

Sia

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Società svizzera degli ingegneri e degli architetti



Impulsprogramm RAVEL
Bundesamt für Konjunkturfragen

Leitfaden für die Anwendung der
Empfehlung SIA 380/4

Elektrische Energie im Hochbau

SIA-Dokumentation D0131

SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein,
Postfach, CH-8039 Zürich, Tel. 01/283 15 15, Fax 01/201 63 35
Normen- und Drucksachenverkauf Tel. 01/283 15 60

Projektorganisation und Trägerschaft

Redaktion

Dr. H. Gugerli	Ing. SIA, Intep AG, Zürich	Leitung, Sachbearbeitung
S. Gasser	Ing. SIA, CIMREZ, Zürich	Sachbearbeitung
E. Füglistner	Ing. HTL, Intep AG, Zürich	Sachbearbeitung
M. Kunz	Lic.phil., Intep AG, Zürich	Gestaltung, Schlussredaktion

Begleitgruppe

M. Hänger	Ing. SIA, Zürich	Projektleiter Umsetzung SIA 380/4
R. Lang	Ing. SIA, Zürich	Präsident SIA Kommission 380/4
Dr. Ch. Weinmann	Ing. SIA, Echallens	Leiter RAVEL Ressort 11
F. Jehle	Ing., Liestal	Leiter RAVEL-Kurse "Elektrische Energie im Hochbau"
Dr. H.P. Eicher	Ing. SIA, Liestal	BEW-Projekt «Elektrosparanalysen»

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein

mit Unterstützung durch RAVEL, Impulsprogramm «Rationelle Verwendung von Elektrizität»
des Bundesamtes für Konjunkturfragen (BFK)

Copyright ©1996 by SIA Zürich

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das des Übersetzung, vorbehalten.

Inhalt

1.	Vorwort	1
2.	Einleitung	3
2.1	Ziele und Inhalte der Empfehlung 380/4	4
2.2	Zweck und Aufbau des vorliegenden Leitfadens	5
3.	Einführung in die Empfehlung SIA 380/4	7
3.1	Die zentralen Elemente von SIA 380/4	8
3.2	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfes	10
3.3	Nutzungsbedingungen und Nutzungsstunden	14
3.4	Anforderungen	16
3.5	Planungsablauf, Aufgaben und Leistungen	22
4.	Berechnung des Elektrizitätsbedarfs	27
4.1	Übersicht über die Berechnungsverfahren	29
4.2	Schätzung aufgrund von Erfahrungswerten	31
4.3	Einfache Berechnung über spezifische Leistung, Betriebsfaktoren und Vollaststunden	33
4.4	Ermittlung aus Projektdaten der Haustechniksysteme	49
4.5	Hinweise auf Verfahren zur Detailberechnung	53
5.	Anwendungsbeispiel «Neubau»	57
5.1	Einleitung	58
5.2	Vorstudie	60
5.3	Vorprojekt	64
5.4	Projekt	68
5.5	Nutzen aus der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4	72
6.	Anwendungsbeispiel «Erneuerung»	75
6.1	Einleitung	76
6.2	Elektrizitätsverbrauchsanalyse (Vorstudie)	78
6.3	Vorprojekt	84
6.4	Projekt und Ausführung	88
6.5	Nutzen aus der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4	90
Anhang		
A1	Checkliste für Gesamtleiter/Architekt	
A2	Anlagekenndaten und Betriebsfaktoren zur einfachen Berechnung gemäss Abschnitt 4.3	
A3	Vollständige einfache Berechnung zu Fallbeispiel «Neubau»	
A3	Referenzen	

1. Vorwort

1987 lancierte eine Initiativgruppe innerhalb des SIA die Idee, eine Empfehlung für die effiziente Anwendung von Elektrizität im Hochbau auszuarbeiten. Die politische Bedeutung dieses Anliegens sowie das erwartete grosse Sparpotential führten dazu, dass das Central Comité des SIA 1988 eine Kommission einsetzte, in der auch die Elektrizitätsproduzenten und -anwender vertreten waren. Die Forschungsarbeiten wurden durch den Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) und das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) finanziert. Die Kommission 380/4 begleitete und führte die Arbeiten an der nun vorliegenden Empfehlung. Zur Verbesserung der Datenlage und einer gezielten Erprobung wurde 1991 das vom BEW getragene Projekt «Anwendung 380/4» ausgelöst. Mit der einjährigen Erprobungsphase einer Vorversion der Empfehlung im Jahre 1992 wurden bei der Erarbeitung neue Wege beschritten. Die Empfehlung wurde im Dezember 1995 durch den SIA in Kraft gesetzt.

Der Weg, den die Kommission SIA 380/4 und die zahlreichen beteiligten Fachexperten in der siebenjährigen Entwicklung der Empfehlung gehen mussten, war geprägt durch die «Schwesternorm» SIA 380/1 «Energie im Hochbau», die das Vorgehen im Wärmesektor regelt. Die Handhabung des Elektrizitätsverbrauches erwies sich aber als bedeutend schwieriger, da es sich nicht, wie bei der Raumwärme, um eine einheitliche Nutzungsanforderung handelt. Die in der Natur der Elektrizitätsanwendung liegenden vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten mussten berücksichtigt werden. So bestand das wesentliche Konzept darin, eine einheitliche Kommunikationsplattform zu schaffen und Regeln zu deren Anwendung zu erstellen.

Man kann sich zu Recht fragen, wieso sich der SIA in der heutigen Zeit, in der eher ein Abbau von Gesetzen und Vorschriften verlangt wird, für die Bearbeitung des bisher in seinem Normenwerk nicht behandelten Bereichs der elektrischen Energie im Hochbau engagiert hat. Der SIA war prädestiniert für diese schwierige Aufgabe, denn er bündelt in seinen Reihen die notwendige Fachkompetenz und gewährleistet durch sein erprobtes Verfahren der Normenentwicklung die praktische Anwendung dieser Instrumente. Der SIA hat in einem energiepolitisch relevanten Bereich seine Verantwortung wahrgenommen und das Feld nicht den Behörden überlassen. Das Resultat ist ein auch in der Praxis überzeugendes Werkzeug für Bauherren, Planer und Betreiber, mit dem sie den Elektrizitätsverbrauch von Gebäuden in den Griff bekommen können. Das Ziel war ein Planungsinstrument, das in den meisten Fällen (ca. 80 %) anwendbar ist – im Gegensatz zu einer gesetzlichen Vorschrift, die dann in 99 % aller Fälle gültig wäre. Bei vollständiger Umsetzung von SIA 380/4 kann der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung beim Erreichen der Grenzwerte um etwa 20 % und bei Erreichen der Zielwerte um etwa 55 % reduziert werden. Dies entspricht einem gesamtschweizerischen Einsparpotential zwischen 2 % und 4 % des Elektrizitätsverbrauchs, oder rund 150 Mio. bis 300 Mio. Fr. pro Jahr.

Ravel und die SIA-Kommission 380/4 räumen der Ausbildung der Anwender einen hohen Stellenwert ein. Bereits 1994 wurden, auf der Basis eines Vernehmlassungsentwurfes, erste Einführungskurse zur Empfehlung SIA 380/4 angeboten. Diese Kurse fanden bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern gute Aufnahme und entsprechen einem Bedürfnis. Sie haben zudem mitgeholfen, die Akzeptanz für die neue SIA-Empfehlung zu verbessern. Parallel zur Genehmigung durch den SIA wurde der Kurs «Elektrische Energie im Hochbau» der definitiven Empfehlung angepasst und der vorliegende Leitfaden ausgearbeitet. Der Leitfaden soll die zukünftigen Anwender – auch unabhängig von Kursen – vom Nutzen der Empfehlung überzeugen und diese in die Handhabung der Methoden und Hilfsmittel einführen. Die Dokumentation richtet sich an Haustechnikingenieure und Architekten, aber auch an Bauherren, Behördenvertreter sowie Betreiber.

Reto Lang, Präsident der Kommission SIA 380/4

2. Einleitung

2.1	Ziele und Inhalte der Empfehlung SIA 380/4	4
2.1.1	Ziele der Empfehlung	4
2.1.2	Inhalte der Empfehlung	4
2.2	Zweck und Aufbau des vorliegenden Leitfadens	5
2.2.1	Zweck des Leitfadens	5
2.2.2	Aufbau des Leitfadens	5

2.1 Ziele und Inhalte der Empfehlung SIA 380/4

2.1.1 Ziele der Empfehlung

Die neue Empfehlung SIA 380/4 ist ein Instrument zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsverbrauches von Hochbauten.

SIA 380/4 gilt für Neu- und Umbauten und ergänzt die Empfehlung SIA 380/1 «Energie im Hochbau». Beide Empfehlungen gelten für alle vom Planer beeinflussbaren Energieanwendungen. Die Empfehlung SIA 380/4 behandelt vertieft Dienstleistungsgebäude, wie Bürobauten, Verkaufsläden, Schulen, Spitäler, Restaurants und Hotels. Nur am Rand erfasst werden dagegen Gewerbe-, Industrie- und Wohnbauten. Sinngemäss kann das Vorgehen nach SIA 380/4 aber auch auf solche Gebäude und Anlagen angewendet werden.

Die Empfehlung richtet sich in erster Linie an das Projektteam, bestehend aus Vertretern der Bauherrschaft, dem Architekten respektive dem Gesamtleiter und den Fachplanern der Haustechnik. Die Empfehlung bietet der Bauherrschaft die Möglichkeit, ihren Planern präzise Vorgaben bezüglich des Elektrizitätsbedarfs der Haustechnik zu machen. In zweiter Linie richtet sich die Empfehlung an den Betreiber. Der Elektrizitätsbedarf kann anhand der Empfehlung während des Betriebes überprüft und bewertet werden.

Der Nutzen der Empfehlung für Bauherren und Gebäudebetreiber liegt darin, dass durch die optimierte Planung neben Energie auch Investitions- und Betriebskosten eingespart werden können. Für Architekten und Planer stellt die Empfehlung ein effizientes Arbeitsinstrument dar, mit dem Gebäude und technische Anlagen optimal aufeinander abgestimmt werden können.

Die Optimierung des Elektrizitätseinsatzes in Hochbauten ist eine gemeinsame Aufgabe aller an der Planung Beteiligten. Die Empfehlung SIA 380/4 bietet die Basis für die dazu erforderliche Zusammenarbeit und ist damit ein Instrument für die integrale Planung.

2.1.2 Inhalte der Empfehlung

Zentrales Element der Empfehlung SIA 380/4 ist die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfes, definiert durch die Formulare «Elektrizitätsbilanz», «spezifischer Elektrizitätsbedarf» und «Energiekennzahlen» (siehe SIA 380/4, Seite 12). Diese standardisierte Darstellung bildet eine Plattform zur fachübergreifenden Kommunikation unter allen Beteiligten. Sie ermöglicht einen Vergleich und eine Bewertung der Energieeffizienz verschiedener Gebäude und Anlagen und liefert Bauherren und Planern damit die Grundlage zur Überprüfung von Qualitätsanforderungen.

Weiter stellt die Empfehlung SIA 380/4 Anforderungen an den Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung von Dienstleistungsgebäuden (z.B. Bürobauten, Läden, Schulen, Spitäler, Restaurants und Hotels).

2.2 Zweck und Aufbau des vorliegenden Leitfadens

2.2.1 Zweck des Leitfadens

In der Empfehlung SIA 380/4 wird, im Gegensatz zur Empfehlung SIA 380/1, kein Berechnungsverfahren vorgegeben, mit dem die Einhaltung der gestellten Anforderungen nachzuweisen ist. Die Empfehlung SIA 380/4 verlangt lediglich, dass die Ermittlung des Elektrizitätsbedarfs in nachvollziehbarer Form zu erfolgen hat (Empfehlung SIA 380/4, Ziffer 2 2).

Eine der Hauptaufgaben dieses Leitfadens ist es, verschiedene Methoden zur Berechnung des Elektrizitätsbedarfs aufzuzeigen.

Weiter soll der knapp gehaltene Text der Empfehlung zum besseren Verständnis des Anwenders durch Beispiele und Hintergrundinformationen erläutert werden.

2.2.2 Aufbau des Leitfadens

Einführung in die Empfehlung (Kapitel 3)

Zuerst wird die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfes erklärt. Anschliessend wird gezeigt, wie die Anforderungen an den Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung und Lüftung/Klima festgelegt werden. Als drittes Element werden das Vorgehen im Planungsablauf erläutert und Hinweise für Aufgaben und Leistungen der Beteiligten gegeben. Die Checkliste im Anhang A1 soll den Bauherrn sowie den Architekten/Gesamtleiter bei der Anwendung der Empfehlung unterstützen.

Ermittlung des Elektrizitätsbedarfes (Kapitel 4)

Hier werden verschiedene Methoden zur Ermittlung des Elektrizitätsbedarfes vorgestellt. Zuerst wird gezeigt, wie der Elektrizitätsbedarf aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden kann. Anschliessend werden Berechnungsverfahren vorgestellt, die es erlauben, den Elektrizitätsbedarf im Vorprojekt- oder Projektstadium mit einfachen Mitteln zu berechnen. Für den Fachplaner werden abschliessend Hinweise zu detaillierten Berechnungsverfahren gegeben. Eingehende Erläuterungen zu diesen Verfahren würden den Umfang dieses Leitfadens aber sprengen.

Anwendungsbeispiele (Kapitel 5 und 6)

Mit den beiden Beispielen «Neubau» und «Erneuerung» wird die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 im Projektablauf anhand zweier konkreter Fälle veranschaulicht.

3. Einführung in die Empfehlung SIA 380/4

3.1	Die zentralen Elemente von SIA 380/4	8
3.2	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs	10
3.2.1	Einteilung des Gebäudes nach Zonen	10
3.2.2	Einteilung der Verbraucher nach Verwendungszwecken	10
3.2.3	Die Elemente der standardisierten Darstellung	12
3.3	Nutzungsbedingungen und Nutzungsstunden	14
3.3.1	Nutzungsbedingungen	14
3.3.2	Nutzungsstunden	14
3.3.3	Effektive Nutzung und Erfolgskontrolle	14
3.4	Anforderungen	16
3.4.1	Grenz- und Zielwerte	16
3.4.2	Anforderungen bei Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen gemäss den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung	18
3.4.3	Ermittlung der Anforderungen bei abweichenden Nutzungsstunden und -bedingungen aus den Richtwerten im Anhang 2 der Empfehlung	20
3.5	Planungsablauf, Aufgaben und Leistungen	22
3.5.1	Vorstudie	22
3.5.2	Vorprojekt	22
3.5.3	Bauprojekt	23
3.5.4	Realisierung	23
3.5.5	Erfolgskontrolle	24
3.5.6	Aufgaben und Leistungen der Beteiligten	24

3.1 Die zentralen Elemente von SIA 380/4

Jede Planung bzw. jeder Bau weist verschiedene Rahmenbedingungen auf. Die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 ist demnach von Fall zu Fall unterschiedlich. Trotzdem sind es stets dieselben Elemente, die eine Rolle spielen. Diese sind in Figur 3–1 am Beispiel eines Bankgebäudes mit 4000 m² Energiebezugsfläche schematisch dargestellt.

Nutzungsbedingungen

Bauherr oder Architekt haben die Nutzungsbedingungen (vgl. Abschnitt 3.3) für die einzelnen Zonen im Gebäude festzulegen. (Beispiel: Nutzungsbedingungen und Nutzungsstunden für die Beleuchtung in Grossraumbüros. Wie gross soll die Beleuchtungsstärke sein, und wie weit ist Tageslichtnutzung möglich?)

Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs

Der jährliche Elektrizitätsbedarf ist als «Elektrizitätsbilanz» (Formular 1) standardisiert darzustellen (vgl. Abschnitt 3.2). Dazu ist er einerseits nach den verschiedenen Zonen des Gebäudes (z.B. Grossraumbüro) und anderseits nach Verwendungszwecken (z.B. Beleuchtung) aufzuschlüsseln.

Um den pro Zone und Verwendungszweck ermittelten jährlichen Elektrizitätsbedarf (also z.B. für die Beleuchtung der Grossraumbüros) bewerten zu können, wird dieser auf die zugehörige Geschossfläche bezogen (Formular 2, «spezifischer Elektrizitätsbedarf»). An den spezifischen Elektrizitätsbedarf der Verwendungszwecke «Beleuchtung» und «Lüftung/ Klima» (fett umrahmter Bereich in Formular 2) stellt die Empfehlung SIA 380/4 Anforderungen.

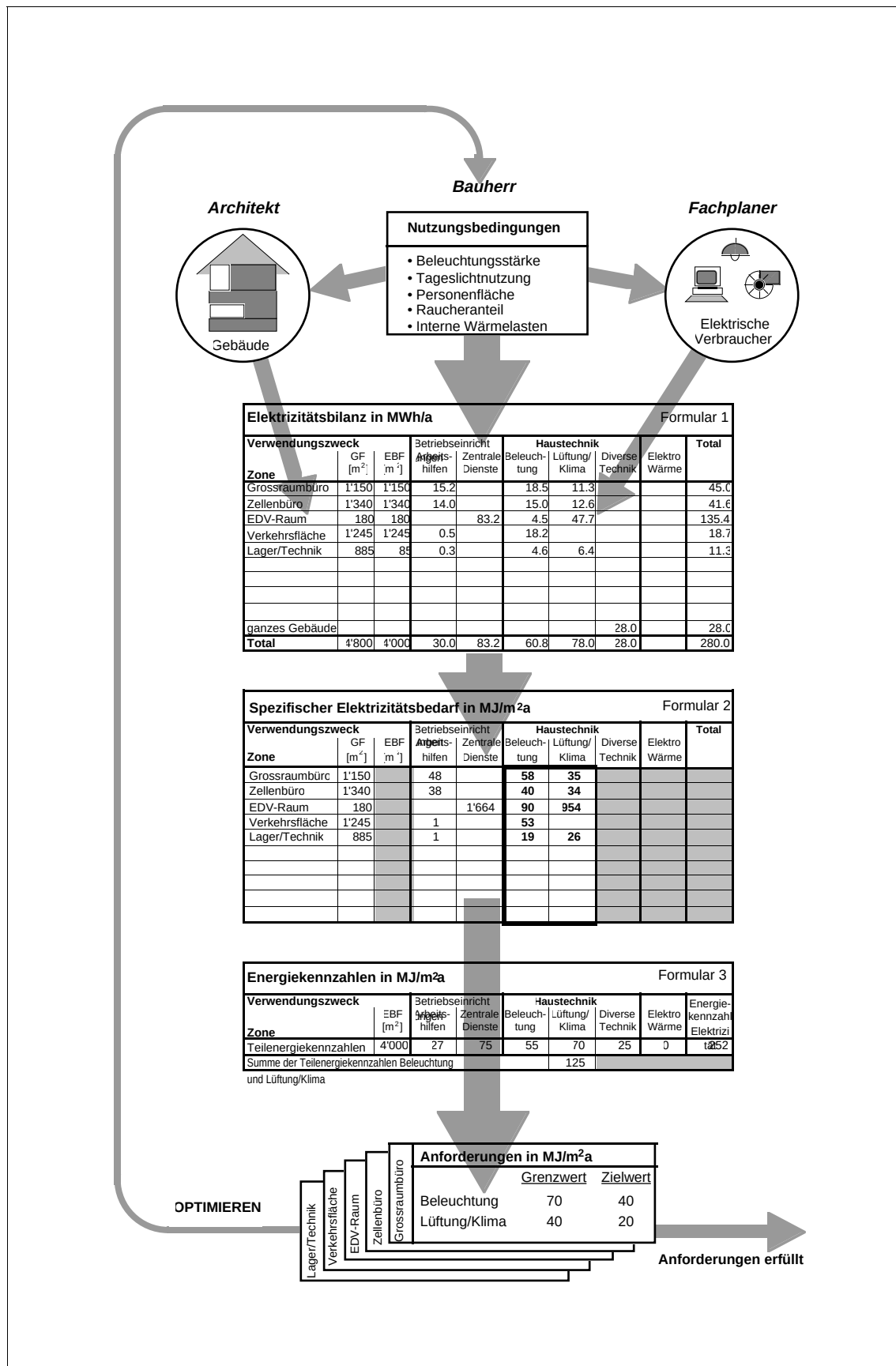
In Formular 3 «Energiekennzahlen» schliesslich wird der Elektrizitätsbedarf für jeden Verwendungszweck auf die Energiebezugsfläche des Gebäudes bezogen.

Bestimmung der Anforderungen

Die Anforderungen werden in Abhängigkeit der Nutzungsbedingungen ermittelt. Bei vorgegebenen Nutzungsbedingungen können die Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung und Lüftung/Klima entweder direkt den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung SIA 380/4 entnommen oder aus den Richtwerten im Anhang A2 der Empfehlung abgeleitet werden (vgl. Abschnitt 3.4).

Vergleich des ermittelten Elektrizitätsbedarfs mit den Anforderungen

Die für ein bestimmtes Objekt ermittelten Werte des spezifischen Elektrizitätsbedarfs (Objektwerte) sind mit den Anforderungen der Empfehlung SIA 380/4 zu vergleichen. Werden die gestellten Anforderungen nicht erreicht, muss eine Optimierung vorgenommen werden. Dabei sind sowohl die vorgegebenen Nutzungsbedingungen wie auch die gewählten architektonischen und installations-technischen Lösungen zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen.



Figur 3–1: Vorgehen und wesentliche Elemente der Empfehlung SIA 380/4

3.2 Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs

3.2.1 Einteilung des Gebäudes nach Zonen

Der Elektrizitätsbedarf wird auf verschiedene Zonen aufgeschlüsselt. Zonen sind Gebäudeflächen mit gleichartiger Nutzung (z.B. Büro, Verkauf, Schulraum, usw.). Flächen mit Nebennutzungen (z.B. Verkehrsflächen) bilden in der Regel separate Zonen. Wenn auf Flächen mit an sich gleicher Nutzung unterschiedliche Nutzungsstunden oder Nutzungsbedingungen (vgl. Abschnitt 3.3) vorherrschen, müssen diese in verschiedene Zonen unterteilt werden. So gehören z.B. Grossraumbüros und Zellenbüros zu verschiedenen Zonen, da die Möglichkeiten der Tageslichtnutzung in den Grossraumbüros wesentlich ungünstiger sind.

Die in der Empfehlung, Tabellen 2 und 3, aufgeführten Zonen, Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen bilden die Basis für die Einteilung eines Gebäudes in Zonen. In einer frühen Projektphase ist die Zoneneinteilung in der Regel noch grob, weil die Nutzungsangaben erst in wenig differenzierter Form vorliegen. Bei bestehenden Gebäuden gibt die Abgrenzung der lüftungstechnischen Anlagen erste Hinweise für die Zoneneinteilung.

Die Bezugsgrösse für den spezifischen Elektrizitätsbedarf einer Zone ist die (Brutto-) Geschossfläche (GF).

3.2.2 Einteilung der Verbraucher nach Verwendungszwecken

Die verschiedenen Elektrizitätsverbraucher sind unterschiedlichen Verwendungszwecken zuzuordnen. Als Verwendungszwecke werden die Einsatzbereiche der Elektrizität in einem Gebäude bezeichnet. Die Zuordnung einzelner Elektrizitätsverbraucher zu den verschiedenen Verwendungszwecken ist in Anhang A1 3 der Empfehlung SIA 380/4 festgelegt.

Bei den Betriebseinrichtungen werden als Verwendungszwecke «Arbeitshilfen» und «Zentrale Dienste» unterschieden. Zu den «Arbeitshilfen» sind alle steckbaren Arbeitsplatzgeräte wie PC, Drucker und Kopierer zu zählen. Fest installierte Anlagen, wie z.B. EDV-Zentralen, gewerbliche Küchen und gewerbliche Kälteanlagen, gehören dagegen zu den «Zentralen Diensten».

Bei der Haustechnik werden «Beleuchtung», «Lüftung/Klima» und «Diverse Technik» unterschieden. Unter «Diverse Technik» fallen dabei alle elektrischen Verbraucher, die keiner einzelnen Zone zugeordnet werden können, wie Hilfsaggregate für die Heizung (z.B. Umwälzpumpen), Transportanlagen, usw.

Um eine vollständige Elektrizitätsbilanz zu erhalten, ist auch die Elektrowärme zu erfassen. Heiz- und Warmwasserenergiebedarf fallen allerdings in den Geltungsbereich der Empfehlung SIA 380/1 (vgl. Tabelle 1 der Empfehlung SIA 380/4).

3.2.3 Die Elemente der standardisierten Darstellung

Die drei Elemente der standardisierten Darstellung des Elektrizitätsbedarfs werden wiederum am Beispiel des Bankgebäudes mit 4000 m² Energiebezugsfläche (vgl. Abschnitt 3.1) erläutert. Der in Figur 3–3 eingezeichnete Ablauf entspricht dem Berechnungsgang, wenn der Elektrizitätsbedarf pro Zone und Verwendungszweck bekannt ist.

Elektrizitätsbilanz

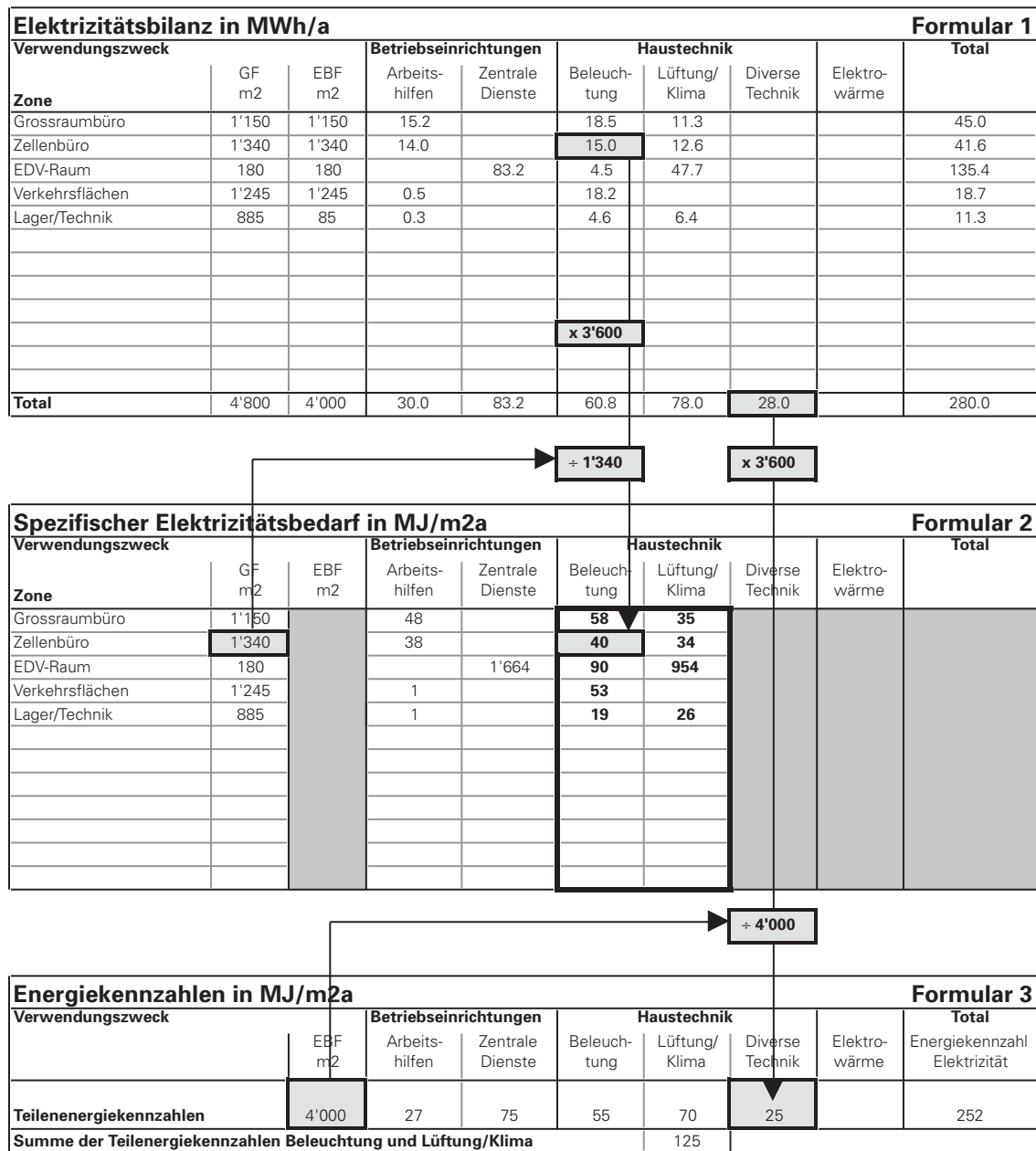
Der jährliche Elektrizitätsbedarf pro Zone und Verwendungszweck errechnet sich als Produkt aus elektrischer Leistung und Vollaststunden (vgl. Abschnitt 4.3.2) und wird in MWh in das Formular 1 eingetragen. Die Ermittlung erfolgt nach einem der nachfolgend in Kapitel 4 beschriebenen oder nach einem andern branchenüblichen Berechnungsverfahren.

Spezifischer Elektrizitätsbedarf

Die ermittelten Werte der Elektrizitätsbilanz werden durch die zugehörige Geschossfläche dividiert und in die Energieeinheit Megajoule (MJ) umgerechnet. So entstehen die Angaben für den spezifischen Elektrizitätsbedarf von Formular 2. An den spezifischen Elektrizitätsbedarf im fett umrahmten Bereich dieses Formulars (Verwendungszwecke Beleuchtung und Lüftung/Klima) stellt die Empfehlung SIA 380/4 Anforderungen (vgl. Abschnitt 3.4). Für die übrigen Verwendungszwecke stehen im Anhang A3 3 der Empfehlung Erfahrungswerte zur Verfügung.

Energiekennzahlen

Die Teilenergiekennzahlen (Formular 3) der einzelnen Verwendungszwecke ergeben sich aus der Division der Totalzeilen der Elektrizitätsbilanz (Formular 1) durch die Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes und gleichzeitiger Umrechnung in die Energieeinheit Megajoule (MJ). Der Anhang A3 4 der Empfehlung enthält Teilenergiekennzahlen von typischen Gebäuden, welche sich auf die Grenz- und Zielwerte für Beleuchtung und Lüftung/Klima, respektive auf Erfahrungswerte für die übrigen Verwendungszwecke abstützen. An die Teilenergiekennzahlen stellt die Empfehlung SIA 380/4 keine Anforderungen. Diese dienen in erster Linie einer schnellen Grobbeurteilung des Elektrizitätsbedarfs eines Gebäudes.



GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Figur 3–3: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs für das Bankgebäude mit 4000 m² Energiebezugsfläche (vgl. Abschnitt 3.1)

3.3 Nutzungsbedingungen und Nutzungsstunden

Vorgaben für Nutzungsbedingungen und Nutzungsstunden sind eine Voraussetzung für die Festlegung der Anforderungen nach SIA 380/4.

3.3.1 Nutzungsbedingungen

Die Nutzungsbedingungen ergeben sich aus den baulichen Verhältnissen und betrieblichen Vorgaben (vgl. Tabelle 3–4).

Die betrieblichen Nutzungsbedingungen werden in der Regel vom Bauherrn vorgegeben. Die baulichen Verhältnisse und baulichen Nutzungsbedingungen werden weitgehend von der Architektur beeinflusst.

Für ein Grossraumbüro (Figur 3–2) sind z.B. folgende Nutzungsbedingungen festzulegen:

- Wie weit ist Tageslichtnutzung möglich?
- Wie hoch soll die Beleuchtungsstärke sein?
- Welche Personenbelegung ist vorgesehen?
- Ist Rauchen erlaubt?
- Welche internen Wärmelasten durch Personen, Geräte und Beleuchtung sind zu erwarten?

Übliche Nutzungsbedingungen sind in den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung aufgeführt. Es sind aber auch andere Kombinationen oder Zwischenwerte möglich.

3.3.2 Nutzungsstunden

Die Nutzungsstunden geben die Zeitdauer an, während der eine Zone genutzt wird. Die Nutzungsstunden entsprechen z.B. bei Büros der Präsenzzeit des Personals, bei Geschäften der Öffnungszeit, bei Schulen der Unterrichtszeit. Zur Arbeitszeit wird ein Zuschlag für die Reinigung dazugerechnet (bei Büros betragen die Nutzungsstunden deshalb 11 h/Tag).

In den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung sind für jede Zone (Büro, Verkauf, usw.) Nutzungsstunden angegeben, für Büros z.B. 2750 h/a (250 Tage à 11 h/Tag).

Bei spezieller Nutzung sind die Nutzungsstunden entsprechend anzupassen. Für das Händlerbüro einer Bank mit Zweischichtbetrieb ergeben sich z.B. 4000 h/a (250 Tage à 16 h/Tag), für den Verkaufsladen im Bahnhof 4380 h/a (365 Tage à 12 h/Tag) oder für den Schulraum einer Berufsschule mit Abendbelegung 2800 h/a (200 Tage à 14 h/Tag).

Die Nutzungsstunden sind klar von den Vollaststunden und der Betriebszeit zu unterscheiden (vgl. Abschnitt 4.3.2).

3.3.3 Effektive Nutzung und Erfolgskontrolle

Bei der Erfolgskontrolle ist zu überprüfen, wie gut die Nutzungsvorgaben der Planung mit der effektiven Nutzung übereinstimmen. Abweichungen bei den Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen sind in der Regel die wichtigsten Ursachen für einen Mehr- oder Minderverbrauch an Elektrizität.

Nutzungsbedingungen		
Bauliche Verhältnisse	Beleuchtung	Lüftung/Klima
	Tageslichtverhältnisse	Fensterlüftung / mechanische Belüftung
Betriebliche Anforderungen	Nennbeleuchtungsstärke [lx]	Personenfläche [m ² /P]
	Dekorationsbeleuchtung [W/m ²]	Raucher/Nichtraucher [-]
		Spezifischer Aussenluftvolumenstrom [m ³ /hm ²]
		Interne Wärmelasten [W/m ²]

Tabelle 3–4: Nutzungsbedingungen für Beleuchtung und Lüftung/Klima

3.4 Anforderungen

Die Empfehlung SIA 380/4 stellt nur Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf der Verwendungszwecke «Beleuchtung» und «Lüftung/Klima», weil primär die Verbraucher dieser Verwendungszwecke durch den Planer beeinflussbar sind.

Die Nutzungsvorgaben spielen für den Elektrizitätsbedarf eine wesentlich wichtigere Rolle als beim Heizenergiebedarf. Aus diesem Grund kennt die Empfehlung SIA 380/4 zwei Verfahren zur Bestimmung der Anforderungen (vgl. auch Figur 3–5):

- Die Grenz- und Zielwerte können für die dort angegebenen Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen direkt den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung entnommen werden (vgl. Abschnitt 3.4.2).
- Bei abweichenden Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen sind die Anforderungen aus den Richtwerten für die spezifische Leistung und Vollaststunden (Empfehlung, Anhang A2) zu ermitteln (vgl. Abschnitt 3.4.3). Nach diesem Vorgehen lassen sich auch Anforderungen für Zonen ableiten, die in der Empfehlung nicht aufgeführt sind.

Die Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf für «Beleuchtung» und «Lüftung/Klima» müssen nicht separat und für jede einzelne Zone eingehalten werden. Solange gesamthaft ein niedrigerer Elektrizitätsbedarf resultiert, ist ein Ausgleich zwischen den Anforderungen für Beleuchtung und Lüftung/Klima sowie zwischen verschiedenen Zonen zulässig (Empfehlung SIA 380/4, Ziffer 3 12).

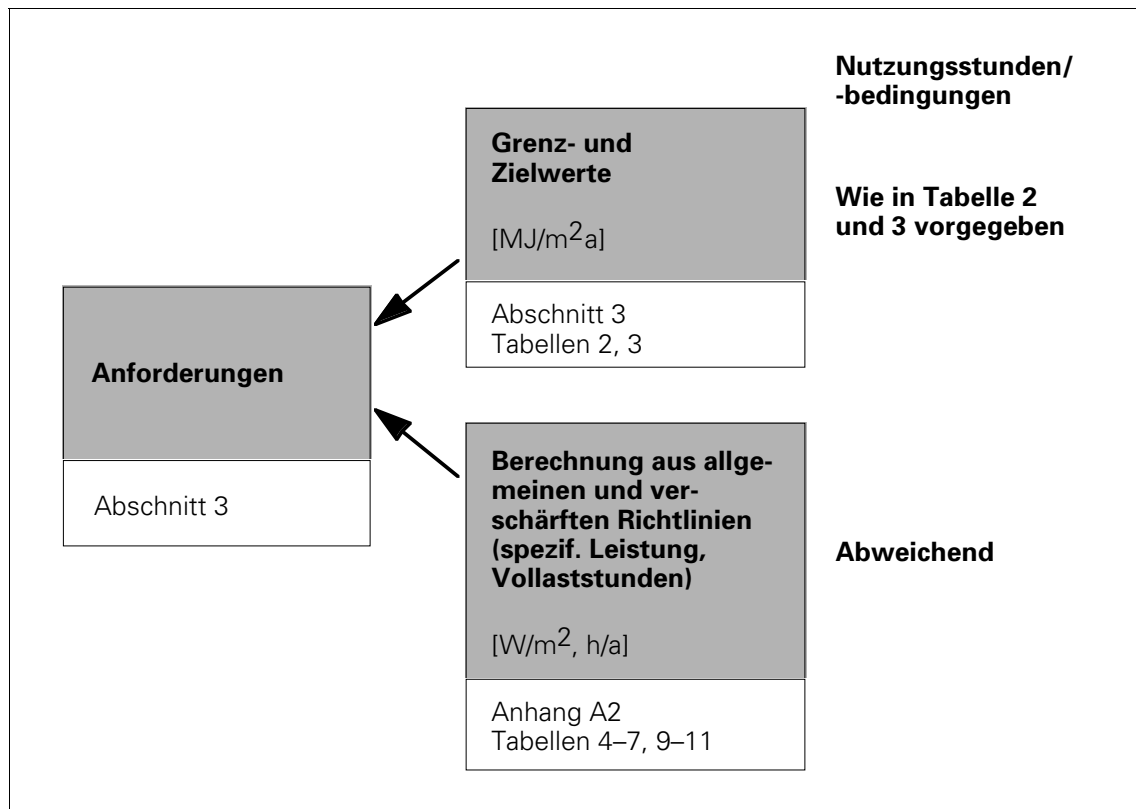
3.4.1 Grenz- und Zielwerte

Die Empfehlung SIA 380/4 stellt Anforderungen in Form von Grenz- und Zielwerten (Figur 3–6).

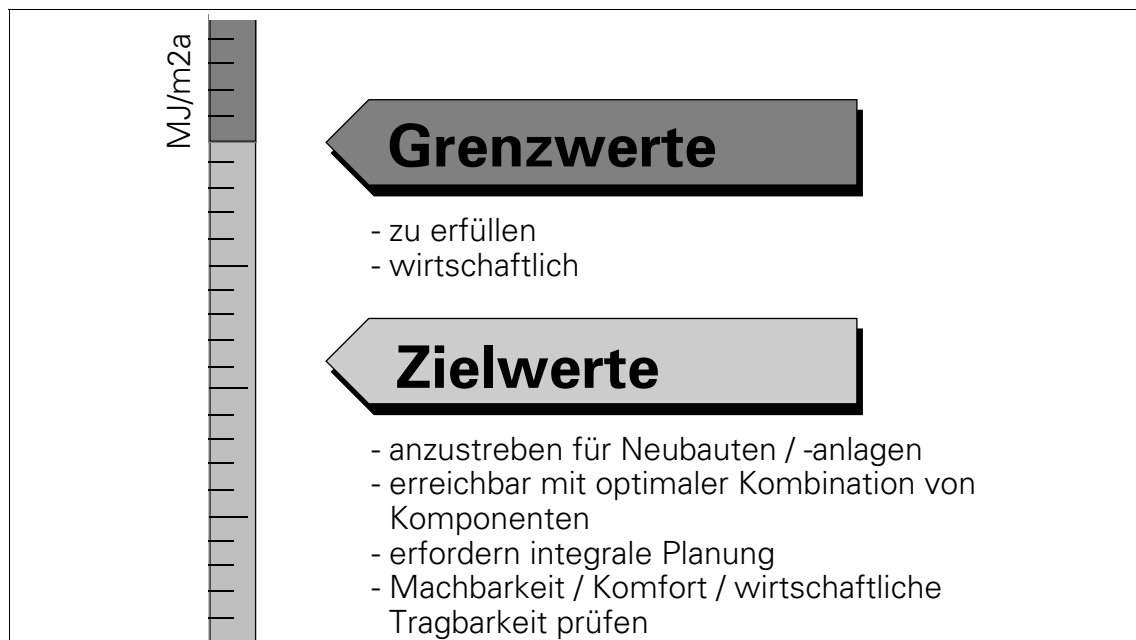
Grenzwerte sind mit Komponenten und Systemen, welche dem heutigen Stand der Technik entsprechen, erreichbar und wirtschaftlich vertretbar. Sie sind bei Neubauten, neuen Anlagen sowie bei von einem Umbau betroffenen Betriebseinrichtungen einzuhalten.

Zielwerte können nur bei optimaler Kombination von energetisch guten Komponenten und Systemen erreicht werden. Es handelt sich also um Bestwerte. Diese sind bei Neubauten und neuen Anlagen anzustreben. Deren Wirtschaftlichkeit ist von Fall zu Fall zu prüfen.

In der Praxis erreichbare Projektwerte liegen normalerweise zwischen den Grenz- und Zielwerten.



Figur 3–5: Die zwei Verfahren zur Bestimmung der Anforderungen nach der Empfehlung SIA 380/4



Figur 3–6: Anforderungsniveau Grenz- und Zielwerte

3.4.2 Anforderungen bei Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen gemäss den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung

Wenn die vorgegebenen Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen den Angaben in den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung entsprechen, können die Anforderungen direkt aus diesen Tabellen herausgelesen werden.

Die nebenstehenden Tabellen 3–7 und 3–8 geben für die Zone Grossraumbüro des Bankgebäudes von Abschnitt 3.1 die Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen für die Beleuchtung und für Lüftung/Klima sowie die zugeordneten Grenz- und Zielwerte, entsprechend den Tabellen 2 und 3 in der Empfehlung, wieder.

Die in Figur 3–3 angegebenen Objektwerte des spezifischen Elektrizitätsbedarfs für die Beleuchtung der Grossraumbüros von 58 MJ/m²a, resp. von 35 MJ/m²a für Lüftung/Klima liegen zwischen den Grenz- und Zielwerten, und die Anforderungen der Empfehlung SIA 380/4 sind somit erfüllt.

Nutzungsbedingungen					
Nutzungsstunden:	2'750	h/a			
Nennbeleuchtungsstärke:	500	Lux			
Tageslichtnutzung:	zum Teil				
Spezifischer Elektrizitätsbedarf E_B					
Anforderung:	Grenzwert		Zielwert		Empfehlung
	70	MJ/m ² a	40	MJ/m ² a	Tabelle 2
<i>Ermittelter Objektwert:</i> (vgl. Figur 3–3)	58	MJ/m ² a	<i>Anforderungen erfüllt!</i>		

Tabelle 3–7: Bestimmung der Anforderungen gemäss Tabelle 2 der Empfehlung SIA 380/4 für die Beleuchtung der Grossraumbüros eines Bankgebäudes

Nutzungsbedingungen					
Nutzungsstunden:	2750	h/a			
Personenfläche:	10	m ² /P			
Spez. Aussenluftstrom:	–				
Raucheranteil:	Nichtraucher				
Interne Wärmelast:	30	W/m ²			
Spezifischer Elektrizitätsbedarf E_{LK}					
Anforderung:	Grenzwert		Zielwert		Empfehlung
	40	MJ/m ² a	20	MJ/m ² a	Tabelle 3
<i>Ermittelter Objektwert:</i> (vgl. Figur 3–3)	35	MJ/m ² a	<i>Anforderungen erfüllt!</i>		

Tabelle 3–8: Bestimmung der Anforderungen gemäss Tabelle 3 der Empfehlung SIA 380/4 für Lüftung/Klima der Grossraumbüros eines Bankgebäudes

3.4.3 Ermittlung der Anforderungen bei abweichenden Nutzungsstunden und -bedingungen aus den Richtwerten im Anhang 2 der Empfehlung

Bei von den Angaben in Tabelle 2 und 3 der Empfehlung abweichenden Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen sind die Grenz- und Zielwerte für den spezifischen Elektrizitätsbedarf aus den Richtwerten im Anhang A2 der Empfehlung zu ermitteln.

Die Grenzwerte werden dabei aus den allgemeinen Richtwerten, die Zielwerte aus den verschärften Richtwerten nach folgender Formel berechnet:

Spez. Elektrizitätsbedarf =	Spez. Leistung	x	Vollaststunden	x	0.0036	x	0.9
[MJ/m ² a]	[W/m ²]		[h/a]		[MJ/Wh]		[-]

Da die spezifische Leistung auf die Nettogeschossfläche bezogen ist, enthält obige Formel einen Korrekturfaktor von 0.9 für die Umrechnung von der Nettogeschossfläche auf die Geschossfläche.

Anforderungen für die Beleuchtung

Für die Beleuchtung wird die spezifische Leistung in Funktion der Beleuchtungsstärke bestimmt (Empfehlung, Tabelle 4). Für Nutzungen wie Verkauf und Restaurant ist zusätzlich eine allfällige Dekorationsbeleuchtung zu berücksichtigen. Die Vollaststunden sind abhängig von der Tageslichtnutzung und der Nutzungsintensität der Räume (Empfehlung, Tabelle 5).

Die Bestimmung der Anforderungen für Nutzungsbedingungen, welche von den Angaben in den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung SIA 380/4 abweichen, wird nachfolgend am Beispiel der Beleuchtung einer Verkehrsfläche für das im Abschnitt 3.1 beschriebene Bankgebäude erläutert: Weil in dieser Verkehrszone auch Arbeitsplätze für den Empfang untergebracht sind, ist hier eine Nennbeleuchtungsstärke von 200 lx gefordert. Tabelle 3–9 zeigt die Ermittlung der Anforderungen aus den Richtwerten aus dem Anhang A2 der Empfehlung auf.

Der in Figur 3–3 für Verkehrsflächen angegebene Objektwert des spezifischen Elektrizitätsbedarfs von 53 MJ/m²a liegt für die effektiven Nutzungsbedingungen damit unterhalb des aus den Richtwerten abgeleiteten Grenzwertes.

Anforderungen für Lüftung/Klima

Die Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima setzen sich aus den Richtwerten für Luftförderung und Kühlung zusammen.

Der spezifische Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung wird durch die Nutzungsbedingungen «Personenbelegung» und «Raucher/Nichtraucher» und, in Zonen ohne definierte Personenbelegung, direkt durch den spezifischen Aussenluftvolumenstrom bestimmt. Der Anteil der Kühlung ist von den internen Wärmelasten abhängig.

In Tabelle 3–10 werden die Anforderungen «Lüftung/Klima» am Beispiel eines Börsenhändler-Büros mit Nutzungsstunden von 4000 h/a ermittelt.

Die spezifischen Leistungen für die Luftförderung und die Kühlung können bei den vorgegebenen Nutzungsbedingungen den Tabellen 6 und 10 im Anhang A2 der Empfehlung entnommen werden. Die Vollaststunden aus den Tabellen 9 und 11 werden proportional zu den höheren Nutzungsstunden von 2750 auf 4000 h/a umgerechnet.

Nutzungsbedingungen:				
Nutzungsstunden:	2750	h/a		
Nennbeleuchtungsstärke:	200	Lux		
Tageslichtnutzung:	keine			
Richtwerte:	Allgemein		Verschärft	Empfehlung
Spez. Leistung p_B	7.0	W/m ²	5.5	W/m ² Tabelle 4
Vollaststunden h_B :	2750	h/a	2400	h/a Tabelle 5
Spezifischer Elektrizitätsbedarf E_B:	$E_B = p_B \times h_B \times 0.0036 \times 0.9$			
Anforderung:	Grenzwert		Zielwert	
	62	MJ/m ² a	43	MJ/m ² a
<i>Ermittelter Objektwert:</i> (vgl. Figur 3–3)	53	MJ/m ² a	(Anforderungen erfüllt!)	

Tabelle 3–9: Ableitung der Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung einer Verkehrsfläche mit Empfang in einem Bankgebäude aus den Richtwerten von Anhang A2 der Empfehlung SIA 380/4

Nutzungsbedingungen:				
Nutzungsstunden:	4000	h/a		
Personenfläche:	10	m ² /Person ¹⁾		
Spez. Aussenluftstrom:	–	m ³ /h m ² ¹⁾		
Raucheranteil:	100 %	Raucher		
Interne Wärmelast:	30	W/m ²		
Richtwerte:	Allgemein		Verschärft	Empfehlung
Spez. Leistung p_{LF} :	4.2	W/m ²	2.1	W/m ² Tabelle 6
Vollaststunden h_{LF} :	4000	h/a	2900	h/a Tabelle 9
Spez. Leistung p_K :	12.0	W/m ²	10.0	W/m ² Tabelle 10
Vollaststunden h_K :	800	h/a	580	h/a Tabelle 11
Spezifischer Elektrizitätsbedarf E_{LK}:	$E_{LK} = (p_{LF} \times h_{LF} + p_K \times h_K) \times 0.0036 \times 0.9$			
Anforderung:	Grenzwert		Zielwert	
	86	MJ/m ² a	39	MJ/m ² a

Tabelle 3–10: Ableitung der Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima von Händlerbüros einer Bank aus den Richtwerten in Anhang A2 der Empfehlung SIA 380/4

¹⁾ Es ist nur eine der beiden Angaben nötig.

3.5 Planungsablauf, Aufgaben und Leistungen

Die Vorgehensschritte bei der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 sind in Figur 1 der Empfehlung dargestellt.

Erreichen die Objektwerte die gestellten Anforderungen nicht, ist der Elektrizitätsbedarf für einzelne Zonen zu optimieren. Dabei sind sowohl die Nutzungsvorgaben wie auch architektonische und installationstechnische Lösungen in den Optimierungsprozess einzubeziehen.

Im folgenden wird das Vorgehen in den einzelnen Projektphasen erläutert. Figur 3–11 zeigt die prinzipiellen Vorgehensschritte.

3.5.1 Vorstudie

Ausgehend von den Vorgaben des Bauherrn für ein Gebäude und dessen Nutzung werden in einem ersten Schritt die Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen für das Gebäude resp. dessen Zonen festgelegt.

Lage, Orientierung und Gliederung eines Gebäudes haben einen erheblichen Einfluss auf dessen Elektrizitätsbedarf. Die energetische Beurteilung und Überprüfung der baulichen und installationstechnischen Randbedingungen – z.B. im Rahmen eines Architektur- oder Haustechnikwettbewerbes – ist deshalb eine wichtige Aufgabe der Vorstudienphase.

In der Vorstudienphase wird die Elektrizitätsbilanz gewöhnlich auf der Basis der zu erfüllenden Anforderungen resp. aufgrund von Erfahrungswerten, wie sie im Anhang A3 der Empfehlung SIA 380/4 zu finden sind, aufgestellt. Auf diese Weise kann bereits zu einem frühen Zeitpunkt und mit kleinem Aufwand der spätere Elektrizitätsverbrauch des Gebäudes abgeschätzt werden. Dieses Vorgehen wird in Abschnitt 4.2 näher beschrieben.

Bei bestehenden Bauten umfasst die Vorstudie in der Regel eine Zustandsaufnahme mit Elektrizitätsverbrauchsanalyse.

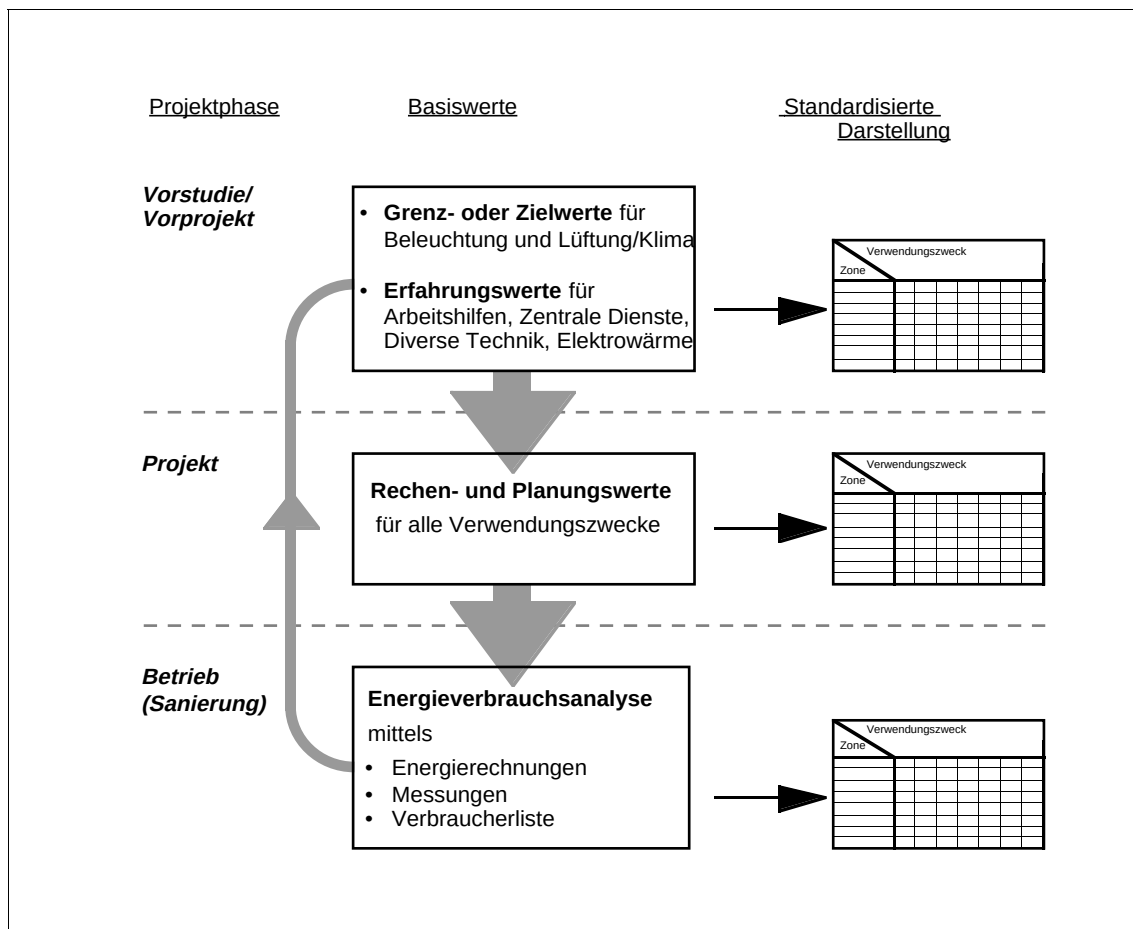
3.5.2 Vorprojekt

Im Vorprojekt sind, zusammen mit dem Bauherrn und dem Architekten, die baulichen und betrieblichen Voraussetzungen für eine hinsichtlich Energiebedarf, Betriebs- und Investitionskosten optimierte Haustechnik zu schaffen.

Zu diesem Zweck sind z.B. Varianten zur Optimierung der Tageslichtnutzung und zur Reduktion der sommerlichen Raumtemperatur zu untersuchen. Der Bedarf für Betriebseinrichtungen und haustechnische Installationen und Systeme ist abzuklären.

Die Systemwahl für Beleuchtung und Lüftung/Klima ist zentraler Inhalt der Vorprojektphase. Anhand detaillierterer Nutzungs- und Betriebskonzepte sind die Vorgaben für die Betriebseinrichtungen zu konkretisieren und bezüglich ihrer Konsequenzen auf die Wahl der lüftungstechnischen Systeme zu überprüfen. Als Ergebnis für die weitere Planung sind die internen Wärmelasten pro Zone festzulegen.

Bei Zonen, für deren Nutzung lüftungstechnische Anlagen erforderlich sind, sind die baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen für eine Luftförderung bei optimierten Druckverlusten zu schaffen.



Figur 3–11: Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 in verschiedenen Projektphasen

Im Vorprojekt ist ferner ein Messkonzept (siehe Beispiel in Abschnitt 5.4.4) zu entwerfen, welches die zu erfüllenden Verbrauchsziele und die zugehörigen Betriebsdaten festhält.

In der Vorprojektphase kann die Elektrizitätsbilanz z.B. nach dem einfache Berechnungsverfahren gemäss Abschnitt 4.3 berechnet werden. Dieses liefert ausgehend von konkreten Systemdaten mit kleinem Aufwand den Elektrizitätsbedarf für einzelne Zonen.

3.5.3 Bauprojekt

Im Bauprojekt erfolgt die Dimensionierung der Anlagen und die Auswahl der Komponenten. Durch Variation von Dimensionierung und Betriebsweise der verschiedenen Anlagen lässt sich der Elektrizitätsbedarf optimieren.

Der Elektrizitätsbedarf wird in dieser Phase aufgrund der Projektdaten der Anlagen ermittelt. Neben einfachen Berechnungsmethoden (vgl. Abschnitte 4.3 und 4.4) bieten sich in dieser Phase auch Detailberechnungsverfahren (vgl. Abschnitt 4.5) an.

3.5.4 Realisierung

Die im Rahmen der Projektierung optimierten Lösungen sind in die Ausschreibungen umzusetzen, in der Ausführung konsequent zu realisieren und bei den Abnahmen zu kontrollieren.

In dieser Phase wird, gestützt auf das Messkonzept, ein Konzept für die Betriebsoptimierung aufgestellt. Dieses hat quantifizierte Zielvorgaben für den zu erreichenden Elektrizitätsverbrauch zu enthalten.

3.5.5 Erfolgskontrolle

In der Betriebsphase kann der Erfolg der Planung und der Optimierung des Elektrizitätsbedarfs überprüft werden. Die Erfolgskontrolle wird sinnvollerweise parallel zur Betriebsoptimierung der haustechnischen Anlagen durchgeführt.

Zentraler Teil dieser Erfolgskontrolle ist der Vergleich von berechnetem und tatsächlichem Elektrizitätsbedarf. Am Ende der Betriebsoptimierung ist der Nachweis zu erbringen, dass die Projektvorgaben eingehalten werden, oder es sind die Abweichungen zu begründen. Bei grösseren Abweichungen sind die effektiven Nutzungsbedingungen den Nutzungsvorgaben aus der Planung gegenüberzustellen.

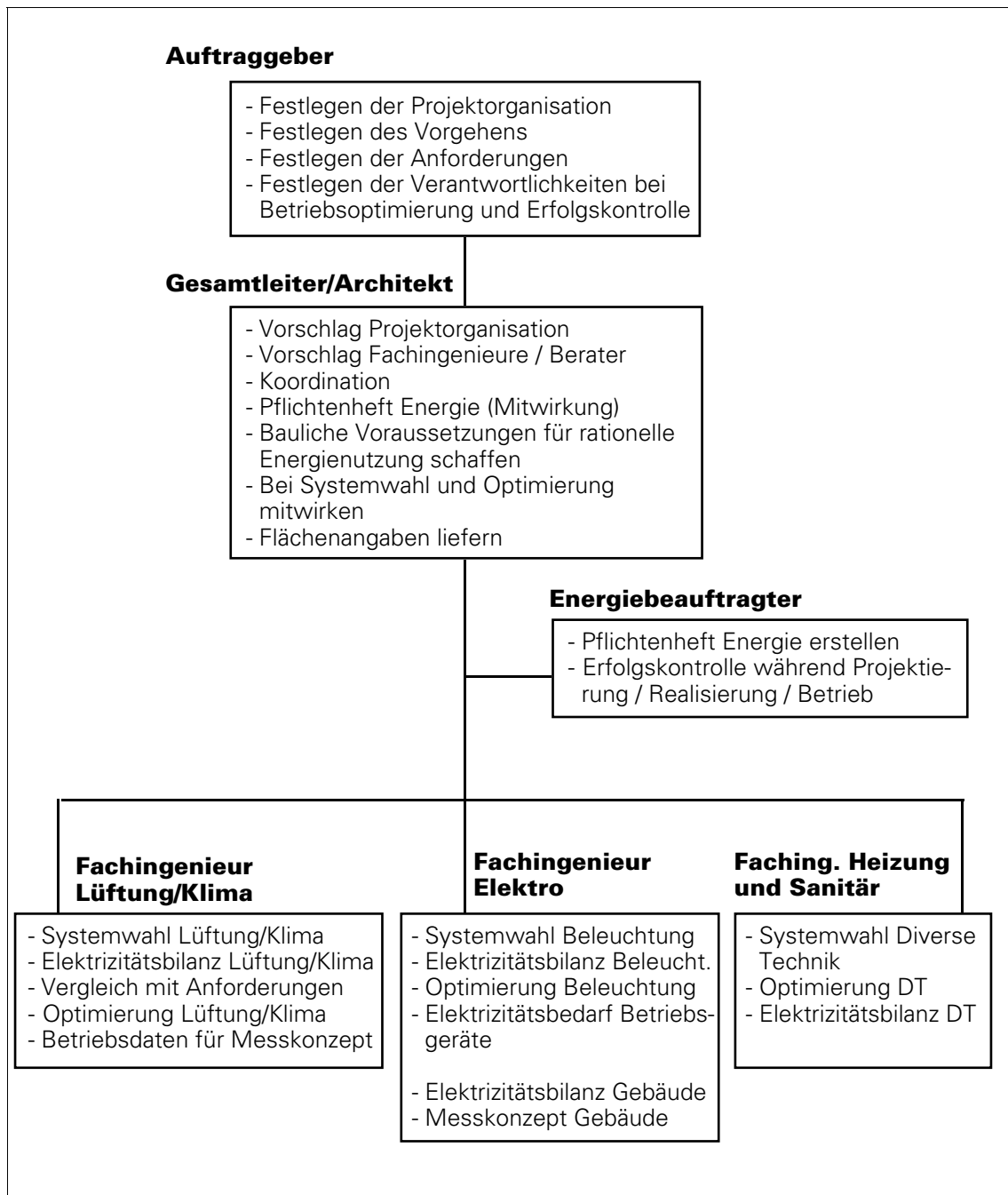
Instrumente der Erfolgskontrolle sind: Verbraucherliste, Energierechnungen, Messungen (wo möglich via Leitsystem mit vorbereiteter Auswertung). Je besser die Verbrauchserfassung während der Planung vorbereitet wurde, desto einfacher und aussagekräftiger ist die Erfolgskontrolle.

Die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs dient in der Betriebsphase als Controlling-Instrument. Sie ermöglicht auch einen klaren Überblick über die Verbrauchsentwicklung.

3.5.6 Aufgaben und Leistungen der Beteiligten

Im Kapitel 4 der Empfehlung SIA 380/4 sind, in Ergänzung zu den bestehenden Leistungs- und Honorarordnungen des SIA, die elektrizitätsrelevanten Aufgaben und Leistungen der Beteiligten aufgeführt.

Figur 3–12 gibt einen Überblick über die Beteiligten und illustriert deren Aufgaben.



Figur 3–12: Aufgaben und Leistungen der Beteiligten im Planungsteam gemäss Empfehlung SIA 380/4, Kapitel 4.

4. Ermittlung des Elektrizitätsbedarfs

4.1	Übersicht über die Berechnungsverfahren	29
4.2	Schätzung aufgrund von Erfahrungswerten	30
4.3	Einfache Berechnung über spezifische Leistung, Betriebsfaktoren und Vollaststunden	32
4.3.1	Vorgehen	32
4.3.2	Rechenmodell und Formeln	34
4.3.3	Berechnung des Elektrizitätsbedarfs von Arbeitshilfen (AH)	36
4.3.4	Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für Allgemeinbeleuchtung (BA)	38
4.3.5	Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für die Luftförderung (LF)	40
4.3.6	Berechnung Luftkühlung (KL)	42
4.3.7	Berechnung Wasserkühlung (KW)	44
4.3.8	Diverse Technik (DT)	46
4.4	Ermittlung aus Projektdaten der Haustechniksysteme	48
4.4.1	Rechenmodell und Basisformeln	48
4.4.2	Ermittlung des Elektrizitätsbedarfs für Beleuchtung	48
4.4.3	Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für Lüftung/Klima	50
4.5	Hinweise auf Verfahren zur Detailberechnung	52
4.5.1	Detailberechnungsverfahren Beleuchtung	52
4.5.2	Detailberechnungsverfahren Lüftung/Klima	54

4.1 Übersicht über die Berechnungsverfahren

Die Empfehlung SIA 380/4 stellt das Verfahren zur Berechnung des Elektrizitätsbedarfs frei. In Ziffer 2.2 wird lediglich verlangt, dass die Ermittlung des Elektrizitätsbedarfs nachvollziehbar sein muss. Die Berechnung hat deshalb immer in der standardisierten Darstellung zu erfolgen.

Für die verschiedenen Projektphasen stehen unterschiedliche Berechnungsverfahren zur Verfügung. Diese erlauben mit fortschreitender Planung eine zunehmende Genauigkeit in der Prognose des Elektrizitätsbedarfs.

In den nachfolgenden Abschnitten werden folgende 3 Verfahren näher vorgestellt:

- Schätzung aufgrund von Erfahrungswerten (Abschnitt 4.2)
- Einfache Berechnung über spezifische Leistung, Betriebsfaktoren und Vollaststunden (Abschnitt 4.3)
- Ermittlung aus Projektdaten der Haustechniksysteme (Abschnitt 4.4)

Zudem werden Hinweise auf detaillierte Berechnungsverfahren gegeben (Abschnitt 4.5).

4.2 Schätzung aufgrund von Erfahrungswerten

Eine erste grobe Schätzung des Elektrizitätsbedarfs kann ausgehend von den Teilenergiekennzahlen in Anhang A3 4 der Empfehlung SIA 380/4 erfolgen. Durch Multiplikation der Teilenergiekennzahlen mit der Energiebezugsfläche des Gebäudes (und Umrechnung von MJ auf MWh) erhält man rasch erste Anhaltspunkte für den künftigen Elektrizitätsverbrauch.

Eine etwas genauere Schätzung wird möglich, wenn das Gebäude in Zonen eingeteilt und eine vollständige Elektrizitätsbilanz auf der Basis von Grenz- oder Zielwerten für den spezifischen Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung und Lüftung/Klima (Tabellen 2 und 3 der Empfehlung) und auf der Basis von Erfahrungswerten für die Betriebseinrichtungen (Anhang A3 3 der Empfehlung) aufgestellt wird.

Bei diesem Vorgehen setzt man die erwähnten Werte zuerst in das Formular 2 (Spezifischer Elektrizitätsbedarf) bzw. Formular 3 (Energiekennzahlen) ein, multipliziert diese mit den Geschossflächen der entsprechenden Zonen resp. der Energiebezugsflächen und erhält (nach Umrechnung von MJ auf MWh) die Angaben für die Elektrizitätsbilanz (Formular 1). Der Rechengang erfolgt also in umgekehrter Richtung als im Anhang A3 1 der Empfehlung und im Abschnitt 3.2.3 angegeben.

Tabelle 4–1 zeigt ein Beispiel für eine solche Abschätzung des Elektrizitätsbedarfs (Beispiel von Abschnitt 3.1). Der spezifische Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung der Grossraumbüros wird mit $55 \text{ MJ/m}^2\text{a}$, entsprechend dem Mittelwert zwischen Grenz- und Zielwert eingesetzt. Daraus leitet sich bei der gegebenen Geschossfläche von $1'150 \text{ m}^2$ ein Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung der Grossraumbüros von 17.6 MWh/a ab. Die Teilenergiekennzahl für Diverse Technik wird entsprechend den Erfahrungswerten in Anhang A3 4 der Empfehlung mit $20 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ angenommen (Mittelwert zwischen Angaben für Bürogebäude unter A3 42 und A3 43), woraus ein Elektrizitätsbedarf von 22.2 MWh/a für Diverse Technik resultiert. Auf diese Weise wird die Elektrizitätsbilanz bis zu ihrer Komplettierung zellenweise ausgefüllt.

Ein weiteres Beispiel für die Abschätzung des Elektrizitätsbilanz aufgrund von Erfahrungswerten ist in Abschnitt 5.2 wiedergegeben.

Elektrizitätsbilanz in MWh/a							Formular 1		
Verwendungszweck			Betriebseinrichtungen		Haustechnik				Total
Zone	GF m2	EBF m2	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	
Grossraumbüro	1'150	1'150			17.6				
Zellenbüro	1'340	1'340							
EDV-Raum	180	180							
Verkehrsflächen	1'245	1'245							
Lager/Technik	885	85							
					÷ 3'600				
Total	4'800	4'000					22.2		22.2

[illegible]

Energiekennzahlen in MJ/m ² a							Formular 3	
Verwendungszweck	Betriebseinrichtungen			Haustechnik			Elektrowärme	Total Energiekennzahl Elektrizität
	EBF m ²	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Teilenenergiekennzahlen	4'000					20		
Summe der Teilenenergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima								

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 4–1: Schätzung des Elektrizitätsbedarfs aufgrund von Erfahrungswerten für den spezifischen Elektrizitätsbedarf und für Teilenergiekennzahlen aus Anhang A3 der Empfehlung SIA 380/4

4.3 Einfache Berechnung über spezifische Leistung, Betriebsfaktoren und Volllaststunden

Die nachfolgend dargestellte einfache Berechnung ist ein weiteres von verschiedenen möglichen Verfahren, um den Elektrizitätsbedarf eines Gebäudes zu ermitteln, ohne zuerst eine detaillierte Verbraucherliste aufstellen zu müssen. Ein vollständiges Beispiel für eine Berechnung nach dieser Methode findet sich im Anhang A2.

Bei diesem Vorgehen wird der spezifische Elektrizitätsbedarf zellenweise für jeden Verwendungszweck einer Zone ermittelt. Mit diesem einfachen Instrument können die Auswirkungen der Nutzungsbedingungen sowie der Systemdaten der Haustechnik auf den Elektrizitätsbedarf rasch abgeschätzt werden. Insbesondere lassen sich damit die Auswirkungen der internen Wärmelasten auf den Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima aufzeigen.

4.3.1 Vorgehen

Die Berechnung erfolgt nach den Vorgehensschritten gemäss Tabelle 4–2. Vor Beginn der Berechnung muss das Gebäude in Zonen aufgeteilt und müssen deren Flächen ermittelt werden. Zudem sind für jede Zone die Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen festzulegen.

In einem ersten Schritt wird der spezifische Elektrizitätsbedarf für die Betriebseinrichtungen und die Beleuchtung ermittelt. Diese Ergebnisse werden für die Bestimmung der internen Wärmelasten benötigt, welche die Basis zur Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für Lüftung/Klima liefern.

Nach getroffener Systemwahl wird der spezifische Elektrizitätsbedarf für die einzelnen lüftungstechnischen Funktionen separat ermittelt. Zusätzlich zur Luftförderung ist eine allfällige Kühlung zu berücksichtigen, welche je nach System mittels Luft und/oder Wasser erfolgt. Die Beiträge werden zum spezifischen Elektrizitätsbedarf Lüftung/Klima summiert.

Der Elektrizitätsbedarf für Diverse Technik wird gesamthaft für das ganze Gebäude berechnet. Der Elektrowärmebedarf wird nach Empfehlung SIA 380/1 ermittelt.

Aus dem spezifischen Elektrizitätsbedarf (Formular 2) werden schliesslich die Angaben für die Formulare 1 und 3 nach dem Rechenschema von Figur 4–1 (Abschnitt 4.2) ermittelt.

Schritte	Grundlagen
Grundlagen für Berechnung	
1. Gebäude oder Gebäudeteil in Zonen unterschiedlicher elektrischer Nutzung unterteilen 2. Nutzungsbedingungen und Nutzungsstunden pro Zone festlegen	Empfehlung Kap. 3
Spezifischer Elektrizitätsbedarf	Formular 2
Aus spezifischer Leistung und Vollaststunden spezifischen Elektrizitätsbedarf für alle Verwendungszwecke berechnen:	Kap. 4.3.2 Formel A
3. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Arbeitshilfen» (AH) berechnen	Kap. 4.3.3
4. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Zentrale Dienste» (ZD) berechnen	keine
5. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Allgemeinbeleuchtung» (BA) berechnen	Kap. 4.3.4
6. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Zusatzbeleuchtung» (BZ) berechnen	keine
7. Interne Wärmelasten aus Personenbelegung, Betriebseinrichtungen und Beleuchtung ermitteln	Empfehlung Anhang A2 23
8. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Luftförderung» (LF) berechnen	Kap. 4.3.5
9. Spezifischen Elektrizitätsbedarf für «Luftkühlung» (KL) inkl. allfällige Befeuchtung berechnen	Kap. 4.3.6
10. Spezifischen Elektrizitätsbedarf für «Wasserkühlung» (KW) berechnen	Kap. 4.3.7
11. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Lüftung/Klima» aus Anteilen für Luftförderung, Luftkühlung und Wasserkühlung summieren	
12. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Diverse Technik» (DT) berechnen	Kap. 4.3.8
13. Spezifischen Elektrizitätsbedarf «Elektrowärme» berechnen	SIA 380/1
Elektrizitätsbilanz	Formular 1
14. Aus spezifischem Elektrizitätsbedarf und zugehörigen Geschossflächen Elektrizitätsbedarf ermitteln	Kap. 4.3.2 Formel B
Energiekennzahlen	Formular 3
15. Aus Elektrizitätsbedarf pro Verwendungszweck und Energiebezugsfläche Teilenergiekennzahlen ermitteln	Kap. 4.3.2 Formel C

Tabelle 4–2: Vorgehensschritte für die einfache Berechnung der Elektrizitätsbilanz in standardisierter Darstellung aus spezifischer Leistung, Betriebsfaktoren und Vollaststunden

4.3.2 Rechenmodell und Formeln

Die Berechnung geht von spezifischen Leistungen und Volllaststunden aus. Die Volllaststunden werden dabei als Produkt aus Nutzungsstunden (vgl. Abschnitt 3.3.2) und sogenannten Betriebsfaktoren ermittelt.

Die Berechnung gleicht dem Rechengang zur Berechnung der Anforderungen aus den Richtwerten gemäss Ziffer 3.3 der Empfehlung SIA 380/4. Die einfache Berechnung des Elektrizitätsbedarfs nach der vorliegenden Methode und die Ableitung der Grenz- und Zielwerte aus den Richtwerten gemäss Ziffer 3.3 der Empfehlung sind aber klar auseinanderzuhalten.

Figur 4–3 zeigt die Zusammenhänge zwischen den Elementen der einfachen Berechnung. Angaben zu den Betriebsfaktoren finden sich im Anhang A2

Die Berechnung des spezifischen Elektrizitätsbedarfs erfolgt für jeden Verwendungszweck und jede Zone nach folgender Basisformel:

E =	p x h x 0.0036 x 0.9 *	
p	Die spezifische Leistung entspricht der über eine Viertelstunde gemittelten effektiven Leistung eines Verwendungszweckes bei Volllast, bezogen auf die Nettogeschossfläche.	W/m ²
h	Mit Volllaststunden wird die energieäquivalente jährliche Betriebszeit eines Verwendungszweckes bei Volllast bezeichnet.	h/a
*	Umrechnungsfaktor zwischen Nettogeschossfläche und Geschossfläche. Die Nettogeschossfläche einer Zone entspricht etwa 90 % der (Brutto-)Geschossfläche.	-

Formel A: Berechnung des spezifischen Elektrizitätsbedarfs E [MJ/m²a] aus spezifischer Leistung und Volllaststunden

Der Elektrizitätsbedarf wird wie folgt aus dem spezifischen Elektrizitätsbedarf abgeleitet:

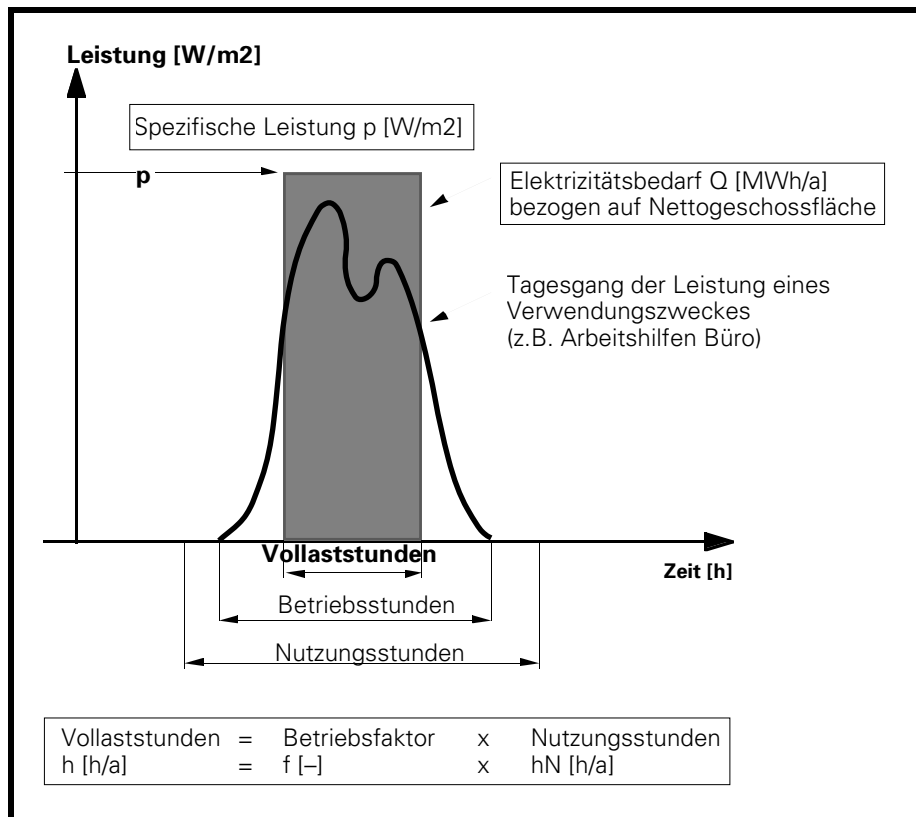
Q =	Fehler!	
E	Spezifischer Elektrizitätsbedarf	MJ/m ² a
GF	Geschossfläche	m ²

Formel B: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs Q [MWh/a] aus dem spezifischen Elektrizitätsbedarf

Die Teilenergiekennzahlen werden schliesslich nach folgender Formel aus der Totalzeile der Elektrizitätsbilanz ermittelt:

TEK =	Fehler!	
Q _{tot}	Elektrizitätsbedarf (Totalzeilen von Formular 1)	MWh/a
EBF	Energiebezugsfläche	m ²

Formel C: Berechnung der Teilenergiekennzahlen TEK [MJ/m²a] pro Verwendungszweck aus der Energiebilanz



Die Fläche des Rechteckes mit der Höhe "p" (spezifische Leistung) und der Länge "h" (Volllaststunden) repräsentiert den Elektrizitätsbedarf Q eines bestimmten Verwendungszweckes (z.B. Arbeitshilfen Büro). Diese Fläche ist gleich gross wie diejenige, welche unterhalb des Tagesganges der Leistung liegt.

Die **spezifische Leistung p** ist diejenige Leistung, welche auftritt, wenn *alle* angeschlossenen Verbraucher eines Verwendungszweckes auf Vollast betrieben werden. Diese Leistung ist in der Regel *kleiner* als die installierte Leistung (Ausnahme: Beleuchtung) aber *grösser* als die maximal messbare Leistung (es sind kaum je sämtliche Verbraucher auf Vollastbetrieb).

Die **Nutzungsstunden** entsprechen der Zeitdauer pro Jahr, während der eine bestimmte Zone genutzt wird, z.B. Büros: 2'750 h/a, Laden: 3'600 h/a.

Die **Betriebszeit** ist die Einschaltdauer von Anlagen und Geräten. Bei Verbrauchern mit konstanter Leistung entsprechen die **Volllaststunden** der Betriebszeit, bei variabler Leistung sind die Volllaststunden kleiner als die Betriebszeit.

Der **Betriebsfaktor** gibt das Verhältnis zwischen den Volllaststunden und den Nutzungsstunden an. Mit den Betriebsfaktoren werden verschiedene Einflussfaktoren, welche die Volllaststunden beeinflussen, in die Berechnung einbezogen wie z.B. Tageslichtnutzung, Steuerungen und Regelungen von elektrischen Anlagen, Standbyverbrauch, Benutzerverhalten. Da der Betriebsfaktor von unterschiedlichen Einflüssen abhängig ist, muss er für jeden einzelnen Verwendungszweck berechnet, bzw. aus den Teilbetriebsfaktoren zusammengesetzt werden. Diese können den Tabellen im Anhang A2 entnommen werden.

Figur 4-3: Zusammenhang zwischen spezifischer Leistung, Betriebsfaktoren, Volllaststunden und Elektrizitätsbedarf.

4.3.3 Berechnung des Elektrizitätsbedarfs von Arbeitshilfen (AH)

Die spezifischen Leistung von Arbeitshilfen wird nach folgender Formel berechnet:

P_{AH}	Fehler!	
P_{PAH}	Leistung pro Person oder Arbeitsplatz	W/P
PF	Personenfläche (Nettogeschossfläche pro Person oder Arbeitsplatz)	m ² /P

$P_{PAH} = P_{sAH} \times k_{pAH} \times r_G$		
P_{sAH}	Standbyleistung Gerät	W
k_{pAH}	Faktor effektive Leistung	–
r_G	Gerätedichte	Gerät/P

Formel D: Berechnung der spezifischen Leistung p_{AH} [W/m²] für alle Arbeitshilfen

Leistungsdaten für Arbeitshilfen können den Tabellen A2-1 bis A2-4 im Anhang A2 entnommen werden.

Um die spezifische Leistung aller Arbeitshilfen einer Zone zu erhalten, müssen die Teilergebnisse (für PC, Bildschirme, Kopierer, Drucker, etc.) aufsummiert werden.

Die Vollaststunden von Arbeitshilfen werden nach folgender Formel berechnet:

$h_{AH} = f_{cAH} \times f_{eAH} \times h_N$		
f_{cAH}	Faktor Betriebszeit	–
f_{eAH}	Faktor Bedarfsanpassung	–
h_N	Nutzungsstunden	h/a

Formel E: Berechnung der Vollaststunden h_{AH} [h/a] für Arbeitshilfen mit Hilfe von Betriebsfaktoren

Die Faktoren für die Betriebszeit f_{cAH} und für Bedarfsanpassung f_{eAH} können den Tabellen A2-5 und A2-6 im Anhang A2 entnommen werden.

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs von PCs in einer Bürozone (Geschossfläche: 500 m², Nutzungsstunden: 2750 h/a) mit nachfolgenden Gerätekennndaten:

Gegeben:	Standbyleistung PC (sparsames Gerät) p_{SAH}	30 W	(Tabelle A2–1)
	Standbyleistung Bildschirm p_{SAH}	30 W	(Tabelle A2–1)
	Faktor effektive Leistung k_{pAH}	1.5 –	(Tabelle A2–2)
	Gerätedichte r_G	0.8 Geräte/P	(Tabelle A2–3)
	Personenfläche PF	15 m ² /P	(Tabelle A2–4)
	Faktor Betriebszeit, f_{cAH}	0.5 –	(Tabelle A2–5)
	Faktor Bedarfsanpassung, f_{eAH}	0.3 –	(Tabelle A2–6)

Lösung:	Spezifische Leistung:		
	$p_{AH} = \text{Fehler!} =$	4.8 W/m ²	(Formel D)
	Vollaststunden:		
	$h_{AH} = 0.5 \times 0.3 \times 2750 =$	413 h/a	(Formel E)
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf:		
	$E_{AH} = 2.4 \times 413 \times 0.0036 \times 0.9 =$	6.4 MJ/m ² a	(Formel A)
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_{AH} = \text{Fehler!} =$	0.9 MWh/a	(Formel B)

4.3.4 Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Allgemeinbeleuchtung (BA)

Für die Berechnung der spezifischen Leistung der Beleuchtung kommt folgende Formel zur Anwendung:

P_{BA}	=	Fehler!
E_m	Beleuchtungsstärke	lx
η_B	Beleuchtungswirkungsgrad	—
η_l	Lichtausbeute	lm/W

Formel F: Berechnung der spezifischen Leistung p_{BA} [W/m²] für Beleuchtung

Die Beleuchtungskennwerte für die Berechnung können den Tabellen A2–7 bis A2–9 im Anhang 2 entnommen werden.

Weitere Angaben über empfohlene Beleuchtungsstärken finden sich in den Empfehlungen der schweizerischen Lichttechnischen Gesellschaft (SLG). Angaben zu Beleuchtungswirkungsgraden und Lichtausbeuten finden sich in den Katalogen der Leuchtenhersteller.

Für die Berechnung der Vollaststunden kommt folgende Formel zur Anwendung:

h_{BA}	=	$h_N \times (1 - TDA \times TAN) \times f_{eBA}$
TDA	Deckungsanteil Tageslicht	—
TAN	Ausnützung Tageslicht	—
f_{eBA}	Faktor Bedarfsanpassung	—
h_N	Nutzungsstunden	h/a

Formel G: Berechnung der Vollaststunden h_{BA} [h/a] für Beleuchtung

Die Faktoren für Deckungsanteil Tageslicht TDA, Ausnützung Tageslicht TAN und Bedarfsanpassung f_{eBA} können den Tabellen A2–10 bis A2–12 im Anhang A2 entnommen werden.

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Beleuchtung einer Bürozone
(Nutzungsstunden: 2750 h/a, Geschossfläche: 500 m²) mit nachfolgenden
Beleuchtungsdaten:

Gegeben:	Beleuchtungsstärke E_m	350 lx	(Tabelle A2-7)
	Lichtausbeute η_l	75 lm/W	(Tabelle A2-8)
	Beleuchtungswirkungsgang η_B	0.55 –	(Tabelle A2-9)
	Deckungsanteil Tageslicht TDA	0.8 –	(Tabelle A2-10)
	Ausnutzung Tageslicht TAN	0.6 –	(Tabelle A2-11)
	Bedarfsanpassung f_{eBA}	0.6 –	(Tabelle A2-12)

Lösung:	Spezifische Leistung:		
	$p_{BA} = \text{Fehler!} =$	8.48 W/m ²	(Formel F)
	Vollaststunden:		
	$h_{BA} = 2750 (1 - 0.8 \times 0.6) \times 0.6 =$	858 h/a	(Formel H)
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf		
	$E_{BA} = 8.48 \times 858 \times 0.0036 \times 0.9 =$	24 MJ/m ² a	(Formel A)
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_{BA} = \text{Fehler!} =$	3.3 MWh/a	(Formel B)

4.3.5 Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Luftförderung (LF)

Für die Berechnung der spezifischen Leistung für die Luftförderung (LF) kommt folgende Formel zur Anwendung:

P_{LF}	Fehler!	
V_{ZUL}	Spez. Zuluftvolumenstrom	m^3/h
Δp	Druckverlust Zu- und Abluft	Pa
η_{tot}	Gesamtwirkungsgrad für Ventilator und Motor	—
k_{hLF}	Faktor für Hilfsbetriebe inkl. Befeuchtung	—

Formel H: Berechnung der spezifischen Leistung p_{LF} [W/m²] für Luftförderung

Kenndaten für die Berechnung der spezifischen Leistung für die Luftförderung können den Tabellen A2-13 bis A2-16 im Anhang A2 entnommen werden. Weitere Angaben finden sich in der Fachliteratur und den Katalogen der Lüftungsanlagenhersteller.

Für die Berechnung der Vollaststunden kommt folgende Formel zur Anwendung:

h_{LF}	$f_{CLF} \times f_{eLF} \times h_N$	
f_{CLF}	Faktor Betriebszeit	—
f_{eLF}	Faktor Bedarfsanpassung	—
h_N	Nutzungsstunden	h/a

Formel J: Berechnung der Vollaststunden h_{LF} [h/a] für die Luftförderung

Der Faktor für die Betriebszeit f_{CLF} beträgt für die Projektierung normalerweise 1.0. Der Faktor für Bedarfsanpassung f_{eLF} kann der Tabelle A2-17 im Anhang A2 entnommen werden.

Für den gesamten Elektrizitätsbedarf des Verwendungszweckes «Lüftung/Klima» muss zum Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung derjenige für die Kühlung (entweder Luft- oder Wasserkühlung) addiert werden.

Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für die Luftkühlung oder Wasserkühlung: siehe folgende Seiten.

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Luftförderung bei einer Verkaufsfläche (Nutzungsstunden: 3600 h/a, Geschossfläche: 500 m²) mit nachfolgenden Kennwerten:

Gegeben:	Spez. Zuluftvolumenstrom v_{ZUL}	6 m ³ /hm ²	(Tabelle A2-13)
	Druckverlust Zu- und Abluft Δp	900 Pa	(Tabelle A2-14)
	Faktor Hilfsbetriebe k_{hLF}	1.05 –	(Tabelle A2-15)
	Gesamtwirkungsgrad η_{tot}	0.55 –	(Tabelle A2-16)
	Faktor Betriebszeit f_{CLF}	1.0 –	
	Faktor Bedarfsanpassung f_{eLF}	0.6 –	(Tabelle A2-17)

Lösung:	Spezifische Leistung:		
	$p_{LF} = \text{Fehler!} =$	2.86 W/m ²	(Formel H)
	Vollaststunden:		
	$h_{LF} = 1.0 \times 0.6 \times 3600 =$	2160 h/a	(Formel J)
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf :		
	$E_{LF} = 2.86 \times 2160 \times 0.0036 \times 0.9 =$	20.0 MJ/m ² a	(Formel A)
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_{LF} = \text{Fehler!} =$	2.8 MWh/a	(Formel B)

4.3.6 Berechnung Luftkühlung (KL)

Für die Berechnung der spezifischen Leistung der Luftkühlung kommt folgende Formel zur Anwendung:

p_{KL}	Fehler!	
v_{ZUL}	Spez. Zuluftvolumenstrom	m^3/hm^2
Δh	Enthalpiedifferenz	kJ/kg
ρ_l	Dichte Luft	1.13 kg/m^3
k_{vKL}	Faktor Verteil- und Speicherverluste	—
k_{hKL}	Faktor Hilfsbetriebe	—
η_{kKL}	Leistungszahl Kälteanlage	—

Formel K: Berechnung der spezifischen Leistung p_{KL} [W/m^2] für die Luftkühlung

Typische Anlagenkenndaten für die Berechnung der spezifischen Leistung für die Luftkühlung können den Tabellen A2-18 bis A2-21 im Anhang A2 entnommen werden. Weitere Angaben finden sich in der Fachliteratur und den Katalogen der Kälteanlagenhersteller.

Für die Berechnung der Vollbetriebsstunden kommt folgende Formel zur Anwendung:

h_{KL}	$f_{cKL} \times f_{eKL} \times h_N$	
f_{cKL}	Faktor Betriebszeit	—
f_{eKL}	Faktor Bedarfsanpassung	—
h_N	Nutzungsstunden	h/a

Formel L: Bedrechnung der Vollaststunden h_{KL} [h/a] für Luftkühlung

Die Faktoren für Betriebszeit f_{cKL} und Bedarfsanpassung f_{eKL} können den Tabellen A2-22 bis A2-23 im Anhang A2 entnommen werden.

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Luftkühlung bei einer Verkaufsfläche (Nutzungsstunden: 3600 h/a, Geschossfläche: 500 m²) mit nachfolgenden Kennwerten:

Gegeben:	Spez. Zuluftvolumenstrom v_{ZUL}	6 m ³ /hm ²	(Tabelle A2-13)
	Enthalpiedifferenz Δh	16 kJ/kg	(Tabelle A2-18)
	Dichte Luft ρ_l	1.13 kg/m ³	
	Faktor Verteilverluste k_{vKL}	1.15 –	(Tabelle A2-19)
	Faktor Hilfsbetriebe k_{hKL}	1.25 –	(Tabelle A2-20)
	Leistungszahl Kälteanlage η_{kKL}	3.0 –	(Tabelle A2-21)
	Faktor Betriebszeit f_{cKL}	0.3 –	(Tabelle A2-22)
	Faktor Bedarfsanpassung f_{eKL}	0.55 –	(Tabelle A2-23)

Lösung:	Spezifische Leistung:		
	$p_{KL} = \text{Fehler!} =$	14.4 W/m ²	(Formel K)
	Vollaststunden:		
	$h_{KL} = 0.3 \times 0.55 \times 3600 =$	594 h/a	(Formel L)
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf:		
	$E_{KL} = 14.4 \times 594 \times 0.0036 \times 0.9 =$	27.8 MJ/m ² a	(Formel A)
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_{KL} = \text{Fehler!} =$	3.9 MWh/a	(Formel B)

4.3.7 Berechnung Wasserkühlung (KW)

Für die Berechnung der spezifischen Leistung der Wasserkühlung kommt folgende Formel zur Anwendung:

P_{KW}	Fehler!	
P_{WLKW}	Spezifische Wärmelast, mit Wasserkühlung abzuführen	W/m ²
k_{vKW}	Faktor Verteil- und Speicherverluste	—
k_{hKW}	Faktor Hilfsbetriebe	—
η_{kKW}	Leistungszahl Kälteanlage	—

Formel M: Berechnung der spezifischen Leistung p_{KW} [W/m²] für Wasserkühlung

Für die Werte der Verteilverluste, der Hilfsbetriebe und der Leistungszahlen gelten dieselben Angaben wie für die Luftkühlung. Die Berechnung der wirksamen Wärmelast P_{WL} ist im Anhang A2 23 der Empfehlung SIA 380/4 beschrieben.

Für die Berechnung der Vollbetriebsstunden der Wasserkühlung kommt folgende Formel zur Anwendung:

h_{KW}	$f_{cKW} \times f_{eKW} \times h_N$	
f_{cKW}	Faktor Betriebszeit	—
f_{eKW}	Faktor Bedarfsanpassung	—
h_N	Nutzungsstunden	h/a

Formel N: Berechnung der Vollaststunden h_{KW} [h/a] für Wasserkühlung

Die Faktoren für Betriebszeit f_{cKW} und Bedarfsanpassung f_{eKW} können den Tabellen A2-24 bis A2-25 im Anhang A2 entnommen werden. (**Beachte:** andere Werte als für Luftkühlung!)

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Wasserkühlung einer Bürofläche (Nutzungsstunden: 2750 h/a, Geschossfläche: 500 m²) mit nachfolgenden Kennwerten:

Gegeben:	Spez. Wärmelast p_{WL} , total	30 W/m ²	
	davon: <i>Personenabwärme</i>	4 W/m ²	
	<i>Abwärme Arbeitshilfen</i>	12 W/m ²	
	<i>Abwärme Beleuchtung</i>	14 W/m ²	
	Faktor Verteilverluste k_{vKW}	1.15 –	(Tabelle A2-19)
	Faktor Hilfsbetriebe k_{hKW}	1.25 –	(Tabelle A2-20)
	Leistungszahl Kälteanlage η_{kKW}	3.0 –	(Tabelle A2-21)
	Faktor Betriebszeit f_{cKW}	0.4 –	(Tabelle A2-24)
	Faktor Bedarfsanpassung f_{eKW}	0.7 –	(Tabelle A2-25)

Lösung:	Spezifische Leistung:		
	$p_{KW} = \text{Fehler!} =$	14.4 W/m ²	(Formel M)
	Vollaststunden:		
	$h_{KW} = 0.4 \times 0.7 \times 2750 =$	770 h/a	(Formel N)
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf:		
	$E_{KW} = 14.4 \times 770 \times 0.0036 \times 0.9 =$	35.9 MJ/m ² a	(Formel A)
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_{KW} = \text{Fehler!} =$	5.0 MWh/a	(Formel B)

4.3.8 Diverse Technik (DT)

Dem Verwendungszweck «Diverse Technik» sind diejenigen Verbraucher zugeordnet, die zonenunabhängig für das gesamte Gebäude eine Energiedienstleistung erbringen. Es sind dies v.a. Hilfsbetriebe für die Heizung (Brenner, Umwälzpumpen) sowie Aufzüge.

Für die Berechnung der Teilenergiekennzahl «Diverse Technik» für Hilfsenergie Heizung und Aufzüge kommen folgende Formeln zur Anwendung:

TEK_{DT}	$(Q_h + Q_{\text{ww}}) \times k_{\text{hDT}}$	
=		
Q_h	Heizenergiebedarf	MJ/m ² a
Q_{ww}	Wärmebedarf Warmwasser	MJ/m ² a
k_{hDT}	Faktor Hilfsenergie Heizung	–

$e_A =$	$r_A \times e_{\text{AF}}$	
r_A	Anzahl Fahrten der Aufzüge	Fahrten/a
e_{AF}	Elektrizitätsbedarf pro Aufzugsfahrt	kWh/Fahrt

TEK_{DT}	Fehler!	
=		
n_A	Anzahl Aufzüge	–
e_A	Elektrizitätsbedarf pro Aufzug	kWh/a
EBF	Energiebezugsfläche	m ²

Formel O: Berechnung der Teilenergiekennzahl TEK_{DT} [MJ/m²a] für Diverse Technik

Die Werte für den Heizenergiebedarf und den Warmwasserbedarf sind nach der Empfehlung SIA 380/1 zu ermitteln. Der Faktor Hilfsenergie k_{hDT} sowie die Werte für den Elektrizitätsbedarf pro Fahrt e_{AF} und Einsätze pro Jahr r_A können exemplarisch dem nebenstehenden Beispiel entnommen werden (typische Werte). Weitere Angaben können der Fachliteratur (z.B. [3]) entnommen werden.

Für die Berechnung des Elektrizitätsbedarfs kommt folgende Formel zur Anwendung:

$Q_{\text{DT}} =$	Fehler!	
TEK_{DT}	Teilenergiekennzahl TEK_{DT} für Diverse Technik	MJ/m ² a
EBF	Energiebezugsfläche	m ²

Formel P: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs Q_{DT} [MWh/a] für Diverse Technik aus der Teilenergiekennzahl TEK_{DT} für Diverse Technik

Beispiel: Berechnung der Teilenergiekennzahl und des Elektrizitätsbedarfs für Diverse Technik im Bürogebäude mit nachfolgenden Kenndaten und einer Energiebezugsfläche von 3000 m²:

Gegeben:	Heizenergiebedarf Q_h	220 MJ/m ² a	siehe SIA 380/1
	Warmwasserbedarf Q_{WW}	25 MJ/m ² a	siehe SIA 380/1
	Faktor Hilfsenergie k_{hDT}	0.015 –	
	Elektrizitätsbedarf pro Fahrt e_{AF}	0.015 kWh/Fahrt	
	Anzahl Fahrten der Aufzüge r_A	300'000 Fahrten/a	
	Anzahl Aufzüge n_A	2 –	
Lösung:	Teilenergiekennzahl TEK_{DT}	14.5 MJ/m ² a	(Formel O)
	<i>Anteil Hilfsenergie:</i> $(220 + 25) \times 0.015 =$	3.7 MJ/m ² a	
	<i>Anteil Aufzüge:</i>		
	Fehler! =	10.8 MJ/m ² a	
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_{DT} = \text{Fehler!} =$	12.1 MWh/a	(Formel P)

4.4 Ermittlung aus Projektdaten der Haustechniksysteme

Nachdem die Anlagen und deren Komponenten bestimmt sind, kann der Elektrizitätsbedarf der Anlage aufgrund einer Verbraucherliste ermittelt werden. Auch dieses Vorgehen kann bereits in einer frühen Projektphase eingesetzt werden, in dem die Daten der wichtigsten Verbraucher grob abgeschätzt werden.

Zur Ermittlung der standardisierten Darstellung des Elektrizitätsbedarfs (Formular 1) muss die Verbraucherliste nach Zonen und Verwendungszweck ausgewertet werden.

4.4.1 Rechenmodell und Basisformeln

Die Berechnung des Elektrizitätsbedarfs erfolgt für jeden Verbraucher nach folgender Basisformel:

$Q = P \times h \times 0.001$		
P	Die Leistung entspricht der über eine Viertelstunde gemittelten effektiven Leistung eines Verbrauchers bei Vollast.	kW
h	Die Vollaststunden entsprechen der energieäquivalenten jährlichen Betriebszeit eines Verbrauchers bei Vollast.	h/a

Formel Q: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs Q [MWh/a] des Verbrauchers aus Leistung und Vollaststunden

Die Leistung der Hauptverbraucher wird mittels Erfahrungswerten abgeschätzt oder aufgrund ähnlicher Formeln wie im Abschnitt 4.3 ermittelt.

Die Vollaststunden der Hauptverbraucher werden ebenfalls aufgrund von Erfahrungswerten eingesetzt oder aus Nutzungsstunden und Betriebsfaktoren gemäss Abschnitt 4.3 abgeschätzt.

Eine vollständige Verbraucherliste eines Lebensmittelladens ist im Abschnitt 6.2.2 aufgeführt.

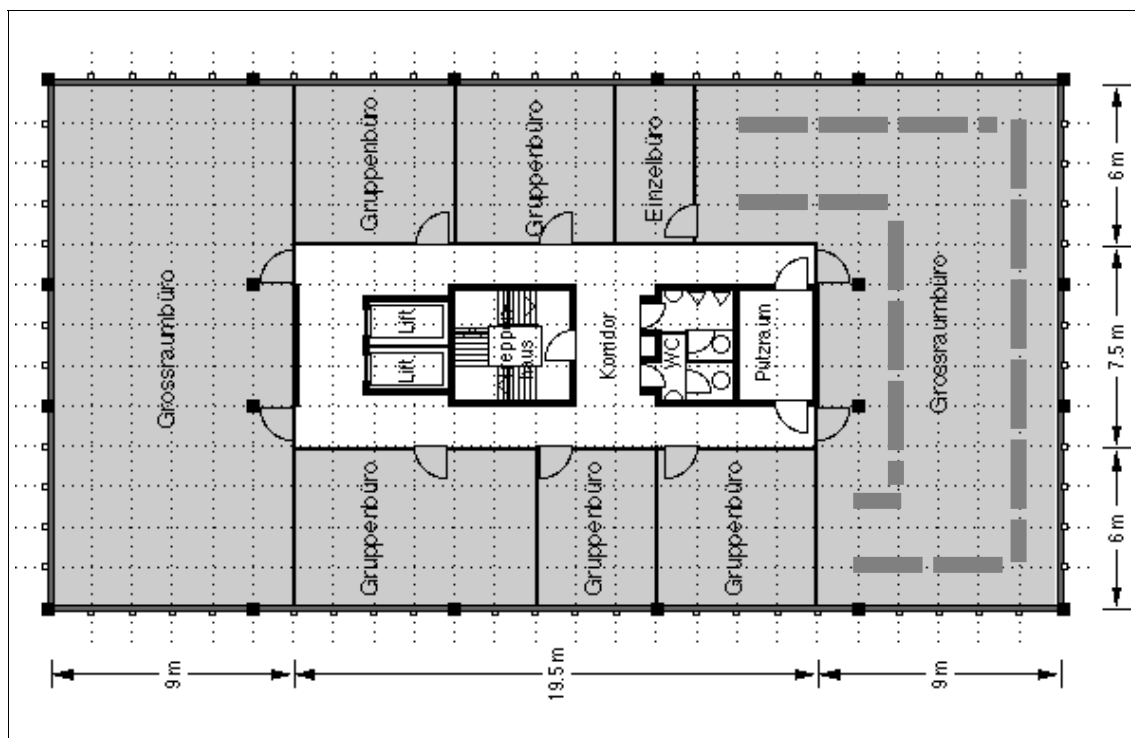
4.4.2 Beispiel für die Ermittlung des Elektrizitätsbedarfs der Beleuchtung

Zuerst muss der Fachplaner den Leuchtentyp auswählen und aufgrund der technischen Daten die Anzahl Leuchten bestimmen. Die effektive Anzahl ergibt sich aus der Anordnung im Grundriss (Figur 4-4).

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs der Beleuchtung einer Bürozone (Nutzungsstunden 2750 h/a, Geschossfläche 1000 m²) mit nachfolgenden Beleuchtungsdaten:

Gegeben:	Beleuchtungsstärke E_m	300 lx	
	Spiegelrasterleuchten	direkt/indirekt, 1-flammig	
	Dreibandenlampen	36 W	
	Vorschaltgerät verlustarm	4 W	
	Anzahl Leuchten	276 –	(Figur 4–3)
	Vollaststunden	1200 h/a	

Lösung:	Leistung:		
	$P_B = 276 \times (36 + 4) =$	11.0 kW	
	Elektrizitätsbedarf:		
	$Q_B = 11.0 \times 1200 \times 0.001 =$	13.2 MWh/a	(Formel Q)
	Spezifische Leistung:		
	$p_B = \text{Fehler!} =$	12.3 W/m ²	
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf:		
	$E_B = \text{Fehler!} =$	47.5 MJ/m ² a	



Figur 4–4: Grundriss der Bürozone mit eingezeichneten Leuchten

4.4.3 Beispiel für die Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für Lüftung/Klima

Für die Lüftungstechnischen Anlagen wird die Verbraucherliste (Tabelle 4–6) ausgehend vom Prinzipschema (Figur 4–5) aufgestellt.

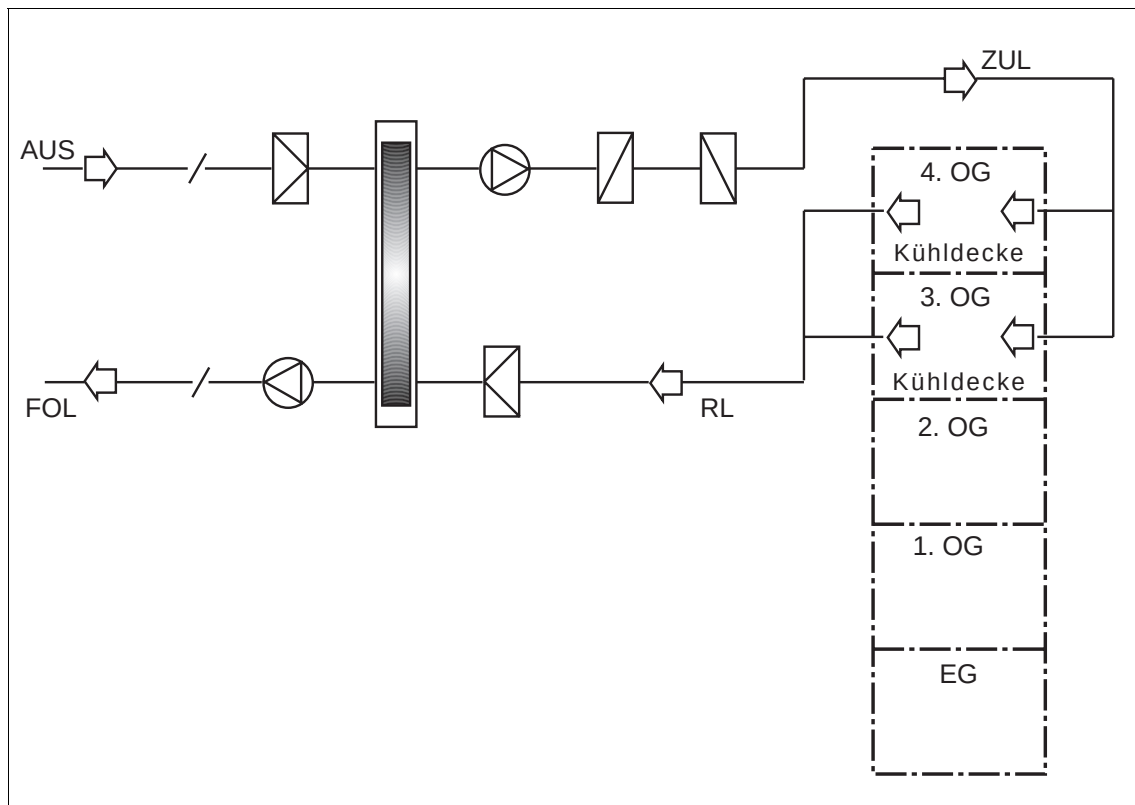
Zusätzlich zu den Ventilatoren und der Kältemaschine als Hauptverbraucher wird auch der Elektrizitätsbedarf der Hilfsbetriebe (WRG, Lufterhitzerpumpe) ermittelt (Tabelle 4–6).

Beispiel: Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für Lüftung/Klima einer Bürozone (Nutzungsstunden 2750 h/a, Geschossfläche 1000 m², 100 Personen) mit Quelllüftung und Kühldecke:

Gegeben: Lüftung/Klimaanlage gemäss Figur 4–5 mit Verbraucherliste gemäss Tabelle 4–6

Lösung:

Luftförderung (LF)	Leistung P_{LF}	4.3 kW	(Tabelle 4–6)
	Elektrizitätsbedarf Q_{LF}	11.38 MWh/a	(Tabelle 4–6)
	Vollaststunden:		
	$h_{LF} = \text{Fehler!} =$	2647 h/a	(Formel Q)
	Spezifische Leistung:		
	$p_{LF} = \text{Fehler!} =$	4.8 W/m ²	
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf:		
	$E_{LF} = \text{Fehler!} =$	41 MJ/m ² a	
Kühlung (K)	Leistung P_K	15.9 kW	(Tabelle 4–6)
	Elektrizitätsbedarf Q_K	14.61 MWh/a	(Tabelle 4–6)
	Vollaststunden:		
	$h_K = \text{Fehler!} =$	919 h/a	(Formel Q)
	Spezifische Leistung:		
	$p_K = \text{Fehler!} =$	17.7 W/m ²	
	Spezifischer Elektrizitätsbedarf:		
	$E_K = \text{Fehler!} =$	52 MJ/m ² a	
Lüftung/Klima (LK)	Spezifischer Elektrizitätsbedarf, total:		
	$E_{LK} = 41 + 52 =$	93 MJ/m ² a	



Figur 4–5: Prinzipschema der Klimaanlage

Nr.	Verbraucher	Volumenstrom [m ³ /h]	Druckverlust [Pa]	Leistung total [kW]	Vollaststunden [h/a]	Elektrizitätsbedarf [MWh/a]
Luftförderung						
1	ZL-Ventilator	7500	650	2.1	2750	5.78
2	FL-Ventilator	7500	525	1.7	2750	4.68
3	WRG			0.4	1800	0.72
4	Lufterhitzerpumpe			0.1	2100	0.21
	Total		1175	4.3	2647	11.38
Kühlung						
5	Kompressor			9.3	790	7.35
6	Kondensator			0.7	1100	0.77
7	Kaltwasserpumpe			2.2	1100	2.42
8	Kaltwasserpumpe			0.5	1100	0.55
9	Primärpumpe			1.1	1100	1.21
10	Sekundärpumpe			2.1	1100	2.31
	Total			15.9	919	14.61

Tabelle 4–6: Verbraucherliste Luftförderung und Kühlung der Klimaanlage von Figur 4–5

4.5 Hinweise auf Verfahren zur Detailberechnung

Die Detailberechnungen des Elektrizitätsbedarfs pro Anlage oder Verbraucher erfolgt nach fachspezifischen Berechnungsverfahren. Die Ergebnisse der Detailberechnungen müssen für die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs nach Zonen und Verwendungszweck ausgewertet werden (Formular 1).

In diesem Kapitel kann nur auf einige ausgewählte, häufig verwendete Detailberechnungsverfahren verwiesen werden (vgl. Literatur [6], [7], [8], [10], [11], Anhang A4.3). Deren Erläuterung würde den Rahmen dieses Leitfadens sprengen.

4.5.1 Detailberechnungsverfahren Beleuchtung

Der Elektrizitätsbedarf von Beleuchtungsanlagen ist hauptsächlich vom Zusammenspiel von Tages- und Kunstlicht im Innenraum, dem Leistungsbedarf der künstlichen Beleuchtung sowie vom Benutzerverhalten abhängig. Ausser dem Benutzerverhalten können heute alle Einflüsse mit mehr oder weniger grossem Aufwand rechnerisch ermittelt werden.

Berechnung des Tageslichtes im Innenraum

Der Tageslichtkoeffizient kann als Grundlage für die Abschätzung der Vollaststunden in tageslichtabhängigen Zonen verwendet werden. Mit Hilfe des Tageslichtquotienten können Tageslichtverhältnisse optimiert werden, z.B. durch Vergleich mehrerer Varianten einer Fassadengestaltung.

Methode: Der Tageslichtquotient gibt an, wieviel Prozent des im Freien vorhandenen Lichtes in einem beliebigen Punkt im Innenraum vorhanden ist. Mit Hilfe der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit wird der «mittlere Himmel» für die entsprechende Ortschaft ermittelt. Dabei wird ein gleichmässig bedeckter Himmel angenommen. Diese Resultate sind unabhängig vom geographischen Standort und der Orientierung des Objektes. Damit kann die durch das Tageslicht abgedeckte Nutzungszeit im Raum berechnet werden.

Berechnungsverfahren: Drei Berechnungsverfahren sind heute üblich. Als Handmethoden sind die Lumen-Methode (USA) und die Tageslichtquotienten-Methode (Europa, CIE – internationale Beleuchtungskommission) bekannt. Neuere EDV-Programme basieren oft auf der Lichtfluss-Methode, welche es erlaubt, auch Einflüsse von Lichtschwertern, Spiegeln, Sonnenstoren usw. einzubeziehen.

Berechnung von Kunstlicht im Innenraum

Mit der Kunstlichtberechnung kann die spezifische Leistung der Beleuchtung direkt ermittelt werden.

Berechnungsverfahren: Die Wirkungsgrad-Methode als einfache, überschaubare Handmethode wird zur raschen überschlagsmässigen Berechnung der Leuchtenzahl in einem Raum verwendet. Um anspruchsvollere Beleuchtungsaufgaben zu lösen, setzen die Beleuchtungsplaner EDV-Programme von diversen Leuchtenherstellern ein. Mit diesen Verfahren können auch Aussagen über Gleichmässigkeit, Lichtverteilung auf allen Flächen, usw. gemacht werden.

Eingabe	Ergebnis
Tageslichtberechnung	
Raum: Höhe / Breite / Tiefe Reflexion Boden / Wände / Decken Fenster: Länge / Höhe, Transmissionsgrad, Brüstungshöhe, Orientierung, Verschmutzung Oblichter, Sonnenschutz (verminderter Transmissionsgrad), Fenstervorbauten, Verbauungen (Himmelslichtdiagramm) Umgebung: Reflexionswert 15 % fest Aussenlichtverhältnisse: gleichmässig bedeckter Himmel, mittlerer Himmel (Sonnenscheinwahrscheinlichkeit) Nennbeleuchtungsstärke Steuerung / Regelung: ein / aus, kontinuierlich gedimmt	Tageslichtquotient [%] Der Tageslichtquotient kann für beliebig viele Punkte im Raum bestimmt werden. Vollaststunden [h/a] Die Betriebszeit mit ausschliesslich Tageslicht kann für die gewünschte Nennbeleuchtungsstärke abgeleitet werden.
Kunstlichtberechnung	
Raum: Höhe, Breite, Tiefe, Höhe Nutzebene, Reflexionsgrade, Raumwirkungsgrad, Verminderungsfaktor Leuchte: Leuchtenklassifikation, Leuchtenbetriebswirkungsgrad, Pendellänge, Anordnung im Raum *	Mittlere Beleuchtungsstärke Anzahl Leuchten Beleuchtungsstärke und Leuchtdichten * Installierte Leistung Geichmässigkeit *

* nur mittels EDV-Berechnung möglich

Tabelle 4–7: Eingaben und Ergebnisse von Detailberechnungen für Tageslicht und Kunstlicht in Innenräumen

4.5.2 Detailberechnungsverfahren Lüftung/Klima

Der Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima wird verursacht durch die Luftförderung (Luftmenge, Druckverlust, Wirkungsgrade von Ventilator und Motor), die Kälteerzeugung und -verteilung (bis über 50 % des Verbrauches, vgl. Beispiel aus Abschnitt 4.4.3) und die elektrische Luftbefeuchtung.

Für die Elektrizitätsbedarfsberechnung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Im folgenden wird auf zwei häufig verwendete Berechnungsarten eingegangen.

Energiebedarfswerte lüftungstechnischer Anlagen (Betriebskosten-Berechnung lufttechnischer Einrichtungen nach SWKI-Richtlinie 83-2)

Für Anlagen mit konstanten Zuluft- und Betriebszuständen können die Resultate für die Aussenluftkühlung (Faktor der Bedarfsanpassung, fe_{KL}) und Aussenluftbefeuchtung (Anteil Faktor Hilfsbetriebe, k_{LF}) in die einfache Berechnung übernommen werden. Spezielle Konzepte, wie z.B. Free cooling, können nicht unmittelbar berechnet werden.

Methode: Die Daten von sechs Meteostationen der Schweiz wurden monatsweise aufbereitet. Aufgrund dieser Daten sind Energiebedarfswerte für die Aussenluftbefeuchtung und -kühlung berechnet worden.

Summenhäufigkeit der Aussentemperatur (SIA-Dokumentation D 012)

Aus der Summenhäufigkeitstabelle lassen sich direkt Werte für Faktoren der einfachen Berechnung ableiten. Im Gegensatz zur SWKI-Richtlinie sind z.B. für Kühlerkurven oder Betriebszustände für bestimmte Regelstrategien noch zusätzliche Berechnungen durchzuführen. Regelstrategien von lüftungstechnischen Anlagen (Zulufttemperaturregelung, variabler Volumenstrom usw.) können in dieser Tabellendarstellung für die Energiebedarfsberechnung berücksichtigt werden.

Eingaben	Resultate
Betriebskosten lufttechnischer Einrichtungen SWKI-Richtlinie 83-2	
Aussenluftbefeuchtung Aussenluftvolumenstrom Zuluftfeuchte (konstant) Zulufttemperatur (konstant) Betriebszeit (täglich) Betriebstage pro Jahr	Wärmeenergiebedarf [MWh] Befeuchtungsmenge [kg/a] Befeuchtungsstunden [h/a]
Aussenluftkühlung Aussenluftvolumenstrom Mittlere Kühloberflächentemperatur Zulufttemperatur (konstant) Betriebszeit (täglich) Betriebstage pro Jahr	Kälteenergiebedarf [MWh] Kühlstunden [h/a]
Summenhäufigkeit Aussentemperatur SIA-Dokumentation D 012	
Aussenlufterwärmung Zulufttemperatur Betriebsstunden (täglich) Betriebstage pro Jahr Korrekturfaktor Betriebszeit	Spez. Wärmeenergiebedarf [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$] Heizstunden [h/a]
Aussenluftbefeuchtung Absolute Zuluftfeuchte Zulufttemperatur Betriebszeit (täglich) Betriebstage pro Jahr Korrekturfaktor Betriebszeit	Spez. Wärmeenergiebedarf [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$] Spez. Befeuchtungsmenge [m^3/a] Befeuchtungsstunden [h/a]
Aussenluftkühlung Mittlere Kühloberflächentemperatur Zulufttemperatur Kühlerkurve Betriebszeit (täglich) Betriebstage Korrekturfaktor Betriebszeit	Spez. Kälteenergiebedarf [W/m^2] Kühlstunden [h/a]

Tabelle 4-8: Eingaben und Ergebnisse von Detailberechnungsverfahren für Lüftung/Klima

5. Anwendungsbeispiel «Neubau»

5.1	Einleitung	58
5.2	Vorstudie	60
5.2.1	Pflichtenheft	60
5.2.2	Zoneneinteilung und Nutzungsvorgaben	61
5.2.3	Ermittlung der Anforderungen	61
5.2.4	Abschätzung des Elektrizitätsbedarfs	62
5.3	Vorprojekt	64
5.3.1	Bauliche Voraussetzungen und Systemwahl Haustechnik	64
5.3.2	Zoneneinteilung und Nutzungsbedingungen	64
5.3.3	Anpassung der Anforderungen	66
5.3.4	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs	66
5.4	Projekt	68
5.4.1	Zoneneinteilung und Nutzungsbedingungen	68
5.4.2	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs	68
5.4.3	Vergleich mit den gestellten Anforderungen	70
5.4.4	Messkonzept	71
5.5	Nutzen aus der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4	72

5.1 Einleitung

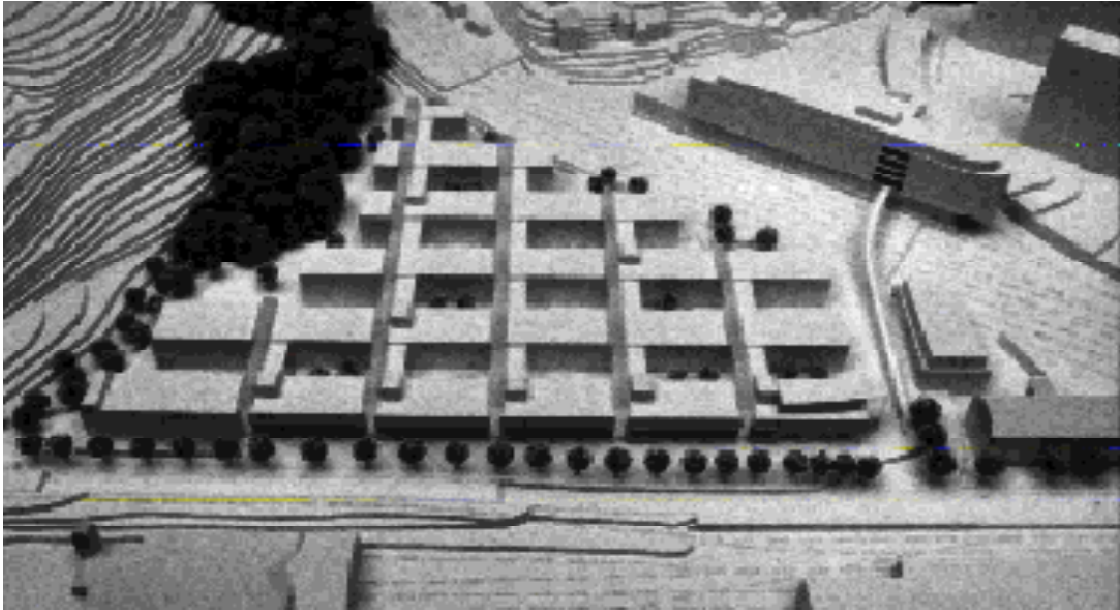
Beim nachfolgend vorgestellten Neubau-Beispiel handelt es sich um ein Verwaltungszentrum mit tausend Arbeitsplätzen. Das Projekt (Figur 5–2) war aus einem Wettbewerb als Sieger hervorgegangen. Die Bauherrschaft setzte sich ein aus wirtschaftlicher, energetischer und ökologischer Sicht mustergültiges Gebäude zum Ziel.

Der stark gegliederte Baukörper weist vier Geschosse (1.UG - 2.OG) auf. Die von Nord nach Süd verlaufenden Bürotrakte sind als Zwei-Bünder konzipiert (Figur 5–3), welche durch von West nach Ost orientierte Verbindungsbauten erschlossen werden. Die Innenhöfe sind nicht überdacht.

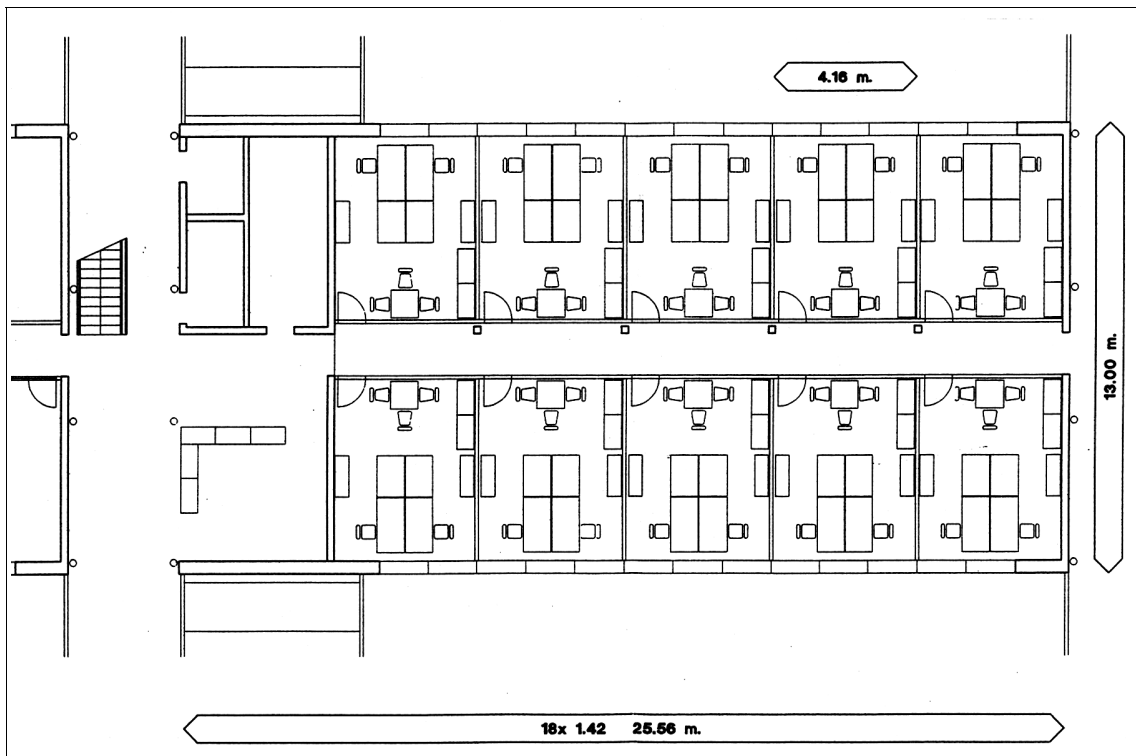
Die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 im Planungsablauf des Beispiels «Neubau» ist in Tabelle 5–1 zusammengefasst.

Vorgehensschritte im Planungsprozess	Angewandte Elemente aus SIA 380/4
1. Vorstudie	
Pflichtenheft erstellen	Nutzungsbedingungen Anforderungsniveau
Zoneneinteilung und Nutzungsvorgaben festlegen	Anforderungen
Anforderungen bestimmen	Anforderungen
Elektrizitätsbilanz abschätzen	Anforderungen, Erfahrungswerte
2. Vorprojekt	
Bauliche Voraussetzungen für den rationellen Elektrizitätseinsatz schaffen und Systemwahl Haustechnik treffen	Nutzungsbedingungen
Anforderungen bestimmen	Anforderungen
Elektrizitätsbilanz abschätzen	Anforderungen, Erfahrungswerte
3. Projekt	
Haustechnikanlagen dimensionieren und Komponenten auswählen	
Elektrizitätsbilanz ermitteln	Einfache Berechnung
mit Anforderungen vergleichen	Anforderungen
Messkonzept erstellen	Elektrizitätsbilanz

Tabelle 5–1: Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 im Planungsprozess beim Beispiel «Neubau»



Figur 5-2: Geplanter Neubau für ein Verwaltungszentrum mit 1000 Arbeitsplätzen (Modellfoto)



Figur 5-3: Grundriss eines Bürogeschosses des Verwaltungszentrums

5.2 Vorstudie

5.2.1 Pflichtenheft

Die Anforderungen an den Elektrizitätsbedarf des Gebäudes sowie an dessen bauliche und gebäudetechnische Ausgestaltung sind gemeinsam von Bauherrschaft, Benützern und Planern in einem Pflichtenheft festgelegt worden (Tabelle 5–4).

Anforderungen an den Elektrizitätsbedarf
Der spezifische Elektrizitätsbedarf soll in der Regel den Mittelwert zwischen Grenzwert und Zielwert gemäss der Empfehlung SIA 380/4 nicht übersteigen.
Bauliche Anforderungen
■ Optimaler sommerlicher Wärmeschutz (g-Wert < 0.15) ■ Ausreichende Speichermassen im Innenraum (Betondecken) ■ Verzicht auf eine aktive Klimatisierung der Büros
Beleuchtung
Intensive Tageslichtnutzung: In möglichst allen häufig benutzten Räumen soll Tageslicht in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Folgende Werte sind einzuhalten: ■ Auch ungünstig gelegene Büros müssen während 50 % des Jahres mit genügend Tageslicht versorgt werden (Tageslichtquotient 3 %, 2 m von Fassade in Raummitte). ■ Alle oberirdischen Verkehrsflächen müssen ausreichend mit Tageslicht versorgt werden (Tageslichtquotient ca. 0.4 %). Künstliche Beleuchtung: Die Beleuchtungsstärken sind nach den Richtlinien der SLG zu wählen. Der Wirkungsgrad des gesamten Beleuchtungssystems (Reflexionsgrade Begrenzungsflächen, Leuchtenbetriebswirkungsgrad, Lichtausbeute Lampen, Verlustleistung Vorschaltgeräte, usw.) ist zu optimieren.
Lüftung/Klima
Generelle Anforderungen: ■ Die Lüftung der Einzel- und Gruppenbüros sowie der kleinen Konferenzräume erfolgt über die Fenster. ■ Mechanisch belüftet werden ausschliesslich die grossen Konferenzräume, Restaurant, Küche, Garagen, Technikräume und allfällige Lager (Putzräume). Die relative Luftfeuchtigkeit in den mechanisch belüfteten Räumen darf 30 % nicht unterschreiten. Die Befeuchtung darf nicht durch elektrisch erzeugten Dampf erfolgen. Anforderungen an Anlagen: ■ Die Komponenten der Lüftungsanlagen (Monobloc, Kanalquerschnitte, Elektromotor) sind bei ihrer Dimensionierung bezüglich Elektrizitätsbedarf zu optimieren. ■ Der Wirkungsgrad der Ventilatoren (inkl. Motor) muss für 40-100 % Volumenstrom > 55 % erreichen. Der Volumenstrom muss bedarfsabhängig gesteuert werden.

Tabelle 5–4: Auszug der energierelevanten Festlegungen aus dem Pflichtenheft der Vorstudienphase

5.2.2 Zoneneinteilung und Nutzungsvorgaben

Die Nutzungsvorgaben wurden im Planungsteam zusammen mit dem Bauherrn festgelegt. Die Einteilung des Gebäudes in Zonen gleicher Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen (Tabelle 5–5) erfolgt ausgehend von den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung. Entsprechend dem Planungsstand (Vorstudienphase) sind erst einige wenige Zonen unterschieden.

Zone	Geschossfläche [m ²]	Nutzung
Büro	19'200 (45 %)	Gemischte Büronutzung für Administration, Konferenzzentrum mit Sitzungszimmern und Konferenzraum
Verkehr	10'200 (24 %)	Ober- und unterirdische Verkehrsflächen
Restaurant	1'300 (3 %)	Personalrestaurant und Cafeteria inkl. Küche, für Mittagessen und Zwischenverpflegungen
Lager/Technik/ Nebenräume	5'200 (12 %)	Archive, Lager ohne spezielle Anforderungen an Raumklima, Technikräume HKLSE, usw.
Garage	6'600 (16 %)	Parking für interne Nutzung

Tabelle 5–5: Zoneneinteilung des Verwaltungsgebäudes in der Vorstudienphase

In verschiedenen Zonen wichen die Nutzungsvorgaben von den in den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung SIA 380/4 aufgeführten Werten ab (vgl. Tabellen 5–6, 5–7; abweichende Werte sind fett hervorgehoben): In den Verkehrsflächen wurde von der Bauherrschaft eine Beleuchtungsstärke von 150 Lux anstatt 50 Lux gefordert. Die Nutzungsstunden im Personalrestaurant betragen dagegen lediglich 2750 h/a statt 3600 h/a wie bei einem öffentlichen Restaurant.

5.2.3 Ermittlung der Anforderungen

Für Zonen, welche den in den Tabellen 2 und 3 der Empfehlung SIA 380/4 aufgeführten Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen entsprechen, wurden die Grenz- und Zielwerte der Empfehlung entnommen.

Gemäss dem im Pflichtenheft festgelegten Anforderungsniveau (Tabelle 5–4) wird als Zielvorgabe für den Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung und Lüftung/Klima das Mittel zwischen Grenz- und Zielwert eingesetzt (Tabellen 5–6 und 5–7).

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Bel. stärke [Lux]	Deko - bel. [W/m ²]	Tagesl. nutz. [h]	Ben. frequ. [h]	Grenz- wert	Zielwert	Vorga- ben Bauherr
Büro	2750	500		zum Teil		70	40	55
Restaurant	2750	200		überw.		35	23	29
Verkehr	2750	150		überw.		28	16	22
Lager/Technik	2750	100		ohne	wenig	7	3	5
Garage	2750	50		ohne		30	20	25

Tabelle 5–6: Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf [MJ/m²a] für Beleuchtung in der Vorstudie

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Pers. fläch. [m ² /P]	Rauch. ant. [-]	Interne Last [W/m ²]	Ben. frequ. [-]	Grenz- wert	Zielwert	Vor- gaben Bauherr
Büro	2750	10	0	30		40	20	30
Restaurant	2750	2.0	50 %			38	14	25
Verkehr	2750							
Lager/Technik	2750	3.0 *)			häufig	10	5	8
Garage	2750	2.0 *)				5	3	4

*) Spezifischer Aussenluftvolumenstrom [m³/hm²]

Tabelle 5–7: Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf [MJ/m²a] für Lüftung/ Klima in der Vorstudie

5.2.4 Abschätzung des Elektrizitätsbedarfs

Spezifischer Elektrizitätsbedarf

Der spezifische Elektrizitätsbedarf (vgl. Tabelle 5–9, Formular 2) wurde anhand der Zielvorgaben für Beleuchtung und Lüftung/Klima (Tabellen 5–6 und 5–7) und anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt (vgl. Abschnitt 4.2). Für die Arbeitshilfen wurden die Erfahrungswerte aus der Empfehlung (Anhang A3 31) berücksichtigt, da der zukünftige Betreiber noch keine Angaben über die geplanten EDV- und Telekommunikationseinrichtungen machen konnte. Die Schätzung «Zentrale Dienste» für das Restaurant erfolgte auf der Basis von 500 Menus/Tag mit einem Elektrizitätsbedarf von 2.0 kWh/Menu (Kochen, Abwaschen, gewerbliche Kälte, ohne Beleuchtung und Lüftung/Klima).

Elektrizitätsbilanz

Die Elektrizitätsbilanz (Formular 1) zeigt die grossen Anteile des Elektrizitätsbedarfs und die Optimierungsschwerpunkte für das Vorprojekt. In den Büros bedürfen die Arbeitshilfen einer Konkretisierung. Aber auch der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung und Lüftung/Klima ist beachtlich. Der Elektrizitätsbedarf des Restaurants wird durch die zentralen Dienste bestimmt. Bei der Verkehrsfläche und der Garage stammt der Elektrizitätsbedarf hauptsächlich von der Beleuchtung her.

Energiekennzahlen

Die Teilenergiekennzahlen (Formular 3) wurden aus Formular 1 abgeleitet und mit den Beispielen für typische Bauten im Anhang A3 4 der Empfehlung verglichen (Tabelle 5–8).

Energiekennzahlen [MJ/m ² a]	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung / Klima	Diverse Technik	Elektrizität total
Bürogebäude 1	18	8	23	15	20	84
Bürogebäude 2	25	23	38	30	20	136
Objektwerte (ohne Restaurant)	48	0	46	20	20	134

Tabelle 5–8: Vergleich der Teilenergiekennzahlen mit Beispielen aus der Empfehlung SIA 380/4, Stand Vorstudie (ohne Restaurant)

Der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung und Lüftung/Klima liegt insgesamt in der Grössenordnung des Bürogebäudes 2. Aufgrund der besseren Tageslichtnutzung und der Fensterlüftung besteht bei der Beleuchtung und der Lüftung/Klima jedoch noch ein Optimierungspotential, das im Vorprojekt näher untersucht wurde.

Elektrizitätsbilanz in MWh/a									Formular 1
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik				Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	
Büro	19'200	19'200	427		293	160			880
Restaurant	1'300	1'300		250	10	9			270
Verkehr	10'200	8'400			62				62
Lager/Technik	5'200	4'500			7	11			18
Garage	6'600				46	7			53
Gebäude							186		186
Total	42'500	33'400	427	250	419	187	186		1'469

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m2a									Formular 2
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik				Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	
Büro	19'200		80		55	30			
Restaurant	1'300				29	25			
Verkehr				692	22				
Lager/Technik					5	8			
Garage					25	4			

Energiekennzahlen in MJ/m2a								Formular 3
Verwendungszweck	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total Energiekennzahl Elektrizität
		Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Teilennergiekennzahlen		46	27	45	20	20		158
Summe der Teilennergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima					65			

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 5–9: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs, Stand Vorstudie

5.3 Vorprojekt

5.3.1 Bauliche Voraussetzungen und Systemwahl Haustechnik

Bauliche Voraussetzungen

Der Gebäudekomplex mit seinen Innenhöfen wurde von Anfang an auf eine optimale Tageslichtnutzung ausgerichtet. Aus Tageslichtsimulationen (Figur 5–10) und einem Musterraum wurden die in der Tabelle 5–11 aufgeführten baulichen Massnahmen abgeleitet. Um auch eine weitere Hauptforderung des Bauherrn, nämlich auf eine aktive Klimatisierung verzichten zu können, zu erfüllen, mussten weitere bauliche Massnahmen getroffen werden (vgl. Tabelle 5–11). Dynamische Raumsimulationen zeigten, dass unter diesen Voraussetzungen die Temperaturen in den Innenräumen im Sommer unter dem Grenzwert von 28 °C gehalten werden können.

Vorgaben Betriebseinrichtungen

Aufgrund des Konzeptes für EDV und Telekommunikation wurden zentrale EDV-Räume (zur Aufstellung der Server) ausgeschieden. Die Flächen dieser klimatisierten Räume wurden auf ein Minimum beschränkt, wobei noch zusätzliche Reserveräume verfügbar sind. Die internen Wärmelasten in den Büroflächen wurden durch Aufstellung der Abteilungsdrucker und Kopiergeräte in separaten Bereichen weiter reduziert.

Systemwahl Haustechnik

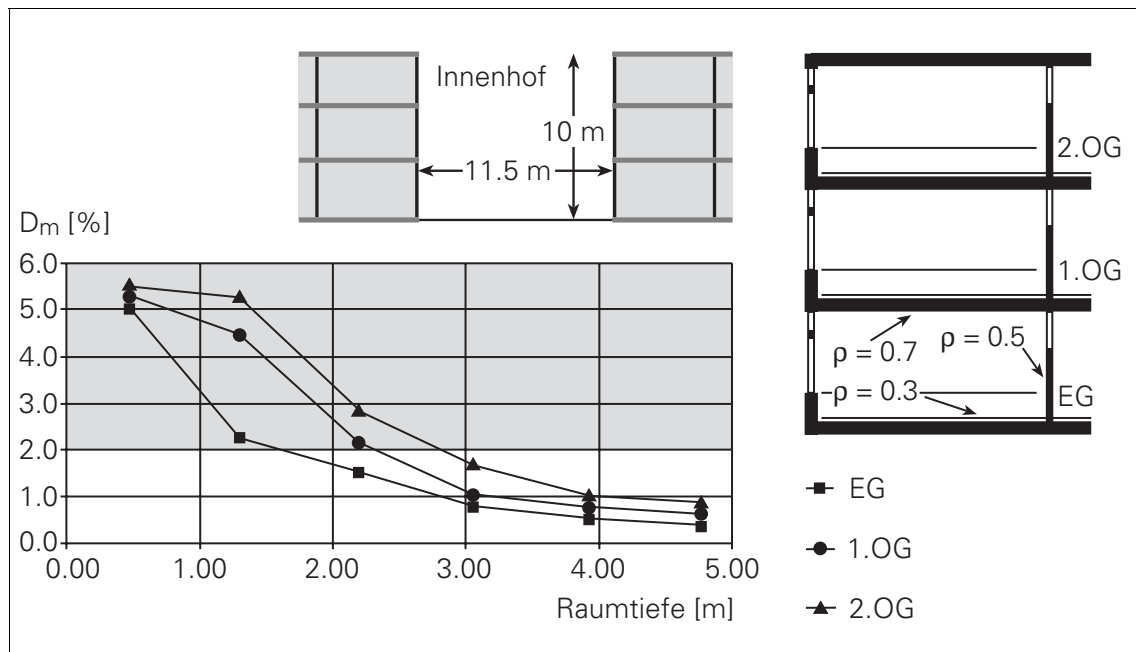
Das Gebäude wurde auf eine hohe Flexibilität bezüglich haustechnischer Installationen ausgelegt. Einfache, überblickbare technische Konzepte mit modularem Aufbau sollen jederzeit den Aus- und Umbau der Haustechnikanlagen ermöglichen. Die Haustechnik und die Energieversorgung wurden entsprechend den im Zeitpunkt des Vorprojektstadiums ausgewiesenen Bedürfnissen knapp dimensioniert. Für einen Weiterausbau sind nur die räumlichen Reserven, nicht aber Reserveleistungen berücksichtigt worden.

Als künstliche Beleuchtung wurden Ständerleuchten (direkt/indirekt) oder Deckenaufbauleuchten mit elektronischen Betriebsgeräten und integriertem Bewegungsmelder mit Tageslichtsensor vorgesehen.

Auf eine mechanische Belüftung wurde bei allen Büros verzichtet. Damit im Betrieb nötigenfalls punktuell nachgerüstet werden kann, ist der Platzbedarf für die Luftaufbereitung und -verteilung reserviert worden.

5.3.2 Zoneneinteilung und Nutzungsbedingungen

Die Zoneneinteilung der Vorstudie wird weitgehend unverändert übernommen. Neu wurde lediglich die Zone «EDV» ausgeschieden. Die Nutzungsbedingungen werden aufgrund des Vorprojektes angepasst (Tabellen 5–12 und 5–13). Die Tageslichtnutzung wurde verbessert, und die internen Wärmelasten in den Büros konnten reduziert werden.



Figur 5–10: Resultate der Tageslichtsimulation, Verlauf des Tageslichtquotienten (D_m) in einem Büro

Beleuchtung

- Helle Fassaden in den Innenhöfen
- Fensteroberkante so hoch wie nur möglich ansetzen (kein Sturz)
- Helle Fensterbänke und transparente Glaselemente bei den Fassadenanschlüssen
- Minimierung des Fensterrahmenanteils (wichtige Folgerung aus dem Musterraum)
- Transparente Flächen zwischen hellen Büros und innenliegenden Korridoren
- Helle Farben für Wand, Decken, Boden und Möblierung

Lüftung/Klima

- Begrünung der Innenhöfe, um eine übermäßige Erhitzung zu verhindern
- Zentral gesteuerte und individuell bedienbare Lamellenstoren als optimaler, aussenliegender Sonnenschutz
- Betondecken in den Büros mit ausreichender raumwirksamer thermischer Masse

Tabelle 5–11: Getroffene bauliche Massnahmen zur Reduktion des Elektrizitätsbedarfs für Beleuchtung und Lüftung/Klima

5.3.3 Anpassung der Anforderungen

Die in der Vorstudie ermittelten Anforderungen werden dem Stand des Vorprojektes angepasst (vgl. Tabelle 5–12, 5–13, geänderte Werte sind fett hervorgehoben).

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Bel. stärke [Lux]	Dekobel. [W/m ²]	Tagesl nutz. [h]	Ben. frequ. [h]	Grenz- wert	Ziel- wert	Vorgaben Bauherr
Büro	2750	300		überw.		35	12	24
EDV	2750	300		überw.		35	12	24
Restaurant	2750	200		überw.		35	23	29
Verkehr	2750	150		überw.		28	16	22
Lager/Technik	2750	100		ohne	wenig	7	3	5
Garage	2750	50		ohne		30	20	25

Tabelle 5–12: Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf [MJ/m²a] für Beleuchtung im Vorprojekt

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Pers. fläch. [m ² /P]	Rauch. ant. [h]	Interne Last [W/m ²]	Ben. frequ. [h]	Grenz- wert	Ziel- wert	Vorgaben Bauherr
Büro	2750	15	0	<20		0	0	0
EDV	8760			50		217	135	176
Restaurant	2750	2	50 %			38	14	26
Verkehr	2750							
Lager/Technik	2750	3.0 *)			häufig	10	5	8
Garage	2750	3.0 *)				5	3	4

*) Spezifischer Aussenluftvolumenstrom [m³/hm²]

Tabelle 5–13: Anforderungen an den spezifischen Elektrizitätsbedarf [MJ/m²a] für Lüftung/ Klima im Vorprojekt

5.3.4 Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs

Spezifischer Elektrizitätsbedarf

Wie in der Vorstudie wurde der Elektrizitätsbedarf (Tabelle 5–15) auch im Vorprojekt entsprechend der im Abschnitt 4.2 beschriebenen Methode aufgrund der gestellten Anforderungen und von Erfahrungswerten abgeschätzt.

Energiekennzahlen

Bei den Teilenergiekennzahlen (Tabelle 5–14) ergab sich eine Verschiebung des Verbrauchsschwerpunktes von den Arbeitshilfen hin zu den Zentralen Diensten. Beträchtlich haben ferner die Teilenergiekennzahlen für Beleuchtung und Lüftung/Klima abgenommen (vgl. Tabellen 5–8 und 5–14) .

Energiekennzahlen [MJ/m ² a]	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektrizität total
Bürogebäude 1	18	8	23	15	20	84
Bürogebäude 2	25	23	38	30	20	136
Objektwerte (ohne Restaurant)	23	22	28	5	20	98

Tabelle 5–14: Vergleich der Teilenergiekennzahlen mit Beispielen in SIA 380/4, Stand Vorprojekt (ohne Restaurant)

Elektrizitätsbilanz in MWh/a									Formular 1
Verwendungszweck	GF m ²	EBF m ²	Betriebseinrichtungen		Haustechnik				Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	
Büro	19'200	19'200	213		125				339
EDV	500	500		197	5	24			225
Restaurant	1'300	1'300		250	10	9			270
Verkehr	10'200	8'400			62				62
Lager/Technik	5'200	4'500			7	11			18
Garage	6'600				46	7			53
Gebäude							188		188
Total	43'000	33'900	213	447	254	52	188		1'154

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m ² a									Formular 2
Verwendungszweck	GF m ²	EBF m ²	Betriebseinrichtungen		Haustechnik				Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	
Büro	19'200		40		24				
EDV	500			1'418	24	176			
Restaurant	1'300			692	29	26			
Verkehr	10'200				22				
Lager/Technik	5'200				5	8			
Garage	6'600				25	4			

Energiekennzahlen in MJ/m2a								Formular 3
Verwendungszweck	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total Energiekennzahl Elektrizität
		Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Teilenenergiekennzahlen		23	47	27	6	20		123
Summe der Teilenenergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima					33			

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 5–15: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs, Stand Vorprojekt

Elektrizitätsbilanz in MWh/a								Formular 1	
Verwendungszweck	GF m ²	EBF m ²	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Büro	19'200	19'200	213		133	0			346
EDV	500	500		197	5	25			227
Restaurant	1'300	1'300		250	11	9			270
Verkehr	10'200	8'400			62				62
Lager/Technik	5'200	4'500			7	10			17
Garage	6'600				46	7			53
Gebäude							188		188
Total	43'000	33'900	213	447	264	51	188		1'163

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m ² a								Formular 2	
Verwendungszweck	GF m ²	EBF m ²	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Büro	19'200		40	0	25	0			
EDV	500		0						
Restaurant	1'300		0	692	31	25			
Verkehr	10'200		0	0	22	0			
Lager/Technik	5'200		0	0	5	7			
Garage	6'600		0	0	25	4			

Energiekennzahlen in MJ/m2a							Formular 3	
Verwendungszweck	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total Energiekennzah l Elektrizität
		Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Teilennergiekennzahlen		23	47	28	5	20		123
Summe der Teilennergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima								

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Formulare 1, 2 und 3: Die standardisierten Darstellungen des Elektrizitätsbedarfes von Gebäuden und Anlagen nach SIA 380/4, Elektrizitätsbilanz, Spezifischer Elektrizitätsbedarf und Energiekennzahlen

5.4 Projekt

5.4.1 Zoneneinteilung und Nutzungsbedingungen

Aufgrund der detaillierteren Kenntnisse über das Gebäude, dessen Nutzung und die vorgesehenen Haustechnikanlagen wird die Zoneneinteilung in der Projektphase wesentlich verfeinert.

5.4.2 Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs

Spezifischer Elektrizitätsbedarf

Der spezifische Elektrizitätsbedarf wird nach der einfachen Berechnung gemäss Abschnitt 4.3 ermittelt. Die vollständige Berechnung ist im Anhang A3 dieser Dokumentation wiedergegeben. Ausgangspunkt der Berechnung bilden einerseits die Nutzungsstunden und -bedingungen der einzelnen Zonen, andererseits die Projektdaten der Haustechniksysteme (vgl. Tabelle 5–16). Die Ergebnisse der Berechnung wurden in die Tabelle 5–18 übertragen.

Beleuchtung	«Büro»
Vorgesehene Leuchten	Stehleuchten
Beleuchtungswirkungsgrad η_B	65 %
Vorgesehene Lampen	36 W PL
Lichtausbeute	75 lm/W (inkl. EVG)
Anschlussleistung total	176 kW
Vollaststunden	850 h/a
Lüftung/Klima	«Konferenzräume gross»
Zuluftvolumenstrom	3850 m ³ /h
Ventilatorleistung (2–stufig)	1.8 kW
Vollaststunden	1200 h/a
Luftkühler	23 kW
Vollaststunden	560 h/a

Tabelle 5–16: Beispiele technischer Daten als Grundlage für die Berechnung in der Projektphase

Energiekennzahlen

Tabelle 5–17 zeigt die Teilenergiekennzahlen aus dem Projekt im Vergleich mit früheren Ergebnissen. Die Abweichungen beim Gesamt-Elektrizitätsbedarf sind relativ gering. Mit zunehmendem Detaillierungsgrad ergeben sich dagegen teilweise erhebliche Verschiebungen zwischen den Teilenergiekennzahlen der verschiedenen Verwendungszwecke.

Energiekennzahlen [MJ/m ² a]	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung / Klima	Diverse Technik	Elektrizität total
Vorstudie	48	0	46	20	20	134
Vorprojekt	23	22	28	5	20	98
Projekt	31	21	31	7	20	110

Tabelle 5–17: Vergleich der Teilenergiekennzahlen (ohne Restaurant) aus den verschiedenen Planungsphasen

Elektrizitätsbilanz in MWh/a									Formular 1
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik		Diverse Technik	Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima			
Büro	18'671	18'671	196.4		147.9				344
Verkehrsfläche OG	8'697	8'697	53.8		52.7				107
Konferenzräume	258	258	1.5		3.4	6.9			12
Restaurant/Cafeteria	842	842			11.2	13.1			24
Küche	476	476		250.0	8.7	16.4			275
Lager Restaurant	133				0.6				1
Verkehrsfläche UG	1'862				16.9				17
WC/Putzräume	880	880			4.4	5.2			10
Technik	1'590				1.1				1
Lager	4'450				3.0	4.7			8
EDV-Räume	469	469		166.4	6.2	27.1			200
Garage	6'579	0			16.3	12.6			29
Gebäude							170		170
Total	44'907	30'293	252	416	272	86	170		1'196

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m2a									Formular 2
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik		Diverse Technik	Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima			
Büro	18'671		38		29				
Verkehrsfläche OG	8'697		22		22				
Konferenzräume	258		22		47	96			
Restaurant/Cafeteria	842				48	56			
Küche	476			1'891	66	124			
Lager Restaurant	133				15				
Verkehrsfläche UG	1'862				33				
WC/Putzräume	880				18	21			
Technik	1'590				2				
Lager	4'450				2	4			
EDV-Räume	469			1'277	47	208			
Garage	6'579				9	7			

Energiekennzahlen in MJ/m2a								Formular 3
Verwendungszweck	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total Energiekennzahl Elektrizität
		Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Teilenenergiekennzahlen	30'293	30	49	32	10	20		142
Summe der Teilenenergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima				42				

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 5–18: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs, Stand Projekt, Elektrizitätsbilanz (Formular 1) mit eingezeichneten Kontrollwerten gemäss Messkonzept

5.4.3 Vergleich mit den gestellten Anforderungen

Beleuchtung

Die Objektwerte für den spezifischen Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung liegen zwischen den Grenz- und Zielwerten (Tabelle 5–19). Die Anforderungen der Empfehlung SIA 380/4 sind somit erfüllt. Die objektspezifischen Anforderungen aus dem Pflichtenheft des Bauherrn (vgl. Abschnitt 5.2.1) werden für die Zone «Büro» jedoch nicht ganz erreicht.

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Bel. stärke [Lux]	Deko- bel. [W/m ²]	Tagesl nutz. [h]	Ben. freq. [h]	Grenz- wert	Ziel- Wert	Objekt- wert
Büro	2750	350	1.5	überw.		44	23	29
Verkehrsfläche OG	2750	150		überw.		20	12	22
Konferenzräume	2000	500		zum Teil		50	25	47
Restaurant	2750	300		überw.		57	36	48
Küche	1500	500		ohne		73	47	66
Lager Restaurant	2750	200		ohne	häufig	25	15	15
Verkehrsfläche UG	2750	150		ohne	wenig	51	35	33
WC/Putzräume	2750	150		ohne		51	35	18
Technik	2750	100		ohne		7	3	2
Lager	2750	100		ohne		7	3	2
EDV-Räume	8760	300		ohne		89	54	47
Garage	2750	50		ohne		29	18	9

Tabelle 5–19: Vergleich der Anforderungen an den spez. Elektrizitätsbedarf Beleuchtung [MJ/m²a] gemäss Empfehlung SIA 380/4 mit dem berechneten spez. Elektrizitätsbedarf (Objektwerte)

Lüftung/Klima

Einzelne Objektwerte übersteigen den Grenzwert beträchtlich, so dass weder die Anforderungen der Empfehlung SIA 380/4 noch diejenigen des Bauherrn eingehalten sind (Tabelle 5–20). Die der Planung zugrundegelegten Luftmengen wie auch die Vollaststunden bergen jedoch noch ein erhebliches Optimierungspotential in sich.

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Pers. fläche [m ² /P]	Rauch. ant. [-]	Interne Last [W/m ²]	Ben. freq. [-]	Grenz- wert	Ziel- Wert	Objekt- wert
Büro	2750	10.0	0 %	<20	wenig			
Verkehrsfläche OG	2750							
Konferenzräume	2000	3.0	0 %	40		60	20	93
Restaurant	2750	1.2	50 %			63	23	56
Küche	1500	60.0 *)				117	57	124
Lager Restaurant	2750							
Verkehrsfläche UG	2750							
WC/Putzräume	2750	15.0 *)				30	10	21
Technik	2750							
Lager	2750	3.0 *)				5	2	4
EDV-Räume	8760			50		217	140	208
Garage	2750	2.0 *)				5	3	7

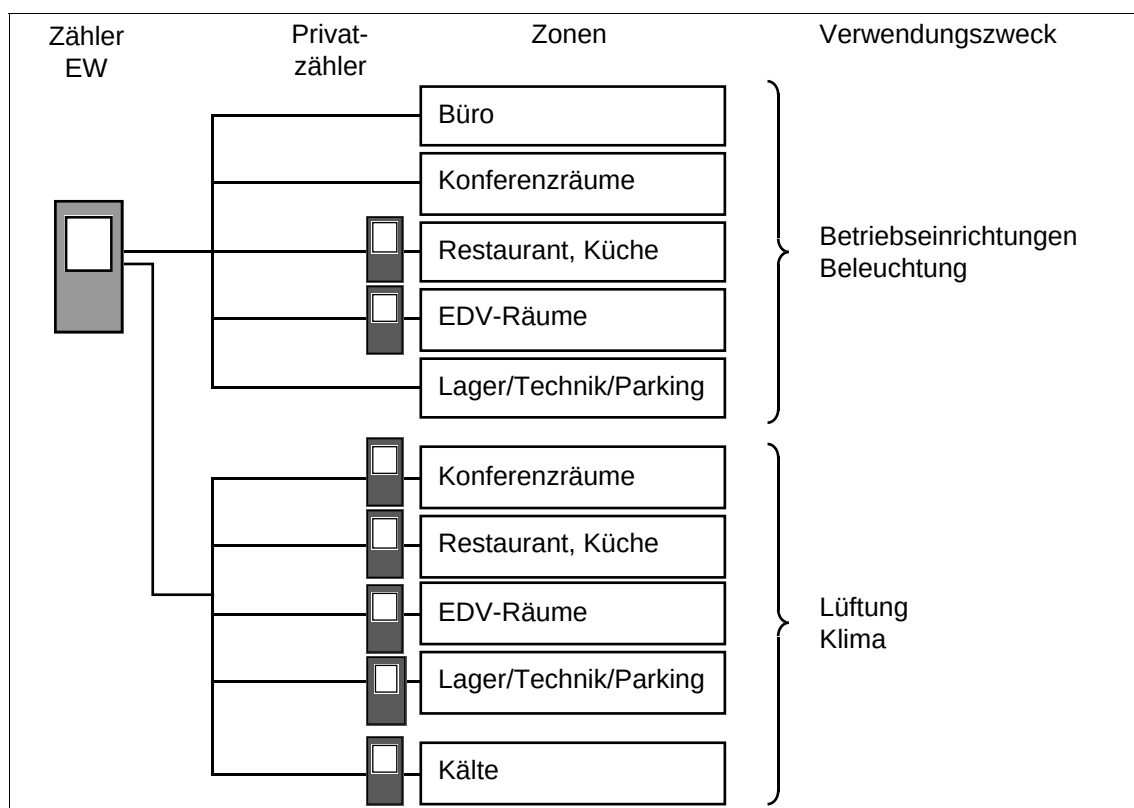
*) Spezifischer Aussenluftvolumenstrom [m³/hm²]

Tabelle 5–20: Vergleich der Anforderungen an den spez. Elektrizitätsbedarf Lüftung/ Klima [MJ/m²a] gemäss der Empfehlung SIA 380/4 mit berechnetem spez. Elektrizitätsbedarf (Objektwerte)

5.4.4 Messkonzept

Das Messkonzept bildet die Grundlage für eine Erfolgskontrolle und die Betriebsoptimierung. Das Gebäude ist zur Eigennutzung vorgesehen, so dass keine Messstellen für eine Abrechnung benötigt werden. Restaurant und Cafeteria (inkl. Küche) werden allerdings durch eine Fremdfirma betrieben, der die Energiekosten weiterverrechnet werden.

Die Elektrizitätsbilanz (vgl. Tabelle 5–18) bildete die Basis für das Messkonzept (vgl. Figur 5–21). Die absolut grössten Verbraucher und diejenigen mit einem hohen spezifischen Elektrizitätsbedarf, wie z.B. die Zentralen Dienste der Zonen EDV oder Küche, sollten durch das Messkonzept erfasst werden. Dabei ist aber immer das Verhältnis zwischen den Investitionskosten für Messeinrichtungen und der möglichen Energieeinsparung zu berücksichtigen. Zur Erfassung des Elektrizitätsverbrauchs bei Verbrauchern mit konstanter Leistung (z.B. ein- oder mehrstufige Lüftungsanlagen) können in der Regel kostengünstige Betriebsstundenzähler eingesetzt werden.



Figur 5–21: Schema der Elektroversorgung mit den Messstellen

Die Messung des Elektrizitätsverbrauches pro Verwendungszweck erfordert eine entsprechende Gliederung der Elektrizitätsverteilung. Beim betrachteten Objekt wurde eine getrennte Erfassung des Verbrauches für Arbeitshilfen und Beleuchtung nicht als angemessen erachtet. Der Elektrizitätsverbrauch für Lüftung/Klima wird dagegen durch Messungen bei den massgeblichen Lüftungsanlagen und der Kälteerzeugung zu über 90 % erfasst. Beim Personalrestaurant (Zonen: Restaurant, Küche und Lager) werden die Betriebseinrichtungen (Küche, gewerbliche Kälte, usw.) und die lüftungstechnischen Anlagen separat gemessen. Schliesslich werden auch grössere Einzelverbraucher (> ca. 50 MWh/a) getrennt erfasst, dazu gehören insbesondere die zentralen EDV-Räume.

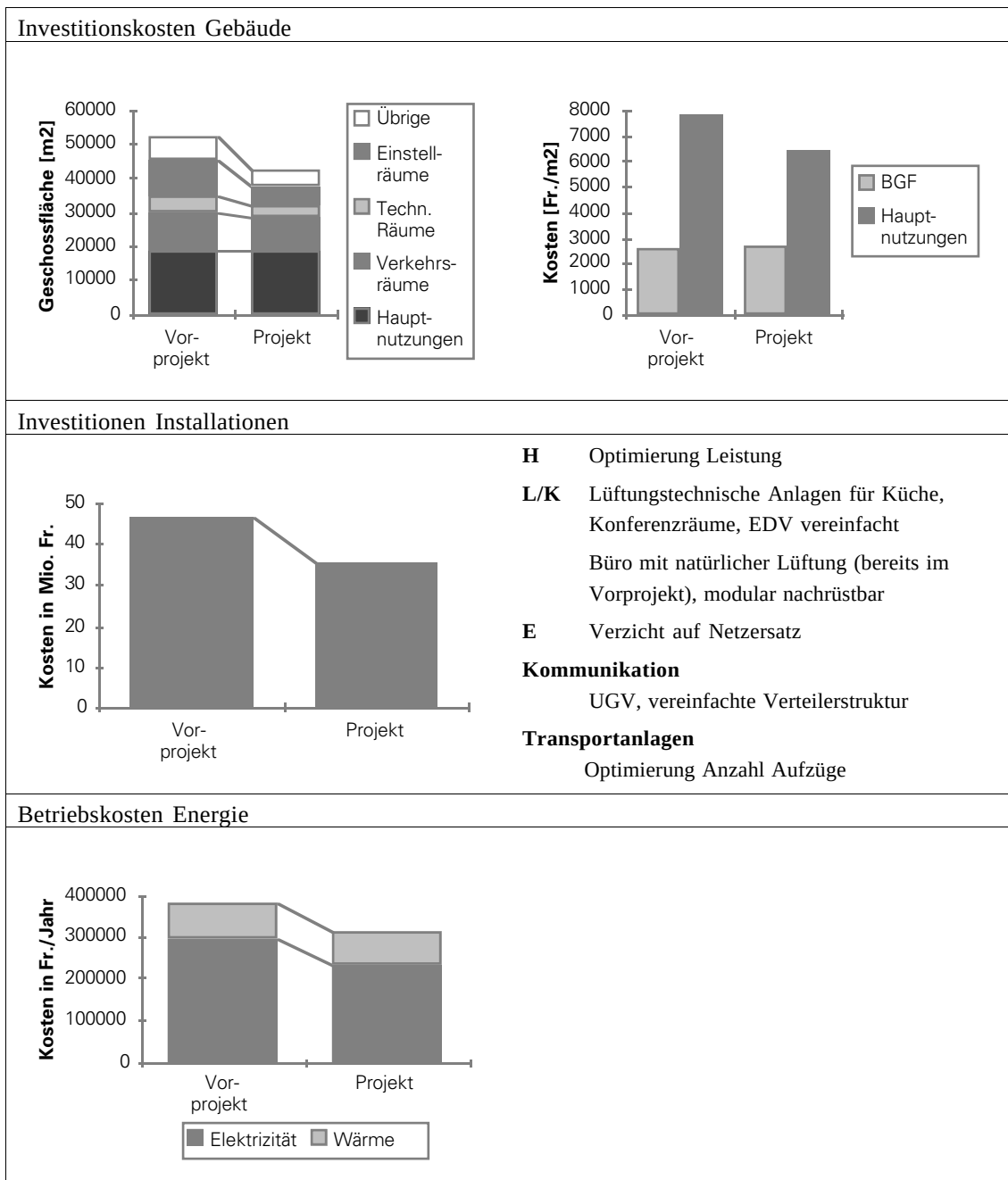
Die festgelegten Kontrollwerte (vgl. Tabelle 5–18) liefern eine gute messtechnische Basis für die Erfolgskontrolle.

5.5 Nutzen aus der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4

Mit der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 als Planungshilfe wurde beim betrachteten Fallbeispiel «Neubau» folgendes erreicht:

- Die Arbeitsplätze sind, unter Berücksichtigung der Innen- und Aussenräume in der ganzen Überbauung, durch die Tageslichtoptimierung von hoher Qualität.
- Einfache, überblickbare technische Konzepte mit modularem Aufbau ermöglichen jederzeit den Aus- und Umbau der Haustechnikanlagen. Der Grundausbau mit Lüftungs- und Klimaanlage wurde auf das notwendige Minimum reduziert.
- Die veranschlagten Kosten (Figur 5–22) wurden im Laufe der Projektierung um 15 % reduziert. Die Kosten pro Arbeitsplatz liegen mehr als 20 % tiefer als beim betreffenden Bauherrn bisher üblich.
- Der zu erwartende Energiebedarf und die Betriebskosten konnten gegenüber dem Vorprojekt erheblich reduziert werden.

Zum Abschluss der Projektierungsphase konnte ein Qualitätssicherungssystem in Kraft gesetzt werden, das die Umsetzung der Vorgaben des Pflichtenheftes in der Ausführungsphase garantiert und das auch als Grundlage für die Betriebsoptimierung und die Erfolgskontrolle dient.



Figur 5–22: Resultate der Optimierung beim Fallbeispiel «Neubau»

6. Anwendungsbeispiel «Erneuerung»

6.1	Einleitung	76
6.2	Elektrizitätsverbrauchsanalyse (Vorstudie)	78
6.2.1	Energieerfassung	78
6.2.2	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs (Ist-Zustand)	80
6.2.3	Anforderungen	82
6.3	Vorprojekt	84
6.3.1	Varianten	84
6.3.2	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs (Vorprojekt)	84
6.3.3	Vergleich mit Anforderungen	86
6.4	Projekt und Ausführung	88
6.4.1	Ausgeführte Massnahmen	88
6.4.2	Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs	88
6.4.3	Vergleich mit Anforderungen	88
6.4.4	Erfolgskontrolle	88
6.5	Nutzen aus der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4	90

6.1 Einleitung

Die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 bei einem bestehenden Gebäude wird nachfolgend am Beispiel der Renovation einer Filiale eines Lebensmittel-Grossverteilers aufgezeigt.

Der Laden ist in einem freistehenden einstöckigen Gebäude (Figur 6–2 und Figur 6–3) untergebracht. Der fensterlose Bau mit Flachdach ist vollklimatisiert und wurde 1965 erstellt. Der Laden musste erneuert werden, weil die Lüftungsanlage der Metzgerei die gesetzlichen Anforderungen nicht mehr erfüllte und die Betriebssicherheit der gewerblichen Kälteanlage nicht mehr gewährleistet war. Die bestehende Frischwasserkühlung verursachte zudem einen hohen Trinkwasserverbrauch.

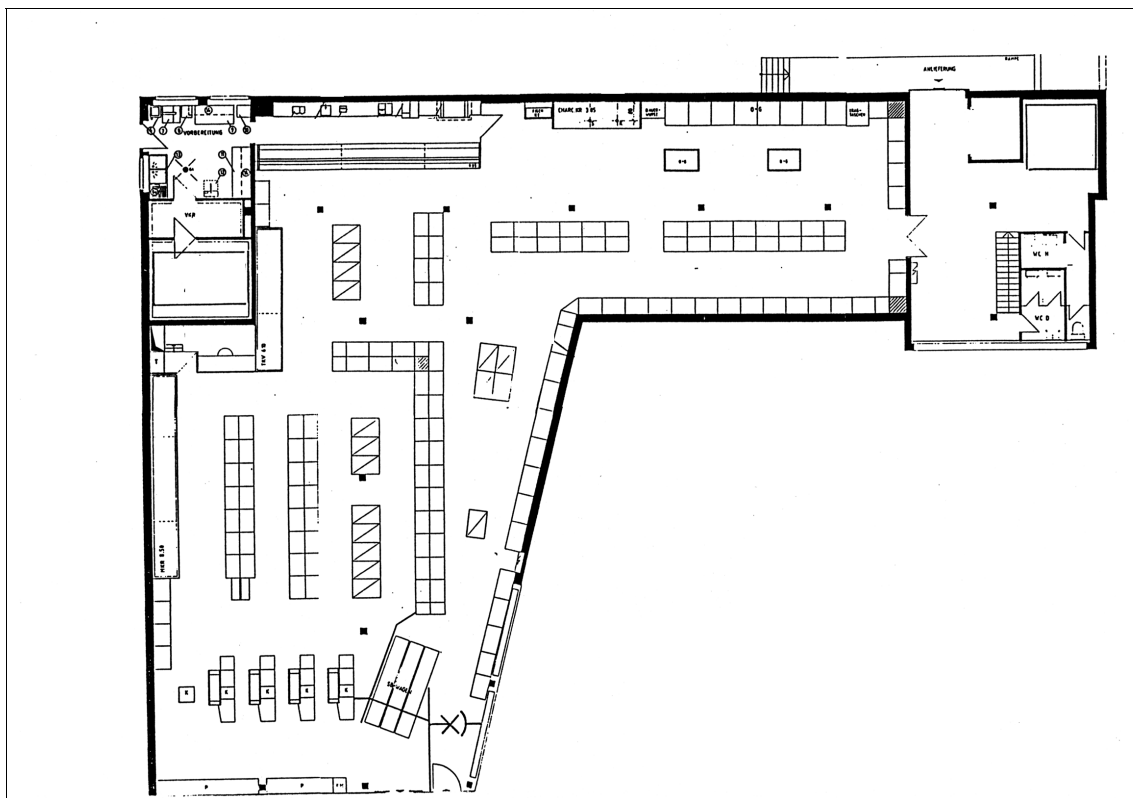
Die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 im Planungsablauf bei der Renovation des Ladens ist in der folgenden Tabelle 6–1 zusammengefasst.

Vorgehensschritte im Planungsprozess	Angewandte Elemente aus SIA 380/4
1. Elektrizitätsverbrauchsanalyse (Vorstudie)	
Istzustand aufnehmen und Energieverbrauch erfassen	
Elektrizitätsbilanz aufstellen	Standard. Darstellung
Anforderungen ermitteln und mit Objektwert vergleichen	Anforderungen
2. Vorprojekt	
Massnahmenkatalog in 3 Varianten erstellen	
Elektrizitätsbedarf ermitteln	Standard. Darstellung
Anforderungen ermitteln und mit Objektwert vergleichen	Anforderungen
3. Projekt und Ausführung	
Variantenwahl, Projektierung und Ausführung	
Erfolgskontrolle	Standard. Darstellung

Tabelle 6–1: Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 im Planungsprozess beim Fallbeispiel «Erneuerung»



Figur 6–2: Aussenansicht des Lebensmittelladens



Figur 6–3: Grundriss des Lebensmittelladens, Erdgeschoss

6.2 Elektrizitätsverbrauchsanalyse (Vorstudie)

6.2.1 Energieerfassung

Gesamtverbrauch

Zur Beurteilung des Jahresenergieverbrauches wurden Zählerablesungen und Energierechnungen ausgewertet (Tabelle 6–4).

Energieträger	Energieverbrauch [MWh]	Energiekennzahl [MJ/m ² a]	Energiekosten [Fr/a]
Elektrizität	258	770	50'000.-
Wärme (Öl)	440 (37'000 kg)	1300	20'000.-
Total			70'000.-

Tabelle 6–4: Energieverbrauch und Energiekosten des betrachteten Lebensmittelladens

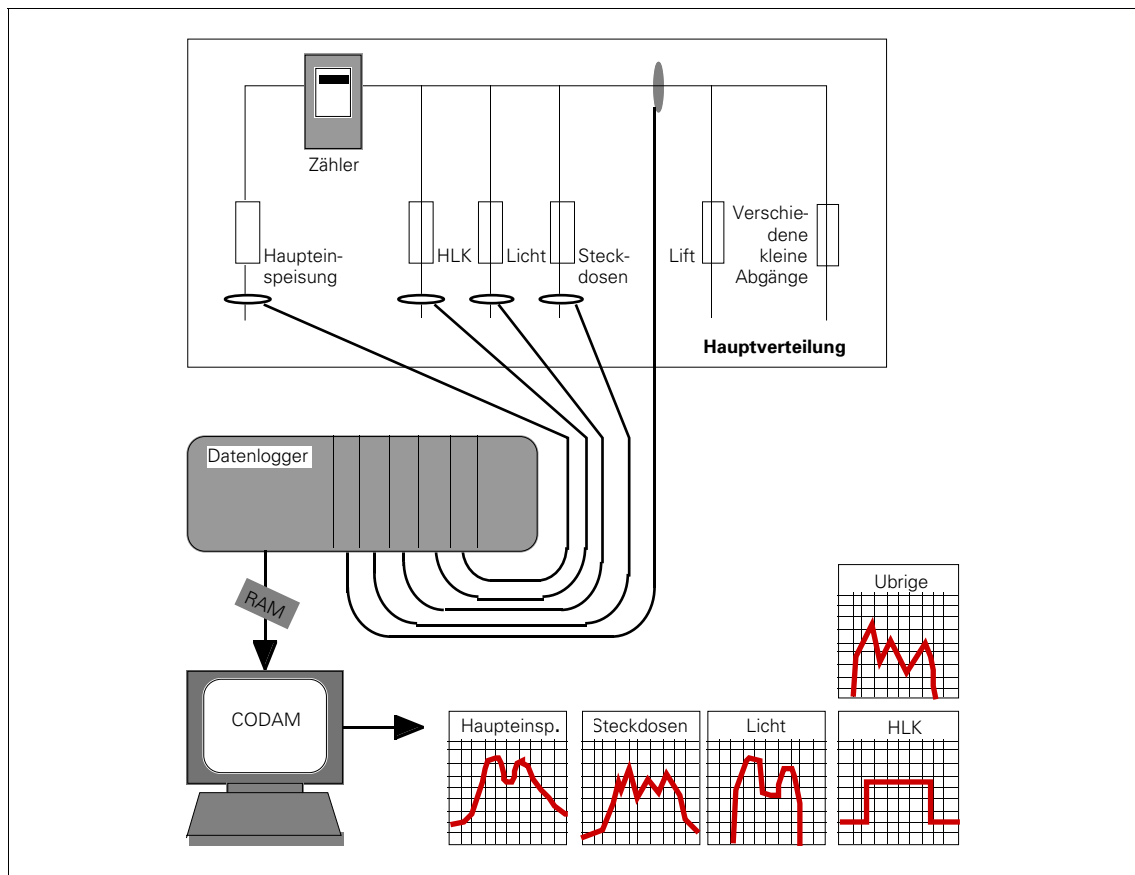
Aufgrund des Beispiels «Laden 1: Food» in der Empfehlung SIA 380/4 (Anhang A3 4) wurde eine erste Abschätzung der Teilenergiekennzahlen vorgenommen (Tabelle 6–5). Der Elektrizitätsbedarf der gewerblichen Kälte wurde dabei überschlägig aus dem Elektrizitätsverbrauch während der Niedertarifzeit ermittelt. Daraus resultierte eine Teilenergiekennzahl «Zentrale Dienste» von 340 MJ/m²a. Die übrigen Teilenergiekennzahlen ergaben sich durch proportionale Aufteilung nach Verwendungszweck. Auffallend ist der überdurchschnittlich hohe Verbrauch für Beleuchtung und Lüftung/Klima. Diese Verwendungszwecke waren deshalb anschliessend Gegenstand von Kurzzeitmessungen und einer detaillierten Verbrauchererfassung.

Energiekennzahl [MJ/m ² a]	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung / Klima	Diverse Technik	Elektrizität total
«Laden 1» SIA 380/4	20	560	100	40	20	740
Objekt-Ist-Wert	50	340	230	100	50	770

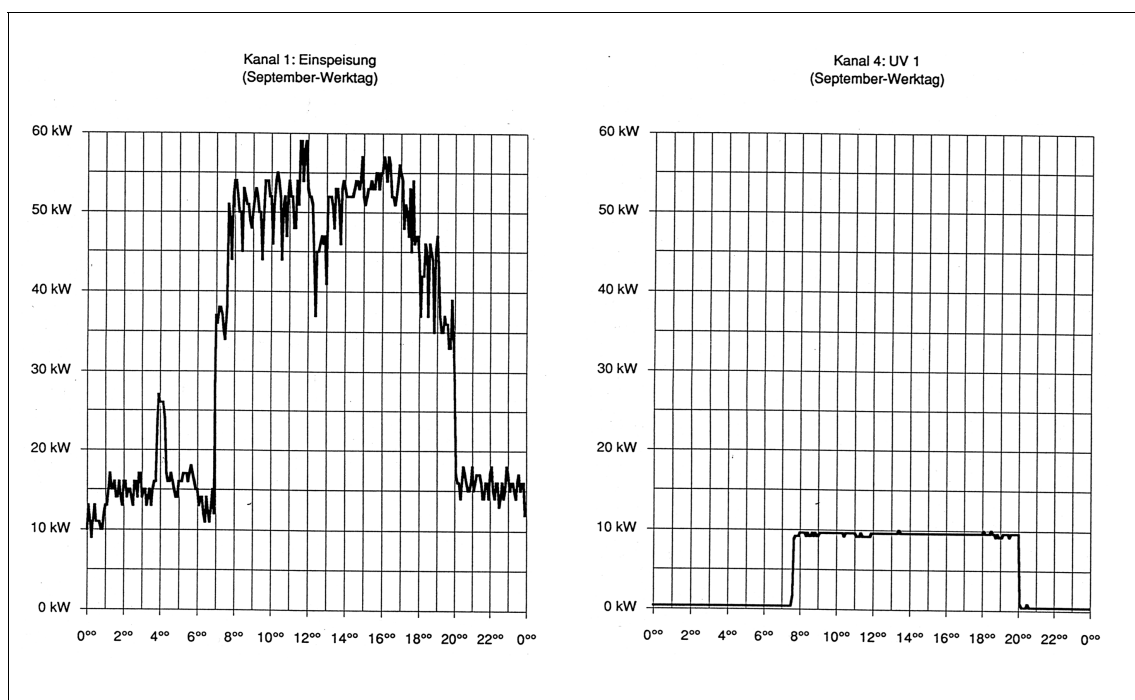
Tabelle 6–5: Teilenergiekennzahlen des Lebensmittelladens (Objekt-Ist-Wert, Stand Vorstudie) im Vergleich mit dem Beispiel «Laden 1: Food» aus dem Anhang A3 4 von SIA 380/4

Kurzzeitmessungen

Während 14 Tagen wurden die wichtigsten Abgänge der Hauptverteilung (Figur 6–6) mit einem Messgerät kontinuierlich (5-Minuten-Intervall) erfasst. Bei wichtigen Elektrizitätsverbrauchern (z.B. gewerbliche Kälte) wurden zusätzlich Betriebsstundenzähler installiert. Der Lastverlauf beim Lebensmittelladen gesamthaft sowie bei der Ladenbeleuchtung ist in Figur 6–7 dargestellt.



Figur 6-6: Elektroverteilschema mit gemessenen Abgängen



Figur 6-7: Ergebnisse der Lastverlaufsmessungen für einen Tag im September

Verbraucherliste

Der Laden wurde wie folgt in Zonen aufgeteilt (Tabelle 6–8):

Zone	Geschoss- fläche [m²]	Nutzung
Verkauf	600 (50 %)	Verkauf (Erdgeschoss)
Metzgerei	50 (4 %)	Verkauf (Erdgeschoss)
Kühlräume	50 (4 %)	Lager (Erdgeschoss, Untergeschoss)
Lager	300 (25 %)	Lager (Untergeschoss)
Übrige Räume	200 (17 %)	Lager (Büro, WC, Technik, Umschlagplatz, ...)

Tabelle 6–8: Einteilung des Lebensmittelladens in Zonen

Bei einer Begehung wurden alle Elektrizitätsverbraucher aufgenommen. Die Betriebsleistung von steckbaren Einzelgeräten wurde mit Hand-Wattmetern gemessen. Mit Hilfe von Lastverlaufsmessungen, Betriebsstundenzählern und Benutzerbefragungen wurden die jährlichen Betriebszeiten und Vollaststunden abgeschätzt.

Es wurde eine detaillierte Verbraucherliste erstellt (Tabelle 6–9). Am Beispiel der Beleuchtung wurde dabei wie folgt vorgegangen:

- Bestimmung der Leistung pro Verbraucher für die verschiedenen Zonen
- Berechnung der totalen Anschlussleistung in Watt
- Bestimmung der spezifischen Leistung in W/m² aus der Anschlussleistung und der Geschossfläche der Zone («versorgte Fläche»)
- Die Vollaststunden für die Beleuchtung wurden aus den Lastverlaufsmessungen bzw. Öffnungszeiten des Ladens abgeleitet.
- Aus Leistung und Vollaststunden wird der Elektrizitätsbedarf des Verbrauchers berechnet.

6.2.2 Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs (Ist-Zustand)

Die Daten der Energieverbrauchserfassung bildeten die Grundlage für die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs des Ist-Zustandes (Tabelle 6–12). Die Verbraucherliste (Tabelle 6–9) wurde nach Zonen ausgewertet und daraus die Elektrizitätsbilanz (Formular 1) ermittelt. Beinahe 90 % des Elektrizitätsbedarfs entfallen auf die beiden Zonen «Verkauf» und «Metzgerei».

Verbraucherliste Lebensmittelgeschäft									
Nr.	Abgang	Zone	Verwendungs-zweck	Verbrauchertyp	Anzahl	Leistung / Verbraucher [W]	Leistung total [kW]	Vollast-stunden [h/a]	Energie-verbrauch [MWh/a]
1	übrige	Kühl-räume	Beleuch-tung	offene FL-Leuchten 1-flammig, 36 Watt, KVG	13	45	0.59	3'600	2.1
2	übrige	Lager	Beleuch-tung	offene FL-Leuchten 1-flammig, 36 Watt, KVG	50	45	2.25	3'600	8.1
3	übrige	Metzgerei	Beleuch-tung	offene FL-Leuchten 1-flammig, 36 Watt, KVG	30	45	1.35	3'600	4.9
4	UV 2	übrige	Beleuch-tung	offene FL-Leuchten 1-flammig, 36 Watt, KVG	15	45	0.68	3'600	2.4
5	UV 1	Verkauf	Beleuch-tung	offene Balkenleuchten 2-flammig, 36 Watt, KVG	110	90	9.90	3'600	35.6
6	UV 2	Verkauf	Beleuch-tung	offene FL-Leuchten 1-flammig, 36 Watt, KVG	70	45	3.15	3'600	11.3
7	übrige	Ganzes Gebäude	Diverse Technik	Warenlift hydraulischer Antrieb	1	15'000	15.00	160	2.4
8	übrige	Metzgerei	Lüftung/ Klima	Dampfbefeuchter	1	4'000	4.00	2'000	8.0
9	übrige	Metzgerei	Lüftung/ Klima	Zu-/Ab-/Umluftventilator, keine WRG	1	1'800	1.80	3'600	6.5
10	übrige	Metzgerei	Lüftung/ Klima	Kälte-Kompressor Kälteleistung = 13 kW	1	4'400	4.40	680	3.0
11	übrige	Verkauf	Lüftung/ Klima	Zu-/Ab-/Umluftventilator, keine WRG	1	2'400	2.40	3'600	8.6
12	übrige	Verkauf	Lüftung/ Klima	Kälte-Kompressor Kälteleistung = 55 kW	1	9'400	9.40	760	7.1
13	übrige	Verkauf / Metzgerei	Lüftung/ Klima	Rückkühlung 50% Metzgerei, 50% Verkauf	1	4'600	4.60	1'400	6.4
14	übrige	Metzgerei	Arbeits-hilfen	Aufschnittmaschinen u.ä.	12	1'800	21.60	500	10.8
15	übrige	Übrige	Arbeits-hilfen	Waagen, Hebebühne u.a.	10	800	8.00	500	4.0
16	UV 2 / Wärme	Verkauf	Arbeits-hilfen	Kassen, Kaffeemühlen, Rechaud etc.	10	200	2.00	3'600	7.2
17	Motoren Kühlanl.	Kühl-räume	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Kompressoren	2	800	1.60	4'000	6.4
18	Motoren Kühlanl.	Kühl-räume	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Ventilatoren	2	150	0.30	8'000	2.4
19	Motoren Kühlanl.	Kühl-räume	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Rahmenheizung	3	200	0.60	4'000	2.4
20	Motoren Kühlanl.	Kühl-räume	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Abtauung	12	2'100	25.20	50	1.3
21	Motoren Kühlanl.	Metzgerei	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Kompressoren	2	1'200	2.40	4'000	9.6
22	Motoren Kühlanl.	Metzgerei	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Ventilatoren	5	200	1.00	7'000	7.0
23	Motoren Kühlanl.	Metzgerei	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Abtauung	1	6'300	6.30	200	1.3
24	Motoren Kühlanl.	Metzgerei	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Rahmenheizung	1	3'500	3.50	0	0.0
25	Motoren Kühlanl.	Verkauf	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Kompressoren	3	3'000	9.00	6'800	61.2
26	Motoren Kühlanl.	Verkauf	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Rahmenheizung	3	900	2.70	8'760	23.7
27	Motoren Kühlanl.	Verkauf	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Ventilatoren	12	80	0.96	8'760	8.4
28	Motoren Kühlanl.	Verkauf	Zentrale Dienste	Gewerbliche Kälte: Abtauung	2	5'400	10.80	550	5.9
	Total				375		155.47		258.1

Tabelle 6-9: Verbraucherliste des Lebensmittelladens

6.2.3 Anforderungen

Die Anforderungen für Beleuchtung und Lüftung/Klima gemäss der Empfehlung SIA 380/4 wurden mit den effektiven Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen ermittelt (Tabellen 6–10 und 6–11). Für die Metzgerei wird beispielsweise der hygienisch erforderliche Volumenstrom eingesetzt.

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Bel.- stärke [Lux]	Dekor.- bel. [W/m ²]	Tagesl.- nutz. [-]	Benu.- frequ. [-]	Grenz- wert	Ziel- wert	Objekt Ist- wert
Verkauf	3600	700	0	ohne		245	150	282
Metzgerei	3600	700	0	ohne		245	150	353
Kühlräume	3600	50		ohne	häufig	14	8	151
Lager	3600	100		ohne	dauernd	52	33	97
Übrige	3600	250		ohne	dauernd	99	61	43

Tabelle 6–10: Vergleich des aus der Verbrauchserfassung ermittelten spezifischen Elektrizitätsbedarfs für Beleuchtung (Objekt-Ist-Werte [MJ/m²a]) mit den Grenz- und Zielwerten gemäss Empfehlung SIA 380/4, entsprechend den vorhandenen Nutzungsbedingungen

Zone	Nutz. zeit [h/a]	Pers. fläch. [m ² /P]	Rauch. anteil [-]	Interne Last [W/m ²]	Benu.- frequ. [-]	Grenz- wert	Ziel- wert	Objekt Ist- wert
Verkauf	3600	5	0	30		60	25	113
Metzgerei	3600	100 *)	0	40		690	300	1498
Kühlräume	3600							
Lager	3600							
Übrige	3600							

*) Spezifischer Aussenluftvolumenstrom [m³/hm²]

Tabelle 6–11: Vergleich des aus der Verbrauchserfassung ermittelten spezifischen Elektrizitätsbedarfs für Lüftung/Klima (Objekt-Ist-Werte [MJ/m²a]) mit den Grenz- und Zielwerten gemäss Empfehlung SIA 380/4, entsprechend den vorhandenen Nutzungsbedingungen

Die für den Laden ermittelten Verbrauchswerte (Objektwerte) überschreiten die Grenzwerte beträchtlich. Beim betreffenden Laden war einerseits bei der Effizienz der Anlagen und andererseits bei den Nutzungsbedingungen ein erhebliches Optimierungspotential vorhanden.

Elektrizitätsbilanz in MWh/a									Formular 1
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Verkauf	600	600	7.2	99.2	47.0	18.9			172.3
Metzgerei	50	50	10.8	17.9	4.9	20.8			54.4
Kühlräume	50	50		12.4	2.1				14.5
Lager	300	300			8.1				8.1
Übrige	200	200	4.0		2.4				6.4
Gebäude							2.4		2.4
Total	1'200	1'200	22.0	129.5	64.5	39.7	2.4		258.1

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m2a									Formular 2
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Verkauf			43	595	282	113			
Metzgerei			778	1'289	353	1'498			
Kühlräume				893	151				
Lager					97				
Übrige			72		43				

Energiekennzahlen in MJ/m2a								Formular 3
Verwendungszweck	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik				Total
		Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	Energiekennzahl Elektrizität
Teilennergiekennzahlen	1'200	66	389	194	119	7		774
Summe der Teilennergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima								

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 6–12: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs im Ist-Zustand (Stand Vorstudie)

6.3 Vorprojekt

6.3.1 Varianten

Im Vorprojekt wurden drei Varianten in Form von Massnahmenpaketen untersucht:

- Variante 1: Die behördlichen Vorschriften werden erfüllt, und Anlagen, die ihre Lebensdauer erreicht haben, werden ersetzt. Die Eingriffe beschränken sich auf die Technikräume und die Ladenmöblierung, so dass der Umbau in kurzer Zeit durchgeführt werden kann.
- Variante 2: Zusätzlich zu Variante 1 wird die Ladendecke ersetzt, was eine Erneuerung der Beleuchtung und der Luftauslässe ermöglicht (Massnahmenpaket: Tabelle 6–14).
- Variante 3: Zusätzlich zu Variante 2 wird auch die Gebäudehülle umfassend saniert. Dabei werden auch Massnahmen zur Tageslichtnutzung vorgesehen. Diese Variante entspricht praktisch einem Neubaustandard.

6.3.2 Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs (Vorprojekt)

Figur 6–17 zeigt die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs für die Sanierungs-Variante 2.

Der Elektrizitätsbedarf wurde, gestützt auf den detaillierten Massnahmenkatalog und die Verbraucherliste, ermittelt.

Tabelle 6–13 zeigt eine Gegenüberstellung der Teilenergiekennzahlen für die drei untersuchten Sanierungsvarianten im Vergleich zum «Laden 1» (Niveau Grenzwerte) aus dem Anhang A3 4 der Empfehlung SIA 380/4.

Energiekennzahl [MJ/m ² a]	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung / Klima	Diverse Technik	Elektrizität total
Objekt Ist-Wert (Vorstudie)	66	389	194	119	7	774
Variante 1	66	340	180	70	7	663
Variante 2	66	182	102	33	7	390
Variante 3	66	182	30	33	7	318
«Laden 1», SIA 380/4	20	560	100	40	20	740

Tabelle 6–13: Teilenergiekennzahlen des Lebensmittelladens im Ist-Zustand und für die drei untersuchten Sanierungsvarianten im Vergleich zum Beispiel «Laden 1: Food» aus der Empfehlung SIA 380/4

Massnahme	Nutzungs- zeit [a]	Investi- tion [Fr]	Einsparun- g Elektrizität [MWh/a]	Einsparung Wärme [MWh/a]
Gewerbliche Kälte				
Nachtabstaltung Korpus Metzgerei	15	200	3	0
Sparpaket Vitrinen	10	4'300	26	0
Abtauen Pluskühlung mit Umluft	15	0	5	0
Keine Rahmenheizung bei Pluskühlung	15	0	3	0
Schiebung Verdampfungstemperatur	15	2'000	3	0
Elektronische Expansionsventile	10	11'000	7	0
Neue Kühlraumtüren	15	2'000	2	0
Heizungsregelung in Tiefkühlraum	10	1'000	4	0
Nachisolation Tiefkühlschrank	10	1'500	4	0
Dauerheizung Tiefkühlschrank regeln	10	1'500	8	0
Beleuchtung Bewegungsmelder	10	600	1	0
Abwärmenutzung Wasservorwärmung	15	11'000	0	25
Beleuchtung				
Neue Leuchten Laden	15	3'400	20	-8
Kühlvitrinen Beleuchtung reduzieren	15	0	3	0
Lager Bewegungsmelder	10	2'350	6	-3
Heizung/Lüftung/Klima				
Neue Klimaanlage Laden	15	52'000	4	42
Neuer Klimaanlage Metzgerei	15	10'000	9	0
Neue Kälteanlage	10	15'000	13	0
Heizungsanlage	15	3'000	1	0
Total		120'850	122	56

Tabelle 6–14: Massnahmenkatalog der Sanierungsvariante 2

6.3.3 Vergleich mit Anforderungen

Die Tabellen 6–15 und 6–16 zeigen den Vergleich mit den Anforderungen gemäss der Empfehlung SIA 380/4. Die Nutzungsbedingungen sind dabei entsprechend der Sanierungsvariante 2 angepasst: Reduktion der Beleuchtungsstärke im Verkauf auf 400 Lux, Benutzerfrequenz «häufig» in den Zonen «Lager» und «Übrige», Reduktion des spezifischen Aussenluftvolumenstromes bei der Metzgerei unter Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen.

Zone	Nutz.-zeit [h/a]	Bel.-stärke [Lux]	Dekor.-bel. [W/m ²]	Tagesl.-nutzg. [–]	Benut.-frequ. [–]	Grenz-wert	Ziel-wert	Objekt-wert Var. 2
Verkauf	3'600	400	3	ohne		180	120	168
Metzgerei	3'600	400	3	ohne		180	120	216
Kühlräume	3'600	50		ohne	häufig	14	8	140
Lager	3'600	100		ohne	häufig	19	11	24
Übrige	3'600	250		ohne	häufig	36	21	36

Tabelle 6–15: Grenz- und Zielwerte für die Beleuchtung gemäss der Empfehlung SIA 380/4 bei den vorhandene Nutzungsbedingungen im Vergleich zum spezifischen Elektrizitätsbedarf von Sanierungsvariante 2 (Objektwert Variante 2)

Zone	Nutz.-zeit [h/a]	Pers.-fläche [m ² /P]	Rauch.-anteil [–]	Interne Last [W/m ²]	Benut.-frequ. [–]	Grenz-wert	Ziel-wert	Objekt-wert Var. 2
Verkauf	3'600	5	0	30		60	25	42
Metzgerei	3'600	64 *)	0	40		460	200	288
Kühlräume	3'600							
Lager	3'600							
Übrige	3'600							

*) Spezifischer Aussenluftvolumenstrom [m³/hm²]

Tabelle 6–16: Grenz- und Zielwerte für Lüftung/Klima gemäss der Empfehlung SIA 380/4 bei den vorhandene Nutzungsbedingungen im Vergleich zum spezifischen Elektrizitätsbedarf von Sanierungsvariante 2 (Objektwert Variante 2)

Mit dem Massnahmenpaket der Variante 2 können die Grenzwerte für den spezifischen Elektrizitätsbedarf «Beleuchtung» bei den verschiedenen Zonen nur teilweise eingehalten werden. Gesamthaft wird jedoch der Grenzwert über alle Zonen gerade erreicht, wie der Vergleich zwischen dem aus den Grenzwerten (vgl. Tabelle 6–15) errechneten Elektrizitätsbedarf (36 MWh/a) und der Elektrizitätsbilanz (34 MWh/a, Tabelle 6–17) zeigt.

Die Grenzwerte für den spezifischen Elektrizitätsbedarf «Lüftung/Klima» werden mit dem Massnahmenpaket der Variante 2 unterschritten.

Mit der Sanierungsvariante 1 können die Grenzwerte nicht erreicht werden, da diese Variante beispielsweise praktisch keine Massnahmen zur Sanierung der Beleuchtung umfasst.

Elektrizitätsbilanz in MWh/a									Formular 1
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Verkauf	600	600	7	47	28	7			86
Metzgerei	50	50	11	8	3	4			26
Kühlräume	50	50		6	2				8
Lager	300	300			2				2
Übrige	200	200	4		2				6
Gebäude							2		2
Total	1'200	1'200	22	61	34	11	2		130

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m2a									Formular 2
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Verkauf	600		42	281	168	42			
Metzgerei	50		791	576	216	288			
Kühlräume	50			430	140				
Lager	300				24				
Übrige	200		72		36				

Energiekennzahlen in MJ/m2a								Formular 3
Verwendungszweck		Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Total	
	EBF m2	Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik	Elektro- wärme	Energiekennzahl Elektrizität
Teilennergiekennzahlen		1'200	66	182	102	33	7	390
Summe der Teilennergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima								

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 6–17: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs für Sanierungsvariante 2, (Stand Vorprojekt)

6.4 Projekt und Ausführung

6.4.1 Ausgeführte Massnahmen

Die Bauherrschaft beschloss schliesslich, lediglich das Massnahmenpaket der Variante 1 (Tabelle 6–18) auszuführen, da mittelfristig eine bauliche Erneuerung der Filiale anstand. Zudem waren die Kosten für diese Variante bereits budgetiert, und die Terminplanung mit einem Betriebsunterbruch von lediglich zwei Wochen war bereits festgelegt.

Massnahme	Nutzungs- zeit [a]	Investi- tion [Fr]	Einsparung Elektrizität [MWh/a]	Einsparung Wärme [MWh/a]
Gewerbliche Kälte				
Sparpaket Vitrinen	10	4'300	26	0
Schiebung Verdampfungstemperatur	15	2'000	3	0
Elektronische Expansionsventile	10	11'000	7	0
WRG aus Pluskühlung	15	12'500	-22	58
WRG aus Minuskühlung	15	12'500	-3	2
Neue Kühlraumtüren	15	5'000	2	0
Beleuchtung				
Beleuchtung Lager	10	2'500	3	-1
Lüftung/Klima				
Neuer Klimaschrank Laden	15	0	7	42
Neuer Klimaschrank Metzgerei	15	0	9	0
Total		49'800	32	101

Tabelle 6–18: Ausgeführte Massnahmen der Sanierungsvariante 1

6.4.2 Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs

Tabelle 6–19 zeigt die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs nach Ausführung der Sanierungsvariante 1. Für die Wärmerückgewinnung aus der gewerblichen Kühlung entsteht ein zusätzlicher Elektrizitätsbedarf. Dadurch wird aber der Wärmebedarf für Warmwasser (SIA 380/1) reduziert.

Das Sparpotential für den Klimaschrank Metzgerei ist gegenüber dem Vorprojekt vermindert, weil auf eine Befeuchtung nicht verzichtet wurde (Austrocknung des Fleisches).

6.4.3 Vergleich mit Anforderungen

Die Grenzwerte der Empfehlung SIA 380/4 können mit dieser minimalen Sanierung nicht eingehalten werden.

6.4.4 Erfolgskontrolle

Nach Abschluss des Umbaus des Lebensmittelladens wurde eine weitere Messkampagne zur Erfolgskontrolle durchgeführt. Die resultierenden Messwerte entsprachen recht genau der berechneten Elektrizitätsbilanz.

Elektrizitätsbilanz in MWh/a									Formular 1
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Verkauf	600	600	7	91	47	11			156
Metzgerei	50	50	11	15	5	12			43
Kühlräume	50	50		10	2				12
Lager	300	300			5				5
Übrige	200	200	4		2				6
Gebäude							2		2
Total	1'200	1'200	22	116	61	23	2		224

Spezifischer Elektrizitätsbedarf in MJ/m2a									Formular 2
Verwendungszweck	GF m2	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
Zone			Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		
Verkauf	600		42	546	282	66			
Metzgerei	50		791	1'080	360	864			
Kühlräume	50			720	144				
Lager	300				60				
Übrige	200		72		36				

Energiekennzahlen in MJ/m2a								Formular 3
Verwendungszweck	EBF m2	Betriebseinrichtungen		Haustechnik			Elektro- wärme	Total
		Arbeits- hilfen	Zentrale Dienste	Beleuch- tung	Lüftung/ Klima	Diverse Technik		Energiekennzahl Elektrizität
Teilennergiekennzahlen	1'200	66	348	183	69	6		672
Summe der Teilennergiekennzahlen Beleuchtung und Lüftung/Klima								

GF: Geschossfläche / EBF: Energiebezugsfläche / 1 MWh = 3600 MJ

Tabelle 6–19: Standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs, Zustand nach Durchführung der Massnahmen, Ergebnis gemäss Erfolgskontrolle

6.5 Nutzen aus der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4

Mit der Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 als Planungshilfe wurde beim betrachteten Fallbeispiel «Erneuerung» folgendes erreicht:

- Der Elektrizitätsbedarf sank um 10 %, obwohl das Kühlvitruinen-Volumen um 10 % vergrössert wurde und ein zusätzlicher Elektrizitätsbedarf für die Wärmerückgewinnung aus der gewerblichen Kühlung entstand. Der Wärmebedarf konnte um 23 % gesenkt werden. Grosse Einsparungen wurden auch beim Trinkwasserverbrauch erzielt.
- Die Investitionskosten für die Sanierungsmassnahmen im Energiebereich betragen ca. 50'000.- Fr., wobei festzuhalten ist, dass ohnehin ein Umbau geplant und budgetiert war. Sämtliche ausgeführten Massnahmen amortisieren sich innerhalb ihrer technischen Lebensdauer, weisen also ein Kosten/Nutzen-Verhältnis von ≤ 1 auf. Durch die Energieeinsparungen ergeben sich natürlich auch Einsparungen bei den Betriebskosten.

Anhang

A1 Checkliste für Gesamtleiter/Architekten

A2 Anlagekenndaten und Betriebsfaktoren zur einfache Berechnung gemäss Abschnitt 4.3

A3 Vollständige einfache Berechnung zu Fallbeispiel «Neubau»

A4 Referenzen

A1 Checkliste zur Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 zu Handen des Gesamtleiters/ Architekten

1. Vorstudie		
1.1 Zielsetzung	Es wird ein Plichtenheft «Energie» mit kontrollierbaren Zielsetzungen bezüglich Energie und Wirtschaftlichkeit als wichtigste Elemente erstellt. Es enthält:	■ Objektdaten ■ Angaben über die Zonen, Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen ■ Angaben über die vorgesehenen Betriebseinrichtungen und Betriebsanforderungen ■ Zielsetzungen bezüglich Energieverbrauch, Umweltbelastung und Wirtschaftlichkeit ■ Angaben über die Optimierungskriterien
1.2 Organisation		■ Projektorganisation festlegen ■ Fachplaner bestimmen ■ Energiebeauftragten bezeichnen ■ Zuständigkeit für Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung festlegen
1.3 Elektrizitätsbedarf		■ Elektrizitätsbedarf, Stand Vorstudie, in standardisierter Darstellung ermitteln
2. Vorprojekt		
2.1 Betriebseinrichtungen überprüfen	Betriebseinrichtungen mit dem Bauherrn überprüfen:	■ Realistische Annahmen für Leistung und Betriebszeit treffen ■ Geräte in speziellen, eventuell klimatisierten Zonen konzentrieren ■ Festlegung der internen Wärmelasten pro Zone
2.2 Bauliche Voraussetzungen schaffen	Bauliche Voraussetzungen für rationelle Energienutzung in der Haustechnik schaffen:	■ Anteil der Arbeitsplätze in der Tageslichtzone angeben ■ Liste der Massnahmen zur Tageslichtnutzung erstellen (Fenstergrösse, -höhe, Raumtiefe, Helligkeit) ■ Liste der Massnahmen zur Reduktion der sommerlichen Raumtemperaturen erstellen (Sonnenschutz, thermische Masse, Anordnung der Räume und Raumtiefe, Anordnung der Betriebseinrichtungen) ■ Zonen mit natürlicher Lüftung, Zonen mit Lüftungsanlagen (belüftete Fläche) und Zonen mit Klimaanlage (klimatisierte Fläche) ausscheiden ■ Kanalführung mit minimalem Druckverlust ermöglichen

2.3	Systemwahl Haustechnik	■ Systemwahl Beleuchtung treffen ■ Systemwahl Lüftung/Klima (Wärmeabfuhr mit Wasser oder mit Luft) treffen
2.4	Elektrizitätsbedarf	■ Systemoptimierung durchführen ■ Elektrizitätsbedarf, Stand Vorprojekt, in standardisierter Darstellung ermitteln ■ Zielsetzung Messkonzept ausarbeiten
3. Projekt		
3.1	Optimierung der Beleuchtung	■ Steuerung und Regelung wählen
3.2	Optimierung Luftförderung	■ Luftmenge, Druckverlust, Motor- und Ventilatorwirkungsgrade, bedarfsabhängige Regelungen bestimmen
3.3	Optimierung der Kühlung	■ Vor- und Rücklauftemperaturen, Leitungsführung und Betriebsart der Kälteverteilung optimieren ■ Kältemaschine mit ihrer Betriebsart, z.B. Speicherbetrieb und Freecooling, optimieren
3.4	Elektrizitätsbedarf	■ Elektrizitätsbedarf, Stand Projekt, in standardisierter Darstellung ermitteln ■ Messkonzept erstellen, Kontrollwerte festlegen und aufgrund der Elektrizitätsbilanz überprüfen
4. Ausführungsprojekt und Ausführung		
4.1	Ausschreibung und Vergabe	■ Garantiewerte Energie in der Ausschreibung festlegen ■ Beim Antrag für Vergabe der Anlagen die späteren Energiekosten berücksichtigen
4.2	Ausführungsprojekt	■ Liste mit Massnahmen für die Bedarfsanpassung erstellen ■ Liste mit Massnahmen bei Nutzungsänderungen erstellen ■ Liste mit Massnahmen gegen mögliche Betriebsfehler erstellen ■ Liste mit Massnahmen für Betriebsoptimierung erstellen ■ Konzept Betriebsoptimierung mit Zielsetzung (quantifiziert) und Auswerteraster (Tabellen, Übersichtsdiagramme, Detailauswertungen) erstellen
4.3	Elektrizitätsbedarf	■ Eventuell Elektrizitätsbedarf, Stand Ausführung, in standardisierter Darstellung ermitteln
5. Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle		
5.1	Betriebsoptimierung	■ Betriebsverhalten mit den Zielvorgaben des Betriebsoptimierungskonzeptes vergleichen, und Optimierungspotentiale identifizieren
5.2	Erfolgskontrolle	■ Elektrizitätsbedarf, Stand Erfolgskontrolle, in standardisierter Darstellung ermitteln ■ Nachweis erbringen, dass Projektvorgaben eingehalten wurden, bzw. Abweichungen begründen

A2 Anlagekennndaten und Betriebsfaktoren zur einfachen Berechnung gemäss Abschnitt 4.3

Die Kennwerte, welche der einfachen Berechnung zugrunde liegen, wurden aus einer Messkampagne (vgl. Anhang A4.2 und Literatur [4], [9], [12] in Anhang A4.3) sowie aus weiteren Forschungsergebnissen ([3], [5], Anhang A4.3) und Planungsgrundlagen ([6], [7], [10], [11]) abgeleitet.

A2.1 Arbeitshilfen

Typ	Gerät	Standbyleistung P_{sAH} [W]
Standardgeräte	PC (ohne Bildschirm)	50
	Bildschirm	50
	Drucker (8 Seiten/Minute)	100
	Kopierer (20 Seiten/Minute)	150
Sparsame Geräte	PC (ohne Bildschirm)	30
	Bildschirm	30
	Drucker (8 Seiten/Minute)	25
	Kopierer (20 Seiten/Minute)	90

Tabelle A2–1: Standbyleistung (P_{sAH}) von Arbeitshilfen

Typ	Gerät	Faktor eff. Leistung k_{pAH} [–]
Standardgeräte	PC (ohne Bildschirm)	1
	Bildschirm	1
	Drucker (8 Seiten/Minute)	2
	Kopierer (20 Seiten/Minute)	2
Sparsame Geräte	PC (ohne Bildschirm)	1.5
	Bildschirm	1.5
	Drucker (8 Seiten/Minute)	3
	Kopierer (20 Seiten/Minute)	3

Tabelle A2–2: Faktor effektive Leistung (k_{pAH}) von Arbeitshilfen

Technisierung	Gerät	Gerätedichte $r_G[\text{Geräte/P}]$
Normale Technisierung	PC (ohne Bildschirm)	0.8
	Bildschirm	0.8
	Drucker	0.2
	Kopierer	0.1
Erhöhte Technisierung	PC (ohne Bildschirm)	1.5
	Bildschirm	1.5
	Drucker	0.5
	Kopierer	0.3

Tabelle A2-3: Gerätedichte r_G (Geräte pro Arbeitsplatz)

Personenbelegung	Personenfläche PF [m^2/P]
sehr dicht	5
dicht	10
mittel	15
schwach	20

Tabelle A2-4: Personenfläche PF (m^2 Bürofläche pro Person)

Art der Nutzung	Faktor Betriebszeit $f_{cAH} [-]$
Administrative Nutzung	0.5
Technische Nutzung	0.3

Tabelle A2-5: Faktor Betriebszeit f_{cAH} von Arbeitshilfen

Gerätetyp	Faktor Bedarfsanpassung $f_{eAH} [-]$
Standardgeräte	1
Sparsames Gerät	0.5

Tabelle A2-6: Faktor Bedarfsanpassung (f_{eAH}) von Arbeitshilfen

A2.2 Beleuchtung

Zone	Art der Nutzung	Nennbeleuchtungs- stärke E_m [lx]	Installierte Leistung p_B [W/m ²]
Bürofläche	Kleinbüro hell	300	6 bis 10
	Sitzungszimmer	300	6 bis 10
	Grössere Büros	500	10 bis 15
Verkaufsfläche	Einfach	300	6 bis 10
	Komfort	500	10 bis 15
Schulraum	Normal	300	6 bis 10
	Speziell	500	10 bis 15
Bettzimmer		200	5 bis 8
Restaurant	Speisesaal	200	5 bis 8
	Küche	500	10 bis 15
Verkehrsfläche	Korridore etc.	100	3 bis 5
Lagerfläche	Grobes Gut	100	3 bis 5
	Feines Gut	200	5 bis 8
Parking		20	1 bis 2

Tabelle A2-7: Nennbeleuchtungsstärken E_m für typische Nutzungen

Lampentyp	Lampenleistung [W]	Lichtausbeuten η_l [Lumen/W]	
		mit EVG	mit VVG
Dreibanden- Leuchtstofflampe	18	70	60
	36	90	75
	58	85	70
Standard- Leuchtstofflampe	18	60	45
	36	75	65
	58	75	65
Kompakt- Leuchtstofflampe	11	55	43
	15	60	52
	23	65	56
Halogenlampen	100	-	15
für Netzspannung	500	-	19
	1500	-	22

Tabelle A2-8: Lichtausbeuten η_l von Fluoreszenzlampen mit elektronischen (EVG) oder verlustarmen (VVG) Vorschaltgeräten

Raumtyp	Leuchtentyp	η_B [-]	
		Heller Raum	Dunkler Raum
Grosser Raum (200 m ²)	Opale Wannen	0.5	0.4
	Reflektor direkt	0.7	0.55
	Direkt/indirekt	0.7	0.45
Kleiner Raum (30 m ²)	Opale Wannen	0.35	0.25
	Reflektor direkt	0.5	0.4
	Direkt/indirekt	0.5	0.3

Tabelle A2–9: Beleuchtungswirkungsgrade η_B

Raumsituation	Fenster- zu Bodenfläche [-]	Tageslicht- quotient Dm [%]	Deckungsanteil Tageslicht TDA [-]	
			300 lx	500 lx
sehr helle Räume	0.3 - 0.5	6.0	0.9	0.85
helle Räume	0.15 - 0.3	3.0	0.8	0.75
mittelhelle Räume	ca. 0.1	1.0	0.6	0.4
Tageslicht nur in fenster- nahen Zonen	< 0.1	0.5	0.3	0.15
kein Tageslicht	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabelle A2-10: Deckungsanteil Tageslicht TDA

Ausnutzungsqualität	Ausnutzung Tageslicht TAN [-]
schlecht	0.10
mittel	0.40
gut	0.80
kontinuierlich	0.95

Tabelle A2-11: Ausnutzung Tageslicht TAN

Zone	Beschrieb	Bedarfs- anpassung f_{eBA} [-]
Bürofläche	Gruppenbüro (Arbeitsplätze > 4)	1.0
	Einzelbüro (Sekretariat 100% im Büro)	0.65
	Einzelbüro (Sachbearbeitung 70% im Büro)	0.45
Verkaufsfläche	ungeregelte Anlagen	1.0
	Reduzierung ausserhalb der Verkaufszeiten	0.9
Verkehrsfläche	mit ausreichend Tageslicht	0.3
	mit wenig Tageslicht	0.6
	ohne Tageslicht	1.0

Tabelle A2-12: Bedarfsanpassung f_{eBA} für Beleuchtung

A2.3 Luftförderung

Zone	Spez. Zuluftvolumenstrom v_{ZUL} [m ³ /hm ²]
Büro (Rauchen gestattet)	4
Büro	3
Verkauf	6
Schulräume	6
Bettzimmer	1

Tabelle A2–13: Spezifischer Zuluftvolumenstrom v_{ZUL}

Anlagentyp	Druckverlust Zu- und Abluft Δp [Pa]
kleine Anlagen	< 300
mittlere Anlagen	300-900
grosse Anlagen	900-1400
Spezialanlagen	> 1400

Tabelle A2–14: Druckverlust Zu- und Abluft Δp

Art des Hilfsbetriebes	Faktor Hilfsbetriebe k_{hLF} [-]
Rotierender Wärmeaustauscher	1.05
Kreislaufverbundenes WRG-System	1.05
Wäscher	1.10
Ultraschallbefeuchter	1.05

Tabelle A2–15: Faktor Hilfsbetriebe k_{hLF} für Luftförderung

Zuluftvolumenstrom	Gesamtwirkungsgrad η_{tot} [-]
> 15'000 m ³ /h	0.70
bis 15'000 m ³ /h	0.65
bis 10'000 m ³ /h	0.60
bis 5000 m ³ /h	0.55
< 1000 m ³ /h	0.45

Tabelle A2–16: Gesamtwirkungsgrad η_{tot} von Ventilatoren

Art der Steuerung/Regelung	Faktor Bedarfsanpassung f_{eLF} [-]
Einstufige Anlage mit Zeitschaltuhr	1.0
Zweistufige Anlage mit bedarfsabhängiger Stufenschaltung	0.8
VAV-Anlage (Zonenweise Ein/Aus-Schaltung)	0.6
VAV-Anlage (Zonenweise bedarfsabhängige Regelung)	0.4

Tabelle A2–17: Faktor Bedarfsanpassung f_{eLF} für Luftförderung

A2.4 Luftkühlung

Zulufttemperatur	Enthalpiedifferenz Δh [kJ/kg]		
	Zürich	Genf	Locarno
14 °C	20	21	27
16 °C	16	17	23
18 °C	12	13	19.5
20 °C	9	10	16.5
22 °C	7	8	14
24 °C	5	6	12

Tabelle A2–18: Enthalpiedifferenz Δh

Beschrieb	Faktor Verteilverluste k_{vKL} [–]
Kälteverbraucher innerhalb der Technikflächen (Lüftungszentrale zusammen mit Kältezentrale)	1.05
Kälteverbraucher ausserhalb der Technikflächen (dezentral angeordnete Lüftungszentralen)	1.15

Tabelle A2–19: Faktor Verteilverluste k_{vKL} für Luftkühlung

Art des Hilfsbetriebes	Faktor Hilfsbetriebe k_{hKL} [–]
Umwälzpumpen Kaltwasser-, Kühlwasserkreislauf und luftgekühlter Kondensator	1.25

Tabelle A2–20: Faktor Hilfsbetriebe k_{hKL} für Luftkühlung

Systemtemperatur	Leistungszahl Kälteanlage η_K [–]	
	Kolben- kompressor	Schrauben- kompressor
6/12 °C	3	3.5
13/18 °C	4	4.5
19/25 °C	5	6

Tabelle A2–21: Leistungszahl Kälteanlage η_K

Systemarten	Faktor Betriebszeit f_{cKL} [-]
Lüftungstechnische Anlage mit Sommerkühlung (Spezifisch wirksame Wärmelasten = 20 W/m ²)	0.15
Lüftungstechnische Anlage mit Luftkühlung (Spezifisch wirksame Wärmelasten = 30 W/m ²)	0.3
Lüftungstechnische Anlage mit Luftkühlung (Spezifisch wirksame Wärmelasten = 40 W/m ²)	0.4
Lüftungstechnische Anlage mit Umluft in Rechenzentrum (Spezifisch wirksame Wärmelasten > 40 W/m ²)	0.6

Tabelle A2–22: Faktor Betriebszeit f_{cKL} für Luftkühlung

Lüftungstechnischen Anlage	Faktor Bedarfsanpassung f_{eKL} [-]
Einstufige Anlage mit konstanter Zulufttemperatur	0.9
Einstufige Anlage mit Zulufttemperaturschiebung	0.6
Bedarfsabhängige Volumenstromregelung mit konstanter Zulufttemperatur	0.7
Bedarfsabhängige Volumenstromregelung mit Zulufttemperaturschiebung	0.5

Tabelle A2–23: Faktor Bedarfsanpassung f_{eKL} für Luftkühlung

A2.5 Wasserkühlung

Systemarten	Faktor Betriebszeit f_{cKW} [–]
Lüftungstechnische Anlage mit Kühldecke (Spezifisch wirksame Wärmelasten = 30 W/m ²)	0.4
Lüftungstechnische Anlage mit Kühldecke (Spezifisch wirksame Wärmelasten = 40 W/m ²)	0.5
Lüftungstechnische Anlage mit Umluft in Rechenzentrum (Spezifisch wirksame Wärmelasten > 40 W/m ²)	0.6

Tabelle A2–24: Faktor Betriebszeit f_{cKW} für Wasserkühlung

Regelstrategie	Faktor Bedarfsanpassung f_{eKW} [–]
Wasserkühlsystem ohne Vorlauftemperaturschiebung	0.9
Wasserkühlsystem mit Vorlauftemperaturschiebung	0.7

Tabelle A2–25: Faktor Bedarfsanpassung f_{eKW} für Wasserkühlung

A3 Vollständige Einfache Berechnung zum Fallbeispiel «Neubau»

Vollständige Wiedergabe der einfachen Berechnung des Elektrizitätsbedarfs für das Anwendungsbeispiel «Neubau» von Kapitel 5.

Gebäudedaten

Zonen ZN

Berechnung des Elektrizitätsbedarfes

Arbeitshilfen	AH
Zentrale Dienste	ZD
Allgemeinbeleuchtung	BA
Zusatzbeleuchtung	BZ
Interne Wärmelasten	WL
Luftförderung	LF
Luftkühlung	KL
Wasserkühlung	KW
Diverse Technik	DT

A4 Referenzen

A4.1 Abkürzungen und Einheiten

A4.2 Messkampagne zur Festlegung der Anforderungen

A4.3 Literaturhinweise

A4.1 Abkürzungen und Einheiten

A4.1.1 Abkürzungen

Die Abkürzungen in Klammern beziehen sich auf Bezeichnungen in A3.

AH	Arbeitshilfen	
B	Beleuchtung	
Δh (deltah)	Enthalpiedifferenz zwischen Aussenluft und Zuluft	kJ/kg
Δp (deltap)	Druckverlust für Zu- und Abluft	Pa
D_m	Tageslichtquotient	
DT	Diverse Technik	
E	Spezifischer Elektrizitätsbedarf	MJ/m ² a
e_A	Elektrizitätsbedarf pro Aufzug	kWh/a
e_{AF}	Elektrizitätsbedarf pro Aufzugsfahrt	kWh/Fahrt
EBF	Energiebezugsfläche	m ²
EG	Erdgeschoss	
EW	Elektrowärme	
E_{AH}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Arbeitshilfen	MJ/m ² a
E_B	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung	MJ/m ² a
E_{BA}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Allgemeinbeleuchtung	MJ/m ² a
E_{BZ}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Zusatzbeleuchtung	MJ/m ² a
E_K	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Kühlung	MJ/m ² a
E_{KL}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Luftkühlung	MJ/m ² a
E_{KW}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Wasserkühlung	MJ/m ² a
E_{LF}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Luftförderung	MJ/m ² a
E_{ZD}	Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Zentrale Dienste	MJ/m ² a
E_m	Beleuchtungsstärke	lx
f	Betriebsfaktor	
f_{bBZ}	Betriebsfaktor Zusatzbeleuchtung	
f_{cAH}	Faktor Betriebszeit für Arbeitshilfen	
f_{cDT}	Faktor Betriebszeit für Diverse Technik	
f_{cKL}	Faktor Betriebszeit für Luftkühlung	
f_{cKW}	Faktor Betriebszeit für Wasserkühlung	
f_{cLF}	Faktor Betriebszeit für Luftförderung	
f_{cZD}	Faktor Betriebszeit für Zentrale Dienste	
f_{eAH}	Faktor Bedarfsanpassung für Arbeitshilfen	
f_{eBA}	Faktor Bedarfsanpassung für Allgemeinbeleuchtung	
f_{eDT}	Faktor Bedarfsanpassung für Diverse Technik	
f_{eLF}	Faktor Bedarfsanpassung für Luftförderung	
f_{eKL}	Faktor Bedarfsanpassung für Luftkühlung	
f_{eKW}	Faktor Bedarfsanpassung für Wasserkühlung	
f_{eZD}	Faktor Bedarfsanpassung für Zentrale Dienste	
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	
g_B	Gleichzeitigkeitsfaktor Beleuchtung	
g_{BR}	Gleichzeitigkeitsfaktor Betriebseinrichtungen	
GF	(Brutto-) Geschossfläche	m ²
g_p	Gleichzeitigkeitsfaktor Personenbelegung	
h_{AH}	Vollaststunden für Arbeitshilfen	h/a

h_B	Vollaststunden für Beleuchtung	h/a
h_{BA}	Vollaststunden für Allgemeinbeleuchtung	h/a
h_{BZ}	Vollaststunden für Zusatzbeleuchtung	h/a
h_{DT}	Vollaststunden für Diverse Technik	h/a
h_K	Vollaststunden für Kühlung	h/a
h_{KL}	Vollaststunden für Luftkühlung	h/a
h_{KW}	Vollaststunden für Wasserkühlung	h/a
h_{LF}	Vollaststunden für Luftförderung	h/a
h_N	Nutzungsstunden	h/a
h_{NDT}	Nutzungsstunden Diverse Technik	h/a
h_{ZD}	Vollaststunden für Zentrale Dienste	h/a
η	Wirkungsgrad	
η_B (etaB)	Beleuchtungswirkungsgrad	
η_{kKL} (etakKL)	Leistungszahl Kälteanlage für Wasserkühlung	
η_{kKW} (etakKW)	Leistungszahl Kälteanlage für Luftkühlung	
η_l (etal)	Lichtausbeute	lm/W
η_{tot} (etatot)	Gesamtwirkungsgrad Ventilator und Motor	
K	Kühlung	
KL	Luftkühlung	
KW	Wasserkühlung	
k_{hDT}	Faktor Hilfsenergie Heizung	
k_{hKL}	Faktor Hilfsbetriebe für Luftkühlung	
k_{hKW}	Faktor Hilfsbetriebe für Wasserkühlung	
k_{hLF}	Faktor Hilfsbetriebe für Luftförderung, inkl. Befeuchtung	
k_{pAH}	Faktor effektive Leistung Arbeitshilfen	
k_{vKL}	Faktor Verteil- und Speicherverluste für Luftkühlung	
k_{vKW}	Faktor Verteil- und Speicherverluste für Wasserkühlung	
LF	Luftförderung	
LK	Lüftung/Klima	
n_A	Anzahl Aufzüge	
OG	Obergeschoss	
PF	Personenfläche	m ² /P
p	Spezifische Leistung	W/m ²
p_{AH}	Spezifische Leistung für Arbeitshilfen	W/m ²
p_B	Spezifische Leistung für Beleuchtung	W/m ²
p_{BA}	Spezifische Leistung für Allgemeinbeleuchtung	W/m ²
p_{BR}	Spezifische Leistung für Betriebseinrichtungen	W/m ²
p_{BZ}	Spezifische Leistung für Zusatzbeleuchtung (Deko)	W/m ²
p_{DT}	Spezifische Leistung für Diverse Technik	W/m ²
p_K	Spezifische Leistung für Kühlung	W/m ²
p_{KL}	Spezifische Leistung für Luftkühlung	W/m ²
p_{KW}	Spezifische Leistung für Wasserkühlung	W/m ²
p_{LF}	Spezifische Leistung für Luftförderung	W/m ²
p_{PAH}	Leistung pro Person oder Arbeitsplatz	W/P
p_{sAH}	Standbyleistung Gerät	W
p_{WL}	Spezifische wirksame Wärmelast	W/m ²
p_{WLB}	Spezifische wirksame Wärmelast für Beleuchtung	W/m ²

P _{WLBR}	Spezifische wirksame Wärmelast für Betriebseinrichtungen	W/m ²
P _{WLKL}	Spezifische Wärmelast, mit Luftkühlung abgeführt	W/m ²
P _{WLKW}	Spezifische Wärmelast, mit Wasserkühlung abgeführt	W/m ²
P _{WLP}	Spezifische wirksame Wärmelast für Personenbelegung	W/m ²
P _{ZD}	Spezifische Leistung für Zentrale Dienste	W/m ²
Q	Elektrizitätsbedarf	MWh/a
Q _{AH}	Elektrizitätsbedarf für Arbeitshilfen	MWh/a
Q _B	Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung	MWh/a
Q _{BA}	Elektrizitätsbedarf für Allgemeinbeleuchtung	MWh/a
Q _{BZ}	Elektrizitätsbedarf für Zusatzbeleuchtung	MWh/a
Q _{DT}	Elektrizitätsbedarf für Diverse Technik	MWh/a
Q _h	Heizenergiebedarf	MWh/a
Q _{KL}	Elektrizitätsbedarf für Luftkühlung	MWh/a
Q _{KW}	Elektrizitätsbedarf für Wasserkühlung	MWh/a
Q _{LF}	Elektrizitätsbedarf für Luftförderung	MWh/a
Q _{tot}	Elektrizitätsbedarf pro Verwendungszweck	MWh/a
Q _{ww}	Wärmebedarf Warmwasser	MWh/a
RAVEL	Impulsprogramm Rationelle Verwendung von Elektrizität	
r _A	Anzahl Fahrten der Aufzüge	Fahrten/a
r _G	Gerätedichte	Gerät/P
ρ _l	Dichte von Luft	kg/m ³
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein	
Spez.	Spezifisch	
SWKI	Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren	
TAN	Ausnutzung Tageslicht	
TDA	Deckungsanteil Tageslicht	
TEK	Teilenergiekennzahl(en)	MJ/m ² a
TEK _{DT}	Teilenergiekennzahl für Diverse Technik	MJ/m ² a
UG	Untergeschoss	
v _{ZUL}	Spezifischer Zuluftvolumenstrom	m ³ /h m ²
WRG	Wärmerückgewinnung	
ZD	Zentrale Dienste	

A4.1.2 Einheiten

a	Jahr	1 a = 8760 h
d	Tag	
h	Stunde, Nutzungsstunden, Vollaststunden	1 h = 3600 s
J	Joule	1 J = 1 Ws
kJ	Kilojoule	1 kJ = 10 ³ J
kW	Kilowatt	1 kW = 10 ³ W
kWh	Kilowattstunde	1 kWh = 3600 kJ
lx	Lux (Beleuchtungsstärke)	
lm	Lumen	
m	Meter	
MJ	Megajoule	1 MJ = 10 ⁶ J
MWh	Megawattstunden	1 MWh = 3600 MJ
P	Person	
Pa	Pascal	
s	Sekunde	
W	Watt	

Wh
°C

Wattstunde
Grad Celsius

1 Wh = 3600 J

A4.2 Messkampagne zur Festlegung der Anforderungen

A4.2.1 Zielsetzung

Im Rahmen der Erprobung einer Vorversion der Empfehlung SIA 380/4 «Elektrische Energie im Hochbau» wurde 1992/94 eine Datenbeschaffungskampagne durchgeführt. Das Ziel war, Energieverbrauchsdaten für die Verwendungszwecke «Beleuchtung» und «Lüftung/ Klima» als Grundlagen für die Anforderungen sowie für das in Abschnitt 4.3 beschriebene einfache Berechnungsverfahren zu ermitteln.

Zu diesem Zweck wurden einerseits bereits vorliegende Daten nochmals ausgewertet und andererseits zusätzliche Messungen durchgeführt. Aus den wichtigsten in der Schweiz durchgeführten Messkampagnen sowie aus diversen Einzelobjekten (Tabelle A4–1) wurden rund 60 Objekte ausgewählt. Ca. 350 Zonen mit einer Geschossfläche von insgesamt rund 560'000 m² wurden in eine Datenbank aufgenommen.

Untersuchung	Auftraggeber /Sachbearbeitung	Anzahl Objekte
Forschungsberichte EEH	SIA/Elektrowatt, Weinmann	6
Sparpotentiale beim Elektrizitätsverbrauch von zehn ausgewählten, arttypischen Dienstleistungsbetrieben	Bundesamt für Energiewirtschaft / Amstein & Walther, Intep	11
Rationelle Stromnutzung in Gebäuden	Energiefachstellen SH und TG / Diverse Ingenieurbüros	9
Energieprogramm UNIKATZ	ATAL Zürich /Diverse Ingenieurbüros	10
RAVEL-Untersuchungen	Bundesamt für Konjunkturfragen / Diverse Ingenieurbüros	8
Diverse		13
Total		57

Tabelle A4–1: Übersicht über berücksichtigte Untersuchungen über den Elektrizitätsverbrauch von Gebäuden

Die Daten und Ergebnisse sind in verschiedenen Berichten (vgl. [4], [9], [12], Anhang A4.3) ausführlich dokumentiert. Die Messdaten dienen als Grundlage zur definitiven Festlegung der Grenz- und Zielwerte der Empfehlung SIA 380/4. Zudem wurden wichtige Einflussfaktoren für den Energieverbrauch aufgezeigt.

A4.2.2 Beleuchtung

Elektrizitätsverbrauch

Die Streuung des Elektrizitätsverbrauchs ist gross (Figur A4-4). Der wichtigste Einflussfaktor ist das Tageslichtangebot. Der Verbrauch konnte in den letzten Jahren durch Wirkungsgradverbesserungen merklich gesenkt werden. Die spezifische installierte Leistung reduzierte sich von ca. 20 W/m² auf die heute üblichen 10 W/m².

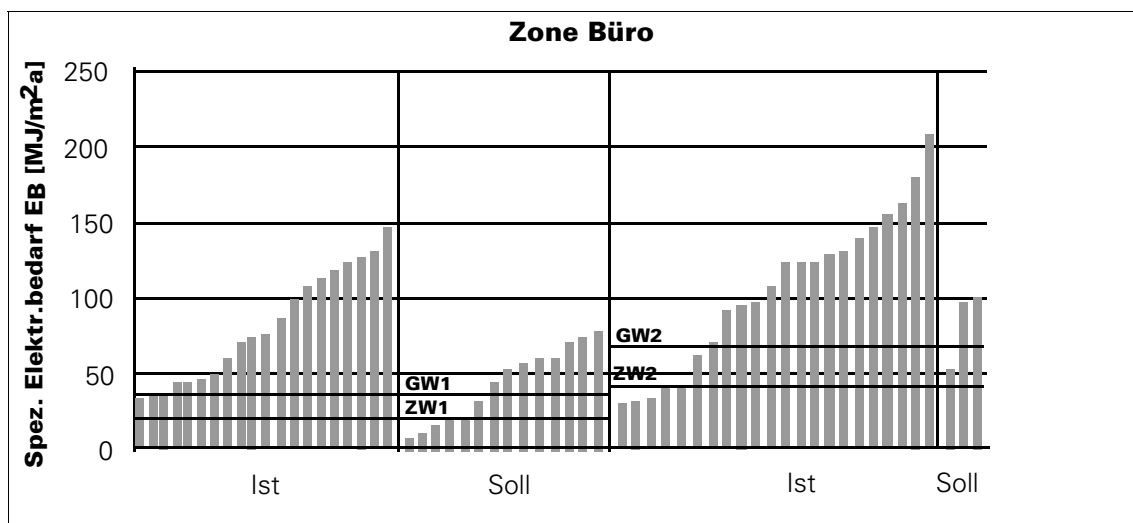
Wichtige Einflussfaktoren

Tageslichtangebot: In Büros ist der Haupteinfluss das Tageslicht. Das Verhältnis zwischen Fenster- und Bodenfläche stellt eine gute und einfache Kenngrösse für das Tageslicht dar. Im Verkauf wird das Tageslicht kaum genutzt.

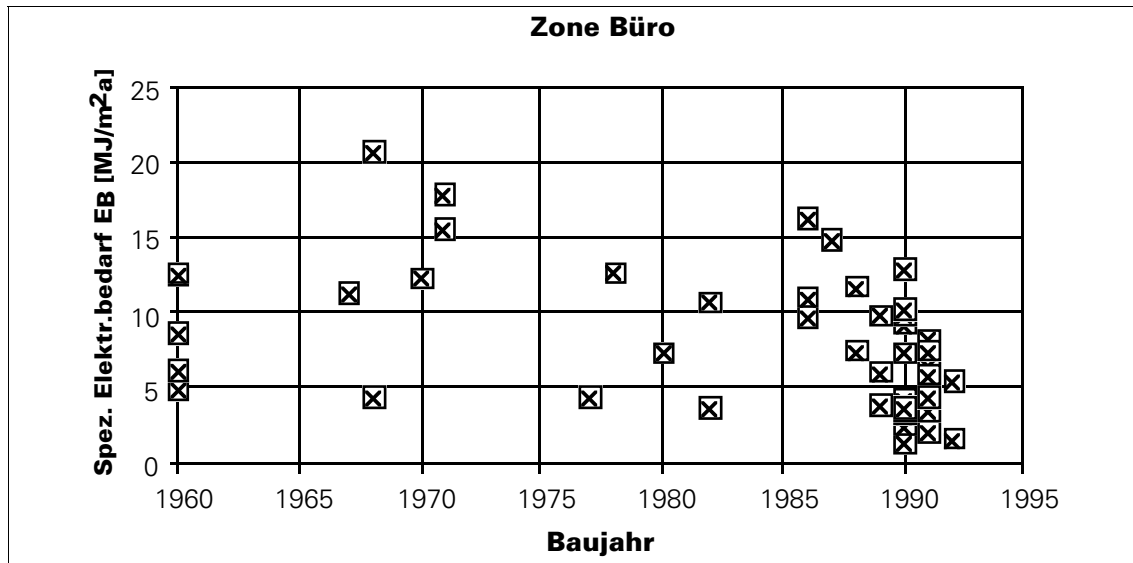
Steuerung und Regelung: Die Nutzung des Tageslichtes bedarf einer angepassten Steuerung und Regelung. Im Verkauf sollte die Beleuchtungssteuerung die Öffnungszeiten berücksichtigen können. Die Effektbeleuchtung muss separat schaltbar sein.

Spezifische Leistung: Im Büro hat die spezifische Leistung stark abgenommen. Im Verkauf ist (wegen der fehlenden Tageslichtnutzung) die spezifische Leistung die Haupteinflussgrösse für den Energieverbrauch.

Baujahr: Figur A4-5 zeigt den spezifischen Elektrizitätsbedarf der Beleuchtung für die Zone Büro, dargestellt in Abhängigkeit des Baujahres. Obwohl eine grosse Streuung festgestellt werden muss, zeigt der Energieverbrauch eine klar sinkende Tendenz.



Figur A4-2: Spezifischer Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung, verglichen mit Grenz- und Zielwerten für die Zone Büro (1: überwiegend mit Tageslicht = Räume mit einer Raumtiefe < 5 m; 2: teilweise mit Tageslicht = Räume mit Raumtiefe 5 bis 10 m)



Figur A4-3: Spezifischer Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung in Abhängigkeit des Baujahres für die Zone Büro

A4.2.3 Lüftung/Klima

Elektrizitätsverbrauch Büro

Der spezifische Elektrizitätsbedarf von Bürozone weist für verschiedene interne Wärmelasten (Figur A4-4) eine grosse Streuung auf. Die höchsten Messwerte überschreiten einerseits den Grenzwert beträchtlich, und die tiefsten Messwerte unterschreiten andererseits den Zielwert.

Wichtige Einflussfaktoren

Die Auswertungen zeigen folgende Einflussfaktoren:

Lüftungstechnisches System: Zwischen spezifischem Elektrizitätsbedarf und lüftungstechnischem System besteht kein eindeutiger Zusammenhang. Dennoch kann aus den Messresultaten abgeleitet werden, dass Anlagen mit kleinem spezifischem Volumenstrom ($V_s < 5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) und damit tiefem Energiebedarf für die Luftförderung auch einen tieferen Elektrizitätsverbrauch aufweisen. Ebenso weisen Anlagen mit «passiven Kühlsystemen» (adiabatische Kühlung, Luft-Erd-Register, Nachtauskühlung usw.) oder «Nur-Sommerkühlung» einen kleineren Elektrizitätsbedarf auf.

Lüftungstechnische Funktionen: Einen dominierenden Einfluss auf den Energieverbrauch der lüftungstechnischen Anlage hat die Luftförderung. Ihr Anteil beträgt bei den meisten Anlagen über 50 %. Der Anteil der Kühlung schwankt relativ stark, abhängig vom lüftungstechnischen System und vor allem vom Komfort (d.h. der verlangten Raumtemperatur). Anlagen mit tiefem Elektrizitätsverbrauch weisen auch einen prozentual kleinen Anteil für Luft- und Wasserkühlung auf. Anlagen mit variablem Volumenstrom (VAV) führen nicht zwingend zu einem tiefen Energieverbrauch.

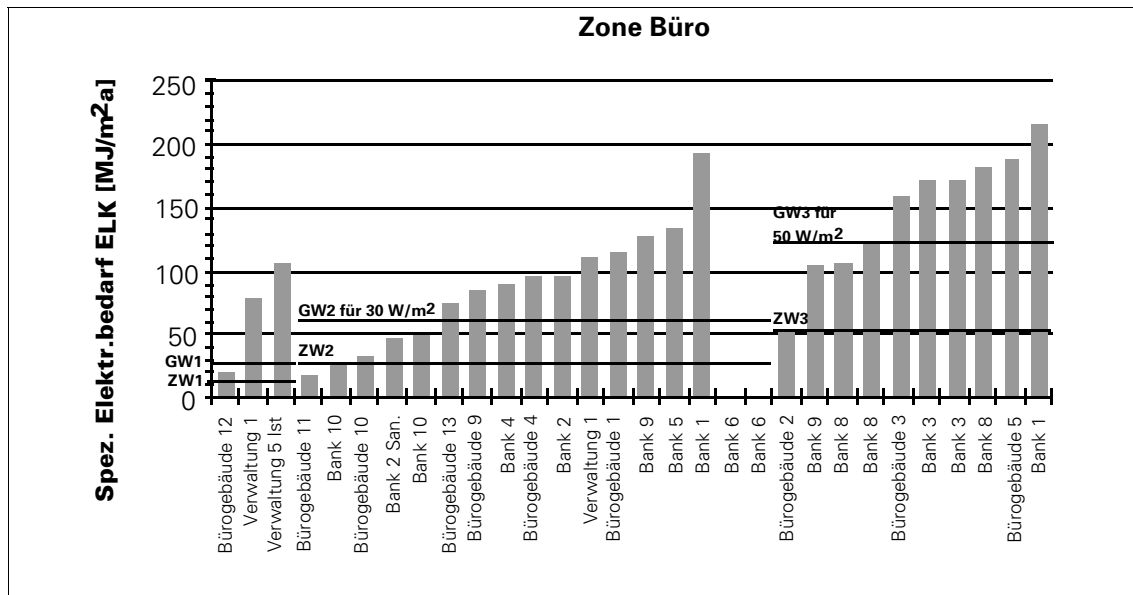
Auslegung/Dimensionierung: Die Druckverluste (Figur A4-5) sind in der Regel bedeutend höher als allgemein angenommen oder z. B. in der Empfehlung SIA 382/3 vorgegeben. Die Tendenz bei neuen Anlagen ist eher zunehmend (WRG, Filter).

Der spezifische Volumenstrom pro Person ist in allen gemessenen Anlagen (bedeutend) höher als in der Empfehlung SIA 382/1 angegeben. Lediglich bei drei Messobjekten liegt der spezifische Volumenstrom pro Person unter $70 \text{ m}^3/\text{hP}$. Gründe für diese hohen Werte sind die effektiv kleinere Belegungsdichte der Büros, als in der Planung allgemein angenommen, und die effektiv tieferen

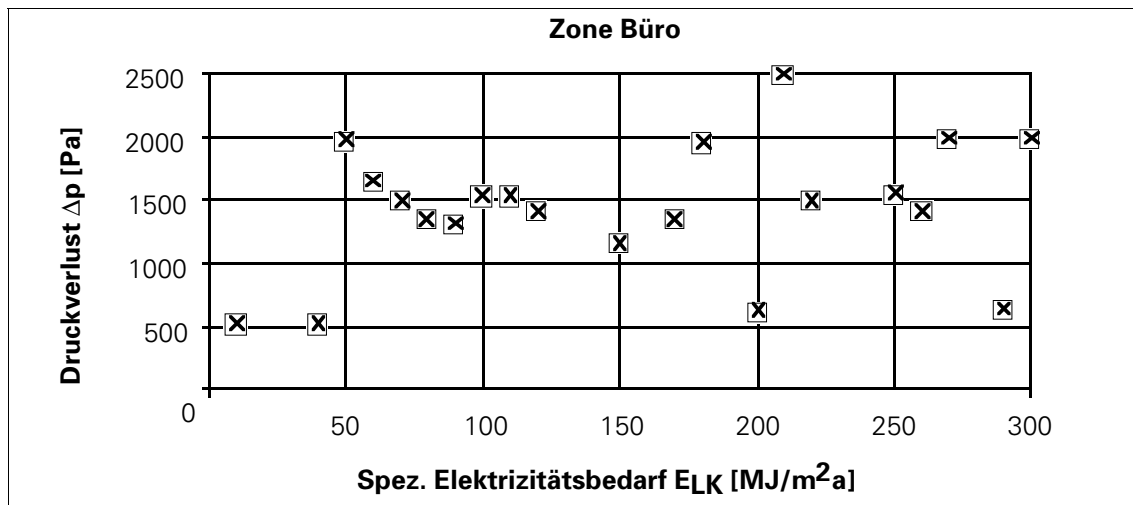
Wärmelasten. Die Werte für die Personenfläche variieren zwischen 10 und 20 m²/P, der Durchschnitt liegt bei 14 m²/P (Annahme in der Planung meistens 10 m²/P).

Betriebszeit: In Büros sind die effektiven Betriebsstunden oft höher als die Nutzungszeit von 2750 h/a. Der Durchschnitt bei den ausgemessenen Büros beträgt 3440 h/a. Anlagen, welche bedarfsgerecht gesteuert werden, weisen wesentlich kürzere Laufzeiten auf.

Baujahr: Ein eindeutiger Trend zu einem tieferen spezifischen Elektrizitätsbedarf in neuen Anlagen ist nicht feststellbar (Figur A4-6). Die Streuung des spezifischen Elektrizitätsbedarfes in neueren Anlagen ist gross, insbesondere zeigen sich bei neueren lüftungstechnischen Konzepten grosse Unterschiede. Die Interpretation der Komfortgrenzen (z.B. zumutbare Raumtemperaturen, Feuchtwert der Raumluft) führt zu unterschiedlichen Konzepten und entsprechenden Unterschieden beim Energieverbrauch. Die Messergebnisse zeigen aber ein Energiesparpotential auf, das es umzusetzen gilt.



Figur A4-4: Spezifischer Elektrizitätsbedarf für unterschiedliche interne Wärmelasten, verglichen mit Grenz- und Zielwerten der Zone Büro (interne Wärmelasten 1: > 20 W/m²; 2: 20 bis 30 W/m²; 3: 30 bis 50 W/m²)



Figur A4-5: Druckverlust von lüftungstechnischen Anlagen in Abhängigkeit des spezifischen Elektrizitätsbedarfes für Lüftung/Klima. (N.B.: Messpunkte auf der Null-Linie sind unbekannte Grössen.)

Die Erfahrung aus den Messobjekten zeigt, dass der spezifische Elektrizitätsbedarf von Lüftungs-/Klimaanlagen in vergleichbaren Gebäuden um einen Faktor 5 bis 10 differiert. Auch besteht zwischen Elektrizitätsverbrauch und lüftungstechnischem System kein eindeutiger Zusammenhang. Einen dominierenden Einfluss auf den Energieverbrauch hat jedoch die Luftförderung. Systemdruckverluste, spezifische Volumenströme und Betriebszeit von Lüftungs-/Klimaanlagen liegen effektiv bedeutend höher als allgemein angenommen.

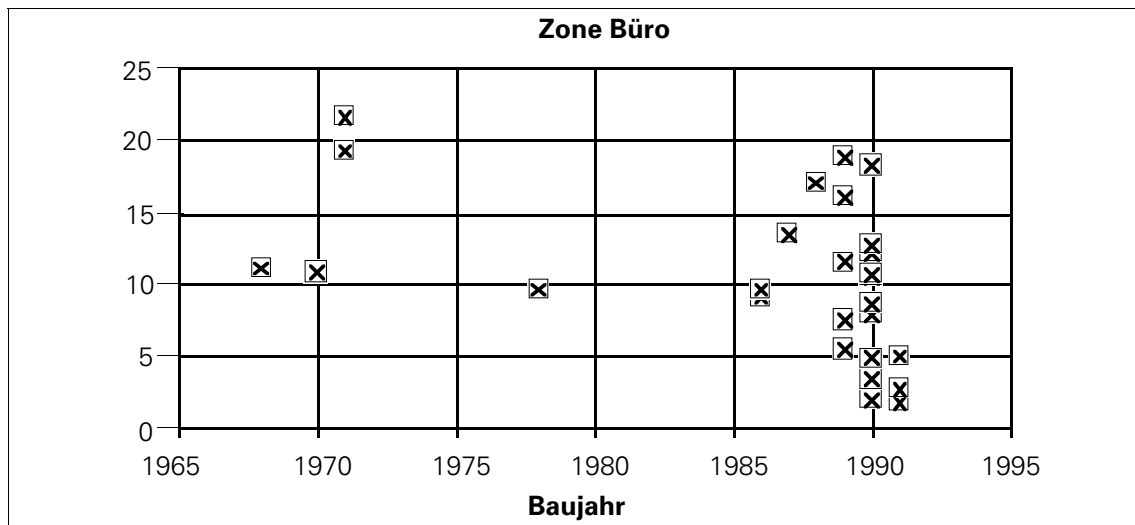
A4.2.4 Festlegung der Grenz- und Zielwerte

Die Festlegung der Anforderungen in der Empfehlung SIA 380/4 wird am Beispiel der Bürobeleuchtung erläutert. Total 22 Bürozonon mit gleichen Nutzungsbedingungen (Beleuchtungsstärke 500 Lux, Räume mit mehr als 6 Metern Raumtiefe, d.h. mit teilweiser Tageslichtnutzung) bildeten die Grundlage für die Festsetzung eines Grenz- und Zielwert-Paares. Der grosse Unterschied zwischen dem kleinsten Elektrizitätsbedarf (Gebäude 1: 36 MJ/m²a) und dem höchsten (Gebäude 22: 195 MJ/m²a) macht deutlich, dass hier grosse Optimierungspotentiale vorhanden sind.

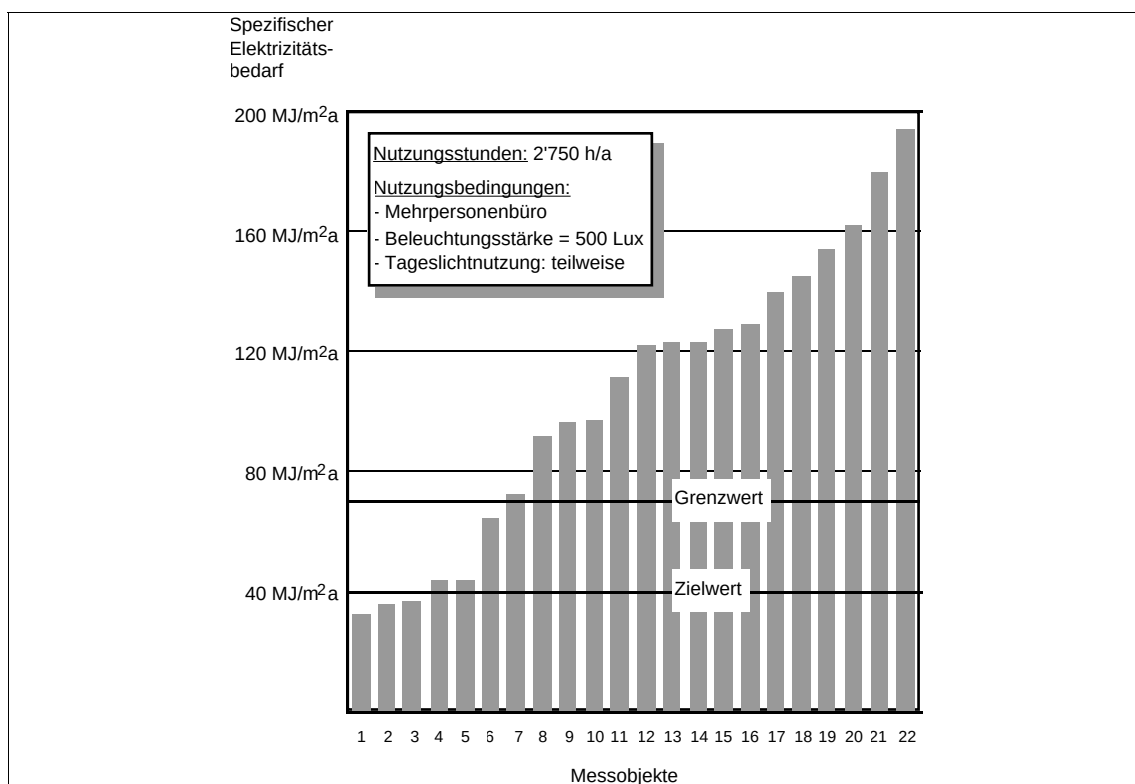
Der Mittelwert der ausgemessenen Bürozonon liegt im vorliegenden Fall bei rund 100 MJ/m²a. Der Grenzwert wurde auf 70 % dieses gemessenen Mittelwertes festgelegt (also auf 70 MJ/m²a). Der Zielwert errechnet sich auf der Basis der heute besten Technik und Rahmenbedingungen: 10 W/m² installierte Leistung und 1100 Betriebsstunden pro Jahr. Diese Betriebsstundenzahl ist in grösseren Büros mit kontinuierlicher Tageslichtregelung im Fensterbereich erreichbar.

In unserem Beispiel erreichen 15 % der Gebäude den Zielwert und ca. 1/3 den Grenzwert. Die Tatsache, dass die meisten der gemessenen Bürozonon den Grenzwert nicht erreichen, z.T. sogar massiv überschreiten, hängt stark vom Alter der betroffenen Anlagen ab und mit den nach heutigen Gesichtspunkten schlecht gewählten bestehenden Beleuchtungskomponenten zusammen. So sind in Gebäude 22 beispielsweise 22 W/m² installierte Leistung zu verzeichnen, und die Lampen brennen unregelmäßig während der gesamten Nutzungsdauer von 2750 Stunden pro Jahr. In der Zwischenzeit sind in verschiedenen Bereichen der Elektrizitätsanwendung eigentliche Technologiesprünge erfolgt, so dass viele neuere Gebäude bezüglich Elektrizitätsverbrauch deutlich besser abschneiden.

Neben der beschriebenen Bürobeleuchtung wurden ca. 50 weitere Zonen auf die selbe Art ausgemessen, mittels Berechnungen verifiziert und entsprechend die Grenz- und Zielwerte festgelegt.



Figur A4-6: Spezifischer Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima in Abhängigkeit des Baujahres der lüftungstechnischen Anlage für die Zone Büro



Figur A4-7: Messkampagne zur Bestimmung der Grenz- und Zielwerte (Beispiel Beleuchtung Büros)

A4.3 Literatur

- [1] Empfehlung SIA 380/1 «Energie im Hochbau», Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1988
- [2] «Elektrische Energie im Hochbau», Dokumentation K 92-040, Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1992 (unveröffentlichter Entwurf)
- [3] RAVEL Handbuch, «Strom rationell nutzen», RAVEL, Verlag der Fachvereine, Zürich, 1992
- [4] SIA 380/4 Anwendung: «Datenbeschaffung», Schlussbericht, Intep AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der Kommission SIA 380/4, Zürich, 1994 (unveröffentlicht)
- [5] «Energieverbrauch von Bürogeräten», Schlussbericht, Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal, 1994
- [6] «Handbuch für Beleuchtung», Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, 5. Auflage, 1992
- [7] SN 418 911, «Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht», Leitsätze der Schweizerischen Lichttechnischen Gesellschaft (SLG), 1989
- [8] «Computerprogramme für die Beleuchtungsplanung», Wegleitung, Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG), 1994
- [9] SIA 380/4 Anwendung: «Beleuchtung», Schlussbericht, Intep AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der Kommission SIA 380/4, Zürich, 1994 (unveröffentlicht)
- [10] SWKI-Richtlinie 83-2, «Betriebskosten-Berechnung lufttechnischer Einrichtungen
- [11] «Metodaten für die Haustechnik», Dokumentation D 012, Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1987
- [12] SIA 380/4 Anwendung: «Datenauswertung Aussenluftzufuhr/ Raumkonditionierung», Schlussbericht, Intep AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der Kommission SIA 380/4, Zürich, 1994 (unveröffentlicht)