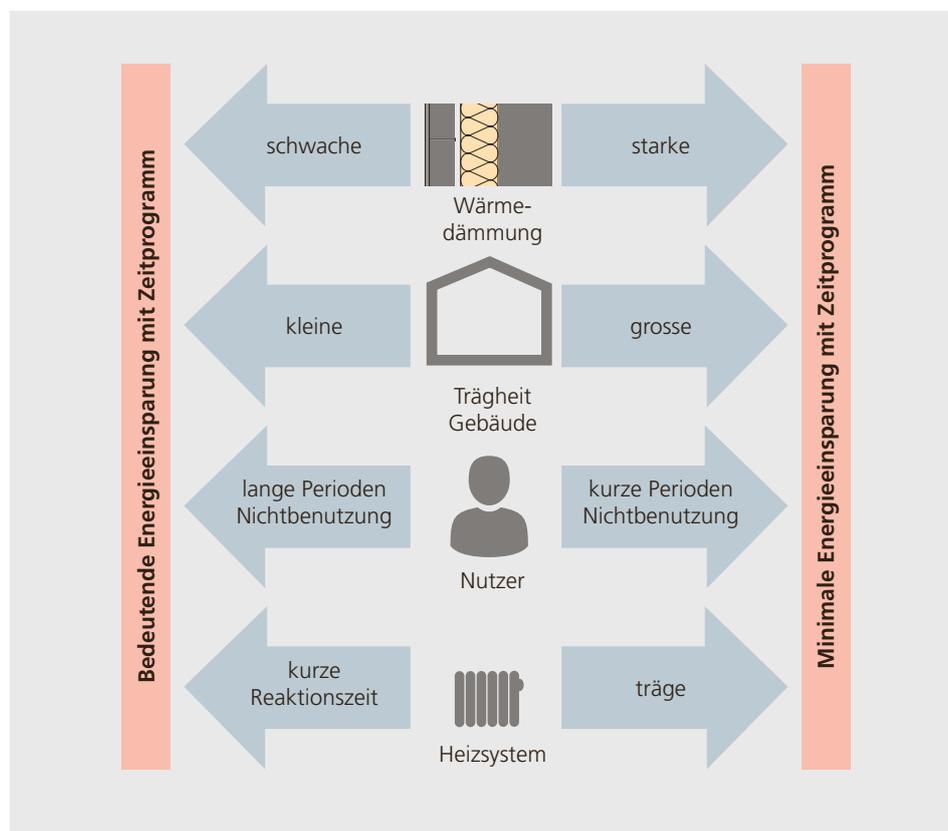


Abbildung 3.8: Wie viel Energie sich durch Nachtabenkung sparen lässt, hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Kriterium ist hier der Aussentemperaturgrenzwert. Er soll in der Regel nicht über 16°C liegen. Konkret soll er so eingestellt sein, dass die Raumtemperatur im thermisch kritischen Raum auch ohne Heizung schon erreicht wird. Übliche Einstellung für die Heizgrenze sind: Tageswert: 12 – 17°C, Nachtwert: 0 – 8°C. Relevant sind hier der Sollwert der Raumtemperatur und die Güte der Dämmung. Es gibt auch Regler, an denen nur ein Grenzwert gewählt werden kann statt je einer für Tag und Nacht. Meist ist dies dann ein Mittelwert über 24 Stunden.

Betrieb von Umwälzpumpen

Oft wird die Pumpendrehzahl bei der Inbetriebnahme zu hoch eingestellt. Deshalb lässt sie sich bei einer eBO meist reduzieren, ohne dass dadurch Räume zu wenig Wärme erhalten (Abbildung 3.9). Bevor die Drehzahl der Pumpe verstellt wird, muss aber die Heizkurvenoptimierung abgeschlossen sein.

Falls nur sehr wenige Räume nicht genügend warm werden, muss wie bei der Heizkurvenoptimierung das Problem in diesen Räumen gesucht werden.

Fernleitung

Verbundleitungen zu anderen Gebäuden in einer Überbauung werden auch als Fernleitungen bezeichnet. An ihnen hängen meist die Verbraucher für die Trinkwarmwasserbereitung und die Raumhei-

zung. Beide Systeme arbeiten mit sehr unterschiedlichen Temperaturen und Betriebszeiten. Oft werden Fernleitungen durchgehend mit 70 bis 80°C und somit ganzjährig mit hohen Wärmeverlusten betrieben.

Die eBO-Massnahme der Wahl ist hier, einen Betrieb mit definierten Ladezeitfenstern für die Trinkwarmwasserspeicher zu etablieren. Typischerweise liefert eine Fernleitung dann für Wohngebäude 3-mal am Tag während 2 Stunden 70°C warmes Wasser. In der übrigen Zeit läuft sie gemäss Heizkurve und ist ab der Heizgrenze ausser Betrieb.

Um die Rücklauftemperatur und den Pumpenstrom bei drehzahlgeregelten Pumpen zu senken, sollten wenn möglich hydraulische Drosselschaltungen mit variablem Durchfluss realisiert werden. Bypässe lassen sich ohne grossen Aufwand demontieren (siehe dazu Abbildung 3.55).

Wärmeerzeugung – Heizkessel

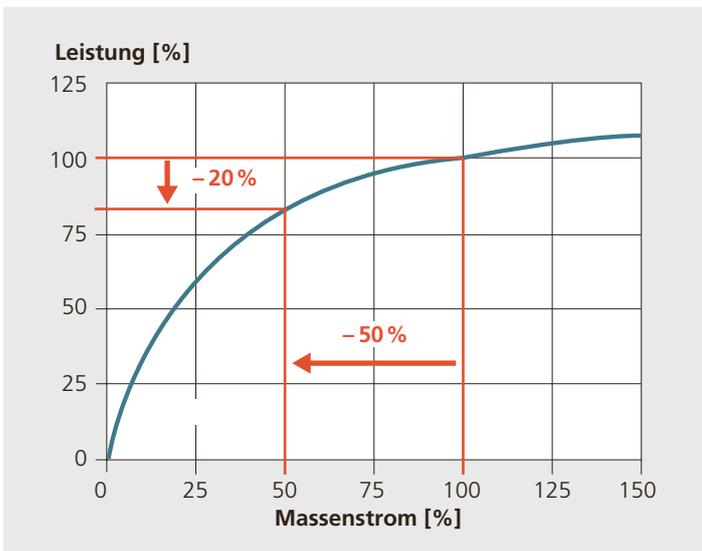
Vorausgesetzt wird hier, dass die Wärmeerzeuger professionell gewartet und unterhalten sind. Hierzu gehören:

- die jährliche Reinigung des Kessels
- die korrekte Einstellung der Verbrennung durch Brenner-Serviceleute
- die Kontrolle der Abgastemperatur
- die Überprüfung der Kamin-Falschlufklappe (gegen das Auskühlen des Heizkessels)
- die Überprüfung der richtigen Grösse der Frischluftöffnung (Tabelle 3.2).

In der Praxis ist vielfach die Brennerleistung zu hoch eingestellt oder der Wärmeerzeuger überdimensioniert. Durch genaues Einregeln auf den erforderlichen Wert lässt sich der Heizkesselwirkungsgrad um 3 bis 5 % verbessern. Das kann durch Anpassen der Brennerdüsen erreicht wer-

Tabelle 3.2: Übersichtsmässige Ermittlung der Grösse von Frischluftöffnungen für Öl- und Gasheizkessel.

Abbildung 3.9: Wärmeabgabe von Heizkörpern: Wird der Massenstrom reduziert, sinkt die Wärmeabgabe bei Heizkörpern mit hohen Vorlauftemperaturen (> 50°C) un-terproportional.



Brennertyp	Frischluftöffnung
Gebälsebrenner (Öl und Gas)	Fläche in cm ² = Leistung in kW x 6
Atmosphärische Brenner (Öl und Gas)	Fläche in cm ² = Leistung in kW x 8,6

Achtung: Die Frischluftöffnung muss für alle Brennerarten mindestens 100 cm² betragen.

den. Diese Anpassung verlängert die Brennerlaufzeit und reduziert die Einschaltzyklen, was wiederum die Verluste verringert. Die tatsächlich erforderliche Brennerleistung (Feuerungswärmeleistung) in kW kann anhand des jährlichen Brennstoffverbrauchs grob ermittelt werden. Hierfür wird der Brennstoffverbrauch in kWh durch die normgerechte jährliche Brenner-Vollbetriebsstundenzahl dividiert. Sie beträgt:

- 2300 h bei Wärmeerzeugern, die nur zum Heizen dienen
- 2700 h bei Wärmeerzeugern, die Heizung und Warmwasser bedienen
- In Höhenlagen über 800 m: + 250 h
- Bei gut gedämmten Gebäuden und Südlagen reduzieren sich die Vollaststunden auf 1500 – 2000 h (ohne Warmwasserbereitung)

Exakt lässt sich die erforderliche Leistung über stündliche Energiezählermessungen und Extrapolation bestimmen (Abbildung 3.10). Gemessen wird beispielsweise morgens, bei tiefen Aussentemperaturen und mit Trinkwarmwassererwärmung. Dieses Vorgehen ist besonders bei komplexen Anlagen mit hoher Leistung (höher als rund 200 kW) sowie Bivalenz- oder Mehrkesselanlagen zu empfehlen.

Abbildung 3.10: Ermittlung der notwendigen Auslegungswärmeleistung im Gebäudebestand mittels Extrapolation von gemessenen Wärmeleistungen.

Heizkesseltemperaturen

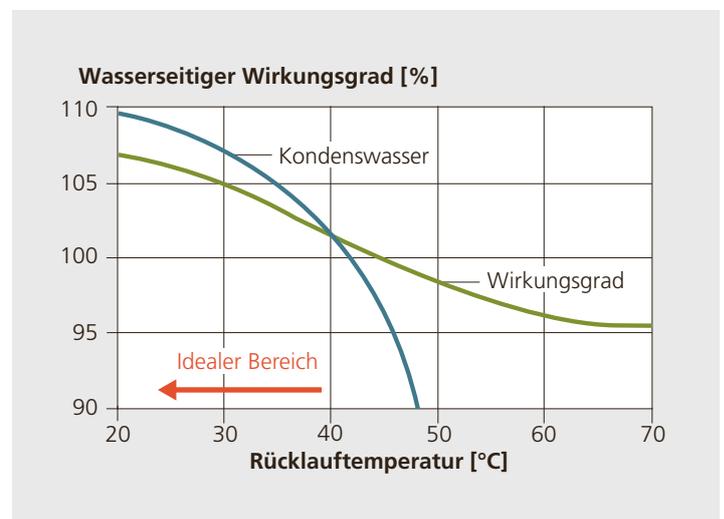
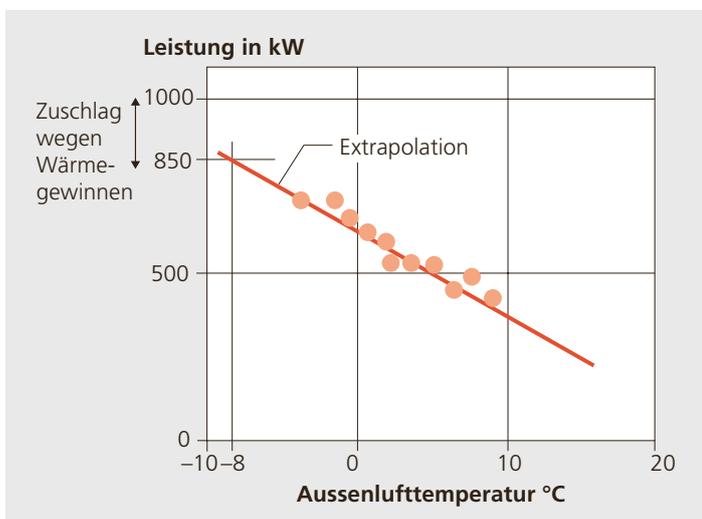
Das Sparpotenzial beim Senken der Heizkesseltemperatur beträgt 1 bis 7 % pro K (mit Abgaskondensation). Der Verbraucher mit der höchsten erforderlichen Vor-

lauftemperatur bestimmt die Solltemperatur des Heizkessels – meist wird das die Trinkwarmwasserbereitung sein. Da die minimale Rücklauftemperatur bei Kesseln ohne Abgaskondensation 55 °C bei Öl und 60 °C bei Gas betragen sollte, darf die Kesseleintrittstemperatur nicht zu tief sein. In der Regel wird das durch eine interne Rücklauftemperaturanhebung sichergestellt. Die Temperaturspreizung zwischen Kesselvor- und -rücklauf darf jedoch nicht zu klein sein, sonst sinkt die Kesselleistung. Allenfalls muss hier der Massenstrom der Kesselpumpe erhöht werden.

Heizkessel mit Abgaskondensation

Eine Standardmassnahme ist heute, dafür zu sorgen, dass der Kessel mit den tiefstmöglichen Rücklauftemperaturen betrieben wird. Das erhöht den Wirkungsgrad. Realistisch sind 3 bis 9 % Effizienzgewinn gegenüber nicht kondensierenden Kesseln. Wenn der vorhandene Kessel für den Kondensationsbetrieb zugelassen ist, ist es besonders wirksam, die Heizkurve so tief wie möglich einzustellen und nach Möglichkeit eine Rücklauftemperatur-Hochhebung zu verhindern (siehe dazu Abbildung 3.55).

Abbildung 3.11: Heizkesselwirkungsgrad bei Gasbrennwertkesseln in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur.



Optimierung Brennerregelung und -laufzeit

Generell gilt:

- Jeder Einschaltzyklus erhöht die Anfahrverluste.
- Auf kleinen Brennerstufen ist die Abgastemperatur tiefer und somit der Wirkungsgrad höher.

Das Sparpotenzial beträgt hier bis zu 2 %. Es lässt sich ausschöpfen, wenn zunächst die richtige Solltemperatur eingestellt wird und die Schaltdifferenz des Kesselthermostaten bei 6 bis 8 K liegt (Abbildung 3.12). Grössere Differenzen führen wiederum zu höheren Heizkesseltemperaturen und zu Verlusten. Die höchste Stufe soll so spät wie möglich einschalten. Eventuell ist es sinnvoll, sie oberhalb einer gewissen Aussentemperatur zu sperren.

Mehrkesselanlagen

Bei Mehrkesselanlagen muss sichergestellt werden, dass nach dem Aufheizbetrieb nur der Kessel in Betrieb ist, der für die Deckung des mittleren Wärmebedarfs notwendig ist. Weitere Kessel werden erst nach einer Einschaltverzögerung zugeschaltet. Hierfür kann entweder die Kesselgeschaltung entsprechend eingestellt werden oder der Spitzenlastkessel wird bei höheren Aussentemperaturen von Hand ausser Betrieb gesetzt.

Wärmepumpen

Bei Wärmepumpenanlagen gilt es, einen möglichst hohen COP anzustreben. Das heisst: Die Temperatur der Wärmequelle muss möglichst hoch und die Heiztempe-

ratur möglichst tief liegen (siehe dazu auch Kap. 3.8). Die Quelltemperatur ist meist gegeben und kann mit eBO-Massnahmen nicht erhöht werden. Allenfalls muss der Wärmetauscher bei Luft-Wasser-Wärmepumpen gereinigt oder auf gleichmässige Anströmung überprüft werden.

Weitere wichtige Massnahmen sind:

- Möglichst tiefe Heizkurve einstellen
- Unter Umständen auf Nachtabsenkung verzichten, besonders bei Bodenheizungen; hier kann die erhöhte Vorlauftemperatur beim Aufheizbetrieb kontraproduktiv sein.
- Zu häufiges Ein- und Ausschalten des Kompressors vermeiden. Sind Speicher installiert: vollständiges Durchladen und Entladen ermöglichen.

Bivalente Anlagen

Bei der eBO wird nach den gleichen Grundsätzen vorgegangen wie bei der Abwärmenutzung von Kälteanlagen (Kap. 3.12). Am wichtigsten ist, dass die Wärmepumpe einen möglichst grossen Teil des Wärmebedarfs abdeckt, wobei der COP nicht zu tief werden soll. Hierfür gilt es zu berechnen, wie hoch der Temperaturhub sein kann, bis die Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe energetisch und finanziell schlechter wird als durch die andere verfügbare Wärmeerzeugung. Das lässt sich mindestens über den Umschaltzeitpunkt bei erreichter maximaler Vorlauftemperatur der Wärmepumpe regelungstechnisch einrichten.

Generell muss wieder darauf geachtet werden, dass die Vor- und Rücklauftemperaturen so tief wie möglich sind. Damit

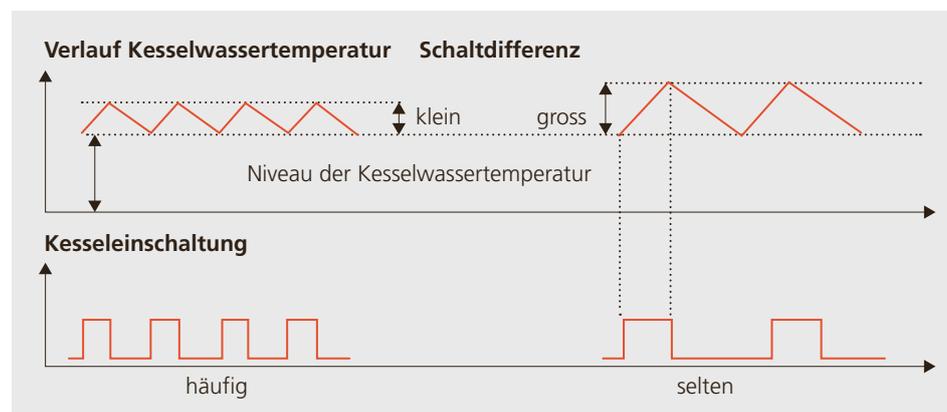


Abbildung 3.12: Auswirkung einer zu kleinen Schaltdifferenz (links): Der Brenner schaltet damit häufig ein und aus, die Verluste steigen.

wird erreicht, dass die Tieftemperatur-Wärmeerzeugung möglichst lange in Betrieb sein kann. Beispielsweise soll verhindert werden, dass eine Gruppe mit geringem Anteil am Wärmeverbrauch ständig eine höhere Temperatur verlangt – zumindest soll dies zeitlich eingeschränkt werden. Typischerweise trifft dies auf Trinkwarmwasserladungen zu.

Starke Temperaturüberhöhungen bei Fernleitungen müssen vermieden werden. Hier gilt es sicherzustellen, dass die Vorlauftemperatur beim entferntesten Gebäude nicht mehr heruntergemischt werden muss. Weiter soll erprobt werden, ob bei Mehrkesselanlagen weitere Heizkessel verzögert einschaltet werden, beispielsweise erst, wenn die Vorlauftemperatur mehr als 3 bis 5 K unter dem geplanten Sollwert liegt.

3.4 Warmwasseranlagen

Bei Warmwasseranlagen steht die eBO meistens in Konkurrenz zur Trinkwasserhygiene. Aber nicht nur die Wassertemperatur, sondern auch der Wasserverbrauch, die Gleichzeitigkeit des Warmwasserverbrauchs und das Abkühlverhalten der Installation beeinflussen die Effizienz.

Um 1975 machte der Wärmebedarf für das Brauchwarmwasser (BWW) nur rund 10 % des Gesamtwärmebedarfs eines Gebäudes aus. Bei den heutigen Anforderungen an die Gebäudehülle sind es jedoch je nach Standard zwischen 60 und 70 %.

Da Nutzungsvereinbarungen zwischen Betreibern respektive Nutzerinnen von Gebäuden und Planern erst seit etwa 2015 verbreitet sind, werden viele Warmwasseranlagen nicht optimal betrieben. Bedürfnisse, Komfort, Gleichzeitigkeiten etc. müssen bei der Planung einer Anlage bekannt sein und demnach auch vor einer eBO.

Weil klare Instruktionen zur Nutzung der technischen Anlagen erforderlich sind, müssen Nutzende, Bauherrschaft und Eigentümerin direkt in die eBO einbezogen werden. Die stärksten Beeinflusser sind und bleiben die Nutzenden mit ihrem Verhalten.

Die Warmwasserversorgung muss vielen Anforderungen gerecht werden. Vor allem soll das Warmwasser mit der gewünschten Temperatur, Menge und den geforderten

Roger Neukom

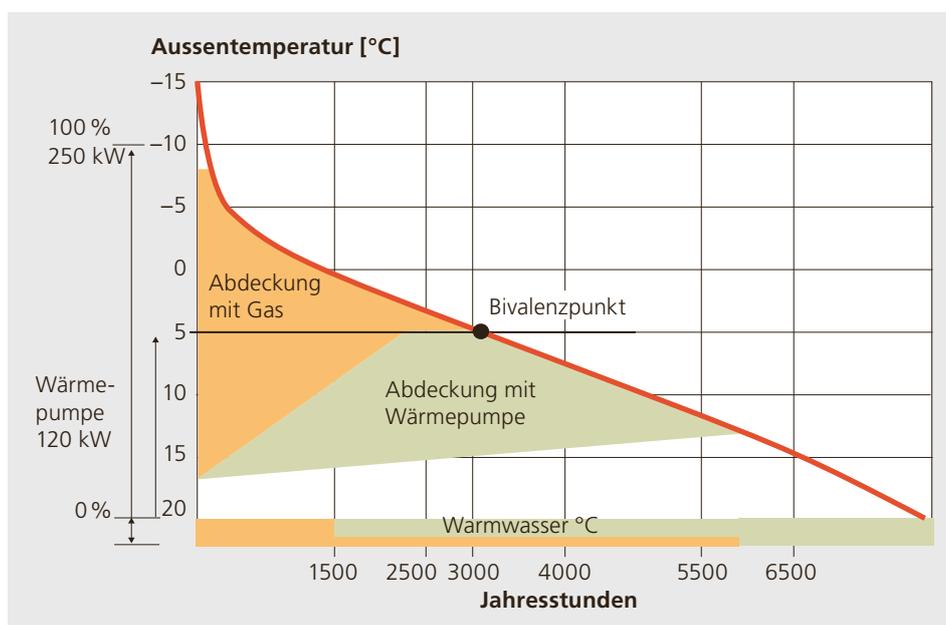


Abbildung 3.13:
Beispiel für den
Bivalenzpunkt im
Summenhäufig-
keitsdiagramm.

Ausstosszeiten zur Verfügung stehen. Auf jeden Fall muss es hygienisch einwandfrei sein. Zudem sollte die Warmwassertemperatur an jeder Auslaufarmatur einstellbar sein. Schliesslich müssen die Anlagen sicher im Betrieb, energieeffizient und umweltschonend sein. Unter Beachtung all dieser Anforderungen haben sich die folgenden eBO-Massnahmen als effizient erwiesen.

Auslaufarmaturen, Zapfstellen

An Auslaufarmaturen respektive Zapfstellen sind folgende Massnahmen möglich:

- Abklären, wo Warmwasser überhaupt nötig ist und wo ohne Probleme auf Kaltwasser umgestellt werden kann. Dies muss mit den Nutzenden auch überprüft und hinterfragt werden, wenn Betriebsabläufe geändert oder Anforderungen angepasst wurden. Werden Warmwasserleitungen abgetrennt, müssen die hygienischen Anforderungen beachtet werden.

- Bei einzelnen, weit vom Warmwasserspeicher oder von zirkulierenden Leitungen entfernten Anlagen empfiehlt es sich zu prüfen, ob sie von der zentralen Warmwasserversorgung abgehängt werden sollen. Für solche Anlagen wird das Warmwasser meist besser von dezentralen Geräten aufbereitet. Unter Umständen kann aber auch komplett darauf verzichtet werden (Abbildung 3.14).

- Wasserverbrauch derart senken, dass nur so viel verbraucht wird wie nötig. Unnötiges Laufenlassen der Armaturen vermeiden; Mittelstellung bei Mischarmaturen so verändern, dass primär nur kaltes Wasser fliesst. Falls die Auslaufarmaturen ersetzt werden sollen, prüfen, ob intelligente berührungslose Armaturen eingesetzt werden können. Damit kann besonders in der Hotellerie und Gastronomie viel Wasser und somit auch Energie gespart werden.

- Mischer verwenden, bei denen in der Mittelstellung ausschliesslich kaltes Wasser läuft. Dies ist besonders sinnvoll, wenn die Mischer bei Wohnbauten ohnehin ersetzt werden sollen (Abbildung 3.15).

- Bei Hallenbädern, Sporthallen oder Grossduschanlagen, die Duscharmaturen mit automatischer Start- und Stoppfunktion haben, müssen die voreingestellten Laufzeiten auf ein vernünftiges Minimum eingestellt werden. Zudem sollte bei Duscharmaturen die Mischwassertemperatur so begrenzt werden, dass keine Übertemperaturen entstehen, die den Energieverbrauch erhöhen. Die Mischwassertemperatur sollte aber nicht an einem zentralen Mischer geregelt werden, sondern erst an den Auslaufarmaturen. Das stellt sicher, dass die nach SIA minimalen Temperaturen im Leitungsnetz eingehalten werden. Zudem ermöglicht es eine bedarfsgerechte, hygienisch günstige und effiziente Nutzung.



Abbildung 3.14:
Manchmal die bessere Lösung: ein dezentraler Wassererwärmer.
Projekt VBZ Tramdepot Zürich-Oerlikon.



Abbildung 3.15:
Einhebelmischer sollen so eingerichtet werden, dass sie im Normalzustand kaltes Wasser liefern. (Bild: Hansgrohe AG)

Verteileitungen

Folgende Massnahmen sind an den Verteileitungen zwischen Zapfstelle und Warmwasserspeicher (WWSP) sinnvoll:

- Leitungen, die nicht mehr benötigt werden, sollen rückgebaut und demontiert werden. Das verringert den Inhalt des Warmwassernetzes, dient der Hygiene und senkt gleichzeitig den Energieverbrauch.

- Gezielter Einbau thermischer Zirkulationsventile, damit die Zirkulation hydraulisch besser abgeglichen ist.

- Elektrisches Warmhalteband überprüfen und bezüglich Temperatur und Betriebszeiten richtig einstellen. Warmhaltebänder brauchen immer ein Steuergerät und müssen fachgerecht in Betrieb gesetzt werden, inklusive Protokoll.

- Sicherstellen, dass die Zapfprofile bei der Programmierung der Warmhaltebänder richtig eingestellt und auf die Nutzungszeiten abgeglichen sind.

- Sicherstellen, dass die Warmhaltebänder das Warmwasser in den Leitungen nicht permanent aufwärmen; es soll nur warmgehalten werden, falls nicht gezapft wird. Deshalb programmieren: Austrittstemperatur am WWSP = Ausschalttemperatur Warmhalteband – immer auch die Hysterese beachten!

- Wenn nötig Dämmungen im zugänglichen Bereich der Untergeschosse und bei den Wohnungsverteilern den Anforderungen der kantonalen Energiegesetze anpassen (Abbildung 3.16). Ausstossleitungen ab dem Wohnungsverteiler sollten nicht gedämmt sein. Ausnahme: Bei Ausstossleitungen für Küchenarmaturen, die länger als 5 m sind, wird empfohlen, gemäss den in der Norm SIA 385/1, Ziffer 5.4.3, vorgesehenen Sonderanforderungen zu dämmen.

- Zirkulationspumpen austauschen, wenn die Lebensdauer erreicht ist und durch energieeffiziente Fabrikate mit Energiekette ersetzen.

- Die Laufzeit der Zirkulationspumpe auf das Nutzerverhalten abstimmen – soweit es die gültigen Normen und Richtlinien zulassen.

Warmwasseraufbereitung

Folgende Massnahmen sind an den Warmwasseraufbereitungen und -erzeugern möglich:

- Ladeleitungen und Stutzen bei WWSP und externen Wärmeübertragern müssen durchgehend (inkl. Armaturen etc.) gemäss kantonalen Energiegesetzen gedämmt sein.

- Im Ladekreis ein Rückschlagventil oder automatisches Absperrventil einbauen, damit keine Gegenstromzirkulation entsteht.

- Temperaturhochhaltung auf der Sekundärseite überprüfen und alternativ zum Dreiwegventil eine drehzahlgeregelte Pumpe einbauen. Dadurch werden tiefe Rücklauftemperaturen auf der Sekundärseite erreicht. Dies wiederum optimiert die Nutzung der Kondensationswärme aus Brennwertkesseln und den Betrieb der Fernwärmeversorgung.

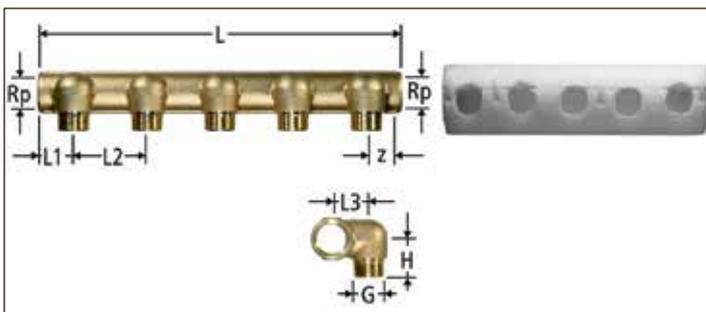
- Die Einbauorte der Ein-/Aus-Temperaturfühler sowie ihre Funktion prüfen und gegebenenfalls anpassen. Anschliessend eine Messung durchführen, um die Warmwasserversorgung bezüglich Nutzerverhalten energetisch zu überprüfen und zu optimieren.

- Leistung der Wärmetauscher (intern und extern) messen mit zwei Temperaturfühlern, Stoppuhr und Volumenstrommessung.

- Speicher entkalken, Opferanoden austauschen, wenn ihre Lebenserwartung erreicht ist.

- Anzahl Speicher bei grossen Anlagen reduzieren, wenn aufgrund des Nutzerverhaltens (Verbrauch) während der letzten Jahre zu grosse Mengen an Brauchwarmwasser mit Nenntemperatur bereitgestellt wurden. Ob dies der Fall ist, muss vorab mit Messungen überprüft werden. Dabei sollen Volumen und Stundenspitzen sowie die optimalen Ladezyklen nachgewiesen werden.

Abbildung 3.16:
Auch Wohnungsverteiler für Warmwasser sollen gedämmt sein.
(Quelle: R. Nussbaum AG)



Grundsätzliches

Viele Warmwasserspeicher werden noch immer mit mehr als 60°C betrieben. Das erhöht nicht nur die Energiekosten, sondern beschleunigt auch die Verkalkung. Zudem sind mehr als 60°C in vielen Fällen gar nicht nötig. Deshalb gilt: Konventionelle Warmwasserspeicher sollten auf 60°C, aber nicht höher erwärmt werden. Bei Spitälern, Alters- und Pflegeheimen müssen die einschlägigen Richtlinien beachtet werden. Sollte nach der Reduktion auf 60°C der Warmwasserbedarf nicht mehr gedeckt werden können, müssen weitere Mass-

nahmen geprüft werden. Allenfalls genügt es, die Ladezyklen zu erhöhen und so mehr Warmwasser pro Tag bereitzustellen. Es empfiehlt sich aber nicht, das Volumen des WWSP ohne eine vergleichende Energiebedarfsberechnung zu erhöhen – relevant sind hier die Oberflächenvergrößerung, die Kosten und die Hygiene. Schliesslich soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, dass die regelmässige Wartung der Warmwasserversorgungsanlage, vom WWSP bis zu den Auslaufarmaturen, durch Fachleute schon ganz entscheidend zur Optimierung beiträgt.

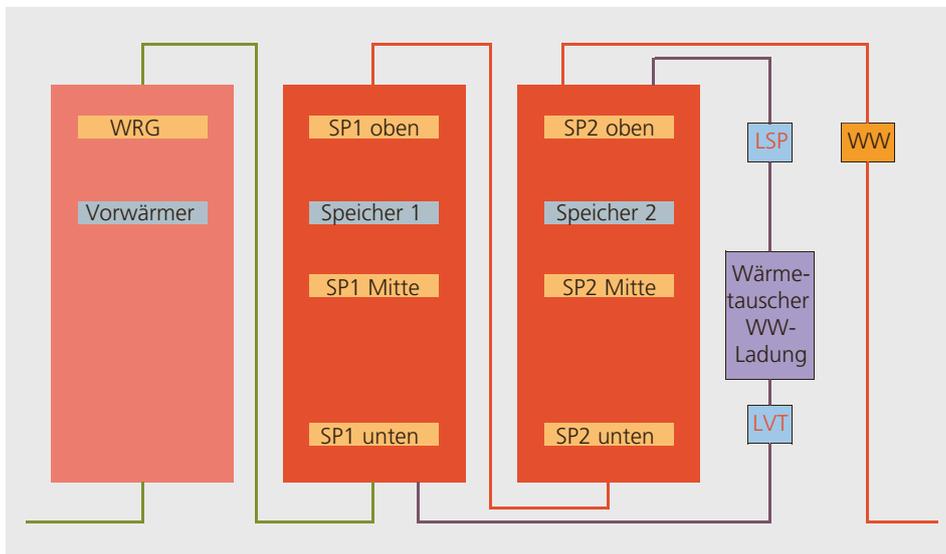


Abbildung 3.17: Schema für Messungen an einer Warmwasserversorgung. (Quelle: S. Murchini, Büro für Messtechnik)

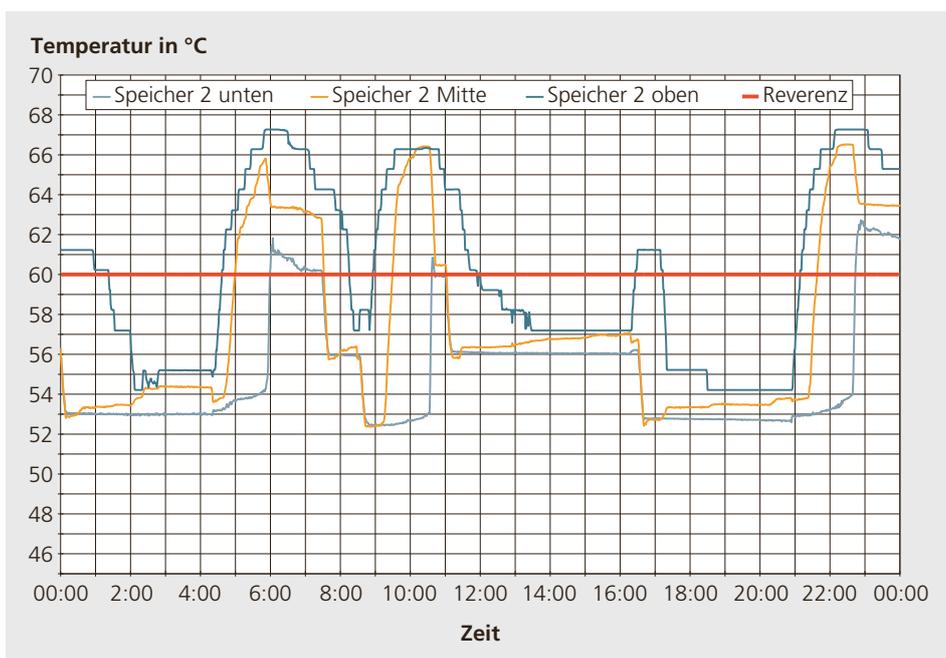


Abbildung 3.18: Temperaturverlauf im Warmwasserspeicher 2 (SP 2); rote Linie = Solltemperatur. (Quelle: S. Murchini, Büro für Messtechnik)

3.5 Sanitäre Anlagen

Bei Sanitäranlagen steht die eBO meistens auch in Zusammenhang mit dem Wasserverbrauch. Trinkwasser ist ein Lebensmittel und ein zunehmend kostbares Gut. Die Aufbereitung von See-, Quell- und Grundwasser ist je nach Verfahren aufwendig und energieintensiv. Deshalb sollte bewusster mit Wasser umgegangen und möglichst wenig verbraucht werden. Auch die Wartung der Sanitäranlagen ist zentral. Wird sie regelmässig und von Fachleuten erledigt, laufen die Anlagen hygienisch einwandfrei und sparen Energie.

WC-Anlagen

Knapp 30 % des Wasserverbrauchs wird in der Schweiz für das Spülen der WCs benötigt (Abbildung 3.19). Hierfür wäre eigentlich kein teuer aufbereitetes Trinkwasser nötig. Regenwassernutzungsanlagen für Wohnbauten lassen sich aber in der Regel nicht in vernünftiger Zeit amortisieren. Deshalb ist es meist keine Option, kleine und mittelgrosse Anlagen im Rahmen einer eBO damit nachzurüsten. Dies hängt insbesondere mit den tiefen Wasserpreisen, dem geringen Regenwasseranfall und dem grossen Speicherbehälterbedarf zusammen. Hingegen lässt sich ohne grössere Komforteinbusse die Wassermenge in den Spülkästen von 9 auf 6 l reduzieren. Dies kann einfach durch Einstellen des Schwimmerventils im Spülkasten bewerkstelligt werden.

Waschmaschinen

Wenn immer möglich, sollten beim Waschen Spar- oder Kurzprogramme genutzt werden. Sie sparen Zeit, Energie und Wasser. Muss eine Waschmaschine altersbedingt ersetzt werden und ist eine Regenwassernutzungsanlage vorhanden, soll geprüft werden, ob sich die neue Maschine mit vernünftigem Aufwand dort anschliessen lässt. Viele neue Waschmaschinen haben zwei Kaltwasseranschlüsse. Den zweiten braucht es, weil für den letzten Spülgang stets Wasser aus dem Trinkwassernetz verwendet wird. Der Ersatz reduziert den Wasserverbrauch meist markant – im Vergleich zu 10 Jahre alten Maschinen brauchen neue nur noch etwa halb so viel.

Geschirrspülmaschinen

Wichtig ist, dass Geschirrspüler nur eingeschaltet werden sollen, wenn sie vollständig befüllt sind. Das reduziert die Betriebsstunden und spart Wasser sowie Strom. In der Schweiz sind die meisten Haushaltsgeschirrspüler am Kaltwasser angeschlossen. Mit dem Einbau eines Doppelventils vor dem Geschirrspüler könnten sie aber auch ohne Weiteres ans Warmwasser angeschlossen werden. Das spart elektrische Energie für das Erwärmen des Wassers im Geschirrspüler.

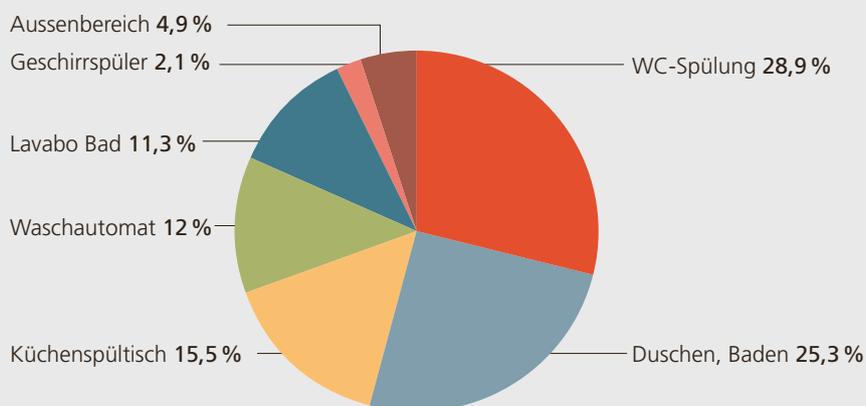


Abbildung 3.19:
Wasserverbrauch in
der Schweiz.
(Quelle: SVGW)

Wasserspardüsen an Auslaufarmaturen

Beim Einsatz von Wasserspardüsen an den Auslaufarmaturen muss darauf geachtet werden, dass durch den reduzierten Volumenstrom keine Probleme entstehen. Besonders bei Duschbrausen können Wasserspandüsen zu Druck- und Temperaturschwankungen führen. Es wurde auch festgestellt, dass Personen mit längerem, dichtem Haar bei reduziertem Durchfluss oft mehr Wasser brauchen, um das Shampoo aus den Haaren zu spülen als bei vollem. Zudem wird davon abgeraten, in der Küche Wasserspandüsen einzubauen.

Bei Waschtischen hingegen haben sie sich sehr bewährt. Es muss aber darauf geachtet werden, dass bei grossen Leitungen in der Kellerverteilung oder der Steigzone kein verstärktes Keimwachstum infolge des reduzierten Durchflusses entsteht.

Enthärtungsanlagen

Generell soll geprüft werden, ob Enthärtungsanlagen wirklich erforderlich sind oder für die künftige Nutzung überhaupt noch benötigt werden. Hierbei hilft das SVGW-Merkblatt W 10027 (Juni 2015). Ist eine Enthärtungsanlage erforderlich, werden folgende Massnahmen geprüft:

- Sicherstellen, dass keine Gartenventile via Enthärtungsanlage versorgt werden.
- Die Regeneration generell, besonders aber bei zu grossen Anlagen möglichst auf 7 Tage einstellen. So kann Wasser und Salz gespart werden. Bei älteren Anlagen ist Regeneration nicht über Volumenstrom (Durchfluss) geregelt, sondern nur über die Zeit. Deshalb die Zwangsregeneration immer auf 7 Tage einstellen.
- Restwasserhärte für Standardapparate auf 12 bis 15° französische Härte einstellen, wenn keine speziellen Anforderungen gelten. Oft ist sie mit weniger als 12° französischer Härte zu tief eingestellt. Das braucht mehr Enthärterkapazität, Salz und Wasser für die Regeneration.

Druckerhöhungsanlagen (DEA)

Bei Druckerhöhungsanlagen empfehlen sich folgende Massnahmen:

- Volumenstromspitze bedarfsgerecht und nicht theoretisch auslegen. So können die Pumpen der DEA energetisch optimiert laufen. Anschliessend kann die Anlage auf Basis von Messungen optimiert werden.
- Bei älteren Anlagen prüfen, ob es überhaupt eine DEA braucht. Dies ist nur dann der Fall, wenn der Vordruck nicht reicht, um die Bedürfnisse der Nutzenden zu erfüllen. Herausfinden lässt sich das einfach über die Betriebsstunden der DEA.
- Im Weiteren sind viele Druckreduzierventile (DRV) statt auf 5 bar Nachdruck nur auf 4 bar eingestellt. Grundsätzlich soll darauf geachtet werden, dass der maximale Ruhedruck von 5 bar durch die richtige Einstellung des Druckreduzierventils genutzt werden kann.
- Prüfen, ob Druckerhöhungspumpen mit hohen Laufzeiten mit einem Frequenzumformer nachgerüstet werden können. Wenn aber die Druckerhöhungspumpe bereits ihre Lebenserwartung erreicht hat, soll nicht nachgerüstet werden, sondern gleich ein neues Gerät mit integriertem Frequenzumformer eingesetzt werden.

Kaltwasserleitungen

In zugänglichen Bereichen der Untergeschosse und bei Wohnungsverteilern sollen die Kaltwasserleitungen gedämmt werden, falls sie es noch nicht sind. Ist die Dämmung schwächer als die kantonalen Vorschriften verlangen, soll nachgedämmt werden. So erwärmt sich das Kaltwasser weniger rasch, und die Ausstosszeiten verkürzen sich. Gemäss Norm SIA 385/1 [1] und Regelwerk SVGW [2] darf stagnierendes Kaltwasser nicht wärmer als 25 °C werden.

Filter

Wenn es in der Sanitärverteilung Filter braucht, dann sollten es unbedingt rückspülbare sein. Patronenfilter müssen gemäss Regelwerk des SVGW [2] alle 6 Monate ersetzt werden. Rückspülbare Filter reduzieren also die Instandhaltungskosten erheblich, müssen aber auch regelmässig gespült werden.

Systemtrenner

Im Rahmen einer eBO soll geprüft werden, ob Systemtrenngeräte gemäss Regelwerk des SVGW [3] erforderlich sind. Wenn nicht, sollen sie ausgebaut werden. Das spart Betriebskosten, weil bei solchen Geräten unter anderem eine jährliche Wartung vorgeschrieben ist.

Gewerbliche Kälte, WRG Brauchwarmwasser

Ältere Kälteanlagen führen die Abwärme noch über eine Kühlung mit Trinkwasser in die Kanalisation ab. Dies ist heute nicht mehr zulässig. Alternativ können solche Anlagen eventuell mit einer WRG ausgerüstet werden, die beispielsweise das Trinkwasser vorwärmt. Dort, wo schon eine WRG vorhanden ist, soll geprüft werden, ob sie funktioniert und richtig in die Warmwasserbereitung eingebunden ist.

Abwasserhebeanlagen insbesondere bei FEKA-Anlagen

Die Steuerung inkl. der Schaltbirne (Niveauregler) von Abwasserhebeanlagen muss periodisch auf ihre Funktion überprüft werden. Dabei kann die Anlage auch gleich auf Verschmutzung (Pumpensumpf) geprüft und bei Bedarf gereinigt werden. Das verbessert die Effizienz. Zur Kontrolle eignen sich separate Stromzähler bei Abwasserhebeanlagen.

WRG aus Druckluft

Bei bestehenden Druckluftherzeugern findet man immer wieder Kühlungen, die mit Wasser aus dem Trinkwassernetz betrieben werden. Dies ist heute nicht mehr zugelassen, weil es unnötig kostbares Trink-

wasser verbraucht und es ungenutzt der Abwasserreinigungsanlage zugeführt. Ausnahmen sind möglich, wenn es sich dabei um eine Notkühlung mit beschränkter Anzahl Stunden pro Jahr handelt.

Bestehende Druckluftherzeuger lassen sich häufig bei verhältnismässig kleinem Aufwand mit einer WRG nachrüsten (Abbildung 3.20). So kann die Wärme genutzt werden, die sonst über einen Fortluftkanal ins Freie geführt wird. In der Praxis wird die Abwärme dann via einen Plattenwärmetauscher, beispielsweise einem WRG-Speicher für Brauchwarmwasser, zugeführt. Dadurch werden erfahrungsgemäss etwa 80 % der Abwärme für das Brauchwarmwasser nutzbar (Abbildung 3.43 auf Seite 70). Aus Sicht einer eBO ist das sehr wirtschaftlich und sinnvoll. Beim Umrüsten auf eine WRG muss aber immer darauf geachtet werden, dass die zurückgewonnene Wärme auch abgenommen wird. Das ist in der Regel immer dann der Fall, wenn viel Warmwasser verbraucht wird. Grundsätzlich gilt es, den Einfluss der WRG auf die Temperaturschichtung des gesamten Warmwassers in allen Speichern zu beachten.

Grossküchen

In Grossküchen von Hotels, Restaurants, Verwaltungsgebäuden etc. muss mit den Nutzenden abgeklärt werden, wie und wo die Anzahl der Zapfstellen und die Volumenströme reduziert werden können. Im Weiteren sollten nur die Apparate mit enthartetem Wasser versorgt werden, bei denen dies der Hersteller oder Gastroplaner wirklich verlangt. Enthärtetes Wasser ist mehr als doppelt so teuer wie unbehan-

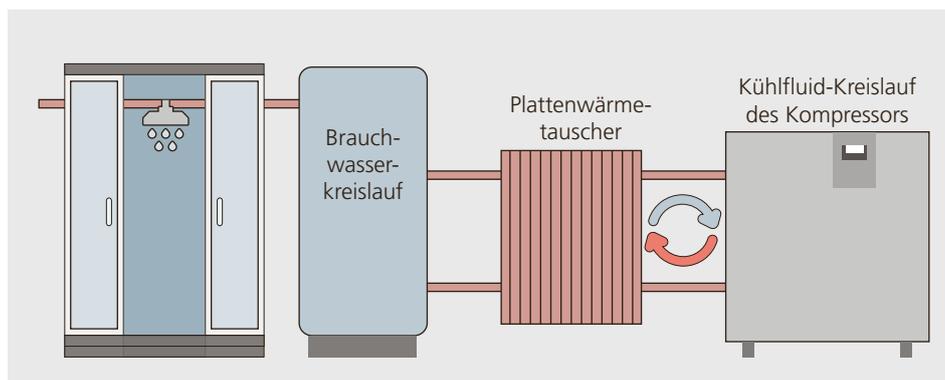


Abbildung 3.20:
Schematisch Einbindung der WRG einer Druckluftanlage in die Warmwasserversorgung.

deltet und sollte massvoll eingesetzt werden. In der Praxis werden Gläserspülautomaten oft mit Osmosewasser betrieben, weil man sich den Aufwand für das Nachtrocknen der Gläser sparen will. Wirtschaftlich kann das durchaus sinnvoll sein.

Bewässerungsanlagen

Anlagen für die Bewässerung von Sportplätzen, Golfplätzen, aber auch für die Landwirtschaft brauchen sehr viel Wasser. Energetisch sinnvoll ist es, solche Anlagen wenn nötig mit Zeitschaltuhren nachzurüsten. Dazu gehört natürlich auch, dass die Uhren richtig programmiert werden. Es soll aber hinterfragt werden, ob die verbrauchten Wassermengen wirklich nötig sind. Zudem soll sichergestellt werden, dass die Anlagen nicht vor einem Regen oder Gewitter unnötig laufen. Wirtschaftlich ist es auch sinnvoll, Unterzähler an den Entnahmestellen zu installieren. So lässt sich vermeiden, dass auch noch Abwasserkosten anfallen.

Regenwassernutzungsanlagen

Im Rahmen einer eBO soll die Steuerung von bestehenden Regenwassernutzungsanlagen richtig eingestellt werden. Es soll grundsätzlich nur Trinkwasser nachgespeist werden, wenn dies zwingend nötig ist und nicht schon im Voraus als Reserve. Hierfür muss der Schwimmerschalter «Notspeisung Ein» tiefer eingestellt und beim nächsten Regen überwacht werden. Die Anlage muss regelmässig gewartet (Filter etc.) werden.

3.6 Lüftung

Nutzungszonen

Je nach Nutzung muss eine Lüftung unterschiedliche Aufgaben erfüllen, um die Nutzenden zufriedenzustellen. Üblicherweise geht es dabei um Folgendes:

- Versorgen des Raums mit Frischluft
- Abführen geruchsbildender Gase
- Zu- oder Abführen von thermischen Raumlasten
- Zu- oder Abführen von Raumluftfeuchtigkeit
- Abführen von Schadstoffen in der Raumluft
- Bereitstellen von Luft, die den Anforderungen von industriellen Prozessen genügt.

Zum Abdecken der Nutzerbedürfnisse muss eine Lüftungsanlage mindestens eine der sechs Anforderungen erfüllen.

Wie gut die Anlage die Anforderungen erfüllt, wird über zugehörige Messgrössen ermittelt. Die relevanten Messgrössen bei Lüftungen sind:

- CO₂-Konzentration
- VOC-Konzentration
- Raumlufttemperatur
- Raumluftfeuchtigkeit
- Schadstoffkonzentration

Den Messgrössen sind je nach Nutzungsart Grenzwerte per Gesetz, aus Normen, Richtlinien oder Zielwerten seitens des Gebäudeeigentümers zugeordnet. Aus den einzuhaltenden Werten lässt sich die erforderliche Luftmenge pro Nutzungszone berechnen (Tabelle 3.3).

In der Praxis stimmen die ursprünglich in der Planung festgelegten Luftmengen oft nicht mit den effektiven Bedürfnissen der Nutzer überein. Nicht selten ist sie zu hoch. Tabelle 3.3 ordnet die relevanten Messgrössen den Grenz- respektive Zielwerten aus den Normen zu und liefert die nötigen Formeln für die Berechnung. Gibt es für eine benötigte Messgrösse keinen installierten Fühler, wird sie mit mobilen Sensoren über eine aussagekräftige Messperiode via Datenlogger erfasst. Die grafische Darstellung der Messgrössen im Behaglichkeits-

Matthias Balmer

bereich zeigt allenfalls vorhandene Abweichungen von den Vorgaben (Abbildung 3.22).

Über die richtige CO₂-Konzentration in den Räumen wird oft debattiert. Abbildung 3.21 zeigt, welchen Einfluss die Wahl des CO₂-Grenzwertes auf die Förderenergie einer Lüftung hat. Dabei wird deutlich, dass die maximal erlaubte CO₂-Konzentration massvoll aber kritisch für die jeweilige Raumnutzung beurteilt werden muss.

Nutzerverhalten und Feuchte

Die Nutzer müssen darauf sensibilisiert werden, welchen Einfluss ihr Verhalten auf die Behaglichkeit im Raum und den Energiebedarf hat. Das Öffnen der Fenster während der Heizperiode verringert beispielsweise die Raumluftfeuchte. Ebenso sinkt sie, wenn die Raumtemperatur erhöht wird. Hierzu einige Eckdaten:

■ Der jährliche Wärmebedarf für die Lufterneuerung einer Person (bei 30 m³/h) beträgt 25 bis 50 kWh, wenn die Zulufttemperatur maximal 20°C warm sein soll (Basis: Stundenwerte Zukunftsszenario IPCC

Anforderung Nutzungszone	Messgröße	Einheit	Grenzwerte aus	Berechnung Luftmenge in m ³ /h	Berechnung Messgröße
Frischlufbedarf	CO ₂ -Konzentration Raum	ppm	SIA 180:2014, SIA 382/1:2014	$\dot{V}_P = \frac{\dot{K}}{k_{RAL} - k_{AUL}} \cdot n_P$	$k_{RAL} = \frac{\dot{V}_P \cdot k_{AUL} + \dot{K} \cdot n_P}{\dot{V}_P}$
Abfuhr von geruchsbildenden Gasen	Mischschgasanteil (VOC = Volatile Organic Compounds)	ppm	Nutzerangaben	$\dot{V}_G = \frac{G}{C_{max} - C_{AUL}}$	$C_{max} = \frac{\dot{V}_G \cdot C_{AUL} + G}{\dot{V}_G}$
Zu- oder Abfuhr von thermischen Raumlasten	Raumlufttemperatur	°C	SIA 180:2014 MB SIA 2024:2015	$\dot{V}_Q = \frac{\dot{Q}_{Raum}}{\rho \cdot c_p \cdot (t_{ZUL} - t_{RAL})}$	$t_{RAL} = t_{ZUL} - \frac{\dot{Q}_{Raum}}{\dot{V}_Q \cdot \rho \cdot c_p}$
Zu- oder Abfuhr von Raumluftfeuchtigkeit	Raumluftfeuchtigkeit	% r. F.	SIA 180:2014, SIA 382/1:2014 MB SIA 2024:2015	$\dot{V}_W = \frac{\dot{W}_{Raum}}{\rho \cdot (x_{ZUL} - x_{RAL})}$	$x_{RAL} = x_{ZUL} - \frac{\dot{W}_{Raum}}{\dot{V}_W \cdot \rho}$
Abfuhr von Schadstoffen in der Raumluft	MAK-Wert (Maximaler Arbeitsplatzkonzentrationswert)	ppm	Grenzwerte Suva	$\dot{V}_G = \frac{G}{C_{max} - C_{AUL}}$	$C_{max} = \frac{\dot{V}_G \cdot C_{AUL} + G}{\dot{V}_G}$
Erfüllung lufttechnischer Prozesse	Abhängig vom Prozess		Nutzerangaben, spezifische Gesetzgebungen, Richtlinien, Normen		
Legende					
\dot{V}_P	Frischlufbedarf Personen	$\frac{m^3}{h}$	\dot{V}_Q	Luftmengenbedarf zur Zu- oder Abfuhr thermischer Raumlasten	$\frac{m^3}{h}$
\dot{K}	ausgeatmeter CO ₂ -Volumenstrom pro Person	$\frac{l}{h}, \frac{m^3}{h}$	\dot{Q}_{Raum}	sensible thermische Raumlast	W
k_{RAL}	zulässige CO ₂ -Konzentration Raumluft	ppm, $\frac{mg}{kg}$	ρ	Dichte Luft	$\frac{kg}{m^3}$
k_{AUL}	CO ₂ -Konzentration Frischluft/Aussenluft	ppm, $\frac{mg}{kg}$	c_p	spezifische Wärmekapazität Luft bei konstantem Druck	$\frac{J}{kg \cdot K}$
n_P	Anzahl Personen	–	t_{ZUL}	Zulufttemperatur	°C
\dot{V}_G	Luftmengenbedarf zur Abfuhr von geruchsbildenden Gasen und Schadstoffen	$\frac{m^3}{h}$	t_{RAL}	Raumlufttemperatur	°C
G	Verunreinigungsproduktion im Raum	olf, $\frac{l}{h}, \frac{m^3}{h}$	\dot{V}_W	Luftmengenbedarf zur Zu- oder Abfuhr von Raumluftfeuchtigkeit	$\frac{m^3}{h}$
C_{max}	zulässige Raumkonzentration	pol, ppm, $\frac{kg}{m^3}, \frac{m^3}{h}$	\dot{W}_{Raum}	Feuchtelast im Raum	$\frac{kg}{h}$
C_{AUL}	Konzentration der Frischluft/Aussenluft	pol, ppm, $\frac{kg}{m^3}, \frac{m^3}{h}$	x_{ZUL}	absolute Luftfeuchtigkeit der Zuluft	$\frac{kg}{kg}$
			x_{RAL}	absolute Luftfeuchtigkeit Raum	$\frac{kg}{kg}$

Tabelle 3.3: Mögliche Anforderungen an eine Lüftungsanlage mit Messgrößen und Luftmengenberechnungen.

AR4 A1B 2020 aus Meteonorm 7.3.1 von Zürich-Kloten

■ Ohne Feuchterückgewinnung werden im Schweizer Mittelland zusätzlich rund 25 kWh Wärme pro Jahr benötigt, um die Raumlufffeuchte auf mindesten 30 % r.F. bei 22 °C Raumlufftemperatur zu halten.

■ Wird die Luft stärker befeuchtet, dann erhöht sich der Bedarf pro 5 % r.F. um 40 bis 80 % (berechnet mit stündlichen Klimadaten für Büronutzung nach MB SIA 2024)

■ Wird die Raumlufftemperatur bei konstanten 30 % r.F. erhöht, steigt der jährliche Wärmeenergiebedarf pro Kelvin zwischen 15 und 30 %.

Was heisst das? Man sieht, dass insbesondere eine hohe winterliche Raumlufffeuchte zu einem sehr hohen Energiebedarf führt. Benötigen einzelne Nutzungszonen zusätzliche Raumlufffeuchte, wird deshalb empfohlen, diese Zonen dezentral zu befeuchten, statt über das zentrale Lüftungsgerät. Zum dezentralen Befeuchten können beispielsweise Feuchtelasten in den Raum gebracht werden wie Wasserspiele, zusätzliche Pflanzen oder hygienisch geeignete Raumluffbefeuchter.

Drohen Nutzungszonen in der Heizperiode wegen der Lüftung auszutrocknen, kann die Luftmenge gemäss SIA 382/1 bei Aussen-temperaturen unter 0 °C um bis zu 50 % reduziert werden. Dies erfordert aber oft einen zweiten Regelkreis, der die Raumlufffeuchte überwacht und wenn nötig den Aussenluffstrom reduziert. Ab-

bildung 3.23 zeigt das Zusammenspiel beider Regelkreise für die Luftmengenregelung.

Haben sowohl Lüftungsanlagen respektive Stellklappen als auch die Luftaufbereitung eigene Zeitschaltprogramme, müssen sie aufeinander abgestimmt werden. Damit wird dafür gesorgt, dass die einzelnen Nutzungszonen nur dann belüftet werden können, wenn die zentrale Luftaufbereitung eingeschaltet ist. Selbstverständlich sollen die Zeitschaltprogramme auch die effektive Nutzung der Zone abbilden.

Luftverteilung

Bei der Luftverteilung beeinflussen vor allem zwei Faktoren die Energieeffizienz der Förderung:

■ Leckagen in Luftleitungen

■ In Luftleitungen eingebaute Armaturen

Die Leckrate von Luftverteilungen soll gemäss SIA 382/1 6 % des Gesamtvolumenstroms nicht überschreiten. Bereits 6 % Leckageverlust bedeuten 19 % Energieverlust infolge erhöhter Luftförderung. Die 6 % zusätzlich zu fördernder Luft wirken sich in der 3. Potenz auf den Leistungs- bzw. den Energiebedarf des Ventilators aus.

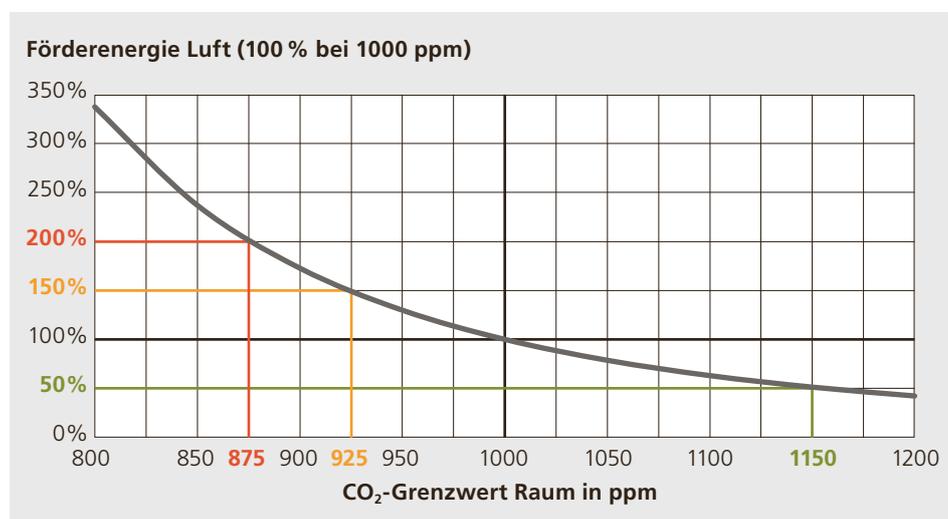


Abbildung 3.21: Theoretisches Verhältnis zwischen CO₂-Konzentration in der Raumluff und Energiebedarf für die Luftförderung.

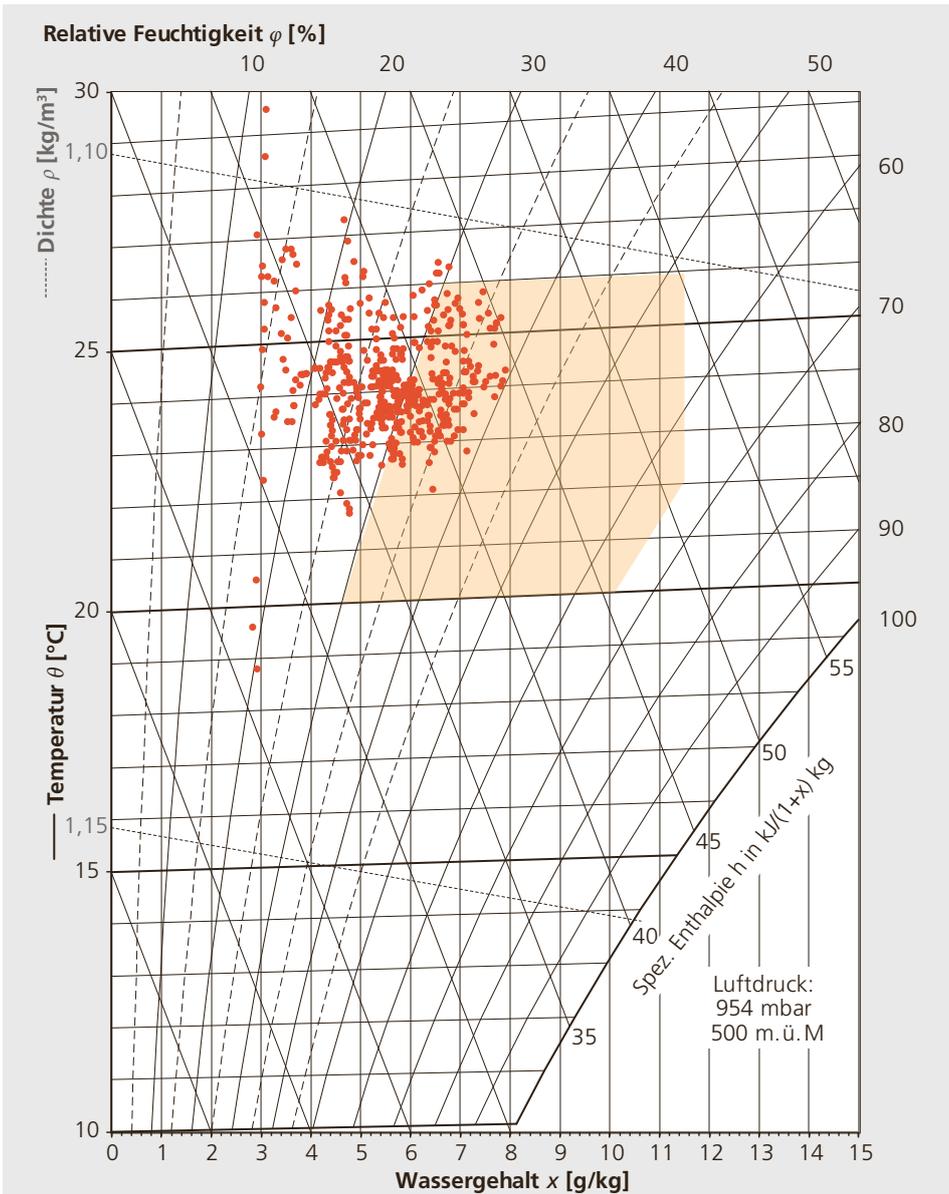


Abbildung 3.22:
Beispiel Verwaltung
– Darstellung Stundenwerte Raumtemperatur und Raumfeuchtemessung im h,x -Diagramm mit Behaglichkeitsbereich (hellorange).

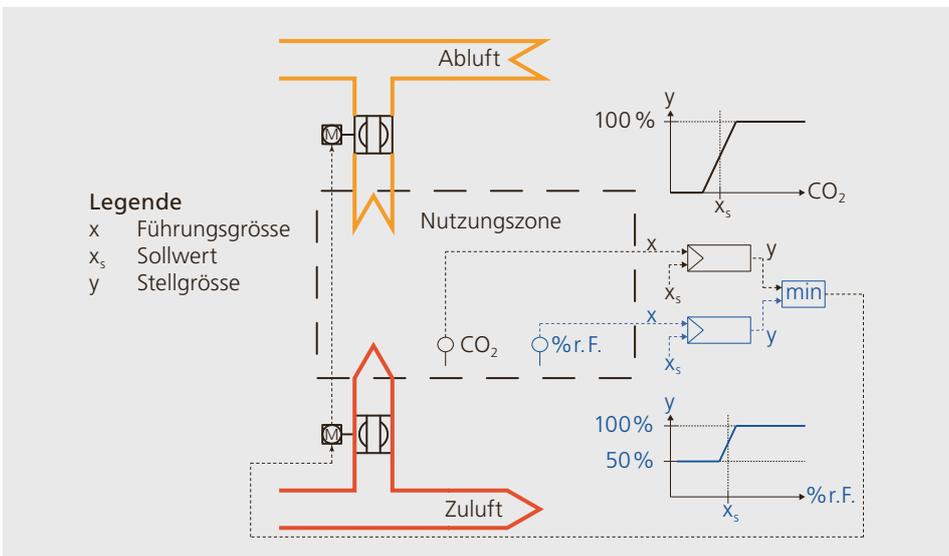


Abbildung 3.23:
Beispiel einer Regelstrategie für die Luftmenge während der Heizperiode.

$$E = P \cdot \Delta t$$

$$\rightarrow P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3$$

$$\frac{E_2}{\Delta t} = \frac{E_1}{\Delta t} \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3$$

$$E_2 = E_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3$$

$$E_2 = 1 \cdot \left(\frac{1,06}{1}\right)^3 = 1,19$$

E	Energie [Wh]
P	Leistung [W]
Δt	Betriebszeit [h]
\dot{V}	Luftmenge [m^3/s]

Leckagen entstehen vor allem bei Verbindungen von Rohren oder Kanälen.

In den Luftleitungen werden Armaturen wie Regel-, Einstell- sowie Brandschutzklappen, Volumenstromregler oder Schalldämpfer verbaut. Besonders bei Altbauten mit Nutzungsänderung muss geprüft werden, ob all diese Armaturen für den nutzergerechten Betrieb noch erforderlich sind. In erster Linie gilt das für die Schalldämpfer. Mit allenfalls gegenüber der Planung reduzierten Luftmengen können die Schalldämpfer redimensioniert oder gar weggelassen werden.

Abbildung 3.24: Leckagen bei Rohrverbindungen, hier anhand von Staubablagerungen sichtbar.



Luftaufbereitung

Tabelle 3.4 zeigt Sparpotenziale bei verschiedenen Energiearten pro Komponente einer Luftaufbereitungsanlage. Im Rahmen der eBO gilt es zu prüfen, ob die Betriebszeiten der Luftaufbereitung mit den Nutzungen in den Zonen übereinstimmen. Manchmal sieht das Zeitschaltprogramm keine spezifischen Einstellungen für unterschiedliche Wochentage oder Ferientage vor. Bei mehrstufigen Anlagen muss die Stufenschaltung über das Zeitschaltprogramm mit der Nutzung abgeglichen werden. Ob sich die Luftmenge reduzieren lässt, hängt von der jeweiligen Nutzung ab. Grundsätzlich sind drei verschiedene Versorgungsarten möglich:

1. Nicht geregelte Zonen mit konstanter Luftmenge, bestimmt durch Luftaufbereitung
2. Konstant geregelte Zonen mit konstante Luftmengen, bestimmt durch die Zonen
3. Bedarfsabhängig geregelte Zonen mit variablen Luftmengen bestimmt durch das Zonen-Raumklima

Tabelle 3.4: Potenzielle Ansatzpunkte zur Reduktion von Energiebedarfen mit entsprechenden Energiearten.

Komponente	Optimierungspotenziale	Energieart
Ventilator	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebszeiten • Luftmengenreduktion • Effizienz (SFP) • Verschmutzung Aussenluftarmatur 	<ul style="list-style-type: none"> • elektrische Energie
Wärmerückgewinnung (WRG)	<ul style="list-style-type: none"> • Wirkungsgrade • Verschmutzung • Leckagen • Frostschutz • Regulierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeenergie • elektrische Energie • Wasser
Lufterhitzer, Luftkühler	<ul style="list-style-type: none"> • Verschmutzung • Dichtigkeit Regelventil Pumpenwarmwasser/ Pumpenkaltwasser • Laufzeit Internpumpe • Dämmungen Pumpenwarmwasser/ Pumpenkaltwasser • Regulierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeenergie • elektrische Energie
Luftbefeuchter	<ul style="list-style-type: none"> • Abschlammung • Regulierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeenergie • Wasser • elektrische Energie
Luftfilter	<ul style="list-style-type: none"> • Intervall Filterwechsel • Filterstufen • Energieeffizienzklassen 	<ul style="list-style-type: none"> • elektrische Energie

Bei der Regelung der Luftmengen können drei Fälle unterschieden werden:

- Einstufiger Ventilator
- Mehrstufiger Ventilator
- Stetig geregelter Ventilator

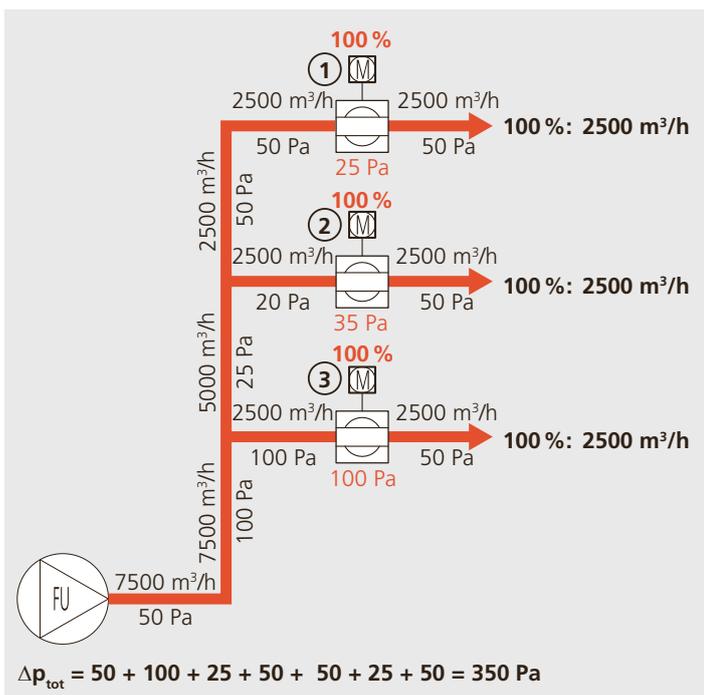
Fall a): Mit einstufigen Ventilatoren lassen sich die Nutzungszonentypen 1 und 2 versorgen. Bei indirekt über einen Riemenantrieb angetriebenen Ventilatoren hängt die Luftmenge vom Übersetzungsverhältnis ab. Dies lässt sich durch Verändern der Riemenscheibengröße an Motor und Ventilator beeinflussen. Überdimensionierte einstufige Ventilatoren können allenfalls auf Stosslüftung (anstelle Dauerbetrieb) umgestellt werden, um die Nutzerbedürfnisse zu erfüllen. Dann werden sie über ein Zeitschaltprogramm oder luftqualitätsrelevante Messgrößen gesteuert.

Fall b): Mehrstufige Ventilatoren eignen sich für die Versorgung von Nutzungszonen des Typs 1. Die Luftmengen lassen sich analog Fall a) anpassen.

Fall c): Bei neueren Anlagen regelt häufig ein Frequenzumrichter (FU) die Ventilator-drehzahl und damit die geförderte Luftmenge. Hier gibt es zwei Regelstrategien:

- Druckdifferenzregelung im Leitungsnetz

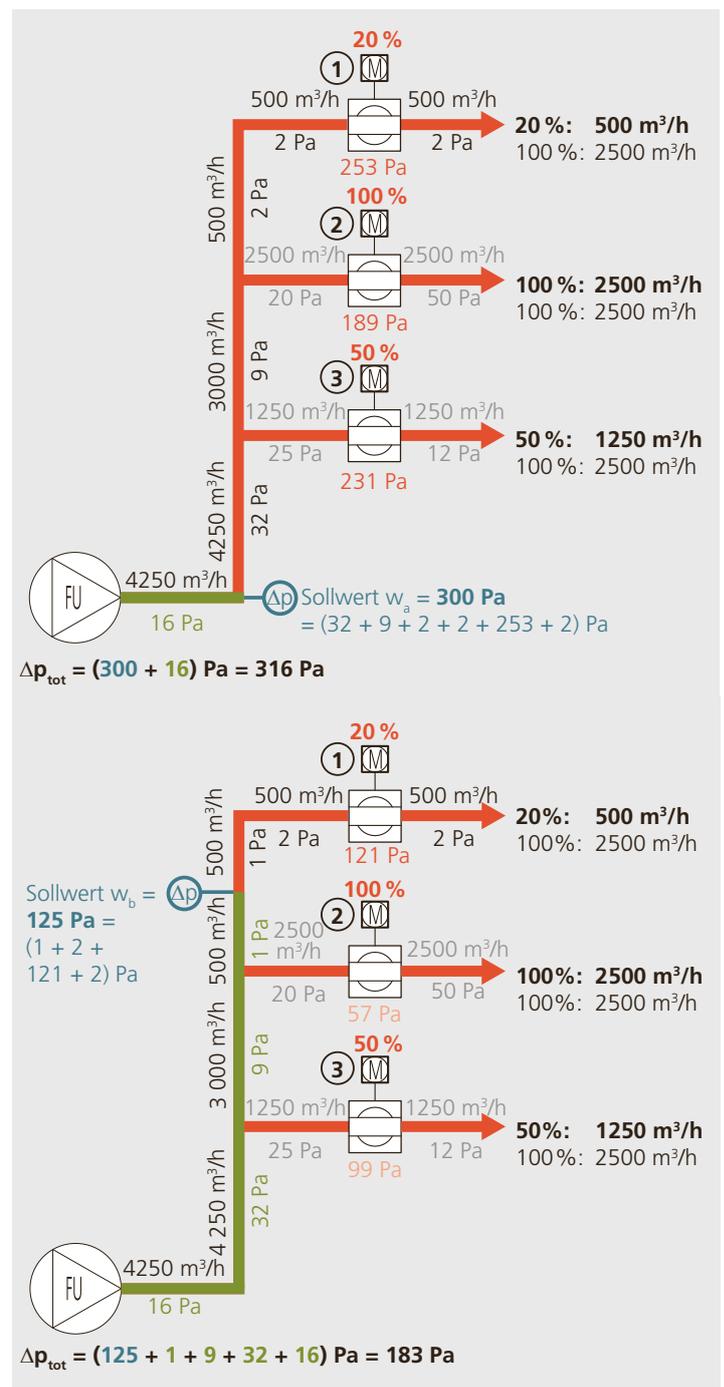
Abbildung 3.25:
Beispiel Druck-
erhöhung Ventila-
tor, Auslegung
100%.



- Regelung über die Klappenstellung von variablen Volumenstromsystemen (Variable Air Volume, VAV) in den Nutzungszonen

Die Regelung der Ventilatoren über VAV-Klappenstellungen ist energetisch ideal, weil der Förderdruck dabei minimal bleibt. Hier bestimmt der VAV mit dem höchsten Bedarf den Förderdruck des Ventilators. Da dieser Bedarf nutzungsabhängig im ganzen Anlagenetz «wandert» ist die Versor-

Abbildung 3.26:
Beispiel Druck-
erhöhung Ventila-
tor im Teillastfall.
Variante a (oben):
Druckfühler beim
Ventilator.
Variante b (unten):
Druckfühler im Kan-
alnetz.



gung des VAV mit Maximalanforderung gewährleistet. Gleichzeitig müssen die anderen VAV nur einen minimale Druckerhöhung abdrosseln.

Die Druckdifferenzregelung im Leitungsnetz bietet zwei Möglichkeiten zur Optimierung (Abbildung 3.26). Erstens durch die Platzierung des Druckfühlers: Je weiter entfernt sich dieser von der Luftaufbereitungsanlage befindet, desto besser wird der Druckverlust im Netz bei variablem Volumenstrom berücksichtigt. Erfahrungsgemäss kann durch optimales Platzieren des Druckfühlers die Förderenergie bei Zonen mit kleinen Lastbetrieben um bis zu 25 % reduziert werden.

Ist der Druckfühler richtig platziert und dessen Funktionsfähigkeit gewährleistet, gilt es zweitens, den minimal nötigen Drucksollwert einzustellen. Um den zu finden, werden sämtliche Zonen auf die maximale Luftmenge gestellt. Nun reduziert man an der Luftaufbereitung die Luftmenge, bis der VVS im Strang mit dem höchsten Druckverlust nicht mehr im Regelbereich arbeitet. Zum nun abgelesenen Druck beim Druckfühler werden 5 % addiert, um den optimalen Sollwert zu erhalten.

Die Energieeffizienz von Ventilatoren wird mit dem SFP-Wert (Specific Fan Power) nach SIA 382/1 bewertet (Abbildung 3.27). Er soll durch Messen der geförderten Luftmenge bei Vollast und der dann aufgenommenen Ventilatorleistung geprüft werden. Der SFP umfasst die Energieeffizienz des gesamten versorgten Lüftungssystems. Der Gesamtwirkungsgrad des Ventilators lässt sich aufteilen in die Teilwirkungsgrade von

- Ventilator (η_{fa})
- Motor (η_{Mot})
- Antrieb (η_{Ant})
- FU (η_{Reg})

Ohne Fördermassnahmen amortisiert sich der Ersatz von Ventilatoren durch effizientere (inklusive Motoren) innerhalb für eBO üblichen 2 Jahre nicht. Anders sieht es natürlich aus, wenn ein Ventilator seine Lebenserwartung schon überschritten hat. Was sich aber oft kurzfristig auszahlt, ist der Ersatz eines Keilriemenantriebs durch

einen Flachriemenantrieb. Gemäss Merkblatt 24 von topmotors.ch arbeitet der Flachriemen um bis zu 10 % effizienter als der Keilriemen. Dies gilt vor allem im Teillastbereich (Abbildung 3.28).

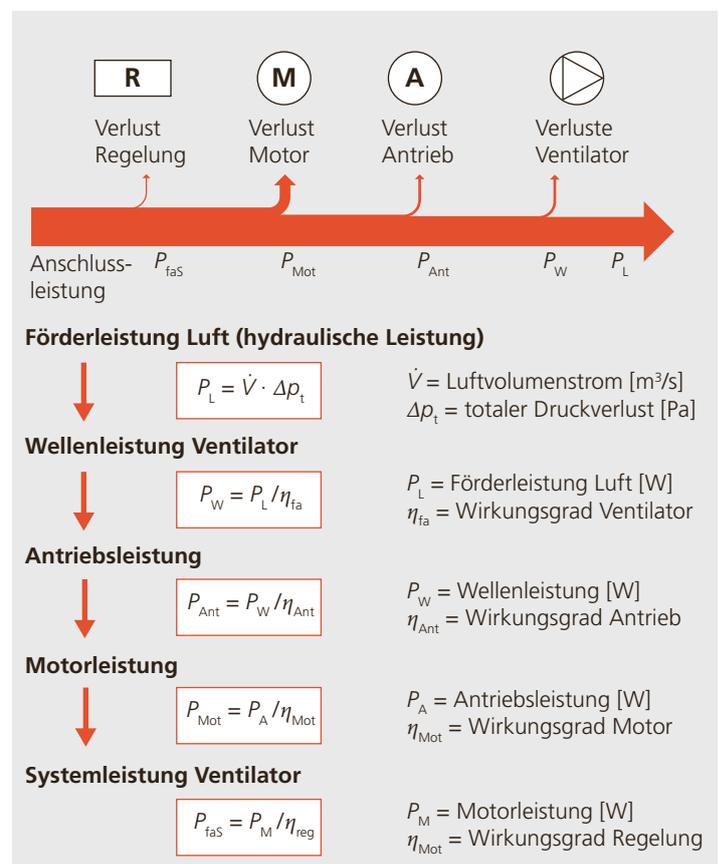
Oft verursachen auch verschmutzte Aussenluftfassungen erhöhten Druckverluste. Sie zu reinigen, ist meistens eine einfache, aber wirkungsvolle Massnahme.

Thermische Effizienz

Die zentrale Komponente für die thermische Energieeffizienz bei der Luftaufbereitung ist die Wärmerückgewinnung (WRG). Je nach Bauart bietet sie verschiedene Ansatzpunkte für die eBO. Relevant für die Effizienz aller WRG-Systeme sind die Rückwärmzahl Φ und die Rückfeuchtzahl Ψ . Die minimale Rückwärmzahl beträgt 70 % nach SIA 382/1 respektive 75 % nach Minergie und 2000-Watt-Gesellschaft. Gemessen wird bei 5 °C Aussenlufttemperatur.

Um die Rückwärmzahl zu ermitteln, werden die Temperaturen sowie die Mengen von Abluft (ABL), Zuluft (ZUL) und Aussen-

Abbildung 3.27: Leistungsdiagramm zur Ermittlung des SFP eines Ventilators.



luft (AUL) unmittelbar hinter der WRG gemessen. Die Rückwärmzahl lässt sich bei gleicher Zu- und Abluftmenge folgendermaßen berechnen:

$$\phi = \frac{t_{ZUL} - t_{AUL}}{t_{ABL} - t_{AUL}} \cdot 100 \%$$

Die Formel für die Rückfeuchtezahl lautet:

$$\Psi = \frac{x_{ZUL} - x_{AUL}}{x_{ABL} - x_{AUL}} \cdot 100 \%$$

- Φ Rückwärmzahl [%]
 Ψ Rückfeuchtezahl [%]
 t Lufttemperatur [°C]
 x absolute Luftfeuchtigkeit [kg/kg]

Die Optimierungspotenziale bezüglich Leckagen, Frostschutz und Regelung sind je nach Bauart der WRG unterschiedlich. Abbildung 3.29 zeigt die häufigsten WRG-Bauarten.

■ **Regenerative WRG-Systeme** basieren auf dem Prinzip der Wärmeübertragung über die Masse. Die Speichermasse gelangt mit beiden Luftströmen – Aussenluft und Abluft – in Kontakt. Dabei entstehen eine Mitnahmewirkung und eine Spülleckage.

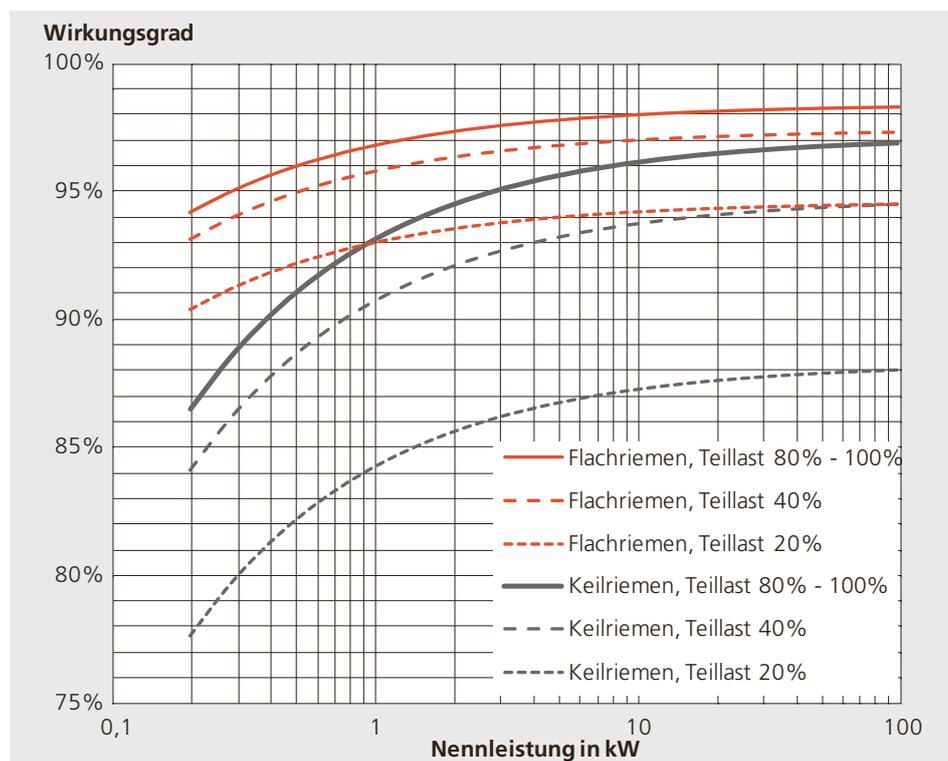
Bei Rotorsystemen entstehen zusätzliche Leckagen an den Radial- und Querdichtungen (Abbildung 3.30). Gesamthaft darf der Leckagenanteil zwischen 5 % und 10 % liegen. Die Qualität der Dichtungen kann visuell überprüft werden, etwa indem man die Schlitze über eine Gegenlichtquelle begutachtet.

■ **Rekuperative WRG-Systeme** übertragen die Wärme durch Trennflächen. Kühlt die Abluft im Winter in der WRG stark ab, kondensiert ihre Feuchte an deren Oberfläche. Gefriert das Kondensat bei sehr tiefen Temperaturen, verkleinert das entstandene Eis den Querschnitt des Wärmetauschers auf der Abluftseite. Damit steigt der Druckverlust.

Auch deshalb werden Plattenwärmetauscher oft mit einem Aussenluftbypass ausgerüstet, der zu Frostschutzzwecken über eine Regelung geöffnet wird. Dann sinkt die Rückwärmzahl und ein allenfalls nachgeschalteter Luftherhitzer zieht mehr Leistung.

■ Ähnlich funktioniert die Frostschutzschaltung bei einer **WRG mit Kreisverbundsystem (KVS)**. Statt eines luftseitigen Bypasses verringert ein Bypass im Zwischenkreislauf die WRG-Leistung. Beide Systeme verhin-

Abbildung 3.28: Transmissionswirkungsgrade von Keil- und Flachriemen je nach Nennleistung des Motors und Lastanteil (Antriebe mit 1 Riemen), (Quelle: EnergieSchweiz, topmotors.ch; Merkblatt 24, November 2012)



dern das Gefrieren des Kondenswassers. Einige Kantone verbieten aber die Nutzung des winterlichen WRG-Bypasses bei Plattenwärmetauschern. Sie gewichten die Mehrleistung der WRG höher als den zusätzlichen Stromverbrauch des Ventilators infolge Druckverlustes durch Vereisung. So oder so lohnt es sich zu prüfen, ob die Frostschutzschaltung deaktiviert oder mindestens ihr Einsatz reduziert werden kann. Damit die Wärme bei einer KVS-Wärmerrückgewinnung optimal zwischen Luft und Zwischenkreis ausgetauscht werden kann, muss das Verhältnis der Wärmestromkapazität bei ungefähr 1:1 liegen. Bei annähernd gleich grossen Zu- und Abluftvolumenströmen gilt:

$$\dot{m}_L \cdot c_{p,L} = \dot{m}_{WG} \cdot c_{p,WG}$$

- \dot{m}_L Massenstrom Luft [kg/s]
- $c_{p,L}$ spezifische Wärmekapazität Luft [kJ/kg K]
- \dot{m}_{WG} Massenstrom Wasser-Glykol [kg/s]
- $c_{p,WG}$ spezifische Wärmekapazität Wasser-Glykol [kJ/kg K]

Wegen der unterschiedlichen Wärmekapazitäten ist bei einem Wasser-Glykol-Gemisch mit 25 % Glykolanteil der Luftmassenstrom 3,7-mal höher als der Massenstrom des Wasser-Glykol-Gemischs.

Heutige Lüftungsanlagen werden bedarfsabhängig betrieben. Der Massenstrom der KVS-WRG hingegen ist oft konstant. Falls die Pumpe der KVS-WRG mit einem Frequenzumrichter geregelt ist, lässt sich der Massenstrom des Wasser-Glykol-

Gemischs abhängig von der Luftmenge regeln. Ohne Frequenzumrichter sollte der Wasser-Glykol-Massenstrom bei 5°C Aussentemperatur über die Pumpendrehzahl fix eingestellt werden, und dies bei einer geschätzten mittleren Gleichzeitigkeit der Luftmenge. Die Rückwärmzahl nimmt mit zunehmendem Massenstrom, also mit steigender Wärmestromkapazität des Umlaufmediums ab, weil sich dessen Verweilzeit in den Wärmetauschern verringert.

Die Einbindung der WRG in die Regelsequenzen der Luftaufbereitung beeinflusst den Jahresnutzungsgrad also stark. Abbildung 3.31 zeigt eine übliche Sequenzreihenfolge für die Temperaturregelung typischer Luftaufbereitungen.

Das Regelverhalten von Luftheritzern und Luftkühlern im Voll- und Teillastbetrieb zeigt, ob Ventil und Wärmetauscher für den Leistungsbedarf richtig dimensioniert sind. Grosse und unstetige Regelschwankungen weisen auf eine Überdimensionierung hin. Ständige Regelschwankungen sind energieintensiv. Reduziert man die Temperatur beim Pumpenwarmwasser des Luftheritzers, verbessern sich die Regelcharakteristik und allenfalls die Leistung der Wärmeerzeugung.

Umgekehrt verhält es sich bei Luftkühlern. Die Pumpenkaltwassertemperaturen sollen hier möglichst hoch gewählt werden. Ist eine Entfeuchtung erforderlich, muss darauf geachtet werden, dass die Pumpenkaltwassertemperaturen ausschliesslich im Entfeuchtungsfall tief gehalten werden und nicht im trockenen Kühlfall. Grosse Wirkung auf den Bedarf an Wärmeenergie

Abbildung 3.29: Häufig verwendete WRG-Typen mit und ohne Feuchteübertragung.

	Ohne Feuchteübertragung	Mit Feuchteübertragung
Regenerative WRG	Kondensationsrotor	Sorptionsrotor
	Wärmeakkumulator	Wärmeakkumulator
Rekuperative WRG	Plattenwärmetauscher	Plattenwärmetauscher
	Kreisverbundsystem	

Abbildung 3.30: Bürstendichtungen WRG-Rotations-system.



haben die Massnahmen an der Befeuchterregelung, siehe oben unter Abschnitt «Nutzerverhalten und Feuchte».

Luftfilter

Auch Luftfilter beeinflussen den Energiebedarf für die Luftförderung. Grundsätzlich gilt: Filter sollen ausgewechselt werden, wenn sich ihr Druckverlust gegenüber dem Neuzustand verdoppelt hat. Besonders sinnvoll ist es, die Filter im Frühling zu wechseln. Sie werden gerade dann durch Pollen besonders stark beansprucht.

Die Filterqualität wird nach VDI 6022-1:2018 ausgelegt. Tabelle 3.5 zeigt die empfohlenen Filterklassen bezogen auf die vorhandenen Aussenluft- und die erforderlichen Zuluftqualitäten.

Die Beurteilung der Aussenluftqualität richtet sich nach den Grenzwerten der WHO für Feinstaub. In Tabelle 3.6 sind die konkreten Grenzwerte für die Aussenluft aufgeführt. In der Schweiz gibt es folgende Messstationen für die Feinstaubkonzentrationen:

- NABEL vom Bafu, www.bafu.admin.ch
- ARIAS, www.arias.ch
- Diverse regionale Messdaten wie z. B. www.in-luft.ch von umweltzentral-schweiz.ch

Die geforderte Zuluftqualität ist in VDI 3803-4:2018 (Entwurf) beschrieben (Tabelle 3.7). Anhand der Filterverschmutzung und der vorherrschenden Aussenluftqualität kann beurteilt werden, ob die eingesetzten Filterklassen passen. Feinere Filter führen meistens zu höherem Druckverlust und somit einen höheren Energiebedarf. Sie verbessern aber auch die Luftqualität und mindern den Befeuchtungsbedarf.

Neben der gewählten Filterklasse spielt die Energieeffizienzklassifizierung der Filter nach Eurovent eine grosse Rolle für den Energiebedarf (Abbildung 3.32). Am meisten Energie lässt sich durch die geeignete Wahl der feinen Filter mit hohem Abscheidegrad sparen. Gute Produkte können um mehr als die Hälfte effizienter sein als schlechte. Bei groben Filtern mit geringem Abscheidegrad wirkt sich die Wahl der Effizienzklasse weniger stark, aber doch merklich auf den Energieverbrauch aus.

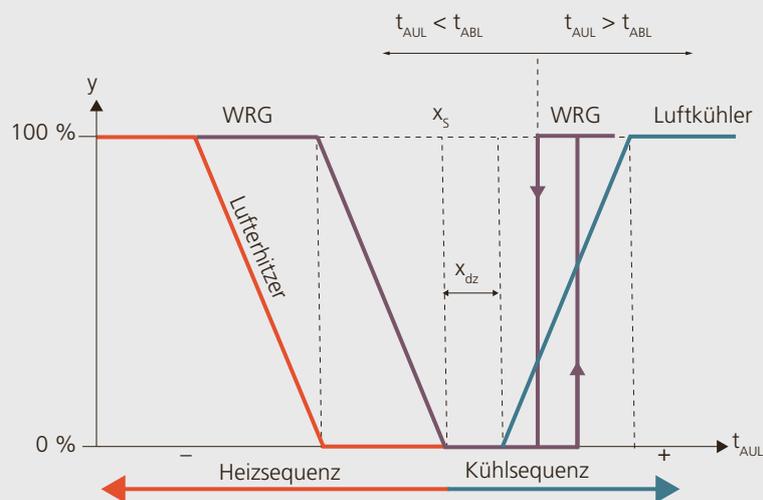


Abbildung 3.31:
Sequenzdiagramm
Temperaturregelung einer Luftaufbereitung.

Aussenluftqualität	ZUL 1 (sehr hoch)	ZUL 2 (hoch)	ZUL 3 (mittel)
AUL 1 (sauber)	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM1 50 %	ISO ePM1 50 %
AUL 2 (belastet)	ISO ePM2,5 65 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %
AUL 3 (hoch belastet)	ISO ePM1 50 % + ISO ePM1 80 %	ISO ePM2,5 65 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %

Tabelle 3.5: Empfohlene Filterklassen bezogen auf die Aussen- und Zuluftqualität nach VDI 6022-1:2018.

Aussenluftqualität in µg/m³	PM2,5/Jahr	PM2,5/24 h	PM10/Jahr	PM10/24 h
AUL 1 (sauber)	< 10	< 25	< 20	< 50
AUL 2 (belastet)	< 15	< 37,5	< 30	< 75
AUL 3 (hoch belastet)	> 15	> 37,5	> 30	> 75

Tabelle 3.6: Grenzwerte für die Bestimmung der Aussenluftqualität nach VDI 6022-1:2018.

Bezeichnung	Zuluftqualität	Empfohlen für	Anwendungsbeispiele
ZUL 1	sehr hoch	Räume, die von Personen mit erhöhtem Gesundheitsrisiko genutzt werden	Intensiv- und Pflegeräume mit erhöhten Anforderungen
		industrielle Produktionsbereiche mit erhöhten Hygieneanforderungen	nicht-aseptische Produktionen der pharmazeutischen Industrie oder in der Produktion von Lebensmitteln
ZUL 2	hoch	Räume für dauerhaften Aufenthalt von Personen	Räume in Seniorenhäusern oder Kindergärten, Klassen-, Büro-, Wohn-, Hotel-, Speise-, Umkleide- und Versammlungsräume, Schwimmbäder, Saunen
		industrielle Produktionsbereiche mit mittleren Hygieneanforderungen	Lebensmittelproduktion
ZUL 3	mittel	Räume für zeitlich reduzierten Aufenthalt von Personen	Flure, Wasch-, Kopier-, Server- und Lagerräume mit geringer Belastung, Wäschereien
		industrielle Produktionsbereiche mit geringen Hygieneanforderungen	

Tabelle 3.7: Beschreibung der Zuluftqualitäten nach VDI 3803-4:2018 (Entwurf).

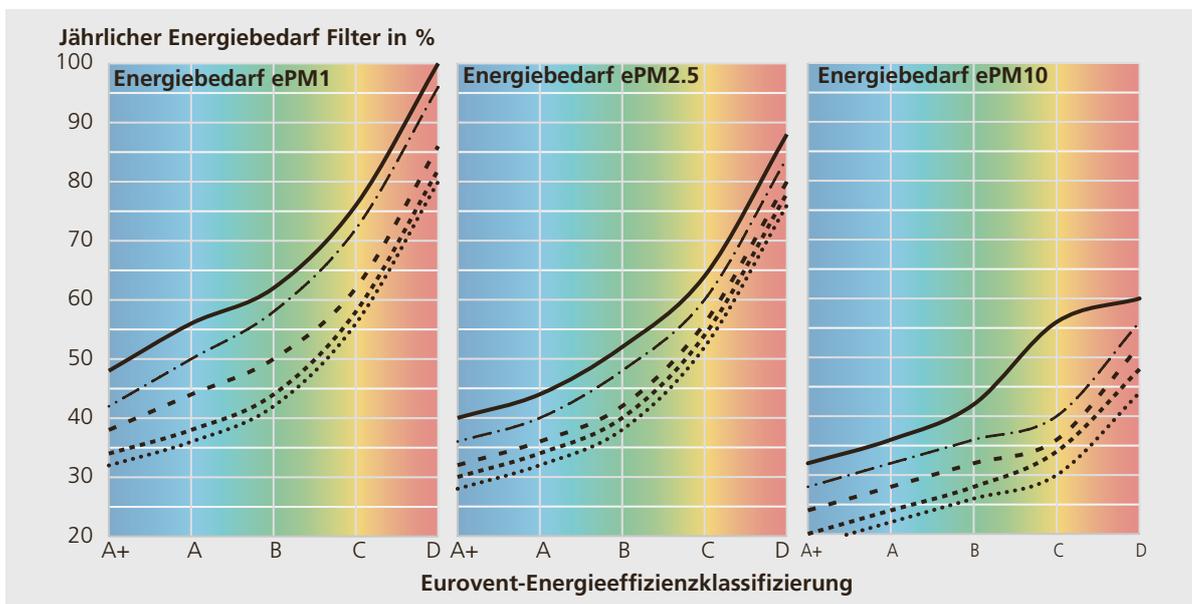


Abbildung 3.32: Vergleich des Jahresenergiebedarfs von verschiedenen Filtern in % (100% = höchster Bedarf) bei Standardprüf- und Berechnungsbedingungen nach Eurovent-Energieeffizienzklassifizierungen.

Filter-Abscheidegrad
 50/55%
 - - - 60/65%
 - · - 70/75%
 ····· 80/85%
 ——— >90%

3.7 Raumkühlung

Der Kühlbedarf von Gebäuden wird in Zukunft kontinuierlich steigen, sei es aufgrund des Klimawandels oder wegen technisch intensiveren Nutzungen. Dieses Kapitel behandelt das Klima in Bezug auf die Raumkühlung.

Nutzungszonen

Der Energiebedarf für die Raumkühlung wird von drei Hauptfaktoren bestimmt. Sie werden weitgehend vom Verhalten der Nutzer bestimmt hinsichtlich

- der Bedienung des aussenliegenden Sonnenschutzes
- der Höhe von interne Kühl- und Feuchtelasten
- des Öffnens von Fenstern und Türen im Kühlbetrieb

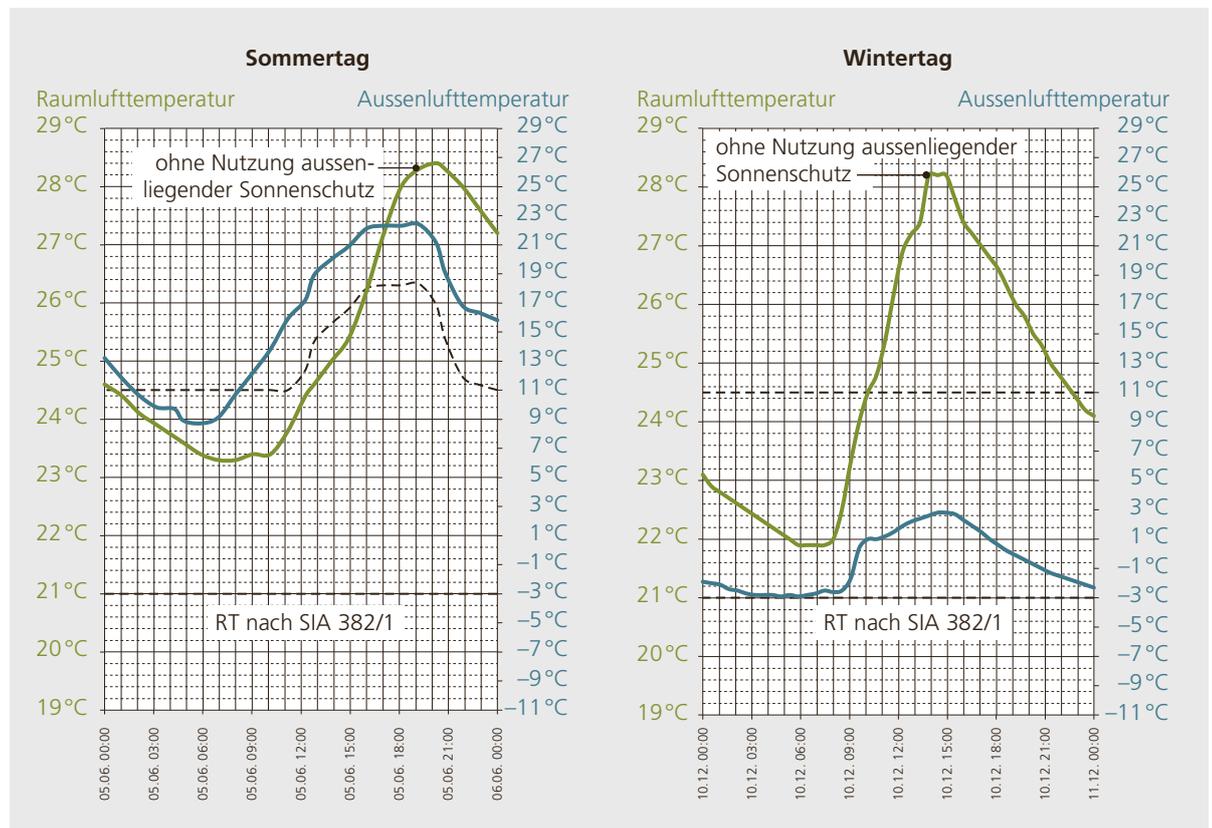
Die erreichbare Raumtemperatur und damit der Kühlleistungsbedarf hängen demnach von den internen und den externen Kühllasten ab. Zur Reduktion der externen Kühllasten dient der aussenliegende Sonnenschutz, der von den Nutzern auf Instuktion richtig genutzt werden soll. Interne

Lasten wie PCs, Bildschirme, Drucker, Beamer oder Kaffeemaschinen sollen bei Nichtgebrauch abgeschaltet werden.

Hohe Kühllasten verursachen auch tagsüber eingeschaltete Beleuchtungen. Deshalb gilt es, den Einsatz des aussenliegenden Sonnenschutzes zu optimieren. Er soll so weit verdunkeln, dass durch Sonnenlicht möglichst kleine Wärmelasten entstehen, ohne dass die künstliche Beleuchtung in Betrieb genommen werden muss.

Das Temperaturempfinden ändert sich mit der Luftfeuchtigkeit. Je höher die Luftfeuchtigkeit, desto höher ist die empfundene Temperatur. Bei höheren Raumluftfeuchten steigt die empfundene Temperatur pro 10 % r.F. um rund 0,5 K. Den Raum um 1 K abzukühlen, erhöht den thermischen Energiebedarf um 3 %. Wenn also Raumluft mit 70 % r.F. so weit gekühlt werden soll, dass sie sich gleich warm anfühlt, wie Luft derselben Temperatur mit nur 40 % r.F., erhöht sich der Energiebedarf um 4,5 %. Deshalb sollen beeinflussbare Feuchtelasten wie Wasserspiele während der Kühlperiode möglichst vermieden werden.

Abbildung 3.33:
Raumtemperaturen
Sommer und Winter
in einem Büro ohne
Nutzung des
ausenliegenden
Sonnenschutzes.



Wie Abbildung 3.35 zeigt, ist die Entfeuchtung der Raumluft mit nennenswertem thermischen Energieaufwand verbunden. Da der energetische Aufwand für die Entfeuchtung, also die latente Kühlung, deutlich höher ist als jener einer sensiblen Kühlung (Abbildung 3.34), soll die Raumtemperatur und nicht die Raumfeuchte bis zur Behaglichkeitsgrenze konditioniert werden. Es muss vermieden werden, dass sich gekühlte Zonen zusätzlich durch warme Aussenluft erwärmen, weil dort Fenster und Türen offenstehen. Insbesondere sollte während der Kühlperiode möglichst nicht quer gelüftet werden.

Vier technische Massnahmen zur eBO können sich positiv auf den Energiebedarf gekühlter Nutzungszonen auswirken.

- Fachgerechte Nachtauskühlung
- Abstimmen der Heiz- Kühlsequenzen
- Wahl der Temperatur des Kühlmediums
- Luftmengenreduktion im Kühlfall

Der Nutzen einer Nachtauskühlung liegt darin, das Gebäude als Wärmespeicher zu aktivieren. Dadurch verringert sich die während des Tages erforderliche mechanische Kühlenergie. Damit dies gelingt, müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein, insbesondere:

- Die thermischen Speichermassen des Gebäudes müssen direkt an die Nutzungszonen angebunden sein.
- Die Fenster dürfen auch in der Nacht offenstehen (keine Einbruchgefahr).
- Bestenfalls sind die Fenster automatisch öffnen- und schliessbar.

■ Es kann quer gelüftet werden, wenn möglich mit natürlicher Luftführung.

■ Die Temperatur der Aussenluft kann ausserhalb des Gebäudes gemessen werden (nicht in Aussenluftfassung).

Damit sich die Gebäudemasse als Wärmespeicher nutzen lässt, braucht es freie massive Wände und Decken. Nur wenn ihre Oberflächen und ihre Masse gross sind, können sie einen nennenswerten Beitrag an die Nachtauskühlung leisten. Ihre Wärmespeicherfähigkeit sollte mindestens $50 \text{ Wh/m}^2 \text{ K}$ erreichen. Diese Voraussetzung erfüllen gewöhnliche Beton- und Estrichfussböden, wobei die Eindringtiefe (und damit Aktivierungsfähigkeit) pro Tag nur wenige cm erreicht.

Die Nachtauskühlung erreicht den erwünschten Nutzen nur dann, wenn der Energieaufwand für die Belüftung niedrig bleibt. Deshalb sollte sie, vorzugsweise auf natürlicher Lüftung bei guter Querströmung basieren. Um die Querströmung zu unterstützen, hilft es oft, wenn zusätzlich die Lüftungsanlage in den reinen Abluftbetrieb versetzt werden kann.

Können die Fenster nachts nicht geöffnet werden, dann soll die Lüftungsanlage entsprechend betrieben werden. Viele Anlagen haben einen Betriebsmodus, in dem die Zuluft lediglich gefördert und gefiltert, aber weder erwärmt noch gekühlt, oder anderweitig behandelt wird.

Die Effizienz der Nachtauskühlung hängt massgeblich von der Luftführung ab, sei dies nun bei natürlicher oder mechani-

Abbildung 3.34:
Empfundene Temperaturen bei 26°C Raumtemperatur und verschiedenen Raumluftfeuchten.

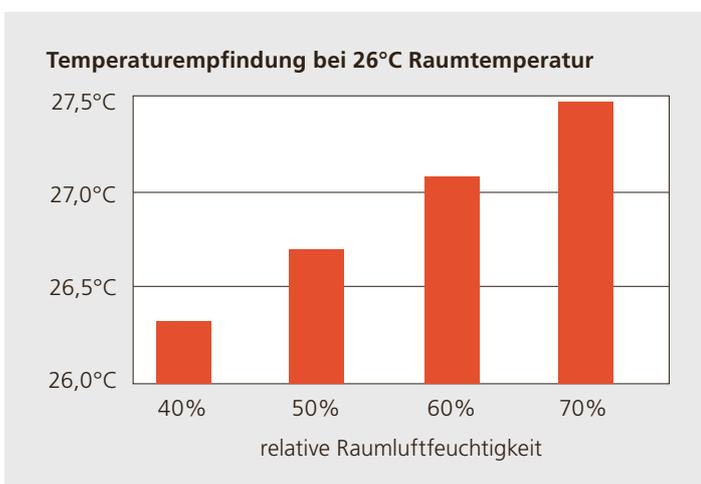
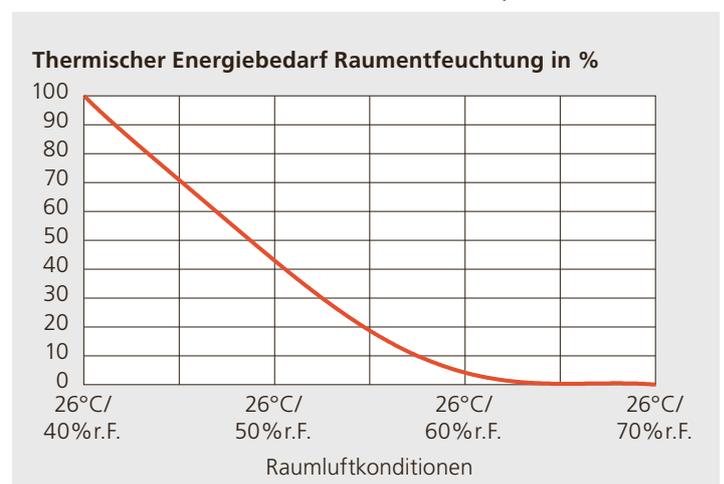


Abbildung 3.35:
Thermischer Energieaufwand für die Raumentfeuchtung bei 26°C Raumtemperatur.



scher Lüftung. Für einen wirksamen Wärmeaustausch sollte die Gebäudesubstanz direkt und turbulent angeströmt werden. Damit eine automatische Nachtauskühlung optimal funktioniert, sollte die Aussenlufttemperatur nicht mit einem Sensor gemessen werden, der direkt an einer Aussenwand mit hoher Speicherkapazität oder im Aussenluftkanal installiert ist. Ein derart platzierter Fühler kann deutlich zu hohe Aussenlufttemperaturen melden und dazu führen, dass die Nachtauskühlung zu spät anspringt.

Vor allem bei der Nachtauskühlung, aber auch bei normalem Kühlbetrieb ist wichtig, dass die Sequenz «Heizen» gesperrt ist (Abbildung 3.36). Bei autonom regelnden Heizsystemen, wie Heizkörpern mit Thermostatventilen, gelingt dies über manuelle Eingriffe. Die Thermostatventile sollen auf etwa 20°C eingestellt werden, was meist der Stufe 3 entspricht. Statt die Thermostatventile alle einzeln einzustellen, kann auch die zentrale Heizungspumpe ausgeschaltet werden, um ungewolltes Heizen während der Kühlperiode zu verhindern. Die Temperaturen des Kühlmediums – Wasser oder Luft – sollen nur so tief gewählt werden, wie es die benötigte Kühlleistung eben erfordert. Zu kühle Mediumtemperaturen erhöhen den Energiebedarf des Kälteerzeugers.

Um dieselbe Kühlleistung mit Luft statt mit Wasser abzuführen, sind 30 % mehr Förderleistung erforderlich. Deshalb ist es bei kombinierten Luft-Wasser-Systemen zweckmässig, den Anteil Luft zugunsten von Wasser zu minimieren. Die SIA 382/1 sieht vor, dass die Luftmenge im Kühlfall bis zur Hälfte oder mindestens bis zu einer minimalen Luftmenge von 15 m³/h pro Person reduziert werden kann.

Verteilung

Ist die Temperaturdifferenz zwischen der Luft in den Verteilrohren und der Umgebung grösser als 5 K, müssen die Rohre laut SIA 382/1 gedämmt werden. Unterstützt die Luft in den Leitungen aber eine ohnehin erforderliche Raumkühlung, kann auf die Dämmung verzichtet werden.

Wichtig ist, dass die Dämmungen fachgerecht und lückenlos montiert und unverletzt sind. Dies ist bei Bestandsanlagen nicht immer erfüllt. Meist lohnt sich hier das Nachbessern im Rahmen der eBO. Kälteleitungen mit Kaltwasser über 12°C erfordern keine Dämmung in konditioniertem Innenklima, sofern die Umgebungsluft an den Leitungen nicht kondensiert.

Nachtauskühlung – Beispielverlauf Raumtemperatur

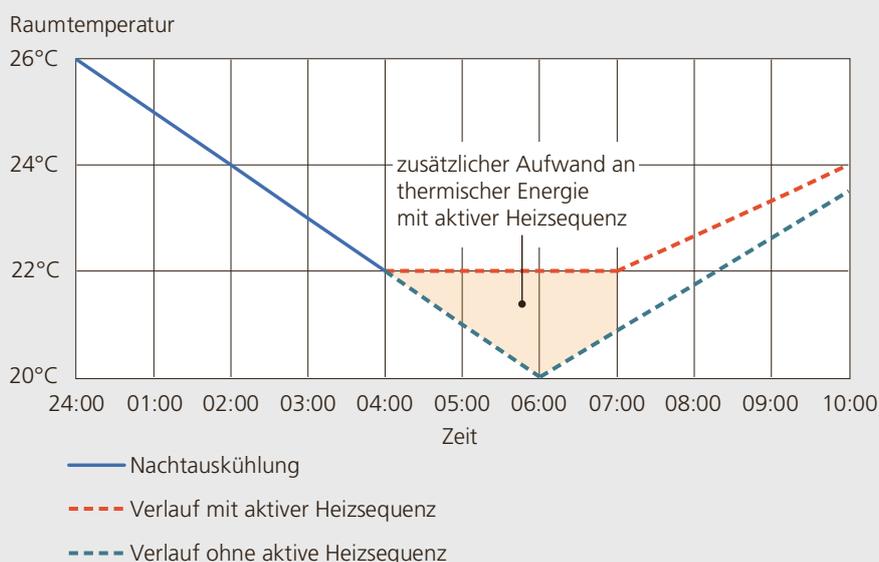


Abbildung 3.36:
Temperaturverlauf
bei Nachtauskühlung mit und ohne aktive Heizsequenz.

3.8 Klimakälte

Klimakälte-Systeme sind sehr komplex aufgebaut. Deshalb werden sie sinnvollerweise zunächst in die Teilsysteme Abgabe, Verteilung und Erzeugung unterteilt. So sind sie auch in der Norm SIA 411 beschrieben (Abbildung 3.37). Im Folgenden wird auf wesentliche Optimierungsmassnahmen in den verschiedenen Teilsystemen, gegliedert nach Nutzungszonen (Abgabe), Kälteverteilung und Kälteerzeugung eingegangen. Auch bei diesen Systemen lässt sich der Energieverbrauch im Rahmen einer eBO bei gleichen Anforderungen um bis zu 20 % reduzieren.

Nutzungszonen – Kälteabgabe

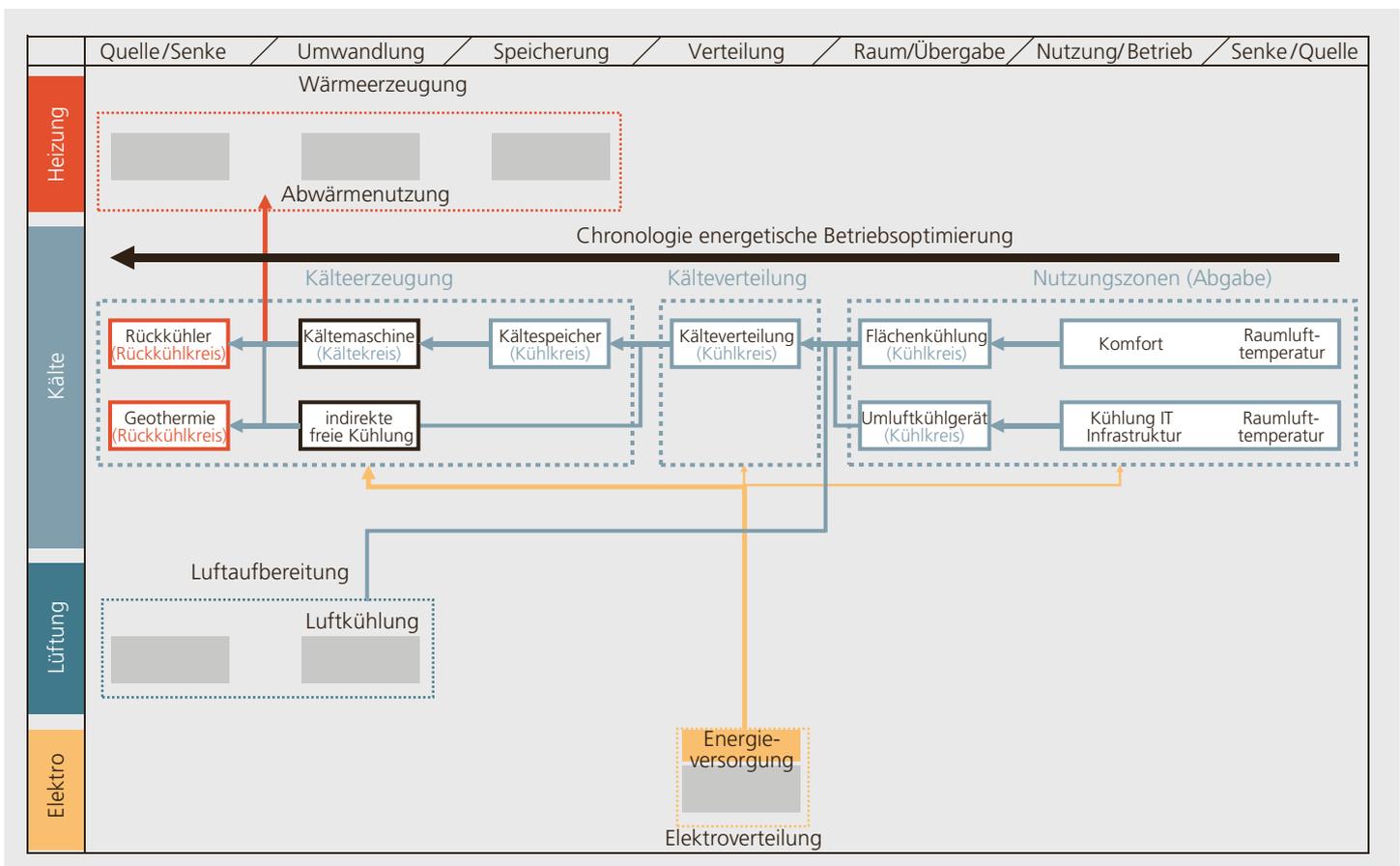
Die grundsätzlichen Einwirkungen auf den Energiebedarf beim Kühlen einzelner Nutzungszonen sind in Kapitel 3.7 beschrieben. In diesem Kapitel geht es vertiefend um die energetisch massgebenden Aspekte:

- Betriebszeiten
- Sollwerte Kältekreise
- Temperaturdifferenzen Vorlauf/Rücklauf

Nutzungszonen sind oft über die üblichen Nutzungszeiten (z. B. Arbeitszeiten) hinaus in Betrieb. Wie bei der Einzelraumregelung von Heizungen ist deshalb auch bei Klimaanlagen das zonenweise Abschalten während Ferien, an Wochenenden, in der Nacht oder an Feiertagen sinnvoll und anlagentechnisch anzustreben (z. B. Klapensteuerung anpassen). Dabei muss aber berücksichtigt werden, wie viel Zeit die Vorkühlung eines Gebäudes benötigt, damit tagsüber behagliche Raumtemperaturen herrschen. Deshalb muss der Betrieb einer thermoaktiven Bauteilkühlung (TABS) also nicht den Nutzungszeiten angepasst werden, sondern der Trägheit der Speicherung.

Verschiedene Nutzungszonen haben oft unterschiedliche Abgabesysteme. So kann ein Büro beispielsweise eine Kühldecke haben, der Serverraum aber ein Umluftkühlgerät oder einen Luftkühler für die Lüftungsanlage. Die Kaltwassertemperaturen

Abbildung 3.37: Beispiel eines typischen Klimakältesystems, dargestellt mit Modula GT (SIA 411).



unterscheiden sich je nach Abgabesystem und dessen Auslegungskriterien.

Als eBO-Massnahme empfiehlt es sich zu prüfen, ob die Wassertemperatur bei der Nutzungszone mit der tiefsten erforderlichen Wassertemperatur angehoben werden kann. Hierzu vergleicht man die Vorlauftemperatur direkt bei den Abgabesystemen respektive Abnehmern mit der Kaltwassertemperatur am Etagenverteiler. Allenfalls kann dort die Kaltwasservorlauftemperatur angehoben werden. Dadurch verringert sich die Rücklaufbeimischung bei den Abnehmern.

Da die Kühllast jahreszeitlich schwankt, verbessert eine nach der Aussentemperatur geführte Kaltwassertemperatur die Effizienz der Kälteerzeugung. Die «Kühlkurve» verschiebt dann analog zu einer Heizkurve den Sollwert der Vorlauftemperatur witterungstemperaturabhängig (Abbildung 3.38). Diese Massnahme eignet sich vor allem bei Luftkühlern für Lüftungsanlagen. Zusätzlich zur jahreszeitlichen Sollwertschiebung kann die Vorlauftemperatur für Luftkühler vom Bedarf der Entfeuchtung abhängig sein.

Ist die Temperaturdifferenz zwischen Kaltwasservorlauf und Rücklauf bei der Kältemaschine oder am Verteiler kleiner als planerisch vorgesehen, deutet dies auf einen zu hohen Durchfluss hin. In solchen Fällen

soll als erstes bei Abnehmern und Unterverteilern mit Überströmregelungen angesetzt werden. Sie können durch regeltechnische Eingriffe oder Änderungen an der hydraulischen Schaltung weitgehen am Überströmen gehindert werden. Gut abgestimmte Anlagen haben auch im Teillastfall eine grosse Temperaturspreizung. Liegt die Spreizung im Auslegefall bei 6 K, soll sie bei Teillast noch mindestens 3 K betragen. Eine grössere Spreizung ermöglicht die Reduktion des Durchflusses und reduziert damit auch die nötigen Förderenergie bei der Kälteerzeugung.

Kälteverteilung

Bei der Kälteverteilung geht es bei der eBO darum, einerseits die Kälteverluste zu verringern und andererseits die Fördereffizienz zu verbessern. In diesem Zusammenhang wird auf folgende Punkte näher eingegangen:

- Dämmungen
- Hydraulik
- Absperren von Verbrauchern ohne Nutzung
- Effizienzsteigerung bei Umwälzpumpen

Die Dämmungen von Kaltwasserkreisläufen zeigen oft Mängel, vor allem bei den Armaturen. Dies führt zu unnötigen Energieverlusten.

Vorlauftemperatur Kühlwasser

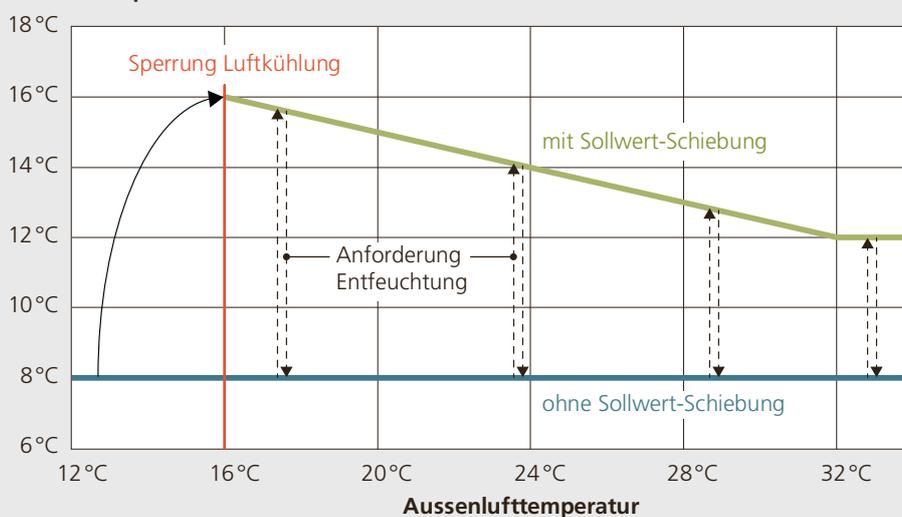


Abbildung 3.38: Mögliche Sollwertschiebung Kaltwassertemperatur Vorlauf für Luftkühler.

Für die effiziente Lastregelung im Kaltwasserkreislauf sind die hydraulischen Schaltungen massgebend. Das Mischen des Kaltwasservorlaufs beim Abnehmer, beispielsweise via Einspritzschaltung mit Dreiwegventil auf ein höheres Temperaturniveau verursacht einen Exergieverlust. Gleichzeitig sinkt die Rücklauftemperatur im Erzeugerkreis, was wiederum die Energieeffizienz der Kälteerzeugung drückt. Folglich müssen sämtliche Verbraucherschaltungen auf Exergieverluste geprüft und allenfalls umgebaut werden.

Abbildung 3.39 zeigt drei mögliche Schaltungen mit ihren Teillastverhalten. Welche Schaltung sich für welchen Abnehmer eignet, lässt sich im Buch «Klimakälte heute» des Faktor Verlags auf Seite 125 nachschlagen [5].

Sind die hydraulischen Schaltungen der Kälteverbraucher geprüft und allenfalls angepasst, gilt es, die Vorlauftemperatur der Kälteerzeugung nach dem Schlecht-punkt-Verfahren maximal anzuheben. Bei diesem Verfahren wird die Vorlauftemperatur schrittweise um jeweils 1 K angehoben, bis das Regelventil der Verbrauchergruppe mit dem tiefstem Vorlauftemperaturbedarf vollständig geöffnet ist. Danach wird die zentrale oder etagenseitige Vorlauftemperatur wieder um 0,5 K gesenkt, damit das Ventil wieder ein wenig Rück-

lauf beimischt. So wird sichergestellt, dass es wieder im Regelbereich arbeitet.

Abschnitte bei hydraulischen Schaltungen, die volumenstromvariabel sind, sollten mit regelbaren Förderpumpen ausgerüstet werden. Schon die Reduktion der Drehzahl und somit des Massenstroms auf beispielsweise 80 % halbiert in etwa den Leistungsbedarf. Dies zeigt sich aus dem grundsätzlichen Zusammenhang von Leistung und Volumenstrom. In erster Näherung verhält sich letzterer etwa äquivalent zur Drehzahl einer Pumpe:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^3$$

$$\rightarrow P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3} = \frac{P_1}{\left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^3}$$

P	elektrische Leistung [W]
n	Drehzahl [1/s]
\dot{m}	Massenstrom [kg/s]
Index 1	vor der Drehzahlreduktion
Index 2	nach der Drehzahlreduktion

Als Orientierungswert gilt, dass die Pumpenleistung rund 1 % der Verdampferleistung (= Kälteleistung) nicht überschreiten soll. Sind die Pumpen ineffizient, kann es sich lohnen, sie auszuwechseln. Neue

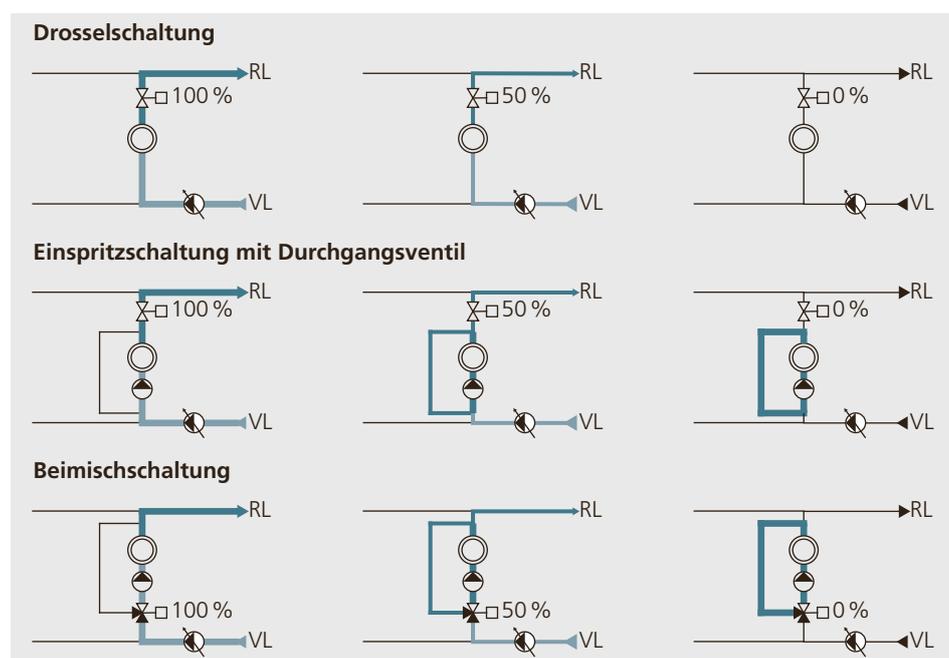


Abbildung 3.39: Mögliche hydraulische Schaltungen für Kälteverbraucher mit Teillastverhalten.

Pumpenmotoren müssen mindestens die Effizienzklasse IE3 erreichen.

Kälteerzeugung

Das Herzstück der Kälteerzeugung, die Kältemaschine, birgt oft ein grosses Optimierungspotenzial. Es auszuschöpfen, erfordert jedoch viel Detailkenntnis. Ein wichtiger Schritt in der Analyse ist zunächst, den Kreisprozess des Kältemittels in der Kältemaschine zu untersuchen. Abbildung 3.40 zeigt ihn exemplarisch anhand eines $\log(p),h$ -Diagramm. Abbildung 3.41 zeigt die Messwerte aus dem Vollastbetrieb einer Kältemaschine als Momentaufnahme, ausgewertet mit dem Analyse-Tool KlimaCheck.

Ein Beispiel

Das folgende Beispiel erörtert mögliche Optimierungspotenziale anhand einer Momentaufnahme. Für die energetische Betrachtung ist es aber notwendig, die Messdaten über eine längere Betriebsperiode auszuwerten. Nach den Werten in Abbildung 3.41 beträgt der EER (Energy Efficiency Ratio, also der Wirkungsgrad) der

Kältemaschine im Vollastbetrieb 2,42. Gemäss Norm SIA 382/1 respektive Broschüre «Kälte effizient erzeugen» des BFE [6] liegt der Grenzwert des EER für eine wassergekühlte Kältemaschine mit 184 kW aber bei 4,65. Um die Effizienz der Kälteerzeugung zu verbessern, bieten sich in der Regel folgende Massnahmen an:

1. Anheben der Kaltwassertemperatur

Im Gefolge der Optimierungen in den Nutzungszonen kann die zentrale Kaltwassertemperatur angehoben werden. In Abbildung 3.42 ist ein Beispiel dargestellt, bei dem die Temperatur um 2 K angehoben wurde. Mit dieser technisch einfach umzusetzenden Massnahme lassen sich pro Kelvin Temperaturerhöhung im Kaltwassererzeugerkreislauf bis zu 2,5 % elektrische Energie einsparen.

2. Reduktion der Grädigkeit des Verdampfers

Die Güte des Verdampfers hängt von der Differenz (Grädigkeit) zwischen Kaltwasser- zur Verdampfungstemperatur ab.

Druck p [bar]

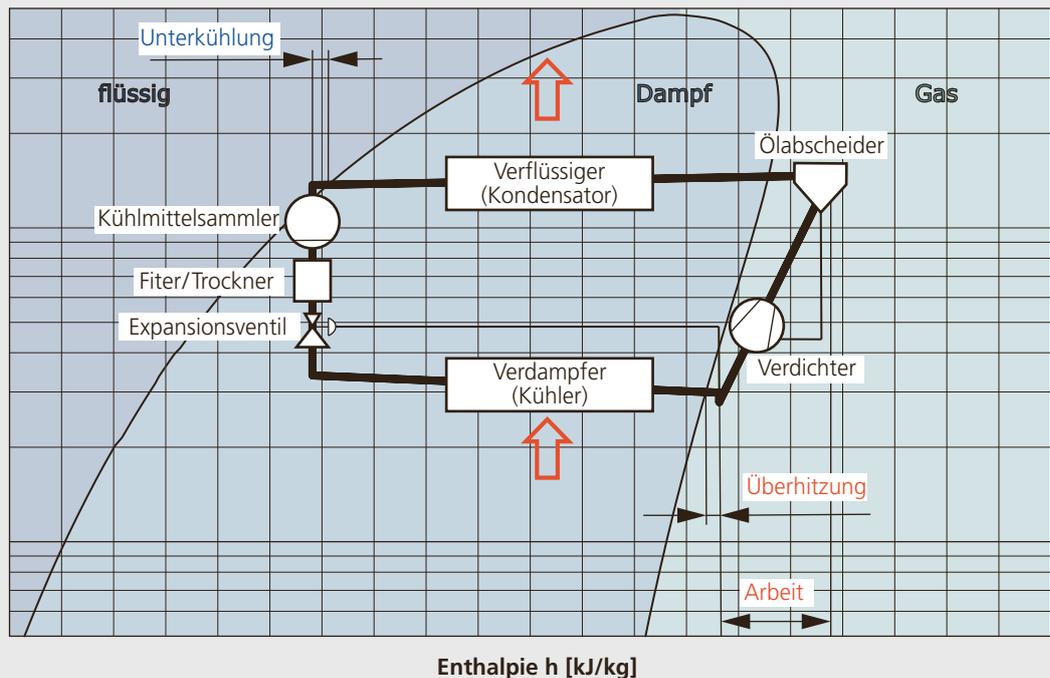


Abbildung 3.40:
Kältekreisprozess
mit Komponenten
(erstellt mit Cool-
Pack).

$$\Delta t_{\text{Verd.}} = t_{\text{KW,Verd.AUS}} - t_o$$

$\Delta t_{\text{Verd.}}$	Grädigkeit Verdampfer
$t_{\text{KW,Verd.AUS}}$	Temperatur Kaltwasser am Verdampferaustritt
t_o	Verdampfungstemperatur Kältemittel

Ein optimal dimensionierter Verdampfer von der Bauart im hier behandelten Beispiel hat eine Grädigkeit von 2 bis 4 K. Gefunden wurden aber 12,2 K.

Zum Optimieren der Grädigkeit muss der Verdampfer neu ausgelegt und ausgewechselt werden. Das ist mit hohen Investitionskosten verbunden und deshalb im Rahmen einer eBO oft nicht möglich. Pro Kelvin Grädigkeit lässt sich der Energieaufwand für den Verdichter um 2,5 % reduzieren.

3. Senken der Kühlwassertemperatur

Am Verflüssiger kann Abwärme für die Heizung gewonnen werden. Darauf wird in Kapitel 3.12 «Abwärmenutzung» näher eingegangen. Ist keine Abwärmenutzung vorhanden oder gibt es für die Abwärme

keinen Abnehmer, gelangt die Kondensationswärme der Kältemaschine über eine Rückkühlung ins Freie. Zwei Parameter tragen massgebend zu einer effizienten Rückkühlung bei:

- Die volle Ausnutzung der vorhandenen Rückkühlflächen
- Die Nutzung kühler Aussenlufttemperaturen bis zum minimal möglichen Verdampfungsdruck

Die Leistungsregelung der Rückkühler beeinflusst die Rückkühltemperatur. Durch zu- und wegschalten der Rückkühler und der Rückkühlventilatoren wird bestimmt, über wie viel Fläche die Rückkühlung stattfindet. Je mehr Rückkühlfläche genutzt wird, desto tiefer die Rückkühltemperaturen und desto höher der Energieaufwand für die Rückkühlventilatoren. Diese zwei Aspekte gilt es energetisch optimal aufeinander abzustimmen.

Die Ausnutzung des Potenzials tiefer Aussenlufttemperaturen bedingt eine Sollwertschiebung der Rückkühltemperaturen über die Aussenlufttemperatur. Die Grädigkeit, also die Differenz zwischen Aus-

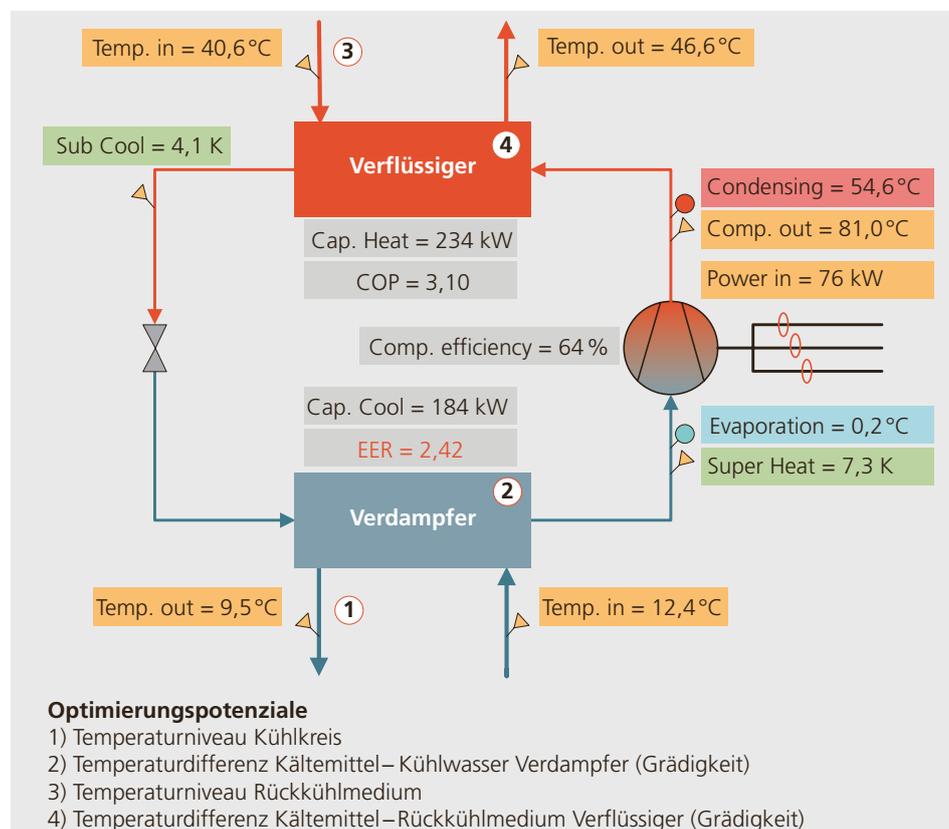


Abbildung 3.41: Mit KlimaCheck gemessene Temperaturen und daraus ermittelte Leistungen im Vollastbetrieb.

senlufttemperatur und Austrittstemperatur der Wasser-Glykol-Rückkühler einer Trockenrückkühlung beispielsweise beträgt bei guter Dimensionierung rund 6 K. Im gemessenen Beispiel (Abbildung 3.41) beträgt die Grädigkeit 9 K bei 31,6 °C Aussenlufttemperatur.

Mit den zwei einfachen und rasch umsetzbaren Massnahmen zum Senken der Kühlwassertemperatur lassen sich pro Kelvin Differenz im Rückkühlkreislauf bis zu 2,4 % elektrischer Energie sparen.

4. Reduktion der Grädigkeit des Verflüssigers

Die Güte des Verflüssigers hängt ab von der Differenz (Grädigkeit) der Rückkühler- oder Abwärme-Mediumtemperatur zur Kondensationstemperatur.

$$\Delta t_{\text{Verf.}} = t_c - t_{W-G, \text{Verf. AUS}}$$

$\Delta t_{\text{Verf.}}$	Grädigkeit Verflüssiger (Kondensator)
$t_{W-G, \text{Verf. AUS}}$	Temperatur Wasser-Glykol am Verflüssigeraustritt
t_c	Verflüssigungstemperatur Kältemittel

Ein optimal dimensionierter Verflüssiger hat eine Grädigkeit zwischen 1 und 2 K. Im Beispiel beträgt sie 8 K.

Zum Optimieren der Grädigkeit muss der Verflüssiger neu ausgelegt und ausgewechselt werden. Dies ist mit hohen Investitionskosten verbunden und deshalb im Rahmen einer eBO meist nicht machbar. Pro Kelvin Grädigkeit lässt sich der Energieaufwand für den Verdichter um 1,7 % reduzieren.

Tabelle 3.8 zeigt zusammenfassend die Resultate der vier Einzelmassnahmen. Würden in unserem Beispiel alle vier Optimierungsmassnahmen gleichzeitig umgesetzt, addierten sich die Spareffekte. Insgesamt wären Einsparungen bis zu mehr als 40 % möglich (Abbildung 3.42)!

Die vier beschriebenen Optimierungsmassnahmen sind technischer Natur. Eine regelmässige Wartung und die laufende Prüfung der Betriebstemperatur tragen eben-

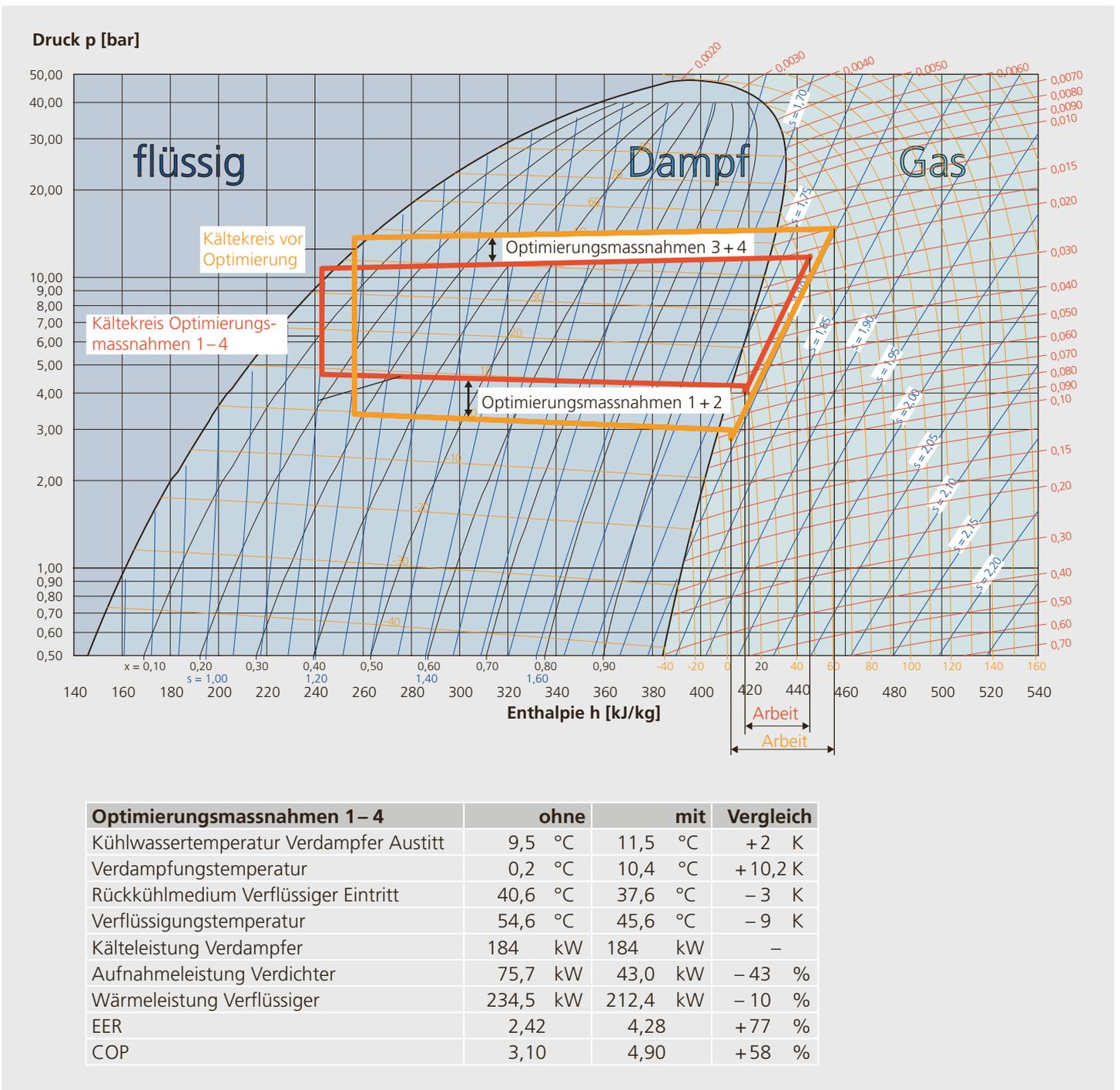
falls zum dauerhaft effizienten Betrieb einer Kälteerzeugung bei.

Voraussetzung für eine gute Wärmeübertragung sind zudem saubere Wärmetauscher. Wärmetauscher, die von Luft durchströmt werden, verschmutzen schnell und sollen deshalb periodisch fachgerecht gereinigt werden. Nähere Angaben dazu liefert die BFE-Broschüre «Bärenstark!» (Massnahme 1) [7].

Tabelle 3.8: Übersicht über die durchgeführten Optimierungsmassnahmen.

Optimierungsmassnahme	ohne	mit	Vergleich
1. Austrittstemperatur Kühlwasser Verdampfer	9,5 °C	11,5 °C	+2 K
Kälteleistung Verdampfer	184 kW	184 kW	–
Aufnahmeleistung Verdichter	75,7 kW	71,7 kW	–5 %
Wärmeleistung Verflüssiger	234,5 kW	232,8 kW	–1 %
EER	2,42	2,57	6 %
COP	3,10	3,25	5 %
2. Reduktion Grädigkeit Verdampfer	12,2 K	4 K	–8,2 K
Kälteleistung Verdampfer	184 kW	184 kW	–
Aufnahmeleistung Verdichter	75,7 kW	60,0 kW	–21 %
Wärmeleistung Verflüssiger	234,5 kW	227,9 kW	–3 %
EER	2,42	3,06	26 %
COP	3,10	3,80	23 %
3. Senken Kühlwassertemperatur	40,6 °C	37,6 ... 16 °C	–3 ... –24,6 K
Aussenlufttemperatur	31,6 °C	31,6 ... 22 °C	–
Kälteleistung Verdampfer	184 kW	184 kW	–
Aufnahmeleistung Verdichter	75,7 kW	70,2 ... 37,2 kW	–7,3 ... –50,9 %
Wärmeleistung Verflüssiger	234,5 kW	230,5 ... 209,2 kW	–1,7 ... –10,8 %
EER	2,42	2,62 ... 4,94	8,3 ... 104,1 %
COP	3,10	3,3 ... 5,6	6,5 ... 80,6 %
4. Reduktion Grädigkeit Verflüssiger	8 K	2 K	–6 K
Kälteleistung Verdampfer	184 kW	184 kW	–
Aufnahmeleistung Verdichter	75,7 kW	65,0 kW	–14 %
Wärmeleistung Verflüssiger	234,5 kW	228,7 kW	–3 %
EER	2,42	2,83	17 %
COP	3,10	3,52	14 %

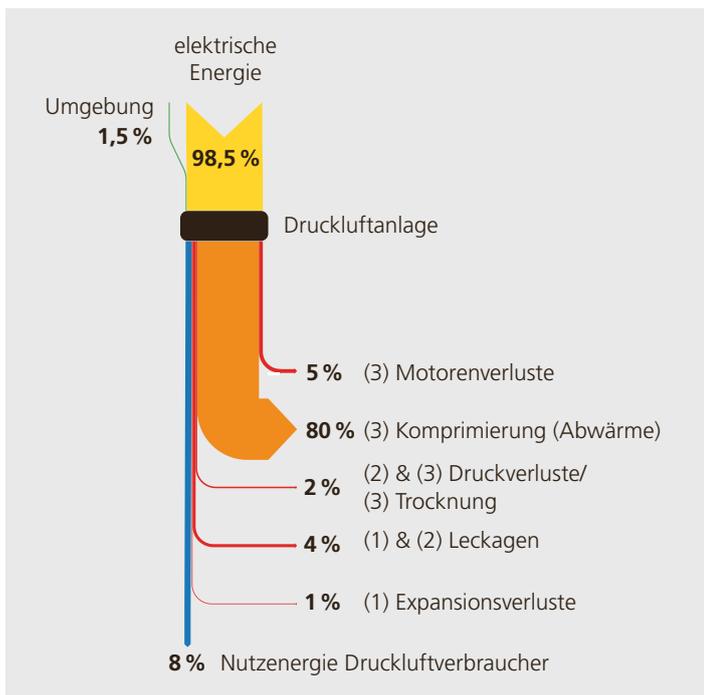
Abbildung 3.42:
Kumuliertes Potenzial der Optimierungsmassnahmen 1 bis 4.



3.9 Druckluft

Druckluftanlagen sind energieintensiv und verursachen vor allem Abwärme. Ungefähr drei Viertel der eingebrachten Energie wandelt sich in Wärme um. Die Reihenfolge der Massnahmen bei der eBO an Druckluftanlagen richtet sich nach Effizienzpotenzialen und beginnt deshalb beim Verbraucher. Das detaillierte Vorgehen und Tools zur eBO von Druckluftanlagen sind auf www.druckluft.ch zu finden.

Abbildung 3.43: Energiefluss einer typischen Druckluftanlage vom Verbraucher (1), über die Druckluftverteilung (2) bis zur Druckluftherzeugung (3).



Nutzungszonen – Verbraucher

Seitens Verbraucher sollten drei Effizienzmassnahmen in Betracht gezogen werden:

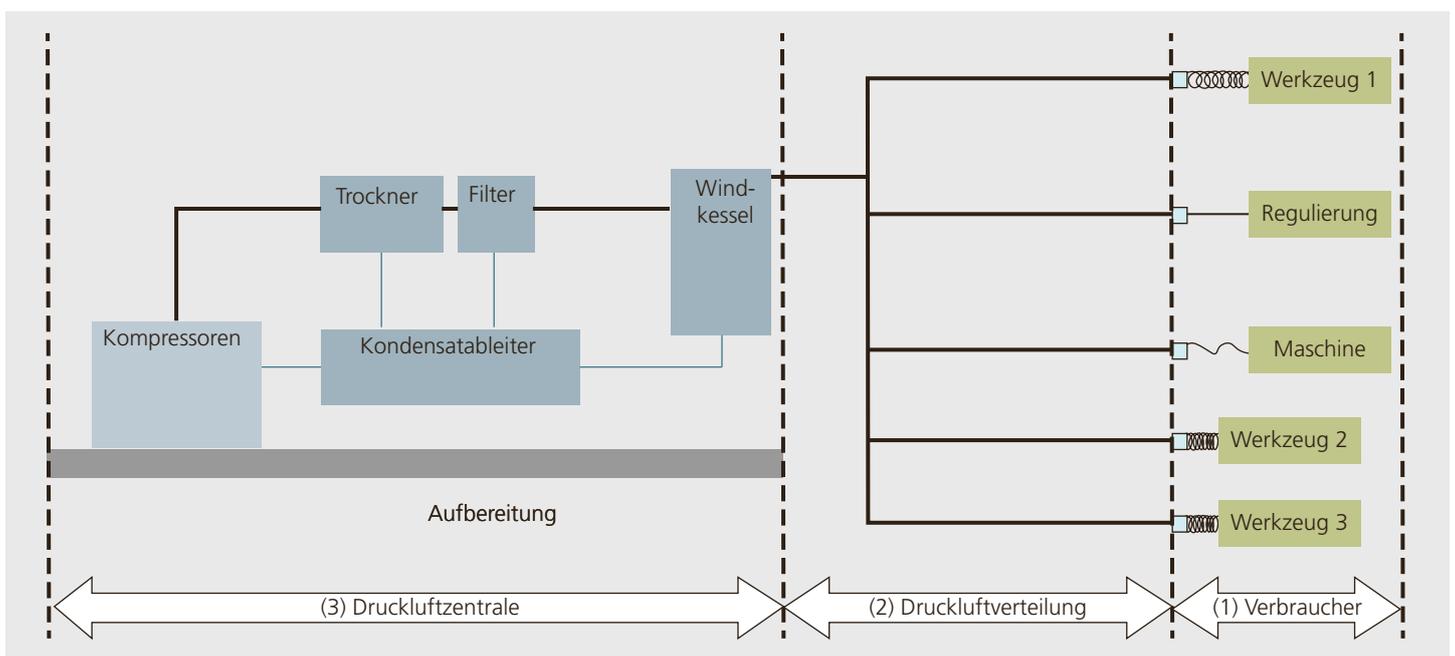
- Das Abkoppeln selten betriebener und/oder entlegener Abnehmer von der zentralen Druckluftherzeugung. Sie können entweder durch dezentrale Erzeuger versorgt oder durch elektrisch betriebene Geräte (z. B. Werkzeuge) ersetzt werden.
- Das Überprüfen des Maximaldrucks und des Luftmengenbedarfs
- Das Prüfen der Anschlussarmaturen auf Leckagen

Mit Druckluft betriebene Antriebe können bis zu 10-mal mehr Energie benötigen als elektrische. Müssen Verbraucher ersetzt werden, dann sollte wenn immer möglich auf elektrisch betriebene Apparate und Komponenten gewechselt werden.

Es soll für jeden Verbraucher abgeklärt werden, wie hoch der minimal erforderliche Druck sein muss. Sind einzelne kleine Verbraucher mit hohen Druckanforderungen ausgemacht, gilt es zu prüfen, ob sie von einer dezentralen Druckluftherzeugung versorgt werden sollen.

Das Risiko, dass Druckluftanschlusschläuche und -kupplungen undicht werden, steigt mit zunehmendem Alter. Ihr periodischer Ersatz kann die Verluste massiv verringern.

Abbildung 3.44: Schema einer Druckluftanlage mit Verbrauchern (1), Druckluftverteilung (2) und Druckluftherzeugung (3).



Druckluftverteilung

Bei Druckluftleitungen steigt der Leckage-Anteil mit zunehmendem Alter auf 20 bis 80 %. Anzustreben sind 5 bis 10 %. Mit Ultraschallmessgeräten können Leckagen bei Verbindungen und Armaturen zuverlässig detektiert werden. Sind undichte Stellen geortet, müssen sie gekennzeichnet und behoben werden.

Druckluftherzeugung

Zwei Massnahmen verbessern die Effizienz bei Druckluftherzeugungen:

- Das Reduzieren des Solldrucks beim Windkessel
- Das automatische Entkoppeln von Verbrauchern und das Abschalten der Druckluftherzeugung bei Nichtgebrauch

Der Solldruck des Windkessels kann so weit gesenkt werden, bis er der maximalen Druckanforderung der Verbraucher entspricht. Pro bar höherem Druck im Leitungssystem steigen die Energiekosten um rund 7 %.

Wenn an Wochenenden, während der Betriebsferien oder nachts kein Bedarf nach Druckluft besteht, soll der Erzeuger automatisch oder manuell ausser Betrieb genommen werden. Sind nur einzelne Verbraucher von solchen Unterbrüchen betroffen, können sie mit Kugelhähnen vom Netz getrennt werden. Wichtig: Die Kugelhähne müssen beim Wiedereinschalten langsam geöffnet werden, weil sonst die Druckluftherzeugung beschädigt werden kann.

3.10 Gebäudeelektrotechnik

Im Wesentlichen besteht die Gebäudeelektrotechnik aus Anlagen zur Energieversorgung und -verteilung sowie aus Sicherheits-, Brandschutz- und Kommunikationsanlagen. Nicht bei allen Anlagen ist das Potenzial für eine eBO gleichermaßen vorhanden. Abbildung 3.45 zeigt die Potenziale für die relevanten Anlagentypen.

Volker Wouters

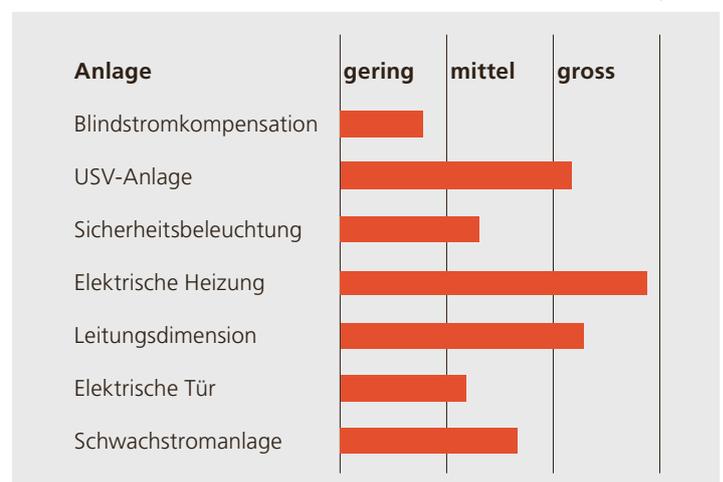
Blindstromkompensation

Induktive Verbraucher belasten das Netz mit Blindleistung. Dies erhöht die Übertragungsverluste in den Leitungen. Gezielt platzierte Kompensationsanlagen oder Frequenzumformer bei Motoren und/oder grösseren induktiven Verbrauchern können diese Verluste reduzieren. Die Blindstromkompensationsanlage lässt sich auf Basis der Abrechnung des Versorgungsunternehmens dimensionieren. Damit kann auch die Wirtschaftlichkeit einer solchen Installation überprüft werden.

USV-Anlagen statisch (batteriegestützt)

Unterbruchfreie Stromversorgungsanlagen (USV) versorgen sensible Verbraucher bei einem Netzausfall und verbessern die Qualität der Netzspannung generell. Oft sind solche Anlagen aus verschiedenen Gründen überdimensioniert und arbeiten nicht mit optimalem Wirkungsgrad. Je nach Anlagentyp und Auslastung fallen zwischen 5 und 10 % der Anlagenleistung als Abwärme direkt an der USV an. Diese Abwärme muss unter Umständen via Küh-

Abbildung 3.45: Abschätzung des Sparpotenzials verschiedener Elektroanlagen (Quelle: V. Wouters, HSLU).



lung abgeführt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass die Umgebungstemperatur für die Batterien zwischen 20 und 25°C liegen sollte. Weil der Geräteteil der USV kurzfristig (< 1 h) Umgebungstemperaturen bis 40°C verträgt, kann es sinnvoll sein, die Batterien in einen separaten Raum zu platzieren.

Sicherheitsbeleuchtungsanlagen

Die Sicherheitsbeleuchtung ist Teil der Notbeleuchtung. Sie stellt sicher, dass Personen bei Netzausfall einen Raum oder ein Gebäude sicher verlassen können. Oft werden die Sicherheitszeichenleuchten (Rettungszeichenleuchten) in Dauerschaltung betrieben. In Gebäuden, in denen das nicht explizit gefordert ist, können sie ausserhalb der Nutzungszeiten auch abgeschaltet oder in Bereitschaftsschaltung betrieben werden. Im Zweifelsfall muss eine solche Massnahme mit der zuständigen Behörde besprochen werden.

Elektrische Heizungen für Satellitenantennen, Dachrinnen und Einfahrten

Um das Einschneien von Satellitenempfangseinheiten (Parabolantennen) zu verhindern, werden in alpin gelegenen Gebäuden (v.a. Hotels und Chalets) unter den Empfangseinheiten elektrische Bodenheizungen installiert. Wenn dies unumgänglich ist, sollten diese Heizungen mindestens mit einem Feuchte-/Schneesensor ausgerüstet sein. Im Idealfall kann durch eine ausreichend hohe Montage der

Empfangseinheit ganz auf eine elektrische Heizung verzichtet werden. Die Einschalttemperatur sollte nicht über 3°C eingestellt werden.

Auch Heizungen von Dachrinnen und Einfahrten sollten an einem Feuchtefühler betrieben werden. So lässt sich sicherstellen, dass sie bei tiefen Temperaturen ohne Schneefall nicht aktiviert werden. Die Einschalttemperatur sollte ebenfalls nicht über 3°C eingestellt werden.

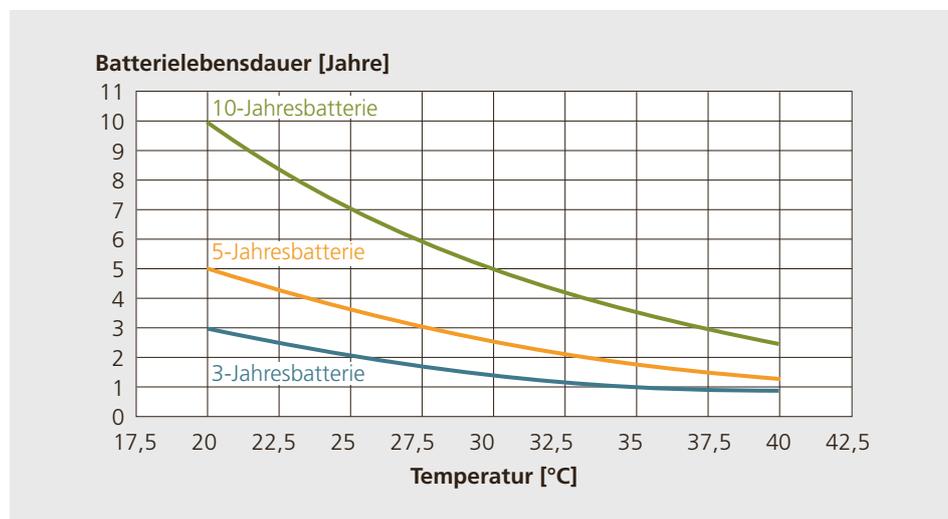
Dimensionierung der Leitungen

Bei langen und unterdimensionierten Leitungen können erhebliche Verluste entstehen. Entscheidend sind Stromstärke und Betriebsdauer. Unter Umständen können sich die Kosten für die Verstärkung (Querschnittserhöhung) von Versorgungsleitungen mit hoher Betriebsdauer und hoher Auslastung schon in kürzester Zeit amortisieren.

Dreh- und Karusselltüren

Bei elektrisch angetriebenen Dreh- und Karusselltüren kann die Betriebsart angepasst werden. Um Strom zu sparen, kann der Antrieb ausgeschaltet werden, sobald keine Personen anwesend sind oder das Gebäude generell nicht genutzt wird.

Abbildung 3.46:
Lebensdauer von
USV-Batterien ver-
sus Umgebungstem-
peratur. (Quelle:
Control Enginee-
ring)



Schwachstromanlagen und -installationen

Zu den Schwachstromanlagen gehören unter anderem:

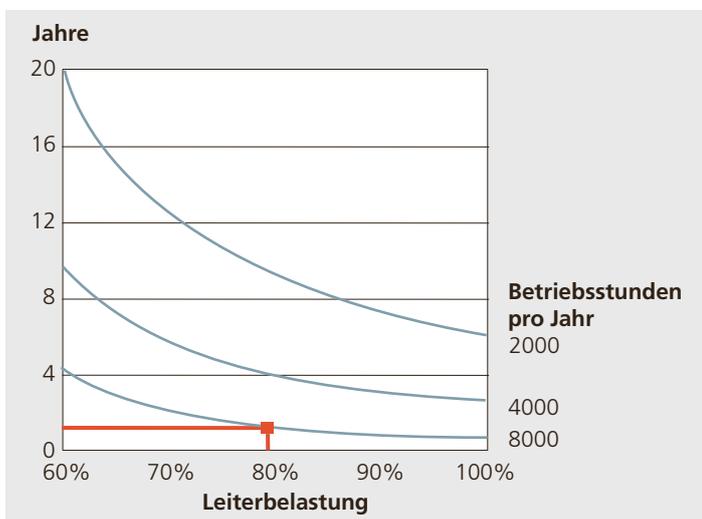
- Brandmelde- und -vermeidungsanlagen
- Lautsprecher- und Evakuationsanlagen
- Uhrenanlagen
- Videoüberwachungsanlagen
- Gebäudeautomation

Signalanlagen, die zum Schutz von Personen in Gebäuden oder zum sicheren Verlassen des Gebäudes dienen, eignen sich nur bedingt für eine eBO. Bei folgenden Anlagen lohnt es sich aber, näher hinzusehen: Bei **Videoüberwachungsanlagen**, die nicht permanent besetzt sind, können die Überwachungsbildschirme in einen «Stromsparmmodus» versetzt werden, wenn sie nicht gebraucht werden. Dasselbe gilt für Uhrenanlagen, die ausserhalb der Nutzungszeit nicht verwendet werden.

Brandvermeidungsanlagen vermindern das Brandrisiko durch Reduzieren des Sauerstoffgehaltes. Es gilt: Je tiefer der Sauerstoffgehalt, umso tiefer das Brandrisiko und umso höher der Energiebedarf. Mit folgenden Massnahmen können bis zu 30 % an elektrischer Energie für die Reduktion des Sauerstoffgehaltes gespart werden:

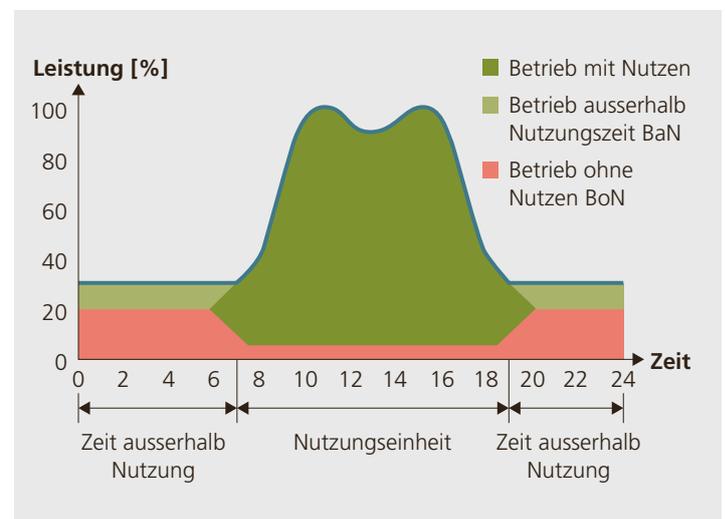
- Gasdichte Kabeldurchführungen
- Hochwertige Türdichtungen
- Kunststoffhaltiger (diffusionsdichter) Farbanstrich an Decken, Wänden und Böden

Abbildung 3.47:
Amortisationsdauer von elektrischen Versorgungsleitungen in Abhängigkeit der jährlichen Betriebsstunden und der Auslastung in Prozent zur maximalen Normlast.
(Quelle: Peter Bryner, Electrosuisse)



Anlagen der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) stellen den Daten- und Sprachverkehr in Gebäuden sicher und verursachen eine permanente Bandlast, auch ausserhalb der Nutzungszeiten. Hier lassen sich zwei Fälle unterscheiden: Der Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit (BaN) und der Betrieb ohne Nutzen (BoN). Durch gezieltes Abschalten von IKT-Anlagen ausserhalb der Nutzungszeiten können sowohl der BaN als auch der BoN signifikant reduziert werden (Abbildung 3.48).

Abbildung 3.48:
Elektroinstallationen: BaN (Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit) und BoN (Betrieb ohne Nutzen). (Quelle: Swiss Energy Codes – Revision SIA 380/4, Teilprojekt 7: Verlastungsoptimierte Elektroinstallationen)



Olivier Steiger

3.11 Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomation (GA) umfasst alle Einrichtungen zur Steuerung, Regelung, Überwachung und Optimierung von gebäudetechnischen Anlagen. Die Gesamtheit der Einrichtungen wird auch als GA-System oder GA-Systeme bezeichnet. Bei der GA laufen die verschiedenen Gewerke zusammen, deshalb spielt sie bei der eBO eine grosse Rolle [8].

Die GA stellt sicher, dass unterschiedliche Anlagen abgestimmt zusammenwirken und bedarfsgeführt funktionieren. Zudem lässt sich mit einem technischen Monitoring Transparenz bezüglich Optimierungen schaffen und der Erfolg von eBO-Massnahmen kontrollieren. Zunehmend werden IoT-Lösungen (Internet of Things, Internet der Dinge) eingesetzt, die das Optimierungspotenzial noch besser ausschöpfen und neue Anwendungsfälle im Gebäude mit sich bringen. Der Begriff IoT steht dabei ganz allgemein für die Vernetzung von dedizierten physischen Gegenständen untereinander und mit dem Internet. Beispiele sind die drahtlose Erfassung des Raumkomforts und die automatisierte

Raumoptimierung. In Zukunft werden voraussichtlich auch Automationssysteme eingesetzt, welche die grundlegenden Betriebsparameter (Sollwerte, Heizkurven, Zeitschaltpläne usw.) selbständig optimieren. Damit lassen sich einzelne eBO-Massnahmen (teil-)automatisiert umsetzen.

eBO mittels bedarfsgeführter und integraler Gebäudeautomation

Gebäudetechnische Anlagen sollen so betrieben werden, dass die vereinbarten Anforderungen mit möglichst geringem Energieverbrauch erfüllt werden. Die europäische Norm [9] stellt Hilfsmittel bereit

- für die Planung eines GA-Systems, das wesentlich zu einer guten Energieeffizienz des Gebäudes beiträgt und
- für die Abschätzung des Effizienzbeitrages bei verschiedenen Automationsgraden der technischen Anlagen.

Energie wird dadurch gespart, dass gebäudetechnische Anlagen bedarfs- und präsenzgeführt betrieben werden. Dazu gehört beispielsweise, dass Beleuchtung und Belüftung nur bei Anwesenheit von Perso-

Abbildung 3.49: Das technische Monitoring dient der Erfolgskontrolle einer eBO. Die verschiedenen Etappen des technischen Monitorings (von der Messdatenerhebung bis zum Reporting) sind hier farblich gekennzeichnet. Die abschliessenden Etappen der eBO sind grau hinterlegt. (Quelle: Hochschule Luzern)



nen betrieben werden. Auch Wärme und Kälte sollen entsprechend dem Bedarf in den Räumen bereitgestellt werden.

Die Energiesparwirkungen der GA-Systeme können weiter verstärkt werden, wenn auch das Zusammenspiel unterschiedlicher Systeme berücksichtigt wird – das nennt sich dann integrale GA. Beispielsweise lässt sich der Einfall von Sonnenlicht ins Gebäude durch automatische Sonnenschutzeinrichtungen steuern. Eine solche Regelung dient dann zur Unterstützung der Beleuchtungs-, Heiz- und Kühlsysteme. Eine Auswahl von GA-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden zeigt Tabelle 3.9.

Erfolgskontrolle durch technisches Monitoring

Das technische Monitoring dient zum Erfassen von Energie- und Medien-Verbräuchen sowie von Anlagenzuständen im Gebäude [10]. Es wird eingesetzt, um Energieflüsse zu ermitteln und darzustellen. Dazu gehören etwa der Stromverbrauch einer Wärmepumpe, die Stromproduktion der Photovoltaikanlage, der Allgemeinstrom, die Wärmeströme bei Heizung und

Warmwasser. Zudem überwacht das technische Monitoring Funktion und Betriebszustände von massgeblichen Anlagen wie der WRG oder der Abwärmenutzung. Der Erfolg von eBO-Massnahmen lässt sich mithilfe des technischen Monitorings kontrollieren. Zudem liefert es eine belastbare Grundlage für weitere Optimierungsschritte.

Der Prozess des technischen Monitorings lässt sich in verschiedene Etappen unterteilen (Abbildung 3.49) [11]. Zuerst werden die Messdaten mittels Sensoren erfasst. Jeder Sensor muss auf die jeweilige Messaufgabe abgestimmt und fachgerecht installiert werden. Die Datenübermittlung kann über verschiedene Kanäle stattfinden, etwa über ein lokales Netzwerk, drahtlose Datennetze oder eine Cloud.

Die gewonnenen Messdaten müssen als Erstes plausibilisiert werden. Hier werden ungültige Messdaten erkannt und entfernt oder korrigiert. Die anschliessende Datenanalyse ist das Kernstück des Monitorings. Sie dient dazu, in den Messdaten relevante Einflüsse und Zusammenhänge zu erkennen. Hierfür werden statistische (Mittelwert, Regressions- oder Varianzanalyse) und stochastische Methoden (outlier detection, Clusteranalyse) verwendet. Die Visualisierung soll dann eine prägnante Übersicht über die wichtigsten Indikatoren (z. B. Energieverbräuche) liefern. Oft werden die Ergebnisse der Datenanalyse weiter mit Planungswerten oder Benchmarks anderer Anlagen verglichen. Dadurch kann schnell eine Aussage über den Betriebszustand der beobachteten Anlagen gemacht werden. Das Reporting enthält letztlich die Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Datenanalyse und dem Benchmarking.

Energiemanagementsysteme (EMS)

Neben der eBO gewinnen auch die Integration erneuerbarer Energien in den Strommarkt und die Erhöhung des Stromverbrauchs aus Eigenproduktion (Eigenverbrauch) an Bedeutung. Ziel ist es, die erneuerbaren Energien maximal zu nutzen und gleichzeitig das Verteilnetz minimal zu belasten.

Zu den technischen Lösungen gehören Energiemanagementsysteme (EMS). Sie messen die Energieflüsse im Gebäude, etwa die Stromproduktion der PV-Anlage, den Stromverbrauch der wichtigsten Verbraucher (Elektromobilität, Wärmepumpe, Haushaltgeräte) und die Einspeisung in das Verteilnetz. Um möglichst wenig selbst produzierten Strom ins Netz einzuspeisen, werden bestimmte Verbraucher in Zeiten überschüssiger Produktion eingeschaltet. Alternativ kann die überflüssige Energie in einer Batterie oder thermisch gespeichert werden.

IoT-Lösungen für die eBO

Mit der GA lassen sich gebäudetechnische Systeme überwachen und energetisch optimieren. Allerdings sind die etablierten Lösungen oft aufwändig und unflexibel, unter anderem wegen der festverdrahteten Netzwerktechnik und der zentralisierten Datenverarbeitung. Zunehmend wer-

	Konventionelle Variante	Besonders energieeffiziente Variante
Regelung des Heiz- und Kühlbetriebs		
Regelung der Übergabe	Einzelraumregelung durch Thermostatventile oder elektronische Regeleinrichtung	Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen den Regeleinrichtungen und dem GA-System; präsenzabhängige Regelung
Regelung der Warm-/Kaltwassertemperatur im Verteilungsnetz	Witterungsgeführte Regelung	Bedarfsabhängige Regelung, z. B. basierend auf der Regelgröße der Innentemperatur
Verriegelung zwischen heizungs- und kühlungsseitiger Regelung der Übergabe und/oder Verteilung	Keine Verriegelung	Vollständige Verriegelung: Durch die Automationsfunktion kann sichergestellt werden, dass ein gleichzeitiges Heizen und Kühlen ausgeschlossen ist
Regelung des Wärme-/Kälteerzeugers	Von der Aussentemperatur abhängige, variable Temperaturregelung	Von der Last abhängige, variable Temperaturregelung
Regelung der Trinkwassererwärmung		
Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers	Automatische Zweipunktregelung und geplante Ladefreigabe	Automatische Zweipunktregelung, geplante Ladefreigabe und bedarfsabhängige Regelung der Vorlauftemperatur
Regelung der Trinkwarmwasser-Zirkulationspumpe	Dauerbetrieb	Mit Zeitprogramm
Regelung der Lüftung und der Klimatisierung		
Regelung der Zuluft-Strömung auf Raumebene	Keine automatische Regelung: Die Anlage arbeitet konstant (z. B. manuell betätigter Schalter)	Präsenzabhängige Regelung: Die Anlage arbeitet in Abhängigkeit von der Belegung (Lichtschalter, Infrarotsensoren usw.)
Regelung der Raumlufttemperatur durch die Lüftungsanlage	Kontinuierliche Regelung: Entweder der Luftvolumenstrom oder die Zulufttemperatur können auf Raumebene dauerhaft angepasst werden; Sollwerte für die Raumtemperatur werden individuell eingestellt	Sowohl der Luftvolumenstrom als auch die Zulufttemperatur werden auf Raumebene in Abhängigkeit von der Heiz-/Kühlleistung geregelt
Regelung des Luftvolumenstroms oder Luftdruckes auf der Ebene der Luftbehandlungsanlage	Zeitabhängige Zweipunktregelung: Kontinuierliche Luftvolumenstromzuführung für eine maximale Last in allen Räumen während der nominellen Belegungszeit	Automatische Luftvolumenstrom- oder Druckregelung mit Druckrücksetzung: Lastabhängige Luftvolumenstromzuführung für den Bedarf aller angeschlossenen Räume
Regelung der Beleuchtung		
Regelung entsprechend der Belegung	Manuell zu betätigender Ein-/Aus-Schalter	Präsenzabhängige Steuerung: Die Anlage arbeitet in Abhängigkeit von der Belegung (Lichtschalter, Infrarotsensoren usw.)
Regelung der Lichtintensität	Manuell je Raum/Zone: Die Leuchten können manuell mit einem Schalter im Raum ausgeschaltet werden	Automatisches Dimmen: Die Leuchten werden heruntergedimmt, wenn Tageslicht einfällt
Jalousienregelung		
Jalousienregelung	Handbetrieb oder motorbetrieben mit manueller Steuerung	Kombinierte Regelung von Beleuchtung, Sonnenschutzeinrichtungen und HLK-Anlagen zur Optimierung der Energienutzung der unterschiedlichen Anlagen in Abhängigkeit der Belegung
Technisches Haus- und Gebäudemanagement		
Betriebsstundenverwaltung	Manuelles Einstellen (Einschalten der Anlage)	Individuelles Einstellen nach vorgegebenem Zeitplan; variable Vorkonditionierungsphasen
Melden von Informationen zum Energieverbrauch	Lediglich Meldung aktueller Werte (z. B. Temperaturen, Messwerte)	Analyse, Leistungsbeurteilung, Bewertung von Umgebungs- und Energieaspekten im Innenbereich
Abwärmerückgewinnung und Wärmeumverteilung	Unmittelbare Nutzung von Abwärme oder Wärmeumverteilung	Gesteuerte Nutzung von Abwärme oder Wärmeumverteilung

Table 3.9: GA-Funktionen mit Auswirkung auf die Energieeffizienz von Gebäuden (Auswahl), (Quelle: EN 15232-1)

den stattdessen dezentrale und kostengünstigere Geräte eingesetzt. Sie sind nicht mit einem zentralen Rechner, sondern über drahtlose Netze untereinander und via Cloud verbunden. Dieses Geflecht von vernetzten physischen Objekten wird als IoT bezeichnet und eröffnet umfassende Einsatzmöglichkeiten im Gebäude. Vermehrt werden konventionelle drahtgebundene Sensoren und Zähler, beispielsweise für Stromverbrauch und Wärme, durch kostengünstigere drahtlose Varianten ersetzt. Sie können unabhängig von der bestehenden Gebäudeverkabelung in hohen Stückzahlen installiert werden. Damit werden Gebäude und deren Systeme engmaschig überwachbar. Das wiederum verbessert das Verständnis für das Gebäude, dessen Anlagen und Nutzer. Letztlich ermöglicht es eine wirksamere Optimierung.

Mit der IoT-Technik entstehen auch neue Anwendungsfälle. Ein Beispiel ist die automatisierte Raumoptimierung (englisch: Workspace Management). Mittels zahlreicher Präsenzmelder wird die Belegung von Räumen und Arbeitsplätzen erfasst. Ziel der anschließenden Datenanalyse ist die dynamische Zuteilung von Ressourcen gemäss den Bedürfnissen im Betrieb. Andersherum lassen sich damit in der Planung auch die Ressourcen an die Bedürfnisse anpassen. Dadurch lässt sich wiederum die Energieeffizienz steigern.

3.12 Abwärmennutzung

Unter Abwärmennutzung (AWN) versteht man die Wiederverwendung der aus einem Prozess entstandenen Wärme, die ansonsten ungenutzt aus dem Gebäude abgeführt wird. Wärmerückgewinnung (WRG) ist die bekannteste Form der AWN, die bei Lüftungsanlagen schon lange angewendet wird. Auf sie wird hier aber nicht weiter eingegangen.

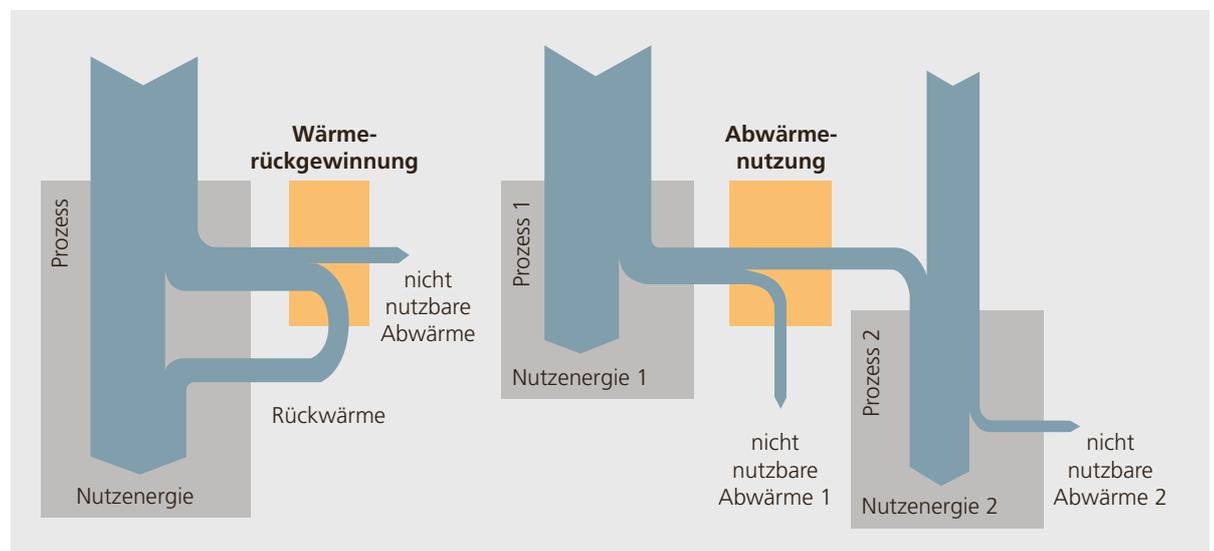
Abwärme fällt vor allem im Gewerbe und in der Industrie sowie bei Klimatisierung und Kühlung in Dienstleistungsgebäuden und Sportanlagen an. Genutzt wird sie in der Regel zum Heizen und zum Bereiten von Warmwasser.

Bei der eBO von bestehenden AWN-Systemen wird versucht, so viel ungenutzte Energie wie möglich zu nutzen. Oft ist das Potenzial hoch und es lohnt sich, genau hinzuschauen. Wesentlich dabei ist die genaue Analyse der Abwärmequelle (Wärmeanfall). Mittels Temperaturmessungen und, wenn vorhanden, Auswertungen von Wärmehählern muss festgestellt werden, wann und wie viel Wärme auf welchem Temperaturniveau anfällt. Um diese Wärme maximal zu nutzen, muss die Senke ebenfalls gemessen werden. Üblicherweise sind dies die Trinkwasservorwärmung und die Vorwärmung des Rücklaufs von Heizgruppen.

Um die AWN zu fördern, sollen möglichst tiefe Temperaturen bei den Senken angestrebt werden. Eine Möglichkeit hierzu

Angelo Lozza

Abbildung 3.50: Unterschied von WRG und AWN. (Quelle: BMS-Energietechnik AG)



bietet die Optimierung der Heizkurven (siehe Kapitel 3.3). Bei den Verbrauchern sollen die Rücklauftemperaturen nicht hochgemischt werden. In der Praxis wird dies aber wegen versteckter Bypässe oft der Fall sein (Abbildung 3.51). Unter Umständen kann zwischen den einzelnen Verbrauchergruppen differenziert werden, das heisst: Nur die Verbraucher mit tiefen System- und Rücklauftemperaturen werden von der AWN bedient. Im Folgenden werden häufig angetroffene Beispiele beschrieben, die Abwärmenutzung aus den Bereichen der Energieumwandlung, Speicherung und bei Verbrauchern zeigen.

AWN bei Kältemaschinen

Zunächst gilt es, die Komfort- und Betriebsanforderungen der Nutzer und Prozesse sauber zu bestimmen. Auf dieser Basis wird danach der Kältebedarf minimiert. Es muss auch geprüft werden, ob nicht ein «falscher» respektive zu langer

Wärme- und Kältebedarf generiert wurde, der gleichzeitiges Heizen und Kühlen erlaubt. Dies muss vermieden werden, etwa indem die Sommerklimatisierung bei tiefen Aussentemperaturen gesperrt oder die Heizgrenze optimiert wird (Kapitel 3.3). So etabliert man eine sogenannte Totzone,

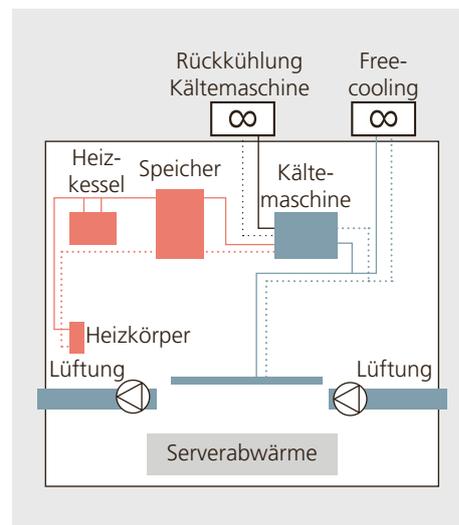


Abbildung 3.53: Beispiel einer Anlage mit Serverraumkühlung. (Quelle: Angelo Lozza, Lozza Energie und Gebäudetechnik)

Abbildung 3.51: Echter Bedarf für Heizen und Kühlen, getrennt durch eine Totzone. (Quelle: Angelo Lozza, Lozza Energie und Gebäudetechnik)

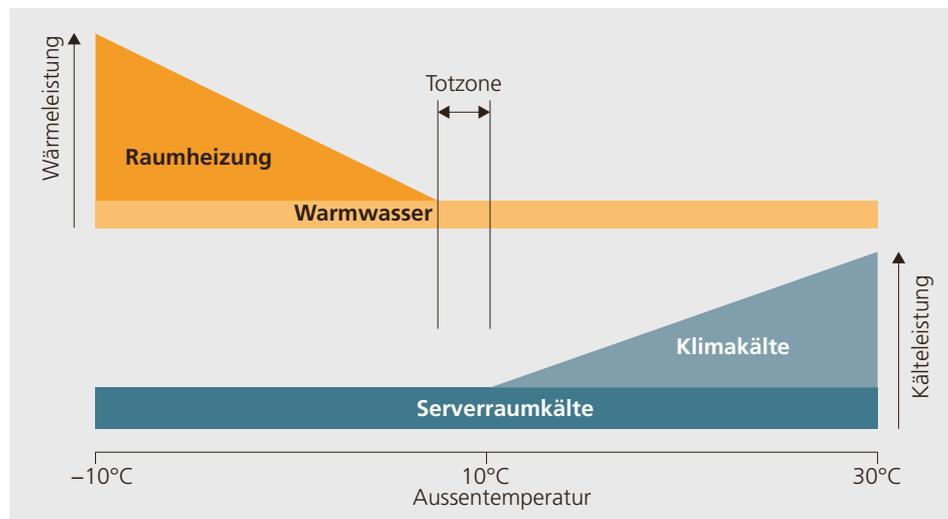
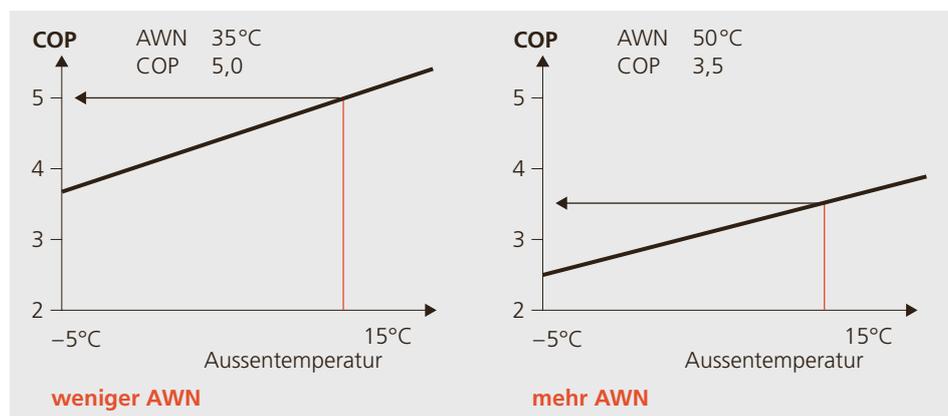


Abbildung 3.52: AWN aus Kälteanlagen mit verschiedenen Temperaturniveaus.



während der gleichzeitiges Heizen und Kühlen verhindert wird.

Ein besonders grosses Potenzial hat die AWN bei Kältemaschinen, die einen ganzjährigen Bedarf abdecken. Das sind beispielsweise solche, die Serverräume kühlen (Abbildung 3.53). Hier kann die Abwärme ganzjährig für die Vorwärmung von Heizmedien oder Trinkwarmwasser respektive für die Nacherhitzung von Luftströmen verwendet werden.

Wenn gleichzeitiger Wärme- und Kältebedarf besteht, soll die AWN gegenüber dem Freecooling (Aussenluft-Kühlung) priorisiert werden. Dadurch lässt sich fossile Energie für die Wärmeerzeugung sparen, weil die Energie von einer Kältemaschine nur mit einem Aufwand von etwa $1/EER$ erzeugt wird. EER (Energy Efficiency Ratio) steht für die Leistungszahl der Kältemaschine, er erreicht im Durchschnitt 4 bis 7. Wenn kein Wärmebedarf ansteht, soll das Kältesystem auf Freecooling oder Rückkühlbetrieb schalten, mit möglichst tiefen und nach Aussentemperatur gleitenden Kondensationstemperaturen.

Die Temperatur der AWN kann in Einzelfällen gesteuert werden, indem die Kondensationstemperatur der Kältemaschine im AWN-Betrieb erhöht wird. Dadurch sinkt zwar die Leistungszahl der Kältemaschine gegenüber dem normalen Betrieb. Weil der Heizkessel aber weniger laufen muss, verbessert sich die Gesamteffizienz der Wärme- und Kälteerzeugung. Zudem kann bei hohen Temperaturen meist eine grössere Wärmemenge abgegeben werden, besonders bei älteren Systemen mit hohen Vorlauftemperaturen. Welches Temperaturniveau optimal ist, gilt es von Fall zu Fall abzuwägen.

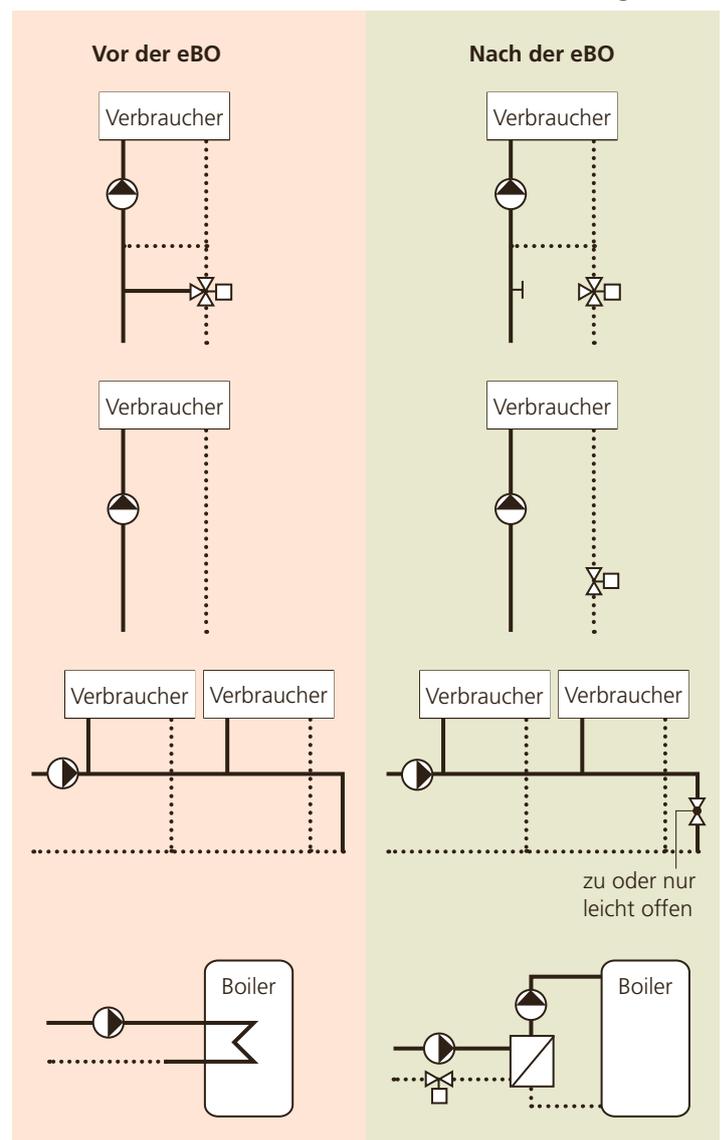
Anders verhält es sich bei der Nutzung von Enthitzerabwärme, die konstant auf höherem Niveau zwischen 50 und 80 °C anfällt. Sie kann unabhängig von der Kondensationstemperatur genutzt werden, erfordert aber bei der Kältemaschine einen zusätzlichen vorgeschalteten Kondensator. Der Anteil der Enthitzungsabwärme beträgt etwa 10 bis 20 % der gesamten Abwärme.

Druckluftabwärme

Abwärme von Kompressoren fällt nur zu Nutzungszeiten an. Je nach Gerätetyp liegt ihre Temperatur zwischen 30 °C und 70 °C. Auch hier soll zuerst die Druckluftseite optimiert werden, um das Verlustpotenzial festzustellen und zu minimieren.

Wie Abbildung 3.43 auf Seite 70 zeigt, produzieren Motor, Kompressor und die Kühlung der erzeugten Druckluft rund 80 % der Abwärme. Werden hier AWN-Systeme für die Erwärmung von Wasser nachgerüstet, lassen sich die Payback-Zeiten oft sehr kurz halten. Kostengünstig sind auch Lösungen, bei denen die warme Abluft via Lüftungsanlage in zu beheizende Lager- oder in andere Nebenräume geleitet wird.

Abbildung 3.54: Drosselschaltungen ermöglichen tiefe Rücklauftemperaturen. (Quelle: Angelo Lozza, Lozza Energie)



Industrielle Abwärme aus Prozessen

Das Temperaturniveau der Abwärme aus Produktionsprozessen liegt üblicherweise zwischen 40 und 300 °C. Näheres dazu ist in Kapitel 3.3, «Abwärmennutzung aus Heizkesselabgasen und Kondensation» zu finden.

Als Erstes sollen auch hier die Wärmeverluste mithilfe von effizienten Maschinen, Wärmedämmung und Regelung auf ein Minimum reduziert werden. Zuerst wird die rückgewonnene Wärme stets innerhalb des jeweiligen Prozesses genutzt und erst in zweiter Priorität für andere Zwecke verwendet.

Meist fällt Prozesswärme ganzjährig an und kann für die Raumheizung und Wassererwärmung verwendet werden. Auch hier soll darauf geachtet werden, dass die Rücklauftemperaturen der Wärmenetze tief sind. Das verbessert die Wärmeausbeute. Abbildung 3.54 zeigt, welche hydraulischen Schaltungen wie umgebaut werden müssen. Zudem müssen die Ventile auf Dichtheit geprüft werden.

Für Produktionsunternehmen mit komplexeren Wärme- und Kälteströmen eignen sich Pinch-Analysen [12]. Dabei werden der notwendige Energiebedarf, das wirtschaftliche Optimum und die möglichen Massnahmen analysiert.

Abwärme aus Abwasser

Damit Wärme aus Abwasser überhaupt nutzbar wird, muss sie meist mit einer Wärmepumpe zunächst auf das notwendige Temperaturniveau gehoben werden. Weiteres hierzu ist in Kapitel 3.3 zu finden.

Speichermanagement für AWN

In der Regel wird für die AWN ein Wärmespeicher eingesetzt. Zu einem optimalen Speichermanagement gehören:

- Das Abfragen des Ladebedarfs, das heisst: Der Speicher wird geladen, sobald seine Temperatur tiefer ist als die Solltemperatur der Abnehmer. Bei der Raumheizung ergibt sich die Solltemperatur aus der Heizkurve.

- Die AWN wird nur betrieben, wenn eine Wärmeanforderung für Raumheizung oder Brauchwassererwärmung besteht.

- Das Abfragen des Wärmeanfalls: Sobald die AWN-Temperatur höher als die des Speichers ist, schaltet sie ein und läuft so lange, bis der Speicher voll ist.

Die AWN muss ständig überwacht werden. Nimmt die Abwärmemenge nämlich wegen Mängeln ab, kompensiert dies der fossile oder elektrische Wärmeerzeuger. Weil das automatisch abläuft, wird das zugrunde liegende Problem nicht erkannt.

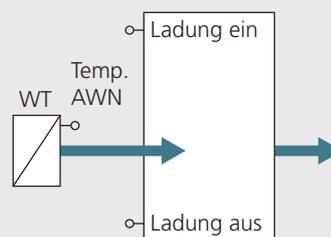
Quelle/Wärmeanfall

- Prozess optimieren und interne WRG zuerst
- möglichst hohe Temperaturen, jedoch keine massgebliche Verschlechterung von η /EER
- Zeitprofil ermitteln

Messung



Speicher



- Temperatur der Quelle höher als die der Senke
- zeitliche Übereinstimmung Tag/Nacht und Sommer/Winter
- klare Lade- und Entladekriterien Speicher (z.B. bei Kältemaschine hohe/tiefe Kondensation)
- maximales Füllen und max. Entladen
- Abfragen Bedarf/Anfall

Senke/Wärmebedarf

- zuerst Bedarf optimieren, Verbrauch senken
- tiefe Temperaturen pro Verbraucher
- kein RL-Hochmischen/hydraulische Fehler
- Zeitprofile

Optimieren



Messung



Abbildung 3.55: Wesentliche Kenngrössen und Ziele bei Wärmequelle und -senke, wenn es darum geht die nutzbare Abwärmemenge zu maximieren. (Quelle: Angelo Lozza, Lozza Energie)

3.13 Elektrische Energieversorgung

Netztransformatoren

Volker Wouters

Aufgabe von Netztransformatoren (Trafos) ist es, die Mittelspannung aus dem öffentlichen Netz in verbrauchertaugliche Niederspannung zu wandeln. Bei Transformatoren gibt es zwei relevante Arten von Energieverlusten:

- Leerlaufverluste (Eisenverluste)
- Lastverluste (Kupferverluste)

Die Leerlaufverluste sind unabhängig von der Belastung und bei eingeschaltetem Transformator konstant vorhanden. Die Lastverluste hängen vom Belastungszustand des Transformators ab und nehmen quadratisch mit der Belastung zu (Abbildung 3.56).

Um die Leerlaufverluste komplett zu eliminieren, reicht es nicht, den Transformator auf der Sekundärseite vom Netz zu trennen. Er müsste mittelspannungsseitig ausgeschaltet werden. Sind Transformatoren rein aus Redundanzüberlegungen mehrfach vorgesehen, kann sich dies durchaus lohnen.

Hierzu folgendes Beispiel: Ein Transformator mit 630 kVA Nennleistung (Abbildung 3.56) hat rund 1,5 kW Leerlaufverlust, was auf das Jahr betrachtet rund 13 000 kWh Verlustenergie verursacht. Das entspricht etwa dem Energieverbrauch von drei mittleren Einfamilienhäusern.

Die Kapazität von Netztransformatoren (Trafos) wird auf die zu erwartende Leistungsspitze ausgelegt. Im Sinne der Ver-

sorgungssicherheit werden sie oft auch redundant ausgeführt. Bei Parallelbetrieb kann ausserhalb der Betriebszeit die verfügbare Trafoleistung durch Abschalten reduziert werden. Dadurch verringern sich die Verlustleistungen und somit auch die Verlustenergie.

Dieselektrische Notstromanlagen

Um kritische Teile von Anlagen bei Netzausfall mit Strom zu versorgen, werden oft dieselektrische Notstromaggregate installiert. Damit sie jederzeit startbereit sind, wird ihr Kühlwasser vorgewärmt. Dies geschieht in der Regel elektrisch. Die daraus entstehenden Heizverluste werden durch folgende Aspekte beeinflusst:

- Aufstellungsort (innen/aussen)
- Dämmung
- Heizungssteuerung
- Dichtigkeit des Aggregatraumes

Im Rahmen einer eBO soll geprüft werden, ob sich das Kühlwasser mit Abwärme aus dem Gebäude vorwärmen lässt. Infrage kommt etwa Abwärme aus einer ganzjährig betriebenen Kälteerzeugung, wie sie etwa bei Rechenzentren anzutreffen ist. Die elektrische Auf- oder Nachwärmung kann dann nur noch als Redundanz oder Ergänzung verwendet werden.

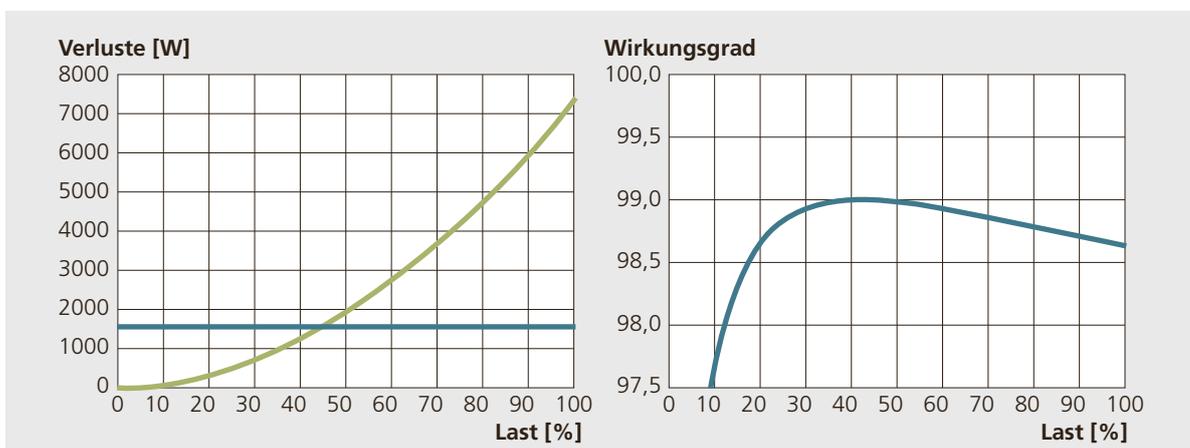


Abbildung 3.56: Verluste eines 630-kVA-Trockentransformators. (Quelle: Siemens)

3.14 Photovoltaik

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) erzeugen erneuerbare elektrische Energie und sind damit ein wichtiges Mittel, um den Ausstoss an CO₂ zu verringern. Sie dienen aber auch dazu, den Bezug von elektrischer Energie aus dem öffentlichen Netz zu reduzieren und können somit zur Reduktion der Energiekosten beitragen. Schliesslich werden sie auch dort eingesetzt, wo Anlagen oder Gebäude möglichst autark betrieben werden sollen. In diesem Fall werden sie teilweise auch mit einem elektrischen Speicher kombiniert. Wenn man berücksichtigt, dass die Leistungsabnahme (Degradation) jährlich rund 0,6 % beträgt, haben PV-Anlagen üblicherweise eine Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren. Damit eine PV-Anlage optimal arbeitet, sollen folgende Punkte im Rahmen einer eBO sichergestellt und periodisch überprüft werden:

- Die Paneele müssen regelmässig gereinigt werden. Sind sie verschmutzt oder durch Gegenstände abgedeckt, können sie schneller altern oder gar ausfallen.
- Das Dach muss gut unterhalten sein. Bei begrünten Dächern muss darauf geachtet werden, dass die Pflanzen die Paneele nicht verschatten. Verschattung reduziert den Ertrag in ähnlicher Weise wie eine Verschmutzung um 50 bis 70 %.

■ Die Produktion sollte regelmässig kontrolliert werden, damit Defekte oder Störungen zeitig entdeckt werden.

■ Ist der Wechselrichter an eine Überwachungsplattform angeschlossen, können die wetterabhängigen Sollwerte mit den Ertragswerten verglichen werden. Zudem bietet eine solche Plattform Einsicht in dessen Betriebszustand und zeigt allfällige Störungen.

■ Es muss sichergestellt werden, dass die Abwärme des Wechselrichters wirksam abgeführt wird.

■ Durch regelmässige (alle 2 bis 3 Jahre) visuelle Inspektionen können Alterserscheinungen an Paneelen frühzeitig erkannt und Folgeschäden vermieden werden.

Damit die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik zusätzlich gesteigert werden kann, sollte der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms möglichst hoch sein. Das lässt sich bei der eBO beeinflussen, indem man durch Instruktion der Nutzer oder Einbinden eines Energiemanagementsystems (EMS) dafür sorgt, dass der produzierte Strom möglichst unmittelbar verbraucht wird. Prädestiniert für die Integration in ein Energiemanagementsystem sind vor allem Systeme mit technischen Speichern. Dazu gehören etwa Wärmepumpenheizungen, elektrische Trinkwassererwärmer

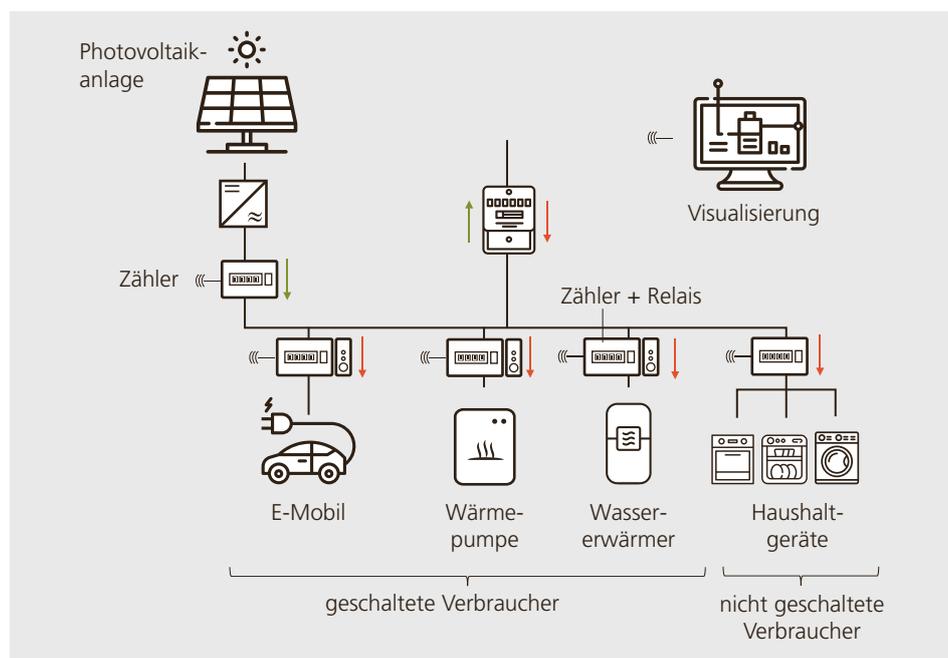


Abbildung 3.57: Lastmanagement-systeme steuern verbraucherabhängig vom produzierten Strom und steigern so den Eigenverbrauch. (Quelle: David Zogg, FHNW)

und Ladestationen von Elektrofahrzeugen. Reversible Wärmepumpen zur Temperierung und/oder Unterstützung der Regeneration von Erdsonden im Sommer können ebenfalls einen Beitrag zur Erhöhung des Eigenverbrauchs von selbsterzeugtem Photovoltaikstrom liefern.

Eine weitere Möglichkeit, den Eigenverbrauch zu optimieren, ist die Integration eines elektrischen Speichers. Er hilft gleichzeitig, Leistungsspitzen zu reduzieren sowie den Autarkiegrad zu erhöhen. Die Grösse des Speichers in kWh_{el} kann grob anhand folgender Parameter dimensioniert werden:

- 1 % der Jahresproduktion der Photovoltaikanlage
- 1 % des Jahresbedarfs respektive -verbrauchs des Gebäudes

Der kleinere der beiden Werte ist in der Regel eine sinnvolle Richtgrösse. Bei der exakten Dimensionierung können weitere Aspekte wie zum Beispiel das Lastprofil des Verbrauchs einen Einfluss haben.

3.15 Solarthermie

Auch thermische Solaranlagen lassen sich in die Bereiche Erzeugung, Verteilung und Abgabe unterteilen. Für jeden Bereich sind energetische Betriebsoptimierungen möglich. Sie werden beispielsweise für folgende Zwecke eingesetzt:

- Zum Erwärmen oder Vorwärmen von Brauchwarmwasser
- Zur Heizungsunterstützung (direkt oder indirekt). Bei Wärmepumpen bewirkt die Erwärmung der Quelle durch Solarenergie eine bessere Jahresarbeitszahl und somit geringere Energiekosten.
- Zum Regenerieren von Erdwärmesonden
- Zum Erwärmen des Wassers in Schwimmbädern
- Zum Erzeugen von Prozesswärme für Industrie, Grosswäschereien oder Autowaschanlagen
- Zum solaren Kühlen mit sorptionsgestützter Kühlung

In der Praxis werden diese Anwendungen oft auch miteinander kombiniert.

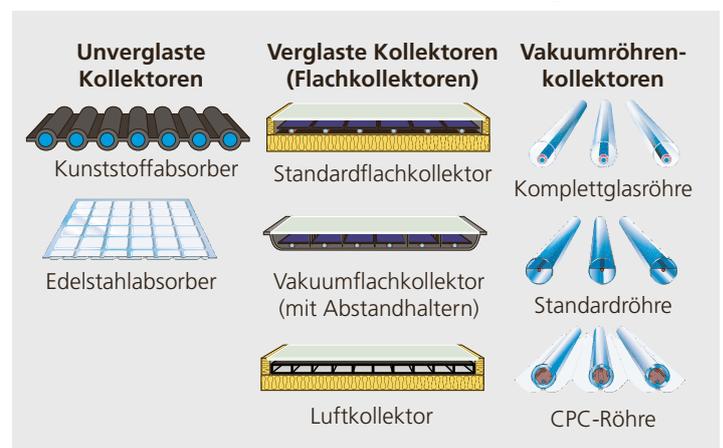
Liefertemperaturen

Bei der Wärmeversorgung richtet sich das Temperaturniveau nach den Anforderungen seitens der Verbraucher. Solaranlagen liefern aber witterungsbedingt und je nach eingesetztem Kollektortyp unterschiedlich hohe Temperaturen. Die üblichen maximalen Temperaturbereiche von Kollektortypen sind:

- unverglaste Kollektoren: 10–40 °C
- verglaste Flachkollektoren: 30–60 °C
- Vakuumkollektoren: bis 100 °C

Matthias Balmer

Abbildung 3.58: Bauarten Solar Kollektor. (Quelle: Dimensionierungshilfe Haustechnik, EnergieSchweiz)



Die Liefertemperatur der Solaranlage wird im Betrieb durch die Durchflussmenge des Mediums geregelt. Drei Durchflussbereiche für Kollektoren sind möglich:

■ Low-Flow: 15–30 l/m²h – hohes Temperaturniveau mit grosser Temperaturdifferenz

■ High-Flow: 30–60 l/m²h – tiefes Temperaturniveau mit kleiner Temperaturdifferenz

■ Matched-Flow: variabler Durchfluss zwischen 15–60 l/m²h – geregelt nach der Soll-Austrittstemperatur am Kollektor

Grundsätzlich wird der Kollektordurchfluss zugunsten einer hohen Vorlauftemperatur eher tief gehalten.

Anlagendruck

Als Faustregel für den optimalen Anlagendruck gilt: statische Höhendifferenz der Anlage zwischen Kollektorebene und Wärmespeicher plus 0,5 bar. Der Druck muss periodisch geprüft werden. Oft sinkt er im Betrieb wegen Lufteinschlüssen im hydraulischen System. Grosszügige Expansionsanlagen und regelmässiges Entlüften sind Voraussetzung für einen effizienten und sicheren Anlagenbetrieb.

Hinweis: Bei der Entlüftung tritt oft zuerst Wärmeträgermedium, meist ein Wasser-Glykol-Gemisch, aus. Deshalb ist es wichtig, immer ein Auffanggefäss unter der Entlüftungsarmatur zu platzieren. So vermeidet man, dass Wärmeträgermedium verschüttet wird.

peratur in den Kollektoren mit der geforderten Nutzttemperatur. Die optimale Temperaturdifferenz für die Pumpensteuerung wird am besten durch Ausprobieren und Messen ermittelt. Ausschlaggebend ist, dass die geforderte oder gewünschte Vorlauftemperatur für die Systemeinbindung gewährleistet werden kann. Voraussetzung für die zuverlässige Temperaturmessung an den Kollektoren ist die richtige Platzierung und Dämmung des Fühlers. Normalerweise wird er windgeschützt beim Mediaustritt auf der Unterseite der Kollektoren installiert.

Speicherung

Wird die Solarwärme über einen Speicher genutzt, muss geprüft werden, ob die Speicherschichtung funktioniert. Hierfür muss die Einströmebene des Kollektorvorlaufes in den Wärmespeicher mit den Einspeisetemperaturen verglichen werden. Bei ungeschichteten Stufenladespeichern gelangt die Energie aus den Solarkollektoren über einen speicherinternen Wärmeübertrager im untersten Bereich in den Wärmespeicher.

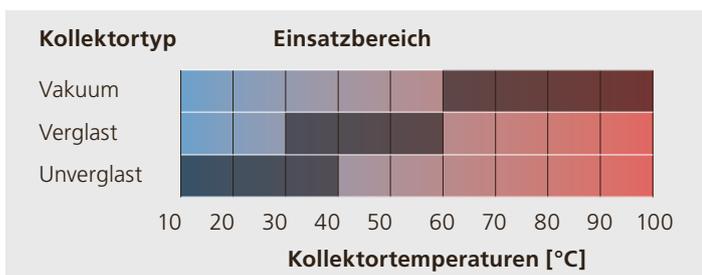
Dämmung

Die minimalen Dämmstärken der hydraulischen Leitungen entsprechen in der Regel mindestens den Anforderungen der MuKE 2014. Die visuelle Kontrolle der Dämmungen fördert allfällige Mängelzutage. Im Rahmen einer eBO lohnt es sich fast immer, solche Mängel beheben zu lassen.

Abbildung 3.59: Einsatzbereich Kollektortypen bezogen auf das Temperaturniveau. (Quelle: energie-soaire.ch)

Regelung

Solaranlagen werden nach Angebot (solarer Eintrag) und Nachfrage (erforderliches Temperaturniveau für die Nutzung) ein- und ausgeschaltet. Geregelt wird dies durch den Vergleich der Wärmeträgertem-



3.16 Literatur

- [1] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Norm 385/1, Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen (Ausgabe 2011)
- [2] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Regelwerk Hygiene in Trinkwasserinstallationen (Ausgabe 2018)
- [3] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Regelwerk Betrieb und Unterhalt von Sanitäranlagen (Ausgabe 2013)
- [4] Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Regelwerk Rückflussverhinderung in Sanitäranlagen (Ausgabe 2013)
- [5] Brunner, Arnold; Kriegers, Michael; Prochaska, Vladimir; Tillenkamp, Frank: Klimakälte heute, Kluge Lösungen für ein angenehmes Raumklima, Faktor Verlag 2019
- [6] Bundesamt für Energie, Broschüre «Kälte effizient erzeugen»
- [7] EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie, Broschüre «Bärenstark!»
- [8] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt 2048:2015. Energetische Betriebsoptimierung. Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein.
- [9] Europäisches Komitee für Normung: EN 15232-1:2017 (SIA 386.111) (2017), Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement.
- [10] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik AMEV, Empfehlung Nr. 135 (2017). Technisches Monitoring als Instrument zur Qualitätssicherung. Berlin
- [11] Vetterli, Nadège; Steiger, Olivier: Planung und Durchführung eines technischen Monitorings, Schweizer Energiefachbuch, pp. 129 – 131, 2019.
- [12] www.pinch-analyse.ch, Hochschule Luzern, abgerufen November 2019

Methodik

4.1 Umfeld und Betrieb, Istzustand

Ernst Sandmeier

Am Anfang eines eBO-Projekts steht immer die sorgfältige Analyse des Istzustandes. Dabei müssen sehr viele Informationen und Daten (siehe Kap. 4.2) zusammengetragen werden. Sie umfassen auch allgemeine Informationen zu den Unternehmen, die die betreffenden Anlagen nutzen und/oder besitzen. Dazu gehören etwa die relevanten Organisationseinheiten und Verantwortungsträger sowie die Tätigkeiten. Diese Informationen erleichtern das Verständnis der folgenden Datenanalyse und stellen die Verbindung zu den wichtigen Auskunftspersonen her. Gute Informationsquellen sind beispielsweise die Websites der Unternehmen. Typische Fragen können sein:

- Welche Prozesse, Anlagen, Nutzer und weitere Faktoren beeinflussen massgeblich den Energieverbrauch? Zu denken wäre hier etwa an Aussenklima/Wetter, Produktionsmengen, Produktions-/Betriebszeiten, Funktion und Wirkungsgrad von Abwärmenutzungs- oder Wärmerückgewinnungsanlagen etc.
- Wer betreibt die relevanten Anlagen? Ist es der interne Technische Dienst oder ein externer Dienstleister?
- Welche und welche Mengen von Produkten stellt das Unternehmen her? Korrelieren Produktarten und Produktionsmenge mit dem Energieverbrauch?
- Welche Betriebsphasen sind typisch für das Unternehmen? (Vollbetrieb, reduzierter Betrieb, kein Betrieb, Standby-Betrieb etc.)
- Ist ein Fernzugriff auf die Gebäudeautomation möglich?

4.2 Daten beschaffen, prüfen, plausibilisieren

Die für eine erfolgreiche eBO benötigten Daten sind in SIA 2048, Anhang 1 [1] umfassend beschrieben. Sie werden hier gruppiert und leicht angepasst wiedergegeben. Grob lassen sich die erforderlichen Daten in folgende Gruppen unterteilen:

- Informationen zu den Anlagen
- Informationen zur Energie

Details dazu liefern Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2.

Dokument, Information	Bereich	Details
Informationen zu den Anlagen		
Anlagenliste	Elektro	Transformatoren, Notlicht, USV, Netzersatzanlagen usw.
	Server	
	Beleuchtung	Kenndaten, Laufzeiten
	Gebäudeautomation	
	Sonnenschutz	Sollwerte resp. Kriterien ab/auf
	Wärmeerzeuger	Leistung in kW, Alter, Energieträger, Laufzeiten, Wirkungsgrad
	Trinkwassererwärmer, und -speicher	Inhalt, Baujahr, mit/ohne Warmwasserzirkulation, elektrische Warmhaltebänder
	Wassernachbehandlung	Enthärtung, Osmose usw.
	Kälte (gewerbliche Kälte, Klimakälte)	Kältemittel, Leistung (thermisch und elektrisch, COP), Betriebsstunden/Jahr, Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen
Lüftung	Luftmengen, mit/ohne WRG, Zuluftkonditionierung, Baujahr, Filterklassen, Energieklasse	
Baujahr	alle Anlagen	allenfalls auch Zeitpunkt von durchgeführten Sanierungen
Inbetriebsetzungs- und Abnahmeprotokolle	alle Anlagen	
Betriebsdaten	alle wesentlichen Anlagen	z. B. Betriebsstunden Wärmepumpe
Revisionsunterlagen (-pläne), Betriebsanleitung Gebäudetechnik	Elektro/Kommunikation, Heizung, Kälte, Lüftung/Klima, Sanitär usw., Sollwerte	
Pläne, Schemas	Prinzipschema Gebäudetechnik	Elektro/Kommunikation, Heizung, Kälte, Lüftung/Klima, Sanitär usw.
	Prinzipschema Gebäudeautomation	Topologie
	Strangschemas Heizung, Sanitär	
Dokumente zu anstehenden oder durchgeführten Erneuerungen, Änderungen, Instandsetzungen, Nutzungsänderungen	alle Anlagen	
Funktions- und Regelbeschriebe	Heizkurven, Heizgrenze, Nachtabsenkung	ursprünglich geplante und aktuell eingestellte Werte
	Sollwerte	z. B. für Temperaturen, Raumluftqualität
	Schaltuhrprogramme	
	Mess-/Trenddaten aus GA-System	
Funktionskontrolle von Schutzmassnahmen	z. B. Windwächter	
Informationen zum Gebäude, dessen Nutzung und Hülle		
Grundrisse, evtl. Schnitte und Fassadenpläne	alle Gebäude	Masstab 1:100, möglichst als PDF-Dateien, sonst als Ausdrucke im Format A3
Nutzungszonen, im Idealfall ein Raumbuch mit allen Angaben-, typische Nutzungszeiten, Ferien	Nutzflächen, Sitz- und Arbeitsplätze	
	Anforderungen an die Räume Spezialnutzungen	Temperaturen, Feuchtigkeit, Luftqualität usw. z. B. gewerbliche Küchen, Serverräume, Produktion, Callcenter mit 24-h-Betrieb
Gebäudeautomation	Art des Fernzugangs	Adresse, Protokoll, erforderliche Software
Reinigung	Reinigungsarten	
	Reinigungszeitpunkt	Uhrzeit, Wochentage
	Warmwassernutzung für die Reinigung	
Bekanntes Probleme beim Komfort	Verursacht durch Gebäudetechnik oder Gebäudehülle	Zu warm, zu kalt, Schimmelpilz, Lärm, Zugerscheinungen usw.
Instandhaltungskonzept	alle relevanten Gebäude	

Tabelle 4.1: Liste der wesentlichen Daten zu Anlagen und Gebäuden, die für eine erfolgreiche eBO erforderlich sind.

Dokument, Information	Bereich	Details
Informationen zu Energie und Wasser		
Verbrauchsdaten vom Netzbetreiber/Energieversorgungsunternehmen; Grossbezü- gern liefert der Netzbetreiber ¼-Stunden- Werte elektronisch	Elektro	Wenn möglich für Wärmepumpen separat
	Gas, Öl, Fernwärme, Wasser	Idealerweise die letzten 3 Jahre als Tages- oder Wochenwerte, mindestens aber als Mo- nats- oder Jahreswerte.
Aktuelle Stände aller Zähler	Elektro, Gas, Öl, Fernwärme, Wasser, Warmwasser usw.	Zählernummer, Datum, Zeit, Einheit, Ablese- faktor, angeschlossene Verbraucher
Verbrauchsdaten von privaten (Unter-)Zäh- lern	Strom, Wärme, Kälte, Kaltwasser, Trink- warmwasser (Nachspeisung Wasserer- wärmer/Warmwasserspeicher), Grau- wasser (wozu gebraucht?), Regenwasser (wozu gebraucht?), aufbereitetes Was- ser (enthärtetes Wasser und Osmose- Wasser) usw.	Werte der letzten drei Jahre als Monats- oder Jahreswerte, besser noch: Wochen-, Tages- oder Stundenwerte.
	Betriebsstunden	
	Messkonzept	Was genau wird gemessen?
	Ablesefaktoren, Einbaudatum (-jahr)	
Aktuelle Energietarife	Elektro	Hoch-/Niedertarif, Sommer/Winter, Spitzen- leistung, Blindleistung/-energie, Netznut- zung, Abgaben
	Energieträger	Öl, Gas (Erdgas, Propan, Biogas, Butan), Fernwärme, Biomasse usw.
	Wasser, Abwasser	
	Ins Netz rückgespeiste Energieformen	z. B. Photovoltaik-Anlagen oder Biogas
Energiekosten, idealerweise der letzten drei Jahre: Vergleich Rechnungen mit Zäh- lerdaten	Elektro	Netznutzung, Energielieferung
	Wärme	Gas, Öl, Fernwärme, Biomasse usw.
	Treibstoffe	Art des Treibstoffs
	Wasser, Abwasser	

Tabelle 4.2: Liste der wesentlichen Daten zur Energie, die für eine erfolgreiche eBO erforderlich sind.

4.3 Daten erfassen, analysieren und darstellen

Begehung

Eine Begehung nach dem Studium der Unterlagen dient dazu,

- einen optischen Eindruck der Anlagen zu erhalten und
- einen Überblick über die installierten Anlagen zu gewinnen und die Grundlagendaten zu erheben, die vom Auftraggeber nicht geliefert wurden. Zudem lässt sich dabei prüfen, ob die Unterlagen und Daten aktuell sind.

An der Begehung wird auch festgelegt, welche Messwerte zusätzlich erhoben werden müssen. Diese Messungen sollten mindestens eine Woche, besser einen Monat dauern. So können möglichst viele Betriebszustände der betroffenen Anlagen eingefangen werden.

Hinweis: In der Offerte und im Vertrag zwischen eBO-Experte und Auftraggeberin muss berücksichtigt werden, dass im Voraus nicht zuverlässig abschätzt werden kann, welche Messungen am Ende nötig sind. Das muss bei den betreffenden Teilleistungen explizit erwähnt werden. Zudem muss dort stehen, dass die Arbeiten «nach Aufwand» verrechnet werden.

Graphische Analysemethoden

Sind auch die Daten erhoben, werden sie analysiert. Zur Analyse der Zeitreihen eignen sich Darstellungen, bei denen die Verläufe von bestimmten Parametern an verschiedenen Tagen überlagert werden (Abbildung 4.1). So sieht man auf einen Blick, wann beispielsweise in einem Betrieb gearbeitet wird und wann nicht. Auch lassen sich oft einfache zeitliche Muster erkennen. Im Beispiel von Abbildung 4.1 wurden die Verbrauchsdaten von Sonntagen und Montagen übereinandergelegt. Dabei zeigt sich etwa, dass an Oster- und Pfingstmontag offensichtlich nicht gearbeitet wurde. Dann blieb der Leistungsbedarf bei etwa 50 kW.

Aus den beiden Grafiken ergeben sich etwa folgende Fragen:

- Welche Apparate mit einer Dauerleistung von rund 50 kW sind hier ständig in Betrieb?
- Was passierte an einigen Sonntagen zwischen 7 und 14 Uhr?
- Was verursacht die grosse Variabilität in den frühen Morgenstunden?

Da dieses Beispiel von der Auswertung eines Hauptzählers stammt, dürften die Abweichungen mit den Produktionsbedingungen zusammenhängen.

Zur Analyse von möglicherweise aussen-temperaturabhängigen Daten empfiehlt es sich, die Tages- oder Wochenwerte gegen die Aussenlufttemperatur aufzutragen. Abbildung 4.2 zeigt drei Beispiele: Oben sind die Tageswerte des Energiebedarfs abgebildet. Sie zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur und deuten darauf hin, dass hier die Raumheizung dominiert. Unten links: Hier lässt sich an Werktagen keine und am Wochenende eine leichte Temperaturabhängigkeit feststellen. Es sind also die Produktionsanlagen, die in diesem Fall den Energiebedarf dominieren. Unten rechts: Dieses Beispiel zeigt erst bei höheren Temperaturen eine deutliche Abhängigkeit. Auch hier stammt der Bedarf überwiegend von den Produktionsanlagen, bei höheren Temperaturen kommen die Kälteanlagen hinzu.

Anlagenidentifikation

Meist ist es im Rahmen einer eBO sinnvoll, die Anlage mit dem grössten Energiebedarf zu identifizieren. Dadurch erhält man meist die beste Handhabe, den Bedarf zu reduzieren, ohne Komforteinbussen in Kauf nehmen zu müssen. Die energieintensivste Anlage lässt sich auf verschiedene Weise finden, beispielsweise

- Aus der Anlageliste (vgl. Kapitel 4.2) (grosse Leistung und lange Betriebsdauer)
- Im Laufe der Begehung durch Aufnahme der Betriebsstunden-Laufzeit
- Aus Interviews mit den Betreibern
- Durch Auswertung von eingebauten Energiezählern

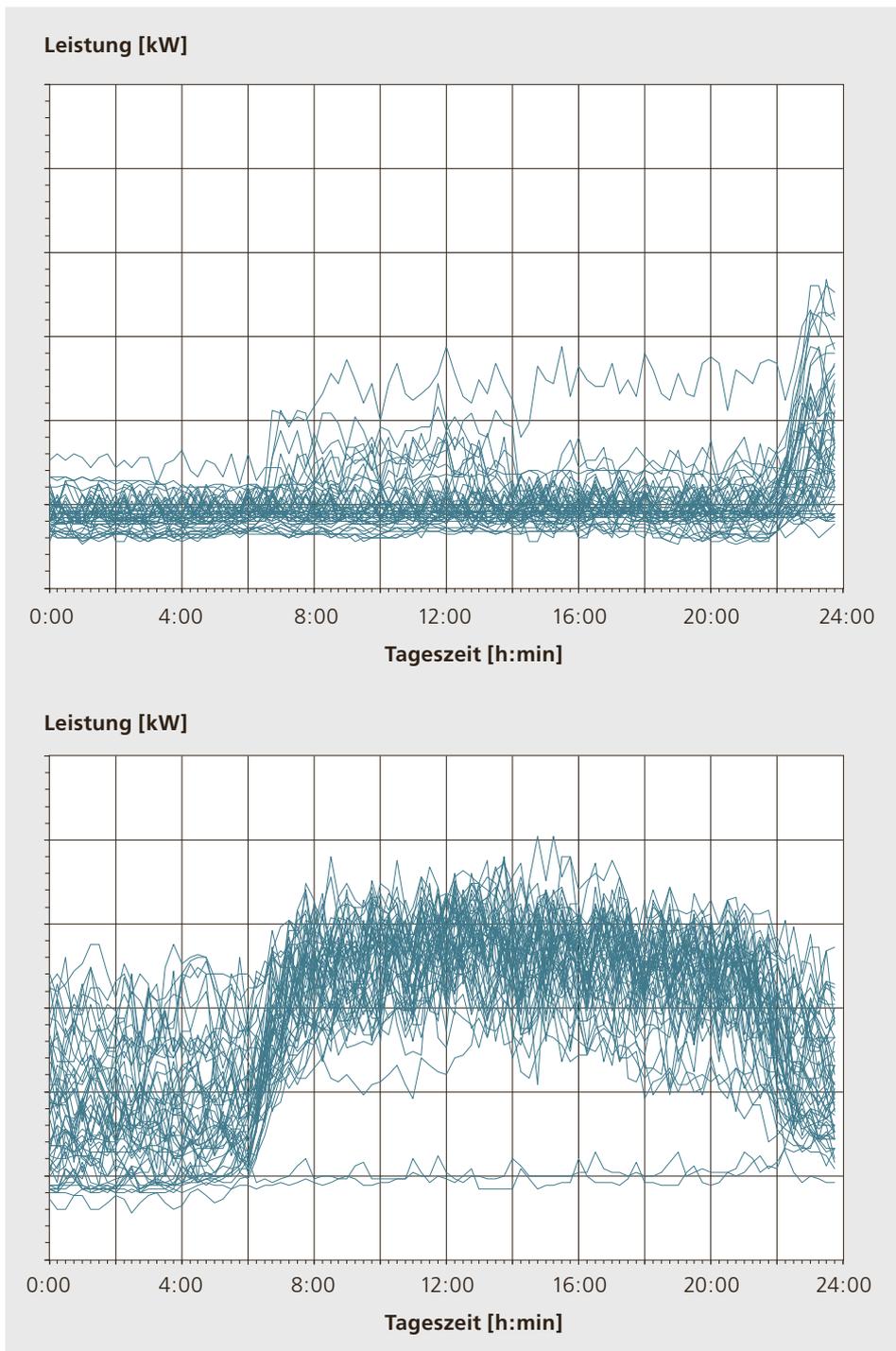


Abbildung 4.1:
Überlagerte Tages-
profile des Strom-
verbrauchs eines
Betriebs. Oben:
sonntags, unten:
montags.

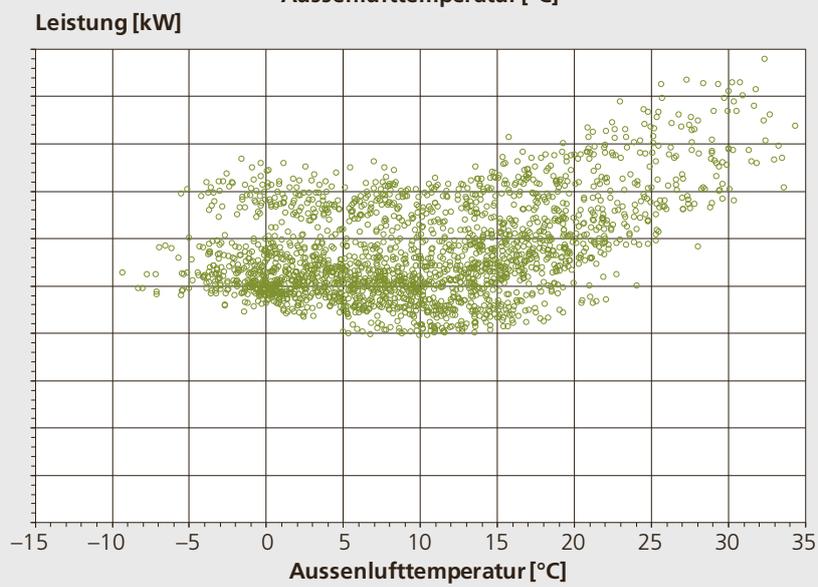
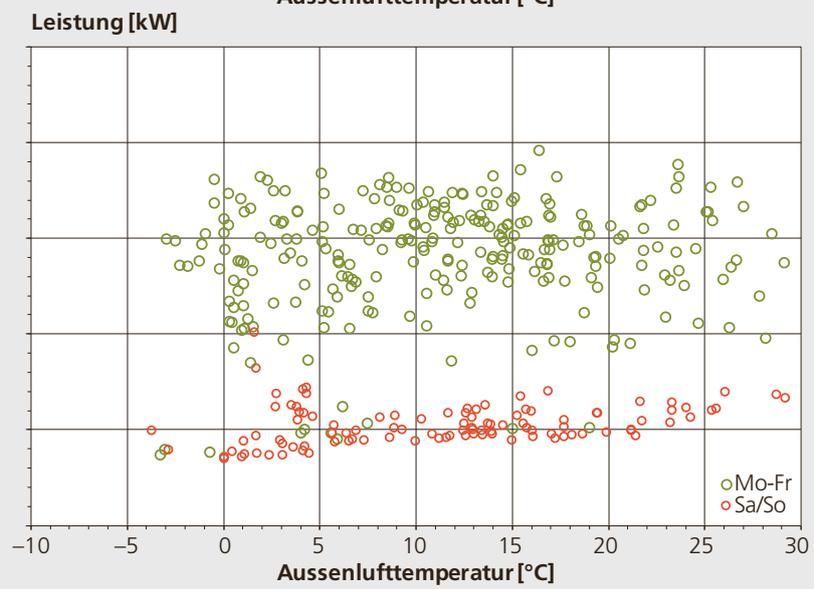
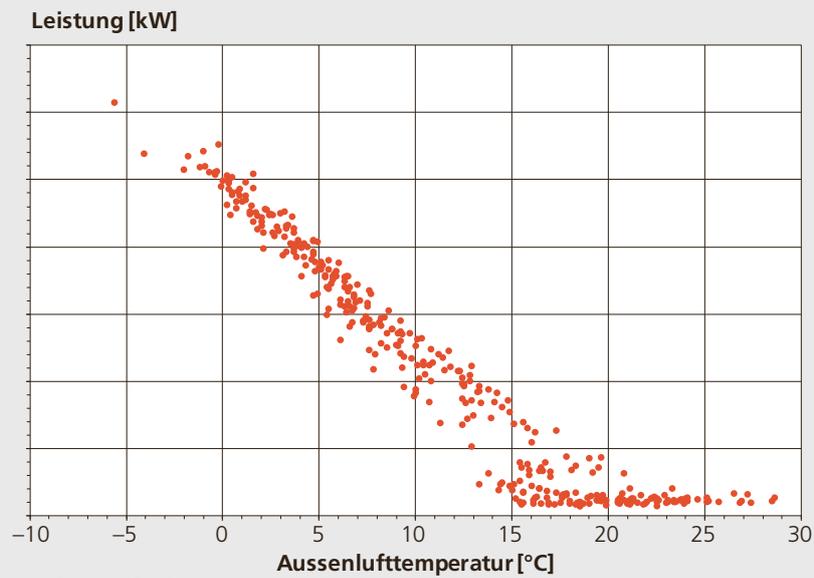


Abbildung 4.2:
Durch die grafische
Gegenüberstellung
von Parametern wie
der Leistung und
der Aussen-
temperatur lassen
sich temperatur-
abhängige Prozesse
analysieren.

4.4 Kennzahlenbildung und -nutzung

Jede Anlage besitzt eine Kennlinie oder eine Kennzahl. Sie kann sich auf den Auslastungsgrad, die Aussentemperatur oder die Produktionsmengen beziehen. Welche Sollwerte bei Lieferung und Installation versprochen oder vereinbart wurden, ist das Eine, welche Istwerte tatsächlich erreicht werden, das Andere.

Nach der Analyse der gewonnenen Daten beginnt die eigentliche Optimierung. Dabei stehen folgende Ansätze in der angegebenen Reihenfolge im Vordergrund [2]:

- Bedarf und Anforderung hinterfragen
- Systeme zeitlich und mengenmässig anwesenheits- und bedarfsgerecht betreiben
- Anlagen und Systeme im energetisch optimalen Betriebspunkt betreiben
- Zusammenwirken der verschiedenen Anlagen aufeinander abstimmen bzw. Funktionsprüfung, beispielsweise der Regelsequenzen von WRG, Heizen, Kühlen, Umluft, Aussenluft.

Bedarf und Anforderung hinterfragen

Durch Hinterfragen von Bedarf und Anforderungen sollte Folgendes beantwortet werden können:

- Erfordert die derzeitige Nutzung oder Anforderung überhaupt noch den Einsatz einer technischen Anlage? Stimmen die Anforderungen mit der derzeitigen Nutzung noch überein?
- Stimmen die geforderten Sollwerte mit den gültigen Normen oder Anforderungen überein?

Die Normen umfassen möglicherweise nicht alle mit den Messeinrichtungen erfassten Anwendungsgebiete. Besonders für Produktionsanlagen und deren Hilfsaggregate ist es sinnvoll, sich mit der Betreiberin über die jeweiligen Anforderungen zu verständigen. Dazu gehören etwa minimale und maximale Raumluftfeuchtigkeit sowie Raumlufttemperaturen.

Systeme bedarfsgerecht betreiben

Im Zusammenhang mit dem bedarfsgerechten Betrieb sollten folgende Fragen beantwortet werden können:

- Sind die Anlagen nur dann in Betrieb, wenn sie auch einen Nutzen erzielen?
- Werden sie zeitlich und mengenmässig bedarfsgerecht betrieben?
- Stellen Automaten sicher, dass die Anlagen bedarfsgerecht betrieben werden?

Die grösste Energiebedarfsreduktion erzielt man, indem Anlagen (automatisch) abgestellt werden, so lange sie keinen Nutzen erbringen. Dies kann etwa dann der Fall sein, wenn

- keine Personen anwesend sind
- keine nachgeschalteten Produktionsanlagen in Betrieb sind
- das Leitsystem «Kein Bedarf» meldet.

Ist es nicht möglich, die Anlage komplett auszuschalten, soll sie wenigstens in einen Betriebszustand versetzt werden, in dem ihr Energiebedarf minimal ist.

Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn die Aus- und Einschaltvorgänge durch (bedarfabhängige) Automatismen gesteuert werden. Sind manuelle Eingriffe nötig, etwa bei kurzer Anwesenheit an arbeitsfreien Tagen, muss dafür gesorgt werden, dass der Automatismus nach einer bestimmten Zeit wieder greift und die Eingriffe protokolliert werden.

4.5 Massnahmen erarbeiten und priorisieren

Matthias Balmer

Aus den ermittelten Energieflüssen und Kennzahlen lassen sich Optimierungspotenziale für einzelne technische, betriebliche oder organisatorische Massnahmen ableiten. Um diese Massnahmen zu gewichten und zu priorisieren, werden sie an folgenden Kriterien gemessen:

- Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch
- Bewertung der Energieträger hinsichtlich ihres Potenzials zur Reduktion von Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen
- Kosten-Nutzen-Verhältnis
- Payback pro Massnahme

All diese Aspekte gilt es in einer übersichtlichen Darstellung zusammenzufassen. Damit lassen sich die Massnahmen entsprechend den Zielen der eBO priorisieren. Tabelle 4.3 zeigt beispielhaft eine Zusammenstellung von Kriterien für die Bewertung von Optimierungsmassnahmen.

Zusätzlich zur Abschätzung des energetischen Nutzens und der Kosten müssen allfällige Auswirkungen oder Risiken auf die Nutzung respektive Produktion identifiziert und mit dem Auftraggeber besprochen werden. Auf dieser Grundlage kann er dann entscheiden, ob eine Massnahme umgesetzt werden soll. Wünschenswert sind möglichst kurze Payback-Zeiten und Massnahmen, die ohne Planungsprozess umsetzbar sind.

Tabelle 4.3: Beispielhafte Zusammenfassung möglicher energetischer Optimierungsmassnahmen mit Potenzialabschätzungen als Grundlage für eine Priorisierung nach Zielvorgaben.

Die Bewertung der umzusetzenden Massnahmen richtet sich nach den gewichteten Zielen einer eBO, die mit dem Auftraggeber zuvor vereinbart wurden. Die Bewertungskriterien für eine gezielte Umsetzung von Massnahmen sind:

- a) Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch reduzierte Betriebskosten
- b) Reduktion des Endenergiebedarfs
- c) Erfüllen der Anforderungen von Normen oder Labels
- d) Reduktion des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen

a) Bewerten der Massnahmen nach Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird für jede Massnahme einzeln geprüft und im Gesamtrahmen betrachtet. Das liefert die nötigen Kriterien für die Entscheidung, welche der Massnahmen sich wirtschaftlich umsetzen lassen. Ein einfach zu ermittelndes Entscheidungskriterium für oder gegen eine Massnahme ist die Payback-Zeit. Sie soll in der Regel sehr kurz sein.

Wird eine eBO dauerhaft oder für längere Zeit mit mehreren Massnahmen angesetzt, verlangen vor allem professionelle Auftraggeber oft eine detailliertere Kosten-Nutzen-Analyse. Um die Einsparungen pro Anlage zu berechnen, ermittelt man die Einsparungen der einzelnen Massnahmen über die noch zu erwartende Anlagenlebensdauer und legt sie dann auf die geplante eBO-Laufzeit um. Wenn diese Kosten inklusive Kapitalverzinsung als Fran-

Gewerk/Anlagenkomponente	Endenergiebedarf Referenzjahr				Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Referenzjahr		CO ₂ -Emissionen Referenzjahr		Potential	Massnahme					
	Elektrizität in kWh	Wärme in kWh	Wasser in m ³	Anteil am Gesamtbedarf in %	in kWh	Anteil am Gesamtbedarf in %	CO ₂ -Äquivalenz in t	Anteil an Gesamtemissionen in %		hoch	mittel	klein	technisch	betrieblich	organisatorisch
Lüftung	21 000	59 000			102 100	14,6	4,1	8,3							
Musterraumregelung Luftmenge	21 000			4,1	52 700	7,5	2,1	4,3	x				x		
Muster-WRG (Lufterhitzer)		47 000		24,3	39 400	5,6	1,6	3,2		x		x			
Musterbefeuchtung (Lufterhitzer)		12 000	220	6,2/2,1	10 000	1,5	0,4	0,8	x					x	

Definition Energiearten

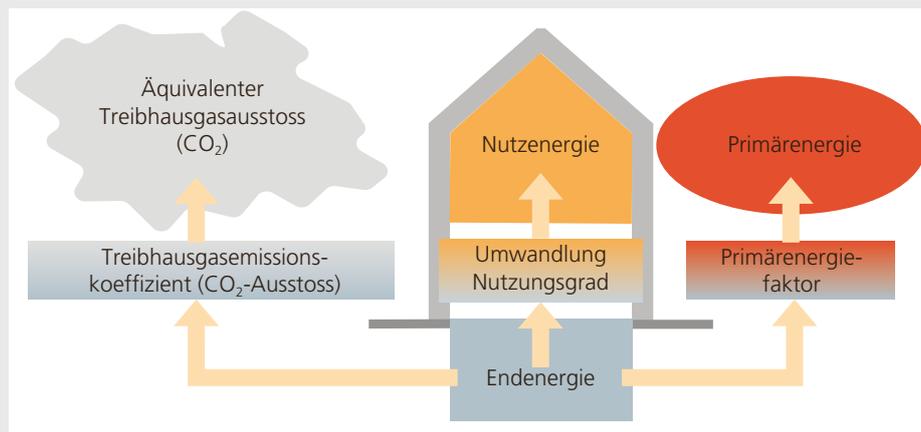
Um Energiemengen zu bewerten oder zu vergleichen, muss klar sein, um welche Art von Energie es sich handelt. Hier unterscheiden wir die Energiearten Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie. Wenn nicht anders angegeben, wird in diesem Buch Energie, die in Gebäude verwendet wird, als Endenergie deklariert.

Nutzenergie ist die im Raum oder am Gerät direkt nutzbare Energie – beispielsweise Raumwärme oder Licht im Raum.

Endenergie ist die dem Gebäude zugeführte Energie. Sie berechnet sich aus der Nutzenergie plus den bei der gebäudeinternen Energieumwandlung entstehenden Verlusten – beispielsweise eine bestimmte Menge Brennholz als Lager im Gebäude.

Als **Primärenergie** bezeichnet man die Energieressourcen an ihrem Ursprungsort ohne deren Förderung, Umwandlung und Transport – also beispielsweise im Untergrund lagerndes Gas.

Damit sich die verschiedenen Energieformen, also etwa Wärme oder elektrische Energie, bewerten und untereinander vergleichen lassen, werden sie mit Primärenergiefaktoren umgerechnet. Diese Primärenergiefaktoren berücksichtigen den effektiven Ressourcenaufwand für die Gewinnung der jeweiligen Energieform aus nicht erneuerbarer Primärenergie wie Erdgas oder Mineralöl. Um den Einfluss auf das Klima zu beurteilen, werden die Endenergien über einen Treibhausgasemissionskoeffizient in CO₂-Äquivalente umgerechnet.



Zusammenhang und Umrechnung zwischen Energiearten.

Beschreibung	Wirtschaftlichkeit						Priorisierung			
	Kosten eBO in Fr.	Nutzen eBO in Fr./a	Payback in a	Voraussichtliche Lebensdauer der Anlage in a	Zu erwartende Betriebskostenreduktion inkl. Kapitalverzinsung in Fr.	kurzfristig	mittelfristig	langfristig	nie	
CO ₂ -Regelung von 900 ppm auf 1100 ppm	200	500	0,4	12	5916		x			
Drehzahlregelung anpassen	600	120	5,0	12	809				x	
Nutzer öffnen Fenster in Heizperiode nicht	0	230	0	12	2815	x				

kenbetrag ausgewiesen werden, können die Auftraggeber den effektiven Nutzen der Massnahmen besser einschätzen. Statt die Einsparung als absoluten Betrag auszuweisen, kann sie auch als Zins für die Aufwendungen zur Umsetzung der Massnahmen deklariert werden. So lässt sich dem Auftraggeber am anschaulichsten vermitteln, dass eBO rentabel sein kann. Mehr dazu in Kapitel 4.9.

b) Bewerten der Massnahmen nach Reduktion des Endenergiebedarfs

Der Einfluss einzelner Massnahmen auf die gesamte Betriebsoptimierung lässt sich darstellen, indem der momentane Energiebedarf (Referenzjahr) ins Verhältnis zum Gesamtbedarf der betreffenden Energieform gemäss Tabelle 4.3 gesetzt wird. Um mit kleinem Einsatz grosse Wirkung zu erzielen, ist es sinnvoll, Massnahmen mit

grossem Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf zu priorisieren (Abbildung 4.3).

c) Bewerten der Massnahmen nach Normen oder Labels

Bei vielen Gebäuden sind Labels wie Minergie oder Energie-Normen und -Standards eine Grundlage für die Planung und Realisierung. Sie basieren auf Standardnutzungsprofilen, die teilweise nicht den Anforderungen im realen Betrieb entsprechen – sei es nun gewollt oder ungewollt. In den meisten Fällen führt das dann dazu, dass der Energieverbrauch im Betrieb deutlich höher liegt als geplant. Typisch für solche Abweichungen sind etwa Raumtemperaturen, die von den Nutzern anders eingestellt werden als in der Planung angenommen.

Ziel einer eBO kann es nun sein, entweder zu erklären, warum Planungs- und Be-

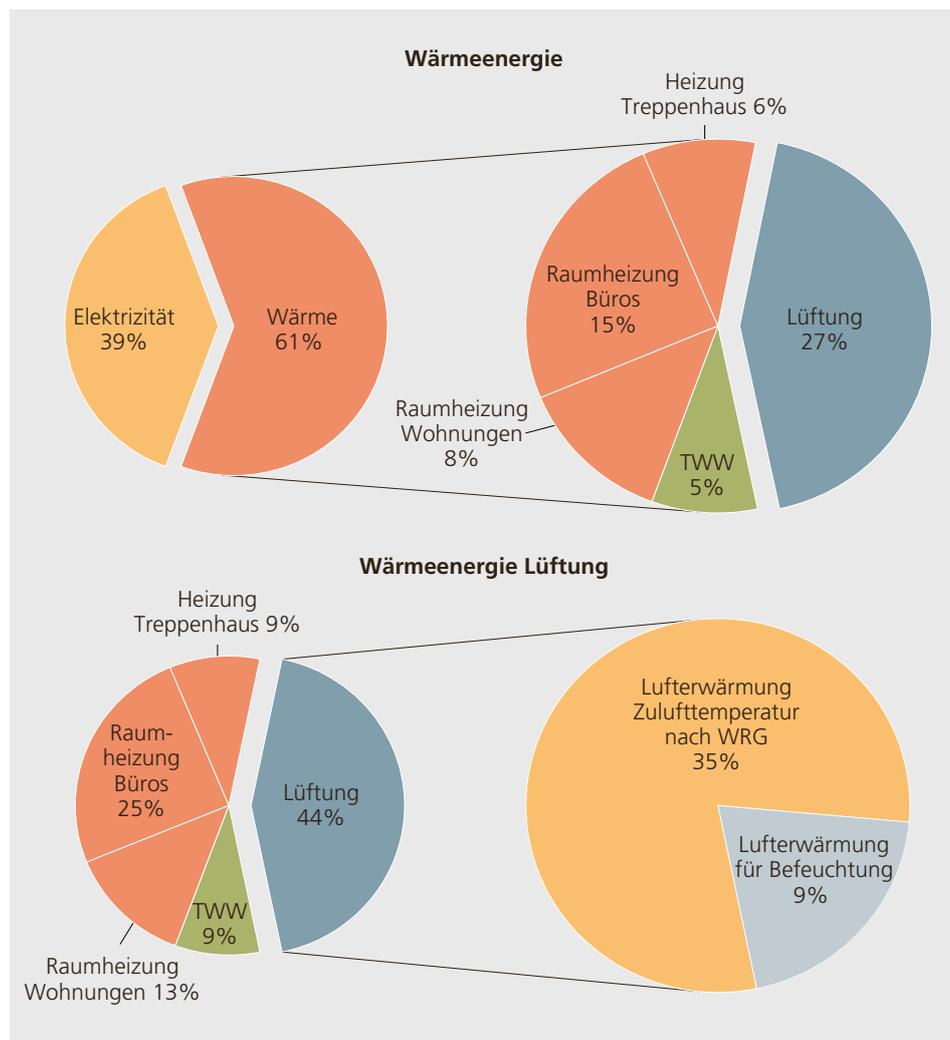


Abbildung 4.3:
Beispiel für das
Verhältnis der
Energiebedarfe ein-
zelner Bereiche
zum Gesamt-
energiebedarf.
TWW = Trinkwarm-
wasser

triebswerte voneinander abweichen oder sich einander annähern. Zum Bewerten müssen die realen Verbräuche in Energiekennzahlen (Kapitel 4.4) umgerechnet und mit einer der folgenden Normen oder Labels verglichen werden:

- SIA 380/1 Thermische Energie im Hochbau
- SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau
- SIA 385/2 Anlagen für Trinkwasser in Gebäuden – Warmwasserbedarf, Gesamtanforderung und Auslegung
- Merkblatt SIA 2024 Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik
- Minergie

Die Norm **SIA 380/1** liefert Energiekennwerte für zwölf verschiedene Bauten mit unterschiedlichen Nutzungen und Wärmeerzeugungssystemen. Die Kennwerte beziehen sich auf den Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF). Abgebildet sind dort die Verbräuche an Wärmeenergie für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung.

Im Gegensatz zur SIA 380/1 beziehen sich die Energiekennwerte in der Norm **SIA 380/4** nicht auf das ganze Gebäude. Bezugsgrösse sind dort die Nutzungszonen eines Gebäudes sowie die Betriebseinrichtungen und die gebäudetechnischen Anlagen. Die Summe der daraus ermittelten Teilenergiekennzahlen ergibt dann die Energiekennzahl für das Gebäude.

Als Vergleichsgrösse für den Wasserverbrauch kann die Norm **SIA 385/2** herangezogen werden. Sie liefert aber nur Werte für den Anteil an Warmwasser, dies aber spezifisch für diverse personen- und sachbezogene Nutzungen.

Wie die Norm SIA 380/4, enthält auch das Merkblatt **SIA 2024** spezifische Energiekennwerte für Nutzungszonen. Hier handelt es sich aber nicht um Norm-, sondern um Richtwerte. Sie wurden aus den Verbräuchen von Bestandesbauten, vorwiegend aus dem Kanton Zürich, ermittelt und decken mehrere Gewerke und Betriebseinrichtungen ab. Achtung: Der ausgewiesene Wärmebedarf beinhaltet nicht

den Energieaufwand für Lüftungsanlagen. Dieser fehlt im Merkblatt SIA 2024.

Beim Vergleich von realen Verbrauchsdaten mit den verschiedenen Ausprägungen des **Minergie-Labels** ist Vorsicht geboten. Weil dieses Label regelmässig dem Stand der Technik angepasst wird, muss deklariert werden, welche Version für den Vergleich herangezogen wurde. Bei nicht zertifizierten älteren Bestandesbauten ist ein Vergleich mit Label-Werten aber unter Umständen nicht sinnvoll. Hier hilft vielmehr, die Daten des aktuellen Betriebsjahres mit historischen Verbrauchsdaten derselben Liegenschaft zu vergleichen. Ein unerklärbarer Anstieg des Energieverbrauchs deutet darauf hin, dass Potenzial für eine eBO vorhanden ist. Bei einem ganzen Portfolio von gleich genutzten Liegenschaften bietet sich auch der Vergleich von spezifischen Verbrauchswerten innerhalb des Portfolios an.

Weil alle erwähnten Normen, Merkblätter und Labels immer wieder dem Stand der Technik angepasst werden, verändern sich auch die damit ermittelten Einsparpotenziale. Anzumerken gilt es hier auch, dass die Instrumente zwar einen Vergleich auf Ebene der Endenergie erlauben, Informationen zum tatsächlichen Ressourcenverbrauch bekommt man damit aber nicht. Hierfür müssten die Verbräuche in Primärenergie umgerechnet werden und, um den Einfluss aufs Klima zu beurteilen, in Treibhausgasemissionen. Dann erst kann bei einer eBO auch die Reduktion des Ressourcenbedarfs und der Treibhausgasemissionen ausgewiesen werden.

d) Bewerten der Massnahmen nach der Reduktion von Primärenergie und Treibhausgasemissionen

Um die Reduktionen beim Primärenergieverbrauch und bei den CO₂-Emissionen sichtbar zu machen, können verschiedene Instrumente eingesetzt werden:

- Merkblatt SIA 2040 SIA-Effizienzpfad Energie (2000-Watt-Gesellschaft)
- Display-Kampagne
- Non-Sustainable-Exergy-Diagramme
- Vergleich mit Verkehrsmitteln

Für den Vergleich mit den Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft bezüglich des Betriebs kann das Merkblatt **SIA 2040** SIA-Effizienzpfad Energie herangezogen werden. Es deckt den Energiebedarf für Wärme, Lüftung-Klima, Beleuchtung und Betriebseinrichtungen ab. Wenn die im Referenzjahr gemessenen Bedarfe in nicht erneuerbare Primärenergie umgerechnet werden (Tabelle 4.3), lassen sich die spezifischen Jahresenergiewerte mit den Richtwerten verschiedener Gebäudekategorien der 2000-Watt-Gesellschaft vergleichen. Auf diesem Weg können die vorgesehenen Massnahmen bewertet werden. Dasselbe gilt für die Treibhausgasemissionen.

Werden die eBO-Massnahmen in Form eines Erneuerungsdiagramms nach Merkblatt SIA 2047 visualisiert, lässt sich zeigen, wie sich das jeweilige Objekt künftig in Bezug auf den SIA-Effizienzpfad entwickelt (Abbildung 4.4). Zur Erfolgskontrolle kann das Diagramm jährlich mit den tatsächlich gemessenen Energiebedarfen und Treibhausgasemissionen aktualisiert werden.

Die **Display-Kampagne** ist eine europaweite Kampagne zum nutzungsspezifischen Klassifizieren von öffentlichen und privaten Gebäuden. Erfasst werden dabei der jährliche Verbrauch an Primärenergie und Wasser sowie die Treibhausgasemissi-

Abbildung 4.4: Erneuerungsdiagramm mit geplantem und gemessenem Effizienzpfad bezogen auf nicht erneuerbare Primärenergie und Treibhausgasemissionen. Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionswerte für Heizöl EL sowie den Schweizer Strommix nach KBOB.

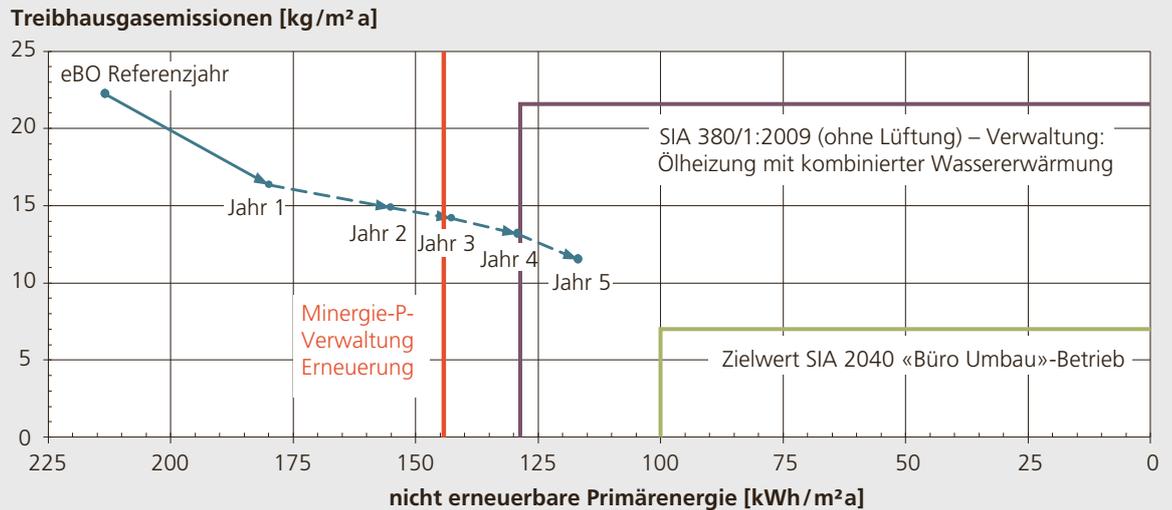
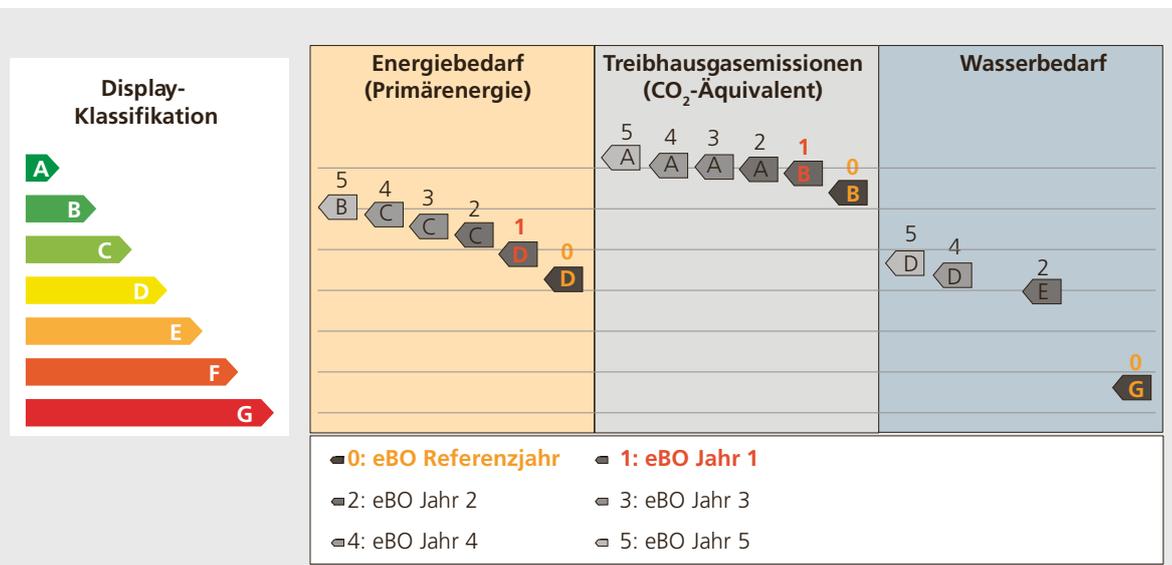


Abbildung 4.5: Auswirkungen einer eBO auf die Gebäudeklassifizierung gemäss Display-Kampagne.



onen (Abbildung 4.5). Die Bewertung der Gebäude reicht von Klasse A (höchst effizient) bis G (höchst ineffizient).

Ein NSE-Diagramm (Non-Sustainable Exergy) zeigt den Umwelteinfluss von Energiebedarfswerten (Abbildung 4.6). Vereinfacht ausgedrückt gelten als Exergie jene Primärenergieträger, die thermodynamisch zur Verrichtung von «Arbeit» verwendet werden können. Dazu gehören Primärenergieformen wie Öl, Gas, Fernwärme, Holz oder Strom, nicht aber Umweltwärme. Im NSE-Diagramm wird Exergie also als Endenergie ohne Umweltwärme definiert. Das Diagramm kann mit Grenz- oder Zielwerten von Merkblatt SIA 2040

oder Norm SIA 380/1 ergänzt werden. Um den Nutzen einer eBO auch für Laien zu veranschaulichen, können die gesparten Energiemengen in gefahrenen Kilometer mit verschiedenen Verkehrsmitteln umgerechnet werden. Als Bezugsgrösse dienen die Treibhausgasemissionen oder der Primärenergiebedarf (Abbildung 4.7).

Priorisierung der Massnahmen

Grundsätzlich gibt der Auftraggeber vor, welche Ziele mit einer eBO erreicht werden sollen. Die eBO-Expertin beurteilt, welche der Ziele in welchem Umfang erreicht werden können und veranschaulicht dies mithilfe der oben besprochenen Instrumente.

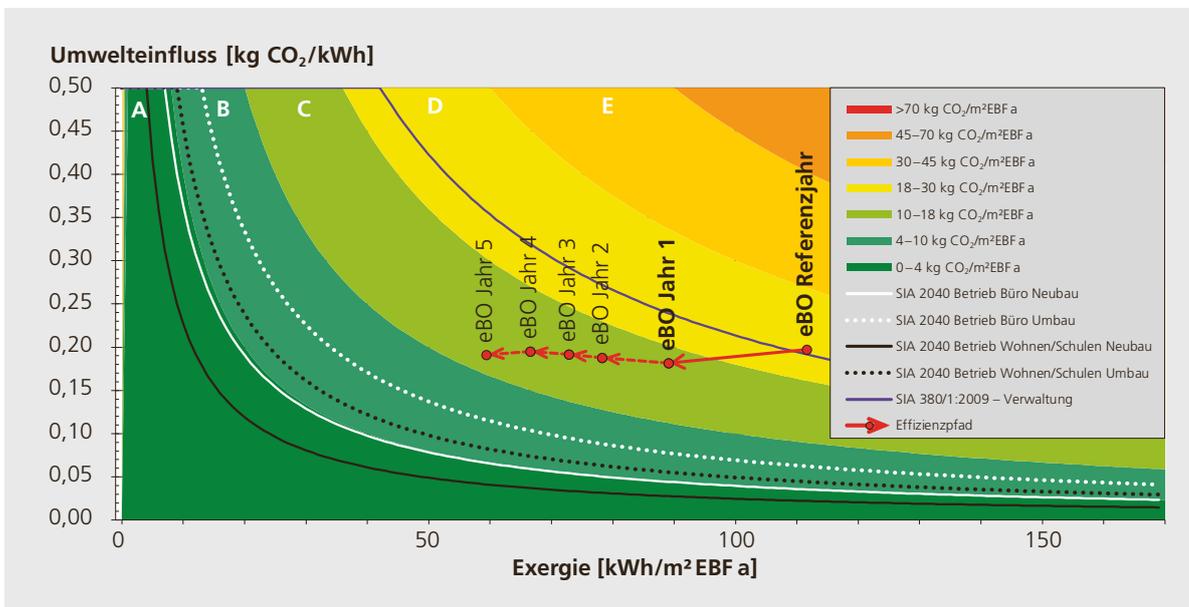


Abbildung 4.6: NSE-Diagramm mit Grenz- und Zielwerten aus den SIA-Normen. Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionswerte für Heizöl EL sowie den Schweizer Strommix nach KBOB.

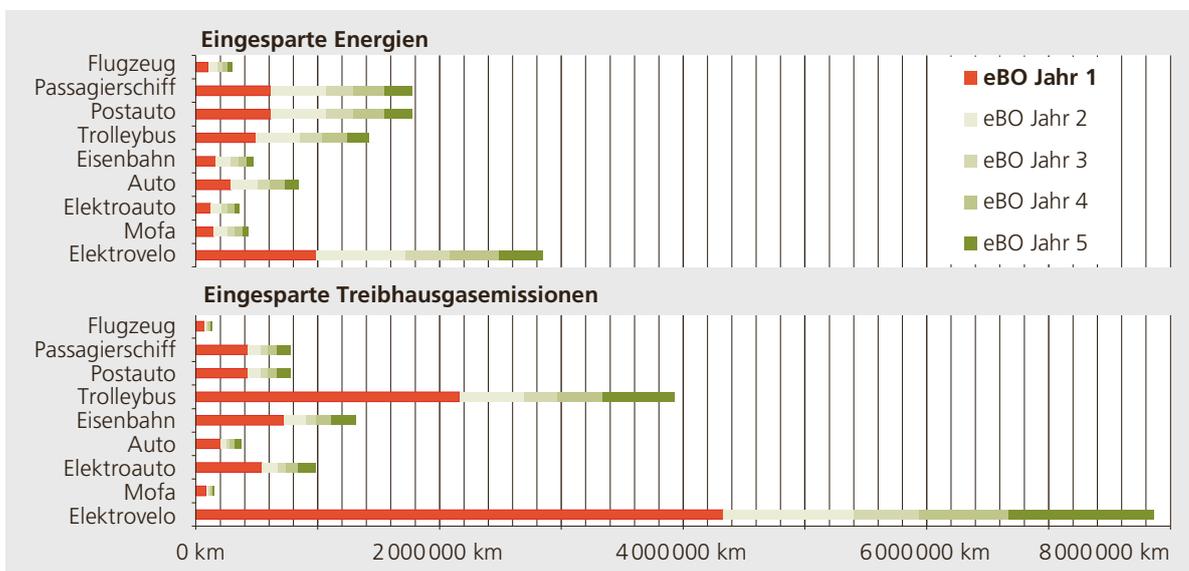


Abbildung 4.7: Vergleich von eingesparter Primärenergie und Treibhausgasemissionen zu gefahrenen Kilometern. Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionswerte für Heizöl EL sowie den Schweizer Strommix nach KBOB.

Dabei sollte man sich stets vor Augen halten, was den Kunden ursächlich zu einer eBO motiviert hat. Dazu gehört beispielsweise:

- Die gesetzlichen Vorgaben oder die MuKEn zu erfüllen.
- Sich von der CO₂-Abgabe zu befreien, etwa durch eine Universalzielvereinbarung.
- Die Betriebskosten zu senken.
- Einen Imagegewinn zu realisieren.
- Einen Marktvorteil durch Aufwerten seiner Immobilie zu erzielen.

Die Bewertungskriterien für eine gezielte Priorisierung der Massnahmen sind in Tabelle 4.4 aufgelistet.

Tabelle 4.4: Bewertungskriterien, mit denen sich Massnahmen priorisieren lassen. Die Nummern vor den Bewertungskriterien beziehen sich auf die Abschnitte oben im Text, in denen die einzelnen Kriterien erklärt werden.

Priorisierung nach	Bewertungskriterien eBO-Massnahmen	Kommentare
Erfüllung gesetzlicher Vorgaben	b) Senkung des Energiebedarfs c) Erreichen von Normen oder Labels d) Reduktion Primärenergiebedarf und Senkung CO ₂ -Emissionen	Die gesetzlichen Vorgaben werden sich im Rahmen der Energiestrategie 2050 des Bundes voraussichtlich laufend anpassen. Je nach gesetzlichen Vorgaben sind eines oder mehrere der genannten drei Bewertungskriterien relevant. Die Politik wechselt vermehrt von Fördermassnahmen zu Lenkungsmaßnahmen.
Befreiung von der CO ₂ -Abgabe	d) Reduktion Primärenergiebedarf und Senkung CO ₂ -Emissionen	Diese Befreiung durch das Bundesamt für Umwelt gilt für Unternehmen mit hohen Treibhausgasemissionen.
Senken der Betriebskosten	a) Steigerung der Wirtschaftlichkeit über Betriebskostenreduktion b) Senkung des Energiebedarfs c) Erreichen von Normen oder Labels d) Reduktion Primärenergiebedarf und Senkung CO ₂ -Emissionen	Eine Betriebskostenreduktion kann mit allen vorgeschlagenen Bewertungsstrategien zur Massnahmenumsetzung erreicht werden, denn jede Reduktion der Energieverbräuche senkt die laufenden Energiekosten.
Imagegewinn vs. Imagerisiko	b) Senkung des Energiebedarfs c) Erreichen von Normen oder Labels d) Reduktion Primärenergiebedarf und Senkung CO ₂ -Emissionen	Massnahmen, die heute noch zu einem Imagegewinn führen, können morgen bereits Stand der Technik sein und übermorgen zu einem Imagerisiko werden. Spätestens dann wird es Zeit für die nächste eBO.
Marktvorteil	a) Steigerung der Wirtschaftlichkeit über Betriebskostenreduktion b) Senkung des Energiebedarfs c) Erreichen von Normen oder Labels d) Reduktion Primärenergiebedarf und Senkung CO ₂ -Emissionen	Der Wert einer Immobilie profitiert von tiefen Nebenkosten (bessere Vermietbarkeit durch tiefere Energiekosten), der Einhaltung von energetischen Normen (höherer Immobilienwert), Zertifizierungen nach Labels (höherer Immobilienwert) und ressourcenschonendem Betrieb (bessere Vermietbarkeit).

4.6 Massnahmen umsetzen

Beim Umsetzen der Massnahmen gilt das Pareto-Prinzip. Das heisst: Mit 20 % der Massnahmen sollen möglichst 80 % der Einsparungen erreicht werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die im Massnahmenkatalog aufgeführten Potenziale relativ sind. Die in der Praxis erzielbaren Einsparungen hängen immer von der konkreten Nutzung, vom Betrieb und von der vorhandenen Gebäudetechnik ab.

Die Reihenfolge, in der die Massnahmen umgesetzt werden, richtet sich nach Jahreszeiten und Nutzungszeiten. Massnahmen an Heizungsanlagen werden zum Beispiel besser im Sommer angepackt. Dann lassen sich die Einsparungen über eine ganze Heizperiode beurteilen. Wird hingegen die Druckluftanlage einer Produktionsstätte optimiert, geschieht das sinnvollerweise dann, wenn nicht produziert wird, also etwa während der Betriebsferien.

Damit die Optimierungsmassnahmen von den Nutzenden akzeptiert und von der Betreiberin geschätzt werden, muss deren

Umsetzung als Teamwork unter allen Beteiligten verstanden werden. Nur so lässt sich eine Basis schaffen, auf der die eBO dauerhaft wirken kann und allenfalls erforderliche Haltungsänderungen wirklich gelebt werden. Konkret müssen folgende Akteure gut zusammenarbeiten, wenn die Massnahmen erfolgreich umgesetzt werden sollen:

- Gebäudeeigentümer
- Gebäudenutzer
- Gebäudebetreiberin
- eBO-Expertin

Dabei übernimmt die eBO-Expertin die Verantwortung, Leitung und Koordination beim Umsetzen der Massnahmen. Sie agiert quasi als Regisseurin und bringt alle Parteien zusammen. Sie übernimmt zudem die fachliche Verantwortung und achtet darauf, dass die gesetzten Ziele erreicht werden.

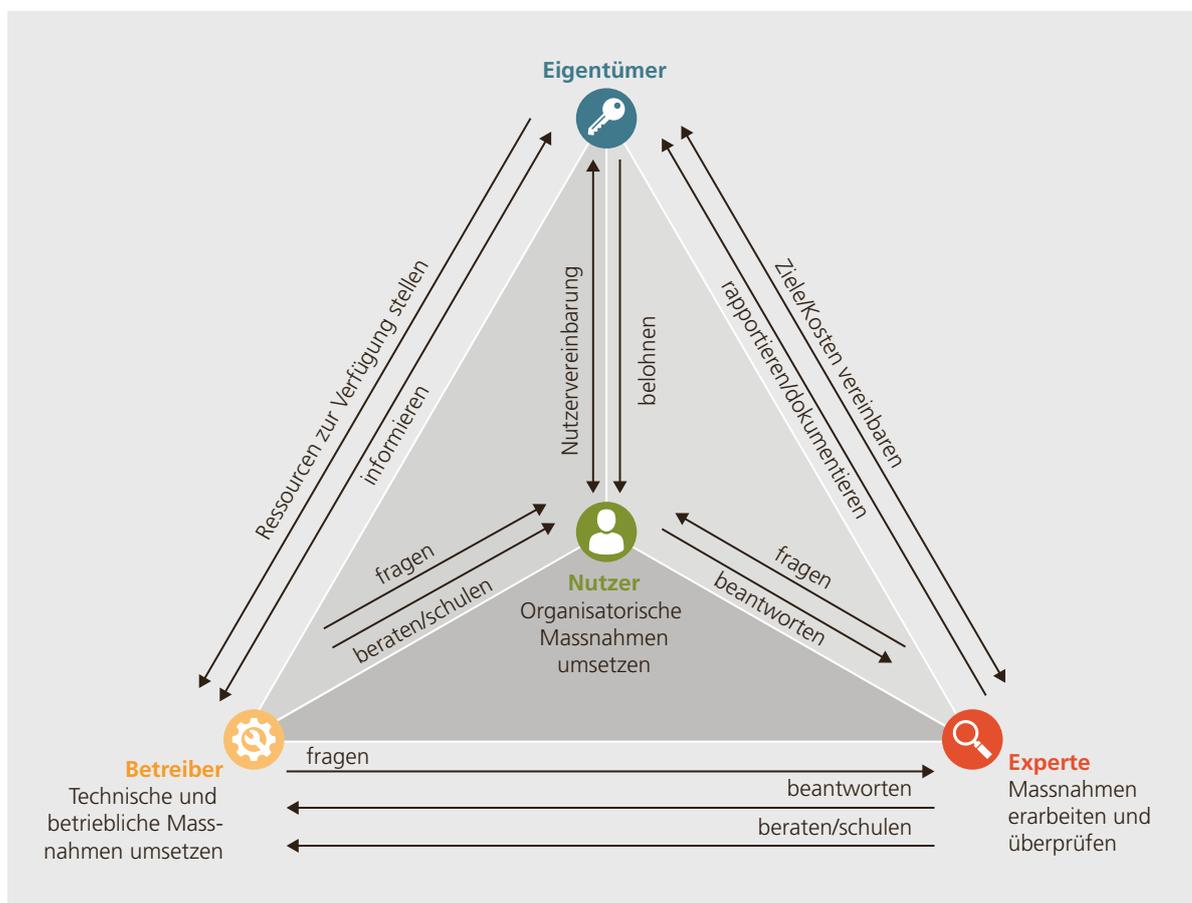


Abbildung 4.8: Interaktionsschema der Akteure als Modell zur Umsetzung von eBO-Massnahmen.

Kooperation zwischen Auftraggeber und eBO-Expertin

Grundlage für die Umsetzung der Massnahmen ist die zwischen Auftraggeber und eBO-Expertin getroffene Zielvereinbarung bezüglich Energiereduktion und Kostenaufwand (Abbildung 4.9). Sie basiert auf der Strategie des Eigentümers und auf den möglichen und sinnvollen Massnahmen mit dazugehörigen Kosten. Diese Vereinbarung wird vertraglich festgehalten. Zur Umsetzung gehört auch, dass die eBO-Expertin dem Auftraggeber jährlich einen Statusreport inklusive der bisher erzielten Einsparungen präsentiert. Darauf basierend kann die Zielvereinbarung überprüft und allenfalls angepasst werden. So ist der Auftraggeber ständig auf dem aktuellen Stand und kann den Aufwand für die weitere Umsetzung budgetieren oder freigeben.

Kooperation zwischen Nutzern und eBO-Experte

Bevor die Massnahmen umgesetzt werden, klärt die eBO-Expertin die Behaglichkeitsbedürfnisse der Nutzer ab und hinterfragt sie nötigenfalls (Abbildung 4.10). Sie nimmt auch diesbezügliche Beschwerden entgegen. Grundprinzip beim Umsetzen der Massnahmen ist, dass der Nutzerkomfort mindestens erhalten, möglichst aber verbessert werden soll. Dies gilt selbstverständlich nur, solange die Komfortansprüche

im Rahmen der Vereinbarungen zwischen Nutzer und Gebäudeeigentümer bleiben.

Organisatorische, also durch die Nutzer umzusetzende Massnahmen, werden mit ihnen besprochen. Wichtig dabei ist es, die Nutzer auf die zu erwartenden Auswirkungen der Massnahmen hinsichtlich Behaglichkeit und möglichen Einsparungen zu sensibilisieren. Nur so können sie zur Kooperation motiviert werden. Sind die Nutzer dann bereit, Massnahmen umzusetzen, liegt es an der eBO-Expertin, dies sinnvoll zu planen.

Sind die Massnahmen umgesetzt, fragt die eBO-Expertin die Nutzer, wie zufrieden sie mit dem neuen Zustand sind. Sie klärt ab, ob der Aufwand für die Umsetzung der Massnahmen aus ihrer Sicht in einem vernünftigen Verhältnis zum Ertrag steht. Sie versucht herauszufinden, ob sich die raumklimatischen Verhältnisse aus Sicht der Nutzer verbessert, verschlechtert oder nicht verändert haben. Mit den Ergebnissen der Nutzerbefragung und dem Massnahmenkatalog plant die eBO-Expertin anschliessend zusammen mit den Nutzern die Umsetzung der nächsten Massnahmen.

Abbildung 4.9: Kooperation zwischen Gebäudeeigentü-
merin als Auftrag-
geberin und eBO-
Experte im Interak-
tionsschema zur
Massnahmen-
umsetzung.

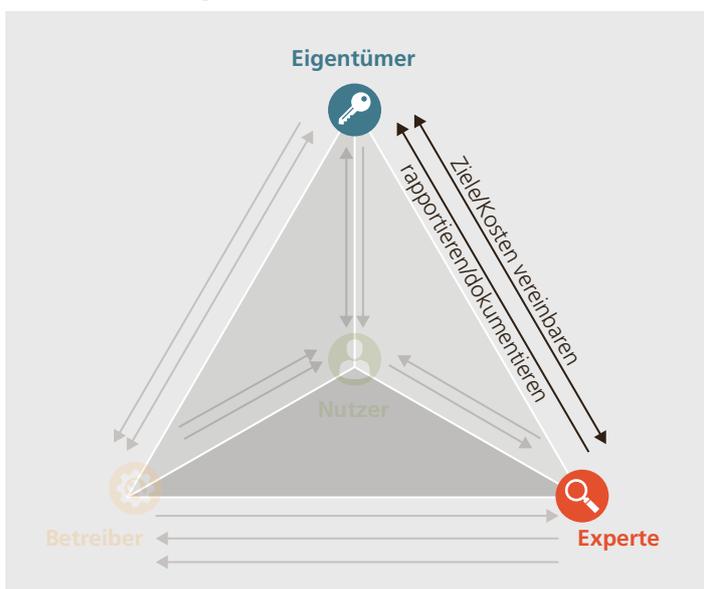


Abbildung 4.10: Ko-
operation zwischen
Nutzern und eBO-
Experte im Interak-
tionsschema der
Massnahmenumset-
zung.



Kooperation zwischen Betreiberin und eBO-Experte

Am intensivsten arbeitet die eBO-Expertin bei der Umsetzung mit der Betreiberin zusammen (Abbildung 4.12). Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, dass die Betreiberin nach mehrjähriger Schulung durch die eBO-Expertin Massnahmen im laufenden Betrieb selbständig planen und umsetzen kann. Dies gilt auch für den Fall, dass sich die Nutzeranforderungen ändern. Bei der Umsetzung der Massnahmen bezieht die eBO-Expertin alle relevanten Informationen der Betreiberin mit ein. Dazu gehören etwa:

- Das Betriebsverhalten der Anlagen
- Anlagestörungen
- Erledigte Service- und Reparaturarbeiten
- Offensichtliche Fehlfunktionen
- Vorgenommene Sollwert- und Parameterverstellungen
- Die realen Betriebsdaten

Wichtigste Hilfsmittel dazu sind: Anlagejournal, Trenddaten, der Zugriff auf das Leitsystem, Prinzipschemas, Funktionsbeschreibungen und Sollwerttabellen. Zwar gehört es nicht zur eBO, vorhandene Mängel zu beheben. Sie sollen aber den verantwortlichen Stellen gemeldet und von ihnen behoben werden. Nicht behobene Mängel können eine eBO negativ beeinflussen.

Die Gründe für das reale Verhalten von Betreiberin und Anlage werden vom eBO-Experten abgeklärt und analysiert. Hierbei schildert die Betreiberin den Betrieb der Anlage aus ihrer Erfahrung und erläutert die Anlagendokumentationen sowie die reale Bedienung der Anlagen. Um Massnahmen betreibergerecht zu planen, vergleicht die eBO-Expertin die Erfahrungen der Betreiberin mit ihren eigenen Anlagenkenntnissen. Wichtig ist auch, dass die eBO-Expertin Lesezugriff auf ein vorhandenes Gebäudeleitsystem erhält. So kann sie die Anlagen jederzeit beobachten und beurteilen.

Eine zentrale Aufgabe während der Umsetzung der Massnahmen ist es, die Betreiberin zu schulen. Sie übernimmt die Anlagen ja oft ohne irgendwelche Vorkenntnisse und lernt das System erst bei der Inbetriebnahme (IBN) kennen. Sie kümmert sich dann in erster Linie um das Wohl der Nutzer und stellt sicher, dass die Anlagen funktionieren. Entscheidet sich der Eigentümer für eine eBO, ist dies eine Chance für die Betreiberin, ihre Anlagenkenntnisse mithilfe des Wissens der eBO-Expertin zu vervollständigen (Abbildung 4.11). Insbesondere profitiert sie dabei auch von den Abklärungen und Analysen der eBO-Expertin.

Auf Basis der Zielvereinbarung und der gewonnenen Anlagen- und Systemkenntnisse planen Betreiberin und eBO-Expertin

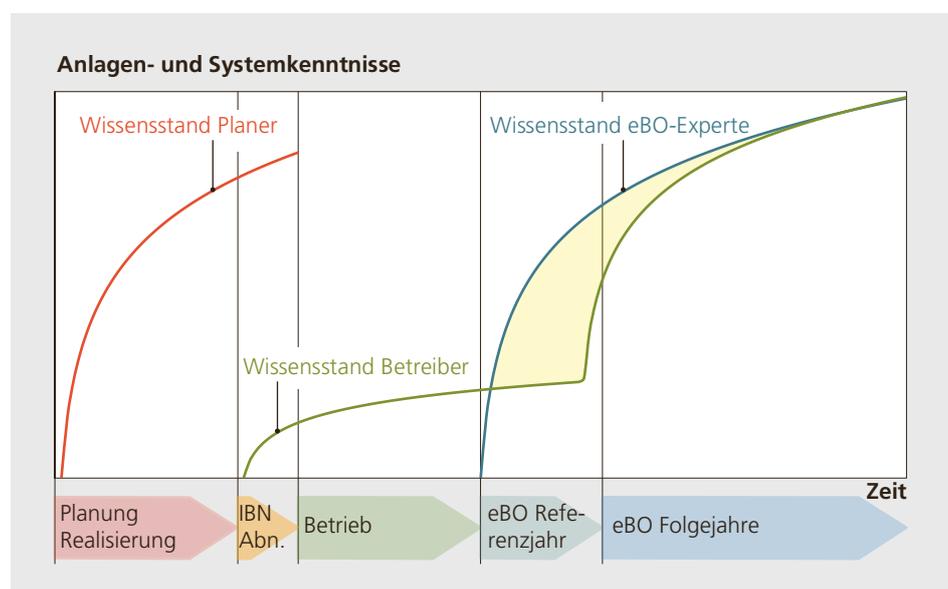


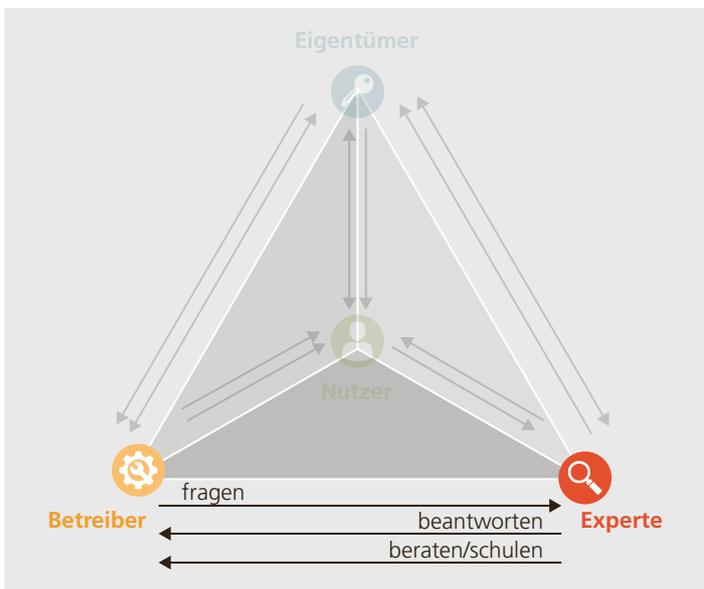
Abbildung 4.11: Im Rahmen einer eBO kann der Betreiber seine Anlagen- und Systemkenntnisse verbessern.

die nächsten umzusetzenden Massnahmen. Dabei gilt es darauf zu achten, dass Änderungen beim Verbrauch auch sauber den ausgeführten Massnahmen zugeordnet werden. Das heisst: Massnahmen sollen einzeln und anlagenweise – Jahr für Jahr – entsprechend ihrer Priorisierung umgesetzt werden.

Wichtig ist, dass die Massnahmen stets durch die Betreiberin umgesetzt werden. Die eBO-Expertin instruiert und unterstützt sie dabei, interveniert aber nie selbst, ohne die Betreiberin und die Nutzer zuvor zu informieren. Die Rolle der eBO-Expertin ist es also, aufgrund der erworbenen Kenntnisse zu System, Anlagen und Betrieb als kompetente Beraterin zu wirken.

Damit die umgesetzten Massnahmen bezüglich ihrer Effektivität beurteilt werden können, müssen sie von der Betreiberin mit einem Zeitstempel protokolliert werden. Diese zeitliche Zuordnung erlaubt es auch zu beurteilen, welche Nutzerverhalten, Anlagenkomponenten und Betriebsweisen für einen effizienten Betrieb wirklich entscheidend sind. Sie zeigt auch, welche Massnahme welchen Einfluss auf den realen Betrieb und den Energieverbrauch hat.

Abbildung 4.12: Die Kooperation zwischen Betreiber und eBO-Experte im Interaktionsschema der Massnahmenumsetzung.

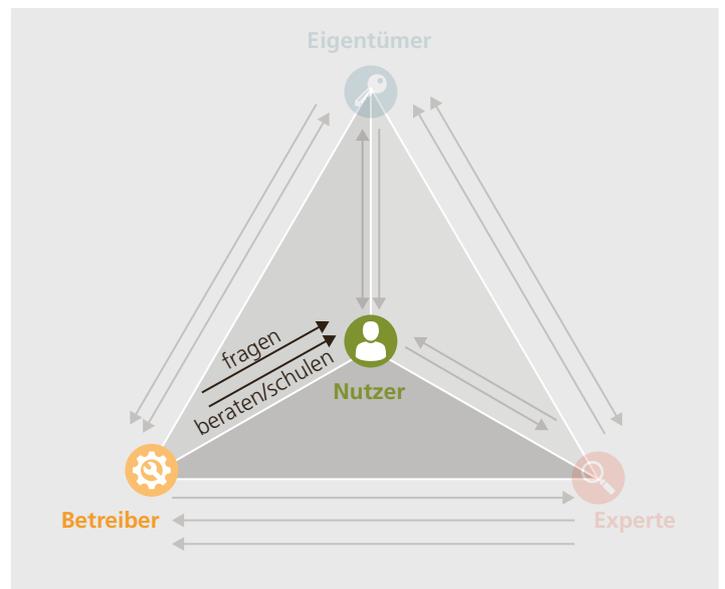


Kooperation zwischen Betreiberin und Nutzern

Im Zentrum der eBO stehen die Nutzer mit ihren Bedürfnissen (Abbildung 4.13). Letztere nimmt die Betreiberin entgegen und bespricht sie mit Eigentümer und eBO-Expertin. Die Nutzer setzen die von der Betreiberin und der eBO-Expertin geplanten organisatorischen Massnahmen um. Dabei instruiert und unterstützt sie stets die Betreiberin. Hier könnte man nun fragen, warum die Nutzer nicht von der eBO-Expertin instruiert werden. Das hängt zum einen damit zusammen, dass im Rahmen der eBO zwischen Betreiberin und eBO-Expertin ein Vertrauensverhältnis aufgebaut worden ist, das es auch für die Zukunft zu erhalten oder auszubauen gilt. Zum anderen ist die Betreiberin näher bei den Nutzern und kann sie umfassender betreuen. Die Glaubwürdigkeit der Betreiberin lässt sich aber noch stärken, wenn die eBO-Expertin die Umsetzung der Massnahmen vorgängig mit den Nutzern bespricht.

Wichtig ist, dass die Betreiberin die Nutzer bei der Umsetzung der organisatorischen Massnahmen kompetent unterstützt und sie auch auf Fehlverhalten hinweist. Dies erfordert anfangs oft viel Geduld und Durchhaltewillen seitens der Betreiberin. Je nachdem kann es sinnvoll sein, gewisse Diskussionen mithilfe von Messresultaten zu versachlichen.

Abbildung 4.13: Die Kooperation zwischen Betreiberin und Nutzer im Interaktionsschema der Massnahmenumsetzung.

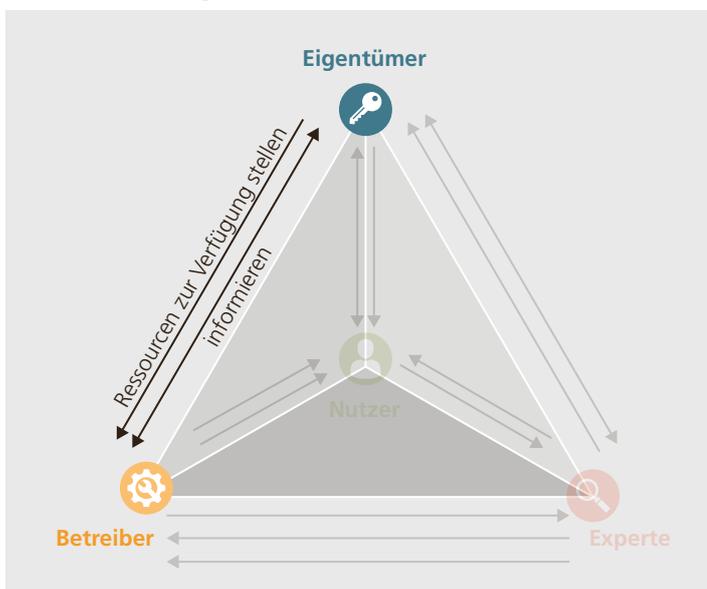


Kooperation zwischen Betreiberin und Eigentümer

Eine eBO bietet eine gute Gelegenheit, die Beziehung zwischen Betreiberin und Eigentümer zu festigen und auszubauen. Der Eigentümer informiert die Betreiberin über die vereinbarten Ziele und gibt ihr die nötigen Mittel und die Zeit, um die geplanten Massnahmen seriös umzusetzen (Abbildung 4.14). Nur wenn sich die Betreiberin intensiv mit der eBO auseinandersetzen kann, wird sich der erhoffte nachhaltige Erfolg einstellen. Die Betreiberin ihrerseits dokumentiert ihre Beiträge im Rahmen der eBO und berichtet über Erfolge und gewonnene Erkenntnisse.

Durch die verstärkte Zusammenarbeit mit den Nutzern erfährt die Betreiberin mehr über deren Bedürfnisse. Mit dem Eigentümer klärt sie ab, ob diese mit den Nutzervereinbarungen übereinstimmen. Hier gilt es beispielsweise Fragen zu beantworten wie: Ist eine garantierte, von den Nutzern geforderte Raumtemperatur in den Sommermonaten vereinbart? Welche raumklimatischen Bedingungen müssen gemäss Nutzervereinbarung zwingend eingehalten werden? Existiert überhaupt eine Nutzervereinbarung? Die Betreiberin klärt, auf welche Nutzerforderungen eingegangen werden kann oder soll und auf welche nicht.

Abbildung 4.14: Die Kooperation zwischen Betreiberin und Eigentümer im Interaktionsschema der Massnahmenumsetzung.

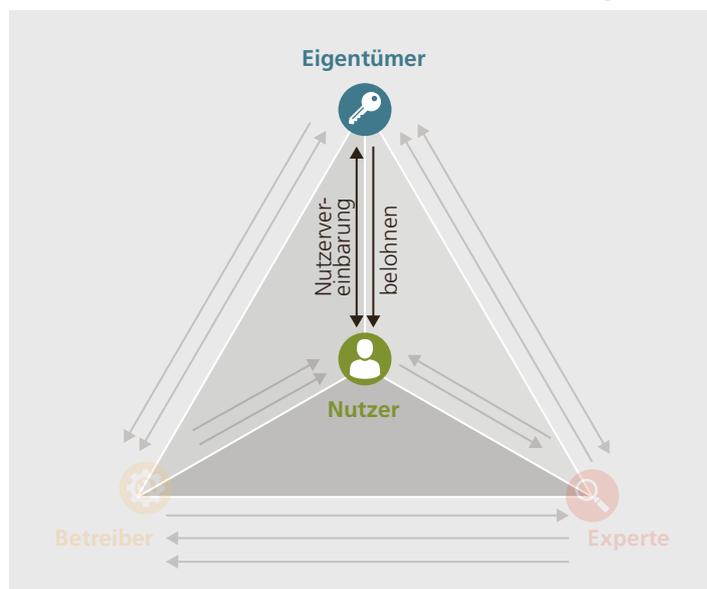


Kooperation zwischen Eigentümer und Nutzer

Zwischen Nutzer und Eigentümer sind die Mietverhältnisse via Nutzervereinbarung vertraglich geregelt (Abbildung 4.15). Falls sich im Rahmen einer eBO zeigt, dass der Nutzer Bedürfnisse geltend macht, die von der Nutzervereinbarung nicht abgedeckt sind, ist es am Eigentümer, dies zu klären. Suffizienz gehört ebenfalls zur eBO. Für den Mieter, der in der Regel auch der Nutzer ist, bedeutet das, dass er genau so viel, aber nicht mehr Komfort fordern kann, wie im Mietvertrag vereinbart ist. Dazu kann etwa gehören, dass eine Lüftungsanlage an Wochenenden abgeschaltet wird, selbst wenn dann einzelne Nutzer arbeiten. Soll dies geändert werden, muss die Nutzervereinbarung angepasst werden – allenfalls unter Kostenfolge.

Der Eigentümer informiert den Nutzer über den Erfolg von umgesetzten Massnahmen. Beliebte Instrumente hierfür sind Dashboards, beispielsweise auf dem Intranet, die Einsparungen direkt visualisieren. Das motiviert die Nutzer, die jeweiligen Massnahmen weiterzuführen. Zusätzliche Motivation kann geschaffen werden, wenn ausgewiesene Sparerfolge belohnt werden. Welche Art der Nutzermotivation auch immer gewählt wird: Wichtig ist, dass Erfolge aus Optimierungen verständlich kommuniziert werden. Ansonsten werden die Nutzer die ihnen von der Be-

Abbildung 4.15: Kooperation zwischen Eigentümer und Nutzer im Interaktionsschema der Massnahmenumsetzung.



treiberin verordneten Massnahmen nicht mehr ernst nehmen.

Es braucht eine positive Haltung

Um Massnahmen in einer eBO erfolgreich umzusetzen, reicht es nicht, «nur» die Anlagen technisch zu optimieren. Es braucht immer eine enge Zusammenarbeit mit Nutzern, Betreiberinnen und Eigentümern. Um einen Jo-Jo-Effekt nach vollbrachter Optimierung zu vermeiden, muss während des Prozesses eine positive Haltung bei den Beteiligten aufgebaut werden. Dies gelingt nur, wenn alle entsprechend ihrer Rolle involviert werden. Ist dies der Fall, stehen die Chancen gut, dass die Optimierung dauerhaft erfolgreich bleibt – selbst bei Umnutzungen. Zusätzlich braucht es auch ein Energiecontrolling, das rasch zeigt, wenn der Energieverbrauch wieder wachsen sollte. Nur so lassen sich früh geeignete Gegenmassnahmen auslösen (siehe Kapitel 4.10).

4.7 Entscheide herbeiführen

Im Rahmen einer eBO sollen Entscheide immer dort abgeholt werden, wo sie von der Hierarchie her auch wirklich gefällt werden dürfen. In der Regel wird der Eigentümer entscheiden. Oft werden Optimierungen aber von der Betreiberin oder vom Nutzer angestossen. Das ist insofern richtig, als die Betreiberin meist über die fachlichen, betrieblichen und teilweise auch finanziellen Kompetenzen für den Unterhalt der gebäudetechnischen Anlagen verfügt. Allerdings ist sie auf organisatorischer Ebene und hinsichtlich Investitionen meist nicht handlungsfähig. Unter Umständen kann es aus Sicht des Eigentümers aber sinnvoll sein, ihr die dazu nötigen Kompetenzen zu übertragen. Hierfür benötigt die Betreiberin aber auch das entsprechende Argumentarium. Eine eBO-Expertin kann in diesem Sinn Entscheidungshilfen für die Umsetzung von Massnahmen zusammen mit der Betreiberin erarbeiten. Werden Entscheide ausschliesslich vom Eigentümer gefällt, erarbeitet die eBO-Expertin Entscheidungshilfen für den Eigentümer. Um die Sache etwas zu systematisieren, lassen sich zwei Ebenen unterscheiden:

- Der grundsätzliche Entscheid für oder gegen eine eBO
- Die jährlich wiederkehrenden Entscheide für die Umsetzung von Massnahmen

Der Entscheid für oder gegen eine eBO

Wird per Gesetz eine eBO gefordert, ist die Sache soweit klar. Davon betroffen sind spezifische Nicht-Wohngebäude, beispielsweise solche, die mehr als 200 MWh/a elektrische Energie verbrauchen (Abbildung 4.16).

Ein Entscheidungskriterium für die eBO kann sein, ob die Anforderungen von bestimmten Labels erfüllt sind. Folgende Labels beurteilen neben den Planungswerten auch die energetische Qualität eines Gebäudes in der Betriebsphase:

- BREEAM In Use
- DGNB
- 2000-Watt-Gesellschaft
- Minergie MQS Betrieb

Viele Gebäude in der Schweiz wurden aber nach Labels gebaut, die den Betrieb nicht berücksichtigen. Bei ihnen lässt sich oft ein sogenannter Performance Gap feststellen – das heisst, die geplanten Energiewerte werden im Betrieb nicht erreicht. In solchen Fällen kann eine eBO die Differenz zwischen Planung und Betrieb oft deutlich verkleinern. Es können aber auch nicht zertifizierte Gebäude mit Labels referenziert werden.

Wer sich für eine eBO entscheidet, reduziert in erster Linie die Belastung der Umwelt durch effizienteren Umgang mit Energieressourcen. Oft sind aber die wirtschaftlichen Vorteile ebenso wichtig. Energetische Betriebsoptimierungen sind defi-

nitionsgemäss so konzipiert, dass sie finanziell rentieren. Auf der einen Seite produziert die eBO Nutzen in Form von sinkenden Betriebskosten für die gebaute technischen Anlagen. Auf der anderen Seite steigern sie auch die Lebensdauer und die Betriebssicherheit der Anlagen, weil sie fachgerecht und effizient betrieben werden. Dies schiebt Investitionen für den Ersatz der Anlagen hinaus. Effizient betriebene Anlagen bringen zudem mehr Leistung. Damit lässt sich in einem gewissen Rahmen vermeiden, dass sie erweitert werden müssen, wenn die Nutzeranforderungen steigen.

Trotz aller offensichtlichen Vorteile – eine eBO setzt seitens der Entscheidungsträger

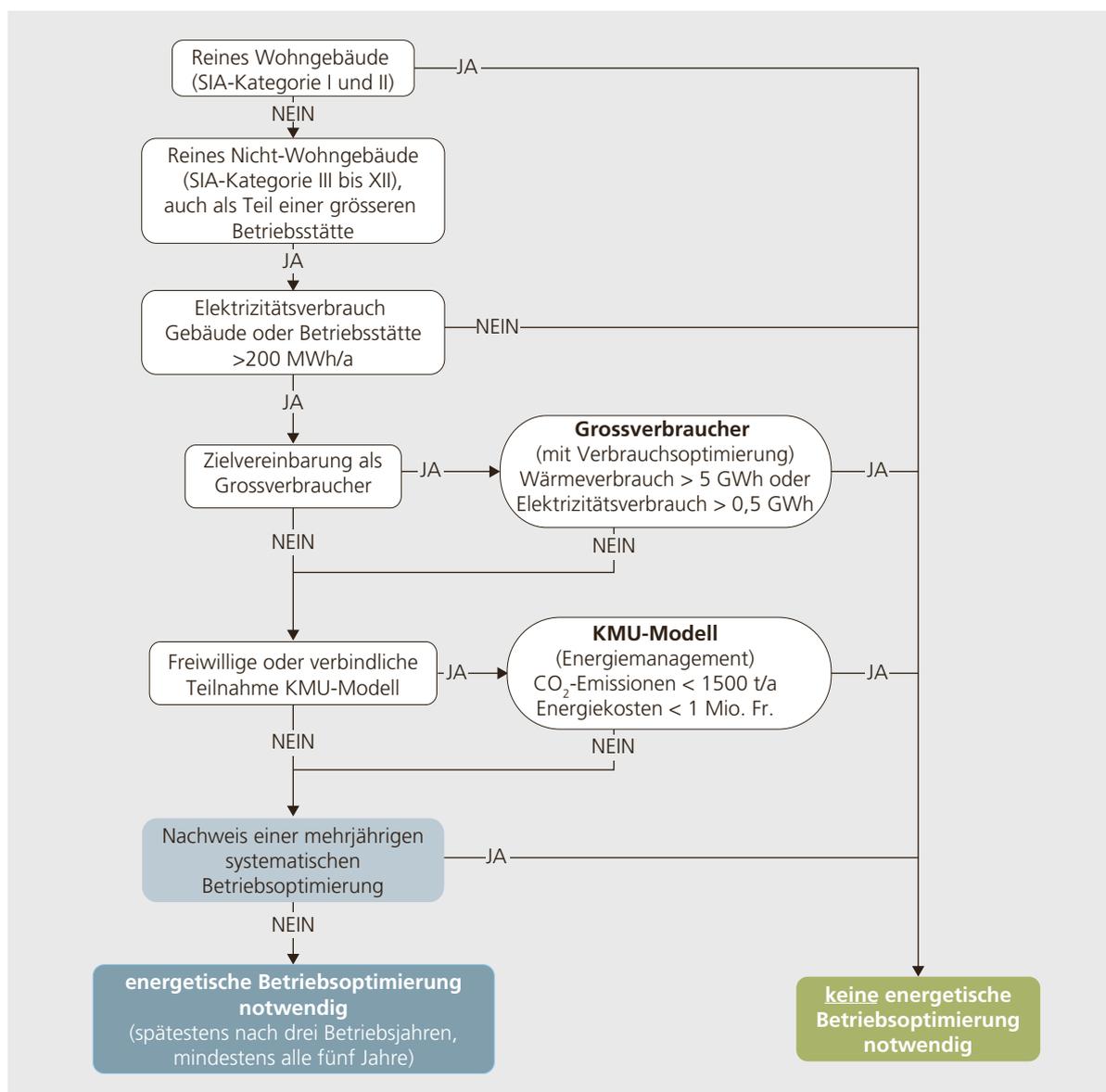


Abbildung 4.16:
Voraussetzungen
für eine gesetzlich
verordnete eBO.

eine gewisse Risikobereitschaft voraus. Die in Aussicht gestellten Einsparungen basieren auf Annahmen, Analysen und Prognosen der eBO-Expertin hinsichtlich der Nutzung und der betrieblichen Führung. Damit die Entscheidung für eine eBO herbeigeführt werden kann, muss die eBO-Expertin dem Entscheidungsträger folgende Grundlagen bereitstellen:

- Eine Zielsetzung
- Eine Kosten-Nutzen-Analyse
- Eine Skizze zum spezifischen Vorgehen
- Eine Übersicht über mögliche Risiken

Die Ziele der eBO richten sich nach den Präferenzen des Entscheidungsträgers. Sie können folgende Aspekte betreffen:

- Das Erfüllen von gesetzlichen Anforderungen
- Die Befreiung von CO₂-Abgaben
- Die Reduktion von Betriebskosten
- Die Senkung der Nebenkosten, um für Mieter attraktiver zu sein
- Einen angestrebten Imagegewinn
- Die Wertsteigerung der Immobilie
- Die Erlangung eines Labels
- Das Einhalten von Normwerten

Als Basis für die Kosten-Nutzen-Analyse werden benötigt:

- Eine Ist-Analyse der Anlagen
- Anlagedokumentationen wie Prinzipschemas, Funktionsbeschreibungen oder Wartungsdokumente
- Eine Begehung vor Ort mit dem Betreiber
- Ein Interview mit dem Betreiber mit vorbereiteten Fragen

Die Kosten werden inklusive ihrer künftigen Entwicklung prognostiziert. Aus der Ist-Analyse oder einem Energiecheck werden die Sparpotenziale abgeschätzt.

Das spezifische Vorgehen wird skizziert, indem die Potenziale priorisiert werden und das Vorgehen chronologisch sinnvoll als konkreter Umsetzungsplan dargestellt wird. Als Erstes werden Massnahmen angeboten, die dringende Probleme lösen oder sofort umsetzbar sind. Weitere offensichtliche Potenziale vervollständigen den Umsetzungsplan.

Die Übersicht über mögliche Risiken zeigt, was allenfalls schiefgehen könnte. Die aufgeführten Risiken sollen mit dem Auftraggeber gründlich abgesprochen werden. Er kann dann entscheiden, ob Massnahmen zur Sicherstellung des geforderten Betriebs vorgesehen werden müssen oder eine risikobehaftete Massnahme nicht umgesetzt werden soll.

Jährliche Entscheide zu umzusetzenden Massnahmen

Die eBO-Expertin berichtet dem Entscheidungsträger jährlich über den Verlauf der Optimierung. Idealerweise geschieht dies in Form einer Präsentation mit anschließender Diskussion. Anhand der Jahresergebnisse erarbeitet die eBO-Expertin einen konkreten Umsetzungsplan für das folgende Jahr mit Zielformulierung. Die zu Beginn der eBO definierte Zielformulierung wird allenfalls dem neusten Wissensstand und den Optimierungsergebnissen angepasst. Für die Ablage der jährlichen Optimierungsergebnisse eignet sich ein Factsheet mit den relevanten Einspargrößen und den zugehörigen Massnahmen. Der Entscheidungsträger befindet über den Vorschlag der eBO-Expertin, bringt seine Bedürfnisse ein und löst die Ressourcen für das folgende Jahr aus.

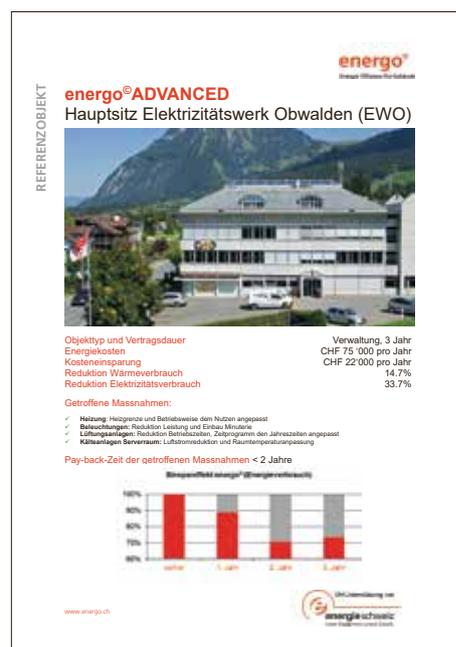


Abbildung 4.17: Beispiel für ein Factsheet zu einer eBO. (Quelle: Energo)

4.8 Betriebsoptimierung mit und ohne Investitionen?

Im Normalfall wünschen sich die Auftraggeber eine eBO ohne Investitionen. Dennoch stellt sich die Frage nach den Investitionen immer wieder. Das hängt auch damit zusammen, dass die Effizienzsteigerung und Einsparungen bei den Energiekosten nicht mit dem Aufwand für die Optimierungsmassnahmen korrelieren.

Um in dieser Frage weiterzukommen, muss zuerst geklärt werden, was unter Investitionen genau verstanden wird. Investitionen im Sinne von Material- und Installationsaufwand können bei einer eBO gleich Null sein. Hingegen fallen bei professionellem Vorgehen immer minimale Kosten für das Honorar der eBO-Expertin an. In den folgenden Betrachtungen sind die Honorare der eBO-Expertin mitberücksichtigt. Wir unterscheiden hier zwei Phasen. Phase 1 ist immer ohne Material- und Installationsinvestitionen.

Phase 1

Nach dem Referenzjahr, in dem die Energiedaten aufgenommen werden, folgt das erste Jahr, in dem Massnahmen umgesetzt

werden. Während dieser Phase (Abbildung 4.18) werden Energiedaten ausgewertet und Kennzahlen berechnet. Gleichzeitig können hier aber schon erste Sofortmassnahmen umgesetzt werden. Das sind meist ungeplante Massnahmen, die wenig Aufwand verursachen, aber sinnvollerweise vorneweg realisiert werden, und zwar, ohne dass ihre Auswirkungen prognostiziert worden wären. Regisseurin bei solchen Sofortmassnahmen ist die Anlagenbetreiberin mit ihren Erfahrungen. Rahmen ist eine gemeinsame Anlagenbegehung mit der eBO-Expertin. Dort kann die eBO-Expertin das Know-how und die Erfahrungen der Betreiberin abholen. Daraus resultieren oft schon erste Sofortmassnahmen, die unter der Anleitung der eBO-Expertin unmittelbar umgesetzt werden können. Zu solchen Sofortmassnahmen gehören etwa (siehe auch Abbildung 4.19):

- Die grobe Konzeptüberprüfung
- Das Lösen von anstehenden Problemen des Anlagenbetreibers
- Das Beheben von Fehlfunktionen
- Das Eliminieren von Schwachstellen
- Das Überprüfen der Einstellwerte

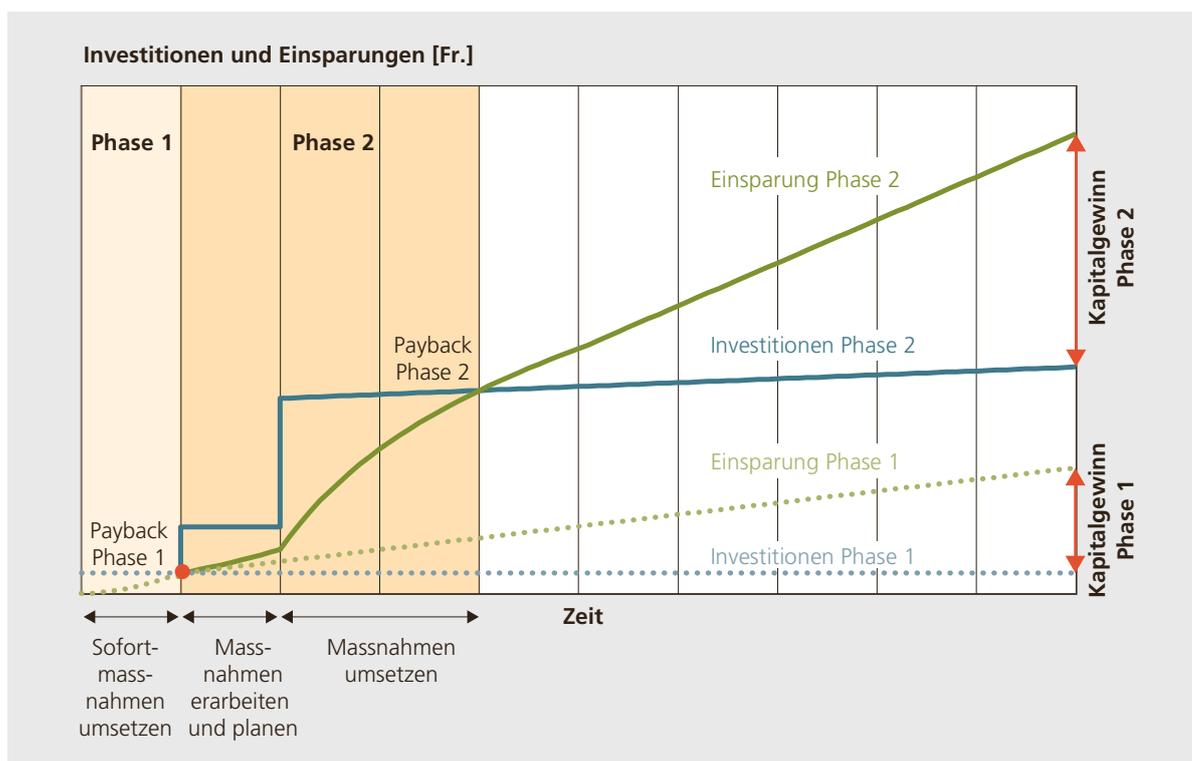


Abbildung 4.18: Gegenüberstellung aufsummierte Investitionen und Einsparungen an Energiekosten in den Phasen 1 und 2 für die Umsetzung von Massnahmen.

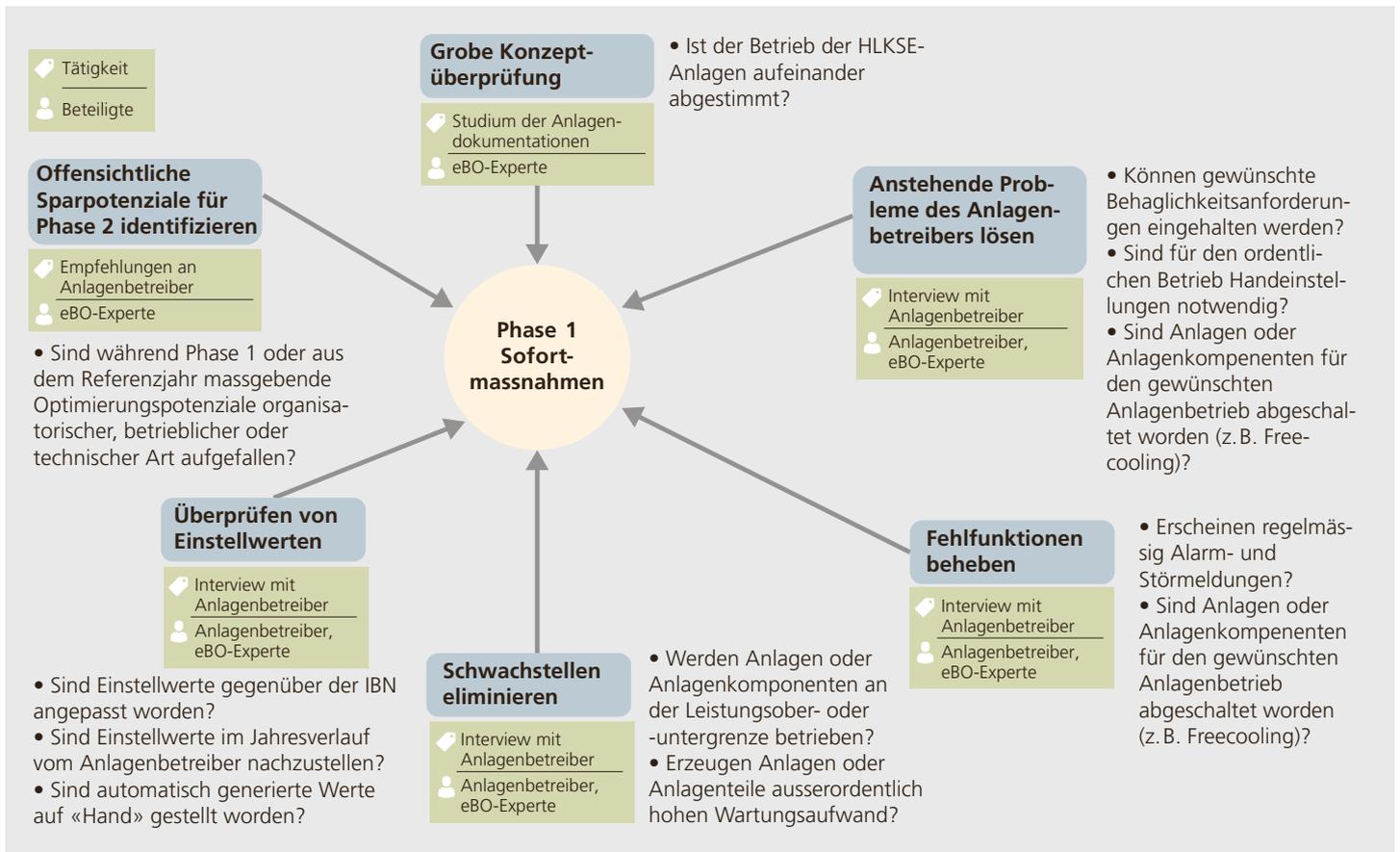


Abbildung 4.19: Prozessbeschreibung Phase 1 (Betrieboptimierung ohne Investitionen für Material- und Installationen).



Abbildung 4.20: Prozessbeschreibung Phase 2.

Zudem wird die Betreiberin auch über offensichtliche Optimierungspotenziale für Phase 2 informiert.

In Phase 1 werden also durch die Anlagenbetreiberin Massnahmen ohne Investitionen für Material oder die Leistung von Handwerkern, Regeltechnikern etc. direkt umgesetzt. Dabei gilt es, stets darauf zu achten, dass die Sicherheit weiterhin gewährleistet bleibt.

In dieser Phase liegen bereits Einsparungen bis zu 10 % im Bereich des Möglichen. Das skizzierte Vorgehen ist nicht nur bei einer gesamtheitlichen, professionellen Betriebsoptimierung möglich, sondern lohnt sich als Einzelaktion oder für einmalige Interventionen bei kleineren Objekten. Die Payback-Zeit inklusive Honorar der eBO-Expertin ist in Phase 1 sehr kurz. Angestrebt werden weniger als 2 Jahre (Abbildung 4.18).

Phase 2

In Phase 2 können Investitionen anfallen. Gründe dafür sind:

- Das Dokumentieren von bisher ausgeführten Massnahmen
- Das Erarbeiten von weiteren Massnahmen
- Das Planen von neuen Massnahmen

Abgrenzung zu Phase 2

Der Ersatz von ganzen Anlagen oder Anlagenteilen durch alternative Systeme wie das Ersetzen eines Heizkessels durch eine Wärmepumpe gehört nicht zur eBO. Anders sieht es beim Ersatz von Leuchtmitteln aus. Solange hierfür kein planerischer Eingriff in die Anlage erforderlich ist, wird dies sehr wohl als Teil einer eBO gehandhabt. Ist aber ein planerischer Eingriff erforderlich, muss dafür ein separates Projekt ausgelöst werden.

Oft müssen für eine transparente eBO Messstellen nachgerüstet werden.

Auch das Verfassen des zugehörigen Messkonzepts und dessen Umsetzung wird in ein separates Projekt ausgelagert, weil hierfür eine Anlagenplanung notwendig ist. Die eBO-Expertin unterstützt den Auftraggeber aber dabei.

■ Das Umsetzen von Massnahmen mit Kostenfolgen für Material und Installation

■ Das Dokumentieren von Massnahmenergebnissen aus dem Vorjahr

Phase 2 gehört ausschliesslich zur professionellen eBO und kann nicht als isolierte Aktion realisiert werden. Abgrenzungen zu Phase 2 siehe Kasten.

Aufgrund des höheren Investitionsbedarfs rechnet sich eine Phase 2 erst für grössere Immobilien mit jährlichen Energiekosten ab rund 50 000 Fr. für Strom und Wärme. In Phase 2 erhöht sich das Sparpotenzial gegenüber Phase 1 in der Regel deutlich – vorausgesetzt, die Payback-Dauer bleibt deutlich kürzer als die noch zu erwartende Nutzungsdauer. Insgesamt sind Einsparungen an Energie und Energiekosten bis zu 30 % durchaus möglich. Dies erfordert allerdings in den meisten Fällen wiederholte Zyklen der Phase 2 (in Abbildung 4.18 ist lediglich ein Zyklus dargestellt). Nutzungsänderungen während der eBO erfordern zusätzlich Massnahmen, die Investitionskosten zur Folge haben können. Diese Kosten dürfen aber nicht der eBO zugeschrieben werden.

Energetische Betriebsoptimierung ist somit ein dauerhafter Prozess, der sich übers Ganze lohnen soll. Sobald jedoch eine Massnahme einen Planungsprozess gemäss SIA erfordert, dann gilt diese Massnahme nicht mehr als Betriebsoptimierung, sondern als energetische Sanierung.

4.9 Wirtschaftlichkeit

In der eBO wird oft vom Payback der Einzelmassnahmen gesprochen. Wie aber wird die Wirtschaftlichkeit korrekt berechnet? Und gibt es geeignete Methoden, die Wirtschaftlichkeit über den gesamten eBO-Prozess zu erfassen?

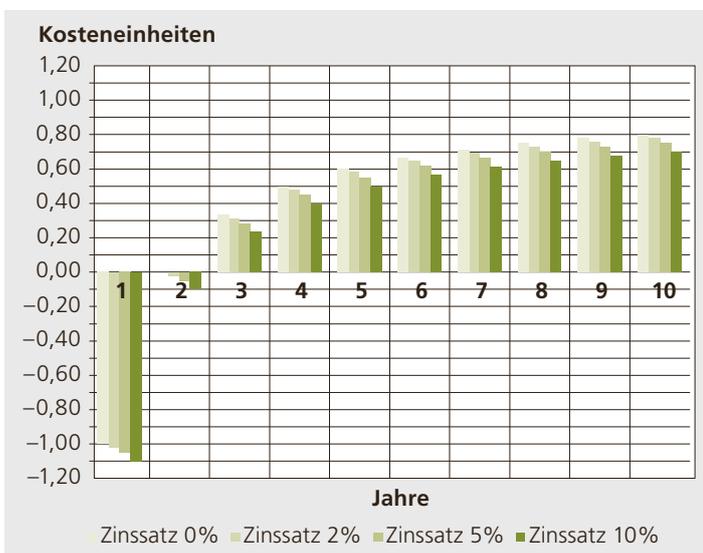
Methoden zur Wirtschaftlichkeitsanalyse lassen sich in statische und dynamische Verfahren unterteilen. Die in der eBO meistens angewandte Methode zum Berechnen der Payback-Zeit ist ein statisches Verfahren. Allen Methoden liegt der Vergleich von Investition und Nutzen zugrunde. Damit sollen zwei Fragen beantwortet werden, die einerseits die eBO-Planung und andererseits die Erfolgsrechnung im laufenden eBO-Prozess betreffen:

- Spart die eBO Kosten? Wenn ja, wie viel?
- Welche Optimierungsmassnahmen sind im Vergleich die kostengünstigsten (Variantenvergleich)?

Zum Beantworten dieser Fragen stehen folgende Methoden mit unterschiedlichen Ansätzen zur Verfügung:

- 1) a) Gewinnvergleichsrechnung statisch
b) Gewinnvergleichsrechnung dynamisch
- 2) a) Payback statisch
b) Payback dynamisch
- 3) a) interner Zinssatz statisch
b) interner Zinssatz dynamisch

Abbildung 4.21: Beispiel für eine Gewinnvergleichsrechnung über 10 Jahre (statisch).



Statische Methoden eignen sich grundsätzlich für die Akquisition und die Massnahmenerarbeitung. Dynamische Methoden eignen sich für die Erfolgskontrolle und die Massnahmensicherung einer eBO.

Statische Methoden zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit

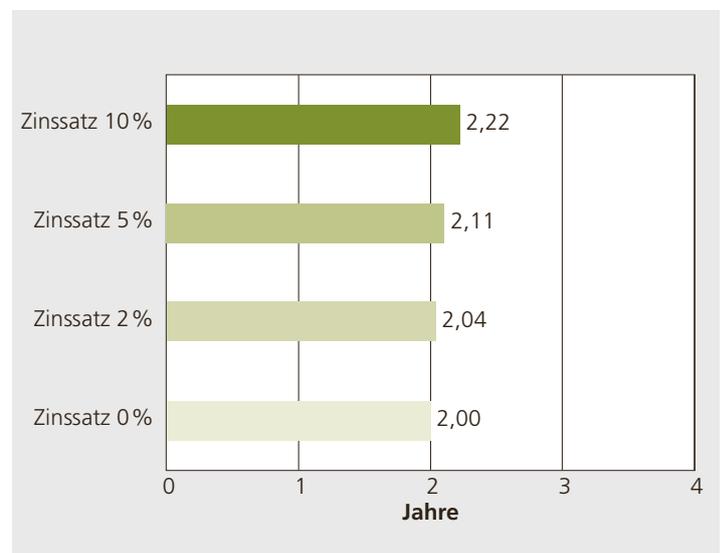
Mit statischen Methoden lassen sich sehr einfach Überschlagsrechnungen anstellen. Sie sind aber auch sehr ungenau, weil sie die Teuerung und andere künftige Veränderungen bei Kosten oder betrieblichen Daten unberücksichtigt lassen. Hinweise zur Nutzungsdauer technischer Anlagen (technische Lebensdauer) und zum Wartungsaufwand in % der Investitionskosten sind in SIA 382/1 Anhang B aufgeführt.

Merkmale der statischen Gewinnvergleichsrechnung (1a)

Die Methode der statischen Gewinnvergleichsrechnung (Abbildung 4.21) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie ermittelt den durchschnittlichen Jahresgewinn durch die umgesetzten Massnahmen.
- Als Gewinn wird hier die jährliche Kosteneinsparung gegenüber dem Istzustand verstanden.
- Als Basis für die Berechnung der Kosteneinsparung dient das aktuelle Jahr mit den aktuellen Preisen.
- Sie berücksichtigt die Amortisations- und Kapitalkosten (K_A und K_K).

Abbildung 4.22: Beispiel für das Payback bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren (statisch).



Formelsammlung Wirtschaftlichkeit

Statische Methoden

Statische Gewinnvergleichsrechnung (1a)

Gewinn G einer Optimierungsinvestition I :

$$G = N - K_A - K_K = (K_{B0} - K_{B1}) - \frac{I}{n} - (0,5 \cdot I \cdot i) \quad (1)$$

Statischer Payback (2a)

Amortisationszeit p_0 :

$$p_0 = \frac{I}{N - K_K} = \frac{I}{(K_{B0} - K_{B1}) - (0,5 \cdot I \cdot i)} \quad (2)$$

Statischer interner Zinssatz (3a)

$$i_0 = \frac{N - K_A}{0,5 \cdot I} = \frac{(K_{B0} - K_{B1}) - \frac{I}{n}}{0,5 \cdot I} \quad (3)$$

Dynamische Methoden

Annuitätsfaktor a :

$$a = \frac{(1 + i)^n \cdot i}{(1 + i)^n - 1} \quad (4)$$

Diskontierungssummenfaktor d inklusive Berücksichtigung der Teuerung:

$$d = (1 + e) \cdot \frac{(1 + i)^n - (1 + e)^n}{(1 + i)^n \cdot (i + e)} \quad (5)$$

Mittelwertfaktor m :

$$m = a \cdot d \quad (7)$$

Kapitalwert C :

$$C = -I + N \cdot d \quad (8)$$

Dynamische Gewinnvergleichsrechnung (1b)

Gewinn G einer Optimierungsmassnahme mit dem Kapitalwert C :

$$\begin{aligned} G &= C \cdot a = \\ &= -I \cdot a + N \cdot d \cdot a = \\ &= -I \cdot a + N \cdot m \end{aligned} \quad (9)$$

Dynamischer Payback (2b)

Amortisationszeit p_0 :

$$p_0 = f(C, n); C = 0 \quad (10)$$

Dynamischer interner Zinssatz (3b)

interner Zinssatz i :

$$i_0 = f(C, i); C = 0 \quad (11)$$

Legende

a	Annuitätsfaktor	–
C	Kapitalwert über die Nutzungsdauer	[Fr.]
d	Diskontierungsfaktor inklusive Berücksichtigung der Teuerung	–
e	Teuerung	–
G	Gewinn	[Fr./a]
I	Investition in Optimierungsmassnahmen	[Fr.]
i	Zinssatz	–
i_0	interner Zinssatz	–
K	Jahreskosten	[Fr.]
K_A	Amortisationskosten	[Fr.]
K_B	Betriebskosten	[Fr.]
K_{B0}	Betriebskosten Istzustand	[Fr./a]
K_{B1}	Betriebskosten Sollzustand	[Fr./a]
K_K	Kapitalkosten	[Fr.]
m	Mittelwertfaktor	–
N	Nettoertrag aus Optimierungsmassnahmen	[Fr.]
n	Nutzungsdauer	[a]
p_0	Payback	[a]

- Sie berücksichtigt die Teuerung nicht.
- Die Kostenwerte bleiben über die Nutzungsdauer unverändert.

Zur Berechnung der statischen Gewinnvergleiche dient Formel 1 aus dem Kasten «Formelsammlung Wirtschaftlichkeit» auf Seite 113.

Vergleicht man verschiedene Massnahmen, dann ist nicht die mit dem höchsten Gewinn auch zwingend die absolut rentabelste. Um Aussagen zur Rentabilität machen zu können, müssen auch allenfalls nötige Investitionen berücksichtigt werden. Die Methode der statischen Gewinnvergleichsrechnung eignet sich, um aus möglichen Varianten die kostengünstigste zu bestimmen. Bei den Betriebskosten werden die prognostizierten Einsparungen bei der Energie minus die Kosten für die eBO (Honorar der Expertin oder die Kosten für das Energiecontrolling) berücksichtigt.

Merkmale der statischen Payback-Methode (2a)

Die Methode des statischen Paybacks (Abbildung 4.22) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie ermittelt die Zeitdauer, bis das eingesetzte Kapital zurückgeflossen ist.
- Sie berücksichtigt die Kosteneinsparungen bei der eBO.
- Sie berücksichtigt die Kapitalkosten.
- Als Basis für die Kosteneinsparung dient das aktuelle Jahr mit den aktuellen Preisen.
- Sie berücksichtigt die Teuerung nicht.
- Die Kosten werden über die Nutzungsdauer nicht der Teuerung oder sonstigen Einflüssen angepasst.
- Sie berücksichtigt die Amortisationskosten K_A nicht.

Zum Berechnen des statischen Paybacks dient Formel 2 aus dem Kasten auf Seite 113.

In der eBO wird das Payback oft als Zielgrösse für die Rückzahlungsdauer der Kosten angewendet, die beim Umsetzen der Massnahmen anfallen. Da die Rückzahlungszeit kurz sein soll (beispielsweise zwei Jahre) und nicht primär Wert auf die Rendite gelegt wird, eignet sich diese statische

Methode gut für die Beurteilung von geplanten Massnahmen.

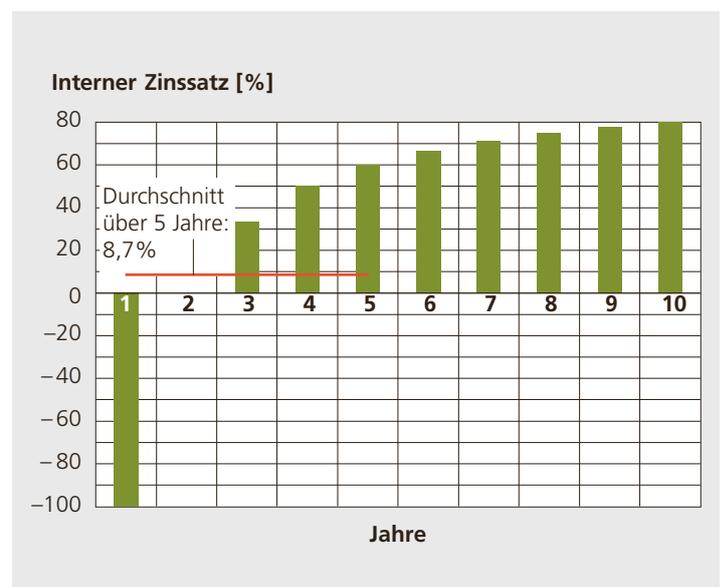
Merkmale der Methode des statischen internen Zinssatzes (3a)

Die Methode des statischen internen Zinssatzes (Abbildung 4.23) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie berechnet den erwirtschafteten durchschnittlichen internen Zinssatz für Optimierungsmassnahmen über eine festgelegte Nutzungsdauer.
- Als Zielvorgaben dienen nicht energetische Grössen, sondern der vom Entscheidungsträger vorgegebene Zinssatz.
- Sie berücksichtigt die Teuerung nicht.
- Sie berücksichtigt die Amortisation K_A .

Zur Berechnung des statischen internen Zinssatzes dient Formel 3 aus dem Kasten auf Seite 113. Wird vom Entscheidungsträger ein minimaler Zinssatz über eine definierte Nutzungs- oder Investitionsdauer vorgegeben, können mit dieser Methode die mit den Massnahmen zu erreichenden internen Zinssätze ermittelt werden. Die Nettoeinnahmen N sind die reduzierten Betriebskosten infolge von Einsparungen plus Zusatzaufwendungen (Expertenhonorar, Energiecontrolling, Zusatzaufwendungen Betrieb usw.) für die eBO.

*Abbildung 4.23:
Verlauf interner Zinssatz über 10 Jahre (statisch).*



Dynamische Methoden zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Sollen die Auswirkungen der eBO über eine lange Dauer betrachtet werden, beispielsweise über die gesamte Anlagennutzungsdauer, eignen sich nur dynamische Wirtschaftlichkeitsanalysen (Methoden b). Bei ihnen wird versucht, die Jahreskosten unter Einbezug von Teuerung, sich ändernden Energiepreisen sowie Betriebs- und Unterhaltskosten richtig zu prognostizieren.

Der Annuitätsfaktor bezieht den Kapitalwiedergewinnungsfaktor bei gegebener Verzinsung in Abhängigkeit der Betrachtungsdauer. Er wird nach Formel 4 aus dem Kasten auf Seite 113 berechnet.

Damit die Geldströme vergleichbar werden, müssen sie auf einen bestimmten Zeitpunkt abgezinst werden. Normalerweise ist das der Zeitpunkt der Investition. Den Vorgang der Abzinsung inklusive Teuerung nennt man auch Diskontierung (Diskontierungssummenfaktor). In der Teuerung ist die Energiepreisentwicklung mitberücksichtigt. Den auf den Zeitpunkt der Investition diskontierten Wert einer künftigen Grösse nennt man den Barwert oder Gegenwartswert. Zur Berechnung des Diskontierungsfaktors dient Formel 5 aus dem Kasten auf Seite 113.

Multipliziert man den Annuitätsfaktor mit dem Diskontierungsfaktor inklusive Teuerung, resultiert der Mittelwertfaktor m .

Ihn berechnet man mit der Formel 7 aus dem Kasten auf Seite 113.

Der Kapitalwert ist gleich der Summe der Barwerte von Einnahmen und Ausgaben über die ganze Betrachtungsperiode, berechnet mit dem Kalkulationszinssatz. Eine Optimierung ist wirtschaftlich, wenn der Kapitalwert gleich oder grösser als Null ist. Die Nettoeinnahmen N sind Einnahmen aus Energieeinsparungen plus Aufwendungen für die eBO (Honorar Experte, Energiecontrolling usw.) zu heutigen Konditionen. Zur Berechnung des Kapitalwerts dient Formel 8 aus dem Kasten auf Seite 113.

Abbildung 4.25: Beispiel für das Payback bei einer Nutzungsdauer von 10 Jahren mit Teuerung (dynamisch).

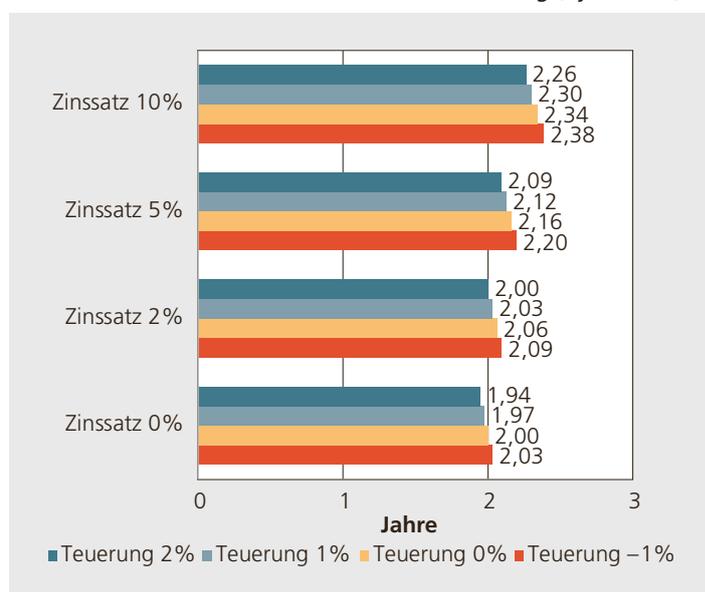
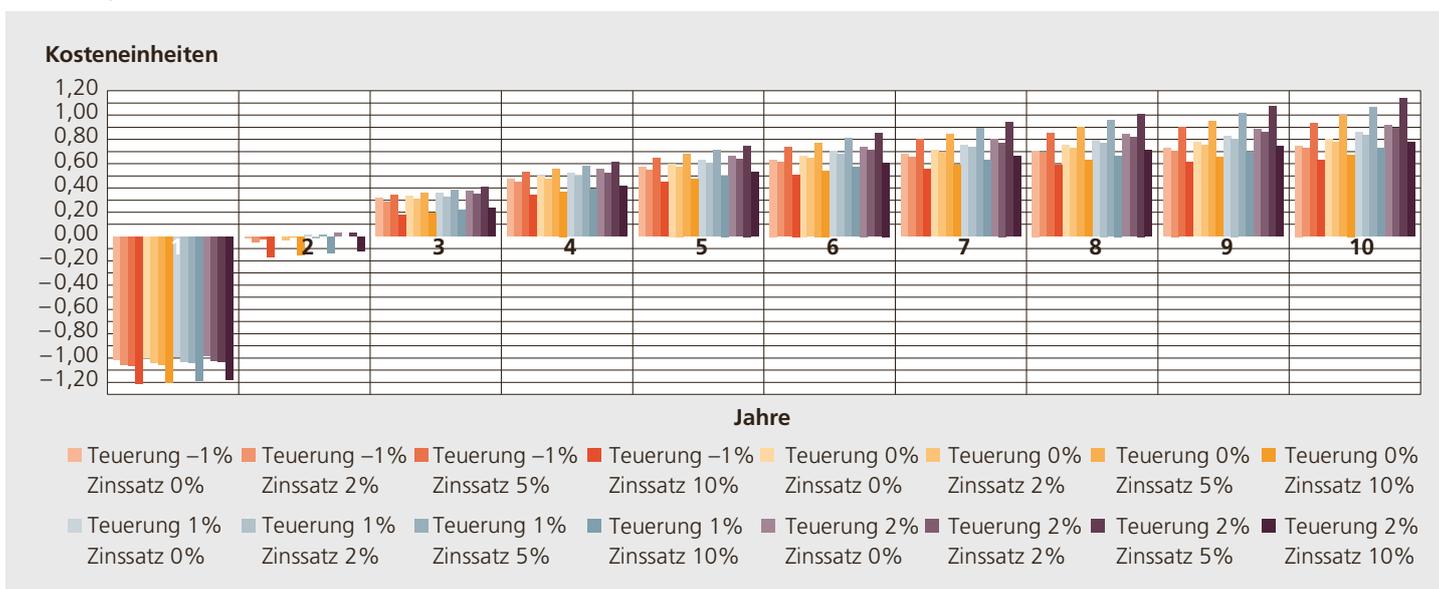


Abbildung 4.24: Beispiel für eine Gewinnvergleichsrechnung über 10 Jahre mit Teuerung (dynamisch).



Merkmale der dynamischen Gewinnvergleichsrechnung (1b)

Die Methode der dynamischen Gewinnvergleichsrechnung (Abbildung 4.24) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie ermittelt den durchschnittlichen Jahresgewinn durch die umgesetzten Massnahmen.
- Als Gewinn wird hier die jährliche Kosteneinsparung gegenüber dem Istzustand verstanden.
- Basis für die Kosteneinsparung ist das aktuelle Jahr mit aktuellen Preisen.
- Sie berücksichtigt die Amortisations- und Kapitalkosten K_A und K_K .
- Sie berücksichtigt die Teuerung e inklusive der Energiepreisentwicklung.
- Sie berücksichtigt die Veränderung des Zeitwertes des Investitionskapitals.

Zur Berechnung des dynamischen Gewinnvergleichs dient Formel 9 aus dem Kasten auf Seite 113. Mit der dynamischen Gewinnvergleichsrechnung lässt sich transparent zeigen, welche Rendite die Massnahmen einer eBO jährlich abwerfen. Diese Methode eignet sich sehr gut zur Dokumentation der erreichten Ziele, vor allem deshalb, weil die Gewinne

über die gesamte Nutzungsdauer der Anlagen eindrücklich dargestellt werden können. Bei den Nettoeinnahmen N gilt es, die prognostizierten Einsparungen inklusive Teuerung zu berücksichtigen. Das Honorar der Expertin und die Kosten für ein allfälliges Energiecontrolling, sofern es eigens für die eBO eingeführt wurde, werden bei den Investitionskosten abgezogen.

Merkmale der dynamischen Payback-Methode (2b)

Die Methode des dynamischen Paybacks (Abbildung 4.25) gleicht der statischen Payback-Methode (2a).

- Sie berücksichtigt aber die Teuerung.
- Sie berücksichtigt auch die Veränderung des Zeitwertes des Investitionskapitals.
- Bei ihr ist das Payback erreicht, wenn der Kapitalwert C gleich null ist.

Zur Berechnung des dynamischen Paybacks dient Formel 10 aus dem Kasten auf Seite 113. Interpoliert man mit der Nutzungsdauer, bis der Kapitalwert gleich null ist, resultiert das dynamische Payback. Es dient zum nachträglichen Bewerten einer eBO bei der Erfolgskontrolle.

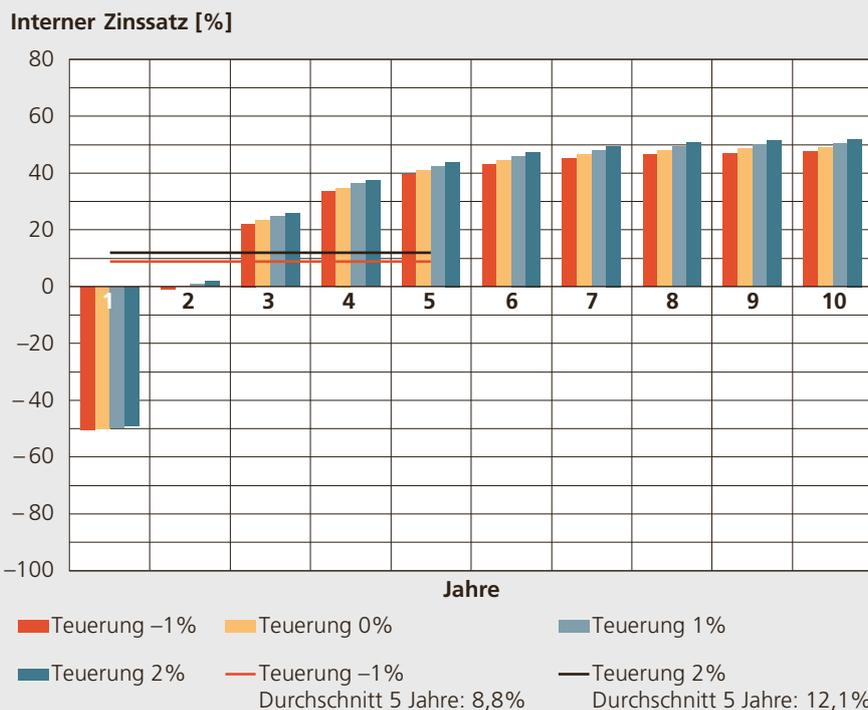


Abbildung 4.26:
Verlauf des internen Zinssatzes über 10 Jahre mit Teuerung (dynamisch).

Merkmale der Methode vom dynamischen internen Zinssatz (3b)

Die Methode des dynamischen internen Zinssatzes (Abbildung 4.26) zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Sie berechnet den erwirtschafteten durchschnittlichen internen Zinssatz für Optimierungsmaßnahmen über eine festgelegte Nutzungsdauer.
- Als Zielvorgabe dienen nicht die energetischen Zielvorgaben, sondern der vom Entscheidungsträger vorgegebene zu erreichende Zinssatz.
- Sie berücksichtigt die Teuerung.
- Sie berücksichtigt die Veränderung des Zeitwertes des Investitionskapitals.
- Sie berücksichtigt die Energiepreisentwicklung.

Für Berechnungen nach dem dynamischen internen Zinssatz dient Formel 11 aus dem Kasten auf Seite 113. Dabei wird der Kapitalwert C mit der Variation des internen Zinssatzes i_0 interpoliert, bis der Kapitalwert null ergibt. Hier kann auch mit der Zielwertsuche in Excel gearbeitet werden. Wird vom Entscheidungsträger ein minimaler Zinssatz über eine definierte Nutzungsdauer vorgegeben, kann mit dieser Methode nachgewiesen werden, ob er erreicht wurde. Häufig entspricht die Nut-

zungsdauer dabei der noch zu erwartenden Restnutzungsdauer der technischen Anlagen.

Oft löst eine eBO Förderbeiträge aus oder bewirkt eine Befreiung von CO₂-Abgaben. Ist das der Fall, können die Förderbeiträge vom Investitionskapital abgezogen werden. Die Befreiung von CO₂-Abgaben wirkt sich positiv auf die jährlichen Energiekosten aus und beeinflusst die Nettoeinnahmen N .

Welche Methode eignet sich wofür?

Es gilt: Verschiedene Methoden liefern verschiedene Aussagen. Oft nehmen die Akteure einer eBO sehr unterschiedliche Perspektiven ein. Kennen sich die Anlagenbetreiberin und die eBO-Expertin in Energiekennwerten aus, können sie gut mit ihnen arbeiten. Für Nutzende (Mieter) oder Entscheidungsträger hingegen sind monetäre Aussagen viel greifbarer.

Tabelle 4.5 zeigt geeignete Dokumentations- oder Kommunikationsmittel für einzelne Akteure bezogen auf die verschiedenen Phasen einer eBO. Die Akteure können dabei verschiedene Betrachtungsweisen haben.

	Akquisition	Referenzjahr	Sofortmaßnahmen	Massnahmenplanen (Variantenvergleich)	Massnahmen umsetzen	Erfolgskontrolle	Massnahmen-sicherung (Energiecontrolling)
Endnutzer	K	K	K	K	K	K	K
Mieter	K, (W3a)	K, (W3a)	K	K	K	K, (W3b)	K
Eigentümer	K, W2a, E	K, W2a, E	K, (E)	K, W2a, E	E	K, W2b, E	K, W1b, E
Betreiber	E, (W1a)	E, (W1a)	E	E, (W1a)	E	E, (W1b)	E, (W1b)
Entscheidungsträger	W3a, E	W2a, W3a, E	E	W2a, W3a, E	E	W1b, W2b, W3b, E	W1b, E
Legende							
Komfort				Wirtschaftlichkeit statisch			
K Behaglichkeitskriterien				W1a Gewinnvergleichsrechnung			
Energieeffizienz				W2a Payback			
E Energiekennwerte				W3a Interner Zinssatz			
				Wirtschaftlichkeit dynamisch			
				W1b Gewinnvergleichsrechnung			
				W2b Payback			
				W3b Interner Zinssatz			

Tabelle 4.5: Welche Akteure interessieren sich für welche (wirtschaftlichen) Aspekte während einer eBO?

4.10 Erfolgskontrolle und -sicherung

Die Erfolgskontrolle findet kontinuierlich nach der Umsetzung der Massnahmen statt und vergleicht die Ergebnisse mit den prognostizierten Werten. Voraussetzung ist, dass die hierfür notwendigen Messeinrichtungen vorhanden sind – beispielsweise eine automatische Energiedatenerfassung samt Auswertung mittels Energiecontrollingsystem. Anhand der Erfolgskontrolle können die Massnahmen für die nächste Periode ergänzt oder definiert werden. Im Wesentlichen gilt es, folgende vier Punkte auszuwerten:

- Nutzerzufriedenheit
- Energiekennwerte
- Wirtschaftlichkeit
- Umweltverträglichkeit

Der Einsatz eines Energiecontrollingsystems unterstützt die Auswertungen ideal. Ein solches System eignet sich aber nicht nur für die Erfolgskontrolle, sondern auch für die dauerhafte Erfolgssicherung. Im Unterschied zum Energiemonitoring, das aufgezeichnete Daten in einem Cockpit visualisiert, ermöglicht das Energiecontrolling zusätzlich den Vergleich zu einem Sollzustand. Das kann allenfalls der Zustand vor der Betriebsoptimierung sein.

Nutzerzufriedenheit

Um den Erfolg einer eBO umfassend zu bewerten, werden die Daten aus dem Energiecontrolling durch Nutzerbefragungen ergänzt. Über das Energiecontrolling können Komfortparameter wie Raumlufttemperaturen, -feuchten oder -qualität aufgezeichnet werden. Der Bedarf an Nutzenergie fürs Heizen, Kühlen und Lüften der Räume zeigt, wie energieeffizient sich die Nutzer verhalten.

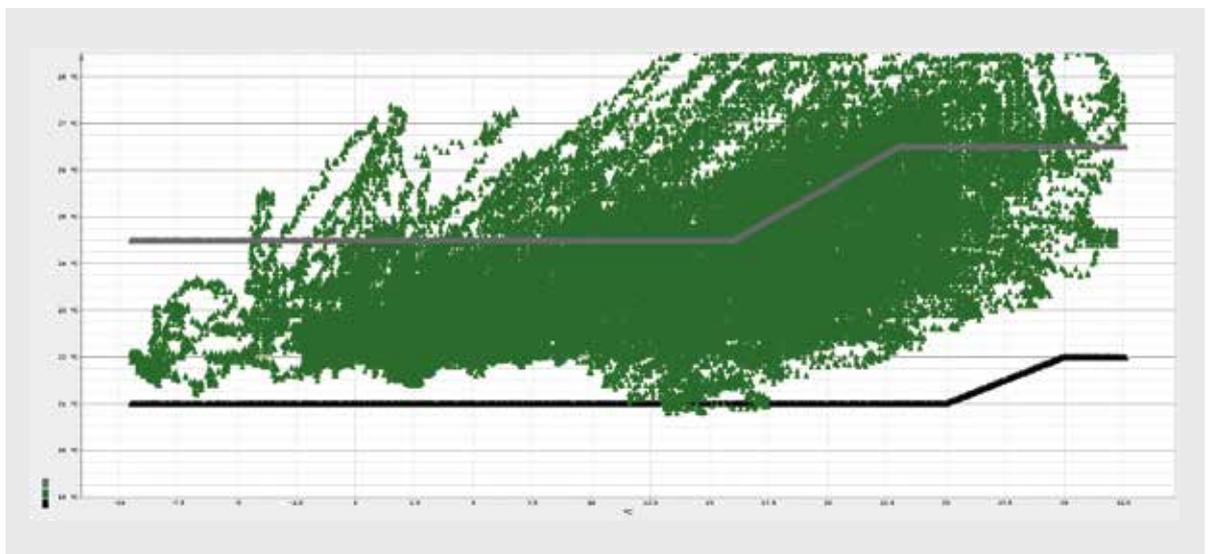
Falls ein Leitsystem vorhanden ist, hilft die zusätzliche Auswertung von Archivtrenddaten, die Erfolge zu dokumentieren. Dazu gehören etwa die Trends von Regelventilen, Temperaturen, Regelsequenzen usw. Es muss vor Beginn der Betriebsoptimierung geprüft werden, ob das Leitsystem die benötigten Daten erfasst und als Archivtrend aufbereitet. Oft ist es sowohl für die Analyse als auch für die Erfolgskontrolle erforderlich, dass bestimmte Gebäudeautomationsdaten als CSV-Datei exportiert werden können. So lassen sie sich sinnvoll auswerten.

Energiekennwerte

Damit Energiedaten verglichen werden können, müssen sie auf ein Standardklima korrigiert werden. Bei der Wärmeenergie gibt es hierfür:

- Die Korrektur mit Heizgradtagen (HGT)
- Die Korrektur mit akkumulierter Temperaturdifferenz (ATD)

Abbildung 4.27:
Raumlufttemperatur im Vergleich zu den Grenzwerten von SIA 180 (Raumlufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur).
(Quelle: Enastra AG)



Die Methode der Heizgradtage wurde 2015 durch die Methode der akkumulierten Temperaturdifferenz ersetzt, weil die Korrektur mit der ATD besser dem effektiven Standard-Wärmebedarf angenähert ist (Abbildung 4.28).

Zum Korrigieren der gemessenen Energiewerte können HGT- und ATD-Werte von MeteoSchweiz bezogen werden. Die akkumulierte Temperaturdifferenz ist gleich der Summe der Differenzen zwischen der Basistemperatur und dem Tagesmittel der Aussentemperatur über die Tage der Be-

rechnungsperiode. Die Umrechnungsmethode ATD wird in SIA 380 Anhang G beschrieben.

Für die Korrektur des Kälteenergiebedarfs können analog Kühlgradtage (KGT) herangezogen werden. Wird gleichzeitig gekühlt und entfeuchtet, ist die Methode aber sehr ungenau, weil KGT nur sensible, aber nicht latente, also vom Entfeuchten herrührende, Kühllasten berücksichtigen. Wie bei der ATD-Methode beim Heizen wäre auch eine «AhD»-Methode fürs Kühlen denkbar. Sie basiert dann auf der akku-

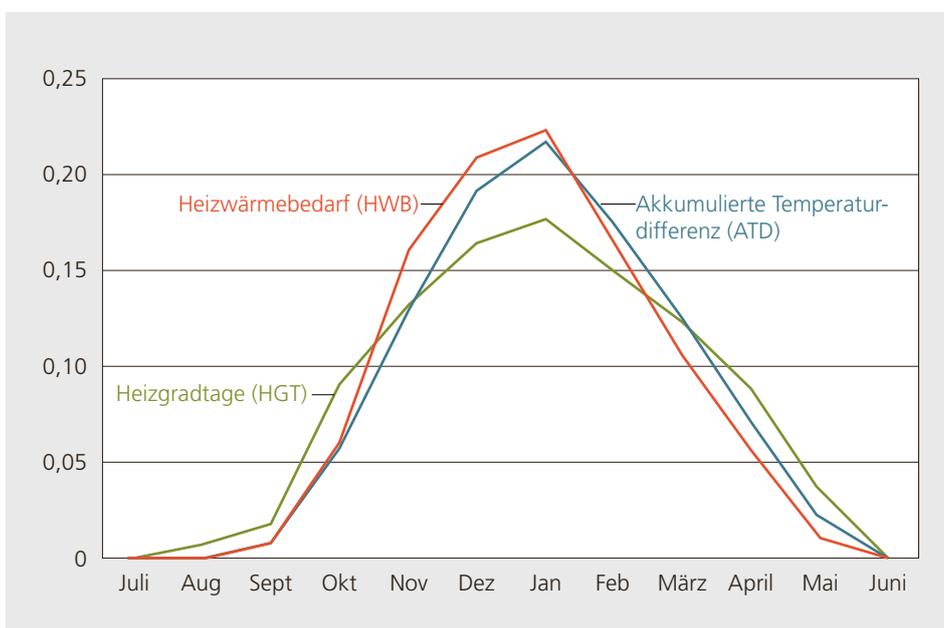


Abbildung 4.28: Vergleich Heizgradtage (HGT) und akkumulierte Temperaturdifferenz (ATD) zum effektiven Heizwärmebedarf (HWB). (Quelle: Gerhard Zweifel, SIA)

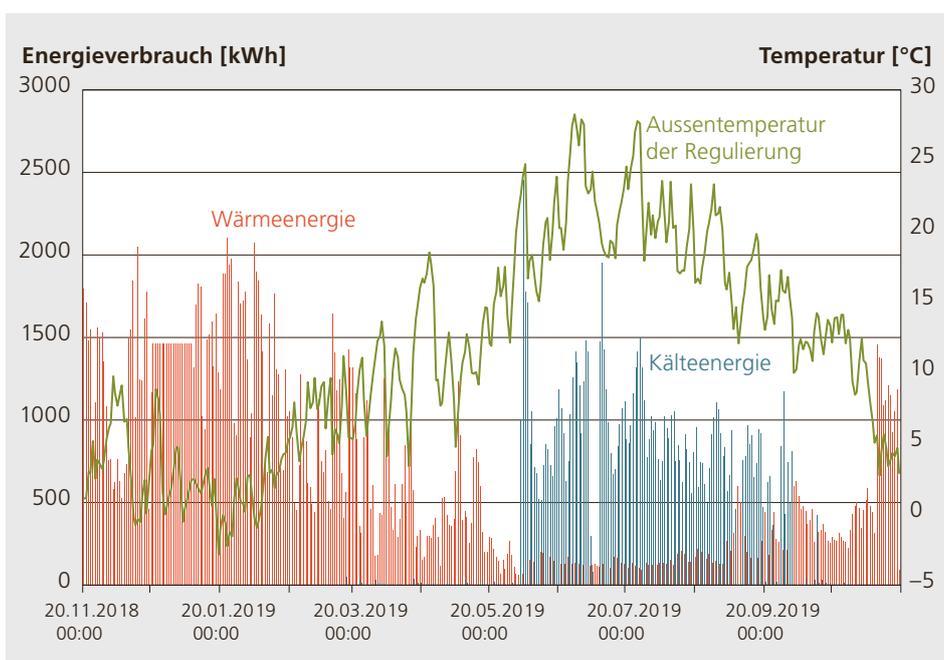


Abbildung 4.29: Übersicht über den jährlichen Wärme- und Kälteenergiebedarf mit Aussentemperaturverlauf. (Quelle: Enastra AG)

mulierten Enthalpiedifferenz (h). Diese wiederum ist gleich der Summe der Differenzen zwischen Basisenthalpie und dem Tagesmittel der Aussenenthalpie über die Tage der Berechnungsperiode.

Wirtschaftlichkeit

Die Energiekosten lassen sich mit bedingter Aussagekraft in einem Energiecontrolling integrieren. Einfach darzustellen sind die laufenden oder aufsummierten Energiekosten. Methoden zur detaillierteren Berechnung der Wirtschaftlichkeit sind in Kapitel 4.9 beschrieben.

Umweltverträglichkeit

Durch Umrechnen des Endenergiebedarfes mit den aktuellen Primärenergiefaktoren und Treibhausgaskoeffizienten für die verwendeten Energieträger lässt sich die Umweltverträglichkeit ausweisen. Solche Faktoren sind beispielsweise im Merkblatt SIA 2040 Anhang B zu finden. Das Erstellen oder Nachführen des NSE-Diagramms (siehe Kapitel 4.5) visualisiert eindrücklich die Auswirkungen einer eBO auf die Umweltbelastung. Einige Tools für das Energiecontrolling bieten die Bewertungen von Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen an.

Erfolgssicherung

Vor allem Änderungen im Nutzerverhalten erfordern die Anpassung von Anlagenparametern. Auch das Umsetzen von weite-

ren Optimierungsmaßnahmen verändert den Betrieb und die gegenseitige Beeinflussung der Anlagen ständig. Um Rückschritte zu vermeiden, ist es wichtig, die erreichten Erfolge einer eBO im Auge zu behalten. Auch hierfür ist das Energiecontrolling das beste Hilfsmittel.

Das Definieren von Alarmwerten und das Einrichten einer Verbrauchsüberwachung für energierelevante Größen ermöglicht es, die Erfolge von Massnahmen zu sichern. Die Erfahrung zeigt, dass der Nutzen einer eBO ohne Erfolgssicherung bereits nach kürzester Zeit verloren geht. Deshalb soll die eBO als dauerhafter Prozess betrachtet werden, der mit der Zeit verstärkt durch die Anlagenbetreiberin selbst geführt werden kann.

Nebst dem Energiecontrolling müssen alle Änderungen an Anlagenparametern im Journal dokumentiert werden. Nur so ist jederzeit nachvollziehbar, was wann durch wen wie verändert wurde und wie die Anlagen vor der Betriebsoptimierung eingestellt waren.

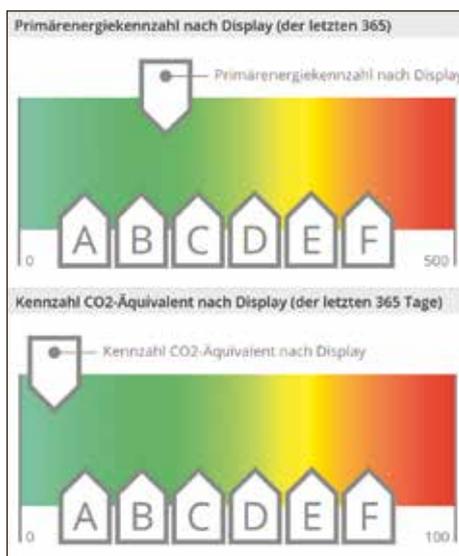


Abbildung 4.30: Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen nach Display über eine gewählte Betrachtungsperiode. (Quelle: Enastra AG)

**Ernst Sandmeier,
Zoran Alimpic**

4.11 Berichterstattung

Nach einer eBO muss zuhanden der Bauherrschaft respektive des Auftraggebers ein Bericht oder eine Massnahmenliste erarbeitet werden. Je nach Vereinbarung müssen die Dokumentationen zu den eBO während zehn Jahren aufbewahrt und den zuständigen Behörden auf Verlangen vorgelegt werden [3]. Nach dem Merkblatt SIA 2048 sollte ein Bericht folgende Kapitel beinhalten:

- Management Summary mit Ausgangslage, Auftragsdefinition, übergeordneter Zielsetzung, Ergebnissen und Empfehlung für das weitere Vorgehen
- Ausgangslage mit einer Einleitung, einer detaillierten Zielsetzung und Grundlagen respektive gesetzlichen Rahmenbedingungen
- Analyse der Istsituation pro Gewerk und gewerkübergreifend. Zudem sollte ein Bericht über Funktionskontrollen und eine Parameterliste mit den wichtigsten Einstellungen im Istzustand vorliegen.
- Erstellen eines Backups (Rollback) des aktuellen Standes der Systeme und Einstellungen
- Massnahmenliste, die technische, organisatorische, personelle und schulische Massnahmen umfasst
- Erfolgskontrolle mit einem Vergleich zwischen Ist- und Sollzustand
- Empfehlung für das weitere Vorgehen

Eine Massnahmenliste sollte gemäss dem Merkblatt SIA 2048 folgende Elemente beinhalten:

- Klare Dokumentation des gewünschten Sollzustands unter Berücksichtigung von Garantien, Lieferantenspezifikationen sowie Gewährleistungsansprüchen oder -bedingungen
- Bezeichnung der kurz-, mittel- und längerfristigen Massnahmen inklusive Bewertung der Priorisierung
- Abschätzung der Auswirkungen (Nutzen, Chancen, Risiken, Kosten) unter Berücksichtigung aktueller und zukünftiger Energiepreise und -tarife
- Zuständigkeit für die Umsetzung inklusive Verantwortlichkeiten im Rahmen des Project Quality Management (PQM) re-

spektive des Total Quality Management (TQM)

- Erwartete oder erzielte Effekte wie Energieeinsparung, Kosteneinsparung, Komfortgewinn, Einhaltung gesetzlicher Vorgaben, Inspektion etc.
- Kosten für die Umsetzung inklusive einer Wirtschaftlichkeitsberechnung (Payback oder Net-Present-Value-Methode)
- Risiken, inklusive einer Auflistung vorbehaltenen Entschlüsse pro Risiko (siehe auch 4.12), damit in einem Störfall der Schaden möglichst klein gehalten werden kann. Unter vorbehaltenen Entschlüssen versteht man vorsorglich geplante Aktionen, die ausgelöst werden können, wenn ein bestimmtes Problem auftritt.

Bestimmte Aspekte müssen zwingend dokumentiert werden. So müssen zum Beispiel die einzelnen eBO-Massnahmen genau bezeichnet und ihr jeweiliger Anteil an der Energieeinsparung benannt sein.

Ebenfalls aufgeführt werden sollen eBO-Massnahmen, die verworfen und vorerst nicht umgesetzt wurden. Zu vermerken sind dabei die Gründe, warum sie verworfen wurden (z. B. zu geringe Einsparung, zu hohe Umsetzungskosten, betriebliche Folgen, fehlendes Fachpersonal etc.).

Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass veränderte Einstellungen (Sollwerte, Zeitprogramme, Ventilstellungen etc.) in die Bauwerksdokumentation übernommen werden. Existiert vom betreffenden Gebäude oder von den Anlagen ein «digitaler Zwilling», so müssen die Massnahmen (ausgeführte oder verworfene) dort zwingend vermerkt werden (siehe Abschnitt «BIM» im Kapitel 5.8 Bauwerksdokumentation).

4.12 Betriebliche Risiken

Zoran Alimpic

Zur Minimierung betrieblicher Risiken ist es wichtig, ein effektives Risikomanagement einzuführen. Dies ist ein systematischer Ansatz, um einen möglichen Handlungsbedarf frühzeitig zu erkennen. Risikomanagement hilft Unternehmen, basierend auf der Analyse von Chancen und Risiken (SWOT-Analyse), die gesteckten Ziele zu erreichen. Demnach ist Risikomanagement die kontinuierliche Beurteilung und Einschätzung von Ereignissen, Handlungen und Entwicklungen, die ein Unternehmen hindern könnten, seine Ziele zu erreichen und die Strategie erfolgreich umzusetzen. Die Früherkennung dieses Handlungsbedarfs ermöglicht, die Risikohandhabung und Chancennutzung optimal zu planen und sowohl effektiv als auch effizient zu realisieren. Der durch das Risikomanagement ausgelöste Wertbeitrag (finanztechnisch: Economic Value Added, EVA) ist nicht zu unterschätzen. Schadenvermeidung ist wesentlich wirtschaftlicher als Schadenbehebung.

Eine wichtige Komponente des Risikomanagements ist die Risikoanalyse. Sie verbessert die Entscheidungsbasis des eBO-Projektentwicklers durch die Identifizierung sowohl der beeinflussbaren als auch der nicht beeinflussbaren Risikoaspekte.

Abbildung 4.31:
Schema für die
Risikoanalyse im
Rahmen des Risiko-
managements einer
eBO.

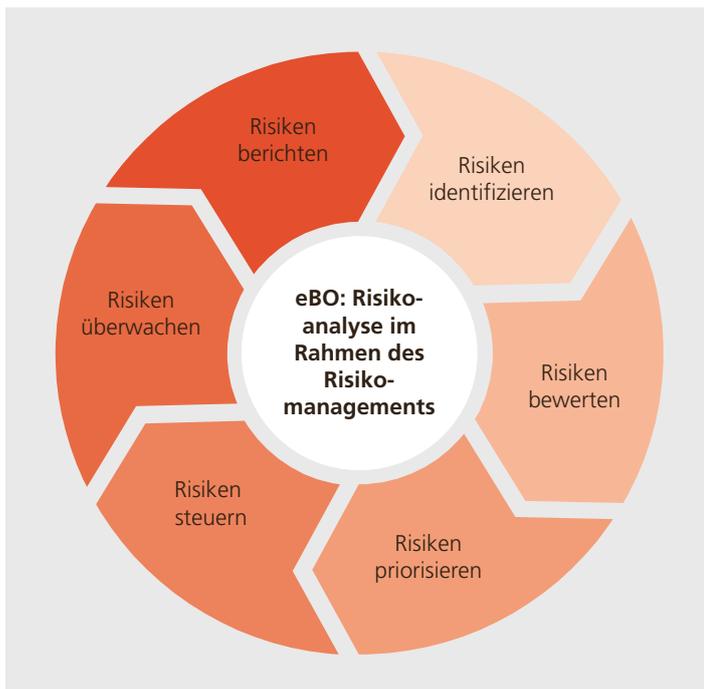


Abbildung 4.31 kann für die Analyse genutzt werden. Bevor die Risiken identifiziert werden können, braucht es Folgendes:

- Eine Zusammenstellung gesetzlicher Vorgaben bezüglich Sicherheit, Hygiene und Komfort
- Die Beurteilung des Nutzerverhaltens und den Vergleich mit den Nutzeranforderungen; systematische Auswertung von Rückmeldungen respektive Reklamationen
- Den Vergleich der Nutzeranforderungen mit der aktuellen Betriebsweise der Anlagen mittels aufgezeichneter Messwerte, Sollwerte, Zeitprogramme respektive Schaltungen (Tag, Nacht, Wochenende, Feiertage, Ferien, allgemeine Abwesenheiten) und manueller Einstellungen (sofern vorhanden)
- Die Identifikation möglicher konzeptioneller und hydraulischer Schwächen technischer Anlagen. Beispiele: Fehlfunktionen, Messfehler, Übertragungsfehler etc.

Im Rahmen der Risikoidentifizierung, -bewertung und -priorisierung ist es wichtig, mögliche Störfälle zu analysieren. Anhand eines Diagramms mit den Parametern «Eintrittswahrscheinlichkeit» und «Schaden, Auswirkung» werden die Risiken bewertet und priorisiert (Abbildung 4.32). Obwohl sich Risikoanalysen in der Praxis bewährt haben, können sie leider keine absolute Sicherheit bieten. Deshalb muss bei jeder eBO-Massnahme eine kurze Risikoabschätzung gemacht werden. Hat man mögliche Gefahren erkannt, ist man auch in der Lage, diese durch personelle, technische und organisatorische Massnahmen zu verringern oder auf ein wirtschaftlich tragbares Restrisiko zu reduzieren. Somit ermöglicht das Risikomanagement die risikobewusste Steuerung der Geschäftsprozesse und sorgt dafür, dass sich das Management über die erkannten Gefahren hinaus aktiv mit der Zukunft des Unternehmens beschäftigt. Dies betrifft immer strategische, finanzielle, technische, infrastrukturelle, rechtliche und wirtschaftliche Aspekte.

4.13 Literatur

- [1] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt SIA 2048:2015, Energetische Betriebsoptimierung, Anhang 1, Zürich, 2015
- [2] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt SIA 2048:2015, Energetische Betriebsoptimierung, Kapitel 3.3, Zürich, 2015
- [3] Konferenz Kantonaler Energiefachstellen: Vollzugshilfe EN-142 «Energetische Betriebsoptimierung», Ausgabe Juni 2017

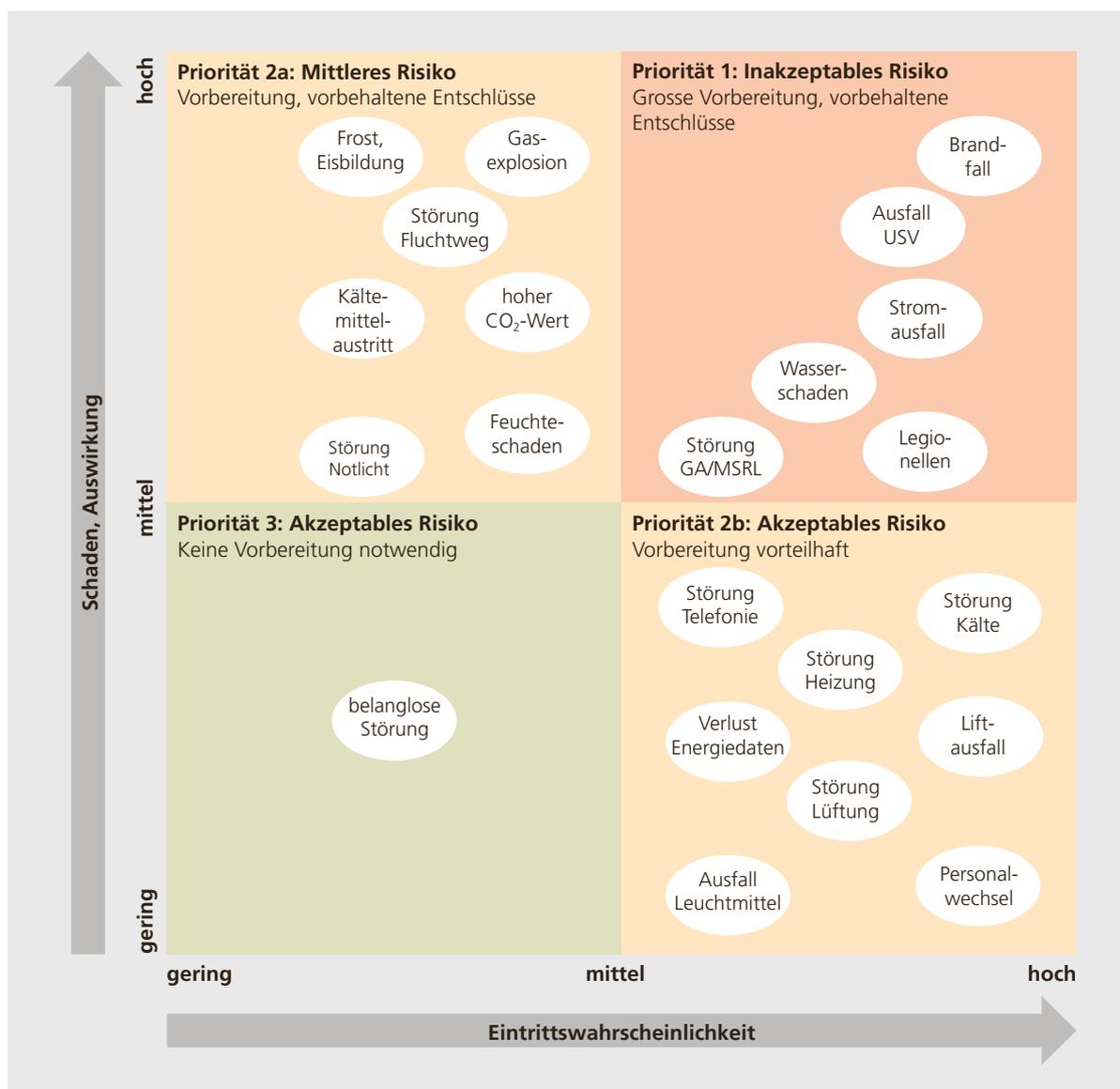


Abbildung 4.32: Diagramm zur Bewertung und Priorisierung von Risiken anhand der Parameter «Eintrittswahrscheinlichkeit» und «Schaden, Auswirkung». (Quelle: Zoran Alimpic, Hochschule Luzern)

Kommunikation

5.1 eBO braucht mehr als technische Kompetenz

Thomas Lang

eBO-Expertinnen verfügen in der Regel über einen technisch-naturwissenschaftlichen Hintergrund und sind versiert in den technischen Aspekten von Betriebsoptimierungen. Darüber hinaus sollen sie aber auch professionell und mit Empathie kommunizieren können. Das schafft ein Fundament für eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit den unterschiedlichen Anspruchsgruppen komplexer eBO-Projekte.

Bei der Kommunikation mit Auftraggeber, Betreiber, Nutzer und Endnutzer ist eine stufengerechte Ansprache ausschlaggebend. Komplexe technische Zusammenhänge müssen so erklärt werden, dass sie vom Gegenüber verstanden werden können. Insbesondere mit Fachbegriffen soll sorgsam umgegangen werden. Und oft braucht es für die direkte Kommunikation keine vollständige Herleitung zur Problemlösung, sondern einen klaren Fokus auf Ergebnis und Wirkung.

So verstehen die wenigsten Finanzchefs eines Auftraggebers, was eine Einsparung von 25 MWh bedeutet. Tiefere Kosten von

2500 Franken hingegen können sie einordnen und beurteilen.

Energetische Betriebsoptimierungen müssen mit einem hohen Mass an Einfühlungsvermögen (Empathie) begleitet und kommuniziert werden. Sie haben nämlich immer auch mit Menschen zu tun, mit ihren Einstellungen, ihrem Verhalten und wie sie dieses ändern (müssen). Das gilt in der Zusammenarbeit mit den Fachleuten des Betreibers (technischer Leiter, Hauswart) ebenso wie für die Motivation der Endnutzerinnen und Nutzer. Wenn Verhaltensänderungen nötig sind und kein Druck (durchsetzbare Anweisungen von Vorgesetzten, Sanktionen etc.) ausgeübt werden kann, ist Empathie bei der Umsetzung von eBO-Massnahmen ein zentraler Erfolgsfaktor.

Kommunikation mit dem Eigentümer

Es mag Eigentümer geben, die aus intrinsischen Motiven, also aus tiefer innerer Überzeugung, ein eBO-Projekt in Auftrag geben. Doch die meisten Eigentümerschaften dürften handfeste wirtschaftliche Interessen haben:

- Kosten sparen, höhere Rendite erzielen, kurzes Payback

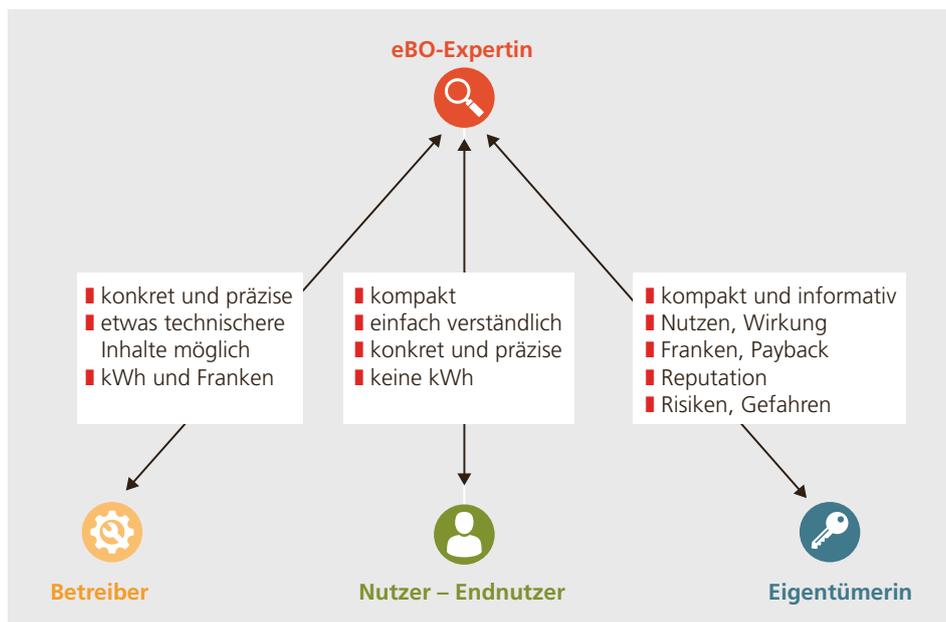


Abbildung 5.1: Kommunikation der eBO-Expertin mit den Anspruchsgruppen.

- Reputation stärken
- gesetzliche Auflagen erfüllen

Diesem Umstand muss die Kommunikation Rechnung tragen (siehe auch Kapitel 5.5 Argumentation). Hier gilt:

- Kosteneinsparungen und Payback-Dauer sind wichtig
- Nutzen und Wirkung im Vordergrund
- kurze Management Summaries helfen mehr als lange technische Abhandlungen

Kommunikation mit dem Betreiber

Der Betreiber (Hauswart, technische Leiterin) steht der eBO-Expertin fachlich am nächsten. Oft handelt es sich um Personen, die ebenfalls einen technisch-handwerklichen Hintergrund haben. Sie verstehen bis zu einem gewissen Grad auch Fachausdrücke. Bei der Kommunikation und Zusammenarbeit mit dem Betreiber gilt daher:

- fragen statt wissen
- zuhören statt überreden
- verstehen statt erklären
- offen kommunizieren

Je nach «Betreiber-Typ» (siehe Tabelle 5.1) variieren die Ausprägungen dieser Leitlinien.

Umgang mit hochmotivierten Betreibern

Hochmotivierte Betreiber sind im Idealfall Multiplikatoren für erfolgreiches Handeln und damit zentrale Kontaktpersonen für eBO-Experten. Gleichzeitig sind die Grenzen zwischen hoch- und übermotivierten Betreibern können über das Ziel hinauschiessen – zum Beispiel die Senkung der Raumtemperatur im Büro auf 19°C, «weil man bei kühlen Temperaturen besser arbeiten kann». Solche Vorschläge sollten nicht brüsk zurückgewiesen, sondern ernsthaft entgegengenommen, geprüft und in adäquater Form wieder ins Projekt eingebracht werden.

Kommunikation mit den Endnutzerinnen und Nutzern

Endnutzer sind kommunikativ die grösste Herausforderung, denn eBO-Expertinnen kommunizieren meist nicht direkt mit ihnen. Diese Aufgabe übernimmt vielmehr der Betreiber. Er muss bei der Kommunikation mit den Endnutzerinnen gezielt unter-

Table 5.1:
Betreiber-Typen.

Typ	Beschreibung	Bei der Kommunikation zu beachten
Der Vorreiter	Bringt umfassendes Wissen zur Anlage und viel technisches eBO-Wissen mit. Vorreiter könnten das Gebäude weitgehend selbst optimieren – doch es fehlen ihnen die Zeit und die personellen Ressourcen.	Die eBO-Expertin kann mit dem «Vorreiter» von «Expertin zu Experte» kommunizieren. Eine direkte Einbindung ins eBO-Projekt und ein intensiver Informations- und Gedankenaustausch sind notwendig.
Der Aktive	Er kennt die Anlage und weiss, wo die grössten «Energie-Lecks» liegen. Ihm fehlt jedoch das Wissen (und oft die Zeit), um Optimierungsmassnahmen umsetzen zu können.	Die eBO-Expertin und der «Aktive» ergänzen sich optimal. Gegenseitige Wertschätzung verbessert das Ergebnis. Klar kommunizieren, dass ein gewisser Know-how-Transfer möglich ist und wo die Grenzen liegen (eBO-Projekt ist kein Schulungsauftrag).
Der Zustimmungmer	Ist sehr positiv eingestellt und mit allem einverstanden.	Im (intensiven) Dialog den Hintergrund klären. Ist er introvertiert oder überfordert? Gibt es Ängste, inhaltliche oder sprachliche Barrieren? Dies kann geprüft werden, indem er wichtige Aussagen der eBO-Expertin in seine eigenen Worte fasst. Auf eine einfach verständliche Kommunikation achten.
Der Stille	Wartet zu Beginn ab und bringt sich kaum ins Projekt ein. Hinter den Stillen können sich alle Typen verbergen.	
Der Inaktive	Interessiert sich nicht für eBO, das Projekt ist ihm «aufs Auge gedrückt» worden.	Klar kommunizieren, dass das Projekt gemeinsam umgesetzt wird und die eBO-Expertin den Betreiber nur bei den Arbeiten bezieht, bei denen eine Mitwirkung unerlässlich ist. Für solche Fälle eine seriöse Mitwirkung einfordern.
Der Miesepeter	Hat eine negative Grundeinstellung, torpediert im Extremfall die Umsetzung.	Das Gespräch suchen. In den meisten Fällen wird die Unterstützung des Auftraggebers (Vorgesetzter) benötigt.

stützt werden, indem er dafür einfache, klare und präzise Botschaften bekommt. Endnutzerinnen und Nutzer bringen zudem einen ganz unterschiedlichen Hintergrund mit. Die Mehrheit der Endnutzer verfügt über wenig technisches Wissen und braucht einfach verständliche Informationen und Instruktionen. Allerdings sind längst nicht alle Endnutzer blutige Laien. Es kann unter ihnen Personen geben, die mehr vom Thema eBO verstehen als die eBO-Expertin selbst. Dies sollte man bei der Kommunikation immer im Hinterkopf behalten. Weitere Details zur Kommunikation mit den Nutzern finden Sie im Kapitel 5.5.

5.2 Motivation

Motivation untersucht, was Menschen antreibt. Durch Motivieren sollen alle in einem eBO-Projekt Involvierten auf das Ziel fokussiert werden, den Energieverbrauch zu senken. Damit man Menschen für ein eBO-Projekt motivieren kann, muss das Umfeld stimmen: Erforderlich sind Wertschätzung, angenehmer Umgang, Sicherheit und eine offene Informationspolitik. Wenn diese Faktoren stimmen, erhöhen sich die Chancen für erfolgreiche Motivation.

Dabei darf nicht vergessen werden, dass nicht alle Anspruchsgruppen (Eigentümerge, Betreiber und Nutzende) sich in gleicher Weise motivieren lassen (siehe Tabelle 5.2). In der Kommunikation mit der Zielgruppe stehen deren Ziele im Vordergrund. Gleichzeitig muss man sich der Hemmnisse bewusst sein und entsprechende Argumente bereithalten.

Letztlich gilt auch hier das Prinzip der Belohnung. Um motiviert zu sein und zu bleiben, braucht es einen Anreiz in Form einer materiellen oder immateriellen Belohnung, die vom «blossen» Dank über einen Blumenstrauß bis zum finanziellen Bonus reichen kann.

Kommunikation von Projekten der öffentlichen Hand

Ein erfolgreiches Optimierungsprojekt spart beachtliche Mengen an Energie, CO₂, Wasser und Geld. Davon profitiert bei Projekten der öffentlichen Hand nicht

	Motivation – Ziele, auf die fokussiert wird	Hemmnisse
Eigentümer	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten sparen • Investitionen vermeiden oder aufschieben • Lebensdauer der Anlagen verlängern • Image verbessern • Treibhausgase reduzieren, Umwelt schonen • Gesetzesvorgaben einhalten (Grossverbraucher) 	<ul style="list-style-type: none"> • Interner Aufwand respektive Zeit • Externe Kosten (eBO-Expertin) • Zu viele gesetzliche Vorschriften • Unklar, was eBO ist und was sie bedeutet • Angst vor möglichen Folgekosten
Betreiber	<ul style="list-style-type: none"> • Tiefere Kosten für Instandhaltung und Betrieb • Ein gutes, sparsames Gebäude betreuen • Image verbessern (Verwaltungen, FM-Unternehmen) • Treibhausgase reduzieren, Umwelt schonen 	<ul style="list-style-type: none"> • Angst vor Mehraufwand • Belohnung fehlt (keine unmittelbare Bestätigung)
Nutzer, Endnutzer	<ul style="list-style-type: none"> • Besserer Komfort • Tiefere Nebenkosten • Treibhausgase reduzieren, Umwelt schonen 	<ul style="list-style-type: none"> • Angst vor Komforteinbussen

Tabelle 5.2: Motivation und Hemmnisse.

zuletzt auch die Allgemeinheit. Das eBO-Projekt bietet der Eigentümerin damit eine ausgezeichnete Gelegenheit für gezielte Öffentlichkeitsarbeit. Von der Berichterstattung in lokalen und regionalen Medien über Anlagenbesichtigungen bis hin zu ausgesuchten Online- und Social-Media-

Massnahmen: Die eBO-Expertin unterstützt ihre Auftraggeberin bei technischen Fragen rund um das Projekt. Damit können bei der Bevölkerung und auf der politischen Ebene Pluspunkte gesammelt und eine ausgezeichnete Ausgangslage für weitere Projekte geschaffen werden.

Wie sich Verhalten ändert

Jedes eBO-Projekt bedingt, dass Eigentümerin, Betreiber, Nutzerin und Endnutzer in irgendeiner Art und Weise ihr Verhalten ändern – sei es bei der täglichen Arbeit oder im Umgang mit den Systemen.

Beispiel: Wassermenge, Wassertemperatur und Dushdauer beeinflussen den Energieverbrauch beim Duschen. Es ist jedoch nicht möglich, in einer Mietwohnung die Dushdauer ohne Weiteres einzuschränken oder allen Mietern eine Sparbrause der Klasse A aufzuzwingen. Soll der Energieverbrauch beim Duschen reduziert werden, muss die Zielgruppe zu einem neuen Verhalten – kürzere Dushdauer oder geringere Wassermenge bei der Duschausage – bewogen werden.

Erfolgreiche Verhaltensänderung basiert auf einem schrittweisen Vorgehen (aufbauend auf dem trans-theoretischen Modell von DiClemente und Prochaska, siehe Grafik).

1. Bewusstwerden

Hat die Person das Problem als solches erkannt? (Sensibilisierung Stufe 1)

2. Vorbereitung

Ist die Person einverstanden, dass sich etwas ändern muss? (Sensibilisierung Stufe 2)

3. Selbsterkenntnis

Erkennt die Person den eigenen Handlungsbedarf? (Sensibilisierung Stufe 3)

4. Handlung

Was braucht die Person, damit sie handelt? (Handeln vereinfachen)

5. Aufrechterhaltung

Was braucht die Person, damit sie ihre Handlung wiederholt? (Bestätigung, Belohnung)

In den wenigsten eBO-Projekten kann dieser Verhaltensänderungsprozess vollständig durchlaufen werden. Dafür fehlen meist finanzielle Mittel und Zeit. Das dahinterstehende Konzept hilft der eBO-Expertin jedoch, alle Aktivitäten einzuordnen und in Bezug auf ihre Wirkung zu optimieren:

■ Reine Sensibilisierungsmassnahmen der Stufe 1, also Verteilen von Informationsblättern, Versenden von Info-Mails, Info-Veranstaltungen etc. lösen in der Regel noch keine direkte Handlung aus.

■ Auch wenn eine Person über optimale Bedingungen für das gewünschte Verhalten verfügt, handelt sie nicht, solange sie mit dem Ziel nicht einverstanden ist oder bei sich selbst keinen Handlungsbedarf sieht.

Druck führt nicht immer zum Ziel

Einfacher ist es, wenn der Eigentümer als Auftraggeber des eBO-Projektes den Endnutzerinnen und Nutzern Vorgaben machen kann – zum Beispiel die Unternehmenschefin in einem selbst genutzten Gebäude. Hier können mit einem gewissen «Zwang» – das heisst mit Anweisungen oder technischen Lösungen – die Stufen «Vorbereitung» und «Selbsterkenntnis» durchgesetzt werden.

In unserem Beispiel können etwa für die «Sportduschen» zahlungspflichtige Duschautomaten nachgerüstet werden – im Bewusstsein, dass dies bei den Nutzenden auf Kritik stossen wird.

Allerdings muss man sich bewusst sein, dass Zwang eine Kontrolle verlangt. Finden sich Schlupflöcher, werden die Anweisungen oft nicht befolgt. Langfristig gesehen ist es daher besser, wenn die Nutzenden mit dem Änderungsbegehren einverstanden sind und den eigenen Handlungsbedarf anerkennen – und so von sich aus handeln.

5.3 Umgang mit Widerständen und Konflikten

Oft stehen selbst versierte technische Fachleute den Widerständen in eBO-Projekten hilflos gegenüber. Was spricht gegen mehr Energieeffizienz und tiefere Energiekosten? Warum gibt es Personen, die sich dagegen wehren?

Widerstände sind bei einem eBO-Projekt nichts Aussergewöhnliches. Sie sind für die eBO-Expertin zwar mühsam, haben aber auch einige positive Seiten. In jedem Fall hilft es, sich in das Gegenüber zu versetzen. Ein eBO-Projekt bringt für die Betroffenen oft eine Veränderung mit sich. Für den technischen Dienst, weil gewisse Arbeiten anders oder intensiver ausgeführt werden müssen. Für die Nutzer und Endnutzer, weil ein anderes Verhalten gefordert oder der Komfort verändert wird. Dies greift in die individuelle Freiheit ein. Sie wird erweitert oder beschnitten – und das kann Ängste auslösen oder zu Unsicherheiten führen.

Widerstände analysieren

Widerstände äussern sich in zwei Formen: als offener oder als verdeckter Widerstand.

■ **Offener Widerstand:** Die Person äussert die Kritik direkt und kann identifiziert werden. Es liegt eine rationale Ursache zugrunde und die Kritikform ist meist konstruktiv.

Beispiel: Nachdem das Fenster im WC nicht mehr schräg gestellt werden darf, ist die Luftqualität schlecht – es stinkt. In diesem Fall ist es angebracht, den offenen Widerstand aufzunehmen und die Person aktiv einzubinden. So kann gemeinsam eine gute Lösung gesucht werden.

■ **Verdeckter Widerstand:** Dieser wird oft nicht auf den ersten Blick erkannt und ist in der Regel destruktiv. Viele Personen sind sich auch gar nicht bewusst, dass sie Widerstand leisten. Beim verdeckten Widerstand werden sogenannte «flüchtige Blockaden» aufgebaut. Das sind Ausreden, mit denen der Kritiker bewusst oder unbewusst seinen Widerstand gegen das eBO-Projekt verhüllt.

Beispiel: Ein Mitarbeiter bleibt einer Informationsveranstaltung zum richtigen Verhalten im Sommer fern. Danach lästert er in der Pause, dass es in den Büros zu heiss sei. Wenn er darauf angesprochen wird, entschuldigt er sich, der Anlass sei aus Versehen nicht in die Agenda eingetragen worden.

Der richtige Umgang mit einem solchen verdeckten Widerstand ist komplex. Zum einen hilft eine offene, klare und transparente Informationspolitik. Zum anderen kann man sich mit Befragungen und Feedback-Runden ein sachliches Bild der Situation verschaffen.

Hintergrund verstehen

Hinter den Widerständen stehen zwei unterschiedliche Ursachen:

■ **Sachliche Gründe** sind meist nachvollziehbar und nachprüfbar. Die Argumente basieren auf objektiven Fakten und logischen Aspekten. Dazu gehören wirtschaftliche, technische und rechtliche Gründe.

Beispiel: Soll die Raumtemperatur in einem Büro auf 18°C gesenkt werden, liegt diese gemäss der Verordnung zum Arbeitsgesetz ausserhalb des Komfortbereichs. Der Widerstand gegen diese Massnahme ist somit sachlich begründet.

■ **Emotionale Gründe** haben meistens eine tiefere Ursache, die in der persönlichen Situation der Person liegt. Dazu gehört eine Vielzahl von Ängsten: Angst vor mehr Kontrolle, vor weniger Komfort, vor Mehraufwand, vor neuen Prozessen und Abläufen etc. Aber auch Eigeninteressen, ungerecht empfundene Kritik an der bis-

Abbildung 5.2: Widerstände zeigen sich offen oder verdeckt und müssen unterschiedlich angegangen werden.



herigen Arbeit oder eine gefühlte Bevormundung (Reaktanz als Widerstand gegen Einschränkungen) führen häufig zu emotionalen Widerständen.

Als eBO-Expertin mit einem technischen Werdegang neigt man dazu, jedes Argument als Sachargument zu verstehen und sachlich entkräften zu wollen. Doch auch die besten logischen Argumente vermögen gegen emotionale Widerstände oft nicht anzukommen. Man kann dies mit der Höhenangst vergleichen. Wer zum Beispiel auf dem Eiffelturm steht und an Höhenangst leidet, kann nicht durch das Argument «Der Turm steht seit 1889 und statistisch tendiert die Chance gegen Null, dass er gerade jetzt umstürzt» von der Höhenangst «geheilt» werden. Sinnvoller ist es, einfühlsam, geduldig und aufmerksam auf die Person einzugehen und eine Lösung zu finden, wie man gemeinsam am besten «auf den Boden kommt».

Tipps zum Umgang mit Widerständen

- offen kommunizieren
- zuhören statt argumentieren
- nachfragen statt vorgeben
- verstehen statt erklären
- Konflikte offenlegen
- Interesse zeigen – an der Person und am Kritikpunkt
- Ursachen ergründen
- die Wahrheit aussprechen (keine Verharmlosungen oder Dramatisierungen)

Nutzen externer eBO-Fachpersonen

Der Beizug eines externen eBO-Experten kann von der technischen Crew des Betrei-

bers als Bedrohung oder Misstrauensvotum der Geschäftsleitung wahrgenommen werden. Damit dieser, für das eBO-Projekt bedrohliche Konfliktherd gar nicht erst entsteht, sollte dieser Punkt aktiv aufs Tapet gebracht und geklärt werden. Dabei soll der eBO-Experte gemeinsam mit dem Auftraggeber den Beteiligten erklären,

- dass selbst in perfekt betreuten Gebäuden und Anlagen rentable Sparpotenziale schlummern,
- dass nur selten benötigtes Spezialwissen besser extern bezogen wird und
- dass nicht zuletzt auch die zeitliche Belastung der internen Crew durch einen externen eBO-Experten in einem vernünftigen Rahmen gehalten werden kann.

Widerstände von Endnutzerinnen und Nutzern

Widerstände in einem eBO-Projekt entstehen dort, wo die Endnutzerinnen und Nutzer direkt betroffen sind. Das Ausschalten einer Lüftungsanlage ausserhalb der betrieblichen Arbeitszeit wird kaum wahrgenommen. Wird hingegen die Raumtemperatur im Büro tagsüber von 22 °C auf 20 °C gesenkt, spüren das die Mitarbeitenden ganz direkt.

Wird als erste Optimierungsmassnahme die Raumtemperatur gesenkt, ist das Risiko also hoch, dass sich interner Widerstand gegen die eBO formiert. Daher lohnt es sich, bei der Priorisierung der Massnahmen (siehe Kapitel 4, Tabelle 4.2) deren Auswirkung auf den Komfort der Endnutzerinnen ebenfalls zu analysieren.

Muss die Raumtemperatur gesenkt werden, ist es eine Überlegung wert, dies erst



Abbildung 5.3:
Warum sich Kompetenzen der internen Fachleute mit denen der externen eBO-Expertin optimal ergänzen.

in der zweiten Phase umzusetzen. Dann verzichtet man zwar in der ersten Phase auf einen Teil der Effizienzgewinne. Dafür stehen aber die Chancen gut, dass diese Massnahme in der zweiten Phase besser angenommen wird, weil sich das eBO-Projekt intern bereits etabliert hat. Alternativ bietet es sich an, die Temperatur zuerst nur um 1 °C auf 21 °C zu senken.

Ob solche Fragen mit den Mitarbeitenden diskutiert werden sollen, ist unter Experten umstritten. Einig ist man sich, dass «spürbare» Veränderungen langsam und schrittweise angegangen werden sollen.

Positive Seiten des Widerstands

Widerstände gegen ein eBO-Projekt binden so oder so Ressourcen. Umso wichtiger ist es, die Chancen von Widerständen gezielt zu nutzen, denn sie sind oft ein wertvoller Indikator für mögliche Verbesserungen. Widerstände können:

- auf ein unbekanntes Problem hinweisen,
- einen blinden Fleck bei den Nutzern, Endnutzern oder beim Betriebspersonal aufdecken,
- ein Indiz sein, dass das Tempo im eBO-Projekt zu schnell angegangen wurde,
- neue Ideen für eBO-Massnahmen oder deren Umsetzung liefern.

So können positiv bewältigte Widerstände letztlich zu einer besseren Lösung führen.

Bewältigung von Widerständen

Die verschiedenen Widerstände sollten einzeln erfasst und klassifiziert werden.

- Form: offener, verdeckter Widerstand
- Ursache: sachlich, emotional
- Bewältigung: kann/muss gelöst oder soll ignoriert werden

Die schriftliche Dokumentation von Widerständen ermöglicht es, mit dem Auftraggeber die Situation zu analysieren sowie eine Bewältigungsstrategie zu planen und umzusetzen.

Die Grenzen erkennen

Zeigt sich im Lauf des Projektes, dass sich die Widerstände häufen und das eBO-Projekt als Blitzableiter für andere interne Pro-

bleme dient, muss die eBO-Expertin die Situation mit der Auftraggeberin besprechen. Es ist natürlich nicht die Aufgabe der eBO-Expertin, die angestauten Mängel der (Unternehmens-)Kultur zu beheben. Im schlimmsten Fall muss das Projekt sistiert werden, bis die internen Probleme gelöst sind.

Umlagerung der eBO-Kosten auf die Nebenkosten der Mieter

Ein direkter Nutzen der eBO sind geringere Energie- und Wasserkosten. Die Mieterinnen und Mieter profitieren so unmittelbar von tieferen Nebenkosten. Gehören Eigentümer und Nutzer (Mieter) juristisch nicht zur selben Organisation, stellt sich die Frage, wer die Kosten für die eBO übernimmt.

■ **Sicht der Mieter:** Die eBO-Arbeiten sind Unterhaltsarbeiten. Sie gehen zu Lasten des Eigentümers, sind nicht nebenkostenfähig und können darum nicht auf die Mieter überwältzt werden.

■ **Sicht der Vermieter:** Umsetzung von eBO-Massnahmen senkt die Nebenkosten und kommt direkt den Mietern zugute. Daher können im Sinne einer Wartung zumindest die Kosten für die Umsetzung auf die Mieter umgelagert werden. Allenfalls können einige eBO-Massnahmen «kostenneutral» im Rahmen der ordentlichen Servicearbeiten umgesetzt werden (gewisse Service-Abos beinhalten die Umsetzung von Energieeffizienz-Massnahmen).

Wie in Kapitel 1.8 ausgeführt, ist die Rechtslage (Stand Oktober 2019) unklar. Darum lohnt es sich, vor Beginn der Arbeiten die Situation mit dem Auftraggeber (Eigentümer) zu klären. Falls dieser die Kosten für das eBO-Projekt nicht selbst tragen will, ist er gut beraten, die Kostenverteilung vorgängig mit den Mietern zu klären.

Matthias Balmer

5.4 Akquisition

Bevor mit der Akquisition begonnen wird, sollte sich der eBO-Experte im Klaren sein, dass der Aufwand für ein solches Projekt in einem wirtschaftlichen Verhältnis zur möglichen Reduktion der Energiekosten stehen sollte. Je höher die Energiekosten und der Technisierungsgrad des Objektes, desto mehr Potenzial ist vorhanden. Je nach Auslöser für eine eBO sind auch die Akquisitionsargumente unterschiedlich. Hier einige Überlegungen dazu:

■ eBO nach der Inbetriebsetzung ist in Neubauten mit eher komplexer Technik oder bei grösseren Sanierungen ein Thema. Bei solchen Objekten besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass ein Performance Gap, also eine Diskrepanz zwischen Planungs- und Betriebswerten, durch nicht bemerkte Fehlfunktionen oder Mängel entsteht. Werden solche Mängel bei der eBO entdeckt, müssen sie umgehend vom Anlagenlieferanten behoben werden. Erst danach kann die eBO weitergeführt werden. Ein weiterer Grund für den Performance Gap kann sein, dass die tatsächliche Nutzung von der ursprünglich

angenommenen abweicht. Dann müssen im Rahmen einer eBO die Sollwerte und Zeitprogramme der aktuellen Nutzung angeglichen werden.

■ eBO als Projekt ist in Bestandsbauten mit höherem Energieverbrauch oder komplexer Technik interessant.

■ eBO als Teil des Betriebsprozesses kann in professionell betriebenen Anlagen Bestandteil des Facility-Management-Vertrags sein. Dann verlangen die Erfolgskontrolle respektive das Energiecontrolling besondere Aufmerksamkeit.

■ eBO in einem grossen Portfolio: Hier müssen die Objekte zuerst mittels Kennzahlen in verschiedene Untergruppen aufgeteilt werden. Das könnten etwa sein: Objekte mit hohem spezifischem und hohem absolutem Verbrauch, Objekte mit grossem Mehrverbrauch gegenüber Vorjahren, Objekte, die gerade saniert, umgebaut oder umgenutzt wurden, Objekte, bei denen die Gebäudeautomation oder ein Verteilrespektive Abgabesystem ersetzt oder die Gebäudehülle saniert wurde.

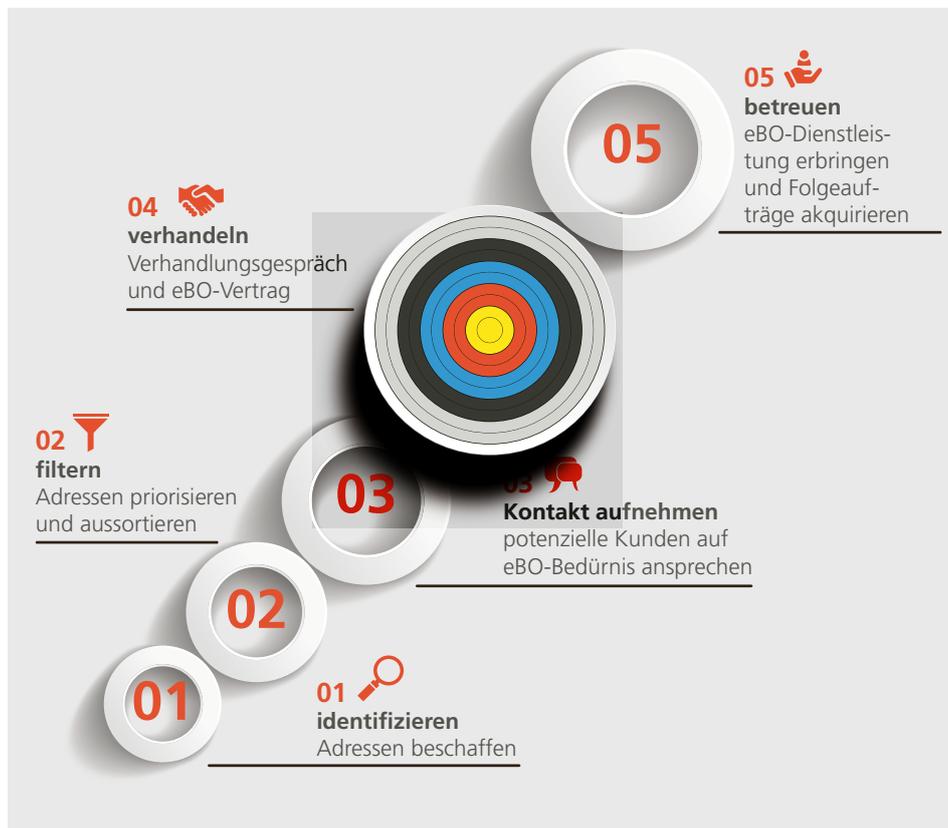


Abbildung 5.4:
5-Schritte-Modell
der Akquisition.

Prädestiniert für die Gewinnung von Kunden für eine eBO ist die sogenannte B2B-Warmakquise. Zur Begriffsklärung: B2B (Business to Business) richtet sich an Firmen, während B2C (Business-to-Consumer) Privatpersonen anspricht. B2C-Kunden verwalten in der Regel Energiekosten unter 50 000 Fr. pro Jahr und kommen für eine eBO kaum in Frage.

Was ist der Unterschied zwischen einer Warm- und einer Kaltakquise? Bei einer Kaltakquise werden Kunden angesprochen, die man bisher weder gesehen noch kennen gelernt hat. Da die eBO eine längerfristige Beziehung mit einer soliden Vertrauensbasis bedingt, ist warmes akquirieren empfehlenswert. Konkret heisst das: Es wird über bereits bestehende Kontakte akquiriert. Um Neukunden zu gewinnen lohnt es sich, vor dem Akquirieren eine Beziehung zu ihnen aufzubauen. Eine nachhaltige Akquise läuft typischerweise in fünf Schritten ab:

1. Adressen identifizieren
2. Kontakte filtern
3. Kontakt aufnehmen
4. Verhandeln
5. Kunde betreuen und Folgeaufträge akquirieren

Adressen identifizieren

Die Energiestrategie 2050 des Bundes sieht vor, von der Förderung stufenweise zur Lenkung energetischer Massnahmen überzugehen. Das heisst: Firmen mit hohen Energieverbräuchen werden vermehrt zu Optimierungsmassnahmen verpflichtet. Diese Firmen werden höchstwahrscheinlich über das eigene Beziehungsnetz an eBO-Experten gelangen. Fehlt eine Beziehung zu den entsprechenden Fachleuten, wird oft über das Internet gesucht, zuweilen auch an einschlägigen Veranstaltungen der Energie- oder Gebäudetechnikbranche.

Ein professioneller, Vertrauen erweckender Onlineauftritt ist für die Akquisition von Neukunden ein Muss. Die potenzielle Kundschaft bewegt sich ja in professioneller Umgebung und erwartet ein professionelles Auftreten.

In der Gebäudetechnikbranche ist das Networking ein effizientes Mittel, um sich Kundenkontakte zu beschaffen. Einerseits besuchen Bauherrenvertreter, die auf der Suche nach Experten sind, entsprechende Veranstaltungen. Andererseits nehmen an solchen Veranstaltungen auch Vertreter möglicher Multiplikatoren teil. Dazu gehören unter anderem:

- Der Verein Energo (Kompetenzzentrum für Energieeffizienz in Gebäuden)
- Kantonale Energiefachstellen oder Energieberatungsstellen
- Eidgenössische Energiefachstellen
- Architekten

Über die Multiplikatoren können direkte Kontakte zu potenziellen Kunden geknüpft werden. Der Prozess über Veranstaltungen kann einige Monate dauern, ist dafür flächendeckend und persönlicher, somit effizienter, als über Onlinekontakte.

Kontakte filtern

Ein wichtiger Aspekt ist, ob sich die potentielle Kundschaft generell für eBO interessiert oder gar schon eine plant. Die Zeit zwischen dem Bedürfnis nach einer eBO und dem Start eines Projekts kann erfahrungsgemäss Monate dauern. Es wird in der Akquise immer wieder Kontakte geben, die sich zwar für das Thema interessieren, aber nicht beabsichtigen, eine eBO auch tatsächlich durchzuführen. Es gibt auch solche, die sich informieren wollen, um später in Eigeninitiative eine eBO zu versuchen. Sie gilt es sicher auszusortieren.

Das Aussortieren ist mit einer Priorisierung verbunden. Die gewonnen Kontakte können beispielsweise nach den Prioritätsklassen 1 bis 3 (sehr hohe Priorität bis tiefe Priorität) sortiert werden.

Kontakt aufnehmen

Der Erstkontakt muss stufengerecht sein. Wird das Gespräch mit einem Entscheidungsträger geführt, soll ein/-e Vertreter/-in der eigenen Geschäftsführung, allenfalls begleitet vom eBO-Experten, am Besprechungstermin erscheinen. Läuft die erste Kontaktaufnahme über den Anla-



genbetreiber, kann sie auch durch den eBO-Experten alleine wahrgenommen werden.

Für die erste Kontaktaufnahme eignet sich ein persönliches Treffen bei der potenziellen Kundschaft, allenfalls kombiniert mit einer Anlagenbegehung. Ziel ist eine konkrete Bedürfnisabklärung. Dabei hilft es, gezielt auf die Probleme des Gegenübers einzugehen, statt ständig die eigenen Dienstleistungen anzupreisen.

Die Kundschaft hat zu Beginn oft noch keine konkrete Vorstellung von der Umsetzung einer eBO. Deshalb dient das erste Gespräch dazu, sie in ihrer Entscheidungsfindung mit dem eigenen Fachwissen zu unterstützen und ihre Bedürfnisse zu klären. Dieser Prozess braucht Geduld, bietet aber eine Chance, die Empathie für das Gegenüber zu stärken und bildet das Fundament für eine künftig erfolgreiche Zusammenarbeit. Ein Angebot wird erst dann ausgearbeitet, wenn die Kundschaft ihre Bedürfnisse exakt formulieren kann. Das Angebot soll massgeschneidert darauf ausgerichtet sein. Es sei hier dringend davon abgeraten, bereits nach dem ersten Kontakt ein konkretes Angebot auszuarbeiten.



Verhandeln

Sind die Schritte 2 und 3 erfolgreich verlaufen, geht es darum, an einem Akquisitionsgespräch die Bedingungen eines eBO-Vertrags zu verhandeln. Das ist der Schlüssel zu jedem Auftrag.

Ein «Elevator Pitch» über den Inhalt des Angebots fasst die Ergebnisse aus dem Bedürfnisanalyseprozess in Schritt 3 kurz und informativ zusammen. Die angehende Kundschaft erhält anschliessend Gelegenheit, sich über den inhaltlichen Teil des Angebotes zu äussern. Sind die inhaltlichen Aspekte geklärt, wird der kommerzielle Teil, ebenfalls kurz und informativ, erläutert. Das auf die Kundschaft ausgerichtete, individuelle Verhandeln entscheidet schliesslich, ob die vorgelagerten Bemühungen Früchte in Form eines eBO-Auftrags tragen oder nicht.

Betreuen und Folgeaufträge akquirieren

Gerade mehrjährige Dienstleistungen wie eine eBO eignen sich hervorragend, eine dauerhafte Beziehung zur Kundschaft aufzubauen. Eine erfolgreiche eBO inklusive Betreuung der Anlagenbetreiberin festigt das Verhältnis zu ihr. Der eBO-Experte kann im Optimalfall zum dauerhaften Energieberater für die Kundschaft heranwachsen. Geht es nach Jahren der eBO um energetische Sanierungen oder die Erneuerung von Anlagen, bietet sich der eBO-Experte mit seinen vertieften Kunden-, Nutzer- und Anlagenkenntnissen als Berater förmlich an.



5.5 Argumentation

Das «why» einer eBO

Einem Entscheidungsträger aus der Finanzbranche gesparte Kilowattstunden zu verkaufen, ist meist viel schwieriger, als ihm Rendite schmackhaft zu machen. Aus seiner Sicht muss die eBO faktisch ein lohnendes «Green Investment» (siehe Kapitel 4.9) mit sehr geringem Risiko sein. Wenn es auch noch das Image der Firma fördert und aktiv einen Beitrag zur Umwelt leistet – umso besser! Wer für eine eBO argumentieren will, muss sich also am Empfänger ausrichten.

Vielfach kann ein Vergleich mit Bekanntem helfen. Beispielsweise ist es eine Selbstverständlichkeit, dass ein Auto zur Werterhaltung und zur Sicherstellung seiner Rechtskonformität regelmässig einen Service von Fachleuten benötigt. Dabei werden nicht nur im Sinne des Unterhalts die Verschleissteile instand gestellt, sondern auch der Motor neu eingestellt. Das sorgt für Effizienz und für konforme Abgaswerte. Weshalb soll eine viel kostenintensivere Gebäudetechnik nicht auch regelmässig durch Fachleute optimal eingestellt werden? Das ist ebenfalls eine Massnahme, um getätigte Investitionen maximal zu nutzen und Betriebskosten tief zu halten.

Oft kennt der Besitzer die energetische Qualität seiner Anlagen gar nicht. Ein im Rahmen der eBO durchgeführtes Benchmarking zu Labels oder ähnlichen Gebäuden kann hier die Stärken und Schwächen anschaulich vor Augen führen. Ist die Anlage nach der Optimierung energetisch top, kann der Besitzer dies werbewirksam als aktiven Beitrag zum Umweltengagement kommunizieren.

Das «how» einer eBO

Oft ist ein Anlagenbesitzer nicht bereit, eine vollumfängliche eBO einzukaufen. Das macht nichts, weil sie auch in einzelnen Schritten angeboten werden kann. So kann sich der Kunde von der Qualität der angebotenen Leistungen überzeugen und Vertrauen in das Konzept und die Dienstleisterin gewinnen. Eine mögliche Staffellung sähe etwa so aus:

1. Durchführen eines einfachen Energiechecks nach einmaliger Anlagenbesichtigung mit dem Betreiber vor Ort
2. Umsetzen von offensichtlichen Sofortmassnahmen
3. Einführen eines Monitorings
4. Einführen eines Energiecontrollings
5. Übergang zu einer eBO

Das «what» einer eBO

Eigentümer sind oft der Meinung, dass neu erstellte gebäudetechnische Anlagen noch keiner Optimierung bedürfen. In Wirklichkeit ist aber gerade hier eine eBO angebracht (siehe auch Beispiel 6.1). Einige Gründe dafür:

■ Die Planungswerte entsprechen nicht den effektiven Betriebswerten → die Anlagen müssen auf die realen Nutzungen eingestellt werden.

■ Die Inbetriebnahme der neuen Anlagen ist auf einen einzelnen Betriebspunkt ausgelegt → für den Ganzjahresbetrieb müssen sie zuerst optimal eingestellt werden.

■ Für die Anlagenbetreiberin ist die Anlage neu und somit, neben dem täglichen Erfüllen von Nutzerbedürfnissen, schwierig optimal zu betreiben → sie braucht fachliche, spezifisch auf ihre Anlagen ausgerichtete Unterstützung.

■ Eventuell schlummern noch «versteckte» Mängel in den Anlagen. Sie fallen zwar im Alltagsbetrieb nicht auf, können aber die Energiekosten unnötig erhöhen. Allenfalls führt das auch dazu, dass die Investitionen dadurch nicht so genutzt werden können wie ursprünglich versprochen. Denkbar ist etwa, dass der Deckungsanteil der Abwärmenutzung kleiner ist als er sein könnte oder sollte. → Hier hilft der Vergleich von Istwerten mit den Planungswerten.

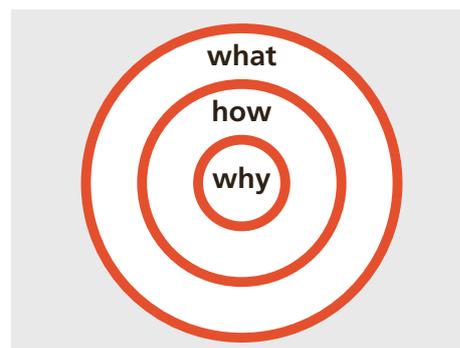


Abbildung 5.5:
Warum? Wie? Was?
Die Trilogie der
Argumentation
nach Steve Jobs.

5.6 Kommunikation und Nutzerinstruktion

Neben strategischen und prozessualen Methoden für die technische Umsetzung von Massnahmen trägt auch das Organisatorische einen wesentlichen Teil zum Erfolg einer eBO bei. Im Folgenden wird insbesondere auf den Einfluss des Nutzerverhaltens eingegangen. Konkret geht es um die Frage, wie Kommunikation und Instruktion das Verhalten der Nutzer so beeinflussen können, dass es mit den Zielen der eBO übereinstimmt.

Im Weiteren unterscheiden wir hier zwischen Nutzern und Endnutzern. Während der Endnutzer immer der Akteur ist, der die Räume selbst nutzt, trifft das auf den Nutzer nicht grundsätzlich zu. Das ist beispielsweise dann der Fall, wenn der Betreiber eines Business Centers (= Nutzer) ein Bürogebäude von der Eigentümerin mietet, um Teile davon an verschiedene Firmen (= Endnutzer) unterzuvermieten.

Nutzer nicht gleich Nutzer

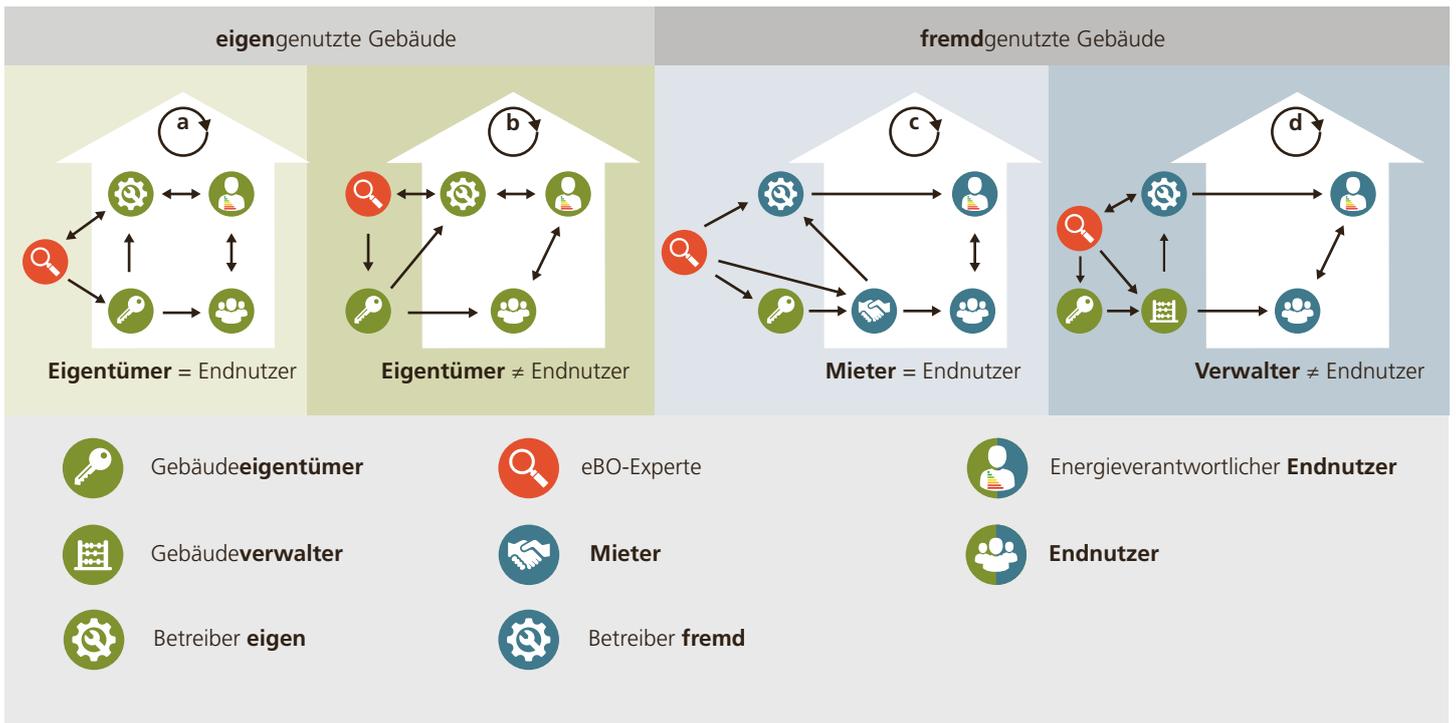
Endnutzer als Akteure in eine eBO einzubinden heisst, sie abzuholen, zu informieren, zu schulen und zu motivieren. Einige Hinweise dazu sind im Merkblatt SIA 2048

im Kapitel 4.9.3 zu finden. Grundsätzlich wird zwischen eigen- und fremdgenutzten Gebäuden unterschieden. Im Folgenden werden vier häufig anzutreffende Konstellationen von Gebäudeeigentümer und Nutzer mit zugehörigen Akteuren beschrieben (Abbildung 5.6). Sie sind als Beispiele gedacht und decken nicht alle denkbaren Kombinationen ab. Unter «eigengenutzten Gebäuden» verstehen wir solche, bei denen der Eigentümer in Form einer juristischen Person selbst das Gebäude nutzt, sei es als Endnutzer oder für die Nutzung als Filiale.

- a) Eigengenutzte Gebäude, Eigentümer = Endnutzer
- b) Eigengenutzte Gebäude, Eigentümer ≠ Endnutzer
- c) Fremdgenutzte Gebäude, Mieter = Endnutzer
- d) Fremdgenutzte Gebäude, Verwalter ≠ Endnutzer

Der Eigentümer kann sein Gebäude, beispielsweise als Firmenhauptsitz, selbst nutzen (a) oder es firmenintern weitervermieten (b). Dies ist bei grösseren Firmen mit geografisch verteilten Niederlassungen der Fall.

Abbildung 5.6: Akteure rund um die Nutzereinbindung in eine eBO. Es wird zwischen eigen- und fremdgenutzten Gebäuden unterschieden. Die Kommunikationswege sind hier vereinfacht, sie werden bei der Beschreibung der jeweiligen Fälle im Detail erläutert.



Vermietet der Gebäudeeigentümer seine Liegenschaft an Dritte, spricht man von fremdgenutzten Gebäuden. Im Fall c) verwaltet der Eigentümer die Gebäude selbst und der Mieter ist der Nutzer des Gebäudes. Oft engagiert der Eigentümer aber eine externe Verwalterin, um die Belange zwischen ihm und den Endnutzern zu regeln (d). Betrieben werden eigengenutzte Gebäude immer häufiger durch eigene Betriebsfachleute des Eigentümers – das entspricht den Fällen a) und b). Bei fremdgenutzten Gebäuden wird meistens ein externer Betreiber, entweder vom Gebäudeeigentümer, von der Verwalterin oder gar vom Mieter engagiert, was den Fällen c) und d) entspricht.

Im Fall einer eBO ernennt der Endnutzer mit Vorteil einen Vertreter als Energieverantwortlichen, um Optimierungsmassnahmen mit dem Betreiber zu koordinieren. Am einfachsten lassen sich die Endnutzer im Fall a) zum Mitwirken motivieren. Am schwierigsten ist es im Fall d), also wenn das Gebäude durch eine Verwalterin verwaltet wird.

a) Eigentümer = Endnutzer

Wie in allen vier Fällen initiiert der eBO-Experte in Fall a) die Kommunikation zu allen Optimierungsmassnahmen, die die Endnutzer betreffen. Für ihre Instruktion ist die Betreiberin zuständig. Der Kommunikationsweg kann folgendermassen weitergehen:

1) Der eBO-Experte berichtet dem Eigentümer über mögliche Optimierungsmassnahmen, die das Verhalten der Endnutzer betreffen.

2) Der Eigentümer informiert die Betreiberin und den Endnutzer über die bevorstehenden Optimierungsmassnahmen.

3) Der eBO-Experte instruiert nach Absprache mit dem Eigentümer die Betreiberin über die auszuführenden Optimierungsmassnahmen für die Endnutzer.

4) Die Betreiberin instruiert den Energieverantwortlichen des Endnutzers über die Optimierungsmassnahmen. Der Energieverantwortliche sorgt dafür, dass die Massnahmen nutzerseitig umgesetzt werden.

Bleibt es bei dieser Form von Einwegkommunikation, wirken die Optimierungsmassnahmen nicht nachhaltig über die gesamte Nutzungsdauer. Vielmehr werden sie schon nach kurzer Zeit «verwässert» und ihre Wirkung lässt nach. Dem lässt sich mit einer Feedback-Runde zu den Massnahmen entgegenwirken. So lässt sich die Umsetzung einerseits festigen und andererseits das Terrain für neue mögliche Massnahmen bereiten. Eine solche Feedback-Runde lässt sich etwa folgendermassen umsetzen:

5) Der Eigentümer meldet der Betreiberin via Energieverantwortlichen seine Erfahrungen mit der Umsetzung der Massnahmen. Er deklariert dabei positive sowie negative Änderungen der Komfortsituation.

6) Die Betreiberin rapportiert dem eBO-Experten ihre eigene Erfahrung und die des Nutzers im Zusammenhang mit den Optimierungsmassnahmen.

7) Der eBO-Experte verifiziert die energetischen Auswirkungen der umgesetzten Massnahmen und meldet sie dem Eigentümer.

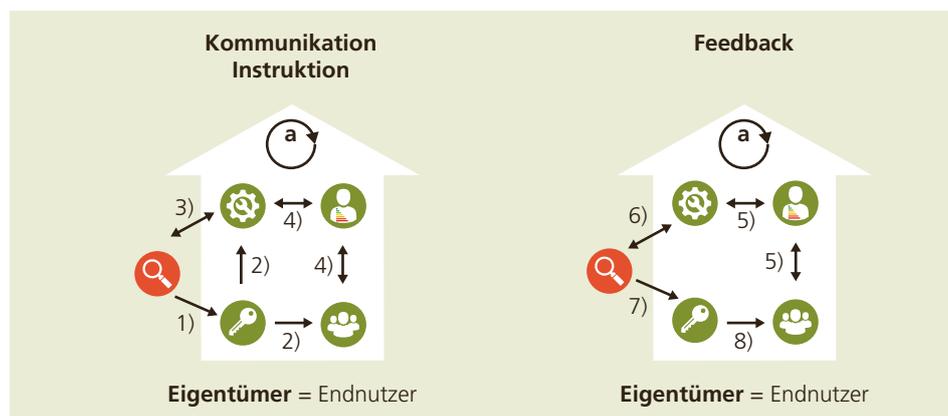


Abbildung 5.7: Eigengenutztes Gebäude, Eigentümer = Endnutzer (Fall a), Kommunikation, Instruktion und Feedback zwischen den Beteiligten einer eBO.

8) Der Eigentümer kommuniziert dem Endnutzer die Ergebnisse der Massnahmen. Er belohnt ihn, wenn sein Verhalten die beabsichtigte Reduktion herbeigeführt hat.

Nach erfolgreichem Abschluss und dem Feedback gilt es, die Massnahmen zu festigen und weitere Massnahmen über den Kommunikationsweg vorzubereiten.

b) Eigentümer ≠ Endnutzer

Dass ein Endnutzer ein firmeneigenes Gebäude nutzt, ohne aber mit dem Eigentümer identisch zu sein, mag etwas unlogisch erscheinen. In der Realität tritt es aber beispielsweise dann auf, wenn eine Firma eine Filiale in einem Gebäude betreibt, das ihr selbst gehört. Dann stellt die Filialleitung oft eine Betreiberin vor Ort ein – etwa in Form eines angestellten Hauswarts. Der Kommunikationsweg verläuft analog zu Fall a). Weil der Eigentümer nicht im selben Gebäude ansässig ist, ist es etwas anspruchsvoller, den Endnutzer für eine eBO zu motivieren.

c) Mieter = Endnutzer

Bei fremdgenutzten Gebäuden befindet sich auf dem Kommunikationsweg zwischen Eigentümer und Endnutzer der Mieter. Er muss zusätzlich in die Kommunikation eingebettet sein. Gegenüber Fall a) bedeutet dies:

1) Der eBO-Experte berichtet nach wie vor dem Eigentümer über mögliche Optimierungsmassnahmen, die das Verhalten der Endnutzer betreffen.

1.1) Der Eigentümer muss mit dem Mieter eine Vereinbarung über die eBO treffen. Dort wird geklärt, wer die eBO bezahlt und wer von der erzielten Kostenreduktion profitiert. Normalerweise übernimmt der Eigentümer die Kosten für die eBO und lässt den Mieter an den Einsparungen, die durch das Verhalten des Nutzers erzielt wurden, teilhaben. Normalerweise äussert sich das in reduzierten Nebenkosten. Ein grosses Hindernis ist oft die fehlende oder bezüglich den Komfortansprüchen mangelhaft ausgearbeitete Nutzervereinbarung. Allenfalls müssen die im Mietpreis inbegriffenen Komfortansprüche neu verhandelt wer-

Abbildung 5.8: Eigengenutztes Gebäude, Eigentümer ≠ Endnutzer (Fall b), Kommunikation, Instruktion und Feedback zwischen den Beteiligten einer eBO.

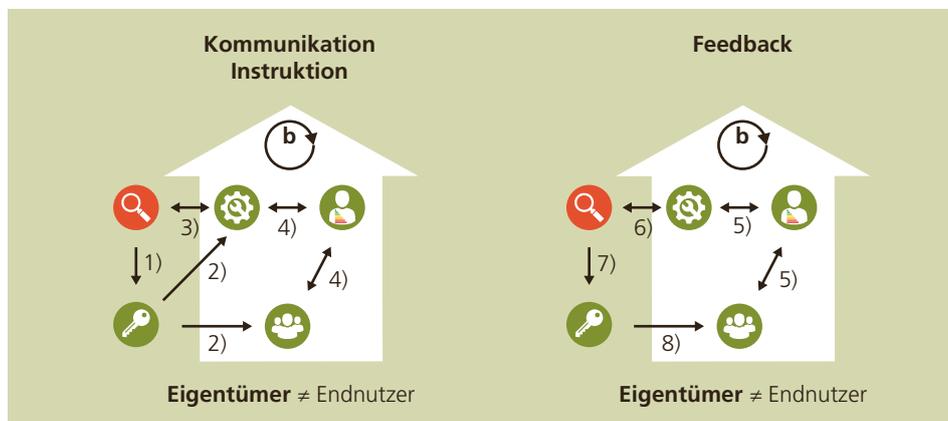
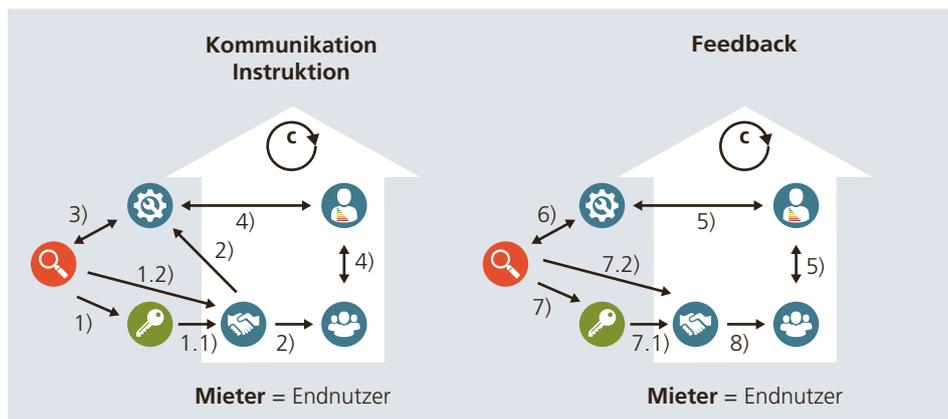


Abbildung 5.9: Fremdgenutztes Gebäude, Mieter = Endnutzer (Fall c), Kommunikation, Instruktion und Feedback zwischen den Beteiligten einer eBO.



den, beispielsweise was die sommerliche Kühlung anbelangt.

1.2) Sind sich Eigentümer und Mieter einig über die finanziellen Bedingungen der eBO, informiert der eBO-Experte den Mieter über die bevorstehenden Optimierungsmassnahmen, die das Verhalten der Endnutzer betreffen.

2) Nun informiert der Mieter den Endnutzer und dessen Betreiberin über die bevorstehende energetische Betriebsoptimierung mit dem Endnutzer.

Die Punkte 3) und 4) verlaufen dann wieder analog zu Fall a).

In der Feedback-Runde informiert der eBO-Experte den Eigentümer über den monetären Erfolg 7) und den Mieter über die energetischen Einsparungen 7.2) durch die Optimierungsmassnahmen. Der Eigentümer reduziert gegenüber dem Mieter die Nebenkosten 7.1) gemäss der unter 1.1 getroffenen Vereinbarung.

Wegen der aufwändigen Kommunikation ist es im besprochenen Fall sehr anspruchsvoll, den Endnutzer erfolgreich in eine eBO einzubinden. Auf jeden Fall bedarf dies einer sorgfältigen Planung. Auch die Motivation der Endnutzer ist bei einem fremdgenutzten Gebäude schwierig. Der Nutzen der eBO kommt ja direkt dem Mieter zugute. Die Belohnung der Endnutzer ist damit zweitrangig.

d) Verwalter ≠ Endnutzer

Ähnlich wie in Fall c) befindet sich zwischen Eigentümer und Endnutzer eine weitere Instanz – hier ist es der Gebäudeverwalter. Entsprechend wird er nun in

die Kommunikationskette eingebunden – ähnlich wie der Mieter in Fall c). Im Unterschied zu Fall c ist der Verwalter weniger mit der Nutzung konfrontiert als der Mieter. Dadurch wird die die Beeinflussung der Endnutzer noch schwieriger.

Für den Verwalter ist der Nutzen einer eBO nicht offensichtlich. Ein monetäres Anreizsystem seitens Eigentümer kann die Zusammenarbeit mit dem Verwalter aber fördern. Ansonsten sind Vereinbarungen zwischen Eigentümer und Verwalter nötig – ähnlich, wie in Fall c zwischen Eigentümer und Mieter. Ist dies geregelt, kann der eBO-Experte mit dem Verwalter die Kommunikation für Optimierungsmassnahmen starten, die das Verhalten der Endnutzer betreffen. Der Verwalter agiert, mit der Unterstützung des eBO-Experten, somit zwischen Endnutzer und Betreiberin, wobei letztere oft der Verwaltung angeschlossen ist.

Motivation Nutzer

In der Regel fehlen dem Nutzer die unmittelbaren Anreize, sich energiebewusst zu verhalten. Hinzu kommt, dass Nutzern, die sich energiebewusst verhalten möchten, oft das nötige Wissen dazu fehlt. Das heisst, Nutzer müssen geschult und motiviert werden, damit deren Massnahmen zu einer erfolgreichen eBO beitragen können. Für die Schulung eignen sich Workshops oder Coachings. Sinnvollerweise werden beide Methoden kombiniert, indem nach einem Workshop individuelle Coachings stattfinden. Für beide Methoden wird empfohlen, gegebenenfalls Fachexperten mit didaktischen Kenntnissen beizuziehen.

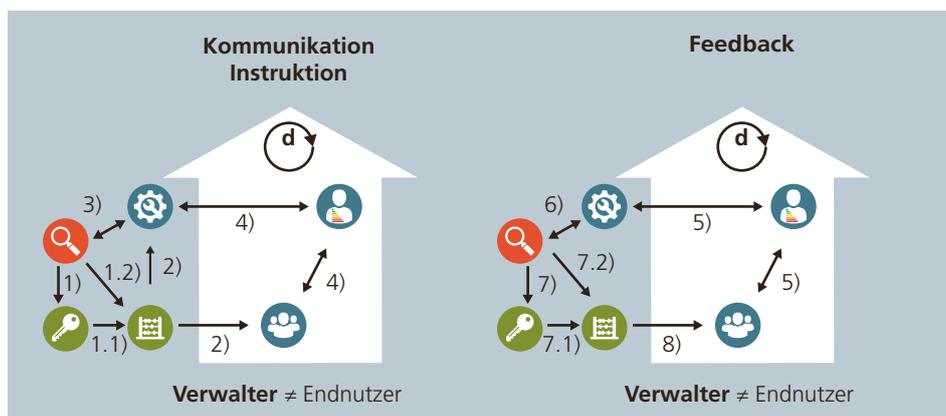


Abbildung 5.10: Fremdgenutztes Gebäude, Verwalter ≠ Endnutzer (Fall d), Kommunikation, Instruktion und Feedback zwischen den Beteiligten einer eBO.

Das Bundesamt für Energie stellt online eine Sammlung von Massnahmenblättern für die eBO zur Verfügung, die sich für die Unterstützung von Nutzerschulungen sehr gut eignen (www.energieschweiz.ch/page/de-ch/werkzeugkasten-betrieboptimierung).

Während und nach den Interventionen einer eBO soll der Nutzer stets über die Auswirkungen seines Verhaltens informiert werden. Hierfür eignen sich folgende Kanäle:

- Periodische Aushänge
- Intranet
- Smartphone-App

Über sie können periodisch Erfolgsnachweise, Kampagnen (z. B. Energiesparwochen) oder Wettbewerbe für die Nutzer publiziert werden. Erfolgsnachweise sollen so dargestellt werden, dass sie für die Endnutzer auch verständlich sind. Hier eignen sich Smileys sicher besser als Angaben in kWh.

Ähnlich wie im Fitness-Bereich findet man auch im Energiemonitoring immer öfter Apps, die den Erfolg von Massnahmen anhand von grafisch aufbereiteten Daten zeigen. Solche Apps können neben visualisierten Energieverbräuchen in Echtzeit auch Energiesparwettbewerbe für Communities oder Einzelpersonen transportieren. Unter Umständen lassen sich hier noch spielerische Elemente wie unterschiedliche Levels einbauen.

Zusätzlich zum spielerischen Umgang mit Energiedaten können Apps via Pop-ups mit dem Nutzer interagieren. So können sie unmittelbar auf ihren besonders sparsamen oder verschwenderischen Umgang mit der Energie aufmerksam gemacht werden. Gleichzeitig lassen sich so saisonale Energiespartipps darüber kommunizieren. Die modernen Kommunikationsmittel bieten noch viele weitere Möglichkeiten, um die Endnutzer zu energiesparendem Verhalten zu motivieren. Wichtig ist einfach, dass hier zielgruppengerechte Mittel eingesetzt werden.

5.7 Schnittstellen

Ein Bauprojekt wird durch die Inbetriebnahme (IBN) und die Abnahme der Gebäudetechnikanlagen abgeschlossen – das geschieht in der Phase 5 nach SIA 108. Dies ist ein guter Zeitpunkt, um mit der eBO zu starten – sie gehört zur Phase 6, also zur Bewirtschaftung respektive zum Betrieb. Der Zeitpunkt ist einerseits sinnvoll, weil die realen Betriebswerte erfahrungsgemäss meist von den Planungswerten abweichen. Andererseits kann die Betreiberin im Rahmen einer eBO bei ihrer Arbeit mit den für sie neuen Anlagen fachlich unterstützt werden. Wurde nach der Abnahme keine eBO lanciert, kann aber zu jedem beliebigen späteren Zeitpunkt gestartet werden. Mit zunehmenden Anlagenkenntnissen kann die Betreiberin eBO-Aufgaben vermehrt selbständig übernehmen. Das reduziert den Einsatz des eBO-Experten, setzt aber Eigeninitiative und ein hohes Engagement voraus. Bei einem Wechsel auf Betreiberseite wird wieder ein stärkerer Einsatz eines eBO-Experten empfohlen.

Gemäss der Publikation «Gebäudetechnik – Systeme integral planen» [3] von Energieschweiz gehören gebäudetechnische Ausrüstungen zum Sekundärsystem eines Gebäudes. Das heisst, sie werden im Verlauf der Gebäudelebensdauer energetischen Sanierungen (eS) unterzogen oder müssen teilweise ersetzt werden. Das während einer eBO erworbene Know-how zur Gebäudenutzung und zu Anlagenfunktionen kann bei der Planung und Realisierung von energetischen Sanierungen oder bei Ersatzinvestitionen gewinnbringend genutzt werden. Nach der Inbetriebnahme einer energetisch sanierten oder ersetzten Anlage wird die eBO optimalerweise fortgesetzt.

Eigentümer, die ihr Gebäude ständig energetisch optimieren, profitieren bis ans Nutzungsende von tieferen Betriebskosten. Der eBO-Experte profitiert von den gemachten Betriebserfahrungen. Er ist imstande, dieses Wissen bei Neubauvorhaben ähnlicher Nutzungen bereits ab Planungsphase 1 als Energieexperte einzubringen.

Abgrenzungen

Auf Mängel an der Anlage wird bei einer eBO zwar hingewiesen. Sie zu beheben, ist aber Sache von separaten Projekten und obliegt dem Eigentümer, der Betreiberin und einschlägigen Fachleuten. Sind energetische Sanierungen, Anlagenerweiterungen oder Anlagenersatz vorgesehen, wird dafür ein separates Planungsteam beigezogen.

Der eBO-Experte unterstützt die Betreiber wohl in ihrer Aufgabe, die Anlagen optimal zu betreiben. Er leistet aber keine Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten. Selbst für das Verändern von Anlagenparametern im Rahmen einer eBO ist ausschließlich der Anlagenbetreiber zuständig – dies auch wegen Haftungsfragen.

5.8 Bauwerksdokumentation

Im Zusammenhang mit einer eBO muss auch die Bauwerksdokumentation nachgeführt werden. Im Grunde ist sie die Summe aller digitalen und physischen Dokumente, die zum Betrieb von Anlagen über einen ganzen Lebenszyklus genutzt werden. Damit bildet sie die Grundlage dafür, dass ein Gebäude überhaupt verstanden und in Zukunft optimal betrieben werden kann. Die Bauwerksdokumentation wird spätestens drei Monate nach den Neueinstellungen dem Betreiber übergeben, und zwar in gedruckter wie in elektronischer Form.

Die revidierte Dokumentation muss alle Parameteränderungen an den Anlagen enthalten, die von der eBO betroffen sind. Sie muss zeigen, was bei der eBO in den Gewerken Heizung, Lüftung, Klima, Kälte, Sanitär, Elektro und Gebäudeautomation

Zoran Alimpic

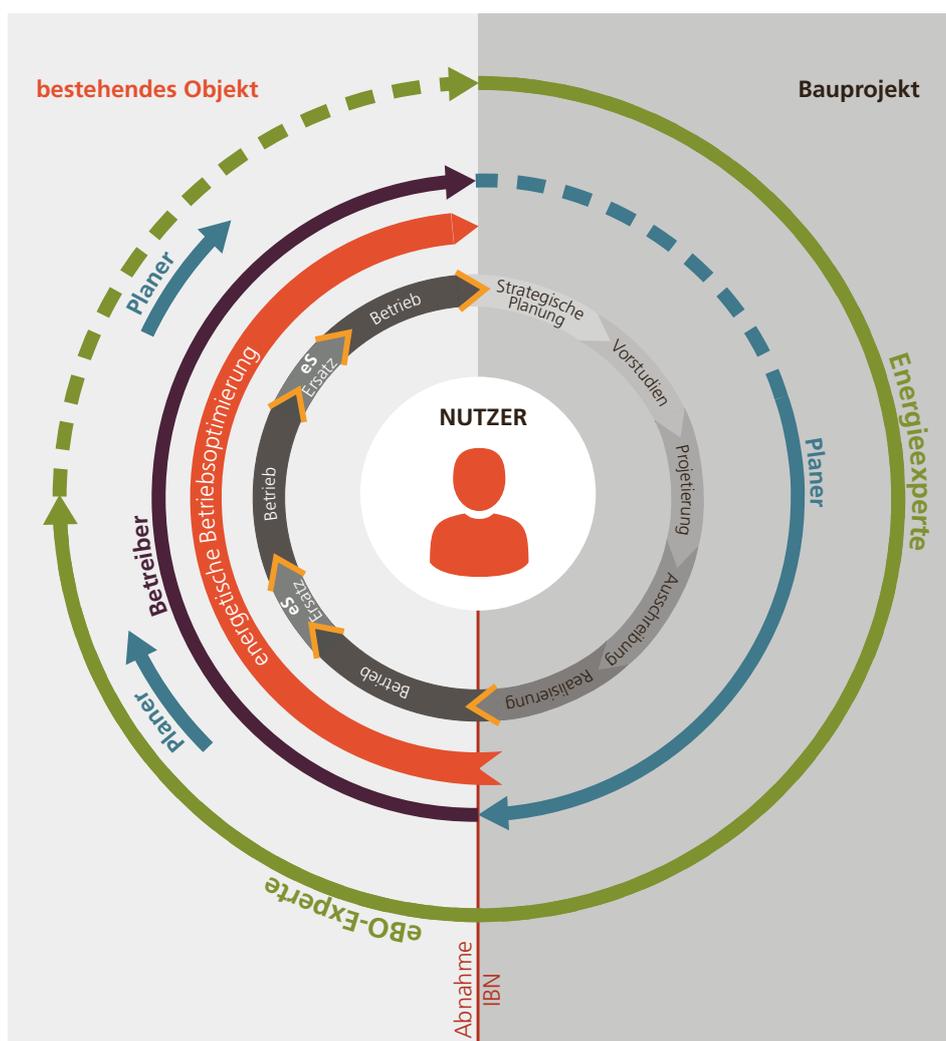


Abbildung 5.11: Die eBO im Lebenszyklus von gebäudetechnischen Anlagen mit den Planungsphasen nach SIA 108.

geprüft und neu eingestellt wurde. Das erleichtert es, die Betriebsparameter bei Bedarf anzupassen oder allenfalls wieder auf die ursprünglichen Werte zurückzusetzen. Hierfür ist der Betreiber auch auf vollständige projektspezifische Planungsdaten, Plangrundlagen (Prinzipschemas), Programme, Parameterlisten und Messdaten angewiesen. Ist die eBO Teil eines behördlichen Akts wie etwa der Befreiung eines Unternehmens von den CO₂-Abgaben, muss die Dokumentation während zehn Jahren aufbewahrt werden [1].

Leider ist der Inhalt einer Bauwerksdokumentation nirgends verbindlich definiert. In den SIA-Ordnungen für Leistungen und Honorare der Planer wird zwar als Grundleistung verlangt, dass eine Dokumentation über das Bauwerk erstellt und dem Auftraggeber übergeben werden soll – deren Inhalt wird aber nicht klar definiert. Als mögliche Grundlage für die Erarbeitung einer solchen «Bedienungsanleitung» kann die Instandhaltungs-Richtlinie SWKI 95-2 [2] dienen. Sie empfiehlt eine Gliederung gemäss Abbildung 5.12.

Einen Anhaltspunkt für den minimalen Inhalt einer Bauwerksdokumentation im Rahmen von eBO-Projekten liefert folgende Liste:

- Verträge, Baubeschrieb und Protokolle
- Bezugsperson und Adresse aller Beteiligten (Bauherr, Betreiber, Nutzer, Planer, Un-

ternehmer, Lieferanten, Ämter, Nachbarn, Anwälte, Messfirmen usw.)

- Gutachten über: Sicherheit, Hygiene, Komfort, Umweltverträglichkeit, Einhaltung gesetzlicher Vorgaben usw.
- Bewilligungsunterlagen und -entscheide
- Nachweise und Genehmigungen
- Inbetriebsetzungs- und Abnahmeprotokolle inkl. behördlicher Abnahmen
- Mängellisten
- Bauabrechnungen und Schlussrechnungen aller Beauftragten
- Produkte- und Materialspezifikationen inkl. Garantiedauer und Garantieleistungen
- Standardisierte Bauwerksdokumentation, auch nach BIM- Vorlagen
- Messdaten und Kennzahlen

BIM

Eine standardisierte Bauwerksdokumentation, beispielsweise nach KBOB, IPB, KUB/SVIT, bildet auch die Grundlage für das Building Information Modeling (BIM). Damit ist während der Planungsphasen und auch später im Betrieb sichergestellt, dass der Betreiber jederzeit auf wichtige Daten zurückgreifen kann.

BIM ist der Begriff für digitale Gebäudemodelle, bei denen ein Gebäude mittels Objekten (statt mit herkömmlicher Geometrie) dreidimensional dargestellt wird. Konkret heisst das: Hier werden mithilfe einer Software nicht nur Anlagekompo-

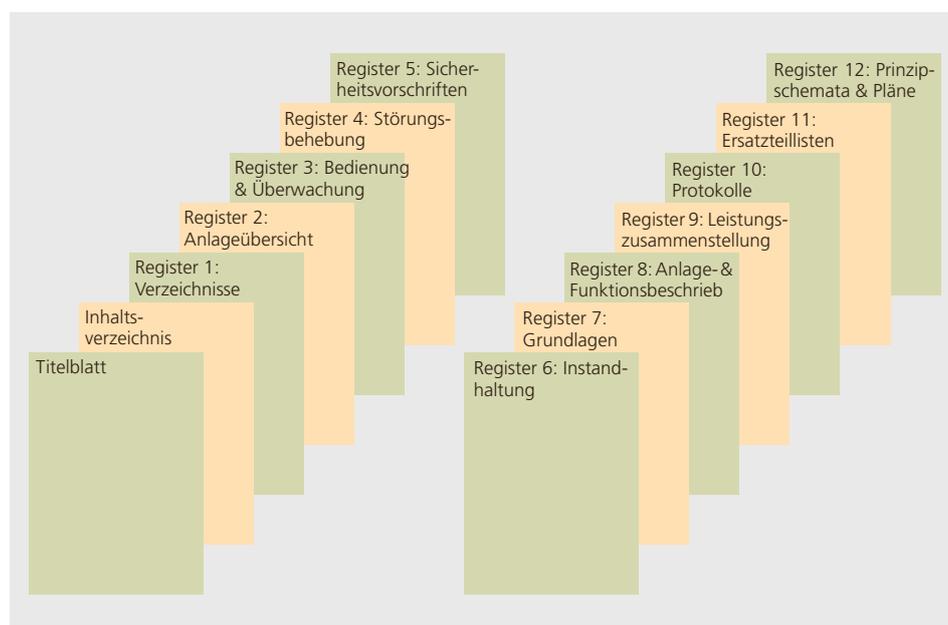


Abbildung 5.12:
Gliederung einer
Bauwerksdokumen-
tation gemäss Richt-
linie SWKI 95-2.

zenten visuell dargestellt, sondern auch als Objekte behandelt und miteinander verknüpft. Diese Objekte enthalten neben den geometrischen Daten auch Informationen zu Materialisierung, Kosten, Montagezeiten, Garantien. Zudem sind diese Objekte miteinander parametrisch verknüpft: Änderungen an einzelnen Anlagekomponenten führen automatisch zu Anpassungen in verwandten Objekten. Diese Verknüpfung beruht auf einer Datenbankstruktur der Modelle und bedeutet, dass beim Einsatz von BIM sehr detaillierte Regeln befolgt werden müssen.

Unter BIM werden aber nicht nur die Software und das digitale Modell verstanden, sondern der gesamte Prozess des virtuellen Bauens. Dazu gehört insbesondere auch die strukturierte Zusammenarbeit der Projektbeteiligten mit einer verstärkten «Planung der Planung». Das bietet auch neue Möglichkeiten bei der eBO, verlangt aber, dass die BIM-Datenbank laufend aktualisiert wird.

5.9 Literatur

- [1] Konferenz Kantonalen Energiefachstellen: Vollzugshilfe EN-142 Energetische Betriebsoptimierung, Ausgabe Juni 2017
- [2] Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren: Richtlinie SWKI 95-2, Bern, 2012
- [3] von Euw, Reto; Alimpic, Zoran; Hildebrand, Kurt: Gebäudetechnik – Systeme integral planen, Faktor Verlag, Zürich 2012

Beispiele

6.1 Auch Neubauten haben Optimierungspotenzial

Daniel Imgrüth

Heizenholz ist eine Siedlung der Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk 1 in Zürich. Basierend auf einem Studienauftrag für die Verdichtung der Liegenschaft, entstand dort aus zwei renovationsbedürftigen Häusern der 1970er-Jahre in Verbindung mit einem Neubauteil ein moderner Bau mit neuer Identität. Das Mehrgenerationenhaus am Stadtrand in Zürich-Höngg wurde Anfang 2012 bezogen. Insgesamt 26 Wohnungen beinhaltet der Wohnungsspiegel – mehrere Wohnungen mit 1 bis 6,5 Zimmern, zwei 10-Zimmer-Wohngemeinschaften, zwei grosse Wohngemeinschaftscluster für gediegenes WG-Leben und Ateliers sowie Gemeinschaftsräume. Die Wohnfläche beträgt rund 3000 m². Neben der energieeffizienten Bauweise schafft die Siedlung Rahmenbedingungen für eine ökologische Lebensweise. Der Flächenbedarf pro Person beträgt durchschnittlich 36 m². Es gibt keine Tiefgarage und kaum Parkplätze, dafür ein Angebot für umweltschonende Mobilität und eine grosszügige Velogarage. Die Gebäude erhielten eine Abluftanlage mit Wärmepumpe zur Erwärmung des Trinkwassers. Der Strom für die Wärmepumpe kommt von der eigenen Photovoltaikanlage.

Massnahmen und Erfolg

Die eBO dauerte von 2012 bis 2015. Im Lauf der Arbeiten zeigte sich, dass die Anlagen im Heizenholz seit der Inbetriebnahme oft mit Standardeinstellungen liefen und nicht auf die tatsächliche Nutzung abgestimmt waren. Das grösste Sparpotenzial bot – wie meist bei Wohnbauten – die Wärmeversorgung. So wurde zum Beispiel die Trinkwarmwassertemperatur von 60 auf 55°C gesenkt. Der Warmwasserspeicher ist nach dem Tagesbedarf bemessen, nicht überdimensioniert und muss dadurch mehr als einmal pro Tag nachgeladen werden. Zusätzlich konnte Wärme

gespart werden, indem die durchschnittliche Wohnungstemperatur den realen Bedürfnissen der Mieterschaft angepasst wurde.

Bei der elektrischen Energie kann in Wohnhäusern erfahrungsgemäss meist «nur» der Allgemeinverbrauch optimiert werden. Das hängt damit zusammen, dass der Privatstrom in der Regel direkt den Mietenden verrechnet wird und der Eigentümer keinen Einfluss auf diesen Verbrauch hat. Verfügen die Gebäude aber über eine Lüftung, wie dies hier der Fall ist, lässt sich oft einiges an elektrischer Energie einsparen. Die gesamte Luftmenge für die Wohnungen war anfänglich dauernd auf 2715 m³/h eingestellt. Sie konnte ohne Komforteinsbussen auf 2500 m³/h reduziert werden. Ausserhalb der Betriebszeit der Abluftwärmepumpe, wenn das System als reine Fortluftanlage läuft, wurde die Luftmenge er-

Abbildung 6.1: Siedlung Heizenholz, Zürich. (Foto: Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk 1)



Steckbrief

Auftraggeber	Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk 1
eBO	Energio
Standort	Zürich
Nutzung	Wohnen
Baujahr	2012 (teils Sanierung, teils Neubau)
Energiekennzahl Wärme vor eBO	75 kWh/m ² a
Energiekennzahl Strom vor eBO	14 kWh/m ² a
Einsparung Wärme nach 3 Jahren	17 %
Einsparung Strom nach 3 Jahren	6 %

folgreich auf 1500 m³/h gesenkt. Das spart entsprechend Strom für die Ventilatoren. Auch die zu grosse Anzahl an Leuchten in den Korridoren und Treppenhäusern konnte reduziert und die Betriebszeit der tatsächlichen Nutzung angepasst werden.

Durch die eBO konnte in der Siedlung Heizenholz im dritten Jahr über 15 % des gesamten Energiebedarfes gespart werden. In absoluten Zahlen reduzierte er sich von den anfänglichen 234 000 kWh (Elektrizität und Wärme) auf 194 000 kWh. Das entspricht einer Reduktion von rund 40 000 kWh. Eine Einsparung in dieser Höhe ist insofern erstaunlich, als die Siedlung damals frisch fertiggestellt und mit einem Minergie-Zertifikat ausgezeichnet worden war. Hier zeigte es sich, dass selbst Gebäude auf dem Stand der Technik nur dann effizient genutzt werden können, wenn die Systeme aufeinander abgestimmt und entsprechend den Nutzerbedürfnissen betrieben werden.

Schlüsselt man nach Endenergie auf, ergibt sich folgendes Bild: Es konnten 6 % beim Strom und sogar 17 % bei der Wärme eingespart werden. Die Energiekennzahl Wärme, ausgehend von den gemessenen Energiedaten, konnte dadurch von 75 kWh/m²a auf rund 62 kWh/m²a gesenkt werden.

Weiteres Vorgehen

Um die Entwicklung des Energieverbrauchs künftig zu verfolgen, hat die Genossenschaft nach der eBO ein Energiemonitoring eingeführt. Damit erhält sie künftig volle Transparenz beim Energieverbrauch. So kann sie Veränderungen beim Verbrauch oder Unregelmässigkeiten bei den Anlagen frühzeitig erkennen. Damit ist der optimale Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen langfristig sichergestellt.

Verschiedene Interessengruppen

Eine typische Herausforderung bei der Betriebsoptimierung von Wohnbauten ist, dass oft verschiedene involvierte Parteien im Projekt eingebunden werden müssen. Deshalb braucht das Schnittstellenmanagement besondere Aufmerksamkeit. Dazu gehört eine offene Kommunikation, aber auch Transparenz hinsichtlich der Interessen, die die Beteiligten im Projekt verfolgen.

Auf der einen Seite ist es der Eigentümer, der entscheidet, ob eine Betriebsoptimierung durchgeführt wird. Auf der anderen Seite sind oft Bewirtschafter involviert und vor Ort ist der eBO-Experte mit der Hauswartung oder dem technischen Dienst in Kontakt. Gibt es Reklamationen seitens der Mieterschaft, sollten die nötigen Kommunikationskanäle und das Eskalationsmanagement vorab zwischen den Beteiligten geklärt sein. Die Information, Kommunikation und das gemeinsame Rollenverständnis sind entscheidend für den Erfolg einer eBO.

Gesamtenergieverbrauch und Einsparungen [%]



Abbildung 6.2:
Einspareffekt
Gesamtenergie-
verbrauch durch
eBO in der Siedlung
Heizenholz, Zürich.
(Quelle: Ergo)

6.2 eBO als Grundlage für die Modernisierung von Anlagen

Peter Böhler Das Zentrum Höchstweid ist ein Pflegeheim mit drei Pflegeabteilungen sowie einer Abteilung für betreutes Wohnen mit 106 Betten. Zum Zentrum gehören auch der Gastronomiebetrieb sowie mehrere Tagungsräume. Alle diese Angebote sind in einem Gebäude mit Baujahr 1994 untergebracht. Der Brennstoffverbrauch lag im Referenzzeitraum bei 546 MWh pro Jahr. Zusätzlich lieferten zwei Wärmepumpen rund 80 MWh pro Jahr. Der Stromverbrauch machte 609 MWh pro Jahr aus. Die jährlichen Energiekosten beliefen sich auf rund 152 000 Franken.

Anstehende Modernisierung vorbereiten

Die bestehende Heizungsanlage mit einem Zweistoffkessel (Öl und Gas) als Herzstück wurde seit der Inbetriebnahme mehrfach angepasst und punktuell erneuert (Abbildung 6.4). 2019 sollte sie schliesslich für den Anschluss an die Fernwärme Luzern und an die aktuelle Nutzung angepasst so-

Abbildung 6.3: Ansicht Zentrum Höchstweid. (Foto: Zentrum Höchstweid)



Steckbrief	
Auftraggeber	Zentrum Höchstweid
eBO	Energio
Standort	Ebikon LU
Nutzung	Pflegeheim
Baujahr	1994
Energiekennzahl Wärme vor eBO	87 kWh/m ² a
Energiekennzahl Elektrizität vor eBO	85 kWh/m ² a
Einsparung fossile Energie nach 1 Jahr	25 %
Einsparung Strom nach 1 Jahr	1 %

wie auf absehbare Nutzungsänderungen vorbereitet werden. Neben der Reduktion der Energiekosten war es ein wichtiges Ziel der eBO, Erkenntnisse über die Anlage im realen Betrieb zu gewinnen. Sie dienen als Grundlage für den Umbau der Heizzentrale.

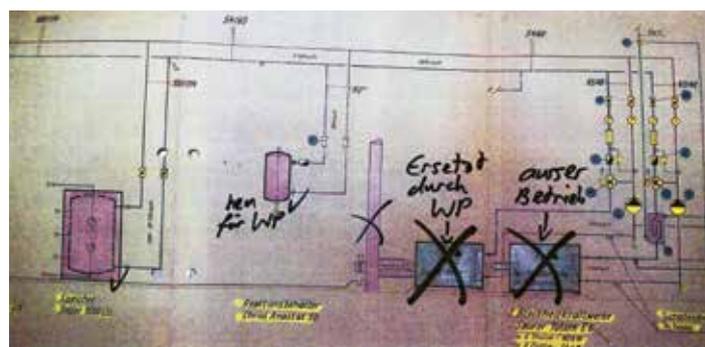
Gewachsenes System mit vielen Abhängigkeiten

Ursprünglich war die Gebäudeleittechnik auf den Betrieb mit zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) als Notstromaggregate ausgelegt. Häufige Defekte und veränderte Anforderungen führten dazu, dass die Aggregate schrittweise stillgelegt und teilweise rückgebaut wurden. Zum Projektbeginn war ein BHKW physisch noch vorhanden und hydraulisch eingebunden. Am Standort der zweiten Maschine steht mittlerweile eine Grundwasser-Wärmepumpe für die Heizungsunterstützung. Für das Trinkwarmwasser sind zwei Speicher-/Ladesysteme mit Plattenwärmetauscher installiert. Sie werden von der Wärmerückgewinnung der gewerblichen Kälteanlage und einer Fortluftwärmepumpe unterstützt. Die hohen Systemtemperaturen während der Speicherladung limitieren aber den Einsatz beider Wärmepumpen. Die Regelung der Heizzentrale ist auf einer Zentraleinheit zusammengeführt. Infolge der diversen Anpassungen seit der Inbetriebnahme entspricht sie aber nicht mehr dem aktuellen Stand der Anlage.

Normalbetrieb als Herausforderung

Weil die Regelung nie umfassend erneuert, aber immer komplexer wurde, ist es für das Betriebspersonal heute schwierig, den Überblick über die Anlage zu behal-

Abbildung 6.4: Ausschnitt aus dem Original-Prinzipschema der Heizungsanlage; wie zu sehen ist, wurde sie im Lauf der Zeit mehrfach angepasst. (Foto: Böhler, MTU GmbH)



ten. Deshalb konzentriert man sich vor allem darauf, die Komfortansprüche der Nutzenden zu befriedigen. Um Reklamationen zu vermeiden, wurden die Reserven beispielsweise bei den Temperatursollwerten sehr grosszügig gehalten. Weil sich in letzter Zeit Ausfälle wegen Defekten an älteren Elektronikkomponenten häuften, war zunehmend reagieren statt agieren angesagt.

Hat man diese Zusammenhänge einmal erfasst, sind die Auswirkungen offensichtlich: Wegen der hohen Systemtemperaturen treten bei den Wärmepumpen oft Störungen auf (Abbildung 6.5) und ihr Anteil an der bereitgestellten Wärme ist entsprechend klein. Aus dem gleichen Grund läuft auch die Warmwasseraufbereitung wegen häufig verkalkter Plattenwärmetauscher nicht optimal. Der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen ist infolge hoher Luftmengen und grosszügiger Betriebszeiten erhöht.

Mit dem Start des eBO-Projekts wurden die Anlage und ihr reales Verhalten systematisch analysiert. Dabei waren die Hausdokumentation, die Betriebskontrolle (regelmässige Zählerablesung) und insbesondere die langjährige Erfahrung des leitenden Hauswarts sehr wichtig.

Die Abweichungen zwischen der Dokumentation und der effektiv in Betrieb stehenden Anlage erschwerten die Planung und Umsetzung der eBO-Massnahmen. Umso wichtiger waren Beharrlichkeit und ein gutes Teamwork unter allen Beteiligten.

Abbildung 6.5: Störungsmeldungen der Grundwasser-Wärmepumpe. (Foto: Böhler, MTU GmbH)



Massnahmen und Erfolge

Zu Projektbeginn wurden die relevanten Einstellungen der Gebäudeautomation analysiert. Durch die vorhandene Einzelraumregelung sind die Optimierungsmöglichkeiten hier relativ gross. So können für Räume, die zur selben Heizgruppe gehören, aber unterschiedlich genutzt werden, spezifische Temperaturprogramme gefahren werden. Die knapp ausgelegten Heizkörper in exponierten Räumen setzen der Optimierung aber bezüglich Raumsollwerten und Vorlauftemperaturen relativ enge Grenzen.

Oberste Priorität hatte von Beginn an die Steigerung der Deckungsanteile der beiden Wärmepumpen. Wegen der bestehenden, nicht für Wärmepumpen optimierten Hydraulik mit hohen Rücklauftemperaturen sind diesem Vorhaben aber klare Grenzen gesetzt. Dieses Problem lässt sich letztlich nur durch den Umbau der Heizzentrale lösen. Durch die Anpassung der Schaltsollwerte und die teilweise Übersteuerung der Automatik (defekter Ventilantrieb, Abbildung 6.7) konnte aber insbesondere der Deckungsanteil der Grundwasser-Wärmepumpe bereits erheblich gesteigert werden.

Der Betrieb der drei Lüftungsanlagen wurde den Nutzungsanforderungen angepasst. Eine besondere Herausforderung war dabei die Lüftung der Gastronomieküche. Dort sind die Luftmengen infolge der sukzessiven Erweiterung mit neuen Geräten mittlerweile relativ knapp bemessen. Nach dem Einbau einer neuen Lüftungsregelung wurden die Zeitprogramme sowie

Abbildung 6.6: Screenshot Einzelraumregelung vor der Optimierung. (Quelle: Böhler, MTU GmbH)

Raum-Bezeichnung		Soll	Ist	Ventil
Garderobe	U.04	20.0 °C	25.4 °C	0.0 %
Garderobe	U.06	20.0 °C	22.3 °C	0.0 %
Apotheke	U.08	20.0 °C	22.1 °C	0.0 %
Mäscherei Bügeln	U.23	15.0 °C	22.2 °C	0.0 %
Küchenlager	U.21	19.0 °C	25.1 °C	0.0 %
Küche	U.22	22.0 °C	25.9 °C	0.0 %
Lieferanteneingang		20.0 °C	22.8 °C	0.0 %
Garderobe	U.16	20.0 °C	21.3 °C	0.0 %
Garderobe	U.15	20.0 °C	20.5 °C	0.0 %
Abschiedsraum	U.11	17.0 °C	24.6 °C	0.0 %
Technischer Dienst	U.12	20.0 °C	24.6 °C	0.0 %
Haupteingang		23.0 °C	24.1 °C	20.0 %
Büro Fachstelle	E.01	24.0 °C	24.3 °C	13.3 %
Leitung Pflege	E.02	24.0 °C	24.3 °C	13.3 %
Leitung Heine	E.03	24.0 °C	24.1 °C	26.7 %

die Soll- und Schwellenwerte der Zulufttemperaturen so angepasst, dass ganzjährig ein effizienter und komfortabler Betrieb möglich ist.

Der Öl- und Gasverbrauch liess sich bereits im ersten Jahr um rund 25 % reduzieren (Abbildung 6.8). Im selben Zeitraum konnte auch der Stromverbrauch im Sommer und in den Übergangszeit reduziert werden. Im Winter führt der höhere Anteil des Wärmepumpenstroms zu einer leichten Zunahme.

Potenzial nach der Modernisierung voll ausschöpfen

Mit dem Umbau der Heizzentrale und dem Anschluss an den Wärmeverbund wird auch die Regelung der Wärmeversorgung erneuert. Abgestimmt darauf sind weitere Optimierungsmassnahmen geplant und werden gezielt umgesetzt. Dazu gehört insbesondere, dass die Belange der eBO bei den Modernisierungsarbeiten frühzeitig berücksichtigt werden. Vor allem soll die Gebäudebetreiberin Kontroll- und Einstellmöglichkeiten erhalten, um die Anlage bedarfsgerecht betreiben zu können. Um dies zu ermöglichen, wurde der eBO-Experte in die Planung und Parametrie-

rung des neuen Systems einbezogen. So lassen sich einige Optimierungspotenziale vergrössern und zusätzliche erschliessen.

Eine wichtige Rolle spielt die eBO auch während und nach der Inbetriebsetzung der umgebauten Anlage. Durch ihre Erfahrungen und die wöchentliche Energieverbrauchsüberwachung können verborgene Mängel rasch aufgedeckt werden. Auch der Komfort der Nutzenden kann durch die konsequente Anwendung der zusätzlichen Einstellmöglichkeiten nachhaltig gesteigert werden.

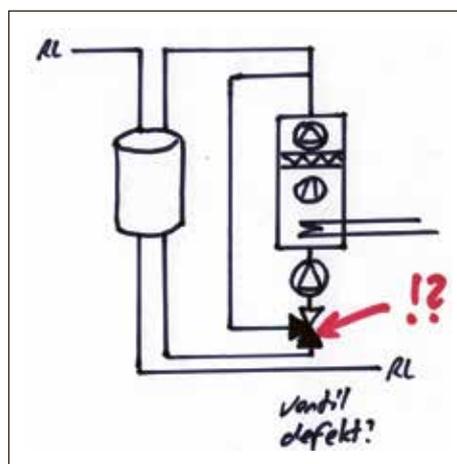


Abbildung 6.7: Prinzipschema Grundwasser-Wärmepumpe mit defektem Regelventil. (Quelle: Böhler, MTU GmbH)

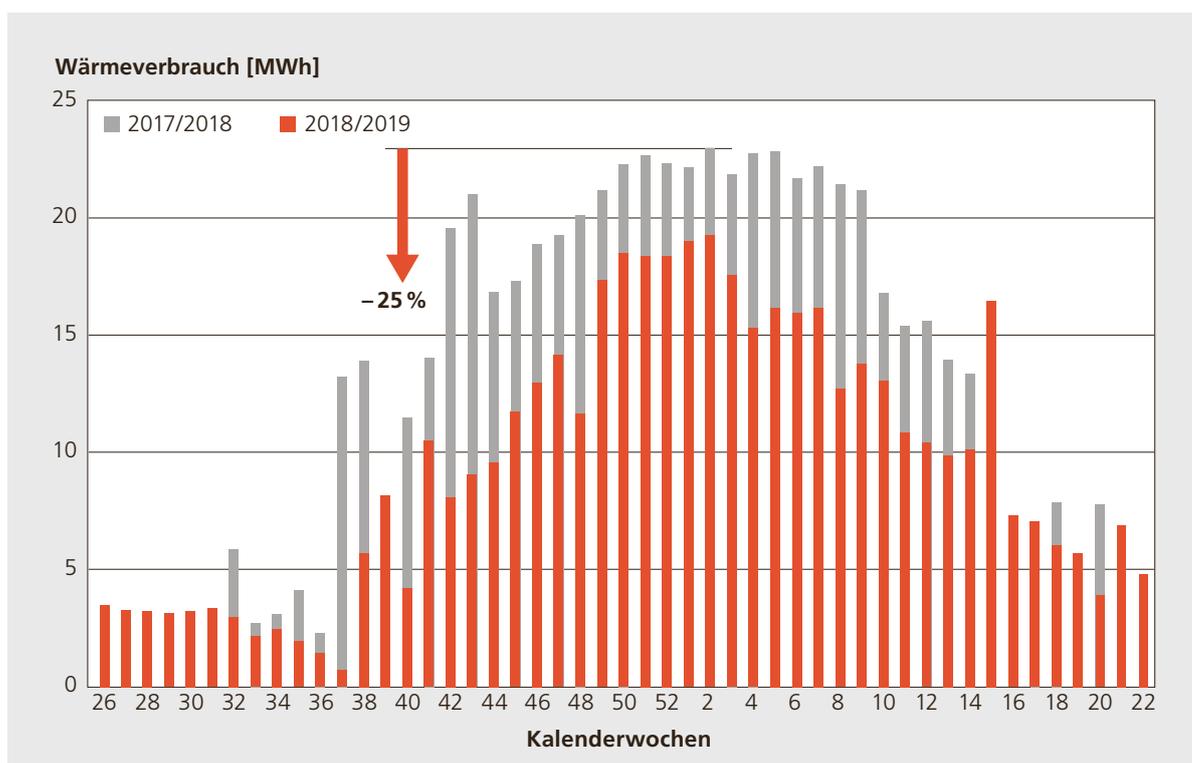


Abbildung 6.8: Entwicklung des fossilen Wärmeverbrauchs im ersten Jahr der Betriebsoptimierung. (Quelle: Böhler, MTU GmbH)

6.3 Kombination von Alt- und Neubau

Roland Stadelmann

Als eine der grössten Berufsfachschulen der Schweiz bildet die Technische Berufsschule Zürich (TBZ) Lernende in 16 verschiedenen Berufen aus. Dazu gehören Automobiltechnik, Elektrotechnik/Elektronik, Informationstechnik, Augenoptik und Veranstaltungstechnik. Über eine höhere Fachschule bietet sie auch Weiterbildungen und Kurse an.

Der Gebäudekomplex umfasst zwei Trakte: Zum 1963 erstellten Stammhaus an der Ausstellungsstrasse 70 kam 2005 ein Neubau direkt an der Sihl hinzu. Der niedrige Gebäudeteil des L-förmigen, nach Minergie zertifizierten Neubaus übernimmt die Höhe des angrenzenden Stammhauses, während der Turm die benachbarten Bauten um sechs Geschosse überragt und unter anderem die Turnhallen beherbergt. 2008 wurde dem Neubau die Auszeichnung

«best architecture» in Gold verliehen.

Beim Altbau an der Ausstellungsstrasse, in dem neben den Unterrichtsräumen auch eine Kantine betrieben wird, konnte der Energiestandard dank verschiedener Modernisierungsmassnahmen in der Vergangenheit stetig verbessert werden. Der Gesamtbedarf an Wärme und Strom betrug vor der eBO für beide Gebäude zusammen rund 2,35 GWh/a, bei rund 33 000 m² Energiebezugsfläche. Die daraus resultierenden rund 71 kWh/m² dürfen bereits als recht gut angesehen werden. Der Wasserverbrauch betrug gut 3500 m³ pro Jahr.

Gemeinsam zum Erfolg

2012 entschieden das Hochbauamt des Kantons Zürich und die Schulleitung gemeinsam, beide Gebäude einer eBO zu unterziehen. Der Auftrag beinhaltet im Kern die Projektleitung, die Gesamtkoordination und die Einrichtung des Energiemonitorings. Hinzu kommt noch die technische Beratung vor Ort zur Optimierung der bestehenden gebäudetechnischen Anlagen. Das Personal des technischen Dienstes TBZ wird dabei in Energieeffizienz geschult, sowohl auf der Anlage – durch die Zusammenarbeit mit dem eBO-Experten – als auch in einem Weiterbildungsprogramm. Eine eBO umfasst grundsätzlich alle Bereiche der Gebäudetechnik. Speziell interessant sind an diesen Objekten die Schnittstellen. Dazu gehören etwa das Zusammenspiel verschiedener Wärmeerzeuger, die Abstimmung der Raumwärmeverteilung mit den Lüftungsanlagen oder der Einsatz gewerblicher Kälte bei gleichzeitiger Belüftung. Oberstes Gebot ist es, den Energieeinsatz ohne Nutzen zu vermeiden. Paradebeispiele hierfür ist das Heizen und Kühlen in kurzen Folgeabständen oder gar gleichzeitig. In der Übergangszeit im Frühjahr und im Herbst sind solche Phänomene immer wieder feststellbar und müssen durch geeignete Reglereinstellungen unterbunden werden. Ein weiterer Fokus galt dem Ferien- und Wochenendbetrieb: Wenn der Schulbetrieb ruht, soll nur ein Minimum an Energie aufgewendet werden.

Abbildung 6.9: Der Altbau der Technischen Berufsschule Zürich (Foto: Hochbauamt Kanton Zürich)



Steckbrief

Auftraggeber	Hochbauamt Kanton Zürich
eBO	Energio
Standort	Zürich
Nutzung	Schule
Baujahr	1963 und 2005
Energiekennzahl Wärme vor eBO	35,2 kWh/m ² a
Energiekennzahl Elektrizität vor eBO	36,1 kWh/m ² a
Energiekennzahl Wärme nach eBO	26,0 kWh/m ² a
Energiekennzahl Elektrizität nach eBO	31,9 kWh/m ² a

Umgesetzte Massnahmen und Erfolg

Im Detail wurden folgende Massnahmen umgesetzt:

■ **Heizungsanlagen:** Reduktion der Temperaturüberhöhung und des Kondensatorpumpenbetriebs bei der Wärmepumpe, Absenken von Heizkurve und Heizgrenze, Optimieren der Brennerdüse am Gaskessel, Minimieren des Einsatzes des Backup-Kessels zur Abdeckung der Spitzenlast, Reduktion der Raumtemperatur in der Lüftungszentrale

■ **Lüftungsanlagen:** Optimieren der Volumenströme in Abhängigkeit des CO₂-Gehalts, Programmieren einer Heizgrenze für die Vorwärmung der Aussenluft und Anpassen der Zulufttemperatur im Winter, Senken der Raumtemperatur in Turnhallen, Erhöhen der Ausnützung der Wärmerückgewinnung (WRG)

■ **Kälteanlagen:** Anpassen der Vorlauf-temperatur bei der Kälteerzeugung an die Aussentemperatur (Gleitbetrieb), Reduktion Rückkühltemperatur um 5 K.

■ **Elektroanlagen:** bedarfsabhängiger Betrieb der Getränkeautomaten, Ausschalten ungenutzter Elektrogeräte im Ferienbetrieb

■ **Beleuchtung:** Einsatz von LED-Leuchtmitteln beim Kantinenbuffet, Reduzieren der Betriebszeiten der Beleuchtung im Gangbereich, in WCs und in Getränkeautomaten

■ **Sanitäranlagen:** Reduzieren der Betriebszeiten für die Warmwasserzirkulationspumpen und Einhalten der hygienischen Vorgaben, Einsatz von Wasserspar-düsen

Insgesamt konnten durch die während der fünfjährigen Projektdauer umgesetzten Massnahmen fast 20 % Energie gespart werden. Der Wärmebedarf wurde um 305 MWh/a (26,2 %) und der Strombedarf um 140 MWh/a (11,7 %) reduziert. Damit einher geht eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 69 t/a. Zusätzlich wurde der Wasserbedarf um 433 m³/a reduziert.

Das Konzept des Kantons Zürich

Der Kanton Zürich verfolgt das Ziel, seine Gebäude nachhaltig und energieeffizient zu betreiben. Alle grösseren Gebäude werden deshalb mit der Software IngSoft InterWatt für das Energiedatencontrolling erfasst und einem stetigen Benchmarking unterworfen. Periodische Reports mit Energieberichten und Jahresauswertungen dienen erstens dazu, den Energieverbrauch zu überwachen. Zweitens erlauben sie es, die Wirkung der umgesetzten Massnahmen zu verfolgen und auch zu visualisieren. Bei zu hohen Verbräuchen oder wenn es Hinweise auf Einsparpotenziale gibt, werden die Gebäude einer systematischen Betriebsoptimierung unterzogen. Rund fünfzig eBO-Projekte wurden bisher durchgeführt, mit einer eindrucklichen Wirkung: Der Kanton spart auf diesem Weg 300 GWh Energie und rund 3,5 Mio. Fr. an Kosten – jedes Jahr.

Gesamtenergieverbrauch und Einsparungen [%]

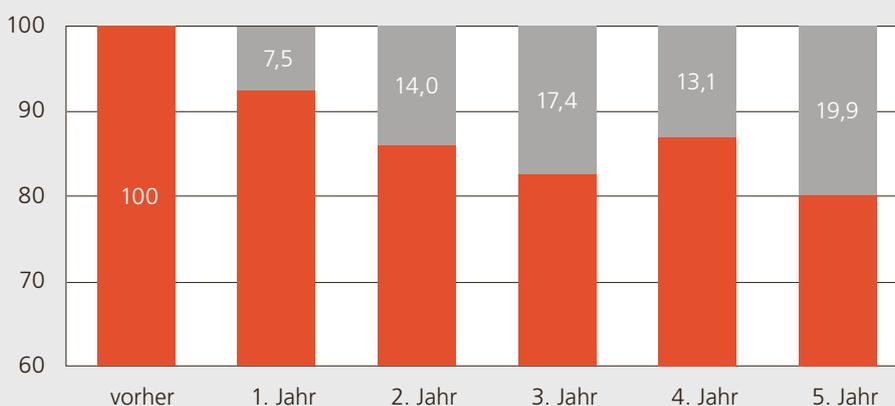


Abbildung 6.10: Technische Berufsschule Zürich – Einspareffekte beim Energieverbrauch durch Betriebsoptimierung. (Quelle: Energo)

Interessant ist, dass der Energiebedarf im vierten Jahr wieder gestiegen ist, nachdem er die Jahre zuvor stets gesunken war (Abbildung 6.10). Dies hat damit zu tun, dass aufgrund der Betriebserfahrungen und nutzerseitigen Rückmeldungen bestimmte Reglereinstellungen wieder nach oben angepasst wurden. Dadurch wird der Spareffekt zwar leicht vermindert, der Nutzerkomfort aber auch auf lange Sicht sichergestellt und die eBO somit nachhaltig. Gleichzeitig wurden an anderen Gewerken weitere Massnahmen umgesetzt. Das wirkte sich im fünften Jahr wieder positiv aus und vermochte die «verlorenen» Einsparungen mehr als zu kompensieren. Hier zeigt es sich, dass eBO oft ein iterativer Prozess ist. Es zeigt aber auch, dass beim Umsetzen der Massnahmen die Reihenfolge auch eine wichtige Rolle spielt – das Merkblatt SIA 2048 hilft hier weiter.

*Abbildung 6.11:
Der 2005 erstellte
Neubau.
(Foto: Ivan Suta)*



Wesentlich für den Erfolg des Projekts waren die sehr gute Zusammenarbeit aller Beteiligten und die uneingeschränkte Unterstützung durch die Schulleitung. Wichtig war auch, dass die Entscheide zur Umsetzung der eBO-Massnahmen gemeinsam getragen, die Projektmeilensteine konsequent eingehalten wurden und die Kommunikation stets gut war.

Vorteil Monitoring

Ein wichtiges Hilfsmittel bei diesem Projekt ist das Energiemonitoring. In der ersten Phase gibt es Aufschluss über die Verbräuche der wichtigsten Anlagen. Zudem zeigt es, wie die Anlagen betrieben werden. Nach der Analyse dieser Daten können Prioritäten gesetzt werden, wo mit der eBO zu beginnen ist.

Sind erste Massnahmen umgesetzt, liefert das Monitoring die Grundlagen für die Wirkungskontrolle. Bei Projektende zeigen die Gesamtverbräuche, wie viel gegenüber dem Referenzwert gespart wurde. Selbstverständlich werden dabei die Werte klimakorrigiert. Die Software für das Energiedatencontrolling importiert dazu die entsprechenden Klimadaten von MeteoSchweiz. Über das Energiemonitoring kann zugleich auch die Stromproduktion der hauseigenen PV-Anlage überwacht werden.

6.4 Grosses Potenzial bei Sporthallen

Raphael Neuhaus

Die Sporthalle Wankdorf in Bern (Abbildung 6.12) wurde 1996 erstellt und beinhaltet im Kern eine Dreifach-Turnhalle mit Tribüne für 3000 Zuschauer. Neben Garderoben und Gastküche für Sportanlässe sind auch Schulungsräume und eine Aussenanlage Teil der Nutzung.

Das Areal wurde während fünf Jahren einer eBO unterzogen. Bei der Suche nach Massnahmen wurde besonders auf den Komforterhalt sowie die unterschiedlichen Betriebszustände und Nutzungen der Sporthalle Rücksicht genommen. Je nach Nutzung unterscheidet sich die Belegung der Halle massiv. So kann es beispielsweise sein, dass sie tagsüber leer steht, am Abend aber eine Veranstaltung mit 2500 Zuschauern samt Gastrobetrieb beherbergt.

Massnahmen und Erfolge

Die mit CO₂- und Temperaturfühlern ausgestattete Lüftungsanlage wird via ein übergeordnetes Gebäudeleitsystem betrieben. Das erlaubte es, die Luftmengen insgesamt zu reduzieren und gleichzeitig so zu regeln, dass sie den effektiven Be-

Abbildung 6.12: Sporthalle Wankdorf, Bern. (Foto: Stadt Bern)



Steckbrief	
Auftraggeber	Stadt Bern
eBO	Energo
Standort	Bern
Nutzung	Sporthalle
Baujahr	1996
Einsparung fossile Energie nach 5 Jahren	27 %
Einsparung Strom nach 5 Jahren	17 %

dürfnissen entsprechen. Die Herausforderung beim Optimieren der Lüftung bestand darin, die innenliegenden Nasszellen ausreichend zu lüften. Hier gilt es sicherzustellen, dass die Feuchtigkeit abtransportiert werden kann und kein Schimmel oder unangenehme Gerüche entstehen.

Gerade bei der Optimierung der Lüftung war das gute Fachwissen des technischen Diensts vor Ort sehr wertvoll. Durch regelmässige Kontrollen im Gefolge von Optimierungen und selbständig durchgeführte Anpassungen am Luftverteilsystem, sorgte er dafür, dass die Luftmengen auf das nötige Minimum reduziert werden konnten. Mit den eBO-Massnahmen an den grossen Lüftungsanlagen konnte viel Energie gespart werden. So hatte die Reduktion der Luftmenge um 12 % eine Stromeinsparung von rund 35 % bei den Ventilatorantrieben zur Folge.

Der Strombedarf konnte zusätzlich verringert werden, indem die bestehende Hallenbeleuchtung teilweise auf LED-Scheinwerfer umgerüstet wurde. Bei der Gangbeleuchtung wurde ein Drittel der Leuchten demontiert und bei den Aussen-scheinwerfern wurden die Betriebszeiten reduziert (Abbildung 6.13). Insgesamt konnte der Elektrizitätsbedarf in 5 Jahren um 17 % verringert werden.

Da die Halle mehrheitlich über die Lüftung geheizt wird, konnte durch den geringeren Luftwechsel auch bis zu 25 % Wärmeenergie gespart werden. Zudem konnte der Wärmeverlust in der Halle mit kostengünstigen baulichen Massnahmen, wie automatischen Türschliessern, weiter reduziert werden (Abbildung 6.14).

Zusammen erfolgreich

Nur durch Massnahmen an der gut regel- und steuerbaren Haustechnik alleine wäre die eBO nicht so erfolgreich umsetzbar gewesen. Die Zusammenarbeit mit dem gut ausgebildeten Personal sowie die Unterstützung durch den Auftraggeber lieferten einen wertvollen Beitrag. Wichtig war dabei, stets alle Beteiligten über den Fortschritt zu informieren, da die unterschiedlichen Parteien verschiedene Interessen vertreten.

Insgesamt konnte der Energieverbrauch (Wärme und Strom) mit 37 Massnahmen in 2 Jahren um 22 % und nach 3 Jahren um 29 % verringert werden. In absoluten Zahlen sank der jährliche Bedarf nach 3 Jahren um rund 120 000 kWh Strom und 180 000 kWh Wärme. Die dadurch gesparten Energiekosten überstiegen die Kosten für die eBO bereits innerhalb von zwei Jahren (Payback), wobei die Optimierungsmassnahmen noch heute wirken.

Wie bilanzieren?

Wie so oft war auch hier die Frage nach der Finanzierung der eBO ein zentraler Punkt. Erstaunlicherweise sind oft weder finanzielle noch betriebswirtschaftliche Aspekte ein grosses Hindernis für die ra-

sche Umsetzung. Vielmehr ist die Budgetplanung respektive die Verbuchung der Einsparungen oft ein Problem.

Aus Sicht des Auftraggebers muss die eBO budgetiert und als Aufwand in der Buchhaltung verbucht werden. Die gesparten Energiekosten können aber nicht als Einnahmen abgebildet werden, sondern nur in Form von vermindertem Aufwand. Der Energieverbrauch und die daraus resultierenden Energiekosten können je nach Jahreswitterung aber schwanken und sind schwer planbar. Erschwerend kommt hinzu, dass die Kosten für die eBO und die erzielten Einsparungen beim Auftraggeber oft anderen Abteilungen (etwa der Umwelt- oder der Finanzabteilung) angerechnet werden. Die buchhalterische Bewer-

Abbildung 6.13:
Energieverbrauch
Strom, Sporthalle
Wankdorf: 2011
Teilersatz der
Hallenbeleuchtung,
2013 Anpassung der
Lüftungsanlage.
(Quelle: Ergo)

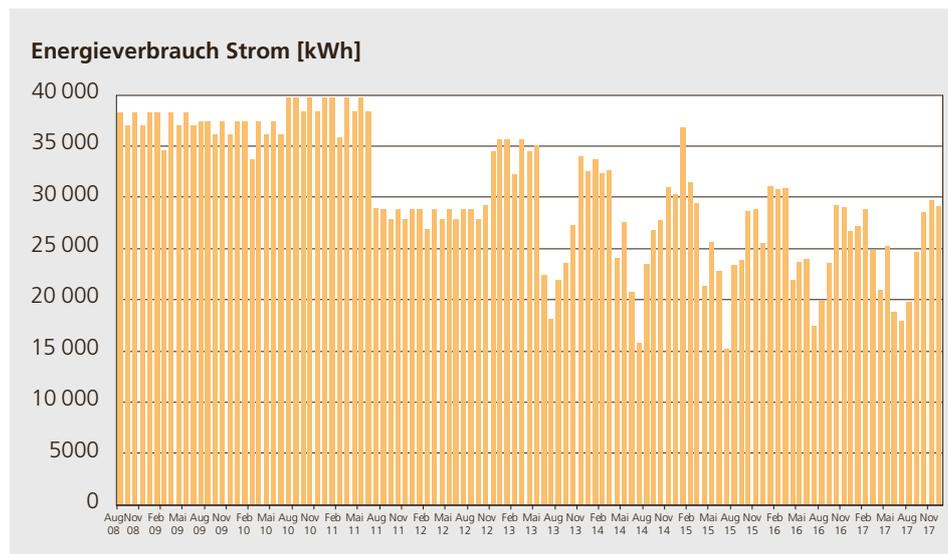
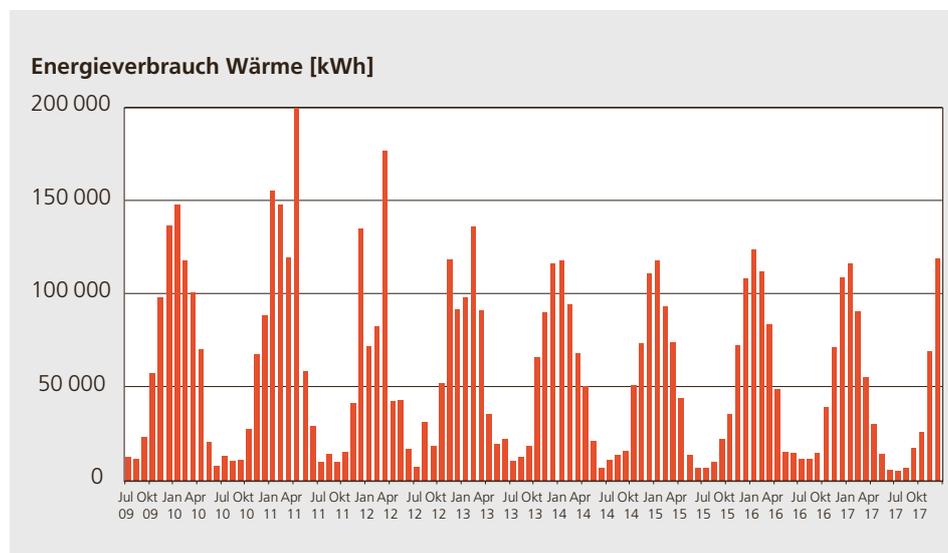


Abbildung 6.14:
Energieverbrauch
Wärme, Sporthalle
Wankdorf, witterungs-
bereinigt:
2013 wurden die
Lüftungsanlagen
angepasst,
2013/2014 wurden
die automatischen
Türschliesser instal-
liert. (Quelle:
Ergo)



tung in einer Jahresrechnung kann deshalb sehr schwierig sein und muss innerhalb der Organisation vorgängig geklärt werden. Das braucht viel Überzeugungskraft von allen Beteiligten.

Dieses Problem liess sich auch bei der Sporthalle nur bedingt lösen. Via ein geeignetes, seitens der eBO-Spezialisten bereitgestelltes Energiedatencontrolling konnte aber mit effektiven Messwerten gezeigt werden, wie hoch der Verbrauch pro Jahr und die entsprechenden Einsparungen sind. So liessen sich die gesparten Betriebskosten recht gut ausweisen.

Für den Nachweis der Effizienzsteigerung ist die Energiesignatur ein probates Mittel. Diese grafische Darstellung (Abbildung 6.15) zeigt den gemessenen Energie-

bedarf im jeweiligen Gebäude bei einer bestimmten Aussentemperatur und ist damit quasi dessen energetischer Fussabdruck. Die Energiesignatur wird für jedes Gebäude eigens erstellt und ist individuell. Das Monitoring erleichtert die Kommunikation zwischen den verschiedenen Parteien und führt so zu einer erfolgreichen und nachvollziehbaren eBO.



Abbildung 6.16: Die bestehende Hallenbeleuchtung wurde teilweise auf LED-Scheinwerfer umgerüstet. (Foto: Stadt Bern)

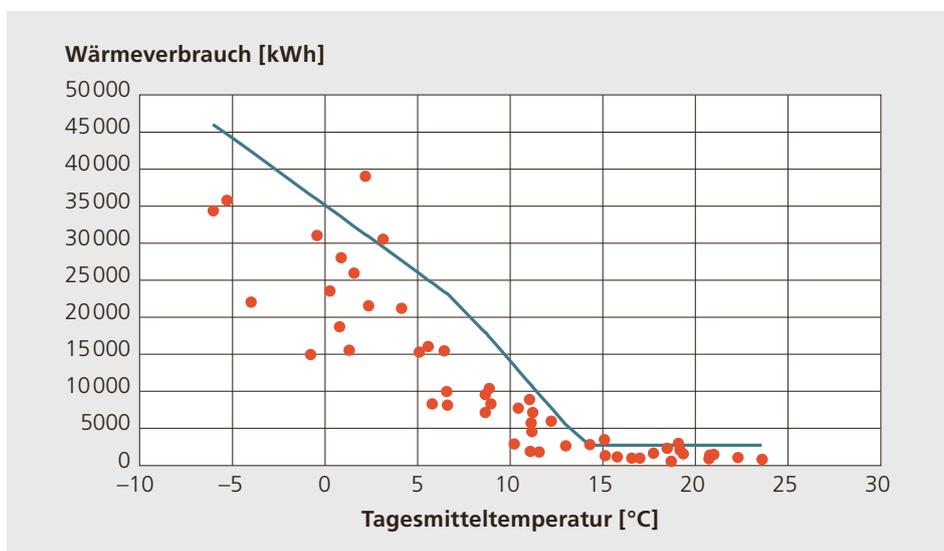


Abbildung 6.15: Energiesignatur Wärme, Sporthalle Wankdorf: Die blaue Linie zeigt den Energieverbrauch nach Aussentemperatur im Referenzjahr. Die roten Punkte zeigen den gemessenen Energieverbrauch 2016/2017. Die Abweichung entspricht der gesparten Wärmeenergie. (Quelle: Energo)

Anhang

Ernst Sandmeier

7.1 Begriffe, Definitionen

Wenn nicht anders vermerkt ist, stammen die Definitionen aus dem Merkblatt SIA 2048 Energetische Betriebsoptimierung.

Analyse

Umfasst das Beschaffen und das systematische Auswerten von Informationen (z. B. Energie- und Betriebsdaten von Anlagen) sowie deren Interpretation.

Betreiber

Die mit der Bewirtschaftung der entsprechenden Gebäudetechnikanlagen betrauten Stellen. Das betrifft die kaufmännische Bewirtschaftung (Liegenschaftsverwaltung) ebenso wie die technische und infrastrukturelle Bewirtschaftung (z. B. technischer Dienst, Hausdienst).

Der Betreiber stellt unter anderem den energieoptimalen Betrieb der Anlagen und die geforderte Verfügbarkeit sicher.

Eigentümer

Als Eigentümer wird hier bezeichnet, wer die entsprechenden Gebäudetechnikanlagen besitzt. Dabei ist es unerheblich, ob dies der Eigentümer oder Mieter des Gebäudes oder Gebäudeteils ist.

Endnutzer

Die natürlichen Personen, die das Gebäude nutzen (im Gebäude Arbeitende, Bewohner, Besucher, Kunden, Patienten usw.).

Energetische Betriebsoptimierung (eBO)

Die energetische Betriebsoptimierung zeigt Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf, die für Gebäudenutzer keine merklichen Komforteinbussen bewirken, eine kurze Payback-Dauer (in der Regel kürzer als 2 Jahre) aufweisen, kostengünstig sind und in der Regel ohne ordentlichen Planungsprozess umgesetzt werden können. Die eBO folgt einem schrittweisen Vorgehen mit strukturierter

Planung und Umsetzung einzelner Massnahmen. Das Resultat ist die Summe der erfolgreich und dauerhaft umgesetzten Massnahmen.

Energiecontrolling

Anwendung von Methoden des Controlling auf die Betriebsphase des Prozesses von Energiebereitstellung, -verteilung und -anwendung im Gebäude [1].

Umfasst das Energiemonitoring, das Plausibilisieren, das Normalisieren, das Bewerten (u. a. mit Hilfe von Benchmarking) des Energieeinsatzes. Dazu gehört auch das Berichten an die zuständigen Stellen (Entscheidungssträger, Betreiber, Nutzer usw.), damit diese entscheiden können, ob und welche Massnahmen sinnvoll sind.

Energieeffizienz

Mass für den Energieaufwand für den festgelegten Nutzen. Ein Vorgang ist dann energieeffizient, wenn ein bestimmter Nutzen mit minimalem Energieaufwand erreicht wird.

Energiemonitoring

Kontinuierliches Erfassen von Daten, Informationen und Betriebszuständen durch Beobachten und/oder Überwachen eines Vorgangs oder Prozesses. Die erfassten Daten werden langfristig auf einem geeigneten Datenträger gespeichert und archiviert [1].

Energie-Referenzwert

Energieverbrauch, der als Basis zur Berechnung der Verbrauchsreduktionen im Rahmen einer eBO herangezogen wird.

Energiesignatur

Grafische Darstellung der periodisch erfassten Energieverbrauchswerte in Funktion einer Bezugsgrösse über einen fixen Zeitraum (z. B. Wochenenergieverbrauch in Funktion der mittleren Wochenaussen-temperatur über ein Jahr).

Freecooling (freie Kühlung)

Kühlung mittels Umweltmedien. Beispiele: Kühlturbetrieb unter Umgehung der Kältemaschine, (Nacht-)Auskühlung von Gebäuden mit Aussenluft, Kühlung mit Grund- oder Flusswasser.

Gebäudeautomationssystem (GA-System)

System, bestehend aus allen technischen Einrichtungen und Dienstleistungen für die automatische Steuerung und Regelung (einschliesslich Logikfunktionen), Überwachung, Optimierung, den Betrieb sowie für manuelle Eingriffe und das Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Gebäudebetrieb.

Gebäudetechnische Anlagen

Gesamtheit der Anlagen, die ortsfest in Gebäuden verbunden sind (Elektroanlagen, Kommunikationsanlagen, Heizungsanlagen, Lüftungs- und Klimaanlage, Kälteanlagen, Sanitäranlagen, Transportanlagen usw.).

Inbetriebnahme

Aufnahme des Betriebs einer Anlage zur Nutzung. [2]

Inbetriebsetzung

Einregelung und Kontrolle der definierten Funktionen einer Anlage, inklusive Installation der Steuerungs-, Regelungs-, Bedien- und Managementfunktionen, zur Erreichung und Optimierung der definierten Betriebszustände. [2]

Nutzer

Der Nutzer (bei Geschäftsliegenschaften in der Regel eine juristische Person) nutzt das betreffende Gebäude oder Teile davon. Als Mieter leistet der Nutzer dem Vermieter dafür einen Mietzins. Bei Eigengebrauch besteht in der Regel kein Mietverhältnis. Die Raumkosten können dem Nutzer trotzdem nach firmen- oder verwaltungs-internen Modalitäten verrechnet werden.

Planer

Dem Planer obliegt es, die für eine energieoptimale Inbetriebsetzung erforderlichen Schritte vorzusehen und deren Ausführung entsprechend zu überwachen.

Verteilnetzbetreiber

Juristische Person (Organisation), die für den Betrieb der Infrastrukturnetze verantwortlich ist (z.B. Elektrizitäts-, Gas- und Wasserwerke). Kann Daten der Verrechnungszähler zur Verfügung stellen.

Literatur

- [1] German Facility Management Association: GEFMA Richtlinie 124-1, Energiemanagement, Grundlagen und Leistungsbild, 2009, www.gefma.de
- [2] Schweizer Ingenieur- und Architektenverein: Norm SIA 118/380, Allgemeine Bedingungen für Gebäudetechnik, 2007

7.2 Abkürzungen

ABL	Abluft	MSRL	Messen, Steuern, Regeln, Leiten
ARA	Automatische Abwasserreinigungsanlage	MuKEn	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
ATD	Akkumulierte Temperaturdifferenz	NSE	Non-Sustainable Exergy
AUL	Aussenluft	PQM	Project Quality Management
AWN	Abwärmenutzung	SFP	Specific Fan Power
BaN	Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit	SWKI	Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren
BIM	Building Information Modeling	SVIT	Schweizerischer Verband der Immobilienwirtschaft
BoN	Betrieb ohne Nutzen	TabS	Thermoaktive Bauteilsysteme
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology	TQM	Total Quality Management
BWW	Brauchwarmwasser	TWW	Trinkwarmwasser
COP	Coefficient of Performance – Leistungszahl bei Wärmepumpen	UGR-Wert	Unified Glare Rating – Blendwert
DEA	Druckerhöhungsanlage	USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	VAV	Variable Air Volume – variabler Volumenstrom
DRV	Druckreduzierventil	WRG	Wärmerückgewinnung
EBF	Energiebezugsfläche	WWSP	Warmwasserspeicher
eBO	Betriebsoptimierung	ZUL	Zuluft
EER	Energy Efficiency Ratio – Leistungszahl bei Kältemaschinen		
EMS	Energiemanagementsystem		
eS	Energetische Sanierung		
FEKA	Energiegewinnung aus Abwasser (z. B. System FEKA)		
FOL	Fortluft		
FU	Frequenzumrichter		
GA	Gebäudeautomation		
HGT	Heizgradtage		
HLK	Heizung, Lüftung, Klima		
IBN	Inbetriebnahme		
IOT	Internet of Things		
IPB	Interessengemeinschaft privater, professioneller Bauherren		
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change		
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol		
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren		
KGT	Kühlgradtage		
KUB	Kammer Unabhängiger Bauherrenberater		
KVS	Kreisverbundsystem		

7.3 Arbeitsinstrumente

Zoran Alimpic

Ziel der eBO ist es, die Energieeffizienz von bestehenden Gebäuden zu verbessern. Dies wird ermöglicht, indem gebäudetechnische Anlagen und Geräte richtig betrieben werden. Das Merkblatt SIA 2048 beinhaltet eine dafür geeignete Methodik (siehe Abbildung 1.1).

Basis für die Definition effektiver Massnahmen sind Daten, die analysiert und ausgewertet werden. Als Arbeitsinstrumente dienen dabei die gewerkspezifischen Checklisten nach Merkblatt SIA 2048 [1]. Weitere Checklisten für energetische Inspektionen sind im Einheitsblatt VDMA 24197 [2], in der Norm SN EN 15239 [3] und der Norm SN EN 15240 [4] zu finden. Nützliche Angaben enthält zudem die Norm SIA 118/380-C1 [5].

Bei der Umsetzung der Massnahmen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Leitung der Umsetzung durch das Projektmanagement im Rahmen des Project Quality Management (PQM) oder des Total Quality Management (TQM)
- Dokumentation der Massnahmen durch Nachführen des Anlagenjournals und der Parameter- und Sollwertlisten
- Aktualisieren der Anlagedokumentation und der Massnahmenlisten
- Statusreport für die Auftraggeber, Abgabe einer eBO-Dokumentation (nach BIM)
- Instruktion des Betriebspersonals respektive des Nutzers

Die Erfolgskontrolle beinhaltet:

- Vergleich des Energiebezugs mit dem Referenzwert (Ist-Soll-Vergleich) und mit prognostizierten Werten unter Berücksichtigung möglicher Klimakorrekturen oder Produktionszahlen. Dies kann beispielsweise mit der Energiesignatur im Rahmen eines Energiemanagements erfolgen.
- Referenzmessungen, Abfragen der Benutzerzufriedenheit und Komfortbedingungen aufgrund von Reklamationen und Störmeldungen
- Einbezug des International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) [6] oder eines gleichwertigen Protokolls

Folgende Checkpunkte können als Arbeitsinstrument für eBO-Projekte dienen:

- Baujahr der Anlagen und möglicher Sanierungen
- Messkonzept mit Zählerdaten der Netzbetreiber, Versorgungsunternehmen und auch privater Unterzähler
- Aktuelle Energietarife inklusive Anschlussgebühren und Leistungstarife
- Revisionsunterlagen mit allen Prinzipschemas sowie allenfalls Anlagelisten und Datenblättern
- Funktions- und Regelbeschriebe mit allen Parametern, Kontrollen, Referenzmessungen und Garantiedaten
- Sollwerte wie Heizkurven, Raumtemperaturen, Raumluftfeuchten, Stoffkonzentrationen, Qualität etc.
- Mess- und Trenddaten aus Gebäudeautomationssystemen, meteorologische Daten, Betriebsstunden etc.
- Reinigung, Hygiene, Komfortprobleme etc.
- Sicherheit und Redundanz mit Funktionskontrolle von Schutzmassnahmen inklusive Brand- und Rauchmeldeanlagen sowie Gefahrgütern
- Anlagebegehungen mit Kontrolle der Umsetzung von Vorschriften bezüglich Sicherheit, Hygiene und Betrieb

Literatur

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Merkblatt 2048:2015, Energetische Betriebsoptimierung, Anhänge A und B, Zürich, 2015
- [2] Verein des Maschinen- und Anlagenbaus: Einheitsblatt VDMA 24197, Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen, Berlin, 2012.
- [3] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Norm SN EN 15239:2007, Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen, Zürich, 2007.

- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Norm SN EN 15240:2007, Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Klimaanlage, Zürich, 2007.
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Norm SIA 118/380-C1:2017, Allgemeine Bedingungen für Gebäudetechnik – Korrigenda C1, Zürich, 2017.
- [6] www.evo-world.org

7.4 Autoren

Zoran Alimpic, Prof. Dr. dipl. Ing.; MBA; hauptamtlicher Forschungsdozent für Gebäudetechnik am Institut für Gebäudetechnik und Energie der Hochschule Luzern – Technik & Architektur; CEO Evoplan AG, Technik & Energie, VRP von Evomed AG, Spital & Laborplanung.

Matthias Balmer, Prof. Dipl. HLK Ing. HTL, MAS HSLU Designingenieur; Koordinator Lehre Studienrichtung HLKS am Institut für Gebäudetechnik und Energie der Hochschule Luzern – Technik & Architektur; hauptamtlicher Dozent für Gebäudetechnik & Energie sowie Lüftungs- und Klimatechnik. Gründer und Geschäftsführer von Balmer Energie & Gebäudetechnik Engelberg.

Peter Böhler, MSc ETH Umwelttechnik, CAS Nachhaltiges Bauen/Energieeffizienz/Change Leadership; Inhaber der Böhler MTU GmbH, Kriens; Tätig als Betriebsoptimierungsingenieur (Ergo), ACT Energiespezialist, GEAK-Experte, Dozent bei Sanu Future Learning AG und Inovatech.

Markus Hubbuch, Prof. ZFH, Dipl. Masch. Ing. ETH/SIA; Dozent und Forscher für Gebäude- und Energiemanagement am Institut für Facility Management, ZHAW, Unterricht in den Studiengängen BSc und MSc Facility Management, BSc Umweltingenieurwesen sowie Leitung zweier CAS in den Weiterbildungsprogrammen MAS Facility Management und MAS Nachhaltiges Bauen.

Daniel Imgrüth, dipl. Elektroingenieur FH; MAS Energiewirtschaft; MAS Wirtschaftsingenieur; Leiter Verkauf, Projekte und Marketing Deutschschweiz und Mitglied erweiterte Geschäftsleitung Ergo; Bereichsleiter Energieeffizienz Schnyder Ingenieure ZG AG; Nebenamtlicher Dozent «Energie und Umwelt» an der TEKO.

Thomas Lang, Dipl. Ing. HTL, Wirtschaftsingenieur STV; seit 2010 geschäftsführender Partner bei Zweiweg GmbH. Vorher Senior Berater für Social Change und Leiter von komplexen Kommunikationsprojekten im Energie-, Umwelt- und Mobilitätsbereich bei K. M. Marketing in Winterthur.

Angelo Lozza, Dipl. HLK-Ing. HTL, NDS Energie; Experte für Betriebsoptimierung und Energieeffizienz; Inhaber und Geschäftsführer Lozza Energie und Gebäudetechnik.

Raphael Neuhaus, BSc Maschinentechnik, MAS Energieingenieur für Gebäude; Projektleiter Gebäudetechnik; tätig als Betriebsoptimierungsingenieur bei Energo.

Roger Neukom, dipl. Sanitärtechniker TS/SIA; Geschäftsleiter und Mitinhaber der Neukom Engineering AG; nebenamtlicher Dozent Höhere Fachschule für Technik Fachrichtung Gebäudetechnik an der Bau-gewerblichen Berufsschule Zürich; Mitglied Schweizerische Bildungskommission Suis-setec.

Ernst Sandmeier, Dipl. Chem.-Ing. ETH; Senior Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Gebäudetechnik und Energie der Hochschule Luzern – Technik & Architektur.

Björn Schrader, Prof. dipl. El. Ing. TU; Dozent, Leiter der Themenplattform Licht@hslu an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur; Mitglied des Expert Boards der Electrosuisse, Inhaber des Beratungsbüros Lichtkollektiv.

Roland Stadelmann, Dipl. Betriebs- und Produktionsingenieur ETH; Leiter Marktbe-reich Deutschschweiz und Mitglied der Ge-schäftsleitung Energo; Geschäftsführer der Schnyder Ingenieure ZG AG.

Olivier Steiger, Prof. Dr., Leiter der For-schungsgruppe «Licht, Automation und elektrische Systeme im Gebäude» am Insti-tut für Gebäudetechnik und Energie der Hochschule Luzern – Technik & Architek-tur; Dozent für Gebäudeautomation und IoT.

Volker Wouters, Prof. dipl. El. Ing. HTL/SIA; Hauptamtlicher Dozent Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie; Leiter Tech-nik und Wissenschaft bei HKG Engineering AG, Mitinhaber seit 2000; Kommissions-präsident SIA 387/4 Elektrizität in Gebäu-den – Beleuchtung: Berechnung und An-forderungen und SIA 2056, Elektrizität in Gebäuden – Energie- und Leistungsbedarf.

7.5 Stichwortverzeichnis

A

Abgaskondensation 40
 Abwärme aus Abwasser 80
 Abwärme aus Druckluft 79
 Abwärme aus Prozessen 80
 Abwärmennutzung (AWN) 77–80
 Akquisition 132–134
 Anforderungen an Lüftungsanlagen 50
 Argumentation 135
 Auslaufarmaturen, Zapfstellen 43
 AWN bei Kältemaschinen 78

B

Bauphysikalische Rahmenbedingungen 19–24
 Bauphysik der Gebäudehülle 20
 Bauwerksdokumentation 141–143
 Bedarfsgerechter Betrieb 93
 Begehung 90
 Beleuchtung 29
 Beleuchtung, Effizienz 31
 Beleuchtung, Energieverbrauch 30
 Berichterstattung 121
 Betreiber-Typen 126
 Betrieb ausserhalb der Nutzungszeit 73
 Betrieb ohne Nutzen 73
 Bewertungskriterien eBO-Massnahmen 100
 Bildungsbauten 150–152
 BIM 142
 Blendschutz 23
 Blindstromkompensation 71

C

CO₂-Abgabe 9
 CO₂-Produktion Mensch 17

D

Dampfdiffusion 21
 Daten erfassen, analysieren und darstellen 90–92
 Dauerauftrag 12
 Deselektische Notstromanlagen 81
 Display-Kampagne 98
 Druckdifferenzregelung 55
 Druckerhöhungsanlagen 47
 Druckluft 70
 Druckluftanlage, Energiefluss 70

E

eBO, Definition 5–6
 eBO, erforderliche Daten 88
 eBO, Kostenverteilung 131
 eBO, Nutzen 8
 eBO, Phasen 109–111
 eBO, Schnittstellen 140–141
 eBO und Neubauten 145–146
 Einfluss der Bekleidung 18
 Elektrische Energieversorgung 81
 Empfundene Temperaturen und Raumluftfeuchten 61
 Endnutzer 136
 Energiearten, Definition 95
 Energiekennwerte 118
 Energiemanagementsysteme 75
 Energiesparcontracting 12
 Enthärtungsanlagen 47
 Entscheide herbeiführen 106–108
 Erfolgskontrolle 74, 118–120
 Erfolgssicherung 118–120
 Erneuerungsdiagramm 98

F

Fensterplanung, Tageslicht 22
 Filterklassen, Lüftung 59
 Frischluftöffnungen Heizkessel 39

G

Gebäudeautomation 74–77
 Gebäudeelektrotechnik 71
 Geschäftsmodelle 12
 Gewinnvergleichsrechnung 112, 116
 Grädigkeit 66, 68
 Graphische Analysemethoden 90

H

Heizkesseltemperatur 40
 Heizkesselwirkungsgrad 40
 Heizkurve 37
 Heizung 36–42
 Heizung, Absenkbetrieb 38
 Heizung, bivalente Anlagen 41
 Hemmnisse 7
 Honorarauftrag 12

I

Innenluftqualität 24
 Interaktionsschema 101
 Investition versus Optimierung 6
 IoT 74, 75
 Istzustand 87

K

Kältemaschine 66
Kälteverbraucher hydraulische Schaltungen 65
Kälteverteilung 64
Kennzahlenbildung 93
Klimakälte 63
Komfortansprüche 25–28
Komfort und Energie 15
Kommunikation 125–144
Kooperation 102–106
Kostenverteilung 13
Kunstlicht, Bestandsaufnahme 29

L

LED-Retrofit-Lampen 33
Leuchtstofflampen, technische Daten 32
Luftaufbereitung 53
Luftdichtheit 21
Luftfilter 58
Luftmenge, Regelung 54
Luftqualität, Messgrößen 49
Lüftung 49–59
Lüftung, thermische Effizienz 55
Luftverteilung 51

M

Mängel, Umgang mit 5
Massnahmen bewerten 94
Massnahmen erarbeiten und priorisieren 94–100
Massnahmen umsetzen 101
Methodik 87–124
Minimaler Aussenluftvolumenstrom 17
Motivation 127–128
MuKE n 10

N

Nachtauskühlung 61
Netztransformatoren 81
NSE-Diagramm 99
Nutzerinstruktion 136–140
Nutzerzufriedenheit 118
Nutzungszyklus Gebäude 9

P

Payback-Methode 114, 116
Pflegeheim 147
Photovoltaik 82–83
Potenzialabschätzungen 94

R

Raumkühlung 60–62
Raumluftfeuchte 50
Raumluftqualität 26
Raumtemperatur 25
Regenwassernutzungsanlagen 49
Relative Luftfeuchte 24, 26
Risiken, betriebliche 122
Rückfeuchtezahl 56

S

Sanitäre Anlagen 46–49
Schalldämmung 22
Schwachstromanlagen 73
Sicherheitsbeleuchtung 72
Solarthermie 83–84
Sonnenschutz 23
Speicherung von Wärme und Feuchte 24
Sporthallen 43, 153–155

T

Technisches Monitoring 75
Temperaturansprüche 18
Transportanlagen 34–35

U

USV-Anlagen 71
USV-Batterien 72

V

Ventilatoren, Energieeffizienz 55
Verhaltensänderung, Nutzer 128
Verhandeln 134

W

Wärmeabgabe des Menschen 17
Wärmeabgabe Heizkörper 39
Wärmehaushalt des Menschen 15
Wärmepumpen 41
Wärmerückgewinnung (WRG) 77
Warmwasseranlagen 42–45
Warmwasser, Verteilungen 44
Wasserspandüsen 47
Widerstände und Konflikte 129–131
Wirtschaftlichkeit 112–117
WRG-Systeme, Lüftung 56

Z

Ziele 7
Zielvereinbarung 10
Zinssatz, interner 114, 117
Zugluft 26