



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Januar 2010

ENERGIEVERBRAUCH VON BÜRO- GEBÄUDEN UND GROSSVERTEILERN

Erhebung des Strom- und Wärmeverbrauchs, der
Verbrauchsanteile, der Entwicklung in den letzten 10
Jahren und Identifizierung der Optimierungspotentiale

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 31 322 56 11; Fax +41 31 323 25 00

Auftragnehmer:

D. Aiulfi, I. Maschio, V. Dellsperger, L. Brunet, Sorane SA Rationalisation Energétique,
Rte du Bois 37, CH-1024 Ecublens, mail@sorane.ch, www.sorane.ch
A. Primas, M. Hagel, P. Benz-Karlström, Basler & Hofmann Ing. und Planer AG,
Forchstrasse 395, CH-8032 Zürich, basler-hofmann@bhz.ch, www.bhz.ch
M. Jakob, A. Honegger-Ott, B. Grodofzig Fürst, Centre for Energy Policy and
Economics (CEPE) und TEP Energy GmbH, Zürichbergstr. 18, 8032 Zürich, www.tep-energy.ch

Begleitgruppe:

Lukas Gutzwiller, Leitung, Bundesamt für Energie BFE
Bernard Aebischer, CEPE, ETH Zürich
Oliver Brüggemann, ecoLive
Andreas Eckmanns, Bundesamt für Energie BFE
Christoph Gmür, AWEL, Kanton Zürich
Rudolf Imhof, SwissRe
Nicole Matthys, Bundesamt für Energie BFE
Urs Steinemann, Vertreter SIA, Ingenieurbüro U.Steinemann
Ernst Ursenbacher, Bundesamt für Bauten und Logistik BBL

Bezugsort der Publikation: www.ewg-bfe.ch und www.energieforschung.ch

Projekt Nr.: 101727

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms "Energiewirtschaftliche Grundlagen" des Bundesamts für Energie BFE erstellt.

Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Synthese.....	5
Synthèse / Résumé	7
Zusammenfassung.....	9
Energieverbrauch von Bürogebäuden	9
Fallstudien Energiekennzahl von Bürogebäuden	11
Entwicklung des Elektrizitäts- und Wärmeverbrauchs in Bürogebäuden	12
Analyse des consommations énergétiques des grandes surfaces	14
Analyse fine d'un grand centre commercial.....	16
Empfehlung	18
1. Projektbeschreibung	19
1.1. Ausgangslage	19
1.2. Zielsetzung.....	19
1.3. Untersuchungsmethodik	20
1.3.1 Vorgehen.....	20
1.3.2 Basiserhebung Energiebedarf in Bürogebäude.....	20
1.3.3 Fallstudien Bürogebäude	21
1.3.4 Entwicklung des Energiebedarfs in Bürogebäuden	21
1.3.5 Erhebung Energiebedarf in Grossverteilern	21
1.4. Grundlagen und Begriffsdefinitionen	22
1.4.1 Angewendeten Normen und Empfehlungen.....	22
1.4.2 Energiekennzahl Elektrizität E_{EL}	23
1.4.3 Teilenergiekennzahlen der E_{EL}	23
1.4.4 Energiekennzahl Wärme E_{hww}	26
1.4.5 Verbrauchskennzahl Brauchwasser V_{BW}	27
1.4.6 Elektrizitätsintensität pro Arbeitsplatz	27
1.4.7 Nacht- und Wochenend Verbrauch	27
2. Energieverbrauch von Bürogebäuden	29
2.1. Datenerhebung	29
2.2. Ergebnisse Energieverbrauch heute	29
2.2.1 Energiekennzahl Elektrizität E_{EL}	29
2.2.2 Gebäudegruppe Server	31
2.2.3 Energiekennzahl Wärme E_{hww}	34
2.3. Ermittlung der Verbrauchskennzahl Für Brauchwasser V_{BW}	35
2.4. Differenzierung der Energiekennzahl	36
2.4.1 Baujahr.....	36
2.4.2 Minergie	37
2.4.3 Befeuchtung	38
2.5. Analyse der Einflussfaktoren auf die Energiekennzahl E_{EL} und E_{hww}	39
2.5.1 Einflussfaktoren Energiekennzahl Elektrizität (E_{EI}).....	39
2.5.2 Einflussfaktoren Energiekennzahl Wärme (E_{hww})	42

2.6.	Vergleich der Energiekennzahl E_{EL} mit Werten aus der SIA 2024	45
2.7.	Vergleich empirisch bestimmteR Energiekennzahlen mit Gebäudesimulationen	47
3.	Fallstudien zur EKZ von Bürogebäuden	49
3.1.	Ausgangslage und Vorgehen	49
3.2.	Resultate zu den Teilenergiekennzahlen	50
3.2.1	Übersicht über die Teilenergiekennzahlen der verschiedenen Verwendungszwecke	50
3.2.2	Teilenergiekennzahl Lüftung und Klimatisierung	50
3.2.3	Teilenergiekennzahl Beleuchtung	51
3.2.4	Teilenergiekennzahl Betriebseinrichtungen	51
3.2.5	Teilenergiekennzahl Serverstrom	52
3.2.6	Teilenergiekennzahl Diverse Gebäudetechnik	52
3.2.7	Zusammenfassung der Teilenergiekennzahlen, Vergleich mit Simulationsergebnissen	53
3.3.	Resultate zum Nacht- und Wochenendverbrauch	55
3.4.	Mitarbeiterdichte und Elektrizitätsintensität	56
3.5.	Effizienzmassnahmen	57
4.	Entwicklung des Elektrizitäts- und Wärmeverbrauchs in Bürogebäuden	59
4.1.	Vorgehen	59
4.2.	Resultate	59
4.2.1	Entwicklung der Energiekennzahl Elektrizität und Wärme	59
4.2.2	Erklärung der Verbrauchsentwicklung	61
4.2.3	Verbrauchsentwicklung im Elektrizitätsbereich	64
4.2.4	Verbrauchsentwicklung im Wärmebereich	67
4.2.5	Analyse der Auswirkungen der nicht Antwortenden	70
4.3.	Folgerungen und Fazit	71
5.	Analyse des consommations énergétiques des grandes surfaces	73
5.1.	Introduction	73
5.1.1	Contexte	73
5.1.2	Conditions	73
5.1.3	Limites	73
5.2.	Analyse globale des résultats	74
5.2.1	Grandeurs de référence	74
5.2.2	Chaleur	75
5.2.3	Electricité	77
5.2.4	Eau	81
5.3.	Comparaison avec les études RAVEL et les nouvelles normes SIA	82
5.4.	Analyse fine d'un grand centre commercial	86
5.5.	Grands consommateurs dans un centre commercial	88
5.6.	Potentiels d'économie et directions à prendre pour les obtenir	91
5.7.	Eclairage	96
5.8.	Chauffage, ventilation et climatisation (CVC)	100
5.9.	Minergie	103

5.10. Conclusions	108
6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	109
6.1. Schlussfolgerungen Bürogebäude.....	109
6.2. Schlussfolgerungen Grossverteiler.....	110
6.3. Empfehlungen.....	111
7. Literaturverzeichnis	112

Synthese

Für die Festlegung von Zielen und für die Konzeption von wirksamen Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (insbesondere der Elektrizität) im Dienstleistungssektor sind aktuelle Daten zum Gebäudeverbrauch bei Bürogebäuden und Grossverteilern wichtig. In anderen Untersuchungen [25] wurde festgestellt, dass die Datenlage angesichts der Bedeutung des Themas insbesondere für Teilverbräuche für einzelne Gebäudebereiche ungenügend ist. In der vorliegenden Untersuchung wurde der aktuelle Energieverbrauch von 128 Bürogebäuden und 32 Filialen von Grossverteilern untersucht. Bei 19 Bürogebäuden und einem Grossverteiler wurden zudem Fallstudien vorgenommen und von 70 Bürogebäuden wurde die Verbrauchsentwicklung der letzten 10 Jahre aufgezeigt.

Ergebnisse Bürogebäude

Bei der Hälfte der Bürogebäude liegt die Energiekennzahl Elektrizität (E_{El}) zwischen $164 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ und $484 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (Mittelwert $380 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) und damit im Bereich der Wärme-Energiekennzahl. Die statistische Analyse zeigt, dass der Ausrüstungsgrad mit Lüftungs- und Klimaanlage, die Befeuchtung sowie der Grad an Serverausrüstung einen signifikanten Einfluss auf die Energiekennzahl Elektrizität haben. Auch bei den Fallstudien zeigte sich ein grosser Einfluss der Lüftungs- und Klimaanlage auf den Elektrizitätsverbrauch. Dabei ist die Luftförderung mit im Mittel 60% dieses Teilverbrauchs (Bereich 9% bis über 90%) von hoher Bedeutung (der Rest fällt auf die Kühlung der Luft). Die ermittelten Teilenergiekennzahlen für Lüftung / Klima liegen häufig deutlich über dem berechneten Standardwert nach SIA 2024. Demgegenüber lagen die Beleuchtungskennzahlen häufiger im Bereich der SIA 2024 Standardwerte. Insgesamt macht die Beleuchtung trotzdem oft einen wesentlichen Verbrauchsanteil bei der Elektrizität aus (im Mittel 25%). Insgesamt kann aus den Fallstudien festgestellt werden, dass mit einer intelligenten Gebäudekonzeption der Strombedarf stark reduziert werden kann und oft wesentliche Optimierungspotentiale bestehen. Als wichtiges Hilfsmittel zur Eruierung dieser Potentiale und auch der oft hohen Verbrauchsanteilen ausserhalb der Betriebszeiten von im Mittel ca. 40% des Gesamtverbrauchs ist die Lastgangmessung zu erwähnen. Die Analyse der Entwicklungen in den letzten 10 Jahren zeigte, dass bei den verbrauchssenkenden Massnahmen vor allem die Erneuerung von Beleuchtungsanlagen von Bedeutung war. Bei der Lüftung und Klimatisierung der Gebäude wurde primär die Änderung des Ausstattungsgrades als Ursache für die Veränderung des Elektrizitätsverbrauchs erkannt, während die Anlagenerneuerung keine klare Tendenz zeigte.

Bei der Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) lag die Hälfte der Bürogebäude im Bereich zwischen $200 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ und $440 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (Mittelwert $340 \text{ MJ/m}^2\text{a}$). Als wesentliche Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Energiekennzahl Wärme zeigten sich neben Wärmedämmmassnahmen auch Erneuerungen der Heizanlagen und der Einbau von Abwärmenutzungen für Kälteanlagen. Kein signifikanter Einfluss zeigten dagegen Erneuerungsmassnahmen im Bereich der Lüftungsanlagen. Dies ist u.a. darin begründet, dass bei der Erneuerung oft auch eine Erweiterung der Anlage erfolgte. Wärmebezogene Energieeffizienzmassnahmen wurden prioritär bei Gebäuden mit hohem thermischem Energiebedarf ergriffen. Diese Tatsache wurde – etwas weniger ausgeprägt – auch bei der Elektrizität festgestellt.

Ergebnisse Grossverteiler

Bei den untersuchten Grossverteilern lag die auf die Verkaufsfläche (nicht EBF) bezogene Energiekennzahl Elektrizität (E_{El}) im Mittel bei $2000 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ (Bereich zwischen 360 und $2800 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) und damit wesentlich höher als bei Bürogebäuden, auch wenn die unterschiedliche Flächenbezugsdefinition berücksichtigt wird. Als wichtigste Einflussfaktoren auf die elektrische Energiekennzahl wurden nebst der Ladengrösse und der Effizienz der gewerblichen Kälteanlage die Ausrüstung des Ladens mit Klimakälte, die Art und Steuerung der Beleuchtung, die Luftmengen und die Steuerung der Lüftung sowie das Vorhandensein eines Restaurants mit elektrischer Küche ermittelt. Die gewerbliche Kälte nimmt mit 24% bis 79% (im Mittel 51%) des Gesamtstrombedarfs eine zentrale Rolle ein. Der spezifische Strombedarf pro Meter Kühlmöbel und Jahr lag im Mittel bei $5'300 \text{ kWh/m}$ (Bereich von $3'700$ bis $7'700 \text{ kWh/m}$). Wichtige Einflussfaktoren sind hier neben der Art der Kälteerzeugung und der Kühlmöbel die Temperaturverhältnisse der Wärmerückgewinnung und insbesondere auch das für die Warenpräsentation eingesetzte Beleuchtungskonzept (spez. Leistung, Art der Leuchten und Zeitprogramm). Unter Umständen ist es gesamt-energetisch effizienter, auf Abwärmenutzung zu verzichten und dafür die Kühlung hoch-effizient zu betreiben.

Zwischen grossen Einkaufszentren und kleinen Detailhandelsläden besteht ein qualitativer Unterschied: während bei ersteren die Effizienzpotenziale quantitativ v.a. bei Raumlüftung und -klimatisierung liegen, ist es bei letzteren eher bei der Beleuchtung und der gewerblichen Kälte. Die in der Erhebung ermittelte Energiekennzahl Elektrizität liegen bei kleineren Läden um Faktor 3 oder mehr über den Standardwerten gemäss dem Merkblatt SIA 2024. Die Vorgaben der SIA sind daher für

kleinere Läden als sehr ambitiös zu bezeichnen, dies v.a. weil die Ausstattung pro Flächeneinheit zu wenig berücksichtigt wird. Für grosse Einkaufszentren ($>10'000\text{ m}^2$) zeigte sich in einem Beispiel, dass die Vorgaben erreichbar sind. Es zeigte sich auch, dass die Teilenergiekennzahl für gewerbliche Kälte in der SIA 2024 unterschätzt und zuwenig differenziert wird. In der Berechnung der SIA 2024 müssten Unterschiede wie Ladengrösse oder Frischprodukteanteil zukünftig besser berücksichtigt werden.

Die Energiekennzahl Wärme lag in den untersuchten Grossverteilern im Mittel bei $350\text{ MJ/m}^2\text{a}$ (Bereich zwischen 75 und $800\text{ MJ/m}^2\text{a}$). Wichtige Einflussfaktoren sind hier neben der Art, Grösse und dem Alter des Gebäudes die Luftmengen und die Steuerung der Lüftung, die Art der Wärmerückgewinnung und der Heizung (z.B. Wärmepumpe), das Temperaturniveau und die Raumforderungen (Nutzervorgaben).

Folgerungen und Empfehlungen

Insgesamt zeigt sich, dass die Unterschiede im Verbrauch auch bei ähnlicher Technisierung und Ausstattung zwischen den Gebäuden sehr gross sein können. Die Auswertung der Fallstudien zeigt jedoch auf, dass es kein allgemeines und für alle Gebäude anzuwendendes Standardvorgehen zur Verbrauchssenkung gibt. Diese Aussage trifft vor allem auch für die Grossverteiler zu, wo die Anforderungen je nach Grösse, Sortiment etc. sehr stark variieren. Insbesondere bei Läden mit kleineren Verkaufsflächen sind die ermittelten Energiekennzahlen sehr hoch, was mit einem höheren Anteil Frisch- und Tiefkühlprodukte zusammenhängt, aber auch einen Hinweis auf Schwächen bei der Energieüberwachung und Optimierung dieser Gebäude sein kann. Es kann auch festgestellt werden, dass bei mehrheitlich belüftet und klimatisierten Bürogebäuden oder bei hohem Verbrauch ausserhalb der eigentlichen Bürobetriebszeiten systematische Betriebsoptimierungen lohnend sind, was jedoch einen gewissen Initialaufwand erfordert. Hier können die Benchmark-Modelle der EnAW sowie die Kopplung an effizienzorientierte Strompreissysteme (wie z.B. der Effizienzbonus des EWZ) ein gutes Mittel sein, um den Energieverbrauch zu thematisieren und einen Fokus auf die kontinuierliche betriebliche Optimierung zu legen. Geeignete Instrumente könnten gerade auch in Zusammenarbeit mit den EVU geschaffen werden.

Aus den Vergleichen mit den Grenz- und Zielwerten der SIA kann man feststellen, dass für den Bereich Lüftung und Klimatisierung ein grosser Handlungsbedarf besteht, um ambitionierte Effizienzziele zu erreichen. Insbesondere einer konsequenten Umsetzung der SIA Norm 382/1, aber auch der SIA 380/4 bei allen Bau- und Umbauvorhaben kommt daher eine grosse Bedeutung zu. Im weiteren ist die Festlegung von Energieeffizienzstandards für Büroarbeitsgeräte aber auch für Gebäudetechniksystemen und Informatikkomponenten wichtig. Dies betrifft vor allem auch den Standby-Verbrauch.

Begleitend dazu sind weitere Anstrengungen im Bereich Aus- und Weiterbildung sowie beim Wissenstransfer hin zu den Gebäudetechnik anbietenden Branchen und nachfragenden Betrieben zu unternehmen. Die betrifft namentlich energieeffiziente und akzeptierte Lösungen für den Betrieb und die Kühlung von Serverräumen sowie bei der Raumkonditionierung (z. B. raumtemperaturnah arbeitende Systemen für Heizung und Kühlung, hocheffiziente Lösungen mit Freecooling oder direkter Abwärmernutzung von Servern). Bei den Grossverteilern wären zudem Anreize und Vorgaben schaffen für die Ersatz von ineffizienten gewerblichen Kälteanlagen und Kühlmöbeln durch hocheffiziente Anlagen und Konzepte. Auch müssen die betrieblichen Energiekonzepte das Spannungsfeld Marketing/Technik berücksichtigen und die notwendigen technischen Voraussetzungen für spätere Betriebsoptimierungen mitbringen.

Synthèse / Résumé

Pour fixer des objectifs et pour concevoir des mesures permettant d'accroître l'efficacité énergétique (en particulier dans le domaine de l'électricité) du secteur tertiaire, il est essentiel de disposer de données à jour sur la consommation des immeubles de bureaux et des grandes surfaces. Des études [25] ont montré que les données disponibles, surtout pour ce qui est de la consommation spécifique de certains éléments du bâtiment, ne sont pas à la hauteur de l'importance du sujet. La présente étude porte sur la consommation d'énergie actuelle de 128 immeubles de bureaux et de 32 filiales de grands distributeurs. Des études de cas ont en outre été réalisées pour 19 immeubles de bureaux et un grand distributeur. Enfin, pour 70 immeubles de bureaux, l'évolution de la consommation au cours des 10 dernières années a été présentée.

Résultats pour les immeubles de bureaux

Pour la moitié des immeubles de bureau, l'indice de consommation d'électricité (E_{EI}) est compris entre 164 MJ/m²/an et 484 MJ/m²/an (moyenne: 380 MJ/m²/an). Il est donc du même ordre de grandeur que celui relatif à la consommation de chaleur. L'analyse statistique montre que le degré d'équipement en installations de ventilation et de climatisation, l'humidification ainsi que le degré d'équipement en serveurs informatiques ont un impact significatif sur la consommation d'électricité. Les études de cas montrent elles aussi que la ventilation et la climatisation influent fortement sur cette consommation. A cet égard, l'aération mécanique du bâtiment joue un rôle non négligeable: elle représente en moyenne 60% (le minimum est de 9% et le maximum de 90%) de la consommation de la ventilation/climatisation, le reste étant dû au refroidissement de l'air. Les indices de consommation de la ventilation et de la climatisation sont souvent nettement au-dessus de la valeur standard calculée selon le cahier technique SIA 2024. En revanche, les chiffres relatifs à l'éclairage correspondent assez fréquemment aux valeurs standard dudit cahier. Globalement, l'éclairage continue de représenter une part importante de la consommation d'électricité (25% en moyenne). Les études de cas montrent en outre qu'une conception intelligente du bâtiment permet de réduire considérablement les besoins en électricité et qu'il existe souvent un important potentiel d'optimisation. La mesure de la courbe de charge constitue un instrument important pour déterminer non seulement ce potentiel mais aussi la part (souvent élevée puisqu'elle se monte à 40% en moyenne) de la consommation globale enregistrée en dehors des heures de bureau. L'analyse de l'évolution observée au cours des dix dernières années a montré que le renouvellement des installations d'éclairage constitue la mesure de réduction de la consommation ayant joué le plus grand rôle. Dans le domaine de la ventilation et de la climatisation, il a été établi que la cause première de l'évolution de la consommation d'électricité était la modification du degré d'équipement, tandis que le renouvellement des installations n'a pas fait apparaître de tendance particulière.

Quant à la consommation de chaleur (E_{HWW}), elle s'inscrit, pour la moitié des immeubles de bureaux, entre 200 MJ/m²/an et 440 MJ/m²/an (moyenne: 340 MJ/m²/an). Les principaux facteurs ayant un impact sur l'évolution de cette valeur sont les mesures d'isolation thermique, le renouvellement des installations de chauffage et la récupération des rejets de chaleur émis par les installations de production de froid. Les mesures de renouvellement des équipements de ventilation ne semblent pour leur part pas avoir d'effet significatif. Cela s'explique notamment par le fait que le renouvellement d'une installation va souvent de pair avec son agrandissement. Les mesures d'efficacité énergétiques axées sur la chaleur ont avant tout été prises dans les bâtiments ayant un besoin élevé d'énergie thermique. Le même phénomène a été observé, bien que de façon moins marquée, pour l'électricité.

Résultats pour les grands distributeurs

Chez les grands distributeurs étudiés, la consommation d'électricité (E_{EI}) rapportée à la surface de vente (et non à la surface de référence énergétique) se situait en moyenne à 2'000 MJ/m²/an (le minimum étant de 360 et le maximum de 2'800 MJ/m²/an). Elle est donc nettement plus élevée que dans les immeubles de bureaux, même en tenant compte du fait que la surface de référence prise en compte est définie différemment. Les principaux facteurs ayant un impact sur la consommation d'électricité sont non seulement la taille du magasin et l'efficacité de l'installation de production de froid commercial mais aussi l'équipement du magasin en climatisation, le type et la gestion de l'éclairage, les débits d'air et la gestion de la ventilation ainsi que la présence d'un restaurant doté d'une cuisine fonctionnant à l'électricité. La production de froid commercial représente une part importante de la consommation globale d'électricité: de 24% à 79% (51% en moyenne). La consommation spécifique par mètre de meuble frigorifique et par an s'élève en moyenne à 5'300 kWh/m (le minimum étant de 3'700 et le maximum de 7'700 kWh/m). Les principaux facteurs ayant un impact sur cette valeur sont non seulement le mode de production du froid et le type de meuble frigorifique mais aussi le niveau de température pour la récupération de chaleur et le concept

d'éclairage mis en œuvre pour la présentation des marchandises (puissance, type de luminaire et réglages temporels). Dans certains cas, il vaut mieux, d'un point de vue énergétique, renoncer à récupérer les rejets de chaleur et gérer le refroidissement de la façon la plus efficace possible.

Il existe une différence qualitative entre les grands centres commerciaux et les petits commerces de détail: si le potentiel d'efficacité se situe pour les premiers essentiellement dans le domaine de la ventilation et de la climatisation, il est plutôt lié chez les seconds à l'éclairage et au froid commercial. Chez ces derniers, l'indice de consommation d'électricité déterminé dans l'étude dépasse d'un facteur 3 ou plus les valeurs standard du cahier technique SIA 2024. Les prescriptions de la SIA peuvent donc être qualifiées de très ambitieuses pour les petits magasins, avant tout parce que l'équipement par unité de surface n'est pas suffisamment pris en compte. En ce qui concerne les grands centres commerciaux (plus de 10'000 m²), il existe un exemple montrant que les prescriptions sont réalisables. Par ailleurs, l'indice de consommation relatif au froid commercial figurant dans le cahier technique SIA 2024 est sous-estimé et n'opère pas une différenciation suffisante entre les différents cas de figure possibles. Le calcul proposé dans ce cahier devrait à l'avenir mieux tenir compte de facteurs tels que la taille du magasin et la part des produits frais.

La consommation de chaleur des grands distributeurs étudiés s'est élevée en moyenne à 350 MJ/m²/an (le minimum étant de 75 et le maximum de 800 MJ/m²/an). Les principaux facteurs ayant un impact sur cette valeur sont non seulement le type, la dimension et l'âge du bâtiment mais aussi les débits d'air et la gestion de la ventilation, le type de récupération des rejets de chaleur et de chauffage (p. ex. pompe à chaleur), le niveau de température et les exigences auxquelles doit répondre le local (exigences de l'utilisateur).

Conclusions et recommandations

D'une manière générale, les différences de consommation entre les bâtiments peuvent être très importantes même si la technique et l'équipement utilisés sont similaires. L'analyse des études de cas montre toutefois qu'il n'existe pas de procédure standard applicable à tous les bâtiments pour en abaisser la consommation. Cette conclusion vaut avant tout pour les grands distributeurs, dont les besoins varient fortement en fonction de la taille, de l'assortiment, etc. Pour les magasins dotés d'une surface de vente relativement petite, les indices de consommation obtenus sont très élevés, ce qui est lié à la part relativement importante de produits frais et surgelés qu'ils commercialisent, mais qui peut aussi indiquer qu'il existe des faiblesses sur les plans de la surveillance de l'énergie et de l'optimisation du bâtiment. Il apparaît également qu'il vaut la peine de procéder à des optimisations systématiques de l'exploitation des bâtiments lorsque leur consommation est due essentiellement à la ventilation et à la climatisation ou lorsqu'elle reste élevée en dehors des heures de travail. Ces optimisations requièrent néanmoins un certain effort initial. En la matière, les modèles benchmark de l'AEnEc et le couplage à des systèmes de tarification de l'électricité axés sur l'efficacité (p. ex. la prime à l'efficacité d'EWZ) peuvent constituer un bon moyen d'aborder le thème de la consommation d'énergie et de mettre l'accent sur l'optimisation permanente de l'exploitation. Les instruments appropriés peuvent aussi être créés en collaboration avec l'EAE.

La comparaison des chiffres obtenus avec les valeurs limites et les valeurs cibles de la SIA montre qu'il y a lieu de prendre des mesures énergiques dans le domaine de la ventilation et de la climatisation si l'on veut atteindre les objectifs visés en matière d'efficacité. La mise en œuvre systématique de la norme SIA 382/1, mais aussi de la norme SIA 380/4, pour tous les projets de construction et de transformation revêt donc une grande importance. Il en va de même de la fixation de normes d'efficacité énergétique pour la bureautique, la technique du bâtiment et les composants informatiques, en particulier en ce qui concerne le mode veille.

Accessoirement, il convient de poursuivre les efforts entrepris dans les domaines de la formation et du perfectionnement ainsi que du transfert de technologies vers les branches actives dans la technique du bâtiment et les exploitations qui recherchent des produits ou des services dans ce secteur. Cela concerne notamment les solutions énergétiquement efficaces et acceptées pour l'exploitation et le refroidissement des locaux de serveurs et le conditionnement des locaux (p. ex. systèmes de chauffage et de refroidissement travaillant à une température proche de la température ambiante, solutions hautement efficaces de freecooling ou utilisation directe des rejets de chaleur des serveurs). Chez les grands distributeurs, il conviendrait en outre de créer des incitations et prescriptions pour le remplacement des installations de production de froid commercial et des meubles frigorifiques gourmands en énergie par des installations et concepts hautement efficaces. Enfin, les concepts énergétiques régissant l'exploitation devraient concilier les impératifs de la technique et du marketing, et intégrer les conditions techniques nécessaires à des optimisations ultérieures de l'exploitation.

Zusammenfassung

Rund 30% des schweizerischen Stromverbrauchs gehen auf das Konto des Dienstleistungssektors. In den vergangenen zehn Jahren hat sich im Bereich Bürobau und bei Grossverteilern (Verkaufsflächen) einiges verändert: Zunehmend werden Bürobauten im Minergie-Standard erstellt, infolge der hohen internen Wärmelasten und der grossen verglasten Flächen hat sich die Problematik des Überhitzungsschutzes zugespitzt und bei der IT-Infrastruktur und bei der gewerblichen Kälte sind eine starke Zunahme des Ausrüstungsstandards zu beobachten.

Ziel der Studie war die Untersuchung des Energieverbrauchs in Bürogebäuden und im Detailhandel sowie deren Entwicklung über die letzten zehn Jahre. Im weiteren war von Interesse, welchen Anteil die internen Lasten (Licht, IKT-Ausrüstung und -Infrastruktur) sowie die Lüftung und Klimatisierung ausmachen und welche Stromverbräuche ausserhalb der Betriebszeiten auftreten. Zudem sollte der Handlungsbedarf bezüglich der Verbesserung des Gebäudemanagements eruiert werden.

Die Untersuchung besteht aus folgenden drei Teiluntersuchungen:

- Erhebung aktueller Daten zum Energieverbrauch von 128 Bürogebäuden und Analyse von Verbrauchsdaten und möglichen Massnahmen an 19 Gebäuden in Form von Fallstudien
- Erhebung der Entwicklung des Energiebedarfs von Bürogebäuden in den letzten 10 Jahren, basierend auf einer erneuten Befragung der vor 10 Jahren untersuchten Gebäude (57 bzw. 66 von 100 untersuchten Gebäuden konnten in die Auswertung einbezogen werden).
- Erhebung aktueller Daten zum Energieverbrauch von 32 Grossverteilern und Analyse von Verbrauchsdaten und möglichen Massnahmen in Form von Fallstudien.

ENERGIEVERBRAUCH VON BÜROGEBÄUDEN

Im ersten Teil der Untersuchung wurden aktuelle Daten zum Energieverbrauch (Elektrizität, Wärme) von insgesamt 128 Bürogebäuden erhoben. Die erhobenen Daten beinhalten auch die Daten der 70 Gebäude aus der Erhebung der Entwicklung des Energiebedarfs. Bei den aus den erhobenen Daten gebildeten Energiekennzahlen, d.h. dem Verhältnis von Energiebedarf zu Energiebezugsfläche sind grosse Unterschiede festzustellen: beispielsweise liegt zwischen dem Gebäude mit dem niedrigsten ($53 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) und dem höchsten Elektrizitätsverbrauch ($1733 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) ein Faktor 32. Im Mittel über alle Gebäude beträgt die Energiekennzahl Elektrizität etwa $380 \text{ MJ/m}^2\text{a}$. Bei der Hälfte der Gebäude liegt die Energiekennzahl Elektrizität zwischen $164 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ und $484 \text{ MJ/m}^2\text{a}$.

Um diese Unterschiede zu analysieren, wurden die Gebäude nach verschiedenen Gebäudegruppen und Untergruppen strukturiert, beispielsweise gemäss ihrem gebäudetechnischen oder informations- und kommunikationstechnikspezifischen Ausrüstungsgrad. Zwischen den verschiedenen Gruppen sind deutliche Unterschiede festzustellen.

Energiekennzahl Elektrizität

Der Median der Energiekennzahl Elektrizität der überwiegend nicht belüfteten und klimatisierten Gebäude liegt mit $165 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ deutlich unter demjenigen der teilweise oder mehrheitlich belüfteten (rund $230 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) oder klimatisierten Gebäude (knapp $500 \text{ MJ/m}^2\text{a}$). Diese Unterschiede werden akzentuiert durch die Tatsache, dass grössere Serveranlagen vor allem in mechanisch belüfteten und klimatisierten Gebäuden stehen. Die entsprechenden Gebäude liegen meist im Bereich der höchsten spezifischen Strombedarfe (siehe Abbildung 2 im Haupttext). Noch höher als zwischen den Gruppen sind die Unterschiede innerhalb einzelner Gruppen.

Mittels einer multiplen Regression wurde untersucht, ob die vermuteten Einflussfaktoren einen signifikanten Einfluss auf die Energiekennzahl haben. Die Analyse zeigt, dass auf dem 95%-Konfidenzniveau folgende Variablen einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Energiekennzahl Elektrizität (E_{EI}) haben: Ausrüstungsgrad Lüftung /Klima, Befeuchtung sowie der Ausrüstungsgrad mit Servern. Für die übrigen Variablen (Baujahr, Glasanteil und Minergie Zertifizierung) konnte kein signifikanter Zusammenhang¹ festgestellt werden. Insbesondere bei der Variable "Minergie Zertifizierung" ist jedoch anzufügen, dass die Anzahl der Minergie zertifizierten Gebäude mit acht Gebäuden sehr gering war.

¹ Konfidenzniveau unter 90%

Energiekennzahl Wärme

Die Auswertung bzgl. Wärmeenergie zeigt, dass knapp zwei Drittel der untersuchten Gebäuden mit fossilen Brennstoffen (Erdgas und Heizöl) versorgt werden. Das restliche Drittel wird überwiegend mit Fernwärme aus verschiedensten Netzen und ein kleiner Anteil wird durch Wärmepumpen gedeckt. Nur einzelne Gebäude weisen eine überwiegende Beheizung mit Elektrospeicheröfen auf. Im Mittel über alle Gebäude beträgt die Energiekennzahl Wärme etwa $340 \text{ MJ/m}^2\text{a}$. Bei der Hälfte der Gebäude liegt die Energiekennzahl Wärme zwischen $200 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ und $440 \text{ MJ/m}^2\text{a}$.

Die Wärme-Energiekennzahl streut wesentlich weniger als die Energiekennzahl Elektrizität, da der Einfluss des Technisierungsgrades auf den Wärmeenergieverbrauch nicht so stark ist wie bei der Elektrizität. Bei der Wärme sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen der Technisierung festzustellen. Nebst dem Technisierungsgrad (z.B. belüftet oder nicht belüftet) wird der Energiebedarf v.a. von der Energieeffizienz der Gebäudehülle (Wärmeverluste), der Gebäudetechnik und dem Betrieb dieser Anlagen bestimmt. Damit haben nebst dem Technisierungsgrad auch das Gebäudealter sowie der Zeitpunkt allfälliger Erneuerungen einen grossen Einfluss auf die Energiekennzahl Wärme. Innerhalb der Gruppen sind wie beim Strom grosse Unterschiede im spezifischen Wärmebedarf festzustellen.

Die multiple Regressionsanalyse zeigt, dass der wichtigste Einfluss das Baujahr ist, aber auch die Gebäudemasse (Variable Massivbau Ja/Nein) eine signifikante Rolle spielt (beide Konfidenzniveau 95%). Im weiteren zeigt die Minergie Zertifizierung und der Ausrüstungsgrad mit Servern einen deutlichen Einfluss (auf dem Signifikanzlevel 10%). Während bei der Minergie Zertifizierung die bessere Gebäudehülle zur Reduktion des Wärmebedarfs führt, sind dies beim Serverausrüstungsgrad die vorhandenen Abwärmelasten, welche für Heizzwecke genutzt werden (Abwärmennutzung). Bei den übrigen Variablen konnte ein vermuteter Einfluss nicht statistisch signifikant erhärtet werden.² Aus den durchgeführten Analysen ist zudem eine positive Korrelation zwischen dem Baualter und den Variablen "Lüftung, Klima", "Glasanteil" und "Atrium" zu erkennen. Dies ist insofern erklärbar, dass neuere Gebäude häufiger über eine höhere Technisierung, grösseren Glasanteil und öfters über Atrien verfügen.

Vergleich mit SIA 2024

Beim Vergleich der Energiekennzahl E_{EL} mit Werten aus dem Merkblatt SIA 2024, der bei 87 Gebäuden gemacht werden konnte, zeigt sich, dass insbesondere mehrheitlich belüftete und klimatisierte Gebäude oft deutlich über dem berechneten Standardwert gemäss dem Merkblatt SIA 2024 liegen. Dies gilt nicht nur für Gebäude mit Baujahr vor 2000, d.h. vor der Einführung der Norm, sondern auch für später erstellte Gebäude. Für die nur teilweise oder nicht belüfteten Gebäude liegen die effektiven Energiekennzahlen näher am Standardwert von SIA 2024 und bei einigen Gebäuden wird der Wert sogar deutlich unterschritten. Bei der Beleuchtung hingegen lagen die verfügbaren Kennzahlen im Bereich oder unter den Standardwerten von SIA 2024, wobei hierzu anzumerken ist, dass die Zahl der Gebäude, zu denen detaillierte Angaben verfügbar waren, mit 13 Gebäuden sehr gering ist. Zudem sind nur drei der Gebäude mit Baujahr nach 2000. Bei zwei Gebäuden mit Baujahr nach dem Jahr 2000 war die gemessene Energiekennzahl Elektrizität über alle Teilenergien im Bereich des Standardwertes gemäss SIA 2024. Beide Gebäude wurden im Minergiestandard erstellt.

Tabelle 1 zeigt den Vergleich der erhobenen Daten mit den Standardwerten gemäss SIA 2024 sowie den Angaben in der Norm SIA 380/4 (Elektrizität) bzw. 380/1 (Wärme). Die Differenzen zwischen den Werten berechnet auf Basis der Standardnutzung gemäss SIA 2024 und den Werten gemäss SIA 380/4 sind insbesondere auf den hohen Strombedarf von EDV-Räumen (und deren Kühlung) zurückzuführen. Dies zeigt sich auch in den berechneten Werten nach SIA 2024, welche für Gebäude mit grösseren Serverräumen zu stark erhöhten Standardverbräuchen führen, was sich im dargestellten Resultat in einem breiten Konfidenzintervall des Mittelwertes äussert³. Aus diesem Grund werden in Tabelle 1 die Resultate der Gebäude mit grossen EDV-Servern separat dargestellt.

² Signifikanzlevel unter 90%

³ Dies ist auch der Fall für den SIA 2024-Wert von 303 MJ/m^2 für teilweise belüftet und/oder klimatisierte Gebäude, bei dem der Serverstromanteil 173 MJ/m^2 (57%) ausmacht. Siehe dazu auch Abbildung 22 im Haupttext.

Tabelle 1 Vergleich der erhobenen Energiekennzahl mit den Werten der SIA

	Energiekennzahl Wärme [MJ/m ² a] (Basis Endenergie)	Energiekennzahl Elektrizität [MJ/m ² a]				
		überwiegend nicht belüftet und nicht klimatisiert	keine grossen EDV Server *)		mit grossen EDV Server *)	
			teilweise belüftet und/oder klimatisiert	mehrheitlich belüftet und klimatisiert	teilweise belüftet und/oder klimatisiert	mehrheitlich belüftet und klimatisiert
SIA 2024: Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwerts **)	-	154 +/- 33	303 +/- 113	168 +/- 26	687 +/- 415	979 +/- 330
Erhebung: Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwerts **)	339 +/- 32	182 +/- 35	241 +/- 56	453 +/- 94	652 +/- 289	547 +/- 157
Anzahl Einbezogene Gebäude	123	29	20	20	9	8
SIA 380/1 (1988), SIA 380/4 (1995)	340-390 ^{a)}	110 ^{b)}	180-320 ^{c)}		(320) ^{d)}	
SIA 380/1 (2001), SIA 380/4 (2006)	200-259 ^{a)}	128 ^{b)}	150 ^{e)}		kein Wert	
SIA 380/1 (2009)	215-285 ^{a)}	-	-		-	

*) Als grosse EDV Server wurden Serverleitungen von > 2 W/m² BGF bezeichnet.
 **) Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwertes Messwerte bzw. der berechneten Objektwerte basierend auf SIA 2024 Standardwerten
 a) Wertebereich der Grenzwerte gem. SIA 380/1 auf Basis **Endenergie** (Tabellen im Anhang der Norm)
 b) Wert für Beispielgebäude ohne Lüftung/ Klimatisierung und ohne EDV Server
 c) Wert für Gebäude mit Lüftung / Klimatisierung; tiefer Wert ohne EDV-Server, hoher Wert mit EDV Server (ca. 2 W/m² BGF)
 d) Wert von 320 MJ/m² aus SIA 380/4 (1995) beinhaltet nur übliche EDV-Server (bis ca. 2 W/m² BGF)
 e) Wert für Beispielgebäude mit Lüftung / Klimatisierung aber ohne EDV Server

FALLSTUDIEN ENERGIEKENNZAHLE VON BÜROGEBÄUDEN

In einem zweiten Schritt wurden an geeigneten Gebäuden detaillierte Daten erhoben und analysiert. Daten aus insgesamt 19 Gebäuden konnten in der weiteren Analyse detailliert untersucht werden. Die Energiekennzahl Elektrizität wird nach ihren jeweiligen Verwendungszwecken in verschiedene Untergruppen aufgeteilt und ebenfalls auf die Energiebezugsfläche bezogen. Es zeigen sich starke Unterschiede zwischen den einzelnen Gebäuden. So reicht die Energiekennzahl Elektrizität von etwas über 100 MJ/m²a bis zu mehr als 1100 MJ/m² EBF und Jahr. Auch bei den Teilenergien sind die Unterschiede gross (Abbildung 24 im Haupttext):

- Der Anteil des Strombedarfs für **Lüftung und Klimatisierung** reicht von 12% bis über 50% des Gesamtstrombedarfs. Die Teilenergiekennzahl Lüftung und Klimatisierung reicht von 19 MJ/m² EBF und Jahr (kürzlich erneuertes Gebäude mit hocheffizientem System) bis hinauf zu knapp 390 MJ/m² EBF und Jahr (altes Lüftung- Klimasystem mit grossem Potential). Interessant ist auch das Verhältnis vom Strombedarf für die Luftförderung zum Strombedarf für die Klimatisierung. Der Anteil für die Luftförderung reicht von 9% bis hinauf zu über 90%. Im Mittel über alle untersuchten Gebäude liegt der Stromanteil für die Luftförderung bei knapp 60%. Im Vergleich mit dem Grenzwert gemäss SIA 380/4 für ein typisches Bürogebäude weisen die meisten untersuchten Gebäude einen klar höheren Strombedarf auf.
- Die **Beleuchtung** hat ebenfalls einen hohen Verbrauchsanteil. Auch hier ist die Spannweite der festgestellten Verbrauchswerte (zwischen 25 MJ/m² EBF und Jahr und gut 200 MJ/m² EBF a) gross. Der Vergleich mit dem in SIA 380/4 dargestellten Grenzwert für ein typisches Bürogebäude zeigt, dass etwa 50% der untersuchten Gebäude diesen Wert erreichen. Anzumerken ist hierzu, dass die Gruppe „Andere Verbräuche“ verwendet wurde, wenn gewisse Teilenergien nicht ermittelt werden konnten, was insbesondere auf die Beleuchtung zutrifft, da dafür oft die notwendigen Zähler oder Erfassungsdaten fehlen.
- Die Teilenergiekennzahl **Betriebseinrichtungen** (ohne zentrale Serveranlagen) ist bei der Mehrheit der untersuchten Gebäude recht ähnlich und liegt im Bereich von 30-50 MJ/m² EBF. Die Ausnahme ist ein Gebäude mit einer hochinstallierten Arbeitsumgebung, das gut 280 MJ/m² EBF erreicht. Knapp die Hälfte der Gebäude liegt im Bereich des in der SIA 380/4 dargestellten Grenzwertes für ein typisches Bürogebäude von knapp 45 MJ/m² EBF.
- Die festgestellten Verbrauchswerte für **Server** reichen von 15 MJ/m² EBF bis zu knapp 200 MJ/m² EBF. Zusätzlich ist für den Serverbetrieb im Normalfall noch eine Kälteanlage mit einem Kältebedarf in der ähnlichen Grössenordnung notwendig (in Teilenergiekennzahl Klimatisierung enthalten). Der Anteil der Teilenergie Server liegt bei 7-40% des Gesamtstrombedarfs.
- In der Teilenergiekennzahl **diverse Gebäudetechnik** sind neben Hilfsaggregaten (Pumpen, Brenner) auch Transporteinrichtungen (Lifts und Warenaufzüge) enthalten. Dieser Anteil ist nicht zu unterschätzen. Die festgestellten Verbrauchswerte reichen von 3 MJ/m² EBF bis zu knapp 90 MJ/m² EBF. Im Mittel liegt dieser Verbrauch bei knapp 30 MJ/m² EBF.
- Im Mittel über die untersuchten 18 Gebäude liegt **Nacht- und Wochenendverbrauch** bei etwa 40% des Gesamtverbrauchs. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Wert, welcher 1999 in einer Untersuchung an 32 Bürogebäuden durchgeführt wurde (36%). Dieser Verbrauchsanteil der

ausserhalb der geregelten Arbeitszeit (z.B. Nachts zwischen 22:00-06:00 und am Wochenende) anfällt, sollte möglichst gering sein. Auffallend hoch ist der Anteil der Beleuchtung, der im Mittel etwa 20% des Nacht- und Wochenendverbrauchs beträgt. Aufgrund der fehlenden Notwendigkeit für eine flächendeckende Beleuchtung in dieser Zeit dürfte bei der Beleuchtung in vielen Gebäuden ein noch grösseres Einsparpotential vorhanden sein. Ebenfalls von Bedeutung ist der Verbrauch von Lüftungs- und Kälteanlagen. Hier ist jedoch zu beachten, dass insbesondere die Kälteproduktion nachts u.U. betriebsnotwendig oder aber auch aus Effizienzgründen (Freecooling bzw. besserem COP nachts) vorteilhaft sein kann. Bei den Lüftungsanlagen können insbesondere nicht korrekte Einstellungen der Geräte zu einem hohen unnötigen Verbrauch führen. Von mittlerem Anteil am Nacht- und Wochenendverbrauch sind Betriebseinrichtungen (Arbeitshilfen) und die Server zu erwähnen, bei welchen Effizienzmassnahmen angezeigt sind.

Die Auswertungen zeigen, dass einerseits die zunehmende Installation von leistungsfähigeren Geräten (vor allem in der Informatik) zu einem hohen Stromverbrauch bei den Betriebseinrichtungen führen. Andererseits kann ebenfalls durch intelligente Konzeption der Strombedarf im Gebäude stark reduziert werden, wie gewisse Fallbeispiele deutlich aufzeigen.

Ebenfalls zeigte sich, dass jedes Gebäude individuelle Schwachpunkte und Optimierungsmöglichkeiten hat. Wichtige Voraussetzung zur Realisierung dieser Potentiale ist die Information über die Verbrauchsaufteilung (Energieflussdiagramm). In der Untersuchung wurde ebenfalls festgestellt, dass diese Informationen und Daten nur in wenigen Fällen vorliegen oder ohne grösseren Erhebungsaufwand verfügbar gemacht werden konnten. Daher wird oft der Aufwand gescheut, diese Grundlagen für Optimierungen zu erarbeiten. Es zeigt sich im weiteren, dass sich viele „heimliche Stromfresser“ bei Messungen relativ rasch zeigen und oft auch für Überraschungen sorgen. Wichtiges Hilfsmittel ist in diesem Zusammenhang die Lastgangmessung, mit der die Erwartungen mit dem effektiven Betrieb mit relativ geringem Aufwand verglichen werden können. Auf Basis guter Datengrundlagen können Effizienzmassnahmen oft ohne grössere Investitionen erreicht werden.

ENTWICKLUNG DES ELEKTRIZITÄTS- UND WÄRMEVERBRAUCHS IN BÜROGEBÄUDEN

Die bereits in der Studie [9] ausgewerteten 100 Bürogebäude bildeten die Basis einer erneuten Befragung innerhalb dieses Projekts. Der Fragebogen umfasste Fragen zum aktuellen Energiebedarf (Elektrizität und Wärme der Jahre 2005 bis 2007), zur technischen Ausrüstung und zur Nutzung der Gebäude sowie zu den energietechnisch relevanten Veränderungen seit der letzten Erhebung. Für die Auswertung lagen Angaben zu 70 Gebäuden vor, wobei nicht ganz alle Gebäude für eine vergleichende Auswertung der Perioden 1996-1997 und 2005-2007 einbezogen werden konnten. (Details siehe nachfolgend)

Vergleichende Analyse

Die vergleichende Analyse erfolgte auf Basis von mittleren Energiekennzahlen (EKZ) für die beiden Perioden 1996-1997 respektive 2005-2007.

- Bei 33 von 66 Gebäuden, also bei 50% der Gebäude ist die EKZ Elektrizität $E_{EI(2005-2007)}$ geringer als während der Vergleichsperiode 1996-1997, bei 31 Gebäuden jedoch ist ein Anstieg zu verzeichnen (bei 2 Gebäuden ist sie laut Angaben der Befragten gleich geblieben). Die Energiekennzahl von Gebäuden mit ursprünglich hoher Energiekennzahl nahm etwas stärker ab als diejenige mit vorgängig geringem spezifischen Bedarf. Abgesehen vom Gebäude mit statistisch gesprochen hohem Leverage-Faktor liegt die Energiekennzahl $E_{EI(2005-2007)}$ bei ersteren Gebäuden rund 13% tiefer als 1996-1997.
- Bei der klimakorrigierten Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) ist der Anteil der Gebäude mit einer Abnahme mit 36 von 57 Gebäuden bzw. 63% deutlich höher als bei der Energiekennzahl Elektrizität. Nur in 21 Fällen ist eine Zunahme zu verzeichnen. Aus der linearen Regression der Energiekennzahl $E_{hww(2005-2007)}$ als Funktion der $E_{hww(1996-1997)}$ ist festzustellen, dass die Differenz zwischen den beiden Vergleichsperioden mit höherer Energiekennzahl zunimmt. Daraus lässt sich interpretieren, dass wärmebezogene Energieeffizienzmassnahmen eher bei Gebäuden mit hohem thermischem Energiebedarf ergriffen wurden. Diese bereits bei der Elektrizität festgestellte Tatsache ist bei der Wärme ausgeprägter als beim Strom.

Gemessen am Mittelwert ergibt die vergleichende Auswertung der Energiekennzahlen im Fall der Elektrizität ungefähr eine Stagnation bzw. eine leichte Abnahme (einfacher und EBF-gewichteter Mittelwert) und gemessen am Median eine Abnahme von 14%.

Gründe für die Verbrauchsentwicklung

Um die Gründe für die Verbrauchsentwicklung erklären zu können, wurden die verschiedenen aus der Befragung verfügbaren Antworten wie z.B. Veränderungen in der technischen Gebäudeausrüstung oder Erneuerungsmassnahmen bewertet und jeweils entsprechend elektrizitätswirksamen oder wärmeverbrauchswirksamen Gruppen zugeordnet. Danach wurden die durchgeführten Massnahmen bezüglich ihrer Wirkung auf die Veränderung der Energiekennzahl analysiert.

Dabei zeigte sich bei der Energiekennzahl Elektrizität, dass sowohl Veränderungen in der Ausstattung beim Betriebsstrom als auch bei Lüftung / Klima einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der spezifischen Elektrizitätsnachfrage haben. Veränderungen der Ausstattung beim Betriebsstrom beinhalten insbesondere Veränderungen bei den Arbeitshilfen, Serverleistungen, oder Grossverbraucher wie z.B. Küchen. Bei den Erneuerungen zeigt insbesondere die Erneuerung von Beleuchtungsanlagen eine deutliche Wirkung. Bei mehr als 40% der ausgewerteten Gebäuden wurden solche Massnahmen durchgeführt. Bei der Lüftung- und Klimatisierung fällt auf, dass primär die Ausstattung einen Einfluss auf die Entwicklung der Energiekennzahl Elektrizität hat und sich bzgl. der Anlagenerneuerung keine klare Tendenz zeigt. Dies dürfte in erster Linie damit zusammenhängen, dass mit Erneuerungen oft auch eine Veränderung der Ausstattung einher geht (z.B. Veränderung der Luftmenge oder Kälteleitung) welche sich positiv oder negativ auf den Energiebedarf auswirken kann.

Bei der Energiekennzahl Wärme zeigte sich, dass Massnahmen zur Erneuerung und der Ausstattung „Heizwärme“ einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Heizwärmebedarfs haben. Dies beinhaltet neben Wärmedämmmassnahmen auch Erneuerungen der Heizanlage und -verteilung. Bei der Ausstattung ist neben der öfters erfolgten Reduktion der Heizleistung der Einbau von Abwärmenutzungen von Kälteanlagen eine weitere Massnahme. Deutlich geringer in ihrem Beitrag auf die Veränderung der Energiekennzahl Wärme sind die Erneuerungsmassnahmen oder Veränderungen in der Ausstattung im Bereich der Lüftungsanlagen und bei der Elektrowärme. Bei der Elektrowärme liegt der Grund für die nicht so deutliche Relevanz darin, dass nur Veränderungen bei der Warmwasserversorgung (geringer Warmwasserbedarf in Bürobauten) und nicht bei den Elektroheizungen durchgeführt wurden.

Im allgemeinen zeigte sich jedoch auch, dass im Bereich mit Ausprägung Null (neutral bzw. sich aufhebende Massnahmen) ein grosser Streubereich der Veränderung besteht.

Fazit Bürogebäude

Fazit der vergleichenden Auswertungen ist, dass zwischen elektrizitätsbezogenen und thermischen Energiedienstleistungen ein deutlicher Unterschied besteht. Während thermische Anwendungen, welche im Gebäudesektor von der Raumheizung dominiert sind, im zeitlichen Ablauf energetisch eher rückläufig sind, ist im Strombereich eher von einer Stagnation oder gar einer Erhöhung auszugehen.

Die bei der Erhebung gemachten Erfahrungen zeigten, dass in ungefähr der Hälfte der angeschriebenen Gebäude grosse Schwierigkeiten festzustellen waren, die Energiebedarfswerte der letzten drei oder des letzten Jahres zu erfassen. Noch grössere Mühe bekundeten die kontaktierten Personen und Unternehmen, die History der energie-relevanten Massnahmen grob anzugeben. Mit diesen Befunden lässt sich festhalten, dass bei rund der Hälfte der Gebäude die wichtigen Grundvoraussetzungen für investive und betriebliche Energieeffizienzmassnahmen, nämlich die Kenntnis des Energiebedarfs und der Faktoren, welche diesen Bedarf beeinflussen, nicht oder nur ungenügend vorhanden sind. Hier können die EnAW-Benchmark-Modelle oder Zielvereinbarungen mit Grossverbrauchern, die mit der neuen Musterverordnung in vielen Kantonen im Energiegesetz vorgesehen werden, ein gutes Mittel sein, um den Energieverbrauch zu thematisieren und einen Fokus auf die kontinuierliche betriebliche Optimierung zu legen. Verstärkt wird die Wirkung durch die Kopplung an effizienzorientierte Strompreissysteme (wie z.B. der Effizienzbonus des EWZ). Für kleinere Gebäude bzw. Betriebe sind ebenfalls geeignete Instrumente zu schaffen, gerade auch in Zusammenarbeit mit den EVU.

ANALYSE DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DES GRANDES SURFACES

Dans la partie du projet qui concerne les grandes surfaces l'objectif a été d'enregistrer la consommation d'énergie due aux charges internes et à la climatisation d'une trentaine de grandes surfaces (grands distributeurs). Il s'agissait notamment de mettre l'accent tout particulièrement sur la consommation énergétique de la climatisation des locaux, de l'éclairage et des meubles de froid. Il convenait également de définir les mesures à prendre en vue d'améliorer l'exploitations de ces grands magasins.

Une mesure détaillée d'un grand centre commercial a été effectuée et les consommations de pointe et de stand-by ont pu être mises en évidence, ainsi que les parts respectives des différents consommateurs. Les consommations énergétiques recueillies sont nettement plus importantes que celle préconisée dans la nouvelle SIA 380/4.

- Ce rapport présente l'analyse des consommations énergétiques et des spécifications techniques de 32 magasins (alimentaire et non alimentaire)

Chaleur

32 bâtiments analysés. Les indices annuels de dépense de chaleur sont compris entre 75 et 800 [MJ/m², an]. **Moyenne de 350 [MJ/m², an].**

Electricité

32 bâtiments analysés. Les indices annuels de dépense électriques sont compris entre :

- TOTAL : 360 et 2800 [MJ/m², an]. **Moyenne 2000 [MJ/m², an]**
- SANS froid commercial : 360 et 1980 [MJ/m², an]. **Moyenne 1073 [MJ/m², an]**

Les résultats de l'étude montrent que les petits centres commerciaux consomment plus que les grands. Ceci est du probablement à la part plus importante du froid commercial dans les petites surfaces. Les petites surfaces de notre étude sont essentiellement représentées par des magasins alimentaires, sans parties (surfaces) réservées aux magasins du type meubles, do-it, etc... qui n'ont pas de froid commercial et des niveaux d'éclairage moyens plus faibles.

Froid commercial (électricité)

27 bâtiments analysés. 3 d'entre eux n'ont pas de comptage de froid commercial (valeurs estimées). L'indice frigorifique calculé sur la base des consommations en kWh pour le froid commercial et la longueur de froid commercial corrigée.

- Les indices annuels de dépense électrique pour le froid commercial sont compris entre 13'000 et 28'000 [MJ/m, an]. **Moyenne : 19'000 [MJ/m, an].**
- La proportion de la consommation électrique nécessaire au fonctionnement des installations de froid commercial s'étale de 24 à 79%. **Moyenne 51 [%].**

Les résultats de l'étude montrent que les nouvelles installations ont tendance à consommer moins ce qui est réjouissant, bien que le potentiel d'économie est probablement encore supérieur. Il est par contre très important de réaliser que la consommation générée par le froid commercial représente près de 50% de la consommation totale ! Une attention toute particulière doit donc être portée à ce consommateur.

Comparaison avec les études RAVEL et les nouvelles normes SIA

Le sondage effectué sur plus de 30 grands distributeurs a montré des consommations énergétiques que se soit en électricité qu'en chaleur nettement plus importante que celles préconisées par la SIA 380/4 et 2024. Les valeurs préconisées dans l'étude RAVEL de l'époque (1996) [22] et celles qui sont issues du cahier technique 2024 de la SIA et de la 380/4 sont très différentes. Les valeurs de consommations relevées dans notre étude sont par contre plutôt proche de l'étude RAVEL, comme le montre le tableau ci-dessous.

La consommation due au froid commercial lorsqu'il existe devrait être comprise dans la partie des équipements (répartition des consommation selon la SIA 2024). Le tableau 20 de la page 83 montre que cette partie ne représente qu'au maximum 23% de la consommation du magasin (dans le cas alimentation). Cette valeur n'est donc pas cohérente par rapport aux résultats de notre sondage et relevé des consommations. Ce consommateur devrait donc être plus élevé dans le cas de bâtiment avec meubles de froid et les valeurs de la SIA 2024 corrigée en conséquence.

Table 2 **Consommations relevées comparées dans l'étude RAVEL et aux recommandations issues de la SIA 2024, SIA 380/4 et SIA 380/1**

	Chaleur [MJ/m ² an]	Electricité [MJ/m ² an]		
		< 300 m ²	300-2000 m ²	> 2000 m ²
Etude RAVEL (1996)	290	1800	1480	1330
SIA 2024, SIA 380/4	a)	250-720		
SIA 380/1 (2001)	305-439 ^{b)}	-		
SIA 380/1 (2009)	256-441 ^{b)}			
Sondage 2008	350	1970		

Base pour indices annuels de dépense de chaleur / électriques: surface de vente [m²]

a) pas applicable (valeur n'est pas comparable)

b) Valeur pour un magasin avec une surface de vente de 80% - 50% de la surface de référence énergétique A_E.

Les valeurs préconisées par la SIA pour la consommation électrique sont très ambitieuses. Il sera intéressant d'évaluer les directions à prendre pour s'en approcher.

Au vu des bâtiments visités cela semble difficile voir impossible de s'en approcher pour les petits et moyens centre commerciaux.

Pour les grands centre (>10000 m²) par contre la valeur de la SIA est dès maintenant atteignable. En effet dans les cas du centre commercial analysé finement la valeurs globale de la consommation électrique préconisée par la SIA 2024 a été atteinte. La décomposition est par contre assez différente entre la mesure et celle préconisée par la SIA.

Dans les cas des centres commerciaux de plus **petites dimensions** la valeur globale mesurée **dépasse de 3 à 3.5 fois celle donnée par la SIA.**

ANALYSE FINE D'UN GRAND CENTRE COMMERCIAL

Afin de comprendre comment est constituée la consommation d'un grand distributeur des mesures de la consommation électrique détaillée ont été effectuées. Le centre commercial étudié avait une surface de vente de 7300 m² et 250 m linéaire de meubles de froid.

La mesure de l'appel de puissance ¼ h est présentée dans le chapitre réservé au grand distributeurs. La puissance de base la nuit et le week-end est de 300 kW et n'est pas vraiment dépendante de la saison. Des mesures plus fines sur différents départs électriques ont permis de décomposer cette base:

- Départ surface de vente principale (ventilation, pompes, éclairage de nuit 95 kW)
- Locaux commun (surface de passage, serveur,...) 19 kW
- Restaurant : 28 kW de nuit et 15 kW le dimanche
- Froid commercial 115 kW de nuit et 96 kW le dimanche.

Les résultats de cette analyse ponctuelle (valeurs moyenne par régime) sont les suivants:

Par rapport au régime jour et globalement, la réduction est de 63% la nuit et de 75% le dimanche. Les 300 kW de base sont dus essentiellement au froid commercial (100-120 kW), aux pompes de circulations de chaud et de froid, à certaines ventilation qui fonctionnent aussi durant la fermeture du magasin et à des consommateurs tels que la station de service (chauffage électrique de l'installation de lavage de voitures) et éclairage extérieur.

L'analyse détaillée complète est présentée dans un rapport annexé à cette étude [26].

Grands consommateurs dans un centre commercial

Les données récoltées ont permis de cerner les consommateurs responsables de la plus grande partie de la consommation électrique des grands distributeurs.

Trois groupes peuvent être mis en évidences :

- Eclairage
- Froid commercial
- Installations de chauffage, ventilation et climatisation

Dans les grands centres commerciaux le chauffage et la ventilation climatisation représentent un consommateur important. Un potentiel d'économie existe soit par des mesures d'optimisation soit par des mesures de rénovation et de choix conceptuels au niveau des nouveaux centres.

Pour les supermarchés de plus petite taille la situation est différente, la part des installations de chauffage, ventilation et climatisation est nettement moins importante les économies doivent se chercher sur l'éclairage et le froid commercial.

Froid commercial :

Le froid commercial représente environ 20% de la consommation électrique d'un grand centre commercial et 50% de la consommation d'un supermarché.

Le froid commercial peut être partagé en 2 parties :

- Production de froid
- Meubles de froid

Dans les deux cas des potentiels de réduction existent et mériteraient que l'on s'attarde dans des projets de recherche futurs.

Eclairage:

L'éclairage représente environ 40% de la consommation d'un grand centre commercial et 20-40% d'un supermarché.

Comme pour le froid commercial deux éléments doivent être discutés :

- Les niveaux lumineux
- Le choix du matériel (lampe et luminaires)

Un potentiel important existe dans ce secteur. Une diminution globale et locale des niveaux lumineux est tout à fait envisageable. Il n'est par contre pas facile d'aller à l'encontre des stratégies de ventes et des conflits importants devront être réglés.

Conclusions

Le sondage effectué sur plus de 30 grands distributeurs a montré des consommations énergétiques que se soit en électricité qu'en chaleur nettement plus importante que celles préconisées par la SIA 380/4 et SIA 2024. Les valeurs cibles données par les étude RAVEL de 1995 sont par contre plus proche des valeurs moyenne de notre sondage.

Les consommations électriques du froid commercial sont mal intégrées dans les valeurs de la SIA. Ce point devra être amélioré dans le futur.

Un travail important au niveau de l'optimisation de fonctionnement et au niveau de la conception des nouveaux centres sera nécessaire pour s'approcher des valeurs cible de la SIA. Un groupe de travail Minergie dans les grands magasins a été créé, pour définir les conditions et critères d'obtention du label et pour atteindre les valeurs préconisées par la SIA 2024 et 380/4. Un travail de fond sur les meubles de froid et la production de froid commercial est nécessaire. En effet les installations sont très souvent mal réglées et ne s'adaptent pas à la demande effective. L'obsession de la récupération de la chaleur engendre une surconsommation électrique par des consignes de températures de condensation trop hautes même lorsque la demande de chaleur est nulle.

Les valeurs du niveau lumineux utilisées pour l'éclairage dans ces grandes surfaces sont trop élevées. Un potentiel important existe dans ce secteur. Il n'est par contre pas facile d'aller à l'encontre des stratégies de ventes et des conflits importants devront être réglés. Finalement au niveau des installations de chauffage, ventilation et climatisation là aussi un potentiel existe en diminuant les débits d'air en fonction du taux d'occupation du centre. L'emploi de système dissocié avec un freecooling sur l'extérieur doit diminuer la demande de froid à 2 à 3 mois par année seulement.

Dans le cas du centre commercial étudié en détail, et présenté en annexe à ce rapport, un potentiel de 7% d'économie en chaleur et de 13% en électricité a été évalué avec des mesures à faible investissement. Dans d'autre centre commerciaux visités (environ 5 cas) dans le cadre de notre projet le potentiel d'économie en électricité a été estimé à 20% en travaillant sur la lumière, le froid commercial (meubles et production) et la ventilation. On reste par contre loin des valeurs préconisées par la SIA pour la plus part des autres exemples.

Les valeurs Minergie peuvent par contre être atteintes ou du moins approchée si un concept rigoureux est appliqué des le départ du projet et appliqué correctement lors de l'exécution. L'exemple du magasin Migros de Amriswil l'atteste.

La première année de mesure a confirmé de très faibles consommation d'énergie :

- Indice électrique totale de 680 MJ/m²an (190 kWh/m²an)
- Indice chaleur total de 0 MJ/m²an
- Indice froid commercial de 12960 MJ/m an (3600 kWh/m an)

Ce magasin est donc un des meilleures de notre sondage, il reste par contre au-dessus de la valeur SIA minimale préconisée pour ce type de magasin qui est de 472 MJ/m² an, mais se trouve néanmoins dans la plage préconisée entre 472 et la valeur maximale de 950 MJ/m² électricité par an.

Pour les bâtiments on peut résumer le potentiel d'économie en électricité, par rapport aux valeurs moyennes de l'étude, disponible selon 3 catégories :

- Bâtiments existant, mesures d'optimisation sur éclairage, commande ventilation et climatisation et production de froid commercial: 10-15%
- Bâtiments existant, mesures d'optimisation et en plus mesure d'assainissement de certaines partie d'installations: 15-25%
- Nouveaux bâtiments conçus sur des critères type Minergie, et utilisant les nouvelles technologies pour la production de froid industrielle, les meubles de froid et l'éclairage: 40-50%.

EMPFEHLUNG

Um bezüglich Stromeffizienz sowohl bei den Bürogebäuden als auch bei den Grossverteilern einen deutlichen Schritt weiterzukommen, sind aus unserer Sicht vor allem folgende Massnahmen wichtig:

Anreize und Vorgaben für technische Lösungen schaffen

- Weitere Anstrengungen und Untersuchungen, um energieeffiziente und akzeptierte Lösungen für den Betrieb und die Kühlung von Serverräumen zu etablieren.
- Förderung von raumtemperaturnah arbeitenden Systemen (Heizung / Kühlung) bei Gebäudesanierungen, da damit eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Kälte- und Wärmeerzeugung erfüllt wird (z.B. Erdsonden, Freecooling, direkte Abwärmenutzung von Servern).
- Anreize und Vorgaben schaffen für eine kontinuierliche betriebliche Optimierungen. z.B. durch umsetzen von Zielvereinbarungen mit Grossverbrauchern, die mit der neuen Musterverordnung in vielen Kantonen im Energiegesetz vorgesehen sind, oder durch Effizienzboni wie im Fall der EWZ.
- Anreize und Vorgaben schaffen für den Ersatz von ineffizienten gewerblichen Kälteanlagen und Kühlmöbeln durch hocheffiziente Anlagen und Möbel.

Festsetzung und Umsetzung von energetischen Anforderungen

- Konsequente Umsetzung der Anforderungen aus SIA 382/1 bei Neubauten und auch bei Umbau- und Erneuerungsprojekten. Damit kann die Effizienz der Lüftungs- und Klimaanlage deutlich verbessert werden, was einen bedeutenden Einfluss auf die Energiekennzahl Elektrizität hat.
- Festsetzung der Anforderungen aus SIA 380/4 insbesondere für Beleuchtungen aber auch für Betriebseinrichtungen, diverse Gebäudetechnik und Wärmepumpen (Wärmeerzeugung) sowohl bei Neu- wie auch bei Umbauvorhaben.
- Festlegung von Vorgaben bezüglich Energieeffizienz, insbesondere auch bzgl. Standby-Verbrauch für Büroarbeitsgeräte (PC, Drucker, Fax etc.) und Informatikkomponenten (Hubs und andere Netzwerkkomponenten, etc.) sowie auch von Gebäudetechniksystemen (z.B. Sensoren, Aktoren, Sicherheitsanlagen etc.).

Diese allgemeinen Empfehlungen sollen durch die Erarbeitung von konkreten Massnahmenvorschlägen präzisiert und umgesetzt werden.

1. Projektbeschreibung

1.1. AUSGANGSLAGE

Der Dienstleistungssektor ist rund 30% des Schweizerischen Stromverbrauchs verantwortlich. Eine empirische Untersuchung zur Entwicklung des Stromverbrauchs von 1986 bis 1996 in hundert zufällig ausgewählten Bürogebäuden hat eine mittlere Energiekennzahl Elektrizität von $300 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ ergeben (Weber et al., Energieverbrauch in Bürogebäuden, BFE 1999, [10]). Dieser Wert ist stark von der technischen Gebäudeausstattung abhängig. So lag der Wert bei hoch technisierten und vollklimatisierten Gebäuden um einen Faktor drei höher als bei unbelüfteten Gebäuden. Die durchschnittliche Stromkennzahl sank im Zeitraum 1986-96 um ein Prozent pro Jahr. Die Hauptverbraucher waren zentrale EDV, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung mit einem Verbrauchsanteil von 80 Prozent. Der Anteil der Bürogeräte betrug nur zehn Prozent.

Die BFE-Studie [11] zum Stand-by-Verbrauch in Bürogebäuden hat gezeigt, dass rund 36% des Stromverbrauchs während der Nacht (zwischen 20 und 6 Uhr) und an den Wochenenden verursacht wird, obwohl nach theoretischen Abschätzungen weniger als 10% des Verbrauchs auf die Stand-by Zeit fallen sollten. Dieser Verbrauch wird im Wesentlichen durch interne Lasten wie IT-Server etc. verursacht. Die EWG-Studie zu den Grenzkosten bei Bürogebäuden (Jakob et al., 2006 [12]) hat zudem gezeigt, dass bei hohen internen Lasten eine aktive Kühlung nötig wird. Mit einer Betriebsoptimierung von Bürogebäuden bezüglich interner Lasten und Raumkühlung können also nicht nur Energie sondern auch Kosten gespart werden.

1.2. ZIELSETZUNG

Mit dem Projekt „Energieperspektiven 2035/2050“ hat das BFE im Jahr 2004 ein zukunftsorientiertes Projekt ins Leben gerufen, das Aufschluss über die langfristigen Energieszenarien in der Schweiz bringen soll [16]. Als Grundlage werden verschiedene Kenndaten benötigt, so etwa der Stromverbrauch in Gebäuden unterschiedlicher Nutzung. Mit mehr als einem Viertel des Schweizerischen Stromverbrauchs trägt der Dienstleistungssektor zu einem wesentlichen Teil dazu bei. In der Vergangenheit sind diverse Erhebungen erstellt worden, u.a. die 1999 vom BFE in Auftrag gegebene Studie von Weber und Menti um verlässliche Daten zum Stromverbrauch zu erhalten. Diese Erhebung liegt schon einige Jahre zurück. Mit dieser Studie sollen nun diese Daten zum Energieverbrauch, welcher durch die internen Lasten und die Raumkühlung von Bürogebäuden und Grossverteilern verursacht wird, aufdatiert und verfeinert werden, um für künftige perspektivische Energieszenarien zur Verfügung stehen.

In den vergangenen 10 Jahren hat sich im Bereich Bürobau einiges verändert. Zunehmend werden Bürobauten im Minergie-Standard erstellt. Infolge der grossen verglasten Flächen und internen Lasten hat sich die Kühlproblematik zugespitzt und bei der IT-Infrastruktur hat die Ablösung von Röhrenbildschirmen die Verbrauchszunahme weiterer Geräte mutmasslich nicht zu kompensieren vermocht. Aus diesen und weiteren Gründen ist die in dieser Untersuchung vorgesehene Erhebung aktueller Daten von breitem Interesse.

Im Weiteren ist von Interesse, welchen Anteil die internen Lasten (Licht, IT-Server, Kühltruhen bei Detailverkäufern) ausmachen und wie betrieblich mit der Heizung/Klimatisierung über Wochenende / Feiertage umgegangen wird. Zudem soll der Handlungsbedarf bezüglich einer Verbesserung des Gebäudemanagements für Bürobauten und Grossverteiler eruiert werden.

1.3. UNTERSUCHUNGSMETHODIK

1.3.1 Vorgehen

Die Untersuchung besteht aus folgenden drei Teiluntersuchungen:

- 1. Teilerhebung: Erhebung aktueller Daten zum Energieverbrauch von 128 Bürogebäuden und Analyse von Verbrauchsdaten und möglichen Massnahmen an 19 Gebäuden in Form von Fallstudien
- 2. Teilerhebung: Erhebung der Entwicklung des Energiebedarfs von Bürogebäuden in den letzten 10 Jahren, basierend auf einer erneuten Befragung der 100 vor 10 Jahren untersuchten Gebäuden. Siebzig dieser Gebäude sind auch Bestandteil der 1. Teilerhebung.
- Erhebung aktueller Daten zum Energieverbrauch von 32 Grossverteilern und Analyse von Verbrauchsdaten und möglichen Massnahmen in Form einer Fallstudie.

Für die Bearbeitung wurde ein Vorgehen in 2 Phasen gewählt. In einem ersten Schritt werden die Kriterien für die Gebäudeauswahl sowie die zu erhebenden Daten definiert. Die Gebäudebesitzer werden für die Teilnahme angefragt. Anschliessend werden die Basisdaten der Gebäude erhoben, welche für die Auswertung der Energiekennzahl Elektrizität notwendig sind.

In einem zweiten Schritt werden an geeigneten Gebäude detaillierte Daten erhoben und analysiert. Neben der Aufschlüsselung der Energiekennzahlen Elektrizität und dem Nacht-Stand-by-Verbrauch wird für diese Gebäude auch der Handlungsbedarf für das Gebäudemanagement aufgezeigt.

1.3.2 Basiserhebung Energiebedarf in Bürogebäude

Für die Datenerhebung werden in einem ersten Schritt vom Gebäudeverantwortlichen bereits verfügbare Daten (z.B. Stromverbrauch, Flächen, etc.) erfragt und abgeklärt, welche Angaben für das Objekt zusätzlich erhoben werden können. Die erhobenen Daten werden anschliessend ausgewertet und die Stromkennzahlen für die verschiedenen Gebäudegruppen und Untergruppen dargestellt. Bei den Bürogebäuden werden folgende Gebäudegruppen unterschieden:

- Fensterlüftung, weder belüftet noch klimatisiert
- Mechanische Lüftung, mehrheitlich belüftet
- Klimatisiert, mehrheitlich klimatisiert
- Gebäude mit Standard-Servern
- Gebäude mit grossen Servern und Rechenzentren
- Minergie-Zertifiziert
- Gebäude mit hohem Glasanteil

Zusätzlich werden die untersuchten Bürogebäude bezüglich ihrer Nutzung in vier Gruppen eingeteilt:

- Banken und Versicherungen
- Öffentliche Verwaltung: Städtische und staatliche Niederlassungen, Hochschulen und Universitäten
- Büro Dienstleistungsfirmen: Ingenieurbüros, Druckereien, gewerbliche Handelsfirmen
- Büro Industrie/Gewerbebetriebe

In dieser Basiserhebung werden auch die Antworten aus der Zusatzerhebung mit einbezogen. Der Fragebogen der zweiten Teilerhebung wurde so aufgebaut, dass dieselben Merkmale abgefragt werden und so die Antworten in einer gemeinsamen Auswertung dargestellt werden können.

Im weiteren wird mit den erhobenen Daten die gemessene Energiekennzahl E_{EL} mit Werten aus dem Merkblatt SIA 2024 verglichen. Damit kann bestimmt werden für welche Gebäude oder Teilenergien die Grenzwerte der SIA bereits erreicht werden oder weit entfernt liegen.

1.3.3 Fallstudien Bürogebäude

Für viele der an der Untersuchung beteiligten Gebäuden sind nur wenige oder keine Detaildaten zur Aufschlüsselung der Verbrauchsdaten oder zur Bestimmung des Nacht bez. Standby-Verbrauchs vorhanden. Daher wurde entschieden, den Fokus für die Detailanalyse auf diejenigen Gebäude zu legen, bei denen entsprechende Angaben verfügbar bzw. mit vertretbarem Aufwand erhebbar sind. Bei diesen Gebäuden wurden mit einem eigens erstelltem Fragebogen detaillierte Angaben und Messdaten zum Gebäude und dem Gebäudebetrieb erhoben (z.B. Stand-by bzw. Anteil Kälte/Klima). Zudem wurden an ausgewählten Objekten mit einer Begehung vor Ort Details zum Gebäudebetrieb untersucht.

Es wurde untersucht, inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Stromverbrauch und dem Anlagentyp (Vollklimatisierung, VAV, natürliche Lüftung, etc.) besteht. Das Ergebnis kann als Grundlage zur Verbesserung des Gebäudemanagements bei Neubauten und Sanierungen eingesetzt werden. Folgende Resultate wurden erarbeitet und im vorliegenden Schlussbericht dokumentiert:

- Energiekennzahl Strom für die verschiedenen Gebäudegruppen
- Anteil Standby-Verbrauch
- Anteile einzelner Verbrauchergruppen (Beleuchtung, Lüftung/Klima, etc.)
- Einfluss des Betriebsregimes auf dem Energiebedarf

Bei der Begehung festgestellte Handlungsoptionen für die Steigerung der Energieeffizienz werden analysiert. Für häufig angetroffene oder sehr grosse Potentiale werden die Effizienzmassnahmen, welche sich für den Gebäudebetreiber ergeben, bei den Fallbeispielen dokumentiert (siehe Anhang).

1.3.4 Entwicklung des Energiebedarfs in Bürogebäuden

Mit dieser zweiten Teilerhebung werden die aktuellen Verbrauchsdaten der vor 10 Jahren in der Studie „Energieverbrauch in Bürogebäuden“ [10] untersuchten Gebäude sowie die Gründe für die in dieser Zeit erfolgten Veränderungen ermittelt.

Dazu werden die aktuellen Angaben zum Energieverbrauch sowie die Angaben zu den in der Zwischenzeit erfolgten Veränderungen erfasst. Zusätzlich werden für die verschiedenen Verbraucher (z.B. Lüftung, Klima, Beleuchtung, EDV), jeweils in einem separaten Fragenblock, die in der Zwischenzeit erfolgten Veränderungen erfragt, um damit die Verbrauchsentwicklung zu erklären.

1.3.5 Erhebung Energiebedarf in Grossverteilern

Zuerst erfolgt die Datenerhebung bereits verfügbarer Daten mittels Auskunft des Gebäudeverantwortlichen. (z.B. zum Stromverbrauch, Flächengrössen, Ausrüstungsgrad, etc.). Zudem werden weitere Daten aus Detailanalysen ausgewertet und die Stromkennzahlen für die verschiedenen Gebäudegruppen und Untergruppen dargestellt. Bei den Grossverteilern werden insbesondere folgende Gruppen unterschieden:

- Ladengrösse (Gruppierung nach Verkaufsfläche)
- Laufmeter Kühlmöbel (Indikator für Ausrüstungsgrad Kühlung)
- Luftmenge (Indikator für Ausrüstungsgrad Lüftung)

1.4. GRUNDLAGEN UND BEGRIFFDEFINITIONEN

1.4.1 Angewendeten Normen und Empfehlungen

SIA 380/4

Die Norm SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau [1] hat einen rationellen Einsatz von Elektrizität in Bauten und Anlagen zum Ziel und will als Planungshilfe dazu beitragen, den Elektrizitätsverbrauch von Neu- und Umbauten zu optimieren. Dazu werden die Struktur, Berechnungsgrundlagen und Kenngrössen definiert und festgelegt. Beispielsweise definiert die Norm die verschiedenen Elektrizitätsverbraucher (Betriebseinrichtungen, Beleuchtung, Lüftung/Klimatisierung, Diverse Gebäudetechnik, Wärme) und enthält dafür Berechnungsgrundlagen. Die Empfehlung SIA 380/4 hat auch als Grundlage zur Definition der Anforderungen an das Minergie-Label Verwendung gefunden.

Die Musterenergievorschriften der Kantone im Energiebereich (**MuKE**, 2008) sehen im freiwilligen Modul 3 eine Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 im Bereich Beleuchtung und Lüftung / Klimatisierung für Nichtwohngebäude mit Geschossflächen über 1000 m² vor. Einige Kantone werden dieses Modul in ihre energetischen Vorschriften aufnehmen.

SIA 2024

Zweck des Merkblatts SIA 2024 Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik [4] ist die Vereinheitlichung von Annahmen über die Raumnutzungen. In diesem Bericht wurde für die Berechnungen insbesondere die Angaben über die typische Werte (Standardwerte) für den Leistungs- und Energiebedarf in den Bereichen Beleuchtung, Lüftung und Kühlung verwendet. Im Merkblatt SIA 2024 werden diese Angaben für 44 Raumnutzungstypen gemacht, welche einen grossen Teil der in der Praxis vorkommenden Geschossflächen abdecken.

In Tabelle 3 sind die in diesem Bericht für den Vergleich mit der SIA 2024 verwendeten Berechnungsgrundlagen dargestellt. Eingesetzt wurden die Standardwerte aus SIA 2024 welche in den verwendeten Nutzungskategorien meist dem Grenzwert gemäss SIA 380/4 entsprechen.

Tabelle 3 Für Berechnung nach SIA 2024 eingesetzte Verbrauchskennwerte

Verwendete Kategorie gem. SIA 2024	Büroflächen (HNF) 50% Einzel-/ Gruppenbüro 50% Grossraumbüro kWh/m ² NF	Nebennutzflächen (NNF) Nebenräume kWh/m ² NF	Korridor (VF) Verkehrsfläche kWh/m ² NF	Küche/Restaurant (Teil der HNF) 20% Küche, 80% Selbstbedienungsresta- urant kWh/m ² NF	Garagen Garagen kWh/m ² NF	Server Serverraum mit p _{BE} = 500 W/m ² kWh/kW Server
Lüftung	4.5	0	2	29.2	1	318
Klima	1	0	0	4.64	0	3443.2
Beleuchtung	26.5	15	11	14.4	6	0
Betriebseinrichtungen	13.5	0	0	70	0	
Serverstromverbrauch	0	0	0	0	0	8760

SIA 382/1

Die Norm SIA 382/1 "Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen" [3] enthält Festlegungen, um mit Lüftungs- und Klimaanlage bei massvollem Energieverbrauch ganzjährig behagliche Raumkonditionen zu schaffen. Durch präzise Definitionen des Komfortzustandes, der Garantiewerte und der Abnahmebedingungen will diese Norm dazu beitragen, dass die Bedürfnisse der Nutzer klar erfasst und die relevanten Bedingungen quantitativ festgelegt und kontrolliert werden können.

Sie enthält die notwendigen Zusatzinformationen für Gebäude mit Lüftungs- und Klimaanlage und nennt die technischen Rahmenbedingungen zur Erreichung eines möglichst geringen Energieverbrauchs für die Luftaufbereitung und Luftförderung in Lüftungs- und Klimaanlage (z.B. gemäss den Grenz- oder Zielwerten von SIA 380/4). Zusätzlich werden die Bedingungen festgelegt, unter welchen eine Kühlung, Be- oder Entfeuchtung der Raumluft zweckmässig ist.

Damit ist die SIA 382/1 eine wichtige Basis für die Erstellung von energieeffizienten Gebäude Um- und Neubauten.

1.4.2 Energiekennzahl Elektrizität E_{EL}

Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wird der jeweilige flächenbezogene Endenergiebedarf ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$) eines Gebäudes berechnet. Die im Bericht für die Energiekennzahl Elektrizität verwendete Definition richtet sich nach der Norm SIA 380/4 (2006). In der verwendeten Definition wird kein Primärenergiefaktor einbezogen, wie er in aktuellen Empfehlungen (z.B. SIA 2031, 2009) eingeführt wurde.

Als Bezugsfläche für die Energiekennzahl Elektrizität E_{EL} wird die Energiebezugsfläche A_E [m^2] verwendet (z.B. in SIA 380/4). Diese besteht aus allen ober- und unterirdischen Flächen eines Gebäudes, die innerhalb der thermischen Hülle liegen und für ihre Benutzung beheizt, belüftet oder klimatisiert werden [1]. Für die Beurteilung des Heizwärmebedarfs wurde diese Fläche bislang je nach Geschosshöhe ($> 3\text{m}$) mit dem dazugehörigen Höhenkorrekturfaktor multipliziert (SIA 380/1, 2001). Mit Hilfe dieser flächenbezogenen Energiekennzahl ist es möglich, den Energieverbrauch bestimmter Gebäude, die sich vom Standard und der Bewirtschaftung ähneln, zu bewerten und zu vergleichen [9]. Nicht zur Energiebezugsfläche zählen typischerweise Parkplätze, Technik- und Lagerräume sowie nach aussen offene Räume wie Laubengänge oder Balkone usw.

Da unterschiedliche Definitionen der Energiebezugsfläche (EBF) bestehen (z.B. nach alter Norm SIA 180/4 ⁴ [7] bzw. aktueller SIA ⁵ Norm 416/1 [6]) sowie viele eigene Definitionen der verschiedenen Liegenschaften und Gebäudebesitzer vorliegen, ist es oft schwierig korrekte und vergleichbare Flächenangaben für die EBF zu erhalten. Dies war ein Hauptgrund, dass für die Erhebung zusätzlich auch die Geschossfläche (GF) exklusive Tiefgaragenflächen als Bezugsfläche der Kennzahlen ausgewertet wird. Diese umfasst alle enthaltenen und überdeckten Grundrissflächen der zugänglichen Geschosse inklusive der Konstruktionsflächen. Da in einigen Gebäuden vorhandene Tiefgaragen die Vergleichbarkeit der spezifischen Werte zwischen den Gebäuden verschlechtern würde, wurden diese Flächen aus der Bezugsfläche ausgeklammert.

Für die Auswertung der Energiekennzahl Elektrizität der Grossverteiler wurde als massgebende Bezugsfläche in erster Linie die Verkaufsfläche verwendet da diese Fläche die übliche und geeignetste Flächengrösse für Vergleiche darstellt.

1.4.3 Teilenergiekennzahlen der E_{EL}

Um die oben genannte Energiekennzahl zu verfeinern ist es sinnvoll, Teilkennzahlen ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{a}$) ⁶ zu ermitteln. Üblicherweise wird als Bezugsfläche für die Teilkennzahlen auch die Energiebezugsfläche A_E [m^2] verwendet (z.B. in SIA 380/4). Für einzelne Nutzungen werden die Kennwerte auch bezogen auf die Nettogeschossfläche publiziert (z.B. in SIA 2024). In diesem Projekt werden die Teilkennzahlen, bezogen auf die nicht höhenkorrigierte Energiebezugsfläche A_E , dargestellt. Diese Flächenangabe wie auch Angaben zu den Teilenergien konnten nur in den Fallstudien erhoben werden.

Bei Teilenergiekennzahlen ist die Energiekennzahl Elektrizität nach ihren jeweiligen Verwendungszwecken in verschiedene Untergruppen aufgeteilt. Sie beziehen sich ebenfalls auf die Energiebezugsfläche. Die Summe aller Teilenergien ist gleich der gesamten Energiekennzahl E_{EL} .

Bei der Berechnung der verschiedenen Teilenergien sind die spezifische Leistung ⁷ und die Volllaststunden ⁸ die bedeutenden Faktoren, da sie je nach Bautyp und Nutzer sehr grosse Spreizungen hervorrufen. Bei den Umrechnungsfaktoren sind Korrekturen der Flächenangaben (Bsp. Nettogeschoss- oder Geschossfläche) und die Umrechnung in die richtige Energieeinheit Megajoule (MJ) erforderlich [1].

⁴ Die Berechnung der Energiebezugsfläche erfolgte über viele komplizierte Berichtigungen wie Teilzeit-, Temperatur und Raumhöhenkorrekturfaktoren.

⁵ In der neuen SIA wird zur Vereinfachung und Vereinheitlichung auf die oben genannten Korrekturfaktoren verzichtet. Ziel hierbei ist es, dass vermehrt auf die in der Norm definierte BGF zurückgegriffen wird, um entsprechende Analysen miteinander vergleichen zu können.

⁶ Voraussetzung hierfür ist eine gesonderte Datenerfassung der einzelnen Verbraucher.

⁷ Spezifische Leistung ist die gemittelte effektive Leistung unter Volllast bezogen auf Nettogeschossfläche.

⁸ Volllaststunden sind definiert als Jahresbedarf dividiert durch die installierte Leistung.

Teilenergie Betriebseinrichtungen E_{AP}

Die Teilenergien der Betriebseinrichtungen wird nach SIA 380/4 in "Arbeitsplatzhilfen (Personal Computer, Arbeitsplatzdrucker)" und "Zentrale Dienste (Telekommunikationseinrichtungen)" gegliedert. Bei den Arbeitsplatzhilfen handelt es sich um alle steckbaren Geräte, die dem Arbeitsablauf dienen oder diesen erleichtern, indem sie benutzt werden bzw. installiert sind (ohne Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung). Hingegen sind die zentralen Dienste fest installierte Gebrauchsgegenstände, die in Dienstleistungsgebäuden normalerweise standardmässig vorinstalliert sind (Bsp. Kommunikationszentralen).

Hierbei sind drei charakteristische Betriebszustände der einzelnen Betriebseinrichtungen spezifisch zu unterscheiden:

Tabelle 1.4 Definition charakteristischer Betriebszustände

EIN	Durchschnittlicher Energieverbrauch unter voller Last, z.B. 100% CPU-Auslastung durch bestimmte Berechnung oder Öffnen grosser Dateien.
AUS	Durchschnittlicher Verbrauch, wenn Drucker oder Computer ausgeschaltet sind (Hauptschalter aus auf der Frontseite des Gerätes).
BEREIT	Durchschnittlicher Verbrauch, wenn Betriebseinrichtungen sich im Stand-by-Zustand befinden.

Um bei Betriebseinrichtungen eine genaue Aussage über die jeweiligen verwendeten Geräte treffen zu können, werden diese nach Technisierungsstandard in "Effiziente Geräte" und "Typische Geräte" entsprechend ihrem Elektrizitätsverbrauch unterschieden. Bei "effizienten Geräten" handelt es sich meist um neuwertige energieeffiziente Einrichtungsgegenstände. Hingegen sind die "Typischen Geräte" veraltet und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik. Am dominantesten dürfte sich der Verbrauch des Personal Computers mit Bildschirm darstellen. Beispielsweise verbrauchen Desktop-PCs mehr als das doppelte an Elektrizität wie Notebooks. Weitere Unterschiede im Bereich der Ausstattung und der Benutzung müssen in Betracht gezogen werden, da grosse Differenzen der tatsächlichen Einrichtungsgegenstände bestehen. Beim Nutzerverhalten ist es wesentlich, ob die Energiemanagement-Funktion dieser Betriebseinrichtungen aktiviert ist, was einen deutlichen Elektrizitätsrückgang bedeuten dürfte.

Eine weitaus schwierigere Aufgabe stellt die Berechnung der Volllaststunden dar. Genaue Erhebungen können anhand von Messungen realisiert werden, sind aber mit einem sehr grossen Erfassungsaufwand verbunden.

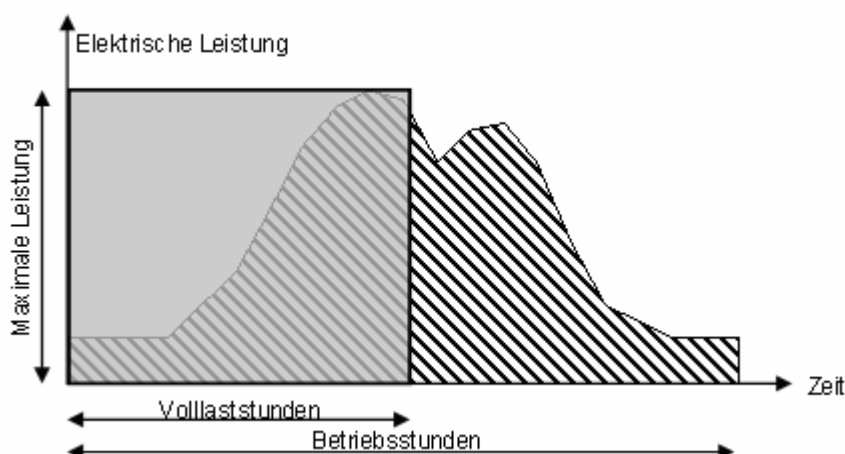


Abbildung 1: Quantitativer Verlauf bei variablem Leistungsbedarf innerhalb eines Tages

Im Diagramm (Abbildung 1) wird der typische Lastverlauf eines Tages dargestellt (Bsp. Arbeitshilfen eines Büroraums). Die Fläche unterhalb der Tageskurve entspricht der im grau hinterlegten Rechteck, den Volllaststunden. Am Anfang und Ende des Diagramms, den Nachtphasen, ist der kontinuierliche

Verbrauch (Bsp. Standby-Verbrauch von Betriebseinrichtungen, Not- oder Fluchtwegsbeleuchtung usw.) abzulesen. Alle Betriebseinrichtungen aufsummiert ergeben die Teilenergiekennzahl E_{AP} .

Teilenergie Beleuchtung E_{Li}

Der Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung setzt sich aus der Raumbelichtung eines Raumes sowie der Akzent- und Sicherheitsbeleuchtung zusammen. Im Zusammenhang mit der Studie wird ausschliesslich auf die Raumbelichtung eingegangen, da Akzentbeleuchtung und Sicherheitsbeleuchtung (Fluchtwegsanzeigen usw.) in Dienstleistungsgebäuden oder Bürogebäuden einen relativ geringen Anteil einnehmen.

Um die spezifische Leistung zu bestimmen, müssen vorab die betrieblichen Nutzungsbedingungen sowie die baulichen Verhältnisse geklärt werden. Hierfür gibt es eine grosse Anzahl von Faktoren, die die spezifische Leistung je nach Nutzungsverhältnissen beeinflussen:

- Beleuchtungsstärke der Büroräume⁹ nach DIN EN 12464: 500 Lux
- Gezielte Ausleuchtung einzelner Arbeitsplätze mit Arbeitsplatzleuchten und somit eine geringere Gesamtbürobeleuchtungsstärke
- Wirkungsgrad und Wirkungsgrad der Leuchten

Unter dem Aspekt der spezifischen Leistung ist die Anzahl der Volllaststunden speziell zu betrachten. Grosse Gegensätze treten bezüglich der Steuer- oder Regelung auf. So wird beispielsweise ein Büro ohne Steuerung oder Regelung deutlich höhere Volllaststunden aufweisen, da ein manuelles Ausschalten der Beleuchtung trotz genügend Tageslicht in Räumen häufig vergessen wird. Folgende Faktoren sind für die Anzahl Volllaststunden von Bedeutung:

- Menge der Tageslichtnutzung (Fensterplatzbüro oder innen liegende Räume)
- Verhältnis Fenster zur Bodenfläche, Raumhöhe
- Art der Steuer- oder Regelung des Beleuchtungssystems (Tageslichtabhängige Steuerung oder Regelung, Präsenzmelder, manuelle Schaltung usw.)
- Reflexionsgrade der Innenwände und Möbelstücke
- Art des Sonnenschutzes

Teilenergie Lüftung und Klimatisierung E_{VCH}

Die Ermittlung der Teilenergie Lüftung und Klimatisierung wird ebenso durch die Multiplikation der spezifischen Leistung und den Volllaststunden der Anlage gebildet. Hierbei setzt sich die spezifische Leistung aus drei wesentlichen Bestandteilen zusammen:

1. Spezifischer Elektrizitätsbedarf der Lüftung E_V :

Dieser Anteil des Elektrizitätsbedarfs wird für die mechanische Luftbeförderung der Lüftungsanlage (Zu- und Abluftventilatoren, Antriebe für die Wärmerückgewinnung usw.) verbraucht. Grosse Einflüsse haben:

- Höhe des gesamten Druckverlustes der jeweiligen Anlage
- Minimaler Luftvolumenstrom (je nach Belegungsichte der einzelnen Büros sehr unterschiedlich)
- Wirkungsgrad der Lüftungsanlage

2. Spezifischer Elektrizitätsbedarf der Kühlung und Entfeuchtung E_C :

Der verbrauchte Elektrizitätsbedarf bezieht sich ausschliesslich auf die Kühlung und Entfeuchtung der Raumluft. Hierbei ist besonders auf den Elektrizitätsbedarf der Kältemaschinen, der Antriebe und Ventilatoren für die Rückkühlung und für die Förderpumpen der Kühl- oder Wasserkreisläufe zu achten. Weitere Einflussfaktoren sind:

- Grösse der Kühllast
- Besondere Behaglichkeitskriterien (Entfeuchtung)

⁹ SIA 380/4 (2006) bezieht sich in der Festlegung der Beleuchtungsstärken auf die Norm DIN EN 12464

3. Spezifischer Elektrizitätsbedarf der Befeuchtung E_H :

Die Befeuchtung der Raumluft ist zum grössten Teil vom Nutzerverhalten und der Zufriedenheit der Mitarbeitenden abhängig. Wenn beispielsweise die Raumlufttemperatur von 20°C auf 24°C angehoben wird, sinkt die relative Raumfeuchtigkeit, was ein benutzerunfreundliches Raumklima zur Folge hat. Somit ist je nach Klimakomfort der spezifische Elektrizitätsbedarf des Verdampfers zur Luftbefeuchtung sehr variabel.

Die Volllaststunden einer Lüftungsanlage berechnen sich nach der effektiven Laufzeit der gesamten Anlage. Diese differieren je nach Regelung (einstufig, zweistufig oder stufenlos) sowie der geplanten Nutzung (Nutzung ausschliesslich während der Betriebszeiten oder auch ausserhalb dieser, z.B. wenn Nachtlüftung durchgeführt wird).

Teilenergie Diverse Gebäudetechnik E_{TS}

Unter der Rubrik "Diverse Gebäudetechnik" werden alle elektrischen Verbraucher definiert, die keiner separaten Gebäudezone zugeteilt werden können. Dies sind zum Beispiel:

- Umwälzpumpen der Heizungsanlage
- Personenbeförderungsanlagen
- Überwachungssysteme

Teilenergie Wärmepumpe E_{WP}

Die Teilenergie Wärmepumpe ist die zugeführte Elektrizitätsmenge, die notwendig ist, ein Gebäude mittels Wärmepumpe auf die gewünschten Rauminnentemperaturen zu erwärmen. Die vereinzelt dezentralen Elektroheizgeräte, die ebenfalls ausschliesslich mit Elektrizität Wärme erzeugen, werden hier als vernachlässigbar klein angesehen, da sie als Geräte mit Ergänzungscharakter nur in seltenen Fällen zum Einsatz kommen (Bsp.: abgelegene Räume).

1.4.4 Energiekennzahl Wärme E_{hww}

Bei der Energiekennzahl Wärme E_{hww} spricht man von der Menge der jährlich benötigten thermischen Energieträgern (Öl, Gas, Fernwärme, etc.), um die verbrauchte Menge des Warmwassers auf die gewünschte Solltemperatur zu erhitzen bzw. um die gewünschte Raumtemperatur, die während eines Jahres zugeführt werden muss, einzuhalten. Die im Bericht für die Energiekennzahl Wärme verwendete Definition richtet sich nach der Norm SIA 380/1 (2001). In der verwendeten Definition wird kein Primärenergiefaktor einbezogen, wie er in aktuellen Normen (z.B. SIA 380/1, 2009) eingeführt wurde¹⁰. Für Anlagen mit Wärmepumpen wurde die Wärmeproduktion der Wärmepumpe (Strom + Umgebungswärme) in die Berechnung Energiekennzahl Wärme E_{hww} einbezogen.

Als Bezugsfläche für die Energiekennzahl Wärme E_{hww} wird wie beim Strom die Energiebezugsfläche A_E [m²] verwendet. Ebenfalls wie bei der Energiekennzahl Elektrizität wird für die Erhebung zusätzlich auch die Geschossfläche (GF) excl. Tiefgaragenfläche als Bezugsfläche der Kennzahlen ausgewertet.

Für die Auswertung Energiekennzahl Wärme der Grossverteiler wurde als massgebende Bezugsfläche in erster Linie die Verkaufsfläche verwendet, da diese Fläche die übliche und geeignetste Flächengrösse für Vergleiche darstellt. Da in einem Grossverteiler je nach Konzeption auch grössere Flächen zwar zur Energiebezugsfläche zählen aber nicht zur Verkaufsfläche (z.B. Lagernutzungen, Büros, etc.), können die Kennwerte aus SIA 380/1 nicht direkt verglichen werden. Für den Vergleich mit den Werten aus SIA 380/1 wurde daher ein Verkaufsflächenanteil von 50% bis 80% der Energiebezugsfläche für diesen Vergleich einbezogen¹¹.

¹⁰ Gemäss SIA 380/1 (2009) wird der entsprechende Kennwert (Endenergie) neu mit $E_{F,hww}$ bezeichnet.

¹¹ Der übrige Teil der Energiebezugsfläche wurde für den Vergleich der Nutzung "Lager" zugeordnet

1.4.5 Verbrauchskennzahl Brauchwasser V_{BW}

Die Verbrauchskennzahl Brauchwasser V_{BW} beinhaltet den spezifischen jährlichen Brauchwasserverbrauch eines Gebäudes. Hierbei handelt es sich primär um den Verbrauch der Nasszellen (Toiletenspülung, Handwaschbecken, Betriebsduschen usw.) sowie den vorhandenen Geräten für Betriebskantinen und Aufwärmküchen (vorrangig Geschirrspülmaschinen). Weiter sind noch Wasserverbräuche für Lüftungs- und Klimatechnik zu berücksichtigen. Diese Kennzahl wurde bei vielen der untersuchten Gebäuden miterhoben und wird daher ebenfalls in einer Auswertung dargestellt.

1.4.6 Elektrizitätsintensität pro Arbeitsplatz

Die arbeitsplatzspezifische Elektrizitätsintensität entspricht dem jährlichen Elektrizitätsbedarf bezogen auf die jeweilige Mitarbeiterzahl eines Unternehmens. Die Mitarbeiterdichte ist stark abhängig von der Grösse der einzelnen Arbeitsplätze, wobei nach SIA 380/4 [1] ein Standardbüro zwischen 10 m² und 20 m² beansprucht.

Es wird ausschliesslich auf die gesamte Anzahl der Mitarbeiter eingegangen, da aufgrund mangelnder Daten bezüglich des Beschäftigungsgrades (Voll- oder Teilzeitbeschäftigt) keine detaillierten Angaben erhoben werden konnten. Ziel ist es, anhand dieser Kennzahl ein Verhältnis zwischen Personen und "Arbeitsfläche" zu schaffen, womit sich Rückschlüsse auf die vorhandenen Arbeitsplatzhilfen schliessen lassen. Die Einheit dieser Kennzahl wird in MJ/B.a¹² angegeben [18].

1.4.7 Nacht- und Wochenend Verbrauch

Definition Nacht- und Wochenend-Verbrauch

Der Stand-by-Verbrauch ist nach den heutigen Normen und Richtlinien nicht eindeutig definiert. Einheitliche Definitionen verschiedener Betriebszustände liegen bisher nicht vor. Immer wieder neu definierte unterschiedliche Ansätze werden entwickelt und verwendet. Wird wie in diesem Projekt als Definition der Bereitschaftsbetrieb als Nacht- und Wochenend-Verbrauch verwendet, so sind normalerweise drei verschiedene Zustände zu beachten (Ready-Zustand, Stand-by-Zustand und Sleep-Zustand), was für die Studie zu komplex ist.

Der Übersicht halber wird in der nachfolgenden Studie der Stand-by-Verbrauch mit dem Nacht- und Wochenendverbrauch gleichgesetzt. Das heisst, dass alle Verbräuche, die ausserhalb der geregelten Arbeitszeiten anfallen, zum Nacht- und Wochenendverbrauch zählen (Bsp.: Dienstleistungsgebäude fünf Tage Gleitzeitbetrieb von 07:00 – 19:00 Uhr, restliche Zeit sowie Wochenende ist Nacht- und Wochenendverbrauch). Für die meisten der untersuchten Gebäude liegt der als Nacht- und Wochenendverbrauch betrachtete Zeitbereich von Montag bis Freitag zwischen 22:00 und 06:00 und am Wochenende über den gesamten Tag (00:00-24:00).

¹² MJ/B.a: Megajoule pro Anzahl der Beschäftigten und Jahr.

2. Energieverbrauch von Bürogebäuden

2.1. DATENERHEBUNG

Für die Datenerhebung werden in einem ersten Schritt bereits verfügbare Daten (z.B. Stromverbrauch, Flächen, etc.) erfragt und abgeklärt, welche Angaben für das Objekt zusätzlich erhoben werden können. Die erhobenen Daten werden anschliessend ausgewertet und die Stromkennzahlen für die verschiedenen Gebäudegruppen und Untergruppen dargestellt. Bei den Bürogebäuden werden folgende Gebäudegruppen unterschieden:

- Fensterlüftung, weder belüftet noch klimatisiert
- Mechanische Lüftung, mehrheitlich belüftet
- Klimatisiert, mehrheitlich klimatisiert
- Gebäude mit Standard-Servern
- Gebäude mit grossen Servern und Rechenzentren
- Minergie-Zertifiziert
- Gebäude mit hohem Glasanteil

Zusätzlich werden die untersuchten Bürogebäude in vier Gruppen bezüglich ihrer Nutzung eingeteilt:

- Banken und Versicherungen
- Öffentliche Verwaltung: Städtische und staatliche Niederlassungen, Hochschulen und Universitäten
- Büro Dienstleistungsfirmen: Ingenieurbüros, Druckereien, gewerbliche Handelsfirmen
- Büro Industrie / Gewerbebetriebe: Es standen keine Gebäude dieser Sparte zur Verfügung.

Die Grossverteiler (Verkaufsflächen) werden aufgrund Ihrer vom Bürobau stark unterschiedlichen Energienutzung in einem separaten Berichtsteil dokumentiert.

2.2. ERGEBNISSE ENERGIEVERBRAUCH HEUTE

Gut 40% der ausgewerteten Gebäude (52 Stk.) stammen aus der öffentlichen Verwaltung. Für diese Liegenschaften liegen aus verwaltungstechnischen Gründen meist detaillierte Datenangaben vor, welche für diese Untersuchung notwendig waren. Den Rest teilen sich der Finanz- und Versicherungssektor sowie verschiedenste Dienstleistungsfirmen mit jeweils knapp 30%. Bürogebäude aus dem Bereich Industrie und Gewerbe waren nur sehr wenige (5 Stk.) vertreten, da zu diesen Gebäuden oft kein oder nur sehr schlechtes Datenmaterial vorlag.

2.2.1 Energiekennzahl Elektrizität E_{EL}

Unter der Energiekennzahl Elektrizität ist das Verhältnis des jährlichen Elektrizitätsverbrauchs pro Quadratmeter der Bezugsfläche (Energiebezugsfläche) zu verstehen. Von den insgesamt 128 Antworten konnte 120 in die nachfolgende Auswertung einbezogen werden. Bei den übrigen Gebäuden fehlten entweder die Angaben zur Belüftung / Klimatisierung (3 Gebäude) oder die Daten waren unplausibel bzw. unklar (5 Gebäude).

Die Untersuchung der Energiekennzahl Elektrizität E_{EL} zeigt eine sehr grosse Spreizung der einzelnen Gebäude auf. Zwischen dem stromsparsamsten ($53 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) und dem Gebäude mit dem grössten Elektrizitätsverbrauch ($1733 \text{ MJ/m}^2\text{a}$) liegt der Faktor 32. Die Unterschiede dieser zwei Gebäude bezüglich der technischen Gebäudeausrüstung sowie der IT-Ausstattung sind enorm. Hier sind beim stromsparsamsten Gebäude, eines aus der Nutzergruppe "öffentlichen Verwaltung" keine grossen IT-Gerätschaften (Server usw.) sowie ausschliesslich Fensterlüftung vorhanden. Das Bankgebäude, mit dem grössten Elektrizitätsverbrauch, weist hingegen einen sehr hohen Standard der technischen Gebäudeausrüstung auf. Vollklimaanlage und eine riesige Serveranlage mit 320 kW installierter Leistung zeigen deutlich den Unterschied.

In der folgenden Grafik (Abbildung 2) wurde daher die Energiekennzahl Elektrizität nach den jeweiligen Technisierungsstandards von der Lüftung bzw. Klimatisierung unterschieden. Erwartungsgemäss verteilt sich der Energieverbrauch von "weder klimatisiert bzw. belüftet" ansteigend hin zu den "mehrheitlich belüftet und klimatisierten". Die beiden Ausreisser der mittleren Gruppe, welche vom Verbrauchsniveau mehr als sechsmal höher liegen als der Medianwert, sind untypisch für diese

Gruppe. Im einen Fall weist das Gebäude grosse zentrale Serveranlagen (200 kW installierte Leistung der Server ohne Kälteanlagen) sowie Funkzentralen, die 24 Stunden betrieben werden, auf. Beim zweiten Gebäude liegt der Grund in stromintensiven Produktionsanlagen, welche bei diesem Gebäude in den Strombedarf mit einbezogen wurden (Bürogebäude mit Produktionsanteil). "Mehrheitlich belüftete und klimatisierte" Gebäude weisen einen knapp drei mal höheren spezifischen Stromverbrauch auf als "überwiegend nicht belüftete bzw. klimatisierte" Gebäude. In der Zwischengruppe der teilweise belüfteten und / oder klimatisierten Gebäude zeigt sich eine deutlich höhere Streuung, verursacht durch die grosse Heterogenität in der Gebäudeausrüstung in dieser Gruppe.

In Abbildung 2 sind zusätzlich Gebäude mit grossen Serveranlagen oder Rechenzentren¹³ dargestellt. Wie erwartet sind grössere Serveranlagen vor allem in mechanisch belüfteten und klimatisierten Gebäuden anzutreffen. Die betroffenen Gebäude liegen meist im Bereich der höchsten spezifischen Strombedarfe. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang das Gebäude¹⁴ mit dem geringsten Strombedarf (163 MJ/m²a) in dieser Untergruppe. Dieses Gebäude hat zwar eine Serverleistung, welche nur knapp über dem festgelegten Grenzwert von 2 W/m² GF liegt, der Serverstrombedarf liegt mit knapp 30% des Gesamtbedarfs aber tiefer als aufgrund der Serverleistung zu erwarten wäre. Zudem ist in diesem Gebäude die Kühlung und Belüftung des Rechenzentrums sehr effizient und auch die übrigen Verbraucher sind energetisch optimiert. Daraus resultiert der tiefe Strombedarf trotz des relativ grossen Rechenzentrums.

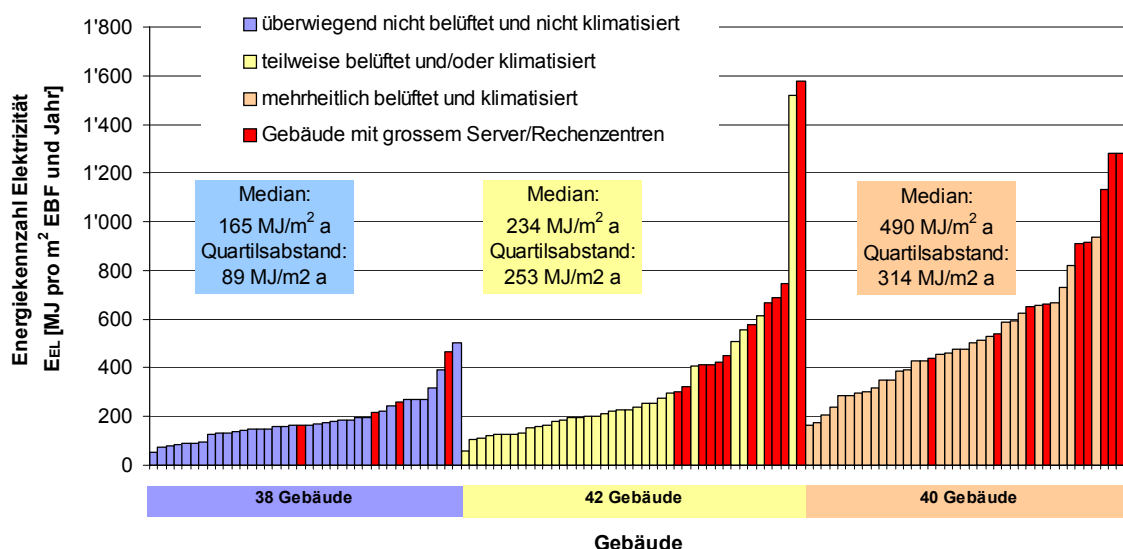


Abbildung 2: Energiekennzahl Elektrizität, Gruppierung nach Belüftung und /oder Klimatisierung (n = 120 Gebäude), Kennzeichnung der Gebäude mit grossen Rechenzentren

Abbildung 3 zeigt den Vergleich der Gebäudeausrüstungsgruppen bezogen auf den Mittelwert. Die 95%-Fehlergrenze zeigt, dass zwischen den Gruppen ein signifikanter Unterschied in der Energiekennzahl Elektrizität besteht.

¹³ Als grosse Server und Rechenzentren wurden Gebäude mit einer Serverleistung von mehr als 2 W/m² GF bezeichnet.
¹⁴ Siehe auch Fallstudie H im Anhang. Gebäude aufgrund Technisierung an Grenze zur Gruppe „teilweise belüftet / klimatisiert“.

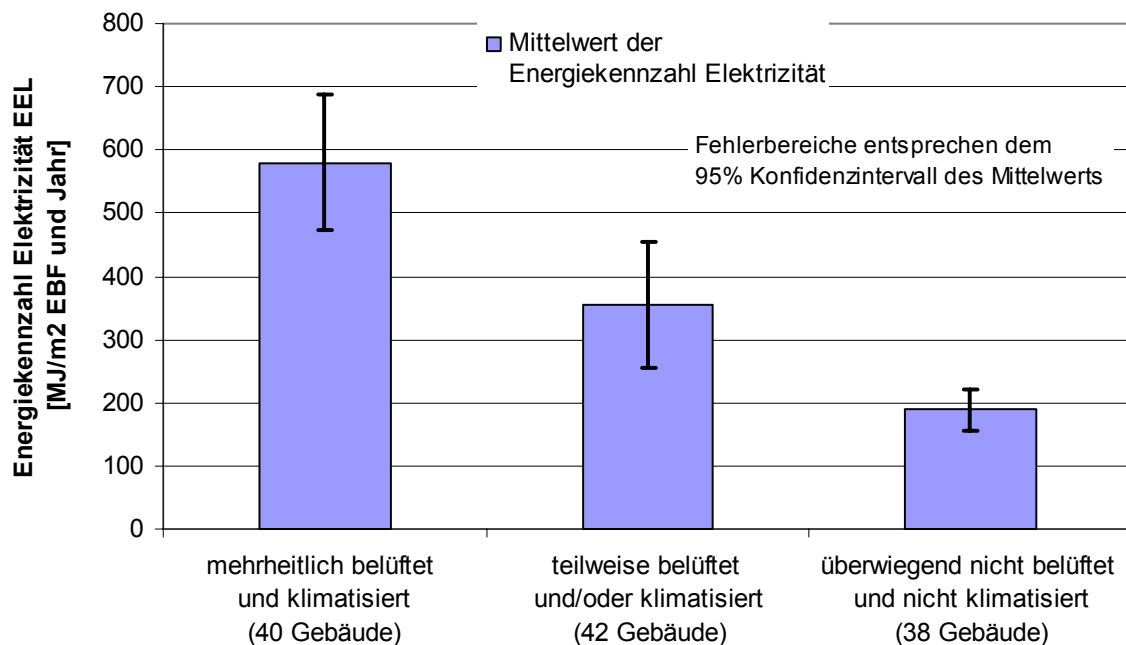


Abbildung 3: Energiekennzahl Elektrizität, Vergleich der Gebäudeausrüstung Lüftung /Klima (n = 120 Gebäude)

Beim Vergleich der Resultate bezogen auf die Nutzergruppen zeigt sich, dass der Bereich Banken / Versicherungen einen klar höheren spezifischen Elektrizitätsbedarf aufweist als die übrigen Nutzergruppen. Innerhalb der Gruppen sind jedoch grosse Unterschiede festzustellen.

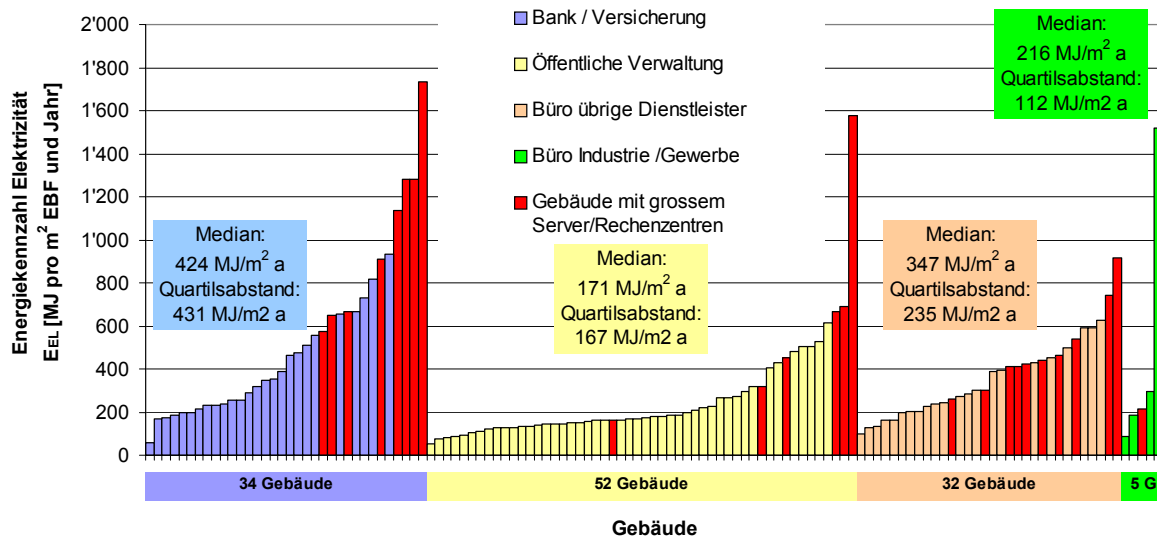


Abbildung 4: Energiekennzahl Elektrizität gruppiert nach Nutzergruppen (n = 123 Gebäude), Kennzeichnung der Gebäude mit grossen Rechenzentren

2.2.2 Gebäudegruppe Server

Hier ist die Rede von Gebäuden mit separat ausgewiesene Räumen, in denen sämtliche Komponenten der IT-Branche untergebracht sind. Die Bezeichnung "Standard-Server" beinhaltet kleinere Servergeräte, die sehr häufig in Gebäuden des Dienstleistungssektors zur Datenspeicherung eingesetzt werden. Der Grund für diese Untergliederung ist, dass diese Räumlichkeiten meistens mit grossen Klimageräten ausgestattet sind. Bezüglich der Kühlleistung bestehen sehr grosse Unter-

schiede. Deshalb wurde eine Verbrauchergruppe mit einer spezifischen Kühlleistung kleiner oder gleich 2 W/m^2 Geschossfläche gebildet¹⁵. Alle Gebäude, die sich in Abbildung 5 im rot schattierten Bereich befinden, sind der Gruppe „Standard-Server“ zugeteilt, da sie im Normalfall weniger als 15% des Gesamtenergiebedarfs für den Betrieb der Serverräume benötigen.

Eine separate Gruppe wurde für Gebäude mit grossen Servern und Rechenzentren gebildet. Bei einer spezifischen Kühlleistung von 2 W/m^2 Geschossfläche bis über 20 W/m^2 Geschossfläche liegen die Stromverbräuche bei grösser 15% bis hin zu mehr als 40% des Gesamtstromverbrauches. Die beiden rot markierte Gebäude in Abbildung 5 wurden in die Berechnung nicht miteinbezogen. Aufgrund der vorhandenen Gebäudedaten muss ein Fehler bezüglich der installierten Serverkühlleistung vorliegen, da Berechnungen belegen, dass der Stromverbrauch für die Server und Rechenzentren dreimal höher ist, als der Gesamtstromverbrauch des ganzen Gebäudes.

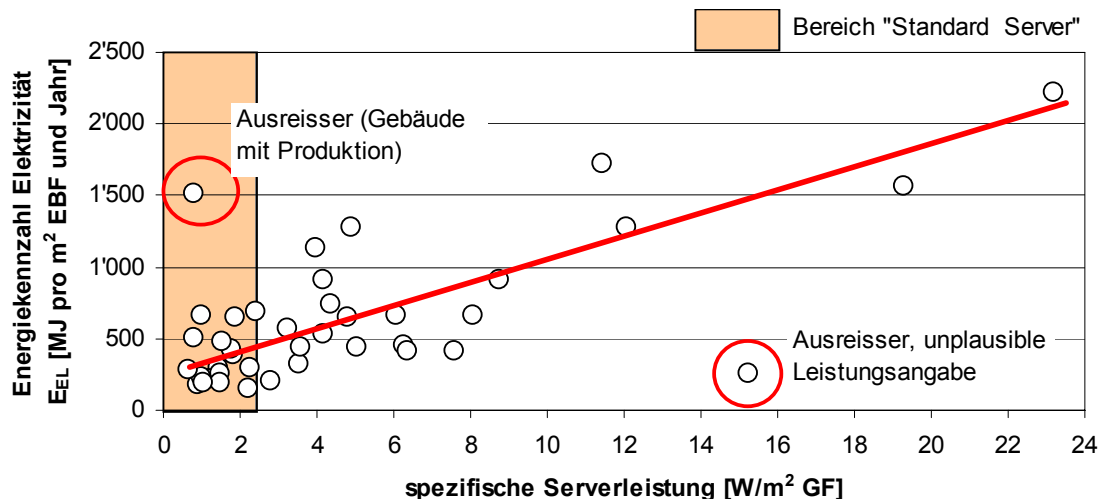


Abbildung 5: Einteilung der Server nach spezifischer Kühlleistung (n = 40 Gebäude)

Ein Drittel der untersuchten Gebäude ist mit Servern ausgestattet, wovon knapp die Hälfte der Gruppe "grosse Server und Rechenzentren" zugeteilt wurde. Hierbei ist festzustellen, dass der Stromverbrauch für diese zum Teil über 40% des Gesamtenergieverbrauchs Elektrizität beträgt. Dies stellt aber nicht den Bedarf eines durchschnittlichen Bürogebäudes dar, sondern sind Ausnahmen (Bsp. Datenzentren, Grossbanken usw.).

Hauptproblem bei allen Gebäuden ist, die genauen Leistungsangaben der installierten Server zu ermitteln. Sehr häufig sind kleine dezentrale Serveranlagen stockwerksweise oder abteilungsweise installiert. Hier sind meistens keine Daten vorhanden, so dass der Anteil der Serverleistungen teilweise höher liegen kann als angenommen. Versuche, die zum Teil grosse Anzahl der dezentralen Geräte zu ermitteln, musste fallengelassen werden, da eine genaue Bestandsaufnahme für die Gebäudeverantwortlichen einen zu grossen Aufwand bedeutete. Zudem ist anzumerken, dass die Leistungsangaben, die auf den Netzgeräten (Power Supply) angegeben werden, meistens sehr viel grösser sind als die tatsächlich bezogene elektrische Leistung. Für präzise Aussagen sind daher Messungen notwendig.

Vergleicht man die Gruppe der Gebäude "ohne Server" und die der "Standard-Server", so liegt das Verbrauchsniveau der Gruppe "Standard-Server" deutlich höher. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant wie Abbildung 7 zeigt. Das Resultat ist nicht nur ausschliesslich auf die Server zurückzuführen, sondern grösstenteils vom gesamten Technisierungsstandard der Gebäude abhängig.

¹⁵ Als Bezugsfläche wird die gesamte Geschossfläche eingesetzt, damit der gebildete spezifische Wert etwas über die Bedeutung der IT am gesamten Stromverbrauch aussagt

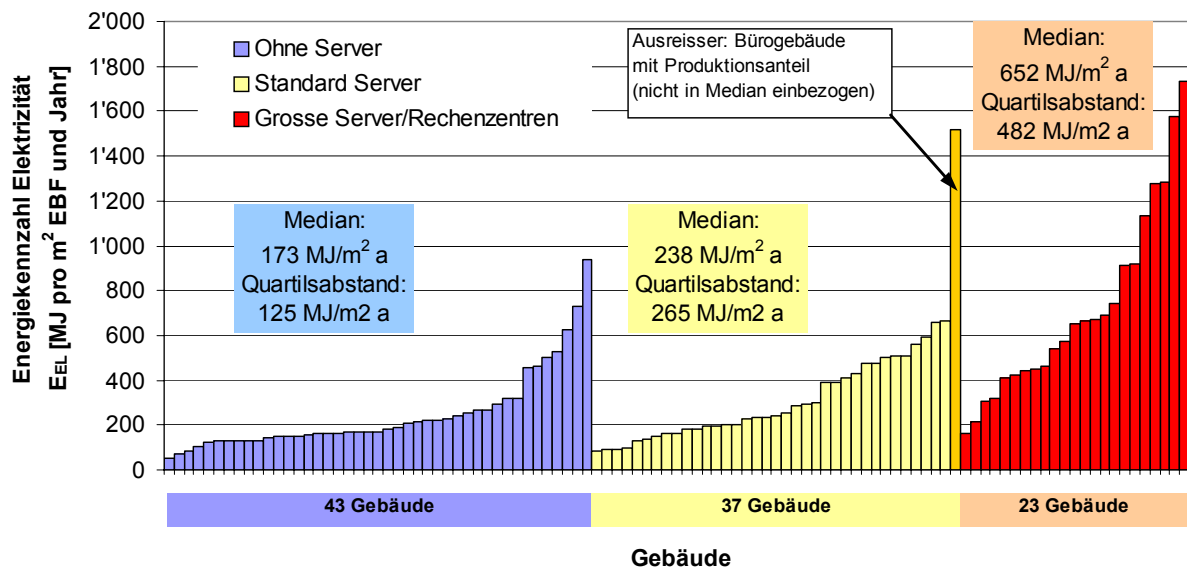
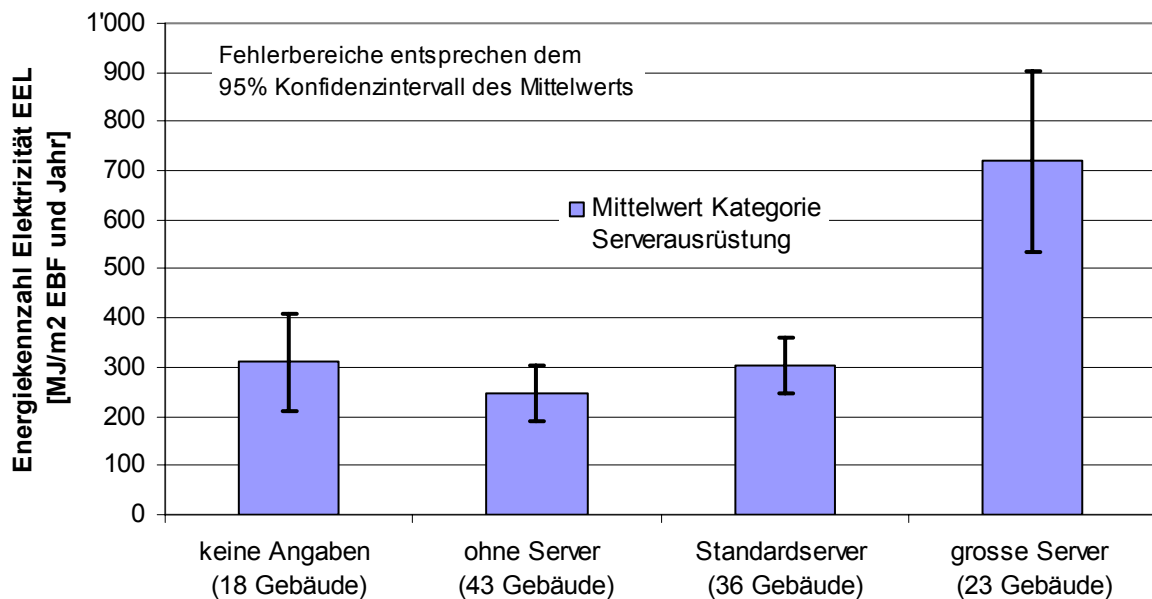


Abbildung 6: Energiekennzahl Elektrizität gruppiert nach Grad der Serverausrüstung (n = 103 Gebäude)

Deutlicher ist das Resultat bei der Gruppe mit grossen zentralen Servern und Rechenzentren. Wie zu erwarten ist für diese Gruppe ein signifikanter Unterschied in der Energiekennzahl Elektrizität festzustellen.



1 Ausreisser: Bürogebäude mit Produktionsanteil nicht einbezogen;

2 Gebäude aufgrund unplausibler Einordnung ausgeschlossen (Datenfehler bei Angaben Serverausrüstung vermutet)

Abbildung 7: Energiekennzahl Elektrizität, Vergleich der Gruppen Serverausrüstung (n = 102 Gebäude in Auswertung einbezogen)

2.2.3 Energiekennzahl Wärme E_{hww}

Die in Abbildung 8 dargestellte Energiekennzahl Wärme spiegelt das Verhältnis des Wärmeenergieverbrauchs zur Energiebezugsfläche wieder. Knapp zwei Drittel der Wärmeenergie in den untersuchten Gebäuden wird mit fossilen Brennstoffen erzeugt (Erdgas und Heizöl). Das restliche Drittel wird überwiegend mit Fernwärme aus verschiedensten Netzen und ein kleiner Anteil durch Wärmepumpen gedeckt. Elektrische Heizöfen werden nicht grossflächig eingesetzt. Nur einzelne Gebäude weisen eine überwiegende Beheizung mit Elektrospeicheröfen auf.

Der Spitzenverbrauch von über $900 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ wurde bei einem Gebäude mit Metallfassade festgestellt. Die installierte Heizleistung beträgt mehr als $180 \text{ W/m}^2 \text{ EBF}$. Wärmetechnische Erneuerungen wurden in den letzten 10 Jahren am und im Gebäude nicht durchgeführt. Dafür ist eine Zunahme des Wärmebedarfs in dieser Zeitperiode zu verzeichnen. Ebenfalls knapp $900 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ ist bei einem Bankgebäude aus den Siebziger Jahren zu verbuchen, bei dem seit Erstellung des Gebäudes keine Sanierung durchgeführt wurde. Grund für den hohen Energieverbrauch kann eine schlechte Bausubstanz sein, was auf einen schlechten Wärmedurchgangskoeffizienten hindeutet. Dem gegenüber stehen einige Gebäude mit weniger als $100 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ Energieverbrauch, wobei überraschenderweise nur zwei der acht Gebäude im Minergie-Standard erbaut wurden. So sind auch die drei Gebäude mit dem geringsten Heizenergieverbrauch nicht im Minergie-Standard erstellt. Die Heizenergie wird in diesen Gebäuden mit fossilen Brennstoffen erzeugt. Andererseits wird aufgrund des hohen Elektrizitätsverbrauchs der Gebäude (teilweise mit grossen Rechenzentren) angenommen, dass ein grosser Teil der Wärmeenergie durch Abwärmenutzung abgedeckt wird.

Wie zu erwarten war, liegt eine geringere Bandbreite (Faktor 17) gegenüber der Energiekennzahl Elektrizität vor, da der Einfluss des Technisierungsgrades auf den Wärmeenergieverbrauch nicht so stark ist wie bei der Elektrizität. Bei der Wärme sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen der Technisierung festzustellen. Nebst dem Technisierungsgrad (z.B. belüftet oder nicht belüftet) wird der Energiebedarf v.a. von der Güte der Gebäudehülle (Wärmeverluste), der Gebäudetechnik und dem Betrieb dieser Anlagen bestimmt. Damit hat neben dem Technisierungsgrad auch das Gebäude- und Anlagenalter sowie der Zeitpunkt allfälliger Erneuerungen einen grossen Einfluss auf die Energiekennzahl Wärme. Diesem Aspekt wird in weiteren Auswertungen im Kapitel 4 Rechnung getragen.

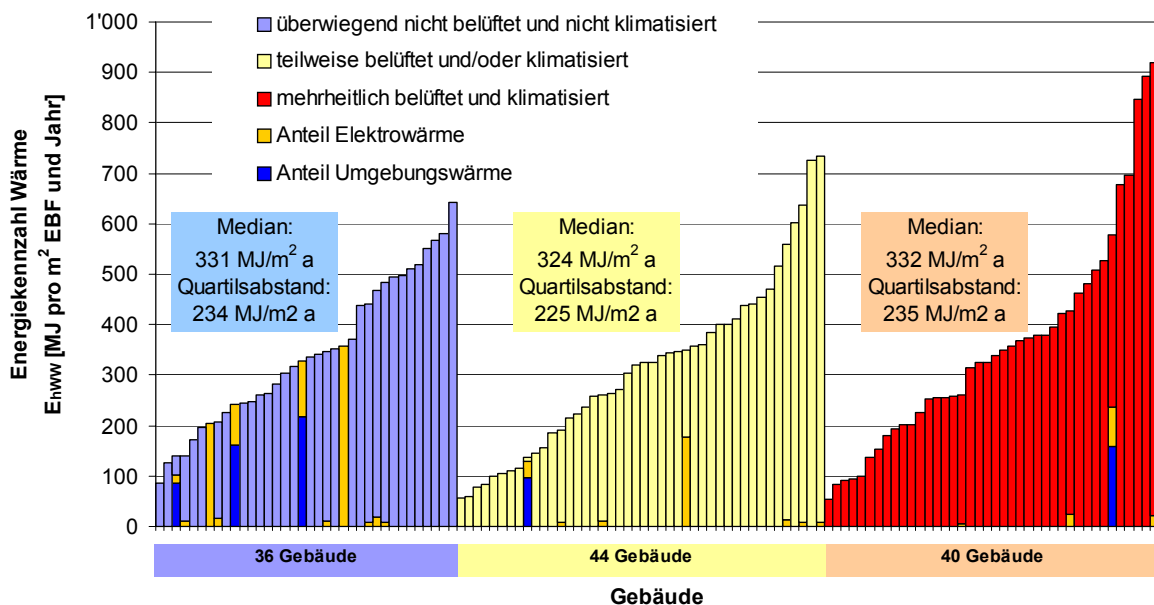


Abbildung 8: Energiekennzahl Wärme, Gruppierung nach Belüftung und /oder Klimatisierung (n = 120 Gebäude), Kennzeichnung der Anteile mit Elektroheizung bzw. WP

Beim Vergleich der Resultate bezogen auf die Nutzergruppen, zeigen sich im Gegensatz zur Elektrizität, keine klaren Unterschiede zwischen den Nutzergruppen. Ebenfalls sind innerhalb der Gruppen grosse Unterschiede im spezifischen Wärmebedarf festzustellen.

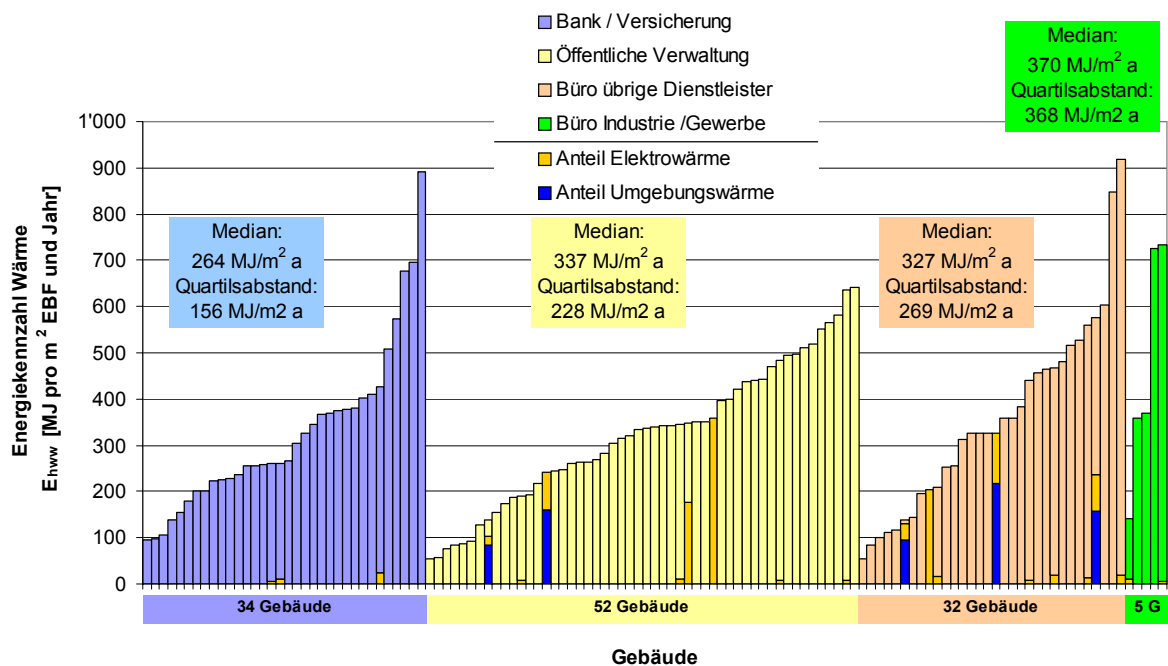


Abbildung 9: Energiekennzahl Wärme gruppiert nach Nutzergruppen
(n = 123 Gebäude), Kennzeichnung der Anteile mit Elektroheizung bzw. WP

2.3. ERMITTLUNG DER VERBRAUCHSKENNZAHLE FÜR BRAUCHWASSER V_{BW}

Aufgrund unvollständiger und zum Teil mangelhaft vorliegender Daten konnten lediglich 45 Gebäude näher untersucht werden. Der Median der Stichprobe liegt bei $0.31 m^3/m^2 a$ (Abbildung 10). Der Mittelwert liegt aufgrund eines Ausreissers mit $0.64 m^3/m^2 a$ sehr hoch. Ohne diesen Ausreisser liegt das Mittel über die untersuchten Gebäude bei $0.43 m^3/m^2 a$.

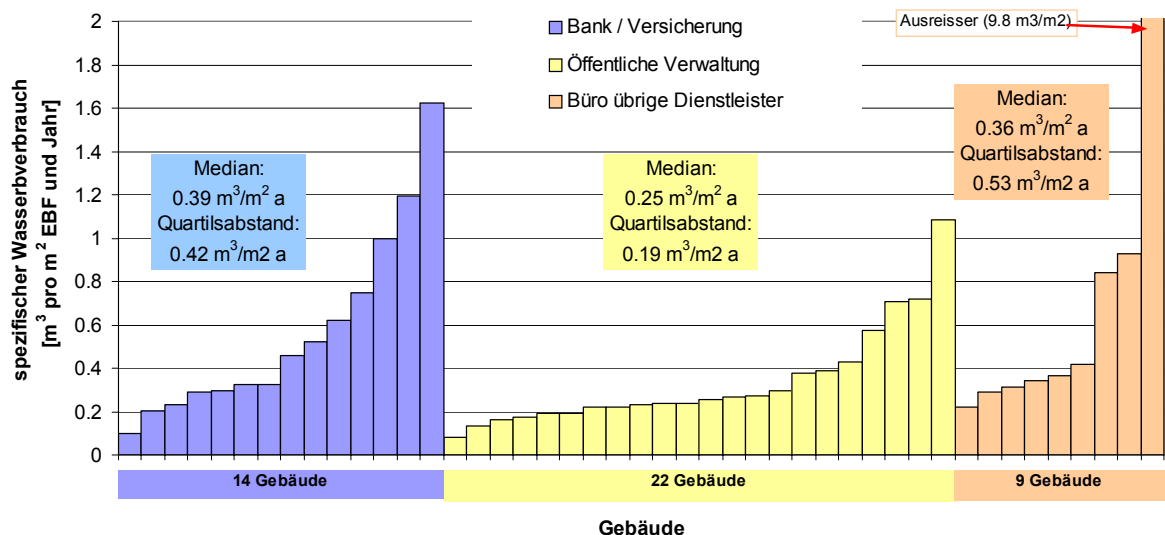


Abbildung 10: Spezifischer Kaltwasserverbrauch gruppiert nach Nutzergruppen
(n = 45 Gebäude)

Auffällig ist, dass die Gebäude mit hohem Wasserverbrauch meist ältere oder nicht sanierte Gebäude sind. Dies könnte auf die hohe Brauchwassernutzung für WC-Anlagen oder Nasszellen zurückzuführen sein. Weitere Gründe wären:

- große Betriebskantinen und Restaurants bei denen Geschirrspülvorreinigungsanlagen und Spülautomaten installiert sind oder
- der erhöhte Wasserbedarf für Kälteanlagen mit nasser Rückkühlung. Hierbei wird das vom Kondensator aufgewärmte Wasser im Luftstrom verrieselt. Ein Teil des Wassers verdunstet und entzieht dem Wasser die Wärme.

2.4. DIFFERENZIERUNG DER ENERGIEKENNZAHL

2.4.1 Baujahr

Als Baujahr zählt das Bezugsfertigstellungsjahr eines Gebäudes. Das genaue Alter des ältesten Gebäudes konnte aufgrund fehlender Daten nicht ermittelt werden. Es ist aber nach Schätzungen der Gebäudeverantwortlichen über zweihundertfünfzig Jahre alt. Das jüngste und modernste Gebäude ist im Jahr 2005 bezogen worden. Ca. ein Viertel der Gebäude liegt im Zeitabschnitt von 1946 bis 1970, und ein weiteres Viertel zwischen 1971 bis 1990. Gut zwanzig Prozent sind ca. neunzig Jahre und älter und nur fünf Prozent sind jünger als acht Jahre.

Sowohl beim Stromverbrauch (Abbildung 11) wie auch beim Wärmeverbrauch (Abbildung 12) lassen sich deutliche Unterschiede im Verbrauchskennwert zwischen den Baualtersgruppen feststellen. Bei der Energiekennzahl Elektrizität ist der deutlich tiefere Wert für die Gebäude mit Baujahr vor 1960 auf die in diesen Gebäuden geringere Technisierung (Lüftung / Klimatisierung sowie Serverinstallationen signifikant tiefer) zurückzuführen. Demgegenüber zeigt sich bei der Energiekennzahl Wärme ein deutlich geringerer Verbrauchskennwert für die Gebäude mit Baujahr nach 1980. Dies ist auf die bei diesen Gebäude deutlich bessere Wärmedämmung zurückzuführen.

Den insgesamt grössten spezifischen Energiebedarf (Summe Strom und Wärme) zeigen die Gebäude in der mittleren Baualtersklasse (1970-1980), da in dieser Zeitperiode noch mit geringen Dämmstärken gebaut wurde aber die Gebäude oft einen hohen Technisierungsgrad (häufig mit Lüftungsanlagen und Vollklimatisierung) aufweisen. Wie die Streuung zeigt, sind die Unterschiede insbesondere bei der Energiekennzahl Elektrizität zwischen den Gebäuden jedoch hoch.

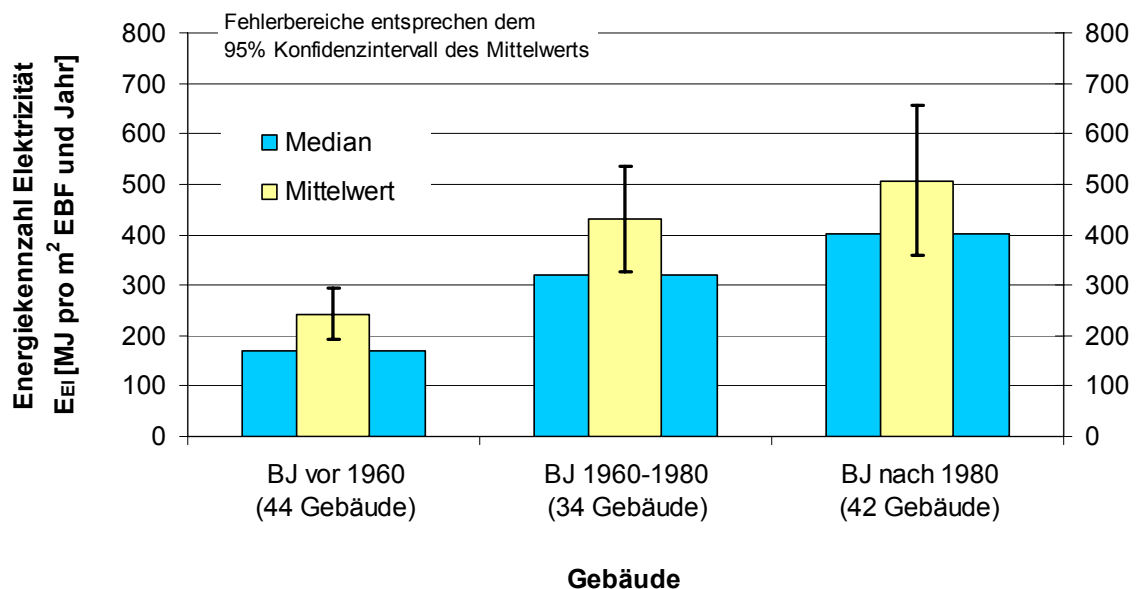


Abbildung 11: Energiekennzahl Elektrizität gruppiert nach Baujahr der Gebäude (n = 120 Gebäude)

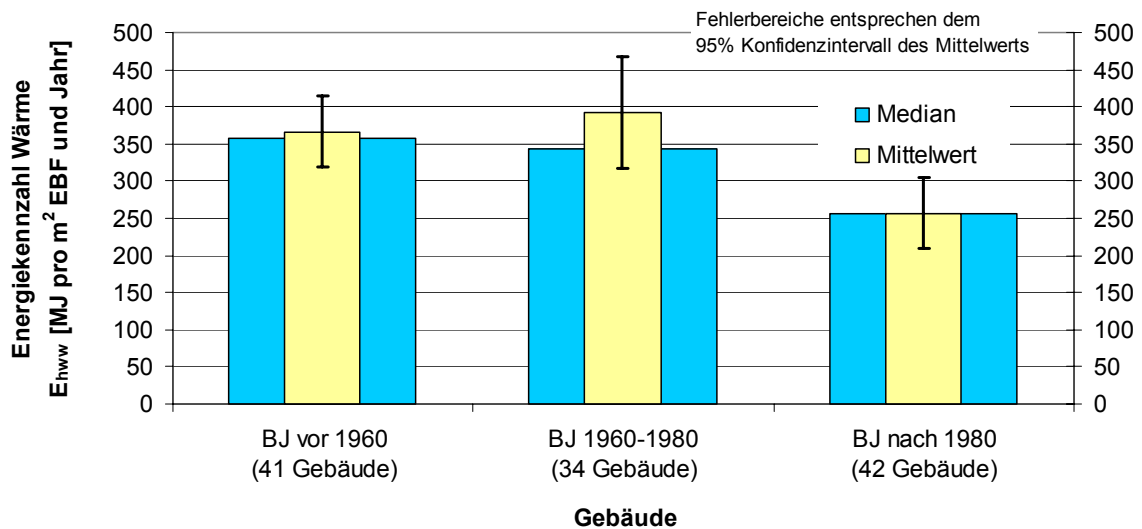


Abbildung 12: Energiekennzahl Wärme gruppiert nach Baujahr der Gebäude (n = 117 Gebäude)

2.4.2 Minergie

Im Gebäudesample waren 8 Minergie zertifizierte Gebäude (Neubau und Sanierung). Der Vergleich der Gebäudegruppen ohne und mit Minergie-Standard ist in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Gruppe Minergie sowohl beim Strom wie auch bei der Wärme tiefere spezifische Verbräuche aufweist. Der signifikante Unterschied beim Stromverbrauch ist jedoch primär durch die Gebäudeausrüstung (z.B. Server) zu erklären, welche in den untersuchten Minergie-Gebäuden weniger hoch installiert ist als in den übrigen Gebäuden. Dies zeigte sich auch in der Analyse der Einflussfaktoren (siehe Kapitel 2.5).

Bei der Wärme ist die grosse Streuung der Energiekennzahl der Minergie Gebäude auffallend, welche in den einzelnen Fällen auf die Unterschiede im Gebäudebetrieb zurückzuführen ist.

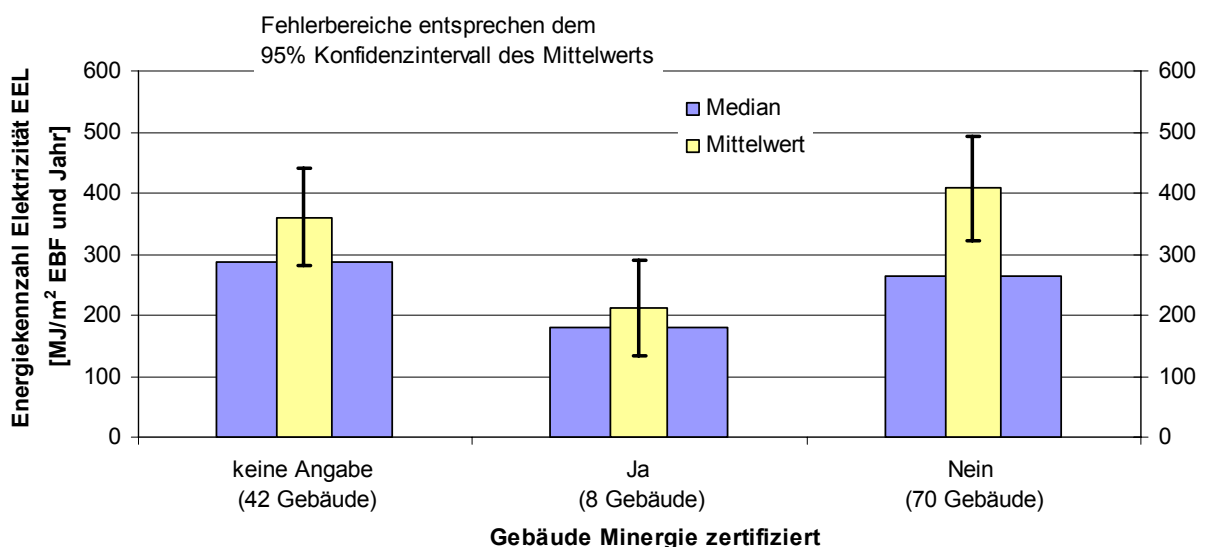


Abbildung 13: Energiekennzahl Elektrizität, Gruppiert nach Zertifizierung Minergie (n = 78 Gebäude mit Angaben)

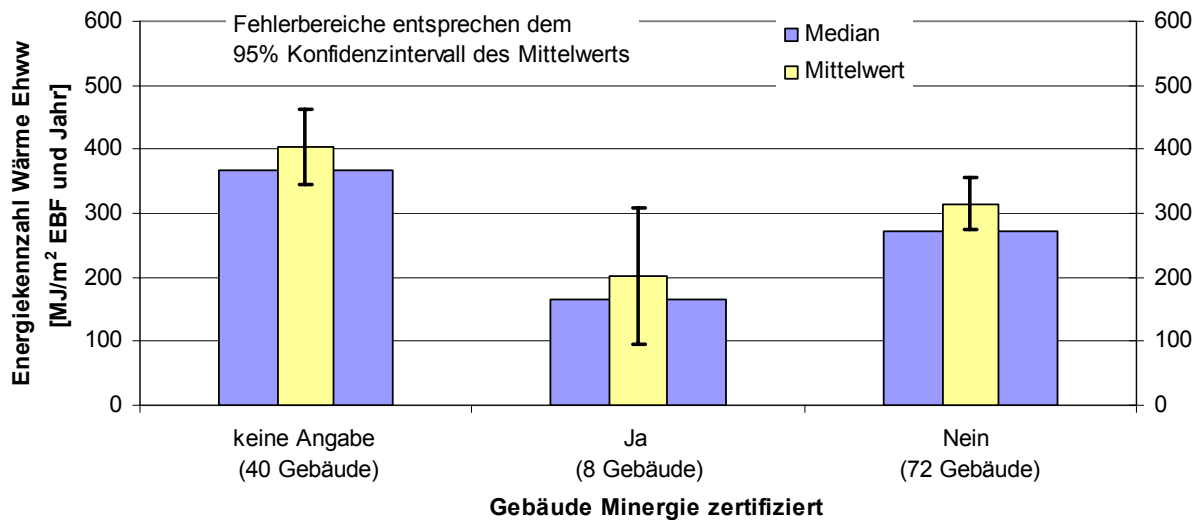


Abbildung 14: Energiekennzahl Wärme gruppiert nach Zertifizierung Minergie (n = 80 Gebäude mit Angaben)

2.4.3 Befeuchtung

Knapp 30% der Gebäude (soweit Angaben verfügbar waren) besitzen eine Einrichtung zur Befeuchtung der Raumluft. Aus der im allgemeinen höheren Technisierung dieser Gebäudegruppe („mit Befeuchtung“) ist ein höherer spezifischer Strombedarf zu erwarten. In Abbildung 15 zeigt sich ein signifikanter Unterschied beim Strombedarf. Diese Wirkung zeigt sich auch in der multiplen Regressionsanalyse (siehe Kapitel 2.5). Beim Wärmebedarf dagegen ist kein signifikanter Unterschied erkennbar (Abbildung 16).

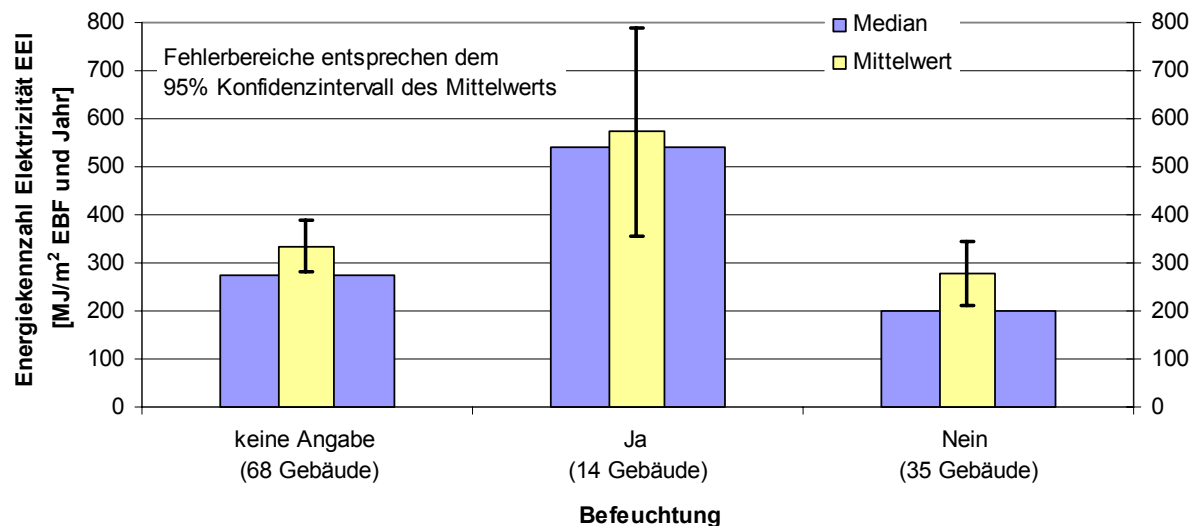


Abbildung 15: Energiekennzahl Elektrizität gruppiert nach Befeuchtung (n = 49 Gebäude mit Angaben)

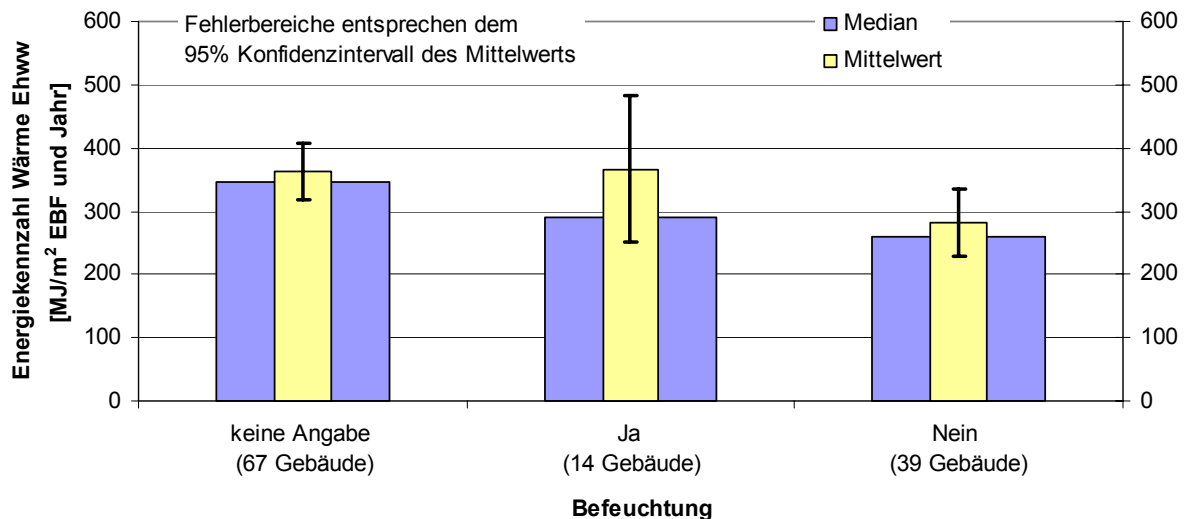


Abbildung 16: Energiekennzahl Wärme gruppiert nach Befeuchtung
(n = 53 Gebäude mit Angaben)

Die grosse Anzahl der Gebäude ohne Angaben zur Befeuchtung ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Detailfragen zur Gebäudetechnik nur von einem Teil der Befragten beantwortet wurde, da deren Beantwortung oft nicht ohne weitere Abklärungen möglich ist.

2.5. ANALYSE DER EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ENERGIEKENNZAHL E_{EL} UND E_{HWW}

Um die Einflussfaktoren auf die Energiekennzahl zu untersuchen wurden die Daten in mit einer Regressionsanalyse untersucht, dies je separat für Elektrizität und Wärme. Die Regressionsanalyse verfolgt dabei folgenden Ansatz

$$E = E_0 + \sum_k \beta_k \cdot F_k$$

wobei E für die Energiekennzahl, F_k die vermuteten Einflussfaktoren und β_k für die zu schätzenden Koeffizienten. Das Set der möglichen Einflussfaktoren unterscheidet sich dabei zwischen Elektrizität und Wärme, v.a. aus gebäude- und energietechnischen sowie betrieblichen Gründen. Die letztlich verwendeten Variablen und ihre Definition sind in Tabelle 5 und Tabelle 7 zusammengestellt, Zudem ist anzumerken, dass aufgrund der unvollständig verfügbaren Daten nicht alle Variablen genutzt werden konnten.

2.5.1 Einflussfaktoren Energiekennzahl Elektrizität (E_{EI})

Abbildung 17 zeigt die wichtigsten Einflussfaktoren für die Erklärung der Energiekennzahl Elektrizität (E_{EI}). In die Analyse konnten 91 Gebäude einbezogen werden zu denen die entsprechenden Angaben verfügbar waren. Drei Gebäude wurden in der Analyse aufgrund Ihrer grossen Hebelwirkung (Ausreisser) aus der Auswertung ausgeschlossen¹⁶. Somit standen für die Auswertung 88 Gebäude zur Verfügung.

In einem ersten Schritt wurde die Korrelation der Variablen der vermuteten Einflussfaktoren geprüft, zum einen, um zu vermeiden, dass untereinander stark korrelierte Variablen ins Regressionsmodell aufgenommen werden (in diesen Fällen lässt sich die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren kaum voneinander trennen) und zum anderen, um gewisse Variablen zusammenfassen zu können, letzteres vor dem Hintergrund der geringen Anzahl von Gebäuden.

¹⁶ Es handelt sich um drei Gebäude mit sehr hohen Energiekennzahlen, welche durch spezielle Gebäudenutzungen verursacht sind. Insbesondere beeinflussen diese Gebäude die Auswertung des Einflusses der Befeuchtung stark, da sie über keine Befeuchtung verfügen und damit bei Einbezug zu einem abweichenden Resultat für diese Auswertung führen würden.

Aufgrund der starken Korrelation vom Ausrüstungsgrad mit mechanischer Lüftung und dem Ausrüstungsgrad mit einer Klimatisierung wurden diese beiden Variablen zur Variable "Lüftung / Klima" zusammengefasst (ungewichtete Summe). Eine leichte Korrelation ist auch zwischen der Variable "Lüftung / Klima" und "Befeuchtung" festzustellen. Die Variable "Befeuchtung" wird jedoch berücksichtigt, da vertiefte Analysen keinen nachteiligen Einfluss auf das dargestellte Faktorenmodell zeigten. Im weiteren besteht ebenfalls eine schwache Korrelation zwischen der Variable "Serverausrüstung" und der "Küche/Restaurant". Vertiefte Analysen zeigten, dass diese vor allem durch die Datensätze der Gebäude mit grossen Rechenzentren verursacht ist und bei den anderen Gruppen kein Einfluss der Variable "Küche/Restaurant" auf die Energiekennzahl Elektrizität festgestellt werden kann. Aus diesem Grund wurde die Variable aus der Auswertung ausgeklammert. Die Definitionen zu den verwendeten Variablen sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Variablen Gebäudebaujahr, Lüftung/Klima und Serverkategorie (gemäss Definition in Tabelle 5) wurden hierbei nicht als ordinale (kategoriale), sondern als kardinale Variablen verwendet. Implizit besteht demnach beispielsweise die Vermutung, dass die drei Bauperiodendekaden ab 1980 je in etwa den gleichen Einfluss auf die Energiekennzahl haben. Dasselbe gilt für die verschiedenen Kombinationen von Lüftung und Klima (der Schritt von „nicht“ zu „teilweise“ und von „teilweise“ zu „mehrheitlich belüftet“ ist mutmasslich je ähnlich, dies im Sinne einer Arbeitshypothese) sowie die Serverausrüstung.

Tabelle 5 Wertebereich und Definition der Variablen für Regressionsanalyse von E_h

Variable	Beschreibung / Wertebereich
Achsenabschnitt	Startwert wenn alle Variablen = 0
Gebäudebaujahr	0 = BJ bis 1980; 1 = BJ 1981-1990, 2 = BJ 1991-2000; 3 = BJ ab 2000
Lüftung Klima	Wertebereich 0 bis 4; Summe der Bewertung von: Lüftung: 0= ohne Lüftung, 1 = teilweise belüftet, 2 = mehrheitlich belüftet Klima: 0= ohne Klimatisierung, 1 = teilweise Klimatisiert, 2 = mehrheitlich Klimatisiert
Befeuchtung	0 = ohne Befeuchtung oder keine Angabe 1 = mit Befeuchtung
Serverkategorie	0 = keine zentrale Server 1 = Standardserver, 2 = grosse zentraler Server / RZ
Glasanteil	Wert zwischen 0 und 1 (0-100%)
Minergie zertifiziert	0 = nicht Minergie oder k. Angabe 1 = Minergie zertifiziert

Die beschreibende Statistik der in die Analyse einbezogenen Variablen ist in Tabelle 6 dargestellt. Sie zeigt neben dem Wertebereich (Max. / Min.) auch den im Mittel angetroffenen Wert für jede Variable.

Tabelle 6 Deskriptive Statistik der Variablen für die Regressionsanalyse von E_{EL}

Variable	Beobachtungen	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
E_{el} [MJ/m ² EBF]	88	53.277	1281.214	337.237	264.921
Gebäudebaujahr	88	0.000	3.000	0.614	0.988
Lüftung Klima	88	0.000	4.000	1.841	1.667
Befeuchtung	88	0.000	1.000	0.159	0.368
Serverkategorie	88	0.000	2.000	0.784	0.794
Glasanteil	88	0.050	0.920	0.467	0.199
Minergie zertifiziert	88	0.000	1.000	0.091	0.289

Anzahl der entfernten Beobachtungen: 32 (29 wegen teilweise fehlenden Angaben, 3 Ausreisser wegen vermuteter Hebelwirkung)

Die Analyse zeigt, dass der Ausrüstungsgrad Lüftung /Klima, die Befeuchtung sowie der Ausrüstungsgrad mit Servern einen signifikanten Einfluss (5% Signifikanzniveau) auf die Energiekennzahl Elektrizität (E_{El}) haben (Abbildung 17). Für die übrigen Variablen konnte kein statistisch signifikanter Zu-

sammenhang¹⁷ festgestellt werden. Die teilweise grossen Streubreiten (v.A. beim Glasanteil) deuten darauf hin, dass bei diesen Variablen grosse Unterschiede im Einfluss bestehen und daher keine allgemeine Aussage über die Auswirkung möglich ist.

Die Ergebnisse sind in Bezug auf ihre inhaltliche Bedeutung wie folgt zu interpretieren: Der in Abbildung 17 als Achsenabschnitt bezeichnete Wert stellt den Basiswert dar, wenn alle anderen Faktoren gleich Null wären (was aber nie der Fall ist, denn der Glasanteil ist immer >0). Die übrigen dargestellten Einflussfaktoren [geschätzte Koeffizienten der linearen Regression, in MJ/m²] sind mit dem zugehörigen Wert aus dem Wertebereich der jeweiligen Variable zu multiplizieren, woraus sich der Einfluss auf die Energiekennzahl Elektrizität ergibt. So ergibt sich beispielsweise für die Lüftung und Klimatisierung mit einem Wert von 66 MJ/m²a für den geschätzten Koeffizienten folgender Einfluss:

- nicht belüftet und klimatisiert: Wert 0 x Faktor 66 MJ/m² = 0 MJ/m² (kein Einfluss)
- teilweise belüftet und klimatisiert: Wert 2 x Faktor 66 MJ/m² = 122 MJ/m² Erhöhung von E_{El}
- vollständig belüftet und klimatisiert: Wert 4 x Faktor 66 MJ/m² = 264 MJ/m² Erhöhung von E_{El}

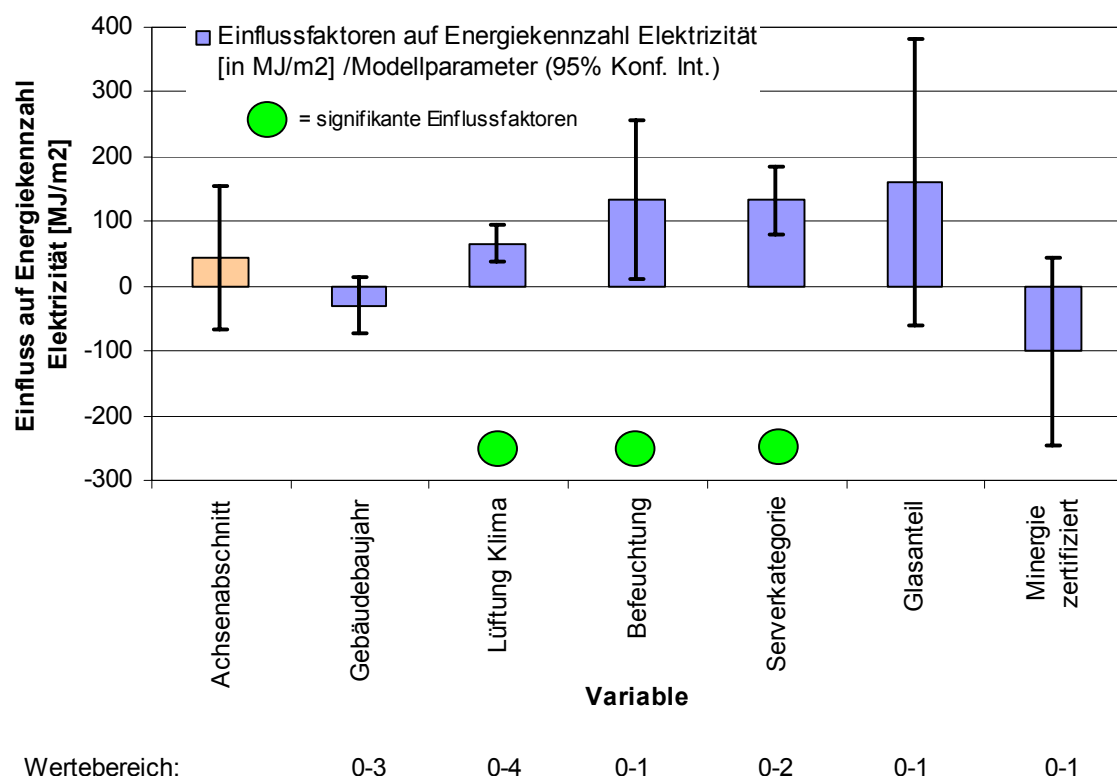


Abbildung 17: Relevanz der Einflussfaktoren auf die Energiekennzahl Elektrizität (E_{El}) (Regressionsanalyse mit n = 88 Gebäuden)

In Abbildung 18 werden die ermittelten Parameter zudem für einige Gebäude beispielhaft aufgezeigt.

¹⁷ Signifikanzvergleichswert über 10%

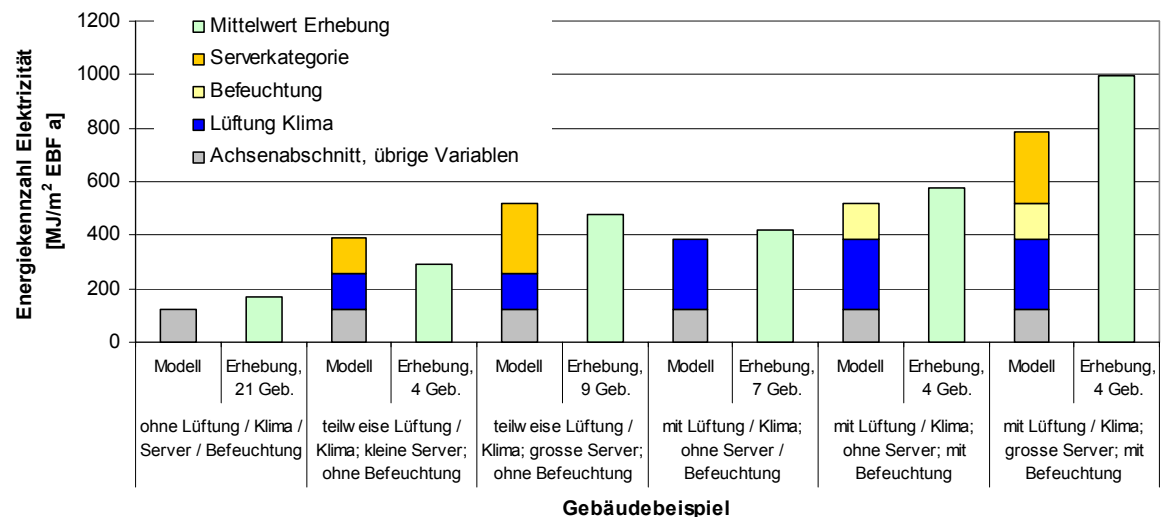


Abbildung 18: Gebäudebeispiele für Kennwertmodell zur Energiekennzahl Elektrizität (E_{EL}) Vergleich mit der Energiekennzahl Elektrizität (E_{EL}) aus der Erhebung

Abbildung 18 zeigt die ermittelten Einflussfaktoren angewendet für 6 typische Gebäudebeispiele. Dabei wurden die signifikanten Einflussfaktoren aus Abbildung 17 variiert (Lüftung/ Klima, Befeuchtung, Serverkategorie) und das Resultat des Kennwertmodells mit den Daten aus der Erhebung verglichen. Für die nicht signifikanten Einflussfaktoren wurde ein häufig vorkommender Wert eingesetzt¹⁸. Bei den untersuchten sechs Gebäudebeispielen zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung mit den Werten aus der Erhebung (Mittelwerte). Für einige der dargestellten Gebäudetypen sind nur wenige Messdaten verfügbar, was damit eine grössere Unsicherheit des erhobenen Gebäudewertes bedeutet.

2.5.2 Einflussfaktoren Energiekennzahl Wärme (E_{hww})

Abbildung 19 zeigt die wichtigsten der vermuteten Einflussfaktoren für die Erklärung der Energiekennzahl Wärme (E_{hww}). In die Analyse konnten 93 Gebäude einbezogen werden zu denen die entsprechenden Angaben vollständig verfügbar waren. Aufgrund der Korrelation vom Ausrüstungsgrad mit mechanischer Lüftung und dem Ausrüstungsgrad mit einer Klimatisierung wurde diese beiden Variablen wiederum zusammengefasst. Zudem wurde auch die Variable "Befeuchtung" in diese einbezogen (als ungewichtete Summe), da auch hier eine leichte Korrelation festzustellen ist und zudem die Anzahl Variablen aufgrund der Stichprobengrösse 6 Variablen nicht überschreiten sollte. Da für die Variable "Massivbau" viele und gut verteilte Werte verfügbar waren und ein Einfluss zu erwarten ist¹⁹, wurde diese Variable zusätzlich mit einbezogen. Die Definitionen zu den verwendeten Variablen sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

¹⁸ Baujahr bis 1980 (Wert 0), Glasanteil 50% (Wert 0.5), ohne Minergie Zertifikat (Wert 0)

¹⁹ Einfluss über Speichermasse

Tabelle 7 Wertebereich und Definition der Variablen für Regressionsanalyse von E_{hww}

Variable	Beschreibung / Wertebereich
Achsenabschnitt	Startwert wenn alle Variablen = 0
Gebäudebaujahr	0 = BJ bis 1980; 1 = BJ 1981-1990, 2 = BJ 1991-2000; 3 = BJ ab 2000
Lüftung Klima	Wertebereich 0 bis 5; Summe der Bewertung von: Lüftung: 0= ohne Lüftung, 1 = teilweise belüftet, 2 = merheitlich belüftet Klima: 0= ohne Klimatisierung, 1 = teilweise Klimatisiert, 2 = merheitlich Klimatisiert Befeuchtung: 0 = ohne Befeuchtung oder keine Angabe; 1 = mit Befeuchtung
Befeuchtung	1 = mit Befeuchtung
Serverkategorie	0 = keine zentrale Server 1 = Standardserver, 2 = grosse zentraler Server / RZ
Glasanteil	Wert zwischen 0 und 1 (0-100%)
Massivbau	0 = kein Massivbau, 1 = Massivbau
Minergie zertifiziert	1 = Minergie zertifiziert

Die beschreibende Statistik der in die Analyse einbezogenen Variablen ist in Tabelle 8 dargestellt. Sie zeigt neben dem Wertebereich (Max. / Min.) auch den im Mittel angetroffenen Wert für jede Variable.

Tabelle 8 Deskriptive Statistik der Variablen für die Regressionsanalyse von E_{hww}

Variable	Beobachtungen	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
E_{th} [MJ/m ² EBF]	93	54.265	891.291	314.533	172.104
Gebäudebaujahr	93	0.000	3.000	0.656	0.994
Lüftung Klima Befeuchtung	93	0.000	5.000	1.989	1.833
Serverkategorie	93	0.000	2.000	0.817	0.807
Glasanteil	93	0.050	0.920	0.464	0.202
Massivbau	93	0.000	1.000	0.519	0.500
Minergie zertifiziert	93	0.000	1.000	0.086	0.282

Anzahl der entfernten Beobachtungen: 27 (wegen teilweise fehlenden Angaben)

Die Analyse zeigt, dass der wichtigste Einfluss das Baujahr ist. Dies bestätigt die ceteris paribus Auswertung, in der die Gebäude nach einzelnen Einflussfaktoren gruppiert wurden (Abbildung 12). Im weiteren zeigt die Gebäudemasse (Massivbau) einen deutlichen Einfluss (Signifikanzniveau 5%). Weitere wichtige Einflussfaktoren sind ist die Minergie-zertifizierung sowie der Serverausrüstungsgrad (Signifikanzniveau 10%).

Die signifikant von 0 verschiedenen Koeffizienten tragen das erwartete Vorzeichen, sind die Ergebnisse wie folgt zu interpretieren: Während bei der Minergie-Zertifizierung die bessere Gebäudehülle zur Reduktion des Wärmebedarfs führt, sind dies beim Serverausrüstungsgrad die vorhandenen Abwärmelasten, welche für Heizzwecke genutzt werden (Wärmerückgewinnung). Wiederum zeigt sich eine grosse Streubreite beim Glasanteil, was auf grosse Unterschiede bei der Qualität der eingesetzten Gläser hindeutet. Keinen klaren Einfluss zeigt die Ausstattungsvariable für Lüftung, Klima und Befeuchtung. Dies deckt sich mit den in Kapitel 2.2.3 und Kapitel 2.4.3 dargestellten Resultaten. Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Erklärung der Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) und Ihre Wirkung sind in Abbildung 19 dargestellt. So ergibt sich beispielsweise für das Gebäudebaujahr folgender Einfluss:

- Baujahr bis 1980: Wert 0 x Faktor $-82 \text{ MJ/m}^2 = 0 \text{ MJ/m}^2$ (kein Einfluss)
- Baujahr 1981 bis 1990: Wert 1 x Faktor -82 MJ/m^2 d.h. Reduktion von E_{hww} um -82 MJ/m^2
- Baujahr ab 2000: Wert 3 x Faktor -82 MJ/m^2 d.h. Reduktion der E_{hww} um 246 MJ/m^2

Der als Achsenabschnitt bezeichnete Wert stellt dabei den Basiswert dar, wenn alle anderen Faktoren gleich Null sind und beträgt rund 400 MJ/m^2 .

In Abbildung 20 werden die ermittelten Parameter zudem für einige Gebäude beispielhaft aufgezeigt.

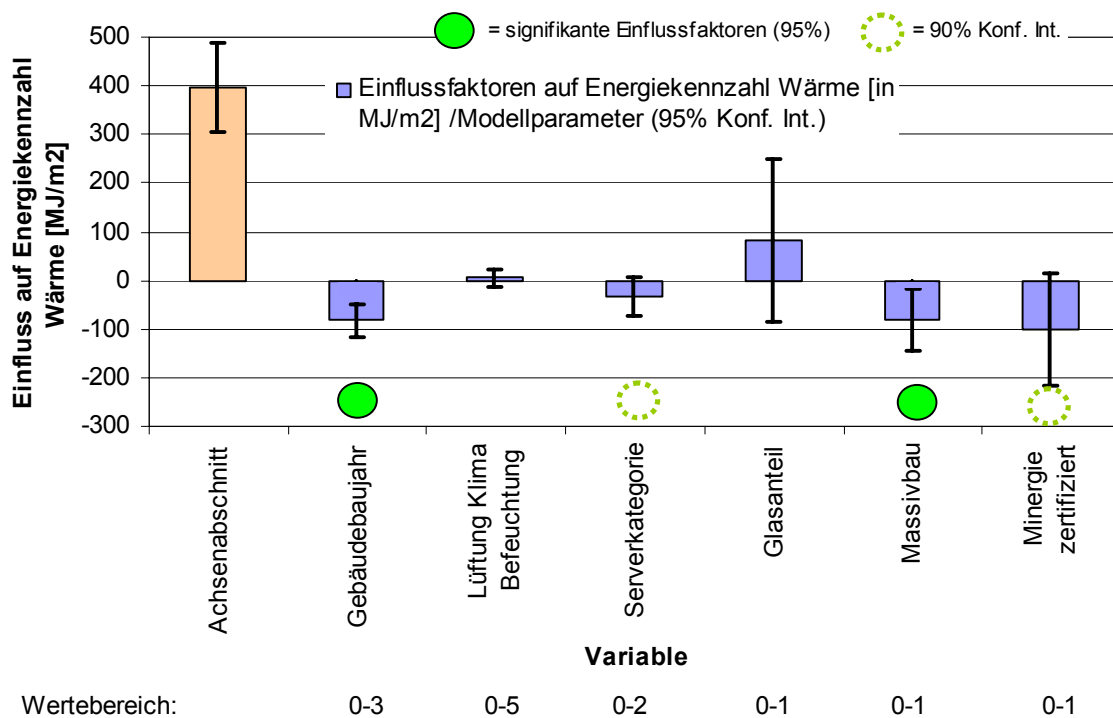


Abbildung 19: Relevanz der Einflussfaktoren auf die Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) (Regressionsanalyse mit $n = 93$ Gebäuden)

Abbildung 20 zeigt die ermittelten Einflussfaktoren angewendet für 6 typische Gebäudebeispiele. Dabei wurden die signifikanten Einflussfaktoren aus Abbildung 19 variiert (Baujahr, Massivbau Ja/Nein, Minergie Ja/Nein) und das Resultat des Kennwertmodells mit den Daten aus der Erhebung verglichen. Für die nicht signifikanten Einflussfaktoren wurde ein häufig vorkommender Wert eingesetzt²⁰. Bei den untersuchten sechs Gebäudebeispielen zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Werten aus der Erhebung (Mittelwerte). Für einige der dargestellten Gebäudetypen sind nur wenige Messdaten verfügbar, was damit eine grössere Unsicherheit des erhobenen Gebäudewertes bedeutet.

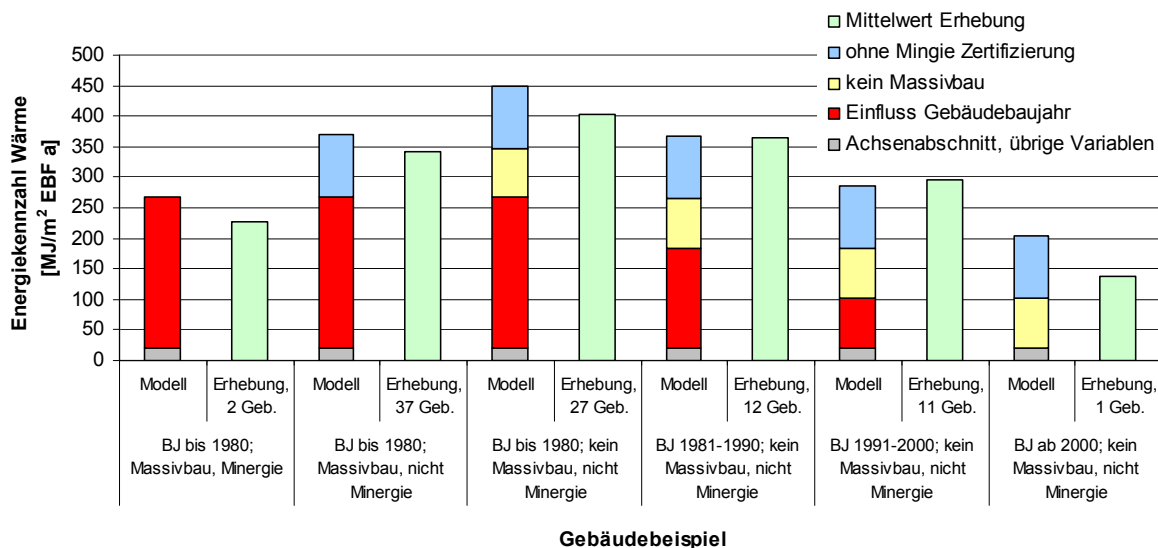


Abbildung 20: Gebäudebeispiele für Kennwertmodell zur Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) Vergleich mit der Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) aus der Erhebung

²⁰ Glasanteil 50% (Wert 0.5), teilweise belüftet / klimatisiert (Wert 2), ohne Server (Wert 0)

2.6. VERGLEICH DER ENERGIEKENNZAHL E_{EL} MIT WERTEN AUS DER SIA 2024

In der folgenden Grafik (Abbildung 21) ist die Energiekennzahl Elektrizität in Abhängigkeit von den berechneten Standardwerten gemäss der SIA 2024 aufgetragen. Die Berechnung der Standardwerte erfolgte aufgrund der verfügbaren Flächenangaben zu den einzelnen Nutzungen. Die Umrechnung von Geschossfläche zu Nutzfläche²¹ erfolgte mit einem Faktor von 0.9. Für die Serverräume erfolgte die Berechnung wenn vorhanden über die Fläche des Serverraumes. Die Serverraumfläche war nicht immer bekannt, dafür aber die Serverleistung. In diesen Fällen wurde die Leistung mit dem Kennwert für die Standardnutzung²² (500 W/m^2) umgerechnet.

Aus Abbildung 21 zeigt sich, dass insbesondere mehrheitlich belüftete und klimatisierte Gebäude oft deutlich über dem Standardwert gemäss der SIA 2024 liegen. Für die nur teilweise oder nicht belüfteten Gebäude liegen die effektiven Energiekennzahlen näher am Standardwert der SIA 2024. Bei einigen Gebäuden wird der Wert sogar deutlich unterschritten. Bei den separat dargestellten Gebäuden mit grossen Serveranlagen ($> 2 \text{ W/m}^2$ BGF Serverleistung) liegen die effektiven Energiekennzahlen in vielen Fällen leicht bis deutlich über dem Standardwert gemäss der SIA 2024. Zudem ist eine hohe Streuung der Werte vorhanden. Dies kann mit den in diesen Gebäuden oft hohen bzw. unterschiedlichen Leistungsdichten in den Serverräumen zusammenhängen.

Es ist jedoch anzumerken, dass die Berechnung des SIA 2024 Standardwertes ebenfalls mit grösseren Unsicherheiten behaftet ist, da bei den meisten Gebäuden die genaue Nutzung nicht bekannt war und der Kennwert daher nur über die relativ groben Flächenanteile berechnet wurde. Dies kann insbesondere bei den EDV-Räumen aber auch bei Mensaküchen zu grösseren Abweichungen führen. Daher werden in Abbildung 21 und in Abbildung 22 die Gebäude mit grossen Serveranlagen separat dargestellt. Im Weiteren ist anzumerken, dass der grösste Teil der Gebäude 10 Jahre und älter ist und daher nicht direkt an den SIA Werten gemessen werden darf.

Abbildung 22 zeigt die Resultate gruppiert nach der Intensität der technischen Gebäudeausrüstung. Zum einen zeigt sich die Zunahme der effektiven Verbrauchswerte mit dem Ausrüstungsgrad und zum anderen die deutlich höhere Abweichung vom SIA-Wert bei mehrheitlich klimatisierten und belüfteten Gebäuden (ca. Faktor 2). Im Weiteren ist die hohe Streubreite auffällig, welche insbesondere durch die EDV Server zu begründen ist. Die Aufteilung auf Teilflächen in zeigt in Abbildung 22 deutlich, dass die Nutzung "Serverraum" einen grossen Einfluss auf das berechnete Resultat hat.

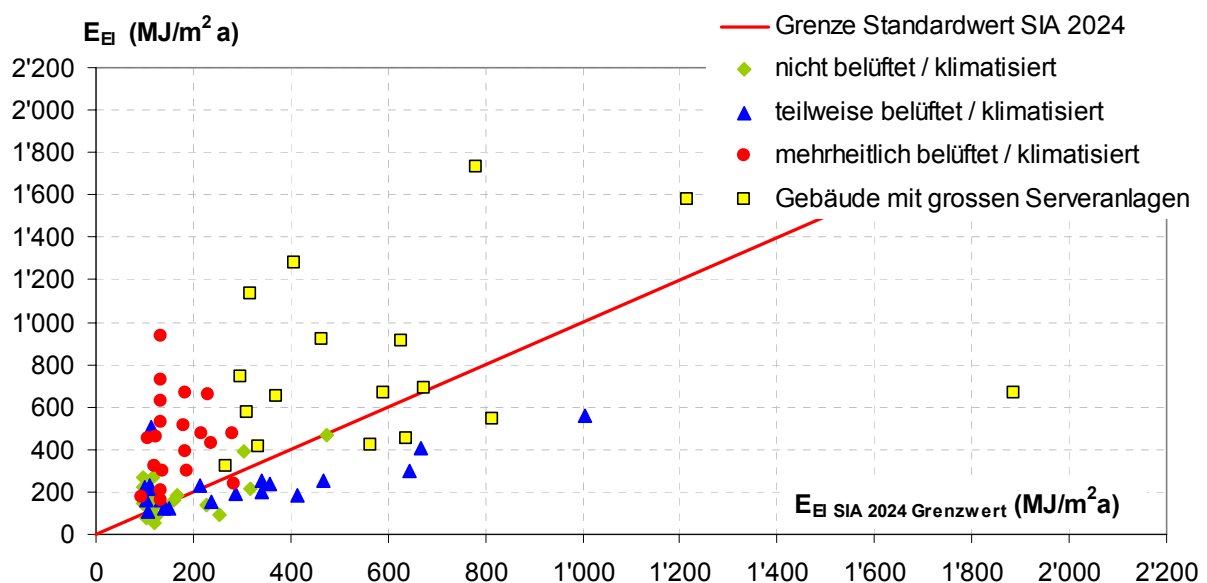


Abbildung 21: Energiekennzahl Elektrizität gruppiert nach Belüftung und /oder Klimatisierung (n = 86 Gebäude)

²¹ Alle Flächenbezogenen Angaben in SIA 2024 beziehen sich im Gegensatz zu SIA 380/4 auf die Nettogeschossfläche

²² Leistung bezogen auf die Nettogeschossfläche für Standardnutzung der Kategorie "Serverraum" gemäss SIA 2024

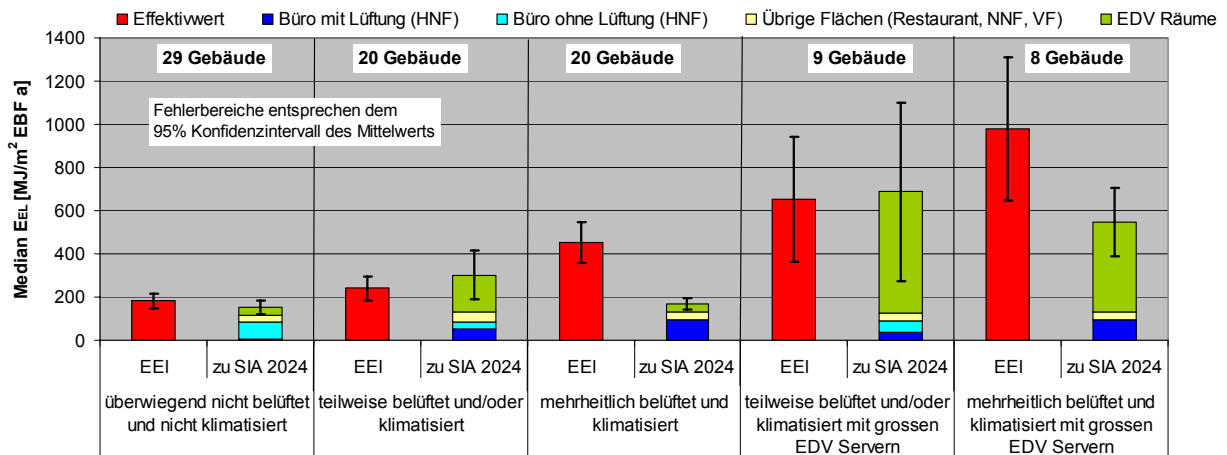


Abbildung 22: Vergleich der Energiekennzahl E_{EL} mit dem berechneten Wert nach SIA 2024, Basis: Standardwerte von SIA 2024 (n = 86 Gebäude)

Tabelle 9 zeigt den Vergleich der erhobenen Daten zum einen mit den Standardwerten gemäss SIA 2024 sowie zum anderen den Angaben in der Norm SIA 380/4 (Elektrizität) bzw. 380/1 (Wärme). Die Differenzen zwischen den Werten berechnet auf Basis der Standardnutzung gemäss SIA 2024 und den Werten gemäss SIA 380/4 sind insbesondere auf den hohen Strombedarf von EDV-Räumen (und deren Kühlung) zurückzuführen. Dies zeigt sich auch in den berechneten Werten nach SIA 2024, welche für Gebäude mit grösseren Serverräumen zu stark erhöhten Standardverbräuchen führen, was sich im dargestellten Resultat in einem breiten Konfidenzintervall des Mittelwertes äussert. Aus diesem Grund werden in Tabelle 9 die Resultate der Gebäude mit grossen EDV-Servern separat dargestellt.

Tabelle 9 Vergleich der erhobenen Energiekennzahl mit den Werten der SIA

	Energiekennzahl Wärme [MJ/m² a]	Energiekennzahl Elektrizität [MJ/m² a]				
		überwiegend nicht belüftet und nicht klimatisiert	keine grossen EDV Server *)		mit grossen EDV Server *)	
			teilweise belüftet und/oder klimatisiert	mehrheitlich belüftet und klimatisiert	teilweise belüftet und/oder klimatisiert	mehrheitlich belüftet und klimatisiert
SIA 2024: Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwerts **)	-	154 +/- 33	303 +/- 113	168 +/- 26	687 +/- 415	979 +/- 330
Erhebung: Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwerts **)	339 +/- 32	182 +/- 35	241 +/- 56	453 +/- 94	652 +/- 289	547 +/- 157
Anzahl Einbezogene Gebäude	123	29	20	20	9	8
SIA 380/1 (2001), SIA 380/4 (2006)	200-259 ^{a)}	128 ^{b)}	150 ^{c)}		kein Wert	
SIA 380/1 (1988), SIA 380/4 (1995)	340-390 ^{a)}	110 ^{b)}	180-320 ^{d)}		(320) ^{e)}	
*) Als grosse EDV Server wurden Serverleitungen von > 2 W/m² BGF bezeichnet. **) Mittelwert und 95% Konfidentintervall des Mittelwertes Messwerte bzw. der berechneten Objektwerte basierend auf SIA 2024 Standardwerten a) Wertebereich der Grenzwerte gem. SIA 380/1 auf Basis Endenergie (Tabellen im Anhang der Norm) b) Wert für Beispielgebäude ohne Lüftung/ Klimatisierung und ohne EDV Server c) Wert für Beispielgebäude mit Lüftung / Klimatisierung aber ohne EDV Server d) Wert für Gebäude mit Lüftung / Klimatisierung; tiefer Wert ohne EDV-Server, hoher Wert mit EDV Server (ca. 2 W/m² BGF) e) Wert von 320 MJ/m² ais SIA 380/4 (1995) beinhaltet nur übliche EDV-Server (bis ca. 2 W/m² BGF)						

In Abbildung 23 sind nur diejenigen Gebäude mit einem Baujahr nach 2000 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass vor allem bei den Teilenergien für Lüftung und Klimatisierung die Werte gemäss SIA 2024 teilweise deutlich überschritten werden. Bei der Beleuchtung hingegen lagen die verfügbaren Kennzahlen im Bereich oder unter den Standardwerten von SIA 2024. Es ist jedoch anzumerken, dass die Zahl der Gebäude zu denen detaillierte Angaben verfügbar waren sehr gering ist und daher diese Aussage nicht verallgemeinert werden kann.

Zumindest bei zwei Gebäuden war die gemessene Energiekennzahl Elektrizität im Bereich des Standardwertes gemäss SIA 2024 (Gebäude 23 und 36). Es ist dabei festzuhalten, dass beide Gebäude im Minergie-Standard erstellt wurden.

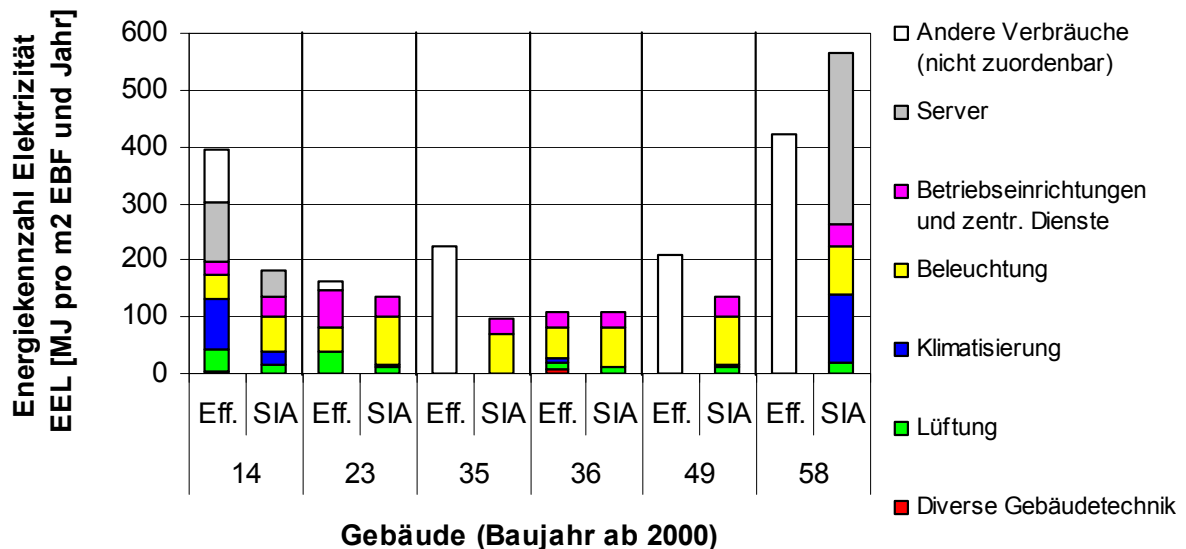


Abbildung 23: Vergleich der Energiekennzahl E_{EL} mit Werten aus der SIA 2024, BJ ab 2000

2.7. VERGLEICH EMPIRISCH BESTIMMTER ENERGIEKENNZAHLEN MIT GEBÄUDESIMULATIONEN

Die aus den empirisch erhobenen Daten abgeleiteten Kennwerte können mit solchen aus gebäudephysikalischen Simulationen verglichen werden. Solche wurden im Rahmen des Projekts „Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten“ [12] durchgeführt.

Im Bereich Brennstoffe liegen die Werte aus der Erhebung zwischen 260 und 430 MJ/m²a (inkl. Konfidenzintervall des Mittelwerts). Demgegenüber liegen die Werte aus den Simulationen zwischen 500 und 650 MJ/m²a im Fall von nicht erneuerten Gebäude des Gebäudebestands und zwischen 100 und 200 MJ/m²a im Fall von erneuerten Gebäuden (Tabelle 10).

Im Fall der nicht-erneuerten Gebäuden liegen die empirischen Werte unter denjenigen der Simulationen,²³ Dies ist insofern plausibel, als dass bei den Annahmen der Gebäudesimulationen von alten Gebäuden mit vollständig ungedämmten Fassaden und alten Fenstern ausgegangen werden (und im Fall der belüfteten Gebäuden von Anlagen ohne WRG), was mutmasslich nicht mehr dem Durchschnitt des Gebäudebestandes entspricht. Zudem sind in der Stichprobe der Erhebung auch Gebäude aus jüngeren Bauperioden enthalten, welche in der Regel effizienter sind als die nicht-erneuerten Gebäude der früheren Bauperioden.

Auf der anderen Seite liegen die Werte der Erhebung über denjenigen der Simulationsergebnisse der erneuerten Gebäude. Dies ist ebenfalls plausibel, denn es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die in die Erhebung einbezogenen Gebäude bereits vollständig erneuert sind. Interessant zu bemerken ist, dass die rund 15% bis 20% der Gebäude aus der Erhebung mit den geringsten Werten in etwa den Simulationsergebnissen der erneuerten Gebäude entsprechen. Obwohl es sich bei den Gebäuden mit den geringsten Werten nicht notwendigerweise bei allen um erneuerte Gebäude handelt (und geringe Werte auch aufgrund der statistischen Streuung zustande kommen können), deutet dies doch darauf hin, dass die simulierten Werte in der Praxis tatsächlich erreicht werden können, bzw. dass die Simulationsergebnisse durch die empirischen Werte validiert werden können. Zumindest kann von einer Konsistenz zwischen den empirischen und den simulierten Werten gesprochen werden.

²³ Beim Vergleich ist zu berücksichtigen, dass im Grenzkostenprojekt Büroräume eines einzelnen Stockwerks und nicht ganze Gebäude simuliert wurden. Da Grund- und Dachgeschosse nicht simuliert wurden, hat dies Wärmebereich eine Unterschätzung des spezifischen Bedarfs zur Folge, weil die entsprechenden Transmissionsverluste nicht einbezogen wurden. Auf der anderen Seite wurden keine innen liegende Räume berücksichtigt, wodurch eine Überschätzung entsteht

Tabelle 10 Vergleich der erhobenen Energiekennzahl Brennstoffe mit den Werten aus dem Grenzkostenbericht (Simulationsergebnisse)

	Mehrheitlich belüftet und klimatisiert MJ/m ² a	Teilweise belüftet oder klimatisiert MJ/m ² a	Überwiegend nicht belüftet / nicht klimatisiert MJ/m ² a
Erhebung ^{a)}	359 +/- 69	314 +/- 53	341 +/- 49
Grenzkostenbericht, Ausgangslage ^{b)}	600 - 650		500 - 650
Grenzkostenbericht, erneuert ^{b)}	100 - 150		100 - 200

^{a)} Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwertes

^{b)} Wertebereich für Gebäudebestand

Beim Vergleich der Strom-Energiekennzahl ist zu berücksichtigen, dass die Vergleichbarkeit zwischen Simulationsergebnissen und erhobenen Werten aufgrund der unterschiedlichen Vollständigkeit der einbezogenen Energieanwendungen nicht vollumfänglich gegeben ist. Bei den Ergebnissen der Simulationsrechnungen des Grenzkostenprojekts [12] ist nur diejenige Elektrizitätsnachfrage enthalten ist, welche direkt mit den Büroraumnutzungen zusammen hängt. Dies betrifft zum einen Stromanwendungen, welche direkt in den Räumen genutzt werden und damit zu den internen Wärmelasten beitragen (Beleuchtung, Arbeitsgeräte) und zum anderen Lüftungs- und Kühlanlagen. Weitere Verbrauchsgruppen wie z.B. Pumpen, Heizungsgebläse und diverse Gebäudetechnik (Sicherheitsanlagen, Restauration, Lifte etc.) wurden in den Simulationsrechnungen nicht berücksichtigt.²³

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen kann von einer guten Übereinstimmung zwischen Simulation und Erhebung gesprochen werden, v.a. was die nicht belüfteten und klimatisierten Gebäude betrifft (Tabelle 11). Bei den mehrheitlich belüfteten und klimatisierten Gebäuden handelt es sich bei den Gebäuden der Erhebung mutmasslich um technisch hoch ausgerüstete Gebäude mit eher überdurchschnittlicher Ausstattung mit Servern, was die tendenziell etwas höhere Energiekennzahl im Vergleich zu den Simulationsergebnissen erklären mag (abgesehen von den oben erläuterten Gründen der nicht vollständigen Vergleichbarkeit).

Beim Vergleich zu mitberücksichtigen ist die jeweilige Bandbreite der Gebäude im Einzelfall sowie der ermittelten Mittelwerte, welche beträchtlich ist, v.a. bei den mehrheitlich belüfteten und klimatisierten Gebäuden. Zu erinnern ist hierbei an den Umstand, dass der Grad an Belüftung und Klimatisierung nur ein Proxy ist für eine Art von Gebäuden, welche durch eine hohe Technisierung gekennzeichnet ist.

Tabelle 11 Vergleich der erhobenen Energiekennzahl Elektrizität mit den Werten aus dem Grenzkostenbericht (Simulationsergebnisse)

	Mehrheitlich belüftet und klimatisiert MJ/m ² a	Teilweise belüftet oder klimatisiert MJ/m ² a	Überwiegend nicht belüftet / nicht klimatisiert MJ/m ² a
Erhebung ^{a)}	580 +/- 107	355 +/- 101	190 +/- 33
Grenzkostenbericht, Ausgangslage ^{b)}	430 - 580		160 - 220
Grenzkostenbericht, erneuert ^{b)}	110 - 150		90 - 120

^{a)} Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwertes

^{b)} typischer Wertebereich für Gebäudebestand (ohne Pumpen und diverse Gebäudetechnik)

3. Fallstudien zur EKZ von Bürogebäuden

3.1. AUSGANGSLAGE UND VORGEHEN

Für die an der Untersuchung beteiligten Gebäuden liegen nur wenige oder keine Detaildaten zur Aufschlüsselung der Verbrauchsdaten oder zur Bestimmung des Nacht- bzw. Stand-by-Verbrauchs vor. Daher wurde entschieden, den Fokus für die Detailanalyse auf diejenigen Gebäude zu legen, wo entsprechende Angaben verfügbar bzw. mit vertretbarem Aufwand erhebbar waren. Mit einem Fragebogen wurden detaillierte Angaben und Messdaten zum Gebäude und dem Gebäudebetrieb erhoben (z.B. Lastprofil bzw. Anteil Kälte/Klima). Zudem wurden im Rahmen einer Ortsbegehung Details zum Gebäudebetrieb untersucht.

Es wurde untersucht, inwieweit eine Korrelation zwischen dem Stromverbrauch und dem Anlagentyp (Vollklimatisierung, VAV, natürliche Lüftung, etc.) besteht. Das Ergebnis kann als Grundlage zur Verbesserung des Gebäudemanagements bei Neubauten und Sanierungen eingesetzt werden. Folgende Resultate wurden erarbeitet und im Schlussbericht dokumentiert:

- Energiekennzahl Strom für die verschiedenen Gebäudegruppen
- Anteil Verbrauch Nachts und an Wochenenden (Lastprofil)
- Anteile einzelner Verbrauchergruppen (Beleuchtung, Lüftung/Klima, etc.)
- Einfluss des Betriebsregimes auf den Energiebedarf

Bei der Begehung festgestellte Handlungsoptionen für die Steigerung der Energieeffizienz wurden analysiert. Für häufig angetroffene oder sehr grosse Potentiale wurden die Effizienzmassnahmen, welche sich für den Gebäudebetreiber ergaben, in den Fallbeispielen dokumentiert.

Um weitere Ergebnisse bezüglich der Teilenergien Elektrizität zu bestimmen, war eine ausführliche Erhebung der Gebäude notwendig. Diese wurde an insgesamt 19 Gebäuden durchgeführt, was sich als sehr aufwändig erwies. Durch methodisches Vorgehen in der Basisanalyse konnten schnell jene Gebäude ermittelt werden, bei denen für die Detailanalyse ausreichend vorhandene Daten zur Verfügung standen. Für die Erfassung der für die Analyse notwendigen Daten wurden mit einem Detailfragebogen die gebäudetechnisch entscheidenden Merkmale, die für den Energieverbrauch wichtig sind, ermittelt. Weitere Daten wurden vor Ort erhoben oder auch durch separate Messungen ermittelt. Da für die Beurteilung der hier zusammengefassten Resultate die Baualtersklasse und die Nutzung der dargestellten Gebäude von Bedeutung ist, sind diese Daten in Tabelle 12 zusammengestellt. In den Graphen werden zusätzlich jeweils diejenigen Gebäude bezeichnet, welche in der jüngsten Baualtersklasse (Baujahr 2001-2006) liegen.

Tabelle 12 Wichtige Kenndaten der detailliert untersuchten Gebäude

Gebäude	EBF [m ²]	Bauperiode	Nutzung	Belüftung	Klimatisierung	zentrale Server
N	22'485	1961-1970	Öffentliche Verwaltung	mehrheitlich	mehrheitlich	keine
K	49'907	2001-2006	Büro übrige Dienstleister	mehrheitlich	mehrheitlich	kleinere
O	30'791	1981-1990	Bank / Versicherung	mehrheitlich	mehrheitlich	grosse
P	17'257	1961-1970	Bank / Versicherung	mehrheitlich	mehrheitlich	keine
J	27'322	1991-2000	Bank / Versicherung	mehrheitlich	nicht	keine
Q	4'274	1961-1970	Büro übrige Dienstleister	mehrheitlich	mehrheitlich	kleinere
I	9'874	1991-2000	Bank / Versicherung	mehrheitlich	nicht	keine
R	2'575	1991-2000	Büro übrige Dienstleister	mehrheitlich	nicht	kleinere
S	2'321	2001-2006	Büro übrige Dienstleister	mehrheitlich	nicht	keine
L	5'700	1961-1970	Bank / Versicherung	mehrheitlich	mehrheitlich	grosse
M	6'403	1961-1970	Büro übrige Dienstleister	mehrheitlich	mehrheitlich	keine
A	6'900	2001-2006	Öffentliche Verwaltung	mehrheitlich	nicht	keine
H	32'010	1991-2000	Öffentliche Verwaltung	nicht	nicht	grosse
C	20'000	1919-1945	Bank / Versicherung	teilweise	teilweise	grosse
F	17'710	1961-1970	Bank / Versicherung	mehrheitlich	mehrheitlich	kleinere
E	17'234	1961-1970	Bank / Versicherung	mehrheitlich	mehrheitlich	kleinere
G	53'378	1991-2000	Bank / Versicherung	mehrheitlich	mehrheitlich	kleinere
D	17'700	1961-1970	Öffentliche Verwaltung	mehrheitlich	mehrheitlich	kleinere
B	16'100	1961-1970	Büro übrige Dienstleister	teilweise	teilweise	grosse

3.2. RESULTATE ZU DEN TEILENERGIEKENNZAHLEN

3.2.1 Übersicht über die Teilenergiekennzahlen der verschiedenen Verwendungszwecke

Abbildung 24 zeigt die Resultate zu den Teilenergiekennzahlen der untersuchten 19 Gebäude. Es zeigen sich starke Unterschiede zwischen den einzelnen Gebäuden. So reicht die Energiekennzahl Elektrizität von etwas über 100 MJ/m² a bis zu mehr als 1100 MJ/m² EBF und Jahr. Auch bei den Teilenergien sind die Unterschiede gross. Anzumerken ist, dass die Gruppe „Andere Verbräuche“ verwendet wurde, wenn gewisse Teilenergien nicht ermittelt werden konnten. Insbesondere trifft dies für die Beleuchtung zu, da dafür oft die notwendigen Zähler oder Erfassungsdaten fehlen.

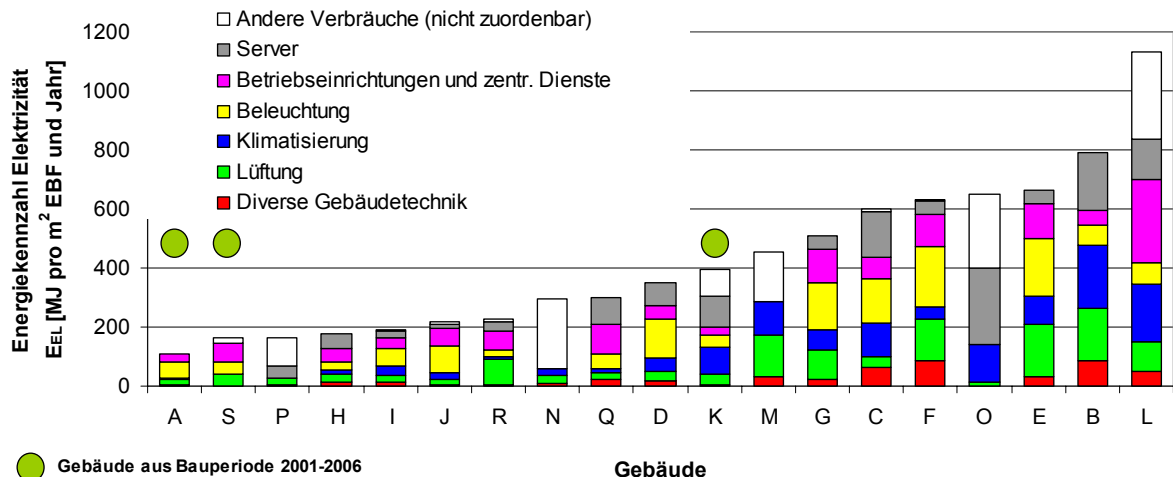


Abbildung 24: Teilenergiekennzahl Elektrizität, Auswertung der Fallstudien (n = 19 Gebäude)

3.2.2 Teilenergiekennzahl Lüftung und Klimatisierung

Die Detailanalyse der Teilenergiekennzahl Lüftung und Klimatisierung zeigt auch hier grosse Unterschiede zwischen den Gebäuden, welche durch das Technikkonzept, interne Lasten etc. verursacht werden. In Abbildung 25 ist neben den Absolutwerten für die Teilenergien für Lüftung und Klimatisierung auch der Anteil dieser Verbraucher am Gesamtstrombedarf aufgetragen. Erstaunlich ist, dass die Werte von 12% bis über 50% des Gesamtstrombedarf reichen. Die Teilenergiekennzahl Lüftung und Klimatisierung reicht von 19 MJ/m² EBF und Jahr (kürzlich erneuertes Gebäude mit hocheffizientem System) bis zu knapp 390 MJ/m² EBF (altes Lüftungs- und Klimasystem mit grossem Potential).

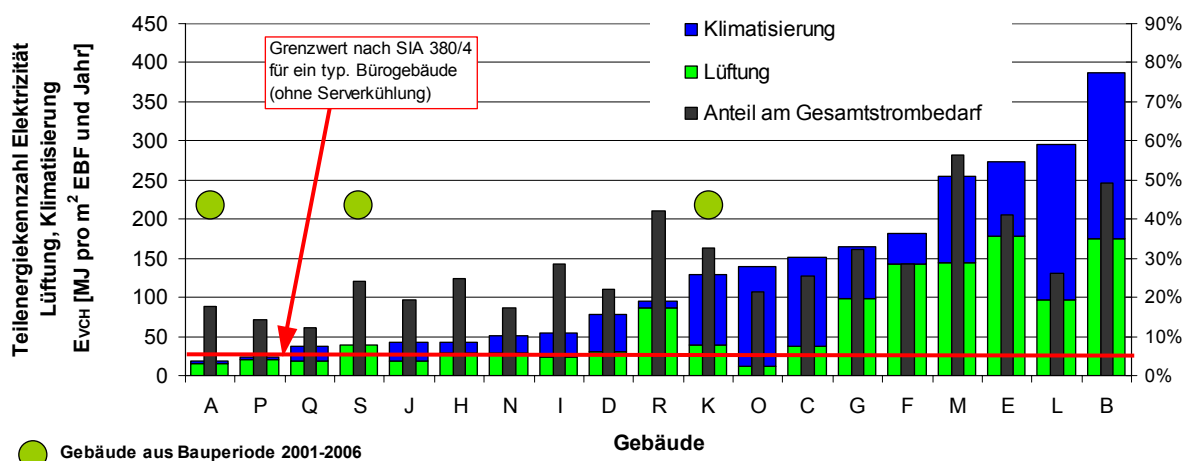


Abbildung 25: Höhe und Anteil der Teilenergiekennzahl Lüftung und Klimatisierung, Auswertung der Fallstudien (n = 19 Gebäude)

Interessant ist auch das Verhältnis vom Strombedarf für die Luftförderung zum Strombedarf für die Klimatisierung. Die Luftförderung reicht von 9% bis zu über 90%. Im Mittel über alle untersuchten Ge-

bäude liegt der Stromanteil für die Luftförderung bei knapp 60%. Der Vergleich mit dem in der SIA 380/4 dargestellten Grenzwert für ein typisches Bürogebäude wird von den meisten untersuchten Gebäuden klar überschritten.

3.2.3 Teilenergiekennzahl Beleuchtung

Die Detailanalyse der Teilenergiekennzahl Beleuchtung zeigt, dass die Beleuchtung ebenfalls einen wichtigen Verbrauchsanteil des Strombedarfs darstellt. Auch hier ist die Spannbreite der angebotenen Verbrauchswerte mit 25 MJ/m² EBF und Jahr bis 200 MJ/m² EBF und Jahr gross. In Abbildung 26 ist neben den Absolutwerten für die Teilenergie Beleuchtung auch der Anteil dieser Verbraucher am Gesamtstrombedarf aufgetragen. Die Anteile liegen zwischen 6% bis zu über 50% des Gesamtstrombedarfs (im Mittel 25%). Interessant ist, dass sowohl beim Gebäude mit dem höchsten absoluten Beleuchtungsstrombedarf (Gebäude F) wie auch beim Gebäude mit dem höchsten relativen Bedarf (Gebäude A) eine Reduktion um ca. 15% als realistisch angesehen wird. Der Vergleich mit dem in der SIA 380/4 dargestellten Grenzwert für ein typisches Bürogebäude zeigt, dass immerhin gut 50% der Gebäude diesen Wert erreichen.

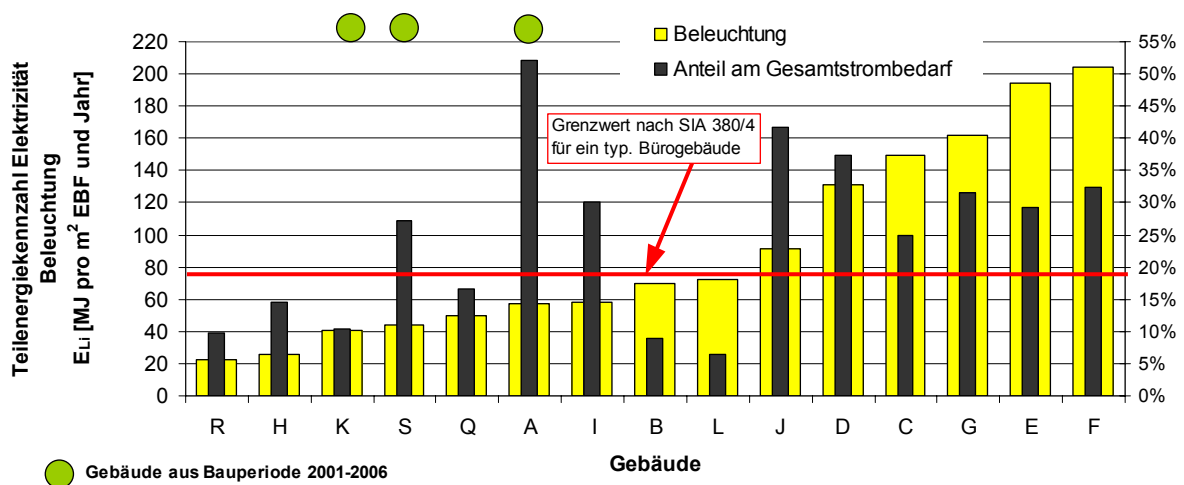


Abbildung 26: Höhe und Anteil der Teilenergiekennzahl Beleuchtung, Auswertung der Fallstudien (n = 15 Gebäude)

3.2.4 Teilenergiekennzahl Betriebseinrichtungen

Die Detailanalyse der Teilenergiekennzahl Betriebseinrichtungen ist bei mehreren der Gebäude recht ähnlich (Abbildung 27). Allerdings wurde auch hier in einem Gebäude ein Bedarf von gut 280 MJ/m² EBF ermittelt. Dieser deutlich höhere Wert kommt von der hoch installierten Arbeitsumgebung, welche in diesem Betrieb für die Arbeiten notwendig ist.

Etwa die Hälfte der Gebäude liegt im Bereich des in der SIA 380/4 dargestellten Grenzwertes für ein typisches Bürogebäude von knapp 45 MJ/m² EBF. Bezüglich dem Anteil der Betriebseinrichtungen am Gesamtstrombedarf ist dieser Anwendungsbereich mit 6% bis fast 40% des Gesamtstrombedarfs ebenfalls bedeutend (im Mittel gut 20%). Im Strombedarf für die Betriebseinrichtungen ist der Verbrauch für zentrale Serveranlagen nicht enthalten. Dieser wird nachfolgend in einem separaten Abschnitt erläutert.

Auffallend aber eigentlich zu erwarten ist, dass die Gebäude mit den höheren Teilenergiekennzahlen für Betriebseinrichtungen alles Gebäude von Banken oder Versicherungen sind, da dort eine hohe Dichte an Arbeitsplatzinformatik mit entsprechenden Stromverbräuchen zu erwarten ist.

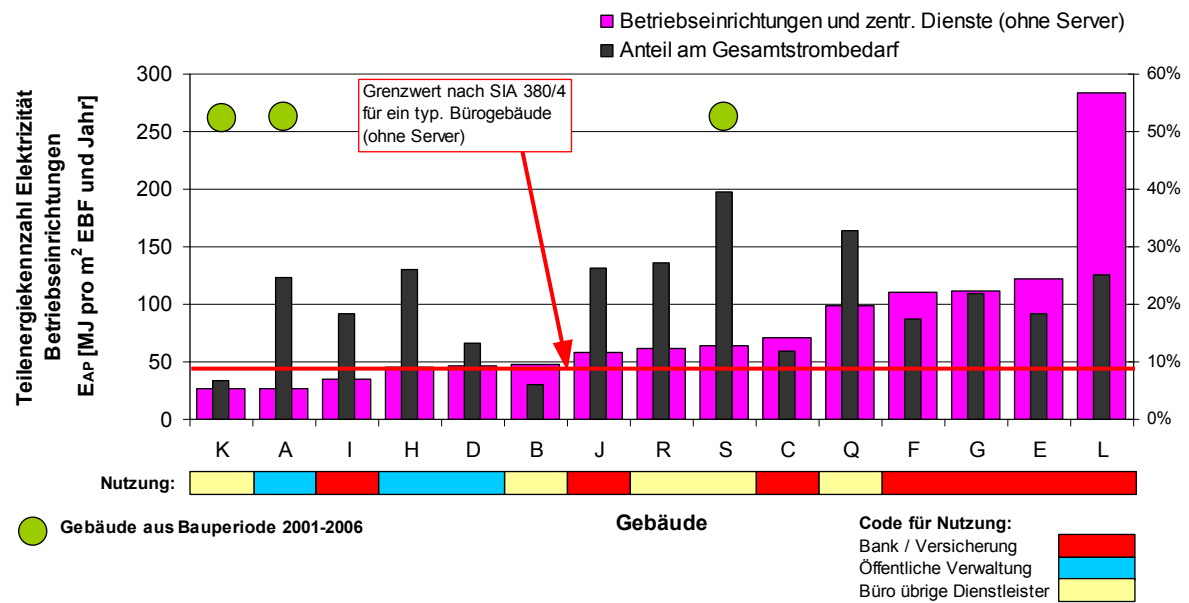


Abbildung 27: Höhe und Anteil der Teilenergiekennzahl Betriebseinrichtungen (Arbeitshilfen), Auswertung der Fallstudien (n = 15 Gebäude)

3.2.5 Teilenergiekennzahl Serverstrom

Die Detailanalyse der Teilenergiekennzahl für den Serverstrombedarf wird separat vom übrigen Strom für Betriebseinrichtungen behandelt, da diese Verbraucher Einfluss auf die Kälteerzeugung und den Gesamtstrombedarf nehmen können. Die festgestellten Verbrauchswerte reichen von 15 MJ/m² EBF bis zu 260 MJ/m² EBF. Zusätzlich ist für den Serverbetrieb im Normalfall noch eine Kälteanlage mit einem Kältebedarf in ähnlicher Grössenordnung notwendig (in der Teilenergiekennzahl Klimatisierung enthalten). In Abbildung 28 sind neben den Absolutwerten für die Teilenergie Server auch der Anteil am Gesamtstrombedarf dargestellt. Dieser liegt bei 7-40% des Gesamtstrombedarfs (im Mittel bei etwa 20%).

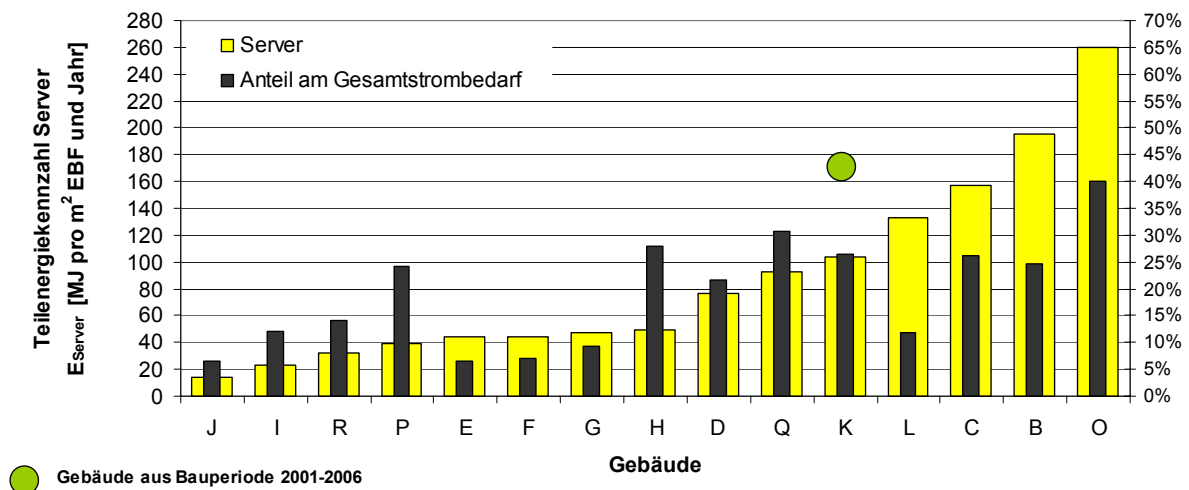


Abbildung 28: Höhe und Anteil der Teilenergiekennzahl Server (Betriebseinrichtungen), Auswertung der Fallstudien (n = 15 Gebäude)

3.2.6 Teilenergiekennzahl Diverse Gebäudetechnik

In der Teilenergiekennzahl diverse Gebäudetechnik sind neben Hilfsaggregaten (Pumpen, Brenner) auch Transporteinrichtungen (Lifts und Warenaufzüge) enthalten. Dieser Anteil ist nicht zu unterschätzen, wie Abbildung 29 zeigt.

Die festgestellten Verbrauchswerte reichen von 3 MJ/m² EBF bis zu knapp 90 MJ/m² EBF, was eine grosse Spanne darstellt. Auch bezüglich Anteil am Gesamtverbrauch reichen die Werte von 1% bis 14%. Im Gebäude mit dem höchsten relativen Anteil (Gebäude F) wird für eine Optimierung eine Reduktion um ca. 20% als realistisch angesehen. Der Vergleich mit dem in der SIA 380/4 dargestellten Grenzwert für ein typisches Bürogebäude zeigt, dass nur in drei Gebäuden der Grenzwert erreicht wird. In dieser Kategorie liegt daher vermutlich noch ein grösseres Effizienzpotential, welches in Zukunft zu nutzen ist.

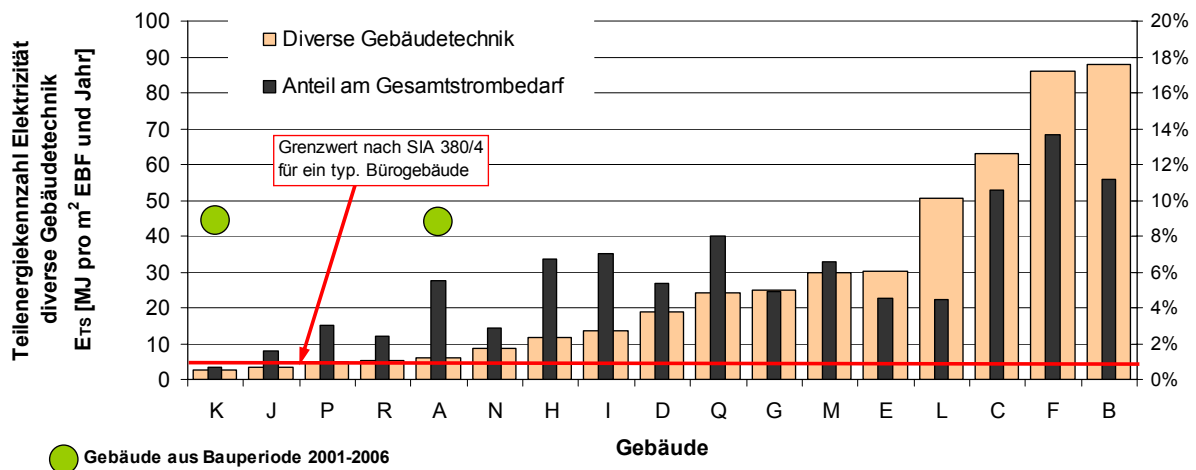


Abbildung 29: Höhe und Anteil der Teilenergiekennzahl Diverse Gebäudetechnik, Auswertung der Fallstudien (n = 17 Gebäude)

3.2.7 Zusammenfassung der Teilenergiekennzahlen, Vergleich mit Simulationsergebnissen

Im Quervergleich zwischen den verschiedenen Verwendungszwecken fällt bei den analysierten Fallstudien der hohe Anteil der Arbeitshilfen und Server auf: mehr als 200 von gut 400 MJ/m²a und damit rund die Hälfte werden durch diesen Anwendungsbereich verbraucht (Tabelle 13). Dies ist umso bemerkenswerter, als dass es sich bei den meisten dieser Fallstudien um mehrheitlich belüftete und häufig auch klimatisierte Gebäude handelt (Tabelle 12); bei Gebäuden ohne diese Technisierung ergäbe sich rein rechnerisch ein noch höherer Anteil. Anzufügen ist hierbei jedoch, dass Gebäude mit hohen Verbrauchswerten bei Arbeitshilfen und Server es in der Regel aus Komfortgründen erforderlich machen, dass Lüftungen und Kühlungen aus Komfortgründen installiert werden (um interne Wärmelasten zu kompensieren).

Bei den Simulationsrechnungen basieren die entsprechenden Werte für Arbeitshilfen auf Annahmen, wobei aus simulationstechnischen nur raumbezogene Geräte einbezogen wurden („interne Wärmelasten“). Insbesondere zentrale Serverräume sind nicht Bestandteil der Annahmen. Damit lässt sich auch der Unterschied zwischen den erhobenen Werten und den Annahmen der Simulationsrechnungen erklären. Beim Vergleich ist auch die unterschiedliche Flächendefinition zu berücksichtigen: beim Grenzkostenbericht [12] wurden nur eigentliche Büroräume berücksichtigt, währenddem bei Fallstudien die gesamte Energiebezugsfläche der Gebäude als Bezugsgrösse zugrunde gelegt wurde.

Beim Verwendungszweck Beleuchtung liegen die Simulationsergebnisse beim nicht-erneuerten Gebäudebestand (als „Ausgangslage“ bezeichnet) mit 100 bis 160 MJ/m²a eher über den erhobenen Teilkennzahlen (rund 60 bis 130 MJ/m²a), bei erneuerten Gebäuden mit 40-80 MJ/m²a jedoch darunter. Unter Berücksichtigung der festgestellten Effizienzpotenziale und mutmasslich bereits erneuerter Beleuchtungen bei den Fallstudien können die Ergebnisse als konsistent bezeichnet werden.

Beim Bereich Lüftungen und Kühlungen liegen die Simulationsergebnisse in der Summe beim nicht-erneuerten Gebäudebestand deutlich höher als die empirischen Werte, bei den erneuerten Gebäuden deutlich tiefer. Beim Vergleich zu berücksichtigen ist wiederum die unterschiedliche Flächendefinition (im Grenzkostenbericht nur Büroräume) sowie der Umstand, dass so genannte Verkehrsflächen (insbesondere Korridore) nicht direkt belüftet werden. Zudem sind in der Stichprobe der Fallstudien nicht alle Gebäude vollständig belüftet.

In der Summe über alle Verwendungszwecke können die Werte zwischen Erhebung und Simulationen als konsistent bezeichnet werden, wobei der untere Wertebereich bei den Simulationen eher geringer ist als der 95%-Konfidenzwert des Mittelwerts der Stichprobe. Anzumerken ist diesbezüglich jedoch, dass auch bei den Fallstudien eine beachtliche Anzahl Gebäude Gesamtwerte von 100 bis 200 MJ/m²a aufweisen (je nach Technisierungsgrad und bereits durchgeführten Effizienzmassnahmen) und nicht alle Gebäude belüftet und gekühlt sind, womit wiederum die Konsistenz gegeben ist.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass zwischen empirischen Erhebungen und Simulationsergebnisse eine recht gute Konsistenz besteht, wobei beim Vergleich auf die unterschiedlichen Randbedingungen und die Zusammensetzung der Stichprobe und der simulierten Fallbeispiele zu beachten ist.

Tabelle 13 Zusammenfassung der Teilenergiekennzahlen der detailliert untersuchten Gebäude und Vergleich mit Ergebnissen von Simulationsrechnungen (Grenzkostenbericht Jakob et al. 2006 [12])

Teilenergiekennzahl Elektrizität	Erhebung ^{a)}	Bericht Grenzkosten ^{b)}	
	Fallstudien ^{c)} MJ/m ² a	Gebäudebestand, Ausgangslage MJ/m ² a	Gebäudebestand, erneuert MJ/m ² a
Arbeitshilfen, Server ^{d)}	206 +/- 98	40 - 120	30 - 60
Beleuchtung	91 +/- 34	100 - 160	40 - 80
Lüftung (Luftförderung)	65 +/- 28	160 - 290	15 - 30
Kühlung	68 +/- 32	20 - 50	10 - 30
Gesamt (ohne WP), ganze Stichprobe	422 +/- 129	180 - 530	90 - 150
Nicht belüftet und gekühlt		160 - 220	90 - 120
Belüftet und gekühlt		430 - 580	110 - 150

a) Mittelwert und 95% Konfidenzintervall des Mittelwertes
 b) Wertebereich aus Untersuchung
 c) Teilweise und mehrheitlich klimatisierte oder belüftete Gebäude. Fallzahl 15-19 (je nach Teilenergiekennzahl)
 d) Beinhaltet bei den Werten der Erhebung neben Arbeitshilfen und Server auch zentrale Dienste (z.B. Telefonzentrale) sowie diverse Gebäudetechnik (Lift, Pumpen, etc.), bei den Simulationsergebnissen jedoch nur Büroraum bezogene Geräte

3.3. RESULTATE ZUM NACHT- UND WOCHENENDVERBRAUCH

In 13 Gebäuden konnte der Anteil am Strombedarf ausserhalb der Belegungszeit ermittelt werden. Im Weiteren wurde der Nacht- und Wochenendverbrauch ermittelt und wie er sich zusammensetzt. Damit ist eine Voraussetzung gegeben um den unnötigen Stromverbrauch ausserhalb der Belegungszeit zu minimieren oder um den Bedarf in notwendigen Anlagen zu optimieren. Abbildung 30 zeigt in der Übersicht die ermittelten Nacht- und Wochenendverbräuche sowie ihre Anteile. Im Mittel liegt der Verbrauch bei etwa 40% des Gesamtverbrauchs. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Wert (36%), welcher 1999 in einer Untersuchung an 32 Bürogebäuden ermittelt wurde [11].

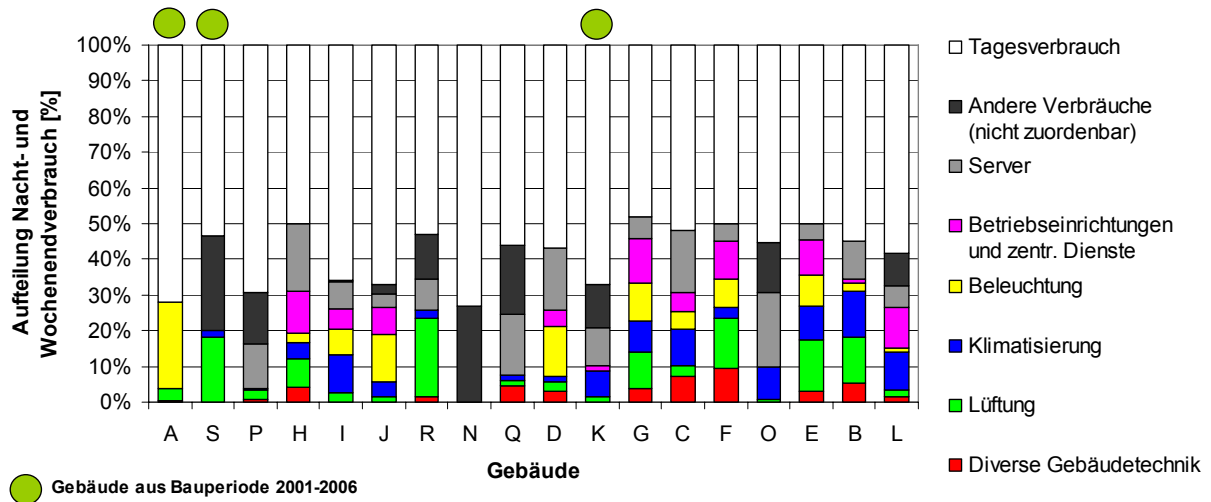


Abbildung 30: Anteil und Aufteilung des Nacht- und Wochenendverbrauchs, Auswertung der Fallstudien (n = 18 Gebäude)

Abbildung 31 zeigt die Verbrauchsanteile nachts (20:00 - 6:00 Uhr) und am Wochenende skaliert auf 100%. Dadurch ist gut ersichtlich, welche Anteile in welchem Ausmass auftreten (relativ). Auffallend ist, dass in vielen Fällen der Anteil der Beleuchtung relativ hoch ist. Im Mittel liegt der Anteil bei etwa 20% des Nacht- und Wochenendverbrauchs. In einem Fall liegt der Anteil sogar bei 86%, wobei sich in diesem Fall der absolute Wert (in MJ/m²) trotzdem im Mittelfeld befindet. Der prozentuale Anteil ist deshalb sehr hoch, da das Gebäude eine sehr tiefe Energiekennzahl Elektrizität aufweist.

Aufgrund der fehlenden Notwendigkeit für eine flächendeckende Beleuchtung in dieser Zeit, dürfte in diesem Bereich in vielen Gebäuden ein noch grösseres Einsparpotential vorhanden sein. Ebenfalls von Bedeutung ist der Verbrauch von Lüftungs- und Kälteanlagen. Hier ist jedoch zu beachten, dass insbesondere die Kälteproduktion nachts u.U. betriebsnotwendig oder aber auch aus Effizienzgründen (Free cooling bzw. besserem COP nachts) notwendig sein kann. In solchen Fällen ist dieser Strombedarf nicht unerwünscht. Bei den Lüftungsanlagen können insbesondere nicht korrekte Einstellungen der Geräte zu einem hohen unnötigen Verbrauch führen. Dies dürfte vor allem bei den Gebäuden mit einem hohen Anteil des Lüftungsstrombedarfs am Nacht- und Wochenendverbrauch der Fall sein. Im Mittel liegt der Anteil bei etwa 15% des Nacht- und Wochenendverbrauchs. In einzelnen Fällen liegt der Anteil mit etwa 40-50% deutlich höher.

Vom mittleren Anteil am Nacht- und Wochenendverbrauch sind auch Betriebseinrichtungen (Arbeitshilfen) und die Server von Bedeutung. Während für die Server neue Konzepte zu deutlichen Einsparungen führen können, liegt der Verbrauch der Arbeitshilfen oft an nicht optimal eingestellten Geräten (Stand-by-Modus) oder am Einsatz von Geräten mit hohem Stand-by-Verbrauch. So wurde beispielsweise an Büro-PCs bei abgeschalteten Gerät ein Stand-by-Verbrauch von 15 W pro PC gemessen, welcher durch eine permanent in Betrieb stehende Netzwerkkarte verursacht wird. Bei den Betriebseinrichtungen liegt der Verbrauchsanteil bei bis zu 30% des Nacht- und Wochenendverbrauchs (im Mittel 17%). Bei den zentralen Servern liegt der Verbrauchsanteil sogar bei bis zu 50% des Nacht- und Wochenendverbrauchs (im Mittel 25%).

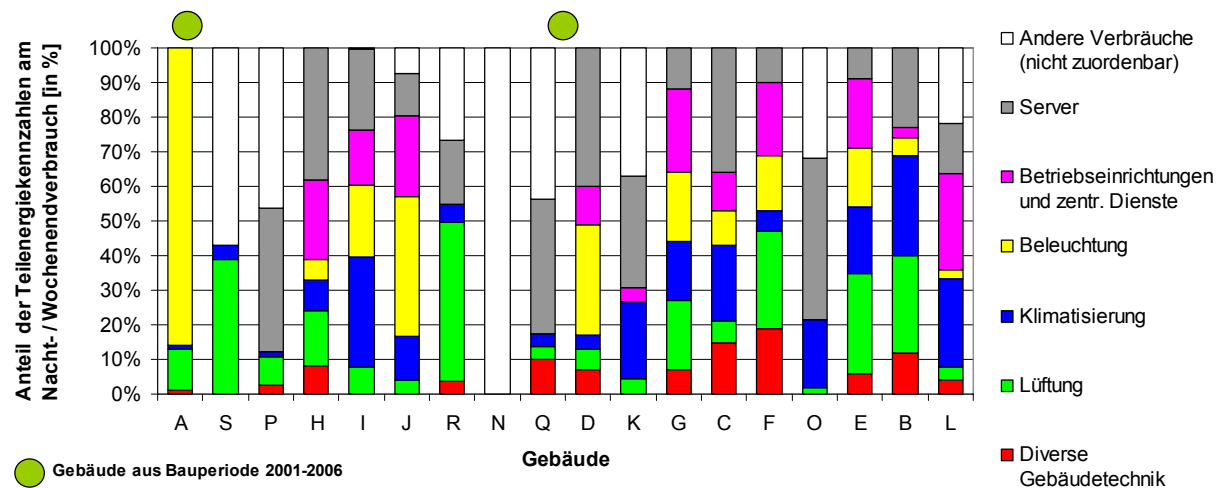


Abbildung 31: Prozentuale Anteile der Teilenergien am Nacht- und Wochenendverbrauch, Auswertung der Fallstudien (n = 18 Gebäude)

3.4. MITARBEITERDICHTEN UND ELEKTRIZITÄTSINTENSITÄT

Die Mitarbeiterdichte in den untersuchten Gebäuden liegt im Mittel bei 35 m² beheizter Geschossfläche (EBF) bzw. 18 m² Hauptnutzfläche pro Mitarbeiter²⁴. Verglichen mit den Werten der SIA 380/4 wird eine durchschnittliche Arbeitsplatzfläche von zehn bis 20 m² pro Arbeitsplatz (HNF) angenommen. Zum Vergleich hat die GEFMA 130 unabhängig vom Bürotyp eine Spannweite von 8 bis 15 m² publiziert [19]. Somit ist festzustellen, dass es sich beim ermittelten Wert im Mittel um durchschnittliche Arbeitsplatzverhältnisse handelt. Dabei variiert die pro Mitarbeiter verfügbare beheizte Geschossfläche von gut 13 m² bis zu über 70 m².

Die Berechnung der Elektrizitätsintensität spiegelt das Verhältnis der Beschäftigtenanzahl mit dem Gesamtelektrizitätsverbrauch (alle Teilenergien) pro Jahr wieder. Folglich verbraucht der Durchschnittsmitarbeiter in den untersuchten Gebäuden im Mittel jährlich ca. 10'870 MJ/MA. Dabei variiert der Wert zwischen 5'850 MJ/MA und 29'015 MJ/MA.

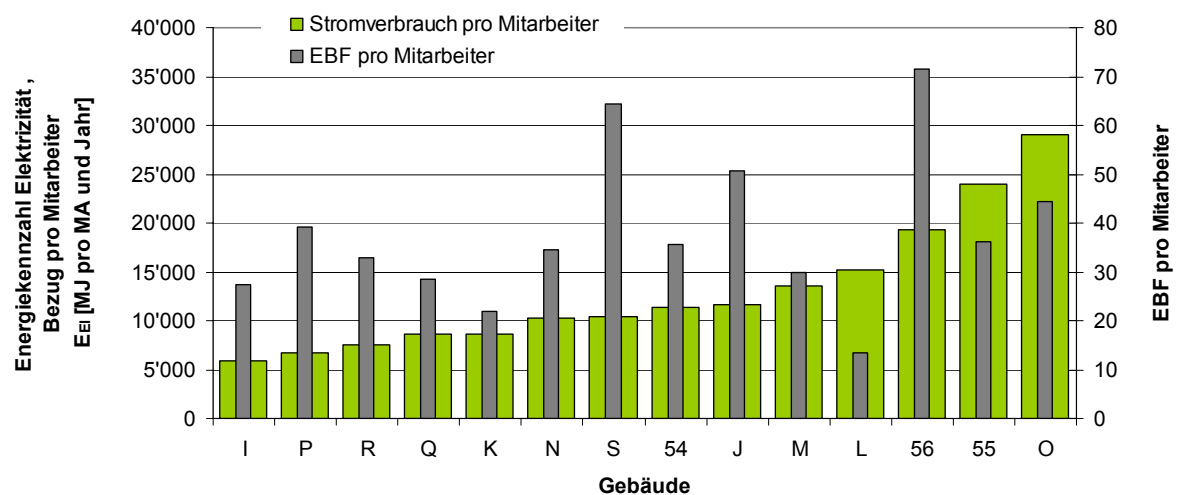


Abbildung 32: Elektrizitätsintensität pro Mitarbeiter, Fläche pro Mitarbeiter (EBF) Auswertung der Fallstudien (n = 14 Gebäude)

²⁴

Verhältnis Hauptnutzfläche zu Energiebezugsfläche zwischen 38% und 71% (Gebäudeabhängig)

3.5. EFFIZIENZMASSNAHMEN

Die Auswertungen zeigen, dass einerseits die zunehmende Installation von leistungsfähigeren Geräten (vor allem in der Informatik) zu einer Zunahme des Stromverbrauchs bei den Betriebseinrichtungen führt. Andererseits kann, wie gewisse Fallbeispiele deutlich aufzeigen, durch eine intelligente Konzeption der Strombedarf im Gebäude stark reduziert werden.

Ebenfalls zeigte sich, dass jedes Gebäude individuelle Schwachpunkte oder Optimierungsmöglichkeiten hat. Wichtige Voraussetzung zur Realisierung dieser Potentiale ist die Information über die Verbrauchsaufteilung (Energieflussdiagramm). In der Untersuchung wurde ebenfalls festgestellt, dass diese Informationen und Daten nur in wenigen Fällen ohne grösseren Erhebungsaufwand vorliegen. Daher wird oft der Aufwand gescheut, diese Grundlagen für die Optimierung zu erarbeiten. Es zeigt sich im Weiteren, dass sich viele „heimliche Stromfresser“ bei der Durchführung entsprechender Messungen relativ rasch zeigen und oft auch für Überraschungen sorgen. Wichtiges Hilfsmittel ist in diesem Zusammenhang die Lastgangmessung mit der die Erwartungen mit dem effektiven Betrieb mit relativ geringem Aufwand verglichen werden können. Auf Basis guter Datengrundlagen können Effizienzmassnahmen oft ohne grössere Investitionen erreicht werden. Nachfolgend sind die wichtigsten Punkte zusammengefasst:

Lüftung und Klimatisierung

- Prüfung und Optimierung der Einstellungen der Schaltzeiten und Luftmengen kann den Lüftungsstrombedarf massiv reduzieren (bedarfsgerechte Lüftung). Eventuell sind für die Umsetzung eines solchen Konzeptes zusätzliche Messtellen (z.B. Raumfühler) notwendig, was gewisse Eingriffe in die Steuerung der Anlage erfordert.
- Kälteanlagen für Klimakälte werden oft auf einem tiefen Temperaturniveau betrieben (z.B. wegen Entfeuchtung). Eine Optimierung der Temperaturen kann die Arbeitszahl der Kältemaschine deutlich erhöhen. Dadurch steigt auch der Anteil Free cooling, welcher in der Anlage möglich ist.
- In diesem Zusammenhang sind Eisspeicher kritisch zu hinterfragen, inwieweit sie aus energetischer und technischer Sicht Sinn haben, da diese Elemente tiefe Vorlauftemperaturen (hoher Hub) der Kältemaschine erfordern.
- Treten öfters Lastfälle auf, bei denen sowohl gekühlt (z.B. Server) wie auch geheizt werden muss, ist ein Konzept für die Wärmenutzung wichtig. Insbesondere ist zu klären inwieweit eine mögliche Abwärmenutzung an der Kältemaschine nicht die Leistungszahl der Maschine reduziert (Optimierungsthema).

Beleuchtung

- Neben einfachen und wirkungsvollen Elementen zur Laufzeitreduktion der Beleuchtung in Verkehrszonen oder Lagerräumen (z.B. Präsenzmelder, etc.) ist die optimale Lichtstärke am Arbeitsplatz ein wichtiger Faktor. Hier zählt nicht die Lampenleistung sondern die Effizienz des gesamten Beleuchtungskonzeptes. Insbesondere bei Innenumbauten ist diesem Aspekt genügend Beachtung zu schenken.
- Sonnenschutz, Blendschutz, Licht: Je stärker verglast ein Gebäude ist desto stärker treten diese Aspekte auf. Insbesondere ein Blendschutz ist wichtig, der den Lichteinfall nicht verhindert und so bei Sonnenschein ein Arbeiten ohne Kunstlicht hinter geschlossenen Storen ermöglicht. Je nach Anlage (Kälteproduktion) ist auch eine Abwägung zwischen einfallender Wärme, welche weggekühlt werden muss und dem bei geschlossenen Storen einzusetzenden Kunstlichts notwendig (Abhängig von der Arbeitszahl des Kühlsystems, Einstrahlung und Leuchtenleistung).

Betriebseinrichtungen

- Die Erkenntnis beginnt mit der Messung. Bei den verschiedenen Geräten existieren grosse Unterschiede im Stand-by-Verbrauch und den Möglichkeiten zur Aktivierung von Ruhemodi. Als Grundlage sind hier einfache Messungen empfehlenswert.
- Einstellungen: Viele Geräte erlauben weitreichende Stromspareinstellungen. Meist sind diese im Auslieferungszustand deaktiviert. Es bedarf eines gewissen Aufwandes die für den Betrieb optimalen Einstellungen zu finden. Bei PC-Sleep-Modi können in Netzwerken auch Probleme mit der Netzanmeldung auftreten, welche in Zusammenarbeit mit den IT Abteilungen zu lösen sind.
- Serverstrombedarf: Derzeit sind diverse Projekte im Gang den Serverstrombedarf deutlich zu reduzieren (siehe auch [23]). Da diese Anlagen „das Herz“ des Unternehmens betreffen, entstehen in diesem Bereich nur gute Lösungen in guter Zusammenarbeit mit den IT-Abteilungen.

Diverse Gebäudetechnik

- In der Gebäudetechnik sind oft viele Pumpen, Aktoren, Netzteile im Einsatz, welche in der Summe einen nicht vernachlässigbaren Strombedarf verursachen. Neben dem Ersatz von Pumpen durch frequenzgesteuerte Modelle ist immer auch die korrekte Betriebszeit ein wichtiger Punkt (soviel wie nötig). Die Gebäudetechnik bedarf auch einer regelmässigen Überwachung um auftretende Fehlfunktionen frühzeitig zu erfassen.
- Für die Wahl der effizienten Gebäudetechnik wäre es von Vorteil, wenn es wie bei den Haushaltsprodukten eine Energieklassifizierung gäbe. Dies ist jedoch aufgrund der ungleich höheren Vielfalt an Geräten schwieriger zu erreichen. Zumindest die Verbrauchswerte und Stand-by-Verluste sollten in den Produkteunterlagen zwingend zu deklarieren sein.

4. Entwicklung des Elektrizitäts- und Wärmeverbrauchs in Bürogebäuden

4.1. VORGEHEN

Die bereits in der Studie [10] ausgewerteten 100 Bürogebäude bildeten die Basis einer erneuten Erhebung, welche nach einem Pretest im Februar 2008 mit dem Versand eines schriftlichen Fragebogens begann. Der Fragebogen umfasste Fragen zum aktuellen Energiebedarf (Elektrizität und Wärme der Jahre 2005 bis 2007), zur technischen Ausrüstung und zur Nutzung der Gebäude sowie zu den energietechnisch relevanten Veränderungen seit der letzten Erhebung.

Nach zwei schriftlichen Erinnerungsschreiben betrug der Rücklauf rund vierzig Fragebogen. Aufgrund von Feedbacks und telefonischen Kontakten wurde den Angeschriebenen hierauf die Möglichkeit geboten, den Fragebogen etappenweise auszufüllen und zu retournieren, wobei die Priorität auf den Energiebedarf zu legen war. Bis zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichtsteils (Ende September 2008) lagen Angaben zu 70 Gebäuden vor, wobei nicht alle Gebäude für eine vergleichende Auswertung der Perioden 1996-1997 und 2005-2007 einbezogen werden konnten. Insgesamt mussten drei Gebäude wegen unplausibler oder ungenügender Angaben (EBF fehlend) oder grossen Verzerrungen (starke Nutzungsänderungen wie z.B. Umwandlung in Wohngebäude, in Erfassungsperiode im Umbau) ausgeschlossen werden.

Im Fall Elektrizität stehen 66 Gebäude, im Fall der Wärmeenergie 57 Gebäude für die vergleichende Auswertung zur Verfügung; in zwei Fällen fehlten beispielsweise entsprechende Energieangaben aus der früheren Erhebung der 1990er Jahre und in sieben Fällen wurden keine Angaben zum thermischen Energiebedarf der Jahre 2005 bis 2007 gemacht.

4.2. RESULTATE

4.2.1 Entwicklung der Energiekennzahl Elektrizität und Wärme

Für die vergleichende Analyse wurden für Elektrizität als auch für Wärme die mittlere Energiekennzahl (EKZ) für die beiden Perioden 1996-1997 respektive 2005-2007 gebildet.

Bei 33 von 66 Gebäuden, also bei rund 50% der Gebäude ist die EKZ Elektrizität $E_{EI(2005-2007)}$ geringer als während der Vergleichsperiode 1996-1997, bei 31 Gebäuden jedoch ist ein Anstieg zu verzeichnen und bei 2 Gebäuden ist sie laut Angaben der Befragten gleich geblieben. Die Regression $E_{EI(2005-2007)}$ als Funktion der $E_{EI(1996-1997)}$ verläuft etwas weniger steil als die 45°-Linie ($E_{EI(1996-1997)} = E_{EI(2005-2007)}$), siehe Abbildung 33. Zu erwähnen ist, dass die Steigung relativ stark von einem Gebäude mit hoher Energiekennzahl beeinflusst wird: ohne dieses Gebäude wäre die Steigung nur 0.8631, d.h. 6% tiefer (der Achsenabschnitt würde bei 36.1 MJ/m²a liegen). Dies bedeutet, dass die Energiekennzahl von Gebäuden mit ursprünglich hoher Energiekennzahl etwas stärker abnahm als diejenige mit geringem spezifischen Bedarf. Abgesehen vom Gebäude mit statistisch gesprochen hohem Leverage-Faktor liegt die Energiekennzahl $E_{EI(2005-2007)}$ bei ersteren Gebäuden also rund 13% tiefer als 1996-1997.

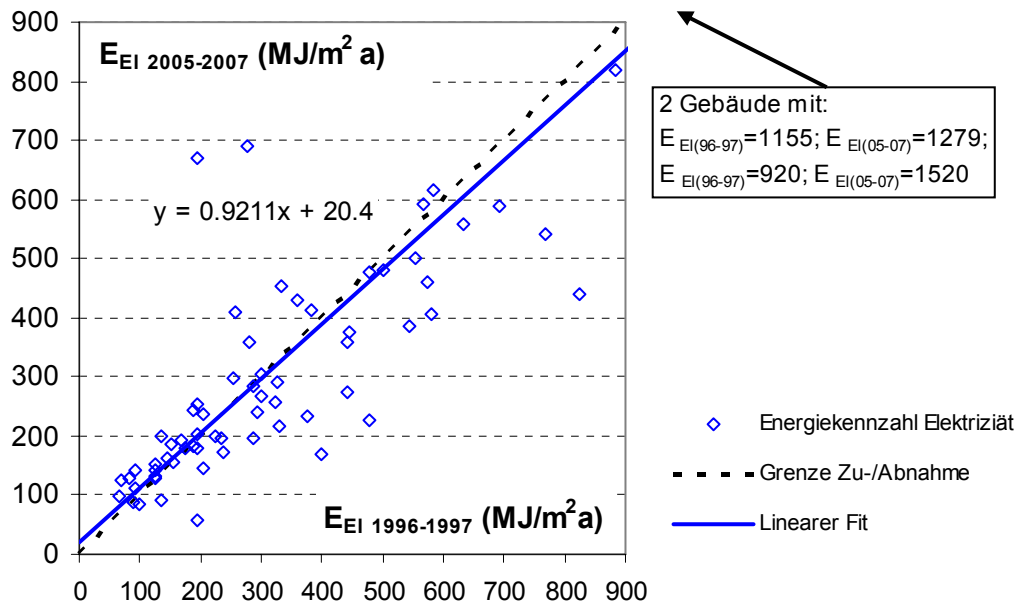
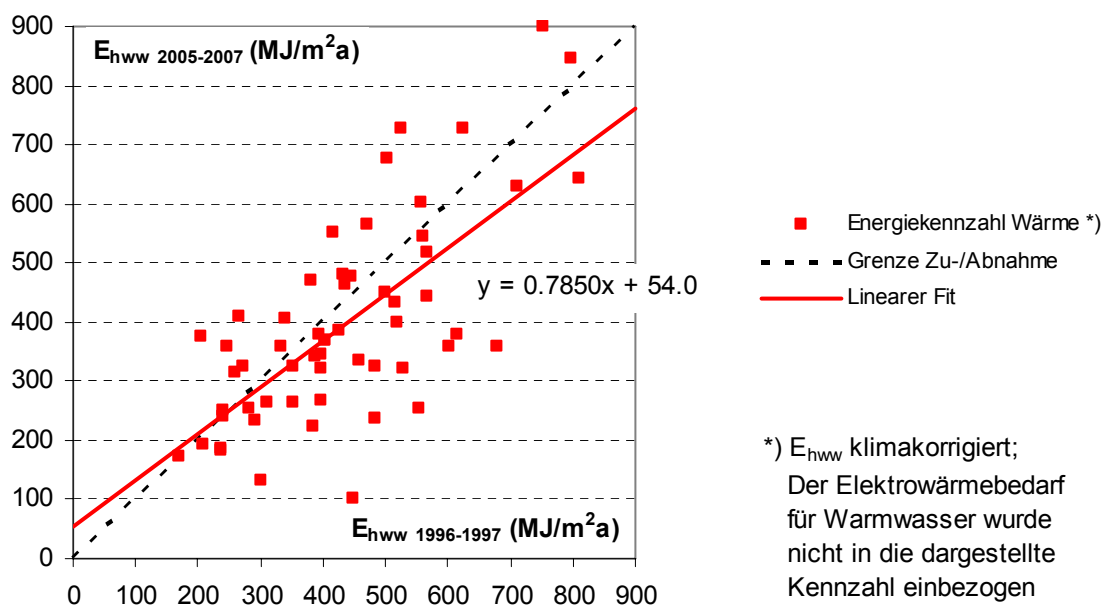


Abbildung 33: EEI (2005-2007) als Funktion der EEI (1996-1997), Quelle: CEPE, ETH Zürich

Die Energiekennzahl Wärme (E_{hww}) wurde dabei für die Auswertung klimakorrigiert (Details zur Klimakorrektur siehe Anhang). Bei der Energiekennzahl Wärme ist die Anteil der Gebäude mit einer Abnahme mit 36 von 57 Gebäuden bzw. 63% deutlich höher als bei der Energiekennzahl Elektrizität. Nur bei 21 Gebäuden ist eine Zunahme zu verzeichnen. Ohne Einbezug einer Klimakorrektur ist bei 37 Gebäuden eine Abnahme der Energiekennzahl Wärme festzustellen und bei 19 Gebäuden eine Zunahme (1 Gebäude ohne Veränderung). Aus der linearen Regression der Energiekennzahl $E_{hww(2005-2007)}$ als Funktion der $E_{hww(1996-1997)}$ ist festzustellen, dass die Differenz zwischen den beiden Vergleichsperioden bei höheren Energiekennzahlen grösser ist. Daraus lässt sich interpretieren, dass wärmebezogene Energieeffizienzmassnahmen eher bei Gebäuden mit hohem thermischem Energiebedarf ergriffen wurden. Diese bereits bei der Elektrizität festgestellte Tatsache ist bei der Wärme ausgeprägter als beim Strom.



**Abbildung 34: $E_{hww}(2005-2007)$ als Funktion der $E_{hww}(1996-1997)$, Daten klimakorrigiert
 Quelle: CEPE, ETH Zürich**

Gemessen am Mittelwert ergibt die vergleichende Auswertung der Energiekennzahlen im Fall der Elektrizität ungefähr eine Stagnation bzw. eine leichte Abnahme (einfacher und EBF-gewichteter Mittelwert) und gemessen am Median eine Abnahme von 14%. Im Fall der thermischen Energie ist bei allen Bemessungsgrössen eine deutliche Abnahme von 9-14% zu verzeichnen, siehe Tabelle 14.

Tabelle 14 Vergleich der Energiekennzahlen Elektrizität und Wärme zwischen 1996 - 1997 und 2005 - 2007

	Energiekennzahl Elektrizität E_{EL} [MJ/m ² a] (n = 66)			Energiekennzahl Wärme E_{hww} [MJ/m ² a] (n = 57)		
	1996- 1997	2005- 2007	Differenz	1996- 1997	2005- 2007	Differenz
Mittelwert	334	328	-2%	433	394	-9%
Median	278	241	-14%	416	359	-14%
EBF-gewichteter Mittelwert	419	400	-4%	375	342	-9%

Quelle: CEPE, ETH Zürich

4.2.2 Erklärung der Verbrauchsentwicklung

Zum Verständnis der festgestellten Veränderungen zwischen der letzten und der aktuellen Erhebung wurde eine Regressionsanalyse gemäss folgendem Ansatz durchgeführt:²⁵

$$\Delta E_{rel} = E_{rel,0} + \sum_k \beta_k \cdot F_k$$

wobei ΔE_{rel} für die relative Veränderung der Energiekennzahl, F_k die vermuteten Einflussfaktoren und β_k für die zu schätzenden Koeffizienten steht. Das Set der möglichen Einflussfaktoren unterscheidet sich dabei zwischen Elektrizität und Wärme, v.a. aus gebäude- und energietechnischen sowie betrieblichen Gründen. Die letztlich verwendeten Variablen und ihre Definition sind in den nachfolgenden Tabellen,

In einem ersten Schritt wurden die verschiedenen aus der Befragung verfügbaren Ausprägungen wie z.B. Veränderungen in der technischen Gebäudeausrüstung oder Erneuerungsmassnahmen codiert. Folgende Codierung wurde dazu angewendet:

- **Negativer Wert:** Veränderung, welche zu einem Minderverbrauch führen (Effizienzsteigerung)
- **Positiver Wert:** Veränderung, welche zu einem Mehrverbrauch führen (z.B. Ausbau)
- **Wert Null:** Veränderung, welche ein indifferentes Verhalten zeigt oder bei fehlender Angabe²⁶

Verschiedene thematisch zusammengehörende Ausprägungen (z.B. verschieden Lüftungssteuerungsarten etc.) wurden in einem zweiten Schritt zusammengefasst. Dabei wurde grundsätzlich zwischen Veränderungen in der Ausstattung und Massnahmen am Gebäude unterschieden. Ebenso wurde jeweils zwischen Wirkungen auf den Stromverbrauch oder den Wärmebedarf unterschieden. Die so reduzierte Anzahl wurde durch Summierung zu den in Tabelle 15 und Tabelle 16 dargestellten Gruppen zusammengefasst:

²⁵ Indem die relative Veränderung als zu erklärende Variable gewählt wird, kann sich unter Umständen ein Endogenitätsproblem ergeben. Wir schätzen den Effekt jedoch als gering ein, v.a. im Vergleich zu anderen Unwägbarkeiten, v.a. in Bezug auf die geringe Grösse der Stichprobe und auf die Vollständigkeit der Daten.

²⁶ In die Auswertung wurden jedoch nur diese Antworten einbezogen, welche den Fragebogen grundsätzlich vollständig ausgefüllt haben. Daher wird davon ausgegangen, dass ohne Angabe keine Veränderung vorgenommen wurde.

Tabelle 15 Bewertung der Angaben zu Erneuerungsmassnahmen am Gebäude

Massnahmen Strom	Einfluss	Wertebereich	Massnahme
Effizienzmassnahme Lüftung	Reduktion	0...-3	- Gesamterneuerung Lüftung / Kühlung oder Erneuerung Lüftung - Reduktion Luftmenge - Reduktion Befeuchtung
Massnahme Lüftung	Neutral *)	-	- Erneuerung Luftverteilung (Kanäle)
Ausbaumassnahme Lüftung	Zunahme	0...+2	- Einbau / Nachrüstung Befeuchtung - Nachrüstung Luftkühlung (auch Zunahme Strom für Kälte)
Effizienzmassnahme Kälte	Reduktion	0...-4	- Ersatz bestehende Kältemaschine - Ersatz / Erneuerung Rückkühler - Ersatz / Erneuerung Kälteverteilung - Ersatz / Erneuerung Kälteabgabesystem (Raumseitig)
Effizienzmassnahme Beleuchtung	Reduktion	0...-3	- Beleuchtungserneuerung bzw. Leuchtensersatz - Installation Lichtsteuerung (Tageslicht- / Präsenzsteuerung) - Installation aut. Steuerung für Sonnenschutz
Ausbaumassnahme Server	Zunahme	0...+1	- Massnahmen Rechenzentrum mit Strombedarfserhöhung
Massnahme Rechenzentrum	Neutral	-	- Massnahmen Rechenzentrum, unbekannte Effizienzveränderung
Massnahmen Wärme	Einfluss	Wertebereich	Massnahme
Effizienzmassnahme Lüftung	Reduktion	0...-4	- Erneuerung WRG - Nachrüstung WRG - Verringerung Luftmenge - Reduktion Befeuchtung
Ausbaumassnahme Lüftung	Zunahme	0...+1	- Einbau / Nachrüstung Befeuchtung
Effizienzmassnahme Heizung	Reduktion	0...-2	- Erneuerung Heizanlage (mit oder ohne Änderung Energieträger) - Erneuerung Heizungsverteilung
Effizienzmassnahme Hülle	Reduktion	0...-3	- Ersatz von Fenstern bzw. Verglasungen - Zusätzliche Wärmedämmung Fassade - Zusätzliche Wärmedämmung Fassade - Erreichen Minergiezertifikat *)
Massnahme Hülle	Neutral	-	- Massnahmen an Hülle ohne Verbesserung der Dämmung
*) Als "neutral" bewertet, da bei einer Erneuerung oft vergleichbare Leitungsdimensionen eingesetzt werden (Platz)			
**) Erreichen Minergiezertifikat wie Gesamtanierung der Hülle bewertet (-3)			

Bei dieser Kategorisierung handelt es sich um ingenieurtechnische Einschätzungen aufgrund von typischen Sachverhalten. Im Einzelfall kann eine Massnahme auch eine Auswirkung mit umgekehrtem Vorzeichen haben. Beleuchtungserneuerungen können z.B. zu höheren Lichtstärken (Beleuchtungsstärke) und netto zu einem Strommehrverbrauch führen. Trotzdem ist das Vorgehen tauglich um die Verbrauchsentwicklung von relativ wenigen Fällen bei einer gleichzeitig hohen Anzahl von Einflussfaktoren zu analysieren.

Tabelle 16 Bewertung der Angaben zur Gebäudeausstattung

Ausstattung Strom	Einfluss	Wertebereich	Massnahme
Ausstattung Kälte	Reduktion oder Zunahme	-4...+4	- Bewertung Wechsel der Art der Kälteerzeugung - Bewertung Wechsel der Art der Kälteverteilung - Veränderung des Klimatisierungsgrades des Gebäudes - Veränderung der installierten Kälteleistung
Ausstattung Lüftung	Reduktion oder Zunahme	-4...+4	- Bewertung Wechsel der Art der Lüftungsteuerung - Bewertung Wechsel der Regelung der Lüftungsanlage - Veränderung des Belüftungsgrades des Gebäudes - Veränderung der spez. Luftleistung im Gebäude
Ausstattung Betriebseinrichtung	Reduktion oder Zunahme	-5...+5	- Veränderung der Ausstattung mit zentraler EDV - Veränderung der Ausstattung mit einer Telefonzentrale - Veränderung der Ausstattung mit Grossverbrauchern - Veränderung des Ausstattungsgrades mit Arbeitshilfen - Veränderung der Ausstattung mit einer Küche / Restaurant *)
Ausstattung Elektrowärme	Reduktion oder Zunahme	-2...+2	- Veränderung der Ausstattung mit el. Warmwassererwärmer - Veränderung der Ausstattung mit elektrischer Heizung
Ausstattung Wärme	Einfluss	Wertebereich	Massnahme
Ausstattung Lüftung	Reduktion oder Zunahme	-2...+2	- Bewertung Wechsel der Art der Lüftungsteuerung - Bewertung Wechsel der Regelung der Lüftungsanlage **)
Ausstattung Heizung	Reduktion oder Zunahme	-2...+2	- Bewertung der Veränderung der Abwärmenutzung - Veränderung der spez. Heizleistung im Gebäude
Ausstattung Elektrowärme ***)	Reduktion oder Zunahme	-2...+2	- Veränderung der Ausstattung mit el. Warmwassererwärmer - Veränderung der Ausstattung mit elektrischer Heizung
*) Der Strombedarf für Restaurants wird wie in SIA 380/4 zu den Betriebseinrichtungen gezählt			
**) Veränderungen im Belüftungsgrad wurden für die Wärme nicht bewertet, da sie je nach Wärmerückgewinnung zu einer Zu- oder Abnahme des Wärmebedarfs führen können.			
***) Gegenläufig zur Bewertung des Strombedarfs (Reduktion beim Strombedarf führt zur Erhöhung des Öl/Gasbedarfs)			
War nur für ein Zeitpunkt eine Angabe verfügbar, wurde davon ausgegangen, dass keine Veränderung erfolgte.			

Für die Auswertung wurden insbesondere die Bewertungen der Massnahmen welche zu einer Verbrauchssenkung (negativer Wertebereich) und denjenigen welche zu einer Verbrauchszunahme führen (positiver Wertebereich) je separat zusammengefasst (addiert). Dieses Vorgehen wurde auch gewählt um dem Problem von untereinander korrelierender Variablen zu begegnen. Dadurch wird die Anzahl Ausprägungen für die Auswertung weiter reduziert. Tabelle 17 zeigt die vorgenommene Zusammenfassung.

Tabelle 17 Zusammenfassung der bewerteten Teilangaben für Auswertung

Auswertung Ausprägungen Strom	Zusammengefasste Teilsummen
Ausstattung Lüftung Klima *)	- Ausstattung Kälte - Ausstattung Lüftung
Ausstattung Betriebsstrom	- Ausstattung Betriebseinrichtung
Ausstattung Elektrowärme	- Ausstattung Elektrowärme
Erneuerung Lüftung Klima *)	- Effizienzmassnahme Lüftung - Ausbaumassnahme Lüftung - Effizienzmassnahme Kälte
Erneuerung Beleuchtung, Betriebsstrom	- Effizienzmassnahme Beleuchtung - Ausbaumassnahme Server
Auswertung Ausprägungen Wärme	Zusammengefasste Teilsummen
Ausstattung Lüftung	- Ausstattung Lüftung
Ausstattung Heizwärme	- Ausstattung Heizwärme
Ausstattung Elektrowärme	- Ausstattung Elektrowärme
Erneuerung Lüftung	- Effizienzmassnahme Lüftung - Ausbaumassnahme Lüftung
Erneuerung Heizwärme **)	- Effizienzmassnahme Heizung - Effizienzmassnahme Hülle
*) Teilsummen Lüftung und Klima aufgrund starker Korrelation für Auswertung zusammengefasst	
**) Massnahmen Heizung und Massnahmen Hülle für Auswertung zu "Erneuerung Heizwärme" zusammengefasst	

4.2.3 Verbrauchsentwicklung im Elektrizitätsbereich

Abbildung 35 zeigt zunächst summarisch die Auswirkung der Summe der stromrelevanter Veränderungen an der Ausstattung oder Erneuerungsmassnahmen auf die Energiekennzahl Elektrizität. Dazu wurden die entsprechenden Ausprägungswerte in Tabelle 17 summiert. Auffällig ist, dass im Allgemeinen im Bereich mit Ausprägung 0 (neutral bzw. sich aufhebende Massnahmen) ein grosser Streubereich der Veränderung besteht.

Im weiteren ist ersichtlich, dass die Erneuerungsmassnahmen (z.B. Anlagenersatz) mehrheitlich eine Wirkung in Richtung Verminderung des Stromverbrauchs und die Ausstattungsmassnahmen (z.B. Luftmenge, Kälteleistung) tendenziell in Richtung Mehrverbrauch zielen, aber in Verbindung mit Erneuerungen durch die bessere Effizienz auch verbrauchssenkend wirken können. Dies ist durch die Art der Massnahmen im Einzelfall weitgehend erklärbar.

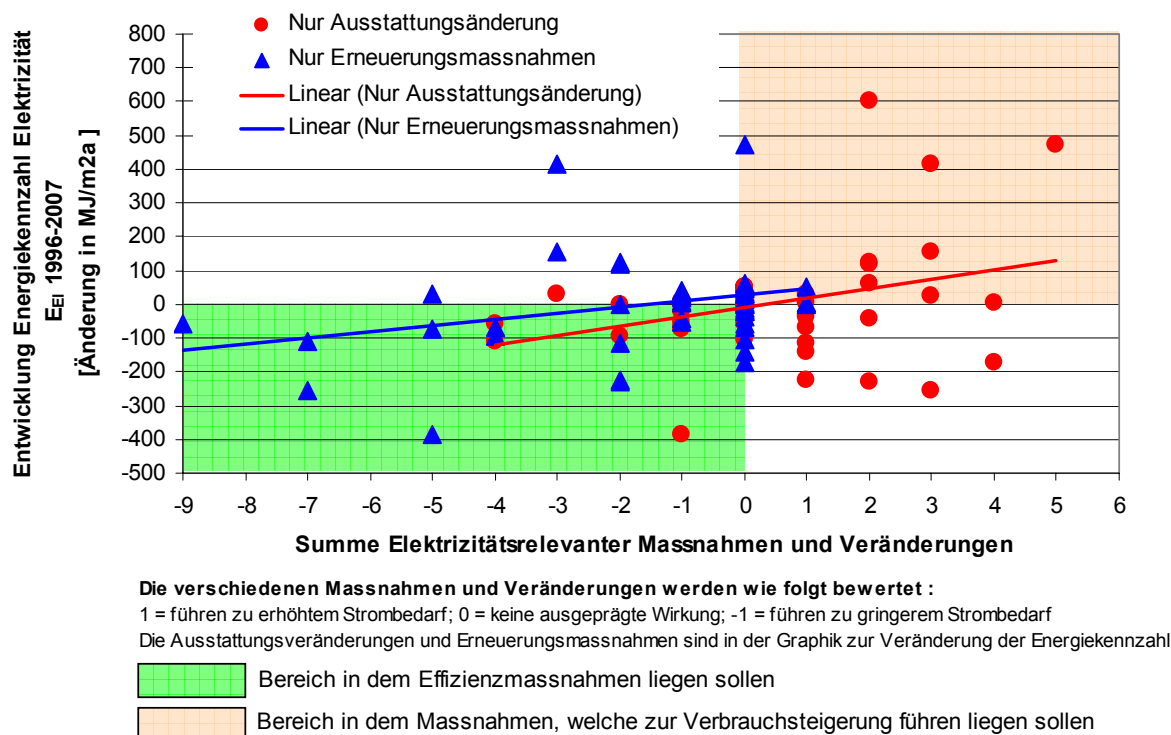


Abbildung 35: Veränderung von E_{EI} (1996-2007) als Funktion der Summe Elektrizitätsrelevanter Massnahmen und Veränderungen (mit n = 50 Gebäuden)

Um die wichtigsten Einflussfaktoren für die relative Entwicklung der Energiekennzahl Elektrizität zu eruieren, wurden die Daten in mit einer Regressionsanalyse untersucht (gemäss weiter oben spezifiziertem Ansatz). Aufgrund der beschränkten Anzahl Datenpunkten und der verfügbaren Datenmenge konnten nicht alle Variablen ausgewertet werden und daher wurden verschiedene Variablen weiter zusammengefasst (siehe Tabelle 17). Die beschreibende Statistik und die in die Analyse einbezogenen Variablen sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18 Deskriptive Statistik der Variablen für die Analyse der Veränderung von E_{EI}

Variable	Beobachtungen	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Veränderung E_{EI} *)	50	0.425	3.424	1.086	0.499
Ausstattung Lüftung Klima	50	-5.000	3.000	-0.020	1.392
Ausstattung Betriebsstrom	50	-2.000	4.000	0.600	1.125
Ausstattung Elektrowärme	50	-1.000	1.000	-0.140	0.405
Erneuerung Lüftung Klima	50	-6.000	1.000	-0.800	1.750
Erneuerung Betriebsstrom	50	-3.000	1.000	-0.600	0.881

*) Ein Wert von 1 bedeutet keine Veränderung; <1 : Verringerung von E_{EI} ; >1 : Erhöhung von E_{EI}

Aus Tabelle 18 ist ersichtlich, dass die Energiekennzahl Elektrizität 2005-2007 zwischen 43% und 342% des Wertes der Vergleichsperiode (1996-1997) beträgt.

Analysiert man die durchgeführten Massnahmen bezüglich ihrer Wirkung auf die relative Veränderung der Energiekennzahl, so ist aus Abbildung 36 ersichtlich, dass sowohl Veränderungen in der Ausstattung beim Betriebsstrom wie auch bei Lüftung / Klima einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des spezifischen Elektrizitätsbedarfs haben (Konfidenzniveau 95%). Veränderung der Ausstattung beim Betriebsstrom beinhalten insbesondere Veränderungen bei den Arbeitshilfen, Serverleistungen, sowie von anderen Grossverbrauchern (z.B. Küche). Bei dieser Variable ist das Resultat jedoch stark durch einen Datensatz mit grossen Veränderungen im Bereich der Ausstattung bestimmt. Im Bereich der Erneuerung sind vor allem Massnahmen an Beleuchtung und Betriebsstrom von Bedeutung (Signifikanzniveau 10%). Hierbei ist vor allem die Erneuerung von Beleuchtungsanlagen zentral, da in gut 40% der ausgewerteten Gebäude eine solche Massnahme ausgeführt wurde.²⁷ Bei der Lüftung- und Klimatisierung fällt auf, dass primär die Ausstattung einen Einfluss auf die Entwicklung der Energiekennzahl Elektrizität hat und sich für die Anlagenerneuerung keine klare Tendenz zeigt. Dies dürfte in erster Linie damit zusammenhängen, dass bei Erneuerungen oft auch eine Veränderung der Ausstattung stattfindet (z.B. Veränderung der Luftmenge oder Kälteleitung).

Die in Abbildung 36 dargestellten Schätzkoeffizienten multipliziert mit dem zugehörigen Wert der Variable aus dem Wertebereich²⁸ der jeweiligen Variable ergeben die erwartete Veränderung der Energiekennzahl Elektrizität $E_{EL\ 2005-2007}$ zu $E_{EL\ 1996-1997}$ [in %] (Modellparameter der linearen Regression siehe Anhang). Bei der Variable "Ausstattung Lüftung Klima" waren beispielsweise Werte -5 bis zu +3 vorhanden, was 5 verschiedenen Massnahmen²⁹ zur Reduktion des Strombedarfs bzw. 3 verbrauchssteigernden Massnahmen entspricht. Aus den Modellparametern ($0.118 \times \text{Wert "Ausstattung Lüftung Klima"}$) wird für diesen Fall eine Veränderung des Strombedarfs zwischen -59% und +35% bestimmt. Die in den einzelnen Varianten zusammengefassten Massnahmen sind in Tabelle 15 und Tabelle 16 beschrieben. Zur Variable "Ausstattung Elektrowärme" ist anzumerken, dass die zugeordneten Massnahmen nur Massnahmen am Warmwasser betreffen.

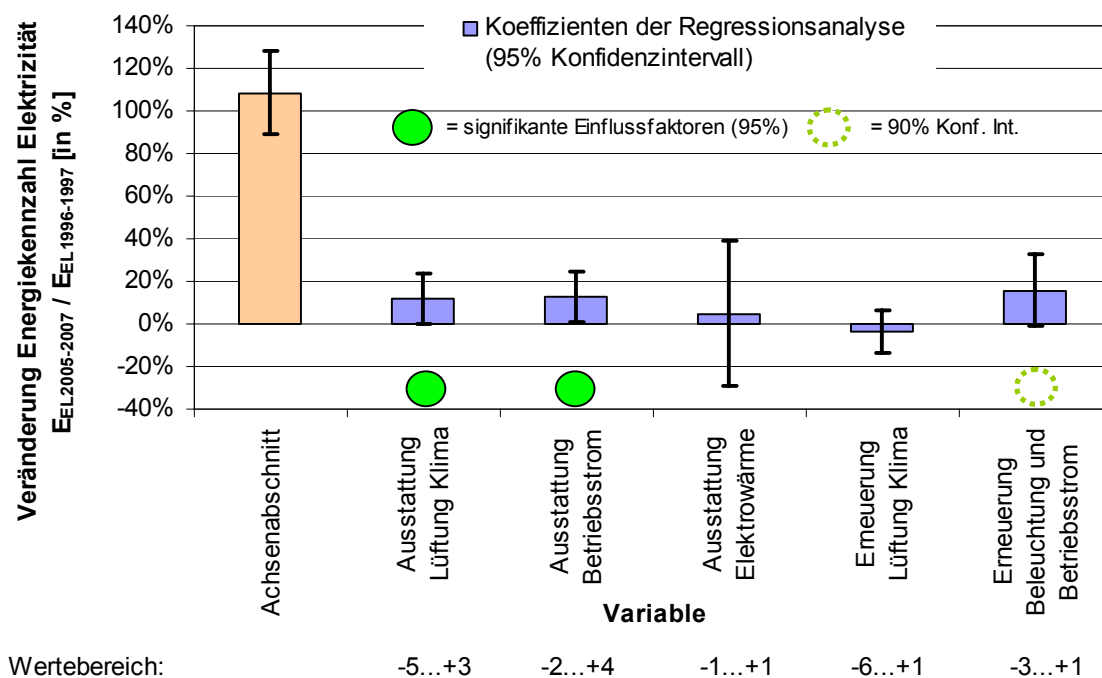


Abbildung 36: Relevanz der Einflussfaktoren auf die Veränderung von E_{EL}
(Koeffizienten der Regressionsanalyse mit $n = 50$ Gebäuden)

Aus Abbildung 36 ergibt sich beispielsweise für ein Gebäude an dem zwei Massnahmen durchgeführt wurden, welche zu einer Ausstattungserhöhung Betriebsstrom führen (z.B. grösserer EDV Server und Ausbau des Betriebrestaurant) folgende Veränderung der Energiekennzahl Elektrizität:

- 2 Massnahmen mit Verbrauchszunahme: $+2 \times \text{Faktor } 0.128 = 25.6\%$ Zunahme von E_{EL}

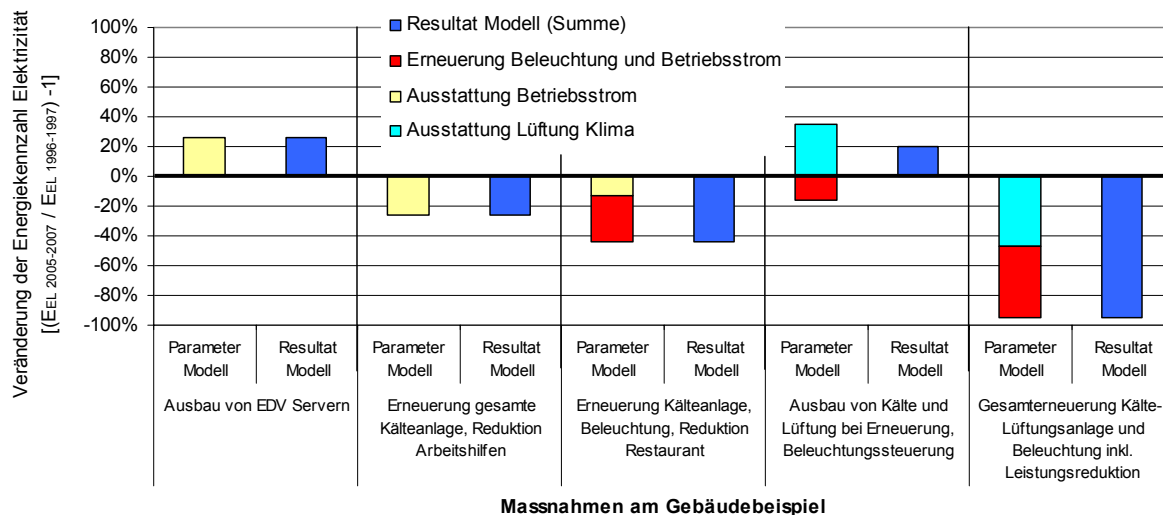
²⁷ Die ebenfalls in dieser Kategorie geführten Erneuerungsmassnahmen beim Betriebsstrom (v.A. Servererweiterungen mit "Negativwirkung") sind von geringerer Bedeutung, da nur 4 Gebäude (knapp 8%) mit solchen Massnahmen in Auswertung.

²⁸ Negative Werte sind Massnahmen mit einer erwarteten Einsparung und positive Werte Massnahmen mit Verbraucherhöhung

²⁹ Erneuerung Aussenwand, Fenster und Dach sowie Erneuerung Heizung und Wechsel Energieträger (= 5 Massnahmen)

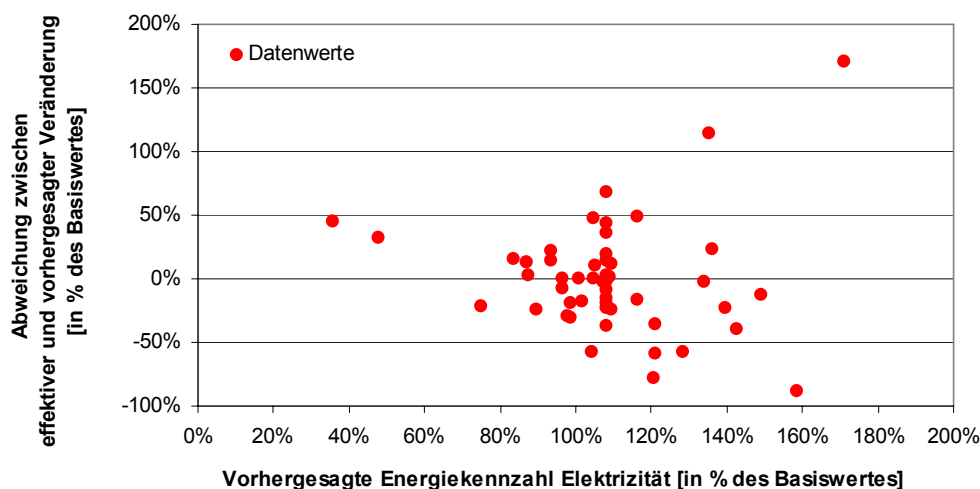
Der als Achsenabschnitt bezeichnete Wert stellt dabei den Basiswert dar, wenn alle anderen Faktoren gleich Null sind (Entsprechend ca. 100% oder keine Veränderung).

Abbildung 37 zeigt Berechnungsbeispiele für die aus den in Abbildung 36 dargestellten Parameter der Veränderung der Energiekennzahl Elektrizität (E_{EL}). Dafür wurde das Berechnungsmodell an fünf Beispielen exemplarisch dargestellt. Dabei wurden die signifikanten Einflussfaktoren aus dem Modell eingesetzt (Ausstattung Lüftung, Klima und Betriebsstrom; Erneuerung Beleuchtung und Betriebsstrom) und das Resultat des Kennwertmodells berechnet. Die Parameter des Kennwertmodells sind im Anhang dokumentiert.



**Abbildung 37: Gebäudebeispiele für Kennwertmodell für Veränderung von E_{EI}
Vergleich mit Daten aus Gebäudebeispielen der Erhebung**

Wie gut die Übereinstimmung zwischen dem Kennwertmodell mit der erhobenen Veränderung der Energiekennzahl Elektrizität ist wird zusätzlich in Abbildung 38 dargestellt. Dabei wird die vorhergesagte Veränderung der Energiekennzahl Elektrizität (X-Achse) und die Differenz zwischen der effektiven Veränderung und der vorhergesagte Veränderung (Y-Achse) aufgetragen. Die Grenzen des in der Auswertung hinterlegte (einfache) Verrechnungsmodells zeigen sich dabei deutlich. Die Komplexität der Gründe für Veränderungen im Stromverbrauch lassen sich im Einzelfall mit den erhobenen Kenndaten nur ungenügend charakterisieren. In den Extremfällen fand eine Veränderung der Energiekennzahl Elektrizität zwischen -60% bis +240%. Im Mittel über die 50 Gebäudebeispiele hatten 50% der Vorhersagen eine Abweichung von innerhalb -28% bis +13% (Quartilsabstand).



Als Basiswert wird hier der Ausgangswert vor der Massnahme bezeichnet
(im Erhebungsfall die Elektrizitätskennzahl E_{EI} (1996/1997))

Abbildung 38: Vergleich der Resultate für die Veränderung von E_{EI} aus dem Kennwertmodell mit der effektiven Veränderung von E_{EI} (Differenz effektiv - vorhergesagt)

4.2.4 Verbrauchsentwicklung im Wärmebereich

Abbildung 39 zeigt die Auswirkung der Summe der wärmerlevanten Veränderungen an der Ausstattung oder Erneuerungsmassnahmen auf die Energiekennzahl Wärme. Dazu wurden die entsprechenden Ausprägungswerte in Tabelle 17 summiert. Gegenüber der Auswertung für Elektrizität fällt auf, dass die Entwicklung stärker in Richtung Bedarfsreduktion zielt. Dies war auch aus dem Vergleich der Energiekennzahlen ablesbar. Auch hier besteht insgesamt und auch im Bereich mit Ausprägung 0 (neutral bzw. sich aufhebende Massnahmen) ein grosser Streubereich.

Im weiteren ist ersichtlich, dass die Erneuerungsmassnahmen (z.B. Wärmedämmung) häufiger eine Wirkung in Richtung Bedarfsreduktion haben als die Ausstattungsmassnahmen (z.B. Luftmengen). Ausstattungsmassnahmen können sowohl in Richtung Bedarfsreduktion wie auch Bedarfserhöhung gehen, was jedoch aufgrund des verfügbaren Angaben bei der Kategorisierung nicht in allen Fällen berücksichtigt werden konnte.

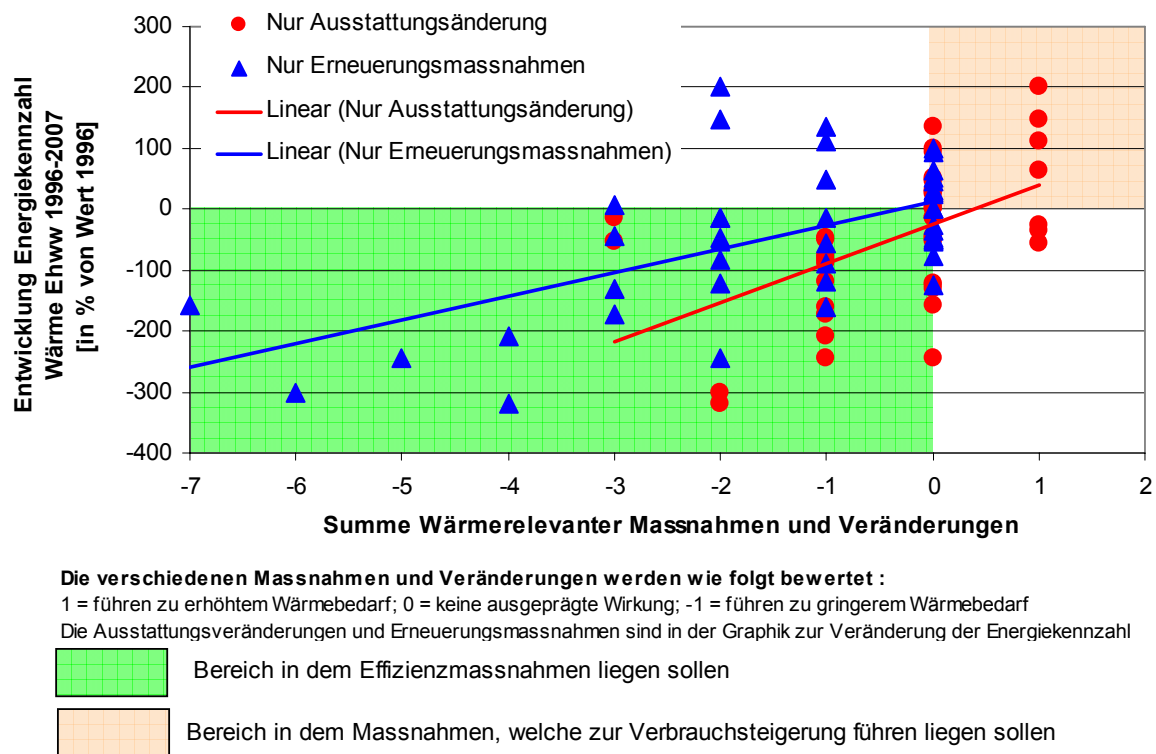


Abbildung 39: Veränderung von $E_{hww}(1996-2007)$ als Funktion der Summe Wärmerrelevanter Massnahmen und Veränderungen (mit $n = 44$ Gebäuden)

Um die wichtigsten Einflussfaktoren für die erfasste Entwicklung der Energiekennzahl Wärme zu eruieren wurden diese Daten ebenfalls in mit einer Regressionsanalyse untersucht. Aufgrund der beschränkten Anzahl Datenpunkten und der verfügbaren Datenmenge konnten nicht alle Variablen ausgewertet werden und daher wurden verschiedene Variablen zusammengefasst (siehe Tabelle 17). Die beschreibende Statistik und in die Analyse einbezogenen Variablen sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19 Deskriptive Statistik der Variablen für die Analyse der Veränderung von E_{hww}

Variable	Beobachtungen	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Veränderung E_{hww} *)	44	0.434	1.457	0.906	0.245
Ausstattung Lüftung	44	-1.000	0.000	-0.068	0.255
Ausstattung Heizwärme	44	-2.000	1.000	-0.341	0.680
Ausstattung Elektrowärme	44	-1.000	1.000	0.114	0.387
Erneuerung Lüftung	44	-2.000	0.000	-0.386	0.655
Erneuerung Heizwärme	44	-5.000	0.000	-1.068	1.283

*) Ein Wert von 1 bedeutet keine Veränderung; <1 : Verringerung von E_{hww} ; >1 : Erhöhung von E_{hww}

Aus Tabelle 19 ist ersichtlich, dass die Energiekennzahl Wärme 2005-2007 zwischen 43% und 146% des Wertes der Vergleichsperiode (1996-1997) beträgt.

Analysiert man auch hier die durchgeführten Massnahmen bezüglich ihrer Wirkung auf die Veränderung der Energiekennzahl Wärme, so wird aus in Abbildung 40 ersichtlich, dass Massnahmen zur Erneuerung Heizwärme und Ausstattung Heizwärme einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Heizwärmebedarfs haben (Konfidenzniveau 95%). Dies beinhaltet neben Wärmedämmmassnahmen auch Erneuerungen der Heizanlage und Heizverteilung. Bei der Ausstattung ist neben der öfters erfolgten Reduktion der Heizleistung der Einbau von Abwärmenutzungen für Kälteanlagen eine weitere Massnahme. Deutlich geringer in ihrem Beitrag auf die Veränderung der Energiekennzahl Wärme sind die Erneuerungsmassnahmen oder Veränderungen in der Ausstattung im Bereich der Lüftungsanlagen und bei der Elektrowärme. Bei der Elektrowärme liegt der Grund für die nicht so deutliche Relevanz darin, dass nur Veränderungen bei der Warmwasserversorgung (geringer Warmwasserbedarf in Bürobauten) und nicht bei den Elektroheizungen durchgeführt wurden.

Die in Abbildung 40 dargestellten Schätzkoeffizienten multipliziert mit dem zugehörigen Wert der Variable aus dem Wertebereich³⁰ der jeweiligen Variable ergeben die Veränderung der Energiekennzahl Wärme E_{hww} 2005-2007 zu E_{hww} 1996-1997 [in %] (Modellparameter der linearen Regression). Bei der Variable "Erneuerung Heizwärme" waren beispielsweise Werte bis zu -5 vorhanden, was 5 verschiedenen Massnahmen³¹ zur Reduktion des Wärmebedarfs entspricht. Aus den Modellparametern wird für diesen Fall eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von 34% bestimmt. Die in den einzelnen Varianten zusammengefassten Massnahmen sind in Tabelle 15 und Tabelle 16 beschrieben. Die Variable "Ausstattung Lüftung" zeigt ein Verhalten entgegen den Erwartungen und eine sehr hohe Streuung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Variable nur drei Beobachtungen mit einer klar wärmeseitig zuordenbaren Massnahmenwirkung enthalten sind.

³⁰ Negative Werte sind Massnahmen mit einer erwarteten Einsparung und positive Werte Massnahmen mit Verbraucherhöhung

³¹ Erneuerung Aussenwand, Fenster und Dach sowie Erneuerung Heizung und Wechsel Energieträger (= 5 Massnahmen)

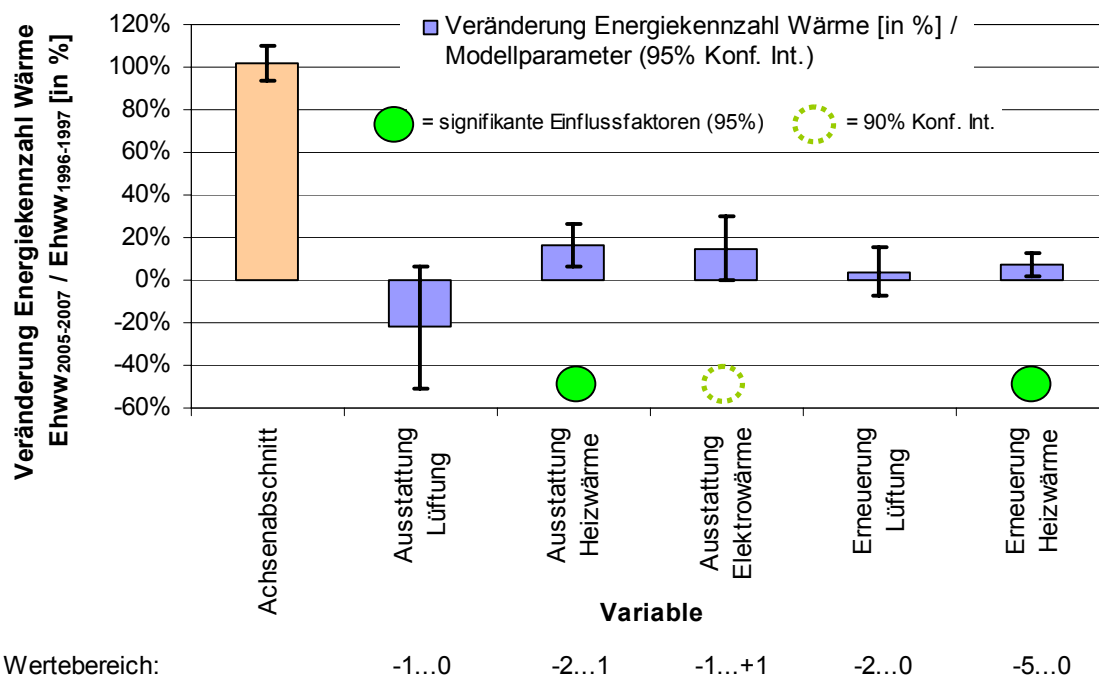


Abbildung 40: Relevanz der Einflussfaktoren auf die Veränderung von E_{hww}
(Koeffizienten der Regressionsanalyse mit n = 44 Gebäuden)

Aus Abbildung 40 ergibt sich beispielsweise für ein Gebäude an dem zwei Massnahmen im Bereich der Gebäudehülle (Erneuerung Heizwärme), welche zu einer Reduktion des Wärmebedarfs führen (z.B. Fensterersatz und eine Dachdämmung) folgende Veränderung der Energiekennzahl Wärme:

- 2 Massnahmen mit Verbrauchsreduktion: -2 x Faktor 0.069 = 14% Abnahme von E_{hww}

Der als Achsenabschnitt bezeichnete Wert stellt dabei den Basiswert dar, wenn alle anderen Faktoren gleich 0 sind (entsprechend ca. 100% oder keine Veränderung).

Abbildung 41 zeigt Berechnungsbeispiele für die aus den in Abbildung 40 dargestellten Parameter der Veränderung der Energiekennzahl Wärme (E_{hww}). Dafür wurde das Berechnungsmodell an vier Beispielen exemplarisch dargestellt. Dabei wurden die signifikanten Einflussfaktoren aus dem Modell eingesetzt (Erneuerung Heizwärme, Ausstattung Heizwärme und Elektrowärme) und das Resultat des Kennwertmodells berechnet. Die Parameter des Kennwertmodells sind im Anhang dokumentiert.

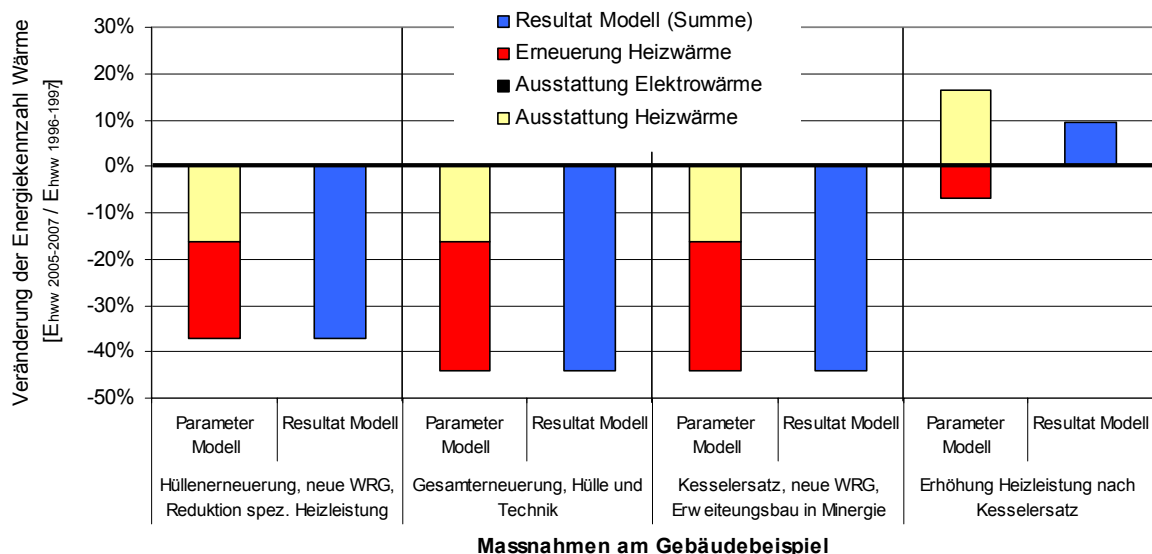
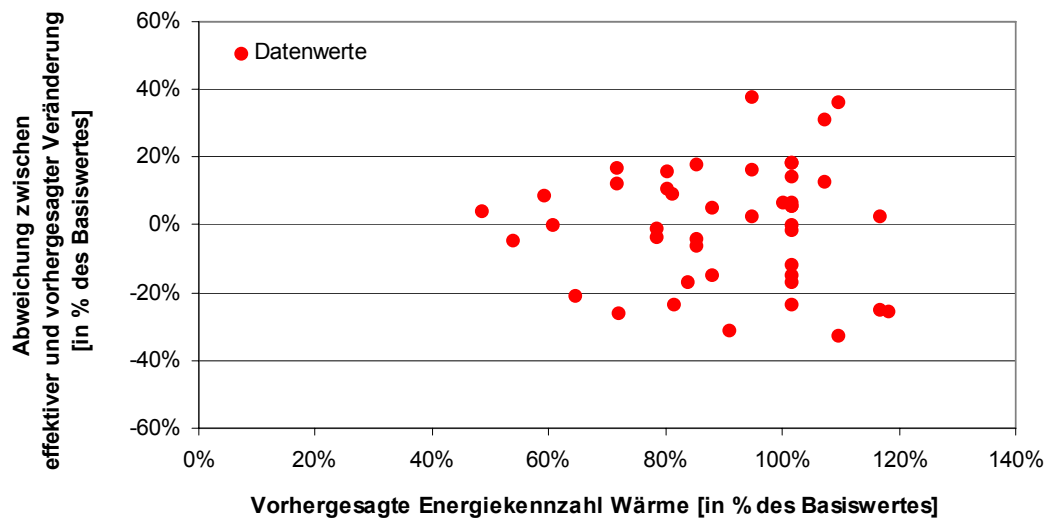


Abbildung 41: Gebäudebeispiele für Kennwertmodell für Veränderung von E_{hww}
Vergleich mit Daten aus Gebäudebeispielen der Erhebung

Wie gut die Übereinstimmung zwischen dem Kennwertmodell mit der erhobenen Veränderung der Energiekennzahl Wärme ist wird zusätzlich in Abbildung 42 dargestellt. Dabei wird die vorhergesagte Veränderung der Energiekennzahl Wärme (X-Achse) und die Differenz zwischen der effektiven Veränderung und der vorhergesagte Veränderung (Y-Achse) aufgetragen.



Als Basiswert wird hier der Ausgangswert vor der Massnahme bezeichnet
(im Erhebungsfall die Energiekennzahl Wärme E_{hww} (1996/ 1997))

Abbildung 42: Vergleich der Resultate für die Veränderung von E_{hww} aus dem Kennwertmodell mit der effektiven Veränderung von E_{hww} (Differenz effektiv - vorhergesagt)

Im Gegensatz zur Auswertung für die Energiekennzahl Elektrizität zeigen sich bei der Veränderung der Energiekennzahl Wärme weniger Abweichungen. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die Wirkung der Massnahmen im Wärmebereich einfacher einzuschätzen sind und damit das der Auswertung hinterlegte (einfache) Verrechnungsmodell besser zutrifft. Zudem sind beim Wärmebedarf Veränderungen in Richtung Mehrbedarf eher selten und damit haben die Massnahmen häufig dieselbe Wirkungsrichtung (Richtung Verbrauchssenkung). Aus den Beispielen ist im Weiteren ersichtlich, dass eine Erneuerung mit hohem Einsparpotential (>30%) oft sowohl aus einer Hüllensanierung wie auch einer Anpassung der Technikausstattung besteht.

4.2.5 Analyse der Auswirkungen der nicht Antwortenden

Aus der Gesamtstichprobe von 100 Gebäuden wurde ein Rücklauf des Fragebogens von insgesamt 70 Gebäuden erhalten. Insgesamt konnten 67 Gebäude in die Auswertung einbezogen werden.

Eine Analyse der Unterschiede zwischen der Gruppe der „Antwortenden“ und „nicht Antwortenden“ wurde mittels den aus der Studie [10] verfügbaren Daten durchgeführt um herauszufinden, ob die ausgewerteten Antworten eine Verzerrung gegenüber der Grundstichprobe aufweisen.

Die Analyse der verschiedenen Gruppen von Gebäudenutzern zeigt, dass die Gruppe „öffentliche Verwaltung“ auf Kosten der Gruppe „übrige Dienstleister“ bei den ausgewerteten Antworten leicht übervertreten ist. Beim Vergleich der Energiekennzahl Elektrizität (E_{EL}) und Wärme (E_{Th}) zeigt sich keine wesentliche Verzerrung durch den Rücklauf der Daten. Ebenfalls bei den verschiedenen Ausprägungen technischer Installation zeigte sich zwischen der Gruppe der „Antwortenden“ und „nicht Antwortenden“ keine wesentliche Verzerrung. Die graphischen Darstellungen zu diesen Vergleichsauswertungen sind im Anhang zu diesem Bericht dokumentiert.

4.3. FOLGERUNGEN UND FAZIT

Fazit der vergleichenden Auswertungen ist, dass zwischen elektrizitätsbezogenen und thermischen Energiedienstleistungen ein deutlicher Unterschied besteht. Dieser Unterschied ist auch aus anderen Untersuchungen und empirischen Grundlagen, z.B. den nationalen Energiestatistiken bekannt. Während thermische Anwendungen, welche im Gebäudebereich auch im Dienstleistungssektor von der Raumheizung dominiert sind, im zeitlichen Ablauf energetisch eher rückläufig sind, ist im Strombereich eher von einer Stagnation oder gar einer Erhöhung auszugehen.

Bei der Elektrizität sind wichtige Einflussfaktoren neben den zunehmend leistungsstärkeren und damit Verbrauchsintensiveren EDV-Anlagen auch die mit Komfortansprüchen und/oder höheren internen Lasten zusammenhängenden Ausbauten der Ausstattung im Bereich Lüftung und Klimatisierung. Es ist daher für die Verbrauchsentwicklung von Bedeutung, dass die installierten Anlagen eine sehr hohe Energieeffizienz aufweisen und bedarfsgerecht betrieben werden.

Die Ergebnisse der hier beschriebenen Erhebung sind nicht nur aus energietechnischer und ingenieurwissenschaftlicher Sicht von grossem Interesse, sondern auch aus sozio-ökonomischer Sicht. Die bei der Erhebung gemachten Erfahrungen zeigten in der Tat, dass in ungefähr der Hälfte der angeschriebenen Gebäude grosse Schwierigkeiten festzustellen waren, die Energiebedarfswerte der letzten drei oder des letzten Jahres zu erfassen. Noch grössere Mühe bekundeten die kontaktierten Personen und Unternehmen, die History der energie-relevanten Massnahmen grob aufzuzeigen. Aufgrund der zahlreichen informellen Feedbacks per e-mail und der telefonischen Kontakte sind diese Schwierigkeiten in vielen Fällen auf Wechsel der mit dem Betrieb der Gebäude zuständigen Personen und Verwaltungsunternehmen zurückzuführen. Insbesondere im letzteren Fall geben die ehemaligen Unternehmen an, nicht mehr zuständig zu sein und die neu mit der Verwaltung betrauten Unternehmen verfügen nicht über die vergangenen Daten und Informationen.

Empfehlung:

Mit diesen Befunden lässt sich festhalten, dass bei rund der Hälfte der Gebäude die wichtigen Grundvoraussetzungen für investive und betriebliche Energieeffizienzmassnahmen, nämlich die Kenntnis des Energiebedarfs und der Faktoren, welche diesen Bedarf beeinflussen, nicht oder nur ungenügend vorhanden sind. Energiepolitische Instrumente sollten diesem Umstand Rechnung tragen und insbesondere auch auf die kontinuierliche betriebliche Optimierung ist ein Fokus zu legen.

5. Analyse des consommations énergétiques des grandes surfaces

5.1. INTRODUCTION

5.1.1 Contexte

Ce rapport présente l'analyse préliminaire des consommations énergétiques et des spécifications techniques de:

32 magasins (alimentaire et non alimentaire) dont :

- 14 commerces de petite taille (surface de vente $< 1'000 \text{ m}^2$)
- 11 commerces (ou centres commerciaux) de taille moyenne (surface de vente entre $1'000$ et $2'000 \text{ m}^2$)
- 4 centres commerciaux de grande taille (surface de vente $> 5'000 \text{ m}^2$)
- 3 centres commerciaux de très grande taille (surface de vente $> 10'000 \text{ m}^2$)

La distinction entre magasin et centre commercial est la suivante :

- Magasin : 1 seule enseigne pour la vente alimentaire et non alimentaire comprenant des installations de froid commercial
- Centre commerciaux : vente alimentaire et non alimentaire comprenant des installations de froid commercial ainsi que généralement un restaurant et d'autres locataires (boutiques)

5.1.2 Conditions

Divers paramètres ont été quantifiés, soit:

- Dans la mesure des possibilités (comptages), les consommations d'énergies et indices présentés dans ce rapport se réfèrent aux surfaces de vente des magasins d'alimentation. Dans certains cas et en l'absence de comptage, des répartitions de consommations au prorata des surfaces ont été calculées. Dans certains commerces où les compteurs sont inexistant, les consommations et indices ont été calculés sur la base des factures des gérances.
- L'indice énergétique de dépense de chaleur calculé sur la base des consommations en kWh utiles (sortie chaudière) et de la surface de vente du magasin
- L'indice énergétique de dépense électrique calculé sur la base des consommations en kWh (total et sans froid commercial, quand compteur existant) et de la surface de vente du magasin
- L'indice énergétique de dépense d'eau calculé sur la base des consommations en m^3 et de la surface de vente du magasin
- L'indice frigorifique calculé sur la base des consommations en kWh pour le froid commercial et la longueur de froid commercial corrigée. La longueur de froid commercial est corrigée en fonction de la hauteur/profondeur des armoires et étagères frigorifiques. De manière simplifiée, on applique un facteur multiplicatif à la longueur d'armoires frigorifiques relevé si la hauteur n'est pas 2m environ. Exemple : facteur 1.1 si l'armoire fait 2.2 m de hauteur, facteur 0.75 si l'armoire fait 1.3 à 1.6 m de hauteur. Cette correction est réalisée par le fournisseur des données nous n'avons donc aucun moyen de la contrôler.
- La proportion d'électricité % pour le froid commercial (par rapport à la consommation totale)
- Des corrélations liant ces grandeurs entre elles ou avec d'autres paramètres (année d'ouverture du magasin, débit d'air pulsé, etc.).

5.1.3 Limites

Les limites principales de cette étude sont énumérées ci-dessous :

- Certains sites ne sont pas équipés de sous-comptage (chaleur, eau, froid commercial)
- Les surfaces des succursales sont les plus exactes possibles. Cependant le mode de calcul peut être parfois différent d'un lieu à l'autre
- Lors de l'absence de comptage dans les grands centres, la répartition des énergies se fait au prorata des surfaces (vente pour l'électricité et l'eau ou vente + arrières pour la chaleur). Cette manière de procéder peut amener des résultats différents de la réalité (chaleur, eau immeuble, locaux communs, etc. par exemple)
- Les chiffres issus d'une série de succursales commerciales de la même société (27 bâtiments) sont relativement cohérents entre eux (consistance dans le projet). Cependant ce n'est pas

forcément le cas en ce qui concerne les autres surfaces commerciales présentées dans ce rapport (5 centres commerciaux de grande et très grande taille).

5.2. ANALYSE GLOBALE DES RESULTATS

5.2.1 Grandeurs de référence

Les consommations énergétiques de plus de 30 bâtiments (32 au total pour être exact) comprenant une surface commerciale ont été analysées.

L'échantillon est assez représentatif comme le montre la répartition des principales grandeurs de référence, soit :

- la surface de vente de la partie commerciale [m²].
- la longueur corrigée des armoires de froid commercial (+ et – cumulée) [m].

Surfaces : minimum : 412 [m²], moyenne : 3'755 [m²], maximum : 24'300 [m²]

Longueur de froid commercial : 26 [m], moyenne : 80 [m], maximum : 254 [m]

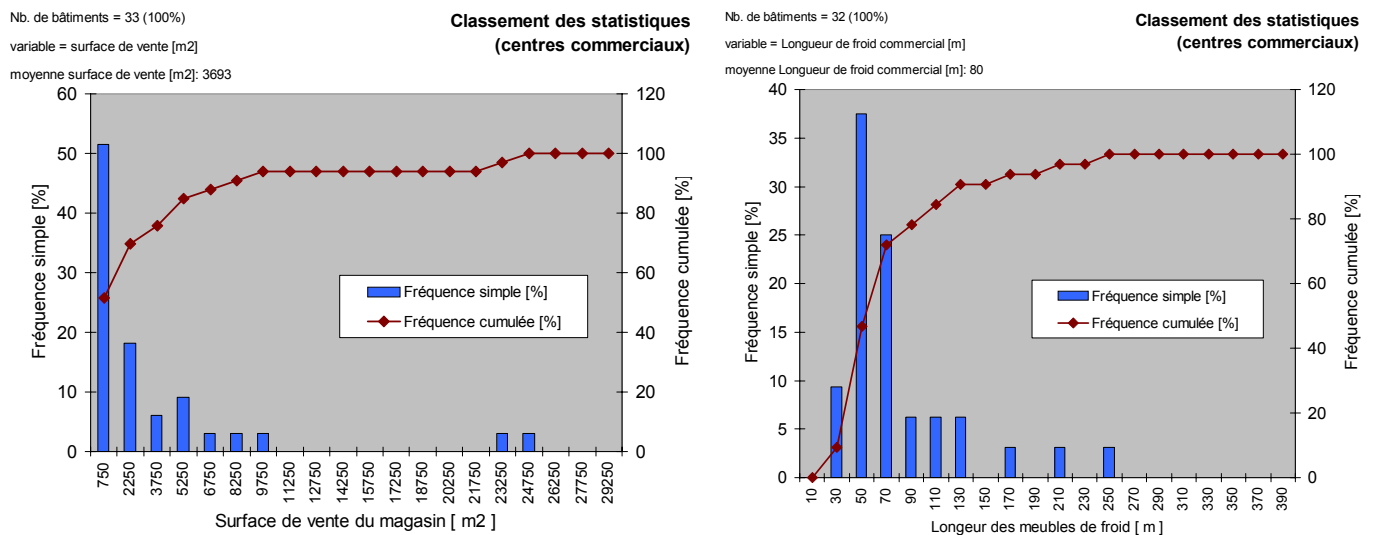


Figure 43: Classement des centres commerciaux;
Surface de vente [m²] et longueur de froid commercial [m]

5.2.2 Chaleur

32 bâtiments analysés. Les indices annuels de dépense de chaleur sont compris entre 20 et 230 [kWh/m², an]. Moyenne de 97 [kWh/m², an].

Nb. de bâtiments = 32 (100%)

variable = IDE chaleur [kWh/m²]

moyenne IDE chaleur [kWh/m²]: 97

Classement des statistiques (centres commerciaux)

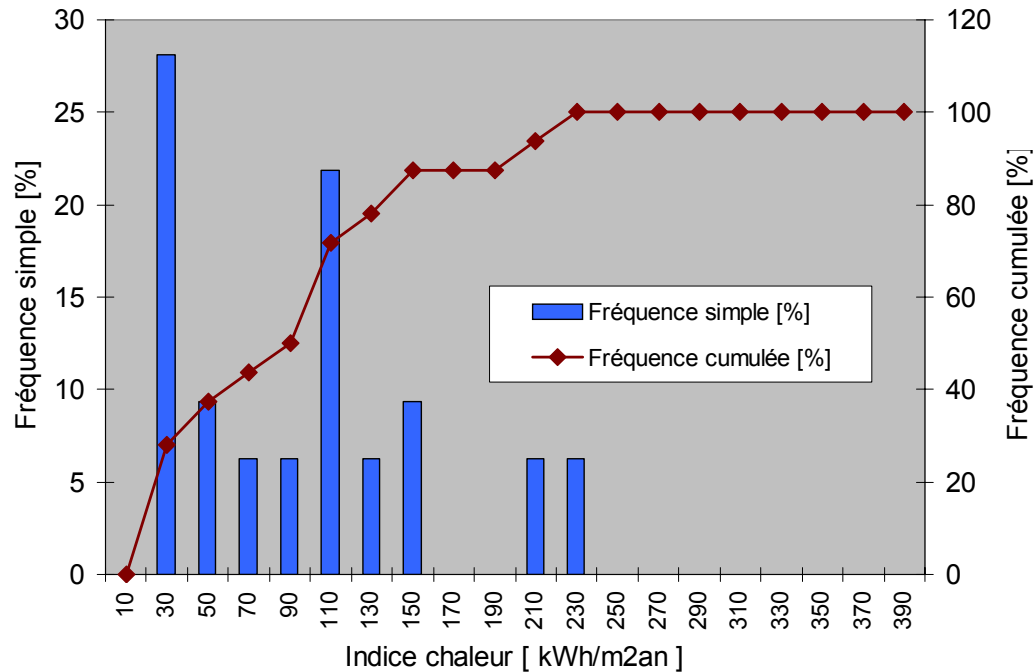


Figure 44: Classement des centres commerciaux;
indices annuels de dépense de chaleur [kWh/(m² an)]

Les principaux facteurs d'influence sur les consommations sont les suivants :

- Influence des débits d'air (à analyser) et mode de réglage des installations
- Optimisation excessive (plaintes due à des consignes trop basses, par exemple)
- Chauffage par pompe à chaleur (PAC)
- Facteur de taille – surface de vente (petite, moyenne, grande et très grande)
- Typologie et âge du bâtiment (à analyser)
- Typologie de la récupération de chaleur, niveaux de température (froid commercial à analyser)

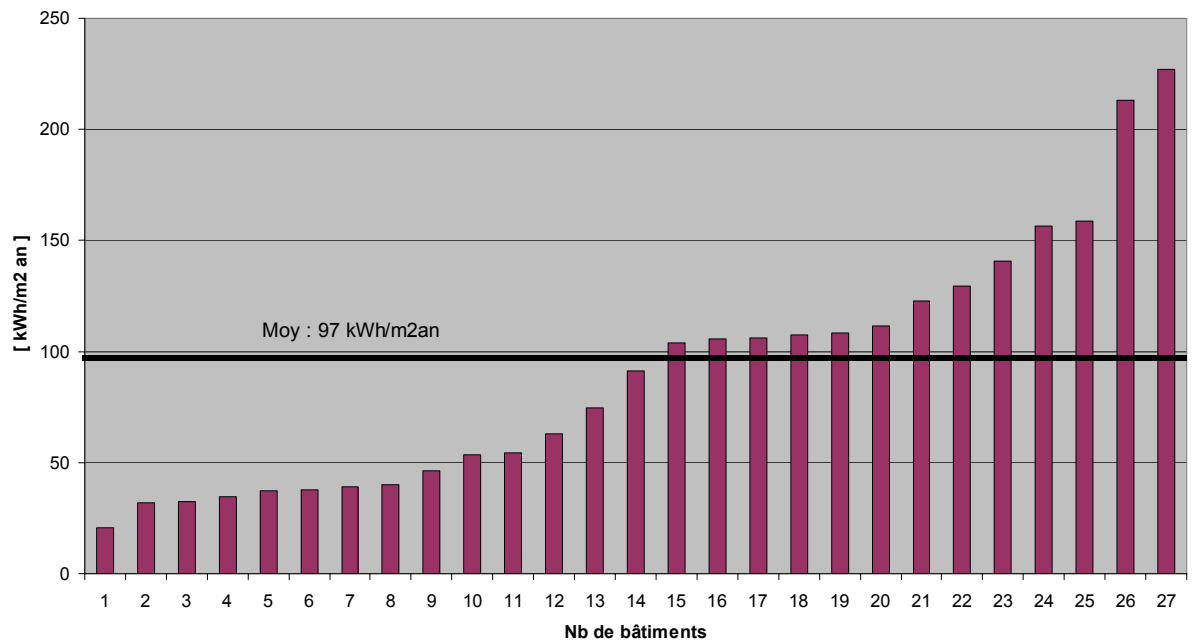


Figure 45: Distribution des indices annuels de dépense de chaleur [kWh/(m² an)]

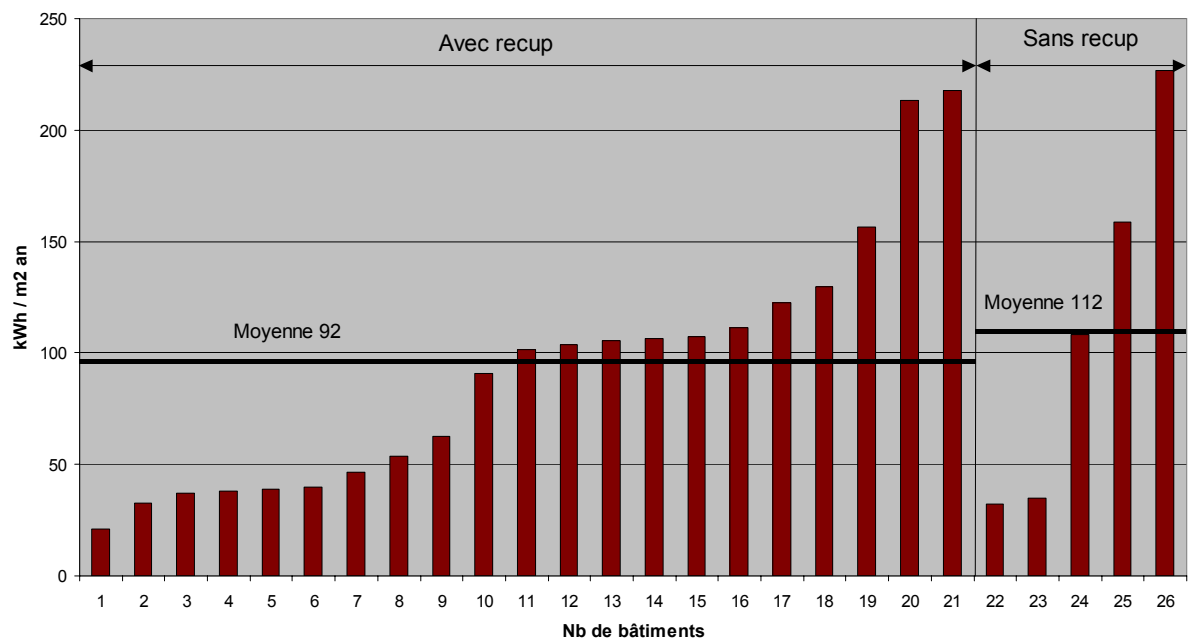


Figure 46: Influence de la récupération du chaleur sur le froid commercial

Cette figure ne permet pas de mettre clairement en évidence les économies en chaleur lorsque l'on récupère l'énergie de la condensation du froid commercial. Vu le faible échantillon de bâtiments surtout celui sans récupération, il n'est par contre pas possible de tirer des conclusions.

5.2.3 Electricité

32 bâtiments analysés. Les indices annuels de dépense électriques sont compris entre :

- TOTAL : 100 et 800 [kWh/m², an]. Moyenne 547 [kWh/m², an]
- SANS froid commercial : 100 et 550 [kWh/m², an]. Moyenne 298 [kWh/m², an]

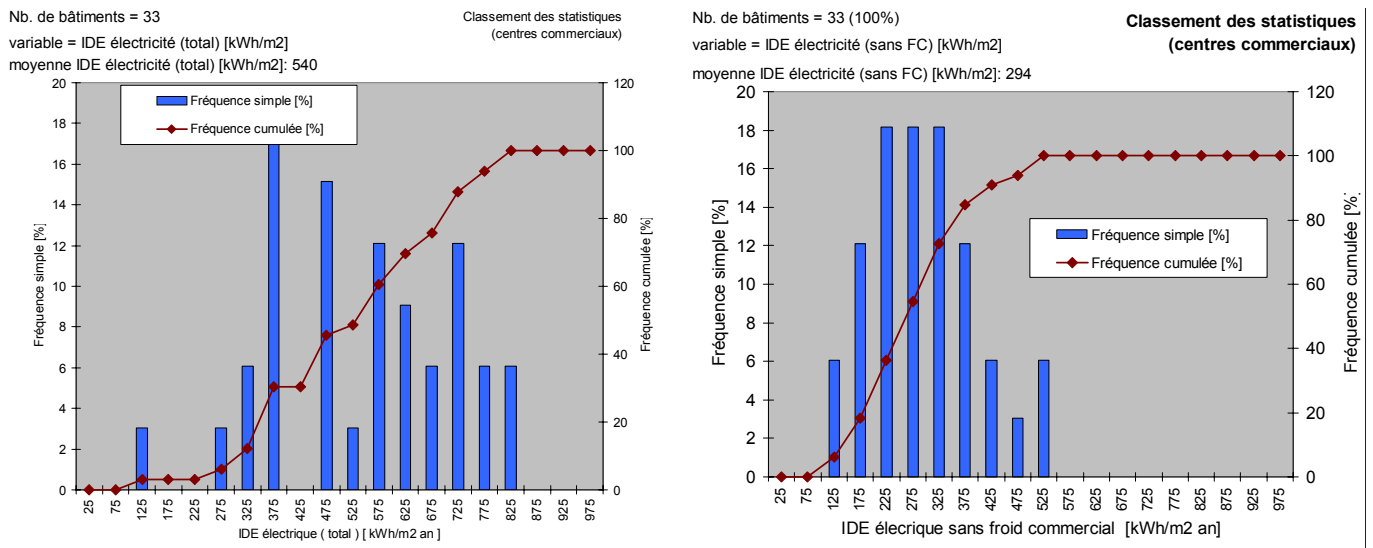


Figure 47: Classement des centres commerciaux; indices annuels de dépense électriques total et sans froid commercial (sans FC) [kWh/(m2 a)]

Les principaux facteurs d'influence sur les consommations sont les suivants :

- Présence ou non d'installation de froid climatique
- Importance des débits d'air spécifiques et du mode de réglage des installations (à analyser de cas en cas)
- Facteur de taille – surface de vente (petite, moyenne, grande et très grande)
- Eclairage du centre base et appoint (puissance spécifique, gestion, horaires, types de luminaires)
- Présence ou non d'un restaurant avec cuisine « tout électrique »
- Efficacité de l'installation de production de froid commercial et des meubles de froid dans le magasin.

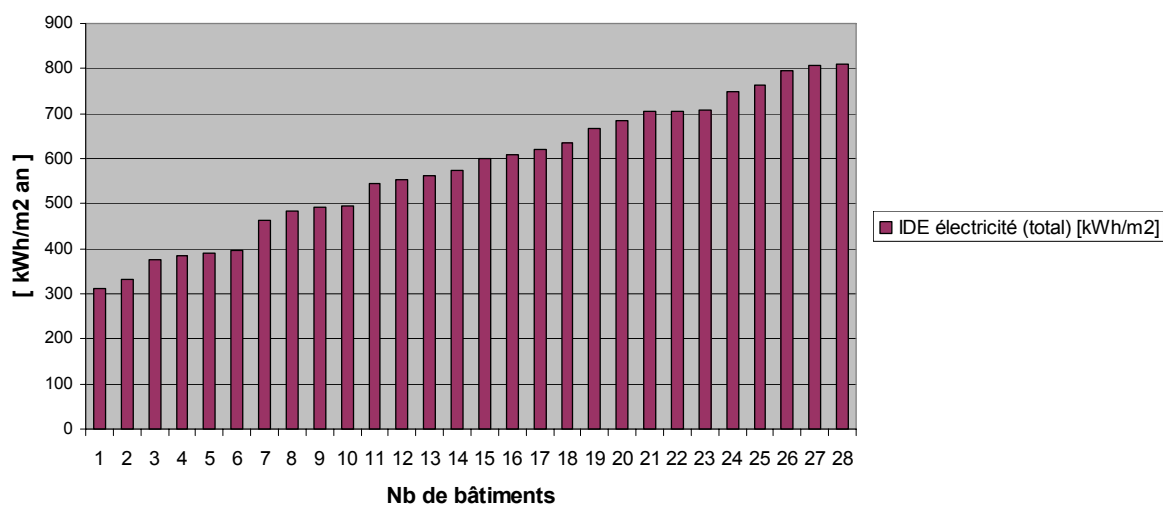


Figure 48: Distribution des indices annuels de dépense électriques total [kWh/(m2 an)]

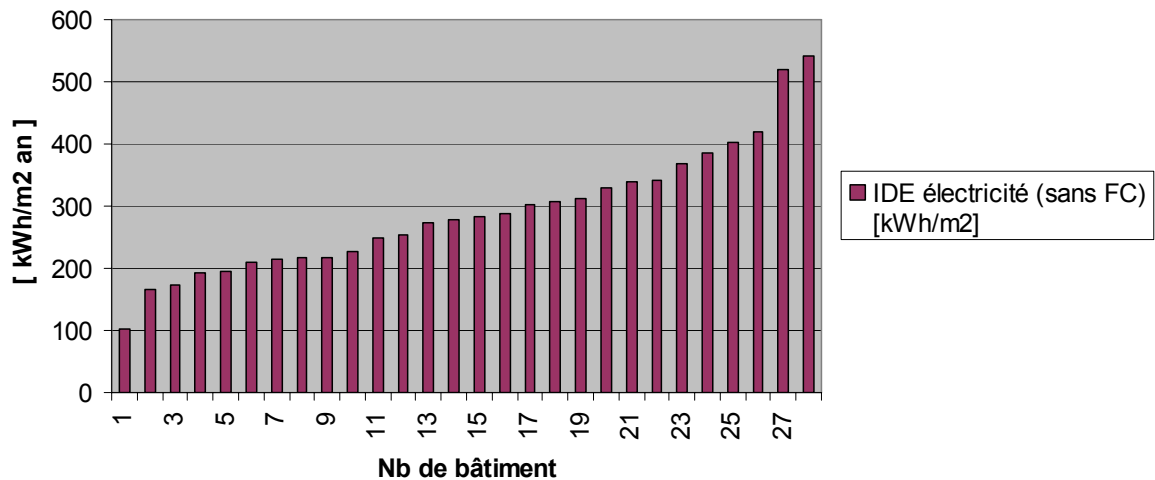


Figure 49: Distribution des indices annuels de dépense électriques sans froid commercial [kWh/(m² an)]

Les figures qui suivent illustrent certaines corrélations qui ont pu être mises en évidence. On remarque néanmoins une très grande dispersion des valeurs.

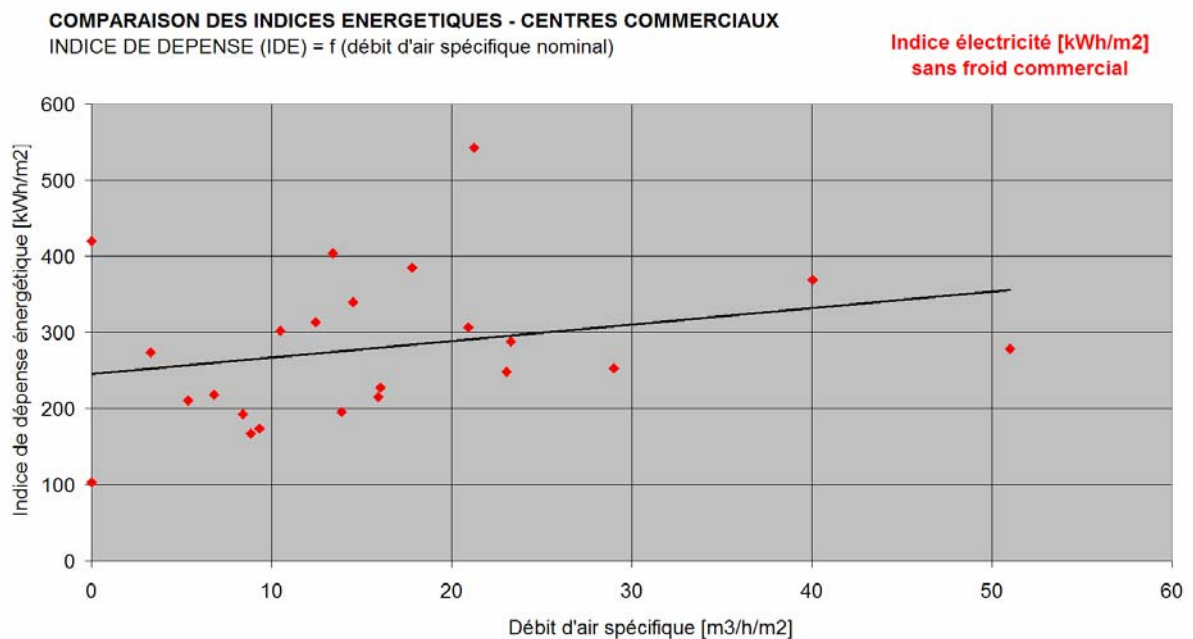


Figure 50: Comparaison des indices de dépense énergétique avec le débit d'air spécifique

La consommation électrique des centres augmente bien avec le débit d'air spécifique. La pente reste faible ce qui est normal étant donné que ce consommateur ne représente qu'une partie de la consommation électrique du centre.

COMPARAISON DES INDICES ENERGETIQUES - CENTRES COMMERCIAUX
 INDICE DE DEPENSE (IDE) = f (surface de vente)

Indice électricité [kWh/m2]
 TOTAL y.c. FCO

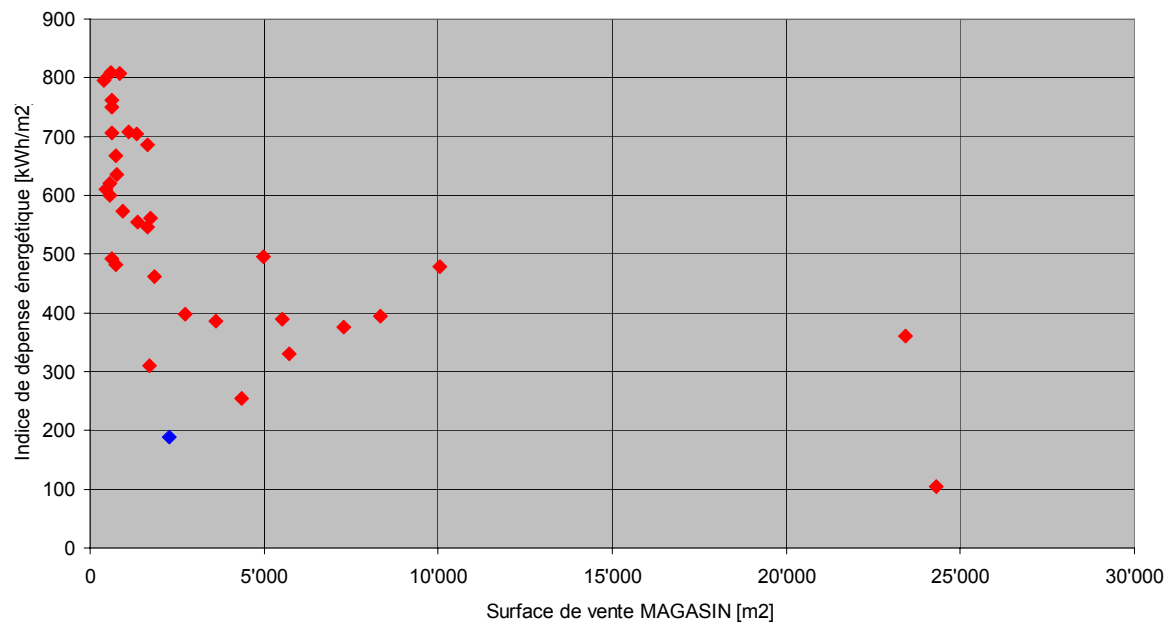


Figure 51: Comparaison des indices de dépense énergétique avec le surface de vente

La figure ci-dessus montre que les petits centres commerciaux consomment plus que les grands. Ceci est du probablement à la part plus importante du froid commercial dans les petites surfaces (voir Figure 52).. Les petites surfaces de notre étude sont essentiellement représentées par des magasins alimentaires, sans parties (surfaces) réservées aux magasins du type meubles, do-it, etc... qui n'ont pas de froid commercial et des niveaux d'éclairage moyens plus faibles.

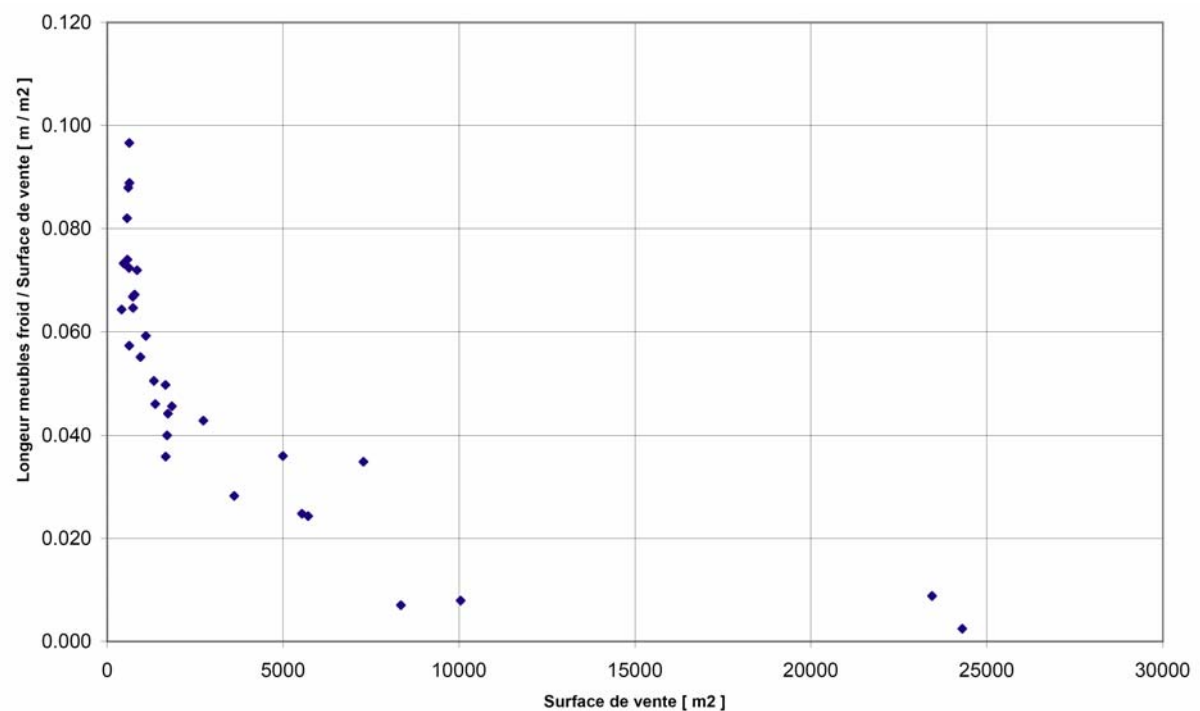


Figure 52: Comparaison de la longueur de froid commercial avec le surface de vente

Froid commercial (électricité)

27 bâtiments analysés. 3 d'entre eux n'ont pas de comptage de froid commercial (valeurs estimées).

La longueur de froid commercial est corrigée en fonction de la hauteur/profondeur des armoires et étagères frigorifiques. De manière simplifiée, on applique un facteur multiplicatif à la longueur d'armoires frigorifiques relevé si la hauteur n'est pas 2m environ. Exemple : facteur 1.1 si l'armoire fait 2.2 m de hauteur, facteur 0.75 si l'armoire fait 1.3 à 1.6 m de hauteur. Cette correction est réalisée par le fournisseur des données nous n'avons donc aucun moyen de la contrôler.

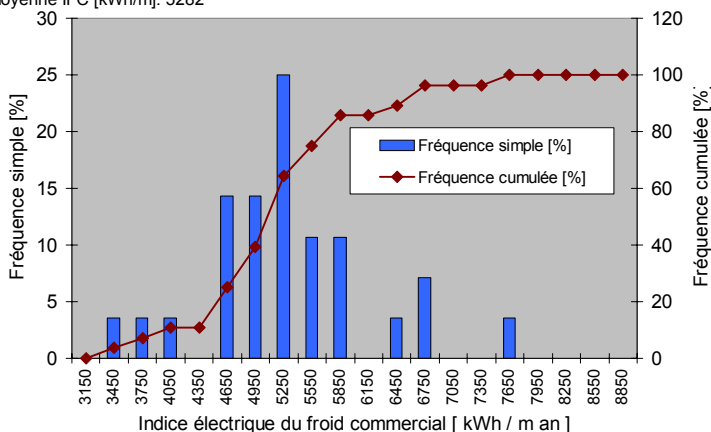
- Les indices annuels de dépense électrique pour le froid commercial sont compris entre 3'700 et 7'700 [kWh/m, an]. Moyenne : 5'344 [kWh/m, an].
- La proportion de la consommation électrique nécessaire au fonctionnement des installations de froid commercial s'étale de 24 à 79%. Moyenne 51 [%].

Nb. de bâtiments = 28 (100%)

variable = IFC [kWh/m]

moyenne IFC [kWh/m]: 5282

Classement des statistiques
(centres commerciaux)



Nb. de bâtiments = 28 (100%)

variable = Proportion FC dans electricité [%]

moyenne Proportion FC dans electricité [%]: 51

Classement des statistiques
(centres commerciaux)

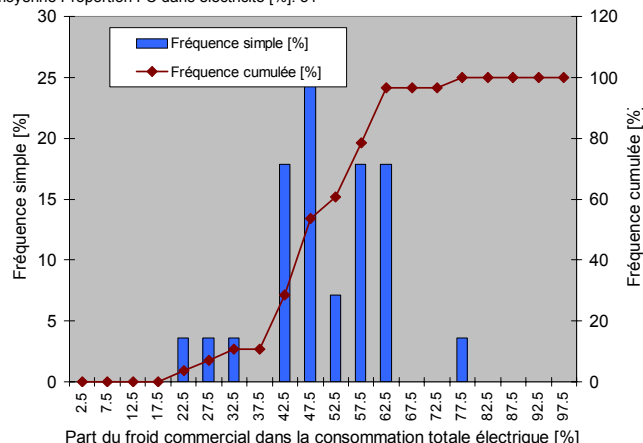


Figure 53: Classement des centres commerciaux en fonction de; froid commercial (FC) [kWh/(m an)] et la proportion de la consommation du FC sur la consommation totale électrique du centre [%]

Les principaux facteurs d'influence sur les consommations sont les suivants:

- Typologie et génération d'installation (production et armoires)
- Typologie des étagères, meubles, bahuts et armoires frigorifiques (taille, forme, éclairage, production centralisée ou décentralisée)
- Typologie du système de récupération de chaleur (chauffage et/ou ECS)
- Niveaux de température de la récupération (à analyser)
- Facteur de taille – surface de vente (petite, moyenne, grande et très grande)
- Eclairage du centre base et appoint (puissance spécifique, gestion, horaires, types de luminaires)

La figure de la page suivante montre simplement que les nouvelles installations ont tendance à consommer moins ce qui est réjouissant, bien que le potentiel d'économie est probablement encore supérieur. Nous développerons ce point dans un prochain chapitre.

Il est par contre très important de réaliser que la consommation générée par le froid commercial représente près de 50% de la consommation totale ! Une attention toute particulière doit donc être portée à ce consommateur.

COMPARAISON DES INDICES ENERGETIQUES - CENTRES COMMERCIAUX
 INDICE DE DEPENSE (IDE) = f (année d'ouverture)

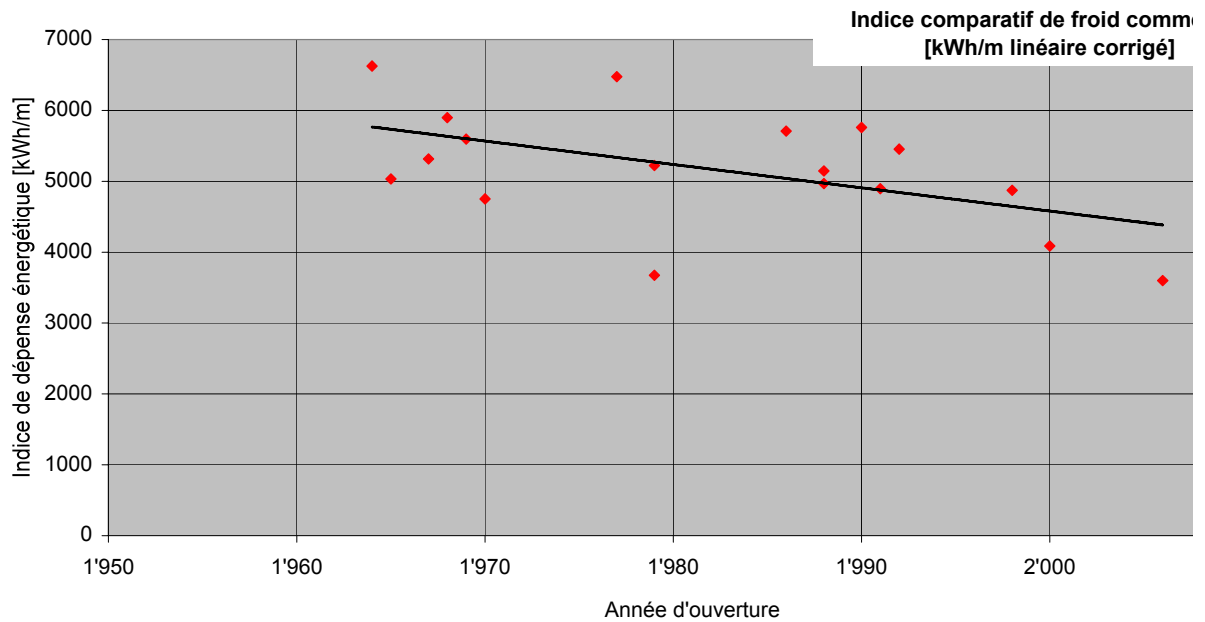


Figure 54: Comparaison des indices de dépense énergétique en fonction de l'année d'ouverture

5.2.4 Eau

29 bâtiments analysés + 1 bâtiment dont les compresseurs sont refroidis avec de l'eau perdue ($7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ annuel !). Les indices annuels de dépense d'eau (IDE eau) sont compris entre 0.5 et 7 [$\text{m}^3/\text{m}^2, \text{an}$]. Moyenne $0.78 \text{ [m}^3/\text{m}^2, \text{an}]$.

Nb. de bâtiments = 29 (100%)

variable = IDE eau [m^3/m^2]

moyenne IDE eau [m^3/m^2]: 0.78

Classement des statistiques
(centres commerciaux)

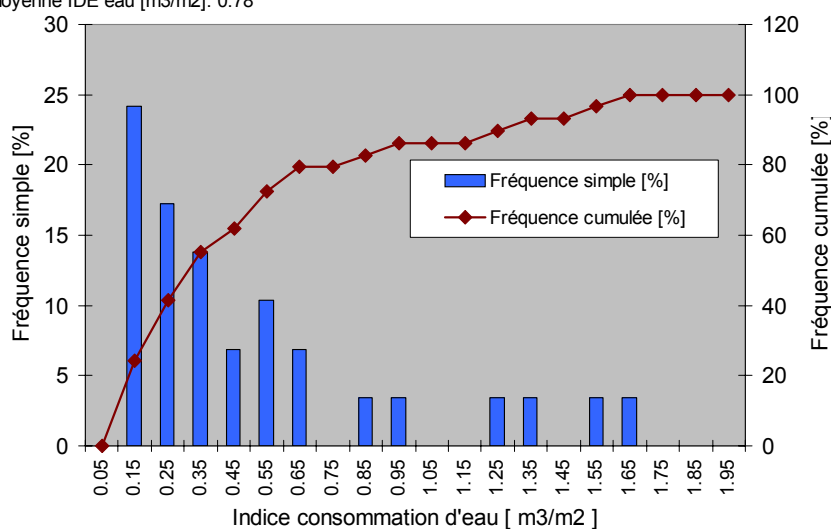


Figure 55: Classement des centres commerciaux; indices annuels de dépense d'eau [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ an})$]

Il est difficile de dégager des tendances claires principalement par manque de données techniques fiables. Les principaux facteurs d'influence sur les consommations sont les suivants:

- Présence d'un restaurant (ou non). Répartition des consommations au prorata des surfaces de vente dans la majorité des cas (absence de comptage)
- Répartition au prorata des surfaces de vente (dans le cas de restaurants, absence de comptage spécifique)
- Décompte d'eau fait par la gérance (y.c. locaux communs, eau chaude sanitaire immeuble, etc.)
- Refroidissement des compresseurs à eau perdue
- Facteur de taille – surface de vente (petite, moyenne, grande et très grande) – peu d'influence

5.3. COMPARAISON AVEC LES ÉTUDES RAVEL ET LES NOUVELLES NORMES SIA

Les consommations relevées dans le cadre de notre étude ont été comparées aux nouvelles recommandations issues de la SIA2024 et SIA380/4.

La consommation due au froid commercial lorsqu'il existe devrait être comprise dans la partie des équipements (répartition des consommations selon la SIA 2024). Le tableau 20 de la page 83 montre que cette partie ne représente qu'au maximum 23% de la consommation du magasin (dans le cas alimentation). Cette valeur n'est donc pas cohérente par rapport aux résultats de notre sondage et relevé des consommations. Ce consommateur devrait donc être plus élevé dans le cas de bâtiment avec meubles de froid et les valeurs de la SIA 2024 corrigées en conséquence.

Table 20 Consommations relevées comparées aux recommandations issues de la SIA2024 et SIA380/4

SIA 2024 : VALEURS TYPE DE CONSOMMATION ELECTRIQUE										
N°	Catégorie	Consommation électrique [kWh/m2an]						Consommation chaleur [kWh/m2an]		
		Equipements	Eclairage	Ventilation	Refroidissement	Humidification	TOTAL électricité	Chauffage	ECS	TOTAL Chaleur
5.1	Magasin de meubles	6	51	4	8	0	69	2	1	3
5.2	Magasin d'alimentation	31	73	21	6	0	131	5	6	11
5.3	Centre de bricolage	6	73	4	19	0	102	1	1	2
5.4	Supermarché (food/nonfood)	16	96	34	18	0	164	2	6	8
5.5	Magasin grande surface	6	118	21	54	0	199	1	4	5
							547			97
						Moyenne étude base surface de vente		Moyenne étude base surface de vente		
							278			58
						Moyenne étude base surface totale		Moyenne étude base surface totale		

Les valeurs préconisées dans l'étude RAVEL de l'époque (1996) [22] et celles qui sont issues du cahier technique 2024 de la SIA et de la 380/4 sont très différentes. Les valeurs de consommations relevées dans notre étude sont par contre plutôt proche de l'étude RAVEL, comme le montre le tableau ci-dessous.

Table 21 Consommations relevées comparées dans l'étude RAVEL et aux recommandations issues de la SIA2024, SIA380/4 et SIA380/1

	Chaleur [MJ/m ² an]	Electricité [MJ/m ² an]		
		< 300 m ²	300-2000 m ²	> 2000 m ²
Etude RAVEL (1996)	290	1800	1480	1330
SIA 2024, SIA 380/4	a)	250-720		
SIA 380/1 (2001)	305-439 ^{b)}	-		
SIA 380/1 (2009)	256-441 ^{b)}			
Sondage 2008	350	1970		

Base pour indices annuels de dépense de chaleur / électriques: surface de vente [m²]

a) pas applicable (valeur n'est pas comparable)

b) Valeur pour un magasin avec une surface de vente de 80% - 50% de la surface de référence énergétique A_E.

Les valeurs préconisées par la SIA pour la consommation électrique sont très ambitieuses. Il sera intéressant d'évaluer les directions à prendre pour s'en approcher.

Au vu des bâtiments visités cela semble difficile voir impossible de s'en approcher pour les centres commerciaux petits à moyens. Ceci est du au fait que les concepts de ces anciens centres commerciaux ne s'occupaient pas beaucoup de l'énergie. Actuellement la situation évolue dans le bon sens et les nouveaux centres commerciaux mis en service vont être plus performants, car conçu correctement dès le départ et de façon globale (prose en compte de l'enveloppe, l'éclairage des zones, les installations de conditionnement terminales, les meubles frigos et les différentes productions énergétique.

Pour les grands centres (>10'000 m²) par contre la valeur de la SIA est dès maintenant atteignable. En effet dans les cas du centre commercial analysé finement la valeur globale de la consommation électrique préconisée par la SIA 2024 a été atteinte. La décomposition est par contre assez différente entre la mesure et celle préconisée par la SIA.

A titre indicatif nous donnons des indices énergétiques de centres commerciaux d'autres pays que la suisse:

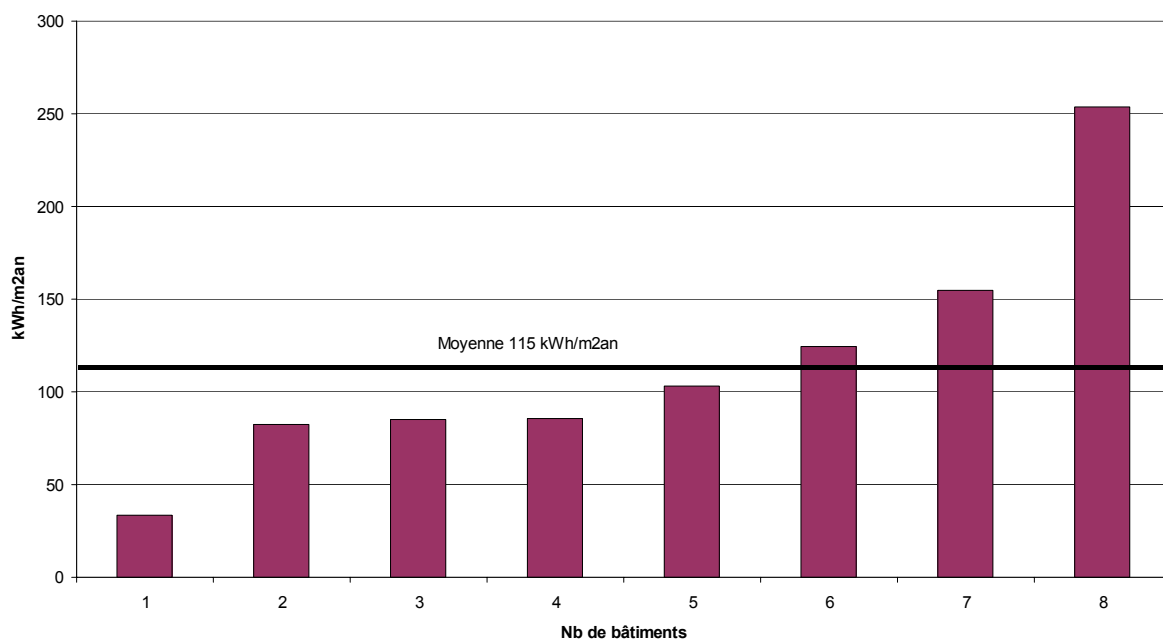


Figure 56: Indices chaleur d'une grande chaîne de distribution française

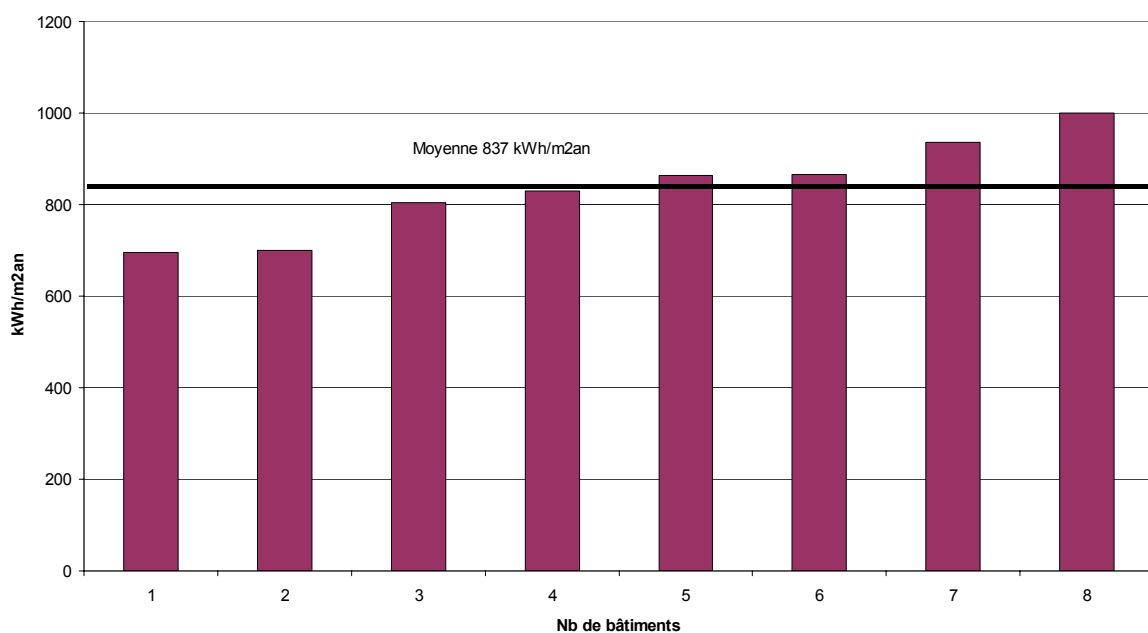


Figure 57: Indices électrique d'une grande chaîne de distribution française

Au niveau de l'électricité la situation est encore plus mauvaise que celle de nos bâtiments. Cela confirme que des efforts importants sont donc à faire dans ce secteur.

5.4. ANALYSE FINE D'UN GRAND CENTRE COMMERCIAL

Afin de comprendre comment est constituée la consommation d'un grand distributeur des mesures de la consommation électrique détaillée ont été effectuées. Le centre commercial étudié avait une surface de vente de 7300 m² de surface de vente et 250 m linéaire de meubles de froid.

La mesure de l'appel de puissance ¼ h est présentées ci-dessous

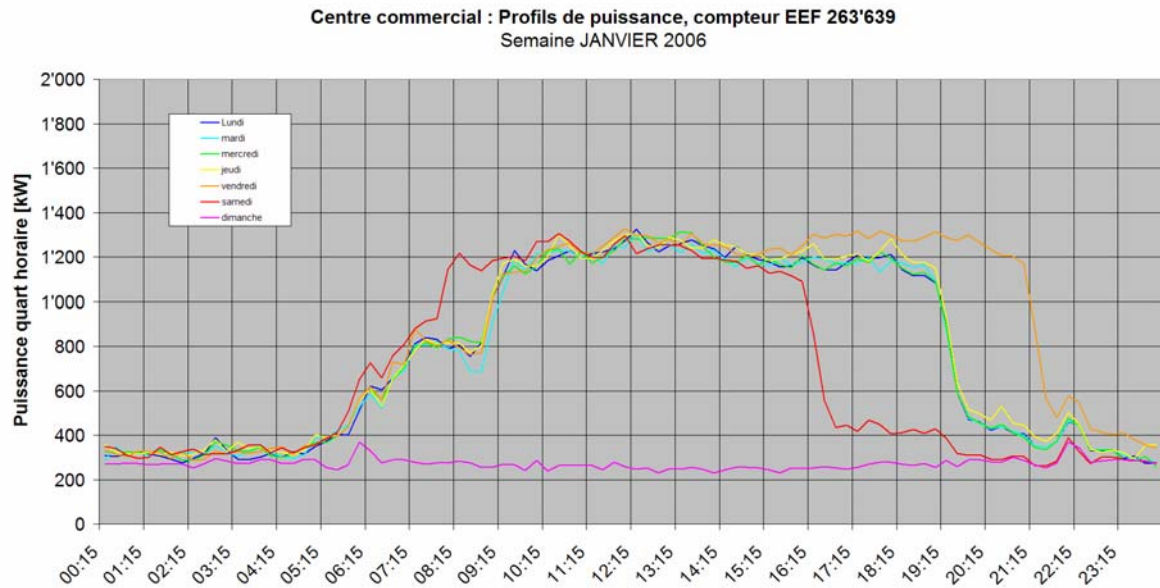


Figure 58: Profils de puissance ¼ h, Semaine Janvier

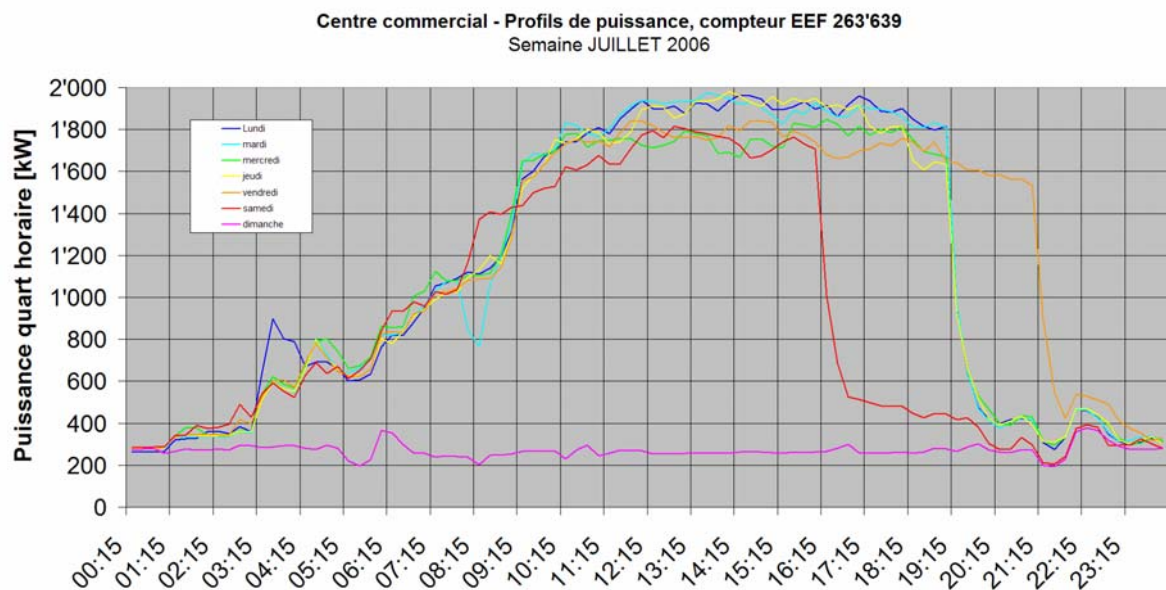


Figure 59: Profils de puissance ¼ h, Semaine Juillet

La puissance de base la nuit et le week-end est de 300 kW et n'est pas vraiment dépendante de la saison. Des mesures plus fines sur différents départs électriques ont permis de décomposer cette base:

- Départ surface de vente principale (ventilation, pompes, éclairage de nuit 95 kW
- Locaux commun (surface de passage, serveur,...) 19 kW
- Restaurant : 28 kW de nuit et 15 kW le dimanche
- Froid commercial 115 kW de nuit et 96 kW le dimanche.

Centre commercial - Profils de puissance, compteur EEF 263'639
Lundi type JANVIER 2006

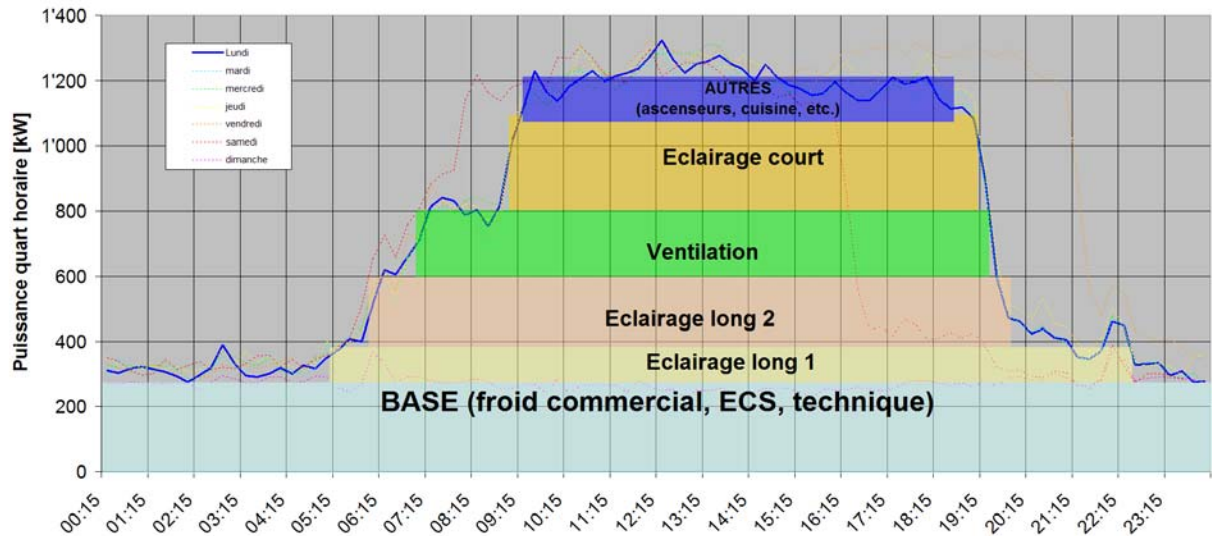


Figure 60: Profils de puissance ¼ h, Lundi type Janvier

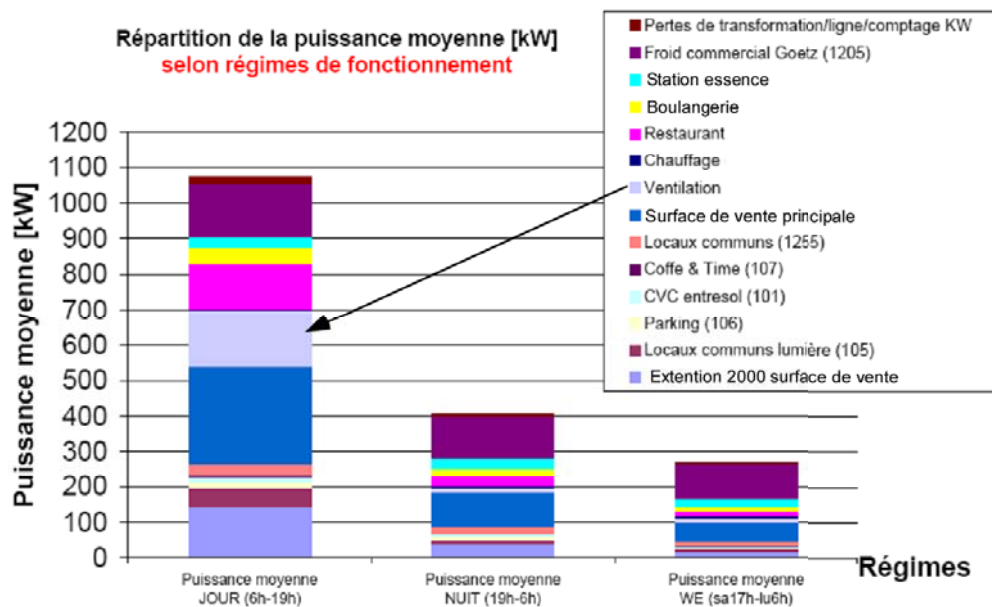


Figure 61: Répartition de la puissance moyenne, jour / nuit et week-end

Le graphique ci-dessus présente les résultats de cette analyse ponctuelle (valeurs moyenne par régime). Il en ressort les points suivants :

Par rapport au régime jour et globalement, la réduction est de 63% la nuit et de 75% le dimanche.

- Certains consommateurs ont des réductions importantes (75 – 90% de la puissance moyenne diurne) et donc des consommations de base relativement basses en proportion de leurs consommations en mode diurne. C'est le cas de l'extension de surface de vente 2000, locaux communs lumière, Coffee Time, Restaurant, Ventilation, principalement.
- Certains consommateurs ont des réductions faibles mais qui s'expliquent. C'est le cas du froid commercial ou la réduction des puissances est de 20 à 30% pour le froid de l'hypermarché (Goetz) et 40% pour le froid Restaurant.

- Certains consommateurs ont des consommations nocturnes anormalement élevées. C'est le cas par exemple pour la station service (chauffage de l'eau pour lavage des voitures ?) », « Electricité chauffage ».

On peut néanmoins certifier que ce centre commercial constitue un exemple où les horaires des installations ont été déjà adaptés au mode de fonctionnement (ouverture) des magasins. On voit très bien dans les figures des puissances 1/4h la baisse de puissance différente entre le samedi, vendredi (ouverture tardive) et les autres jours de la semaine.

L'analyse détaillée complète est présentée en annexe à ce rapport.

5.5. GRANDS CONSOMMATEURS DANS UN CENTRE COMMERCIAL

Les données récoltées ont permis de cerner les consommateurs responsables de la plus grande partie de la consommation électrique des grands distributeurs. Dans les figures qui suivent nous donnons les parts des principaux consommateurs sur la consommation annuelle du centre ou magasin. Nous avons différencié les grands centres commerciaux avec une grande multitude d'affiches différentes à ceux qui sont plus petit avec peu de différents distributeurs, voir un distributeur unique.

En fonction des distributions qui suivent 3 groupes peuvent être mis en évidence :

- Eclairage
- Froid commercial
- Installations de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)

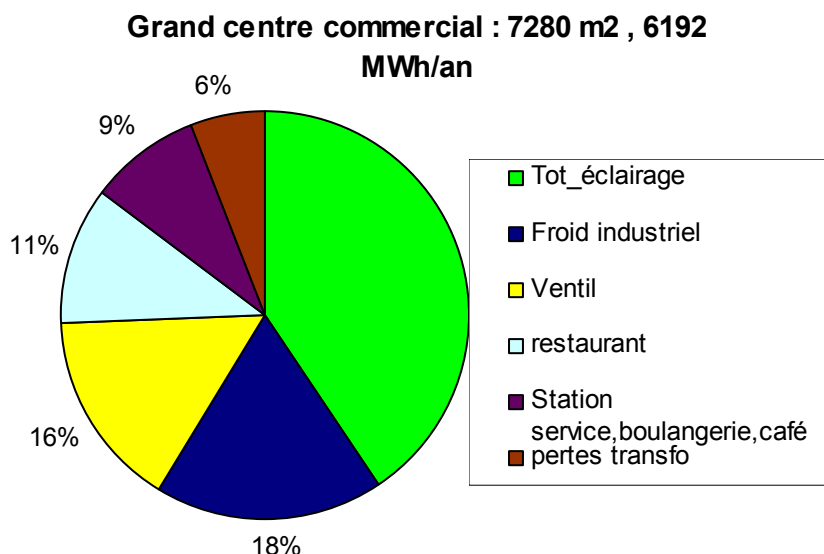


Figure 62: Grand centre commercial; principaux consommateurs

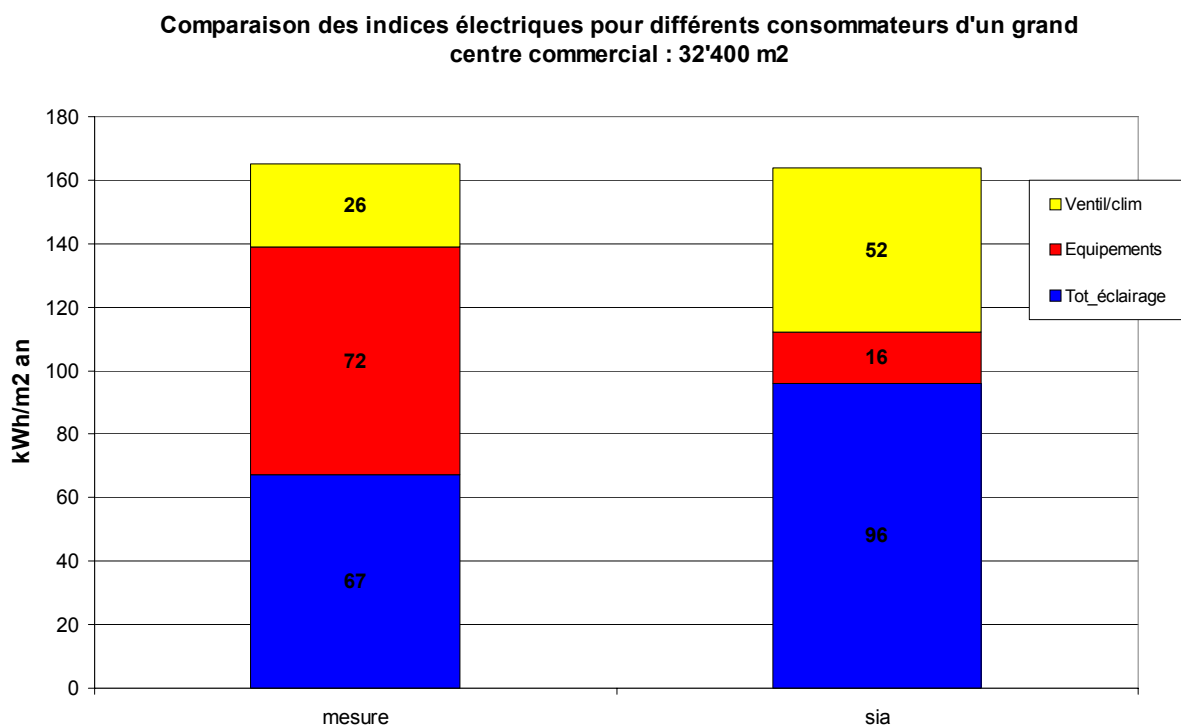
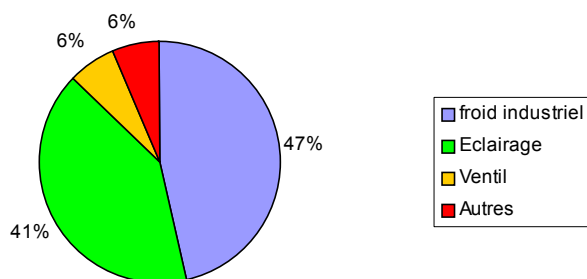


Figure 63: Grand centre commercial; principaux consommateurs et comparaison avec la SIA

Dans le cas des grands centres commerciaux le restaurant fait clairement partie des consommateurs importants du site

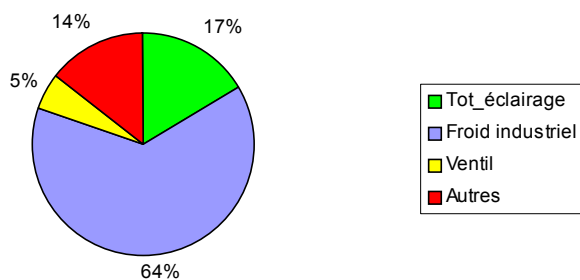
**Magasin récent 2006 : 1700 m²,
528 MWh/an**



- Indice éclairage : 144 kWh/m²an
- Indice froid com : 127 kWh/m²an
- Indice ventil/clim : 20 kWh/m²an
- Total de 311 kWh/m²an
- 3 X SIA

Figure 64: Magasin récent; principaux consommateurs

Magasin ancien 1967 : 753 m², 355 MWh/an



- Indice éclairage : 79 kWh/m²an
- Indice froid com : 299 kWh/m²an
- Indice ventil/clim : 25 kWh/m²an
- Total de 472 kWh/m²an
- 3.5 X SIA

Figure 65: Magasin ancien; principaux consommateurs

Dans les grands centres commerciaux le chauffage et la ventilation climatisation représentent un consommateur important. Un potentiel d'économie existe donc soit par des mesures d'optimisation soit par des mesures de rénovation et de choix conceptuels au niveau des nouveaux centres.

Pour les supermarchés de plus petite taille la situation est différente, la part CVC (chauffage, ventilation et climatisation) est nettement moins importante les économies doivent se chercher sur l'éclairage et le froid commercial.

Nous n'avons pas noté une nette différence de longueur totale de meubles de froid avec les années. La figure qui suit l'atteste.

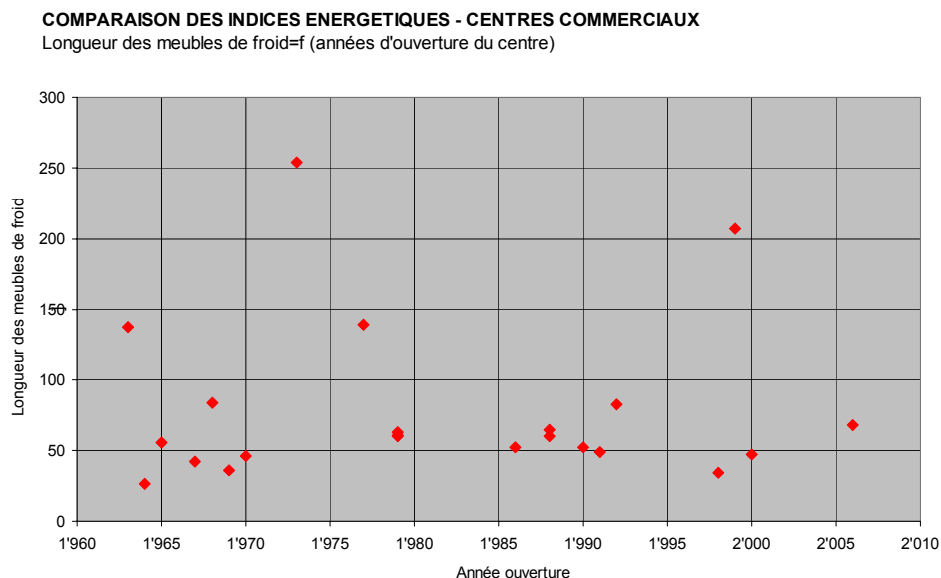


Figure 66: Evolution de la longueur des meubles de froid commercial en fonction des années de mise en service du magasin

5.6. POTENTIELS D'ÉCONOMIE ET DIRECTIONS À PRENDRE POUR LES OBTENIR

Froid commercial :

Ce consommateur représente environ **20 % de la consommation électrique d'un grand centre commercial et 50 % de la consommation d'un supermarché !**

Le froid commercial peu être partagé en 2 parties :

- Production de froid
- Meubles de froid

Les deux catégories ont un potentiel d'économie qui devra être exploité dans le futur.

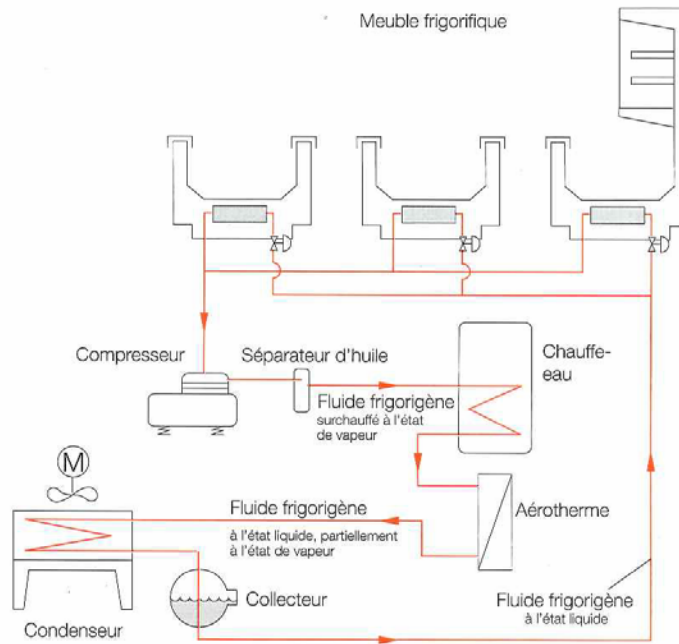


Figure 67: installations de production de froid commercial

Note : Pour les grandes installations très souvent un fluide caloporteur autre que le gaz frigorigène est transporté dans les meubles de froid. Dans cette figure cela n'est pas le cas pour des raisons de simplicité de dessin.

Les installations de production de froid commercial n'ont pas été conçues jusqu'à présent pour favoriser les économies d'énergie mais plutôt dans l'optique d'être fiables durant leur exploitation.

Les pistes pour diminuer la consommation sont :

- Niveaux de température d'évaporation : Adaptation automatique de la température d'évaporation en fonction de la charge (nuit et week-end moins de charge donc $T_{\text{évap}}$ plus haute possible)
- Sous refroidissement du fluide frigorigène (au moyen de l'eau froide par exemple)
- Niveaux de température de condensation, récupération de chaleur : éviter de rester à une trop haute température de condensation si on ne récupère plus de chaleur.
- Réglage des hystérésis, dégivrages
- Travail au niveau des cycles combinés haute et basse température

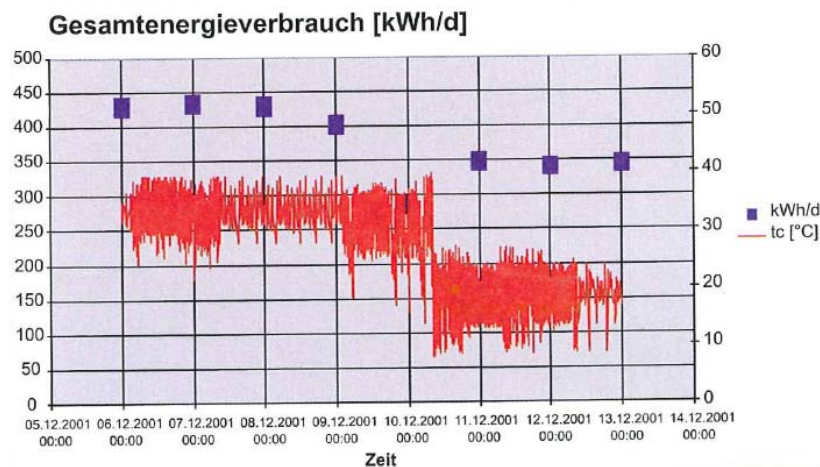


Figure 68: Economie électrique en diminuant la température de condensation de 30°C à 20°C, réglage fonction de Text. (source HK-Gebäudetechnik 5-07)

L'adaptation de la température de condensation a dans le cas ci-dessus permis d'économiser 40% d'énergie!

Dans ce domaine le choix du type de cycle et du type de fluide réfrigérant vont influencer la consommation électrique pour la production du froid. L'avantage d'un cycle par rapport à un autre ne sont pas bien documentés. L'emploi de fluides comme le CO_2 pour le froid négatif modifie considérablement les architectures utilisées jusqu'à présent. Dans ce cas particulier la condensation du cycle CO_2 est refroidie par le cycle de froid positif, alors que dans le cas d'un fluide conventionnel il n'est pas recommandé de le faire étant donné que l'on peut utiliser directement l'air extérieur pour le faire sans consommation électrique.

Une étude neutre sur ce sujet serait certainement utile pour bien quantifier les enjeux énergétiques dans ce domaine.

Nos visites sur des sites ont permis de constater la présence de différents types de système de production de froid industriels :

1. 2 cycles indépendants pour le froid positif et négatif (multiplex)
2. Circuits bi-étagés avec compresseur booster
3. Cycle bi-étagés en cascade

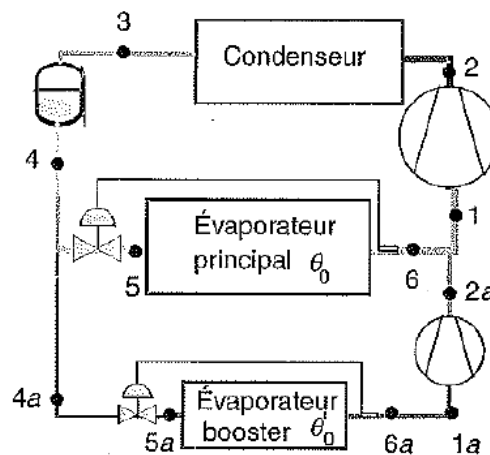


Figure 7.47 – Installation bi-étagée avec compresseur booster.

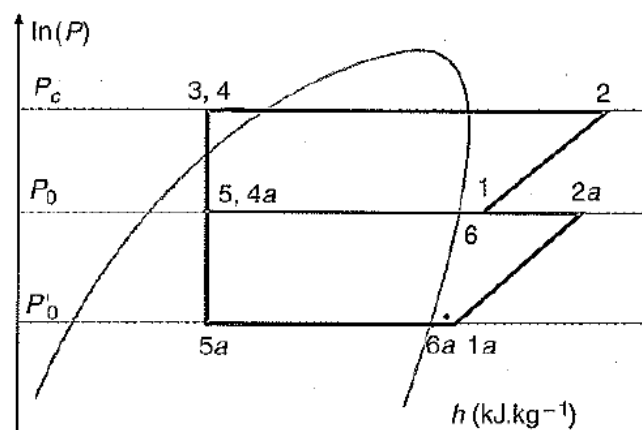


Figure 69: Circuits bi-étagés avec compresseur booster [24]

Le cycle bi-étage en cascade est utilisé dans les nouveaux cycles par exemple avec le CO_2 pour le froid négatif et du R404a pour le froid positif. L'évaporation du froid positif sert en partie pour refroidir la condensation du froid négatif. Sans cela l'utilisation d'un aérorefroidisseur sur l'air extérieur

aboutirait à des pressions trop importantes pour la condensation du CO₂. Même sans utiliser du CO₂ pour le froid négatif, ce type de cycle permet d'être plus performant au niveau du cycle négatif de part la température de condensation très basse. Globalement ce type de cycle permettrait d'économiser 7% de consommation selon la littérature spécialisée [24].

Toujours dans ce domaine, certains fournisseur (cf Pohlmann, Taschenbuch der Kältetechnik; [24]) ont mis au point des système de contrôle qui permettent de coordonner les enclenchements des consommateurs (meubles de froid) et de garder un débit de fluide frigorigène le plus constant possible limitant ainsi l'enclenchement des compresseurs et permettant d'obtenir une température d'évaporation plus constante.

Finalement le cycle idéal est représenté dans la figure qui suit:

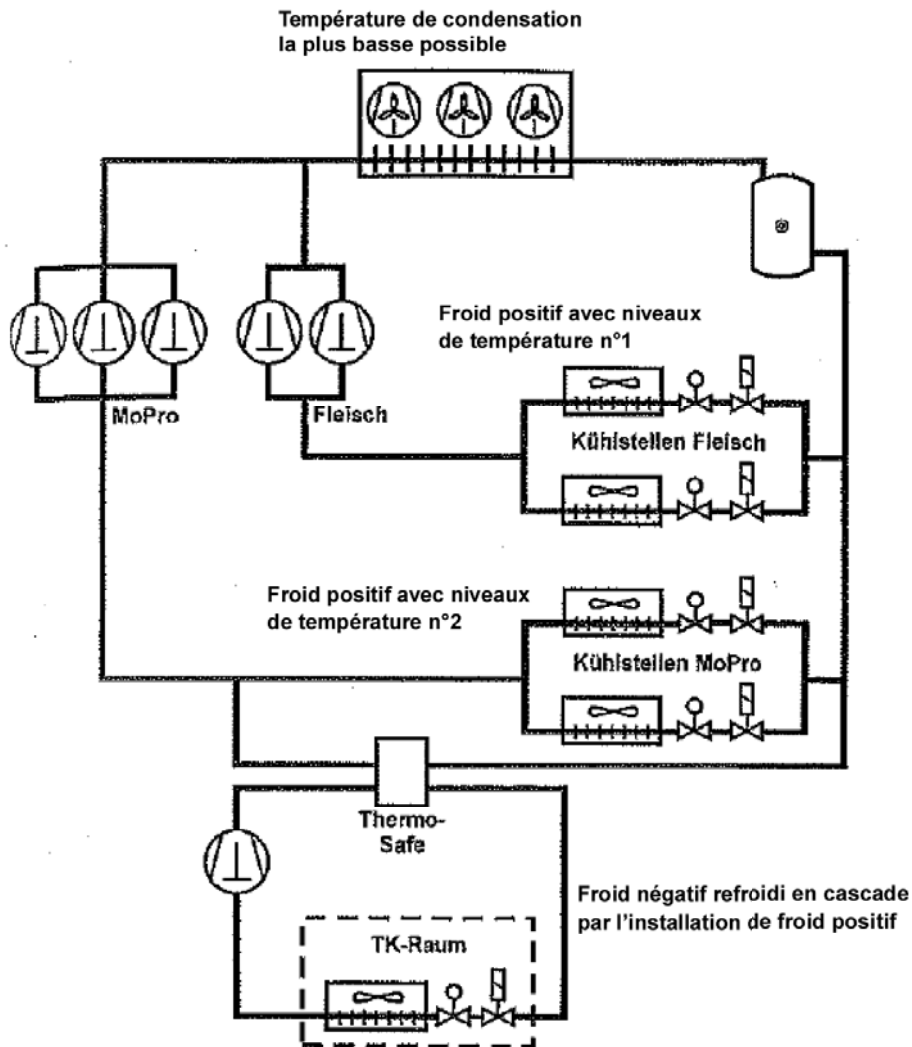


Figure 70: Cycle 'multipack' avec cascade pour le froid négatif et compression différenciée selon le niveau de température de l'évaporation [24]

Il possède les caractéristiques suivantes :

- Refroidissement de la condensation du cycle négatif par le cycle positif.
- Niveau de température d'évaporation adapté au type d'utilisateur (meuble de froid). De cette façon le meuble de froid demandant la plus basse température de préterite pas le coefficient de performance de l'ensemble de la production.
- Niveau de condensation variable et adapté aux possibilité de l'air extérieur, emplois de refroidissement adiabatique recommandé en été.

Dans ce secteur le potentiel d'économie est très important mais difficilement quantifiable précisément. On pourrait néanmoins annoncer environ 20-25% d'économies possibles. Une étude du programme Ravel avait du reste confirmé cette valeur.

Meubles de froid

Ces derniers jouent un rôle très important sur la consommation électrique pour le froid commercial. Les pistes pour diminuer sa consommation sont :

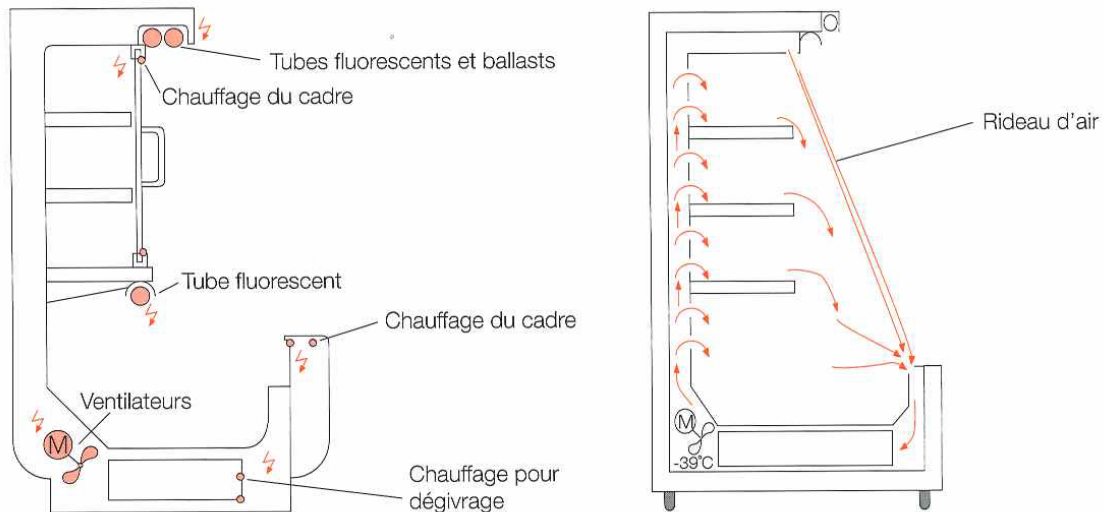


Figure 71: Meubles de froid

- agrégats:
 - lumières a bon rendement, disposées à l'extérieur du flux d'air froid du meuble
 - Rideaux pour la nuit et le week-end
 - Ventilateurs dans les meubles à haut rendement
- Meubles frigorifiques avec fermetures, surtout pour le froid négatif
- Chauffage du cadre uniquement si détection de danger de givrage (mesures de T_{in} , humidité intérieure et température surfacique)
- Design correct afin d'éviter que l'air froid du meuble sorte de ce dernier

Un potentiel d'économie est estimé à 25 % dans ce secteur par ces mesures.

Une étude de la Migros (financée par l'OFEN) [21] a en plus montré que pour des nouvelles installations, l'utilisation de matériel économe en énergie au niveau des meubles de froid permettrait de diminuer de 20% la consommation actuelle (avec d'anciens meubles).

5.7. ECLAIRAGE

Ce consommateur représente environ **40 % de la consommation d'un grand centre commercial et 20-40% d'un supermarché!**

Comme pour le froid commercial deux éléments doivent être discutés :

- Les niveaux lumineux
- Le choix du matériel (lampe et luminaires)

Niveaux lumineux

- Diminution des niveaux lumineux inutilement haut (p. ex. déclenchement de certaines rangées)
- Mise en place d'un éclairage de travail et d'un éclairage de vente
- Abaissement de la tension

L'association Suisse des électriciens (ASE) donne des indications quant au niveau lumineux à atteindre/garantir pour différents types de locaux et/ou de tâches à effectuer. Les principales valeurs qui nous intéressent ont été reportées dans le tableau ci-dessous (selon recommandation ASE 8912-2.1977 – norme SIA 137/1973)

Table 22 Niveaux lumineux; recommandation ASE 8912-2.1977 – norme SIA 137/1973

Type de locaux ³²	Eclairement nominal [lux]
Locaux de vente	300 - 500
Grands magasins	750
Self service	1'000 et plus
Vitrines	Jusqu'à plusieurs 1'000
Caisses (théâtres, cinémas)	300
Entrée, réception (hôtels, cafés)	300
Buffet, office (hôtels, cafés)	500
Parking	50
Vestiaires, WC, installations sanitaires (bâtiments publics)	100
Zones de circulation, couloirs, cages d'escaliers, etc. (bâtiments publics)	100-300

Les 15 et 22 février 2007, par temps clair (grand soleil), diverses mesures d'éclairage ont été effectuées dans un grand centre commercial.

³² Seuls les 4 premières valeurs sont propres aux locaux de vente

Les résultats de cette mesure sont présentés ci-dessous:

Table 23 Mesures d'éclairage effectuées dans un grand centre commercial

Zone	Local	Eclairage moyen [lux]	Eclairage maximum [lux]
Restaurant	Freeflow	350-750	1'500 (vitrines)
Restaurant	Tables (restaurant vide, 9h du matin)	100-600	1'100
Gd magasin	Général (food – non food) éclairage direct RASTER	1'100 – 1'300	1'800 (vitrines, fruits et légumes) 2'300 (cosmétiques)
Gd magasin	Général (food – non food) éclairage indirect, sous 1 ^{er} étage	(300) 500 - 600	700
Gd magasin	Armoires réfrigérantes verticales	1'200 – 1'500	2'500 (double rangées de tubes)
Gd magasin	Zones caisses	600 – 700	800 (caisses)
Gd magasin	Entrée, accueil	700-900	1'000
Gd magasin	Sport , électroniques, habits, jouets	300-500	1'500 – 1'800
Gd magasin	Magasin de fleurs	300-400	500
GSS	Do-it	500-800 (rayonnages)	600-1'200 (couloirs)
GSS	Meubles	200-800 (expos)	600 – 2'400 (couloirs)
GSS	Gardencenter	1'000 - 1'400 (lumière du jour seule)	1'700 (éclairage enclenché et lumière du jour)
Communs	Parking	20 – 150	400 - 800 (zone « semi-ouverte » et éclairage enclenché)
Communs	Couloir entresol (éclairage indirect)	300 - 500	600 - 900
Communs	Couloir entresol et rez (Raster)		1'800 – 2'200
Communs	Couloir rez (éclairage direct)	150 - 450	400 - 500
Communs	Mall (lumière du jour)	700 – 1'200	1'000 – 1'500 (éclairage naturel et luminaires enclenchés)
Communs	Couloirs 1 ^{er} étage	100 – 250	1'000 (avec lumière naturelle zénithale)
Communs	WC publics	150 – 200	400 (lavabos)

La puissance surface moyenne de base a été mesurée dans un certain nombre de centre commerciaux visité durant ce projet. La corrélation entre puissance surfacique et consommation électrique sans le froid commercial est assez nette et montre bien l'importance de cet élément.

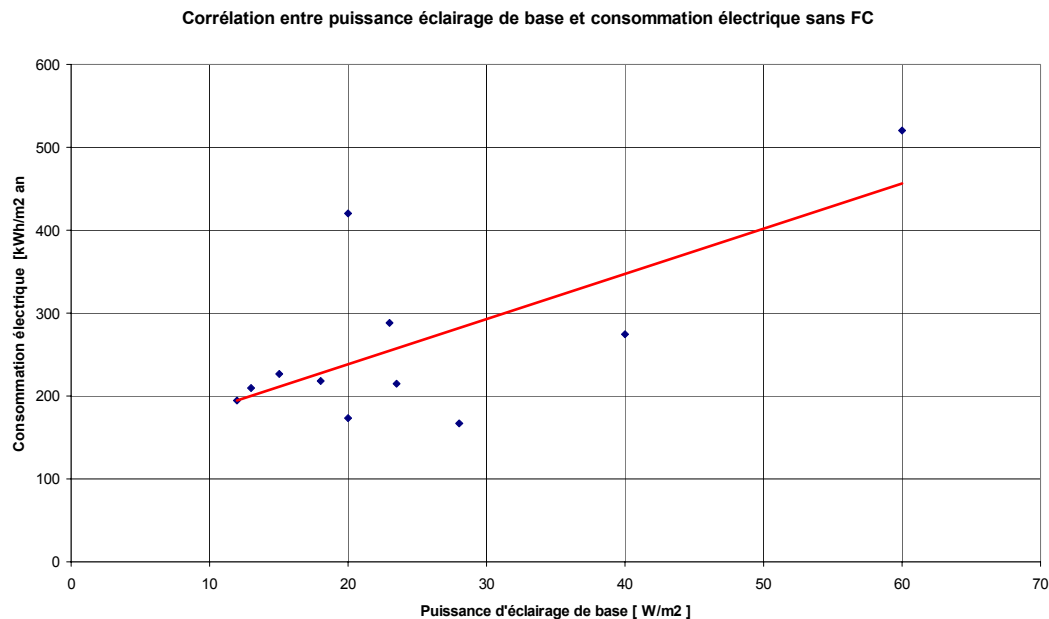


Figure 72: Corrélation entre puissance de base d'éclairage et consommation électrique du centre sans le froid commercial

Ces recommandations et mesures mettent en valeur deux aspects :

- Aspect qualitatif : entre les zones et selon les zones, on a de très grosses différences qui ne sont pas forcément « choquantes » d'un point de vue visuel. Cependant la cohabitation proche d'une zone à 2'000 à 3'000 lux (boutiques par exemple) et d'une zone à 500 lux (Magasin de fleurs) est notable.
- Aspect quantitatif : par rapport aux recommandations, on constate qu'on est largement au-dessus des valeurs proposées par les normes d'éclairage.

Compte tenu de ce qui précède, une diminution globale et locale des niveaux lumineux est donc tout à fait envisageable, cette réduction pourrait se faire de différentes manières.

Compte tenu de la spécificité du système disponible, une série de tests et mesures ont été faites sur le RASTER de l'hypermarché, nous permettant de réduire progressivement le niveau d'éclairage en enclenchant ou non des séries de tubes. Le résultat a été reproduit dans divers graphiques présentés ci-dessous.

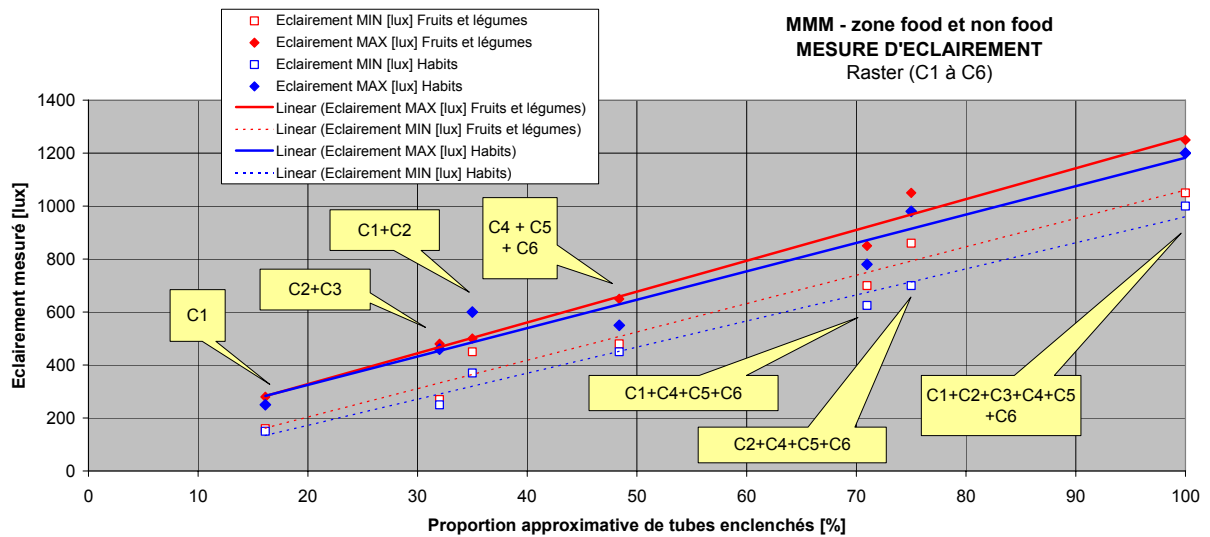


Figure 73: Comparaison du niveau d'éclairage avec la proportion de tubes enclenchés

Table 24 Mesures d'éclairage et puissance RASTER

Surface approximative RASTER

3332 m²

Configuration d'éclairage du RASTER	Proportion approximative/ zone [%]	Eclairage MIN [lux]		Eclairage MAX [lux]		Eclairage moyen [lux]	Puissance globale [kW]	Puissance spécifique [W/m ²]
		Fruits et légumes	Habits	Fruits et légumes	Habits			
C1	16	160	150	280	250	210	19	5.7
C1+C2	35	450	370	500	600	480		
C2+C3	32	270	250	480	460	365	22.5	6.8
C4+C5+C6	48	480	450	650	550	532.5	36.7	11.0
C1+C4+C5+C6	71	700	625	850	780	738.75	55.8	16.7
C2+C4+C5+C6	75	860	700	1050	980	897.5	59.2	17.8
C1+C2+C3+C4+C5+C6	100	1050	1000	1250	1200	1125	78.2	23.5

Ce graphique montre que le système en place permet de réduire l'éclairage et donc la puissance consommée (proportionnalité) de manière quasi linéaire en fonction du nombre de rangées de tubes allumés. Selon nos mesures, la puissance spécifique peut varier de 5 à environ 25 W/m² (éclairage de base). Le potentiel d'économie dans ce centre commercial sans diminuer le niveau lumineux trop fortement est de 28%.

L'abaissement de la tension de la ligne (différentes marques disponibles dont Lexen) permet aussi de diminuer la consommation sans grande diminution du niveau lumineux. Des économies de 10 à 15% sont possibles et ont été mesurées sur différents cas (voir études détaillées bâtiments administratifs). Le temps d'amortissement est très intéressant car il se situe entre 2 et 3 ans.

Matériel

La deuxième série de mesures pour diminuer la consommation consiste à substituer le matériel d'éclairage :

Substitution de lampes avec de meilleurs rendements

- Différents systèmes sont envisageables et présents sur le marché :
 - Le système le moins cher est de déclencher un certain nombre de tubes (par rangée, Raster par exemple, en espaçant et re-disposant les luminaires allumés, en éteignant un luminaire sur deux, etc.)

- Remplacement des armatures par des armatures à ballasts électroniques. Changement ou non de la puissance des tubes.
- Adjonction d'artifices (différentes marques : Revocon, save It Easy) permettant sans changer l'armature (et donc la self magnétique) de transformer le système en une self électronique avec ou sans changement de tube.
- Remplacement des spots halogènes par des spot TBT dichroïques haute performance en le même niveau d'éclairage (économie : 35%).

La figure qui suit illustre des tests effectués dans ce centre, qui mettent en évidence la diminution de la puissance consommée sans toucher au niveau lumineux de façon importante.

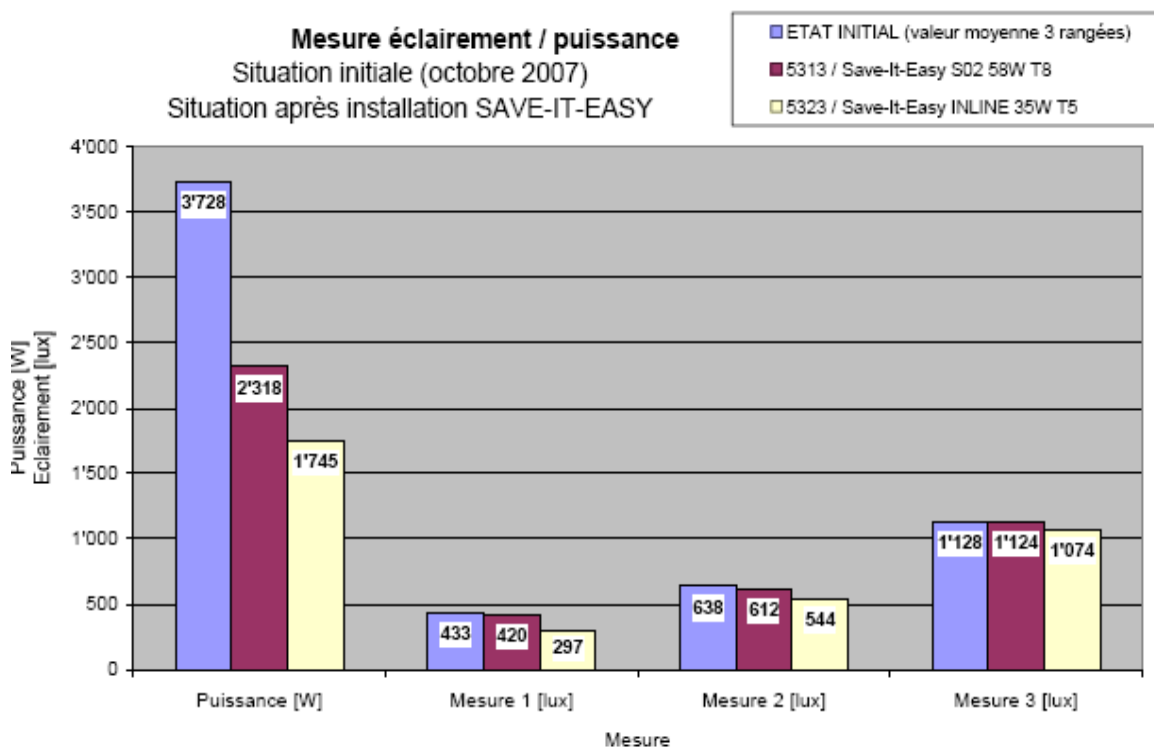


Figure 74: Diminution de la puissance consommée sans toucher au niveau lumineux

5.8. CHAUFFAGE, VENTILATION ET CLIMATISATION (CVC)

Les considérations liées aux systèmes CVC sont ressorties de notre analyse détaillée du grand centre commercial (voir rapport en annexe) et des visites sur site que nous avons réalisées durant ce travail de recherche.

Les constatations que nous avons pu faire sont les suivantes :

Dans les petits magasins (ainsi que moyens très souvent) il n'est pas nécessaire de refroidir l'air de ventilation. Les meubles de froid permettent de refroidir en été le magasin sans autres apports. Il suffit en période chaude de diminuer le débit d'air de ventilation voir de l'arrêter pendant la période critique pour ne pas faire entrer trop d'air chaud dans le magasin.

Comme les surfaces vitrées des petits à moyen centre sont très faibles, une bonne isolation fait qu'il n'est pour ainsi dire plus nécessaire de chauffer le bâtiment. Ce dernier peu être réalisé simplement avec la ventilation.

Une commande sur un taux de CO2 est intéressant car durant une grande partie de la journée la ventilation fonctionne en petite vitesse.

Dans certain cas des panneaux rayonnant sont disposé dans le magasin pour chauffer (et refroidir le bâtiment l'été). Leur nécessité reste à prouver dans tout le centre. Sur des zones particulières comme les caisses cela est par contre positif.



Figure 75: Plafond chauffant refroidissant dans une moyenne surface de vente (alimentaire)

Les petites à moyennes surfaces (celles qui sont sur 1 seul niveau) qui consomment le moins, sans tenir compte du froid commercial, sont celles, qui ont le moins d'installation de chauffage, ventilation et climatisation.

Les besoins en ECS sont faibles la récupération chaleur pour le froid commercial n'a de sens que si cela se fait au moyen de la désurchauffe sans porter préjudice à la température de condensation de la machine.

Les éléments permettant de diminuer la consommation du côté du des installations de chauffage, ventilation et climatisation sont:

- Adaptation du débit d'air aux besoins (VLT, CO₂) : Le centre commercial n'est pas souvent rempli à sa capacité de visiteurs maximale. Il faut diminuer les débits d'air au strict minimum.
- Récupération chaleur
- Système dissocié avec min air frais : éviter de trop refroidir avec de l'air mais utiliser plutôt des systèmes dissociés (ventilo-convecteur plafonniers, plafond froid,...)
- Freecooling: utilisation de l'air extérieur pour refroidir le centre par l'intermédiaire de tours de refroidissement ou en direct.
- Ventilation naturelle des malls lorsque cela est possible 90% des heures de l'année
- Systèmes de refroidissement à haute température, ils permettent sur l'année de faire plus de freecooling et engendre une consommation moindre au niveau des machines de froid.

Dans le centre qui nous a servi d'étude de cas détaillé, une première partie a été construite dans les années 70, avec un système tout air sans variation du débit d'air par VLT. La nouvelle partie construite vers les années 2000 est munie de ventilation à débit variable et plafond froid (chaud), donc

transportant beaucoup moins d'air. Les indices électriques spécifiques des zones sont indiqués dans la figure qui suit. **Entre la zone ancienne et nouvelle on diminue la consommation spécifique par**

2. La zone restaurant étant ici simplement donnée pour information.

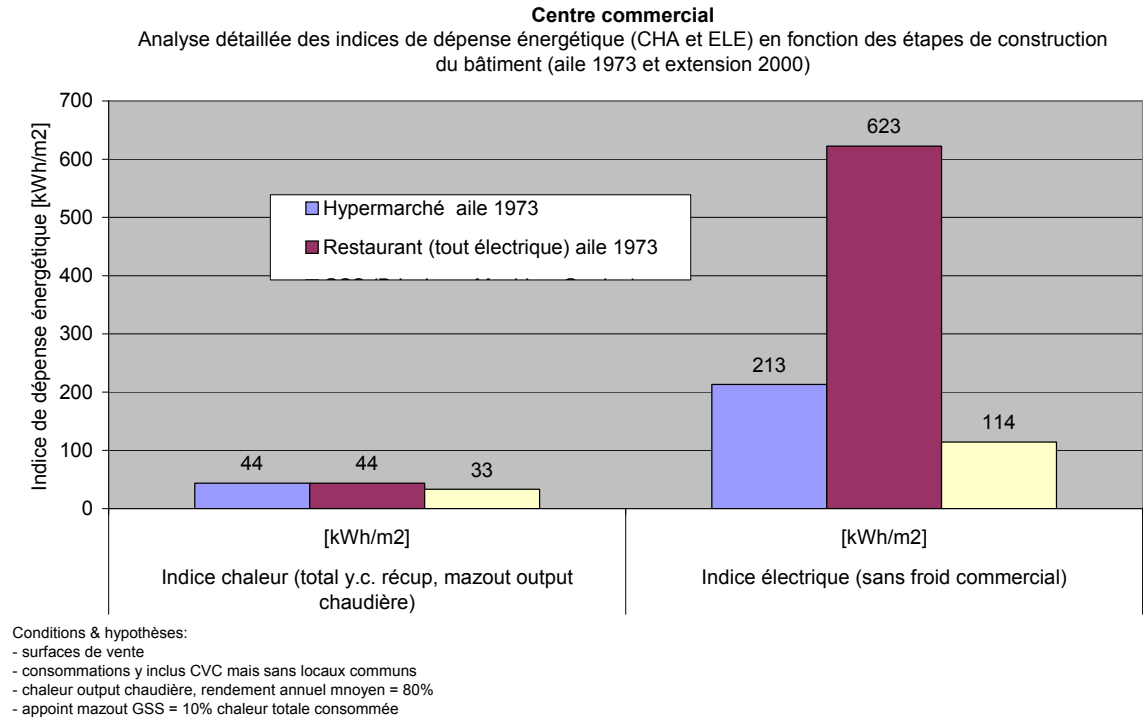


Figure 76: Indices électriques spécifiques en fonction des étapes de construction

Un autre exemple peut être trouvé dans le magasin IKEA d'Aubonne. L'installation de variateurs de fréquence sur les moteur d'une installation de ventilation avec une commande sur le CO₂ a permis de diminuer fortement la consommation électrique de transport de l'air par rapport aux moteurs 2 vitesses initiaux.

Table 25 Economies réalisées grâce au réglage des ventilateurs en fonction du taux de CO₂

Exemple IKEA-Aubonne

Ventilation exposition 1^{er} étage

Comparaison consommation électrique transport de l'air seul

Installation originale à 2 vitesses : • 4'000 h/a PV à 17 kW = 68'000 kWh/a • 900 h/a GV à 50.5 kW = 45'500 kWh/a • Total = 113'500 kWh/a	Après adjonction de convertisseurs : • Selon relevé 2005 = 26'000 kWh/a ou 4.8 kWh/m2 (sur 5'400 m² surface vente nette) • Régime max utilisé au cours de l'an = 60 % = ancienne PV
---	--

5.9. MINERGIE

Comme nous l'avons vu précédemment, les valeurs préconisées par la SIA 2024 et 380/4 sont difficiles à atteindre. Nous avons par contre reçu les consommations énergétiques annuelles de la première Migros MINERGIE de Suisse (Amriswil). Il est intéressant de la situer par rapport d'une part aux précédentes mesures des autres centres et par rapport à la SIA.

Approche Minergie dans le cas d'un centre commercial

Le label Minergie a été développé en premier lieu pour l'habitat. Il a ensuite été utilisé dans les écoles et les bâtiments administratifs sans grandes adaptations. Dans le cas de grands magasins les valeurs de base et la méthodologie de calcul ont dû être adaptées. Un groupe de travail Minergie dans les grands magasins contenant La Migros et la Coop a été créé, pour définir les conditions et critères d'obtention du label.

Ces éléments sont résumés dans les tableaux ci-dessous.

Table 26 **Eléments du label Minergie**

MINERGIE Vorgaben „Bau / HT“

Gebäudehülle:

Sehr gute Dämmung erforderlich damit Heizwärmebedarf 20% unter dem gesetzlichen Vorgaben SIA380/1 (Systemnachweis!)

Richtwerte Wärmedämmung:

- Wand/Dach: U-Wert von ca. 0,2 W/m²K (Wärmebrücken, Übergänge und Befestigungen eingerechnet). Die Bautiefe der Wärmedämmung misst – je nach Konstruktion – zwischen 15 cm und 25 cm.
- Fenster: U-Wert von ca. 1,0 W/m²K (Fenster) bzw. 0,7 W/m²K (Modul)

Haustechnik (Technikzentrale):

- damit 20% unter dem Heizwärmebedarf gemäss gesetzlichen Vorgaben der SIA380/1 sind optimierte HT-Konzepte notwendig, z. B.:
- Abwärmenutzung ist zwingend (siehe Anforderung GK)
 - sofern noch notwendig, wirtschaftliche Wärmeerzeugung, z. Bsp. Wärmepumpe
 - Bedarfsgesteuerte Lüftungsanlagen
 - falls möglich Klimakälte mit Grundwasser erzeugen

Beleuchtung:

- Die Anforderung an die MINERGIE®-Beleuchtung ist erfüllt, wenn deren Elektrizitätsbedarf um höchstens 25% der Differenz zwischen Grenz- und Zielwert über dem Zielwert der SIA-Norm 380/4 liegt.
- dies entspricht je nach Ladenkategorie 11 - 26 W/m²
- Wenn Beleuchtung den Mietern gehört sind keine Vorschriften vorhanden. Partnergeschäfte sind jedoch zu motivieren, mitzumachen

Massnahmen im Bereich Kühl- und TK-Räume

- Türen zu KR und TKR max. 120 x 220 cm
- Flügeltüren zu KR und TKR selbstschliessend
- Zugang zu TKR über KR (sofern vorhanden)
- TKR mit direktem Zugang von aussen: Luftvorhang erforderlich
- Dämmung von KR und TKR: $\leq 5 \text{ W/m}^2$

Massnahmen im Bereich KVV

- BO unabdingbar
- KVV (Laufmeter) müssen bis IBN ermittelt werden
- Energieverbräuche mit fest installierten Messgeräten erfasst
- KVV $\leq 4'000 \text{ kWh pro Laufmeter}$

Massnahmen im Bereich Lüftungsanlage

- Mechanische Lüftung mit WRG
- Hohe Raumluftqualität durch natürlichen Luftaustausch möglich

MINERGIE Vorgaben „Beleuchtung“

MINERGIE®-Anforderungen in Läden:

Installierte Leistungen für Beleuchtung in Verkaufsflächen

Ladentyp	MINERGIE® Anforderungen 06	MINERGIE® Anforderungen 95
Möbel	ca. 11 W/m ²	ca. 11 W/m ²
Lebensmittel (Foodanteil > 90%)	ca. 14 W/m ²	
Bau + Garten	ca. 14 W/m ²	
Supermarkt	ca. 18 W/m ²	
Fachmarkt und Warenhäuser	ca. 22 W/m ²	
Bijouterie	ca. 26 W/m ²	

ca.: von Raumgrösse und Lichtregulierung abhängig

MINERGIE Vorgaben „gewerbliche Kälte“

1. Massnahmen im Bereich Kühlmöbel

- A keine Shoparound-Kühlmöbel
- B1 Jedes Kühlmöbel weist Kaltluftwanne von 15 cm (Roll-in 40 cm) auf
- B2 SB-Kühlregale (0 bis +2°C) sind geschlossen
- C Alle Tiefkühlmöbel mit GSA
- D1 Grenzwerte für Verdampfungs- und Kälte-trägertemperaturen
- D2 Rahmen und Scheibenheizungen nach Ladenluftenthalpie reguliert
- E Nachttrollos bei allen offenen Kühlmöbel
- F1 alle Kühlmöbel ausschliesslich mit FL Leuchten bestückt (intern und extern)
- F2 maximalwerte Anschlussleistung Beleuchtung
- F3 alle Vorschaltgeräte mit Effizienzklasse A
- F4 Beleuchtung bei offenen KM ausserhalb gekühltem Bereich
- F5 alle externen Beleuchtungen sind der Beleuchtungsleistung nach SIA 380/4 zuzuordnen
- G Wirkungsgrad >55% bei allen Ventilatoren in KM und TKM

MINERGIE Vorgaben „gewerbliche Kälte“

2. Massnahmen im Bereich Kälteanlage

- H Abwärme ab GK muss genutzt werden
- I1 Verdampfungs- und Kälte-trägertemperaturen in Abhängigkeit der Ladenluftenthalpie
- I2 Anhebung der Nachttemperatursollwerte
- J1 Verdampfungstemperaturen in Abhängigkeit der TK-Möbelreferenzwerte
- K1 Kondensationstemperatur am Verdichter bis ≤ 20°C absenkbar
Auslegung Kondensationstemperatur Kompressor/Eintritt RKW ≤ 13°C
- K2 AWN auf tiefem Temperaturniveau
- K3 Kondensationstemperaturen für AWN bis +45°C zulässig
- L1 ETV für Kälte-trägerpumpen: ≤ 1.5 %
- L2 ETV für Rückkühl-pumpen: ≤ 1.1 %
- L3 ETV für luftgekühlte Rückkühler oder Kondensatoren: ≤ 3.5 %

Par rapport on bâtiments de type logement, administratif ou école, on remarque que des contraintes sur le froid commercial et les meubles frigorifiques sont apparue. Ceci est logique du moment que cette consommation représente une des plus grandes parts du centre. Les contrainte sur l'éclairage de base sont aussi importante. On voit que pour une surface de vente du type supermarché on devrait se situer entre 14 et 18 W/m². Dans la plus part des centres commerciaux visités et ou la puissance spécifique a été relevée, on se trouvait nettement au-dessus de ces valeurs.

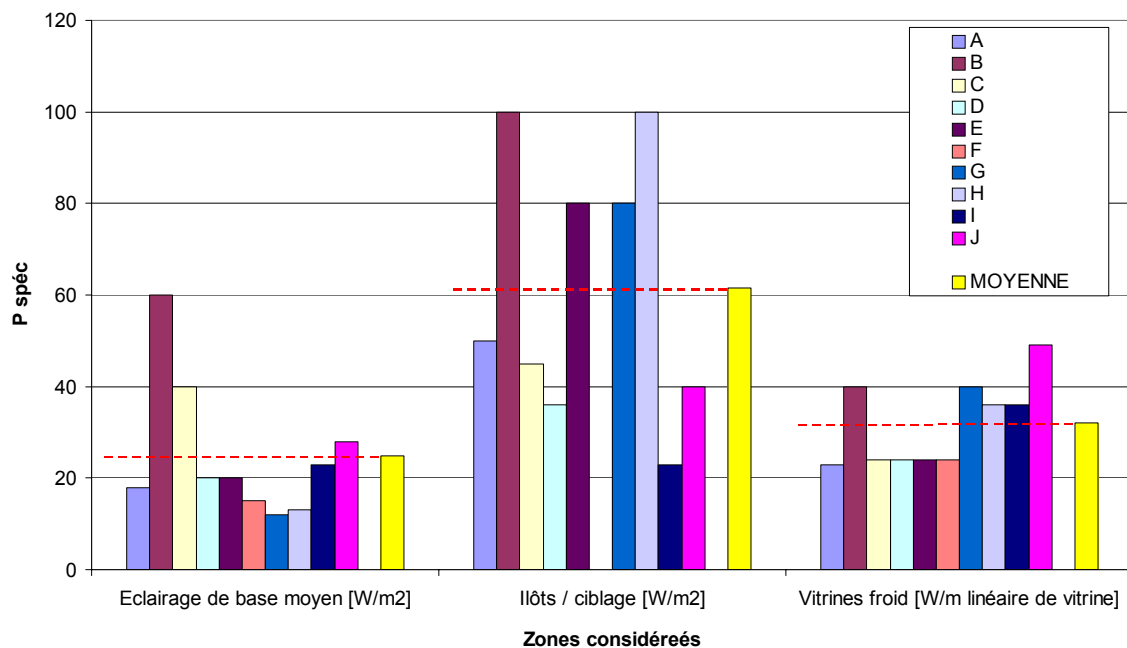


Figure 77: Puissance spécifique de l'éclairage de quelques magasins

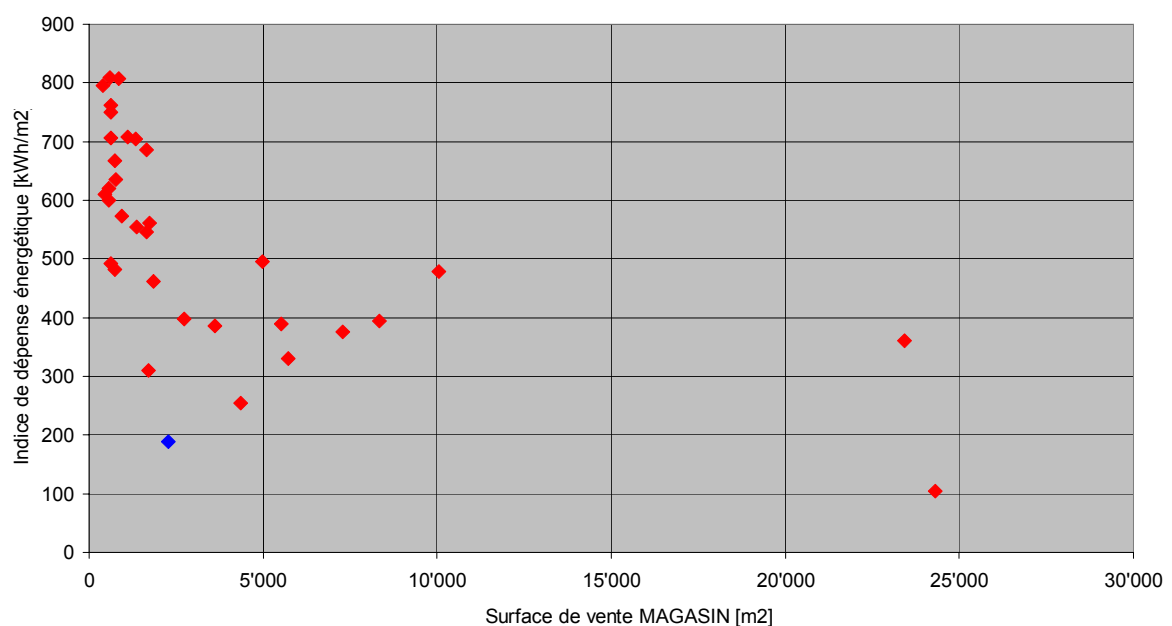
On remarque aussi que la plus-part des potentiel d'économies discutés au chapitres 7,8 et 9 sont pris en compte.

Dans le cas du magasin qui nous intéresse, il a été le premier du groupe Migros à obtenir le label Minergie. Nous avons obtenu sa consommation énergétique annuelle et l'avons reportée sur le diagramme des centres commerciaux qui ont fait partie de notre sondage.

COMPARAISON DES INDICES ENERGETIQUES - CENTRES COMMERCIAUX

INDICE DE DEPENSE (IDE) = f (surface de vente)

Indice électricité [kWh/m²]
TOTAL y.c. FCO



COMPARAISON DES INDICES ENERGETIQUES - CENTRES COMMERCIAUX

INDICE DE DEPENSE (IDE) = f (surface de vente)

Indice comparatif de froid commercial
[kWh/m linéaire corrigé]

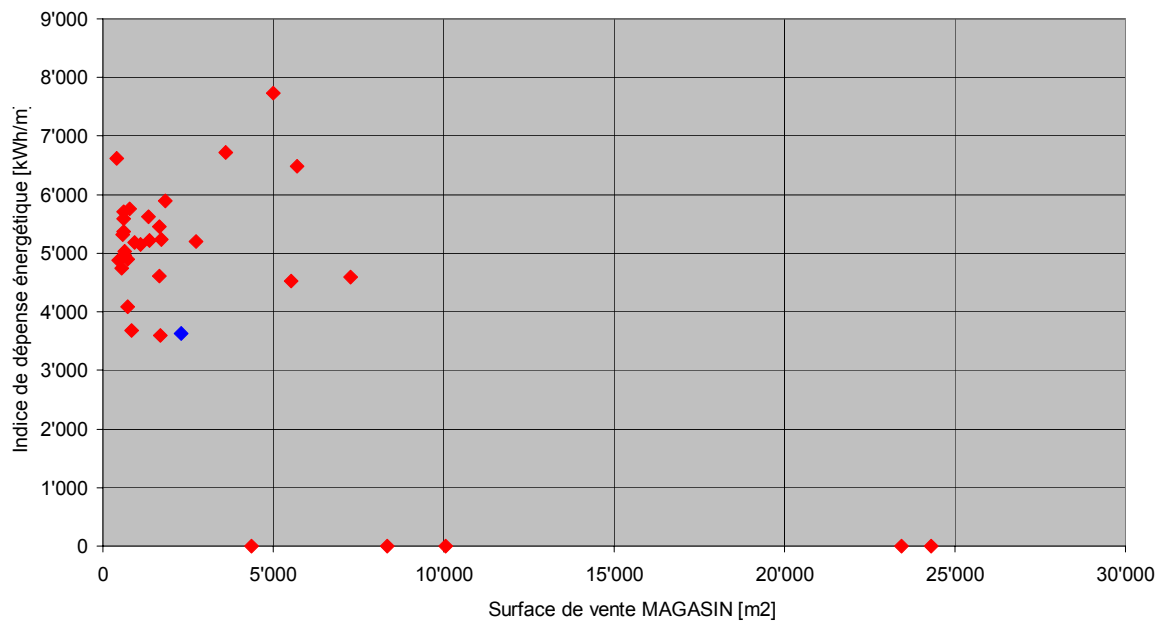


Figure 79: Comparaison des indices électricité du froid commercial [kWh/(m a)] avec la surface de vente

COMPARAISON DES INDICES ENERGETIQUES - CENTRES COMMERCIAUX

INDICE DE DEPENSE (IDE) = f (surface de vente)

Indice chaleur [kWh/m²]

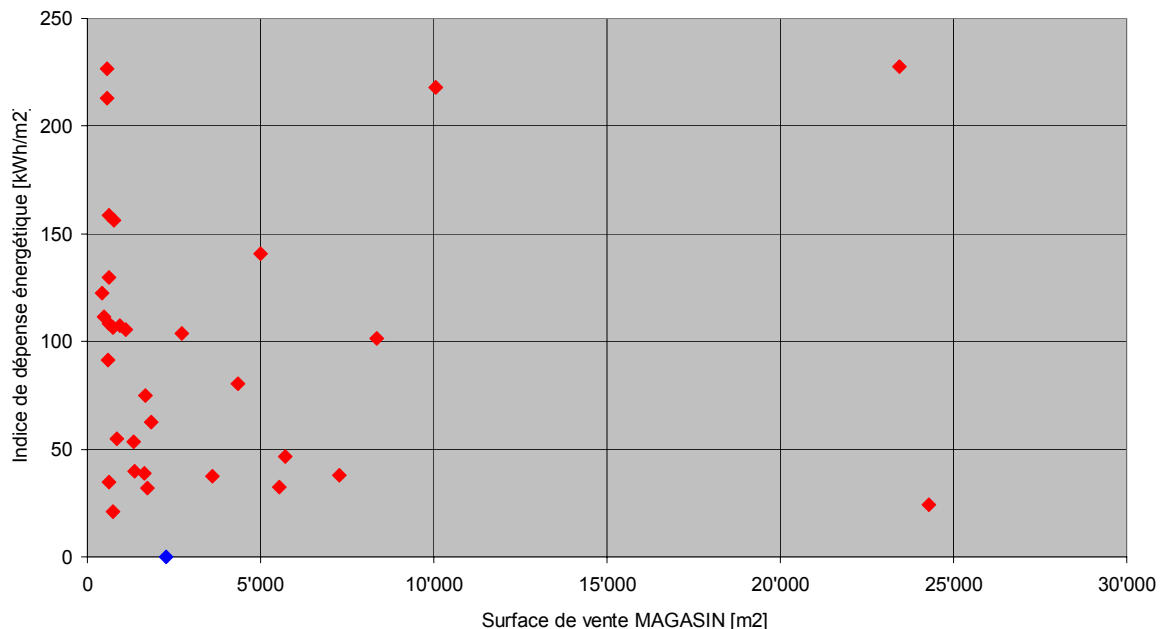


Figure 80: Comparaison des indices chaleur [kWh/(m² a)] avec la surface de vente

La consommation de chaleur fossile du centre Amriswil est nulle, la consommation de chaleur pour la ventilation est produite par une PAC et donc contenue dans l'indice électrique.

Les grandes lignes du concept énergétique de ce magasin sont résumées dans la figure qui suit.

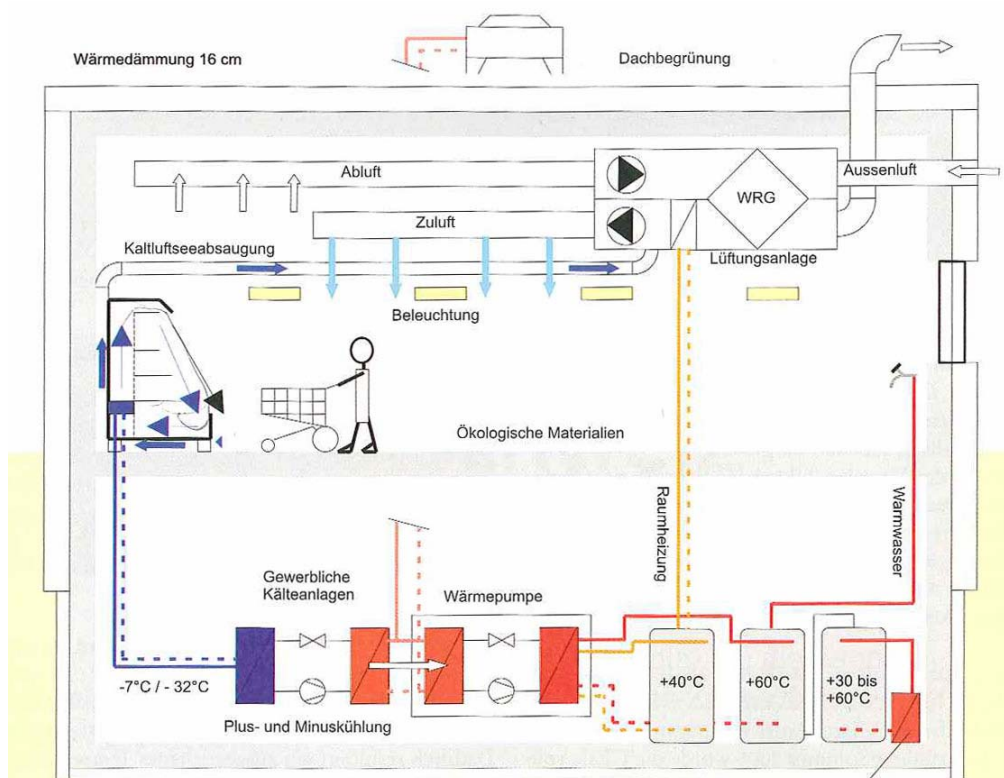


Figure 81: Concept énergétique du centre Amriswil

- Enveloppe du bâtiment performante.
- Production de froid commercial respectant la valeur $< 4000 \text{ kWh/m}$ de meuble de froid.
- Pas de machine de froid climatique
- La production de froid commerciale est refroidie au moyen d'aérefroidisseur à une température la plus basse possible, en fonction de la température extérieure
- La récupération de la chaleur du froid commercial est réalisée sans pénaliser la production de froid commercial, par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur qui remonte le niveau de température des rejets de 20 à 30-35 °C. Cette chaleur est utilisée pour chauffer l'eau de la ventilation.
- La partie de désurchauffe sert la chauffer l'eau chaude sanitaire
- En été de l'air froid de la zone des meubles de froid est aspiré et mélangé à l'air de pulsion pour faire un pré-refroidissement de ce dernier. Cette mesure ne contribue pas aux économies d'énergie mais améliore l'uniformité des températures dans le magasin. Il ne faut pas oublier que le froid ainsi produit, l'est avec un COP de 2.5.

Les valeurs de consommations reçues :

- Indice électrique totale de $190 \text{ kWh/m}^2\text{an}$
- Indice chaleur total de $0 \text{ kWh/m}^2\text{an}$
- Indice froid commercial de $3600 \text{ kWh/m}^2\text{an}$

Sont bien par mis les plus bas de notre recensement surtout pour la chaleur et l'électricité totale. Au niveau de l'indice spécifique froid commercial un potentiel d'amélioration existe probablement encore. Car dans ce domaine des exemples de notre recensement étaient déjà à ce niveau.

5.10. CONCLUSIONS

Le sondage effectué sur plus de 30 grands distributeurs a montré des consommations énergétiques que se soit en électricité qu'en chaleur nettement plus importante que celles préconisées par la SIA 380/4 et 2024 surtout pour les magasins de petite et moyenne taille. Les valeurs cibles données par les études RAVEL de 1995 sont par contre plus proches des valeurs moyennes de notre sondage.

Les consommations électriques du froid commercial sont mal intégrées dans les valeurs de la SIA. Ce point devra être amélioré dans le futur.

Un travail important au niveau de l'optimisation de fonctionnement et au niveau de la conception des nouveaux centres sera nécessaire pour s'approcher des valeurs cibles de la SIA. Un travail de fond sur les meubles de froid et la production de froid commercial est nécessaire. En effet les installations sont très souvent mal réglées et ne s'adaptent pas à la demande effective. L'obsession de la récupération de la chaleur engendre une surconsommation électrique par des consignes de températures de condensation trop hautes même lorsque la demande de chaleur est nulle.

Les valeurs du niveau lumineux utilisées pour l'éclairage dans ces grandes surfaces sont trop élevées. Un potentiel important existe dans ce secteur. Il n'est par contre pas facile d'aller à l'encontre des stratégies de ventes et des conflits importants devront être réglés. Finalement au niveau des installations de chauffage, ventilation et refroidissement là aussi un potentiel existe en diminuant les débits d'air en fonction du taux d'occupation du centre. L'emploi de système dissocié avec un freecooling sur l'extérieur doit diminuer la demande de froid à 2 à 3 mois par année seulement.

Dans le cas du centre commercial étudié en détail, et présenté en annexe à ce rapport, un potentiel de 7% d'économie en chaleur et de 13% en électricité a été évalué avec des mesures à faible investissement. On reste par contre loin des valeurs préconisées par la SIA pour la plupart des centres commerciaux disponibles dans notre étude. Plus particulièrement les petits et moyens sont très loin des valeurs préconisées.

Ces valeurs peuvent par contre être atteintes ou du moins approchées si un concept rigoureux est appliqué dès le départ du projet et appliqué correctement lors de l'exécution. L'exemple du magasin Migros de Amriswil l'atteste.

La première année de mesure a confirmé de très faibles consommations d'énergie:

- Indice électrique totale de 190 kWh/m²an
- Indice chaleur total de 0 kWh/m²an
- Indice froid commercial de 3600 kWh/m²an

Ce magasin est donc un des meilleurs de notre sondage, il reste par contre au-dessus de la valeur SIA minimale préconisée pour ce type de magasin 131 kWh/m²an. On reste par contre dans la fourchette normale qui est préconisée entre 131 et 264 kWh/m² an.

En résumé, l'analyse, durant ce projet de certains centres commerciaux (environ 6), a permis d'estimer de façon simplifiée le potentiel d'économie en électricité entre 13 et 20%. Les actions à prendre étaient liées avant tout à la lumière (diminution des niveaux lumineux et substitution de lampe à meilleur rendement), à l'optimisation des températures de condensation des meubles de froid commercial et à la couverture de toutes les gondoles et autres meubles de froid. Finalement la diminution des débits d'air de ventilation (horaires, variation de fréquences etc..) est aussi une source d'économie facile à réaliser.

Le remplacement des meubles de froid par des appareils plus performants (étude OFEN) permettrait de gagner encore 20% sur ce poste. L'assainissement (remplacement) des anciennes installations de production du froid commercial par de nouvelles installations type Multilevel-pack devrait permettre d'améliorer encore le coefficient de performance global et d'économiser 15-25% d'électricité supplémentaire sur la partie du froid commercial.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen zum einen auf, welche Teilbereiche in Bürogebäuden und Grossverteilern (Detailhandel) welchen Anteil am Stromverbrauch beanspruchen und welchen Anteil des Verbrauchs die betriebsfreien Zeiten ausmachen. Mit den Fallstudien wird zudem aufgezeigt, welche Potentiale für Einsparungen vorhanden sind. Im weiteren zeigt der Vergleich der Gebäude mit den Werten vor 10 Jahren und den in der Zwischenzeit vorgenommenen Veränderungen, welche Massnahmen eine deutliche verbrauchssenkende oder verbraucherhöhende Wirkung aufweisen.

Es zeigt sich, dass die Unterschiede im Verbrauch auch bei ähnlicher Technisierung und Ausstattung sehr gross sein können. Damit ist prinzipiell auch ein grosses Einsparpotential für diejenigen Gebäude am "oberen Ende" der Skala gegeben. Insbesondere die Auswertung der Fallstudien zeigt jedoch auf, dass es kein allgemeines und für alle Gebäude anzuwendendes Standardvorgehen zur Verbrauchsenkung gibt. Zu unterschiedlich sind die jeweiligen baulichen Gegebenheiten sowie gebäudetechnische Installationen und Nutzungen. Diese Aussage trifft insbesondere auch für die Grossverteiler zu, wo die Anforderungen je nach Grösse, Sortiment etc. sehr stark variieren.

6.1. SCHLUSSFOLGERUNGEN BÜROGEBÄUDE

Bei den Bürogebäuden fallen erhebliche Stromverbräuche für Informatik in Rechenzentren, den Stockwerksverteilungen³³ und Arbeitsplätzen am Tag sowie hohe Elektrizitätsverbräuche während der Wochenenden und in der Nacht auf. Technische betriebliche Lösungen für eine Minderung der Verbräuche sind grundsätzlich vorhanden, werden aber noch selten eingesetzt oder es existiert kein konsequentes Energiemonitoring, mit welchem man Abweichungen vom Sollbetrieb rasch feststellen und den Ursachen nachgehen kann. Diese Feststellung wurde auch in einer vergleichbaren Studie aus Deutschland gemacht [25].

Aus der Untersuchung der zehnjährigen Verbrauchsentwicklung von Bürogebäuden kann festgestellt werden, dass die durch Erneuerungen erzielten Effizienzsteigerungen bezgl. des Elektrizitätsverbrauchs oftmals durch den Ausbau der Ausstattung oder der technischen Infrastruktur wieder ausgeglichen werden. Dies betrifft insbesondere die Lüftung und Klimatisierung der Gebäude sowie die Arbeitsplatzinformatik und die zentralen Serveranlagen.

Vor allem für den immer bedeutenderen Anteil der Informatik am Gebäudestrombedarf wurden in letzter Zeit Massnahmen mit grossem Einsparpotential entwickelt. Diese können einen wesentlichen Beitrag für zukünftige Effizienzsteigerungen ausmachen und könnten aufgrund der relativ kurzen Erneuerungszyklen bei den Informatikinstallationen auch rasch umgesetzt werden. Damit werden wiederum die Energienachfrage und die Effizienz der vorgeschalteten Kälteaggregate positiv beeinflusst, was eine entsprechend geringere Dimensionierung der Anlagen ermöglicht.

Aus dem Vergleich mit den spezifischen Energieverbräuche der verschiedenen Nutzungen gemäss SIA 2024 wird deutlich, dass insbesondere bei der Lüftung und Klimatisierung oft eine grosse Differenz zwischen den untersuchten Gebäuden und den Standardwerten gemäss SIA 2024 besteht. Besser sieht der Vergleich beim Strombedarf der Beleuchtung aus, wo die Umsetzung der Effizienzvorgaben bereits weiter fortgeschritten scheint. Daraus folgernd kann man feststellen, dass für den Bereich Lüftung und Klimatisierung ein grosser Handlungsbedarf besteht, um die Effizienzziele zu erreichen. Insbesondere einer konsequenten Umsetzung der SIA Norm 382/1 [3] bei allen Bauvorhaben kommt daher eine grosse Bedeutung zu. Dies insbesondere auch, da der Verbrauchsanteil für Lüftung und Klimatisierung sowohl relativ als auch absolut von grosser Bedeutung ist und voraussichtlich auch in Zukunft eine steigende Bedeutung haben wird. In diesem Bereich sind insbesondere auch innovative Lösungen mit hoher Effizienz für Gebäude- und Anlagenerneuerungen von Bedeutung.

Beim Wärmebedarf kann festgestellt werden, dass die neuen Gebäude einen deutlich geringeren Wärmebedarf aufweisen und auch in der Verbrauchsentwicklung eine Effizienzsteigerung feststellbar ist. Diese ist auf die Wirkung der Neubauvorschriften, Erneuerungen an der Gebäudehülle, aber auch auf Effizienzsteigerungen am Heizsystem zurückzuführen. Insofern zeigen hier bisher unternommene Anstrengungen ihre Wirkung. Es zeigt sich aber auch, dass hier noch erhebliche Effizienzpotentiale liegen, die aufgrund der Bauteillebensdauer jedoch nur relativ langsam realisiert werden können. Hier

³³ Beinhaltet den Gesamtverbrauch einzelner Bürogeschosse. Je nach Installation kann zudem noch zwischen Beleuchtung und übrige Verbraucher (Steckdosen) unterschieden werden.

sind weitere Anreize zu setzen, um die Umsetzung von Gesamterneuerungen zu fördern, da damit oft auch Effizienzsteigerungen auf der Stromseite möglich sind, z.B. wenn die Raumklimaanforderungen in der Planung integral betrachtet werden (Heizung, Lüftung, Klimatisierung, interne und externe Wärmelasten insbesondere durch Sonneneinstrahlung und Beleuchtung).

Vor allem für Gebäude, welche eine gewisse Komplexität bezüglich der Technisierung aufweisen, wie dies bei vielen Bürogebäuden der Fall ist, muss der regelmässigen Betriebsoptimierung mehr Gewicht beigemessen werden. So wurden in den Fallstudien bei verschiedenen Gebäuden erhebliche Effizienzpotentiale gefunden oder aus den Messdaten ein Verhalten festgestellt, welches auf vorhandene Optimierungspotentiale hinweist. Dabei sind die Folgerungen und Massnahmen für jedes Gebäude individuell und nicht ohne weiteres zu verallgemeinern. Allgemein kann vor allem festgestellt werden, dass für eine langfristige Erhaltung der Gebäudeeffizienz nicht nur aussagekräftige Messdaten vorhanden sein müssen (was oft nicht der Fall ist), sondern auch die notwendigen Auswertungen und Überwachungen durchgeführt werden müssen, um wesentliche Veränderungen zu erkennen und Massnahmen (wie z.B. Anpassungen an der Steuerung oder den Sollwerten) zu initialisieren. Ebenso wird oft vergessen, dass sich bei ändernder Nutzung auch eine erneute Optimierung der Gebäudetechnik aufdrängt.

Die Detailstudien haben auch gezeigt, dass natürliche belüftete Gebäuden, mit geringem Technikaufwand auf der Seite der HLK Systeme, eine sehr tiefe Energienachfrage ermöglichen. Verschiedene Gebäude mit geringem Energieverbrauch und einfacher Technik basieren auf einer bioklimatischen Architektur, welche auf einer natürlichen Belüftung, dynamischem Wärmehaushalt und gutem Tageslichtmanagement basiert. Dadurch werden angenehme Arbeitsbedingungen für den Benutzer mit geringem Energieaufwand erreicht.

6.2. SCHLUSSFOLGERUNGEN GROSSVERTEILER

Bei den Grossverteilern wurden in letzter Zeit grössere Anstrengungen unternommen, um die Effizienz der Kühlmöbel und der gewerblichen Kälte zu verbessern. Dies ist aufgrund des bedeutenden Anteils am Gesamtstrombedarf ein bedeutender Punkt, der weiterzuverfolgen ist. Dies gerade auch weil die tatsächlichen Werte trotz allem noch deutlich von "best practice" entfernt sind. Die Ausgangslage ist in den Grossverteilern jedoch grundsätzlich komplex, da neben den technischen Anforderungen bzw. Anforderungen an die Effizienz hohe Anforderungen bezüglich Warenpräsentation, Kundenfreundlichkeit, Logistik (Nachfüllen) und nicht zuletzt lebensmittelhygienische Anforderungen bestehen, welche für den Betrieb eine grössere Bedeutung haben als der Strombedarf. Daher sind Massnahmen zur Effizienzsteigerungen nur dann erfolgreich, wenn sie alle diese Bedingungen optimal erfüllen. Im speziellen gilt dies auch für Optimierungsmassnahmen im Bereich der Beleuchtung, da die Warenpräsentation nicht durch die getroffenen Massnahmen geschmälert werden darf.

Dass trotz dieser Schwierigkeiten grosse Effizienzsteigerungen möglich sind, zeigen einige der untersuchten Läden, einer davon im Minergie Standard. Gute Lösungen sowohl bei Neu- und als auch bei Umbauten erfordern Konzepte, welche das Spannungsfeld Marketing/Technik berücksichtigen und auch die notwendigen technischen Voraussetzungen für spätere Betriebsoptimierungen mitbringen.

Insbesondere bei Läden mit kleineren Verkaufsflächen sind die ermittelten Energiekennzahlen sehr hoch. Dies ist zum einen ein Hinweis auf Schwächen bei der Energieüberwachung und Optimierung dieser Lokale hängt zum andern aber auch mit dem bei kleineren Läden oft deutlich höheren Flächenanteil mit Kühlmöbeln (Frischprodukte, Tiefkühlprodukte) zusammen. Entsprechend lohnend könnten systematische Betriebsoptimierungen solcher Betriebe sein. Wichtig sind dabei insbesondere eine optimale Regelung der Kältesysteme und ein bedarfsgerechter Betrieb der Lüftungsanlagen und Beleuchtungen. Für die Umsetzung von Massnahmen von grosser Bedeutung ist zudem, dass der lokale Filialleiter den entsprechenden Anstrengungen das nötige Gewicht beimisst und sie unterstützt.

Zusammengefasst kann im Vergleich zum Durchschnittsverbrauch der untersuchten Gebäude folgendes Einsparpotential bei der Umsetzung folgender Massnahmenkategorien erwartet werden:

- Optimierungsmassnahmen an bestehenden Gebäuden: 10-15% durch Optimierung im Bereich der Beleuchtung, Belüftung, Klimatisierung und Gewerblichen Kälte.
- Optimierungs- und Erneuerungsmassnahmen an bestehenden Gebäuden: 15-25%.
- Neubauten: 40-50% durch Umsetzung der Minergie-Anforderungen und Einsatz von neuen Technologien für die gewerbliche Kälteproduktion, bei den Kühlmöbeln und bei der Beleuchtung.

6.3. EMPFEHLUNGEN

Um bezüglich Stromeffizienz sowohl bei den Bürogebäuden wie auch bei den Grossverteilern einen deutlichen Schritt weiterzukommen sind aus unserer Sicht vor allem folgende Massnahmen wichtig:

Anreize und Vorgaben für technische Lösungen schaffen

- Weitere Anstrengungen und Untersuchungen, um energieeffiziente und akzeptierte Lösungen für den Betrieb und die Kühlung von Serverräumen zu etablieren.
- Förderung von raumtemperaturnah arbeitenden Systemen (Heizung / Kühlung) bei Gebäudesanierungen, da damit eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Kälte und Wärmeerzeugung erfüllt wird (z.B. Erdsonden, Freecooling, direkte Abwärmenutzung von Server).
- Anreize und Vorgaben schaffen für die Ersatz von ineffizienten gewerblichen Kälteanlagen und Kühlmöbeln durch hocheffiziente Anlagen und Möbel.

Festsetzung und Umsetzung von energetischen Anforderungen

- Konsequente Umsetzung der Anforderungen aus SIA 382/1 in den Neubau und auch Umbauprojekten. Damit kann die Effizienz der Lüftungs- und Klimaanlage deutlich verbessert werden, was einen bedeutenden Einfluss auf die Energiekennzahl Elektrizität hat.
- Festsetzung der Anforderungen aus SIA 380/4 insbesondere für Beleuchtungen aber auch für Betriebseinrichtungen, diverse Gebäudetechnik und Wärmepumpen (Wärmeerzeugung) sowohl bei Neu- wie auch bei Umbauvorhaben
- Festlegung von Vorgaben bezüglich Energieeffizienz, insbesondere auch bzgl. Standby-Verbrauch für Büroarbeitsgeräte (PC, Ducker, Fax etc.) sowie auch von Gebäudetechniksystemen (z.B. Sensoren, Aktoren etc.) und Informatikkomponenten (Hubs, Netzwerkkomponenten, etc.).

Betriebliche Optimierungen fördern

- Anreize und Vorgaben schaffen für eine kontinuierliche betriebliche Optimierungen. Z.B. durch umsetzen von Zielvereinbarungen mit Grossverbrauchern, die mit der neuen Musterverordnung in vielen Kantonen im Energiegesetz vorgesehen sind.
- Für kleinere Betriebe können die EnAW-Benchmark-Modelle ein gutes Mittel sein, um den Energieverbrauch zu thematisieren und einen Fokus auf die kontinuierliche betriebliche Optimierung zu legen.
- Verstärkt wird die Wirkung durch die Kopplung an effizienzorientierte Strompreissysteme (wie z.B. der Effizienzbonus des EWZ).
- Für kleinere Gebäude bzw. Betriebe sind ebenfalls geeignete Instrumente zu schaffen, gerade auch in Zusammenarbeit mit den EVU.

Diese allgemeinen Empfehlungen sollen durch die Erarbeitung von konkreten Massnahmenvorschlägen präzisiert und umgesetzt werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 08/2006, SIA 380/4: Elektrische Energie im Hochbau, Zürich
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 11/1995, SIA 380/4: Elektrische Energie im Hochbau, Zürich
- [3] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 3/2007, SIA 382/1: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Zürich
- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 08/2006, SIA Merkblatt 2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Zürich
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 2003, SIA 416: Flächen und Volumen von Gebäuden
- [6] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 2007, SIA 416/1: Kennzahlen für die Gebäudetechnik
- [7] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 1982, 180/4: Energiekennzahl
- [8] Geiger Bernd; Gruber Edelgard; Mengele Werner: Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung. Heidelberg: Physica-Verlag, 1999
- [9] Weber Lukas: Energieverbrauch und energierelevante Entscheidungen in Bürogebäuden. Zürich: Diss. ETH Nr. 14345, 2001
- [10] Weber Lukas; Menti Urs-Peter; Keller Ivan; et al.: Energieverbrauch in Bürogebäuden. Zürich: April 1999
- [11] Menti Urs-Peter; „Standby-Verbrauch“ von Dienstleistungsgebäuden – Verbrauchsmessungen an 32 Gebäuden. Zürich: April 1999
- [12] Martin Jakob, Andreas Baumgartner, Iwan Plüss et. al.; Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten; im Auftrag des BFE, Bern: Nov. 2006
- [13] Roland Köhler: Schweizer Energiefachbuch 2006 23. Jahrgang, Zürich 2006
- [14] Bundesamt für Energie BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 1998 – 2005
- [15] Bundesamt für Energie BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2005
- [16] Bundesamt für Energie BFE, Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen, Perspektive bis 2035
- [17] Baudirektion Kanton Zürich, AWEL, Klimaanlage und Raumkonzepte in Bürogebäuden im Kanton Zürich, Zürich Dezember 2006
- [18] Aebischer Bernhard, Centre for Energy Policy and Economics Swiss Federal Institutes of Technology: Veränderung der Elektrizitätskennzahlen im Dienstleistungssektor in der Stadt Zürich und im Kanton Genf, ETH Zürich: CEPE, November 1999 (Report Nr. 1)
- [19] Pom+Consulting AG Zürich: FM Monitor 2005, Baubegleitende FM-Planung mit aktuellen Immobilien-Kennzahlen, ETH Zürich 2005
- [20] Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich; EMPA-Haustechnik, Dübendorf; Synetrum AG, Murten: Demonstration innovativer Technologien und nachhaltiges Bauens am Geschäftshaus Esslingen, Zürich Juni 2001
- [21] Potentialabschätzung Effizienzklassen für Kühlmöbel im Detailhandel, A. Fröhlich, Migros-Genossenschafts-Bund.
- [22] Guide pour les magasins d'alimentation, RAVEL, Office fédéral des questions conjoncturelles, 1995, 724.323f.
- [23] Energy-Logic ; Reduzierung des Energieverbrauchs im Rechenzentrum durch die Realisierung von Einsparungen über eine Vielzahl von Systemen hinweg ; Knürr AG, Emerson Network Power ; Arnstorf 2008
- [24] Pohlmann; Taschenbuch der Kältetechnik, ed. C.F. Müller, 2005
- [25] M. Norbert Fisch, Stefan Plessner, Carsten Bremer; EVA – Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude; Institut für Gebäude- und Solartechnik – IGS; Braunschweig: Dez. 2007
- [26] Vincent Dellsperger Dario Aiulfi : Analyse fine de la consommation énergétique d'un centre commercial : Jan. 2008