



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



BAUEN, WENN DAS KLIMA WÄRMER WIRD

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch:

Conrad U. Brunner

Urs Steinemann

Jürg Nipkow

Impressum

Datum: 15. November 2007

Mit finanziellen Beiträgen von:

Bundesamt für Energie, Forschungs- und Entwicklungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden, www.bfe.admin.ch, Projektnummer: 101376

Kanton Basel-Stadt, Amt für Umwelt und Energie, Basel

Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes KBOB, Bern

Stromsparmfonds der Stadt Zürich, Zürich

SIA, Zürich (Publikation)

Autoren:

Conrad U. Brunner, Dipl. Arch. ETH/SIA, Energieplaner, CUB Architektur Energie Umwelt, Gessnerallee 38a, 8001 Zürich, cub@cub.ch, www.cub.ch

Urs Steinemann, Dipl. Ingenieur FH/SIA, Ingenieurbüro Urs Steinemann, Schwalbenbodenstrasse 15, 8832 Wollerau, ing.us@bluewin.ch

Jürg Nipkow, Dipl. Ing. ETH/SIA, Arena Arbeitsgemeinschaft Energie-Alternativen, Schaffhauserstrasse 34, 8006 Zürich, juerg.nipkow@arena-energie.ch, www.arena-energie.ch

Mitarbeit: Bea Meyer und Stephan Brunner, Dipl. Arch. ETH/SIA im Büro CUB.

Zürich, 15. November 2007, (CUB:f\g38\daten\warmer sommer\waso bericht beta3.doc)

Bezugsort der Publikation: www.sia.ch und www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsübersicht

Vorwort	8
Zusammenfassung	9
Résumé: Construire quand le climat se réchauffe	11
Summary: Building When the Climate Will Be Warmer	13
1. Grundlagen	15
2. Gebäudetypologie	27
3. Lüftungs- und Klimaanlage	56
4. Klein-Klimageräte	72
5. Elektrischer Energiebedarf für Kühlung und Luftförderung	98
6. Massnahmenpakete und Empfehlungen	117
7. Anhang	127

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	8
Zusammenfassung	9
Résumé: Construire quand le climat se réchauffe	11
Summary: Building When the Climate Will Be Warmer	13
1. Grundlagen	15
1.1 Ausgangslage	15
1.2 Projektziele und Abgrenzung.....	15
1.3 Klimaveränderung	16
1.4 Klimadaten für die Zukunft.....	18
1.5 Behaglichkeitsansprüche.....	21
1.6 Elektrischer Energieverbrauch an warmen Tagen	23
1.7 Zusammenfassung Grundlagen	25
1.8 Referenzen Grundlagen	26
2. Gebäudetypologie	27
2.1 Gebäudemassnahmen	27
2.2 Raumtemperatursimulation	27
2.3 Gebäudegrundriss	28
2.4 Latentspeicher Materialien	31
2.5 Fenster und Sonnenschutz.....	34
2.5.1 Bedeutung und Probleme des Sonnenschutzes	34
2.5.2 Geometrie des Sonnenschutzes	37
2.5.3 Lage des Sonnenschutzes	41
2.5.4 Eigenschaften der Sonnenschutz-Lamelle.....	42
2.5.5 Optische und thermische Wirkung	43
2.5.6 Aktiver Sonnenschutz.....	43
2.5.7 Sonnenschutzvariationen	44
2.5.8 Datenbanken	48
2.5.9 Beispiel mit Vertikallamellen.....	50
2.6 Das Sommer - Winter - Dilemma	51
2.6.1 Bedeutung der Temperaturdifferenzen innen/ausen im Winter und im Sommer	51
2.6.2 Bedeutung des Luftaustausches innen/ausen im Winter und im Sommer.....	52
2.6.3 Bedeutung des Sonnenschutzes im Winter und im Sommer.....	52
2.6.4 Bedeutung der Innen - und Aussenlasten	52
2.6.5 Bedeutung der Tagestemperaturschwankung im Sommer.....	52
2.6.6 Relative Bedeutung des Wärmeflusses durch Transmission.....	53
2.6.7 Bedeutung des thermischen Komforts	53
2.7 Zusammenfassung Gebäudetypologie und Sonnenschutz.....	53
2.8 Referenzen Gebäudetypologie.....	54
3. Lüftungs- und Klimaanlage	56
3.1 Anlagensysteme nach der Art der Luftverteilung	56
3.1.1 Einkanalssystem	57
3.1.2 Zweikanalsystem	58
3.1.3 Mehrzonensystem	59
3.1.4 Induktionssystem.....	60
3.1.5 Beurteilung der Anlagensysteme nach der Art der Luftverteilung.....	60
3.2 Zentrale und dezentrale Anlagen zur Konditionierung der Raumluft	60
3.2.1 Allgemeine Beurteilung.....	60
3.2.2 Energieaufwand.....	61
3.3 Kühlen und Heizen mit Luft oder Wasser als Energieträger	65
3.3.1 Luft als Energieträger	65
3.3.2 Wasser als Energieträger	67
3.3.3 Beurteilung von Luft und Wasser als Energieträger.....	68
3.4 Varianten der Kälteerzeugung.....	68

3.4.1	Vergleichsprozess nach Carnot	68
3.4.2	Leistungszahl der realen Anlage und Gütegrad	69
3.4.3	Gütegrad verschiedener Prozesse	70
3.5	Zusammenfassung Lüftungs- und Klimaanlage	70
3.6	Referenzen Lüftung und Kühlung	71
4.	Klein-Klimageräte	72
4.1	Technik und Typologie	72
4.1.1	Erweiterte Kategorisierung bzw. Typologie	72
4.1.2	Funktionsprinzip, Energieflussschema	72
4.1.3	Kleinklimageräte: Typen und Kurzbeschreibungen	74
4.1.4	Begriff und Auszüge aus EU-Direktive und EN 14511	75
4.2	Energie-Etikette und Prüfnorm für Klein-Klimageräte	75
4.2.1	Direktive zur Energie-Etikette der EU	75
4.2.2	Norm SN/EN 14511-1:2004, Prüfbedingungen	78
4.2.3	Leistungszahlen in SIA 382/1	80
4.3	Markt-/Technologieberichte	81
4.3.1	Benchmarking of air conditioner efficiency levels in five Asian countries.	81
4.3.2	"Kaum Kühlung", Stiftung Warentest, 6/2005	83
4.3.3	"Y a de l'absurde dans l'air", Que Choisir 427, juin 2005	84
4.4	Energy-using Products (EuP) Arbeiten in der EU, Lot 10	85
4.4.1	Fokus und Umfang	85
4.4.2	Stand der Arbeiten	85
4.5	Überblick Marktangebot Schweiz	87
4.5.1	Topten.ch	87
4.5.2	FEA-Verkaufsstatistik	89
4.6	Technologie-Entwicklung	90
4.6.1	"Konventionelle" Klein-Klimageräte mit hermetischem Verdichter	90
4.6.2	Komfortlüftungsgeräte mit integrierter Kühlung	90
4.6.3	Reversible Heizungs-Wärmepumpen	90
4.6.4	Absorptionskühlung, solar oder Brennstoff-beheizt	91
4.6.5	Magnetische Kühlung	92
4.7	Probleme: Wartung, Platzbedarf, Hygiene, Lärm, Wirtschaftlichkeit	92
4.7.1	Wartung/ Unterhalt	92
4.7.2	Platzbedarf	92
4.7.3	Lärm / Geräusch	92
4.7.4	Wirtschaftlichkeit, Lebenserwartung	93
4.8	Komfortventilatoren	93
4.8.1	Physiologische Wirkung, Grenzen	93
4.8.2	Angebot, Bauarten	94
4.8.3	Wirkungsgrad, Vergleich mit Klein-Klimageräten	94
4.9	Solar Cooling	95
4.10	Zusammenfassung Klein-Klimageräte	96
4.11	Referenzen Klein-Klimageräte	96
5.	Elektrischer Energiebedarf für Kühlung und Luftförderung	98
5.1	Gebäudeflächen	98
5.2	Technisierung der Gebäudeflächen für Belüftung und Kühlung	99
5.2.1	Basisentwicklung	99
5.2.2	Entwicklung mit warmen Sommern (WaSo)	101
5.3	Abschätzung des Elektrizitätsbedarfs für die Kühlung der Aussenluft	103
5.3.1	Dimensionierungszustände der Kühlung je nach Klimaentwicklung	103
5.3.2	Thermischer Leistungsbedarf für die Abkühlung der Aussenluft	103
5.3.3	Thermischer Energiebedarf für die Abkühlung der Aussenluft	104
5.3.4	Elektrischer Leistungsbedarf für die Abkühlung der Aussenluft	104
5.3.5	Elektrischer Energiebedarf für die Abkühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur	105
5.4	Abschätzung des Energiebedarfs für eine zusätzliche Kühlung	107
5.5	Abschätzung des elektrischen Energiebedarfes für die Luftförderung	107
5.5.1	Spezifische Ventilatorleistung nach SIA 382/1	107
5.5.2	Elektrischer Leistungsbedarf für die Luftförderung	108

5.5.3	Elektrischer Energiebedarf für die Luftförderung.....	108
5.6	Vergleich mit anderen Quellen	109
5.6.1	Verbrauchsmatrix nach SIA 380/4.....	109
5.6.2	Struktur des Elektrizitätsverbrauchs der Universität Zürich	110
5.6.3	Simulationsrechnungen des CEPE	111
5.6.4	Energieperspektiven 2035 des BFE	113
5.6.5	Beurteilung.....	114
5.7	Zusammenfassung Energiebedarf Kühlung und Luftförderung	114
5.8	Referenzen Energiebedarf für Kühlung und Luftförderung	115
6.	Massnahmenpakete und Empfehlungen.....	117
6.1	Massnahmen	117
6.2	Prüfung der Notwendigkeit einer Kühlung.....	117
6.2.1	Prüfung anhand der internen Wärmequellen und der vorhandenen Möglichkeit der Fensterlüftung.....	117
6.2.2	Prüfung anhand der Raumlufttemperaturen.....	117
6.3	Risikominderung	118
6.3.1	Guter Sonnenschutz.....	118
6.3.2	Kleine interne Wärmelasten	118
6.3.3	Geeignete Grundrissformen und Raum- und Fassadengeometrien	118
6.3.4	Konstruktionen mit genügender thermisch aktiver Masse	118
6.4	Energieeffiziente Kälteerzeugung und -verteilung	119
6.5	Massnahmenpaket Neubau.....	119
6.6	Massnahmenpaket Altbau/Umbau	121
6.7	Empfehlungen für Institutionen.....	125
7.	Anhang	127
7.1	Modell WaSo: Datenbasis	127
7.2	Begriffe, Abkürzungen, Einheiten und Symbolverzeichnis.....	133
7.3	Referenzen	134
7.3.1	Quellen (chronologisch geordnet)	134
7.3.2	Normen, Standards und Richtlinien (Directives)	135

Figurenverzeichnis

Figur 1-1	Schema Projektschwerpunkte WaSo	15
Figur 1-2	Temperaturabweichung 2003 gegenüber Mittelwert 1961 bis 1990	16
Figur 1-3	Temperaturuntersuchungen Stadt/Land	17
Figur 1-4	Regionales Schweizerisches Klimaszenario bis 2070	18
Figur 1-5	Monatsmittelwerte der Temperaturen für Zürich MeteoSchweiz	19
Figur 1-6	Zürich MeteoSchweiz: Design Reference Years	19
Figur 1-7	DRY Globalstrahlung W/m^2 MeteoSchweiz Zürich normal und warm	20
Figur 1-8	Schema des Zusammenwirkens verschiedener Systeme mit dem Benutzer	21
Figur 1-9	Zusammenhang monatliche Aussentemperaturen und Elektrizitätsverbrauch der Schweiz	23
Figur 1-10	Relativer Zuwachs des monatlichen Elektrizitätsverbrauches der Schweiz im Jahr 2003 gegenüber dem 1991	24
Figur 1-11	Zusammenhang Elektrizitätsverbrauch und Sommertemperaturen der Stadt Zürich	24
Figur 1-12	Strompreisentwicklung in cents € in der Hitzeperiode Juli 2006	25
Figur 2-1	Raumsimulation auf Basis Zürich MeteoSchweiz	28
Figur 2-2	Auswahl untersuchter Gebäudegrundrisse (nicht massstäblich)	29
Figur 2-3	Beispiel Grundrissanalyse TA Media Zürich	30
Figur 2-4	TA Media Zürich, Atelier WW 2000	31
Figur 2-5	Gemessene Wand- und Raumtemperaturprofile mit PCM 15mm	33
Figur 2-6	Strömungen an Bauten	35
Figur 2-7	Aussenliegender Sonnenschutz für hohe Gebäuden (< 30m)	35
Figur 2-8	Anzahl windbedingter Storenaufzüge pro Monat in einem Schulhaus in Zürich Messperiode: 1.5.-30.9.2004 [2-7]	36
Figur 2-9	Bewegliche Horizontallamellen	38
Figur 2-10	Bild Storen mit veränderbarem Lichteinfall	38
Figur 2-11	Storen mit veränderbarem Lichteinfall	39
Figur 2-12	Feststehende Vertikallamellen	39
Figur 2-13	Bewegliche Vertikallamellen	40
Figur 2-14	Doppelfassade	41
Figur 2-15	Wirkung eines Sonnenschutzes	42
Figur 2-16	Neue Anforderungen an den g-Wert in Abhängigkeit vom Verglasungsanteil an der Fassade und der Fassadenorientierung	43
Figur 2-17	Schema Solarstrahlung nach Fassadenorientierung	44
Figur 2-18	Beispiel aktiver Sonnenschutz	44
Figur 2-19	Pseudo-Glasfassade, geneigte Fassaden	45
Figur 2-20	Feststehende Sonnenschutzelemente und Vordächer	46
Figur 2-21	Im Isolierglas integrierte Storen	47
Figur 2-22	Gestufte Lamellen im Glaszwischenraum	47
Figur 2-23	Heutige Grenze und physikalische Grenze für Lichtdurchlass tau	48
Figur 2-24	GLAD Optische und thermische Eigenschaften von Fenstern	48
Figur 2-25	Glas Datenbank	49
Figur 2-26	Schnitt/Grundriss EAWAG Forum Chriesbach	50
Figur 2-27	EAWAG Forum Chriesbach	51
Figur 2-28	Schematischer Tagesgang der Aussentemperaturen	52
Figur 2-29	Wärmeleistungsbeitrag von Transmission und Strahlung bei Klima 2005 und 2035	53
Figur 3-1	Übersicht Einkanalssystem nach [3-2]	57
Figur 3-2	Übersicht Zweikanalssystem nach [3-2]	58
Figur 3-3	Übersicht Mehrzonensystem nach [3-2]	59
Figur 3-4	Übersicht Induktionssystem nach [3-2]	60
Figur 3-5	Grenzwerte für die Leistungszahl der Kälteerzeugung nach SIA 382/1	62

Figur 3-6	Zielwerte für die Leistungszahl der Kälteerzeugung nach SIA 382/1	62
Figur 3-7	Bereiche der Druckdifferenzen der Luftförderung je nach Luftvolumenstrom	63
Figur 3-8	Grafische Darstellung der Grenz- und Zielwerte von Tabelle 3-4	64
Figur 3-9	Resultierender Bereich der spezifischen Leistung der Luftförderung je nach Luftvolumenstrom	65
Figur 3-10	Kühlen mit Luft	66
Figur 3-11	Heizen mit Luft	67
Figur 3-12	Leistungsziffer einer Kältemaschine nach Carnot	68
Figur 3-13	Leistungsziffer einer Kältemaschine nach Carnot bei einer Untertemperatur von 5 K und einer Übertemperatur von 10 K.	69
Figur 3-14	Relative Veränderung der je nach Kaltwasser- und Warmwassertemperatur (Ausgangszustand 5/45° C)	69
Figur 4-1	Funktionsprinzip von Klein-Klimageräte Prinzipschema und Schemabilder, für Split-Konfiguration	73
Figur 4-2	Energieflussschema von Klein-Klimageräten	73
Figur 4-3	Typenübersicht Kleinklimageräte	74
Figur 4-4	Energie-Etikette für Raumklimageräte	76
Figur 4-5	Energieeffizienzklassen	77
Figur 4-6	Effizienzklassen, Vergleich EU- und China-Grenzwerte	77
Figur 4-7	Energieeffizienzklassen gemäss EU-Direktive 2002/31/EG vom 22. März 2002	78
Figur 4-8	Energie-Etiketten-Klassierung mit Heizfunktion. Die A-Grenzwerte liegen um 0.4 höher als für die Kühlfunktion, mit Ausnahme der Kompaktgeräte (luftgekühlt 0.6, wassergekühlt 0.3).	78
Figur 4-9	Bild A.1 aus EN 14511-3	80
Figur 4-10	Anforderungen an die Kälte-Leistungszahl	80
Figur 4-11	Übersicht der EER der 5 Länder, nach Kühlleistung [4-3]	82
Figur 4-12	Minimum Efficiency Performance Standards, current and proposed levels in the five countries [4-3]	82
Figur 4-13	Verkaufsgewichtete EER der 5 Länder [4-3]	83
Figur 4-14	Verkauf Raum-Klimageräte nach Typ (EU 27)	86
Figur 4-15	Festeingebaute Raum Klimageräte nach Typ	86
Figur 4-16	Wohn- und Nichtwohngeräte nach Ländern (EU 27)	87
Figur 4-17	Anteil verschiedener Splitgeräte Typen in 10 europäischen Ländern	87
Figur 4-18	Klein-Klimageräte (Topten): EER und Kühlleistung	88
Figur 4-19	Topten.ch: Klimageräte; Seite "Mobile- und Kompakt-Klimageräte"	89
Figur 4-20	Klein-Klimageräte, Verkaufsentwicklung der FEA-Mitglieder	89
Figur 4-21	Reversibler Betrieb einer Wärmepumpe, aus [4-6]	90
Figur 4-22	Gas-Absorptions-Wärmepumpe. Quelle: www.robur.it (Katalog). Kälteleistung ab 18 kW.	91
Figur 4-23	Absorptions-Klimagerät für solare Speisung	92
Figur 4-24	Klein-Klimageräte (Topten): Kühlleistung, Kühl-Energiekosten und Kaufpreis	93
Figur 4-25	Bauarten von Komfortventilatoren	94
Figur 5-1	Entwicklung der Gebäudefläche in der Schweiz nach den Hauptkategorien Haushalt, Dienstleistungen und Industrie (nur Büro)	98
Figur 5-2	Entwicklung der Gebäudeflächen in der Schweiz nach den Unterkategorien von Haushalt (3), Dienstleistungen (9) und Industrie (2)	98
Figur 5-3	Relative Bedeutung der 3 Technisierungen in der Basisentwicklung	99
Figur 5-4	Gebäudeflächen der 3 Technisierungen in der Basisentwicklung	100
Figur 5-5	Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung in der Basisentwicklung	100
Figur 5-6	Mechanisch belüftete Gebäudeflächen ohne Kühlung in der Basisentwicklung	101
Figur 5-7	Relative Bedeutung der 3 Technisierungen in der WaSo-Entwicklung	101
Figur 5-8	Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung in der Entwicklung mit warmen Sommern	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Temperaturannahmen für die Schweiz im Jahr 2050 [1-1]	16
Tabelle 1-2	DRY Temperaturen MeteoSchweiz Zürich normal, warm und kalt	20
Tabelle 1-3	DRY Globalstrahlung W/m^2 MeteoSchweiz Zürich normal, warm und kalt	20
Tabelle 1-4	Auswertung der kantonalen Energiegesetzgebung (2004)	22
Tabelle 2-1	Vergleich der Auswirkung verschiedener Phänomene auf die max.	27
Tabelle 2-2	Übersicht untersuchte Gebäudegrundrisse (gelb markiert: Detailuntersuchung)	31
Tabelle 2-3	Latentwärmespeichernde Gipskartonplatte	32
Tabelle 2-4	PCM Panel Brighton	32
Tabelle 2-5	Fallstudie Büroraum mit PCM	33
Tabelle 2-6	Bau- und Energiedaten, Forum Chriesbach	51
Tabelle 2-7	Vergleich Erwärmungsbeitrag Transmission und Globalstrahlung	53
Tabelle 3-1	Anlagentypen von Lüftungs- und Klimaanlage nach Funktionen	56
Tabelle 3-2	Bewertung von zentralen und dezentralen Lösungen zur Raumluft-Konditionierung	61
Tabelle 3-3	Maximale Druckverluste der verschiedenen Anlagentypen nach SIA 382/1	63
Tabelle 3-4	Grenz- und Zielwerte für den Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoren nach SIA 382/1	64
Tabelle 3-5	Gütegrade verschiedener Prozesse [3-3]	70
Tabelle 4-1	Norm-Nennbedingungen	79
Tabelle 4-2	Synthese der EER Werte der 5 untersuchten Länder	81
Tabelle 4-3	Ergebnis Stiftung Warentest	83
Tabelle 4-4	Ergebnisse Test Que Choisir	84
Tabelle 4-5	Solar Cooling: Vergleich Solarthermie mit Photovoltaik	95
Tabelle 5-1	Annahmen für die Entwicklung der Gebäudeflächen 2035/2005 EBF und mechanische Lüftung/Kühlung	103
Tabelle 5-2	Annahme zu den Dimensionierungszuständen für die Kühlung im Klima 2005 (ohne Klimaerwärmung) und im Klima 2035 (mit Klimaerwärmung)	103
Tabelle 5-3	Spezifische Kühlleistung zur Abkühlung des hygienisch notwendigen Aussenluftstromes	103
Tabelle 5-4	Leistungszahl COP der Kälteerzeugung je nach angewandeter Technik	105
Tabelle 5-5	Jährliche Betriebsstunden und Vollbetriebsstunden der Kälteerzeugung je nach zur Anwendung kommender Technik (Klima 2005/Klima 2035)	105
Tabelle 5-6	Grenz- und Zielwerte nach SIA 382/1 für die spezifische Ventilatorleistung	107
Tabelle 5-7	Spezifische Ventilatorleistung je nach zur Anwendung kommender Technik	108
Tabelle 5-8	Jährliche Betriebsstunden und Vollbetriebsstunden der Luftförderung je nach zur Anwendung kommender Technik	108
Tabelle 5-9	Relative und absolute Bedeutung der Elektrizitätsverbrauchsgruppen Quelle: R. Lang, Materialien zu nach SIA 380/4, Zürich 2006	110
Tabelle 5-10	Elektrizitätsverbrauchsanteil in der Universität Zürich (gemessen) und nach Modell WaSo	111
Tabelle 6-1	Beurteilung der Notwendigkeit einer Kühlung je nach internen Wärmequellen und Fensterlüftung	117
Tabelle 6-2	Beurteilung der Notwendigkeit einer Kühlung anhand der Anzahl Stunden mit Raumlufttemperaturen über der Grenzkurve von Figur 6-1.	117
Tabelle 6-3	Das Neubau Massnahmenpaket	121
Tabelle 6-4	Das Altbau/Umbau Massnahmenpaket	124
Tabelle 6-5	Matrix der Empfehlungen für Institutionen	126

Vorwort

Das Klima ändert sich offensichtlich. Unsere Forschungsarbeit kann das nicht verhindern, will sich aber mit der Adaption von Bauten an die unvermeidbare künftige Wärmeentwicklung im Sommer auseinandersetzen. Dadurch wird indirekt auch ein Beitrag zur Verminderung des Energieverbrauchs und der Emission von Klimagasen erbracht.

Die Arbeiten des vorliegenden Forschungsprojektes WaSo wurden von Conrad U. Brunner und Urs Steinemann initiiert und geleitet. Wichtige Beiträge stammen von Jürg Nipkow (Kapitel 4, Klein-Klimageräte) und Thomas Frank (Kapitel 2.2: Simulation der Auswirkungen auf das Raumklima).

Das Projekt baut unter anderem auf der Forschungsarbeit auf von Conrad U. Brunner, Thomas Baumgartner, Daniel Brühwiler, Thomas Frank, Paul Schneider, Urs Steinemann: „Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz“, veröffentlicht in: SIA Dokumentation 0176, Zürich 2001 und in: Merkblatt SIA 2021, Zürich 2001 [2-1].

Parallel zu unserer vorliegenden Arbeit sind verschiedene Untersuchungen in der Schweiz und in Europa durchgeführt worden, mit denen die Autoren im engen Kontakt waren:

Energieszenarien BFE 2035, insbesondere:

- Gebäudemodell: Wüest & Partner, Dieter Marmet et al., Zürich 2004
- Dienstleistungssektor: CEPE ETH-Z, Bernhard Aebischer, Zürich 2006
- Haushaltsektor Prognos AG Basel: Peter Hofer, Basel 2006

Weitere Untersuchungen:

- Energy-using Products Directive, Lot 10: Raumklimageräte, Brüssel 2007
- Klimasituation Schweiz 2050: Proclim / OcCC, Christoph Ritz, Bern 2007
- Grenzkosten bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden: CEPE ETH-Z, Martin Jakob, Zürich 2006
- Verdoppelung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch Ausnützung eines kleinen Temperaturhubes, Beat Wellig, Beat Kegel, Zürich 2006
- Grundlagenarbeiten zu SIA 382/1, HTA Luzern, Horw 2005

Wir danken an dieser Stelle allen Kollegen für den interessanten Austausch.

Folgende Personen haben in einer ad hoc Begleitgruppe WaSo aktiv mitgewirkt:

- Roland Aeberli, GS SIA, Zürich
- Bernard Aebischer, CEPE ETH-Z, Zürich
- Andreas Eckmanns, BFE, Bern
- Charles Filleux, BFE-Forschung Gebäude, Zürich
- Thomas Frank, Empa Dübendorf
- Reinhard Friedli, KBOB und BBL, Bern
- Lukas Gutzwiller, BFE, Bern
- Peter Hofer, Prognos, Basel
- Heiri Huber, Minergie Agentur Bau, Muttenz
- Martin Jakob, CEPE ETH-Z, Zürich
- Martin Lenzlinger, SIA KHE und SIA 380/1, Zürich
- Jörg Ruosch, ewz, Zürich
- Michael Thommen, Kanton BS, Basel
- Ernst Ursenbacher, KBOB und BBL, Bern

Wir danken den Begleitgruppenmitgliedern für Anregung und Kritik.

Die vorliegende Arbeit wurde dank Beiträgen des BFE, des Stromsparerfonds der Stadt Zürich, des Kantons Basel-Stadt und der KBOB ermöglicht. Wir danken den beteiligten Institutionen für ihre Beiträge.

Das neuerdings im Gefolge regionaler Klimaereignisse, hoher Ölpreise und des 4. Klimaberichtes der IPCC von 2007 wieder erwachte politische Interesse an Energie- und Klimafragen lässt hoffen, dass unsere Vorschläge und Empfehlungen auf fruchtbaren Boden fallen.

Zusammenfassung

(Voir traduction française suivante page 11, see English translation below page 15, siehe folgende französische und englische Übersetzung)

Es muss heute davon ausgegangen werden, dass bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts die Sommertemperaturen in der Schweiz um 2 bis 3° C ansteigen werden. In Zürich werden wir dann ein Sommerklima haben, wie wir es heute etwa von Turin kennen. Diese höheren Aussentemperaturen werden sich in Form länger anhaltender Hitzeperioden bemerkbar machen, die ein Aufschaukeln der Raumtemperaturen in Gebäuden bewirken. Die besonders nachts erwarteten höheren Temperaturen werden sich auf die thermische „Erholung“ bestehender und ungeschützter neuer Bauten negativ auswirken. Bei Aussenlufttemperaturen am Tag über 28° C und nachts über 20° C sind auch bei gutem Sonnenschutz und hoher thermischer Masse nicht mehr ohne weiteres behagliche Raumtemperaturen zu erzielen.

Im Wohnbereich sowie im Dienstleistungs- und Industriesektor wird heute für die einfache Raumlüftung und –kühlung rund 1 TWh pro Jahr an Elektrizität verbraucht. Mit der oben erwähnten Klimaerwärmung würde dieser Verbrauch in einem „Business-as-Usual“-Modell im Jahr 2035 bis 2.9 TWh pro Jahr betragen. Können und wollen wir uns das leisten?

Die sommerliche Stromversorgung kann dabei - wie heute bei Winterspitzen mit anhaltenden Tieftemperaturen - zu einem Engpass führen, der zusätzliche Kraftwerksleistungen und Transportkapazitäten erfordert und die sommerlichen Preise der Elektrizität stark steigen lässt. Dies wird sich auf industrielle und grosse Dienstleistungsunternehmen auswirken, die bislang tiefe Strompreise bezahlt haben.

Nachdem im Schweizer Klima das bisherige Augenmerk für Bauten vor allem auf die Winterheizperiode ausgerichtet wird, zeigt sich nun ein neuer, zusätzlicher Fokus mit den in Zukunft häufiger höheren und andauernden warmen Sommerperioden. Ziel dieser Untersuchung ist die Darlegung von baulichen, technischen und betrieblichen Möglichkeiten, um die thermische Behaglichkeit der Benützerschaft im Sommer hoch zu halten und durch wirtschaftliche Massnahmen den dazu erforderlichen elektrischen Energiebedarf deutlich zu vermindern. Die gegenwärtig laufende epidemische Ausbreitung von teilweise technisch fragwürdigen und ineffizienten Raumklimageräten im Wohn- und Dienstleistungssektor erinnert gefährlich an die analoge Ausbreitung der "Heizöfeli" vor und nach dem letzten Weltkrieg. Einmal angeschaffte Geräte und eingebaute Anlagen sind elektrische Verbraucher und schwierig wieder wegzubringen oder zu verbessern.

Die Untersuchung der baulichen Massnahmen an der Gebäudehülle (Fenster, Sonnenschutz) und bei der thermisch wirksamen Gebäudemasse zeigen ein vielfältiges Angebot neuer und bewährter Technologien, die attraktive architektonische Gestaltungsmöglichkeiten für Verglasung und äusseren oder integrierten Sonnenschutz aufweisen. Die Fenstergrösse bleibt eines der zentralen Risiken für die Übererwärmung. Der hochwertige, bewegliche und gesteuerte Sonnenschutz, wie in SIA 382/1 für gekühlte Gebäude verlangt wird, ist für alle Gebäude von entscheidender Bedeutung.

Die Klima- und Kältetechnik in zentralen Anlagen und mit Raumklimageräten zeigt ein grosses noch weitgehend ungenutztes Energieeffizienzpotenzial durch die sorgsame Nutzung geringerer Temperaturdifferenzen. Die bisher in einigen Kantonen praktizierte Bewilligungspflicht für Raumklimatisierung (ohne weitere energetische Anforderungen an die zulässigen Anlagen) löst das Problem nicht. Moderne lastabhängig betriebene Gebäudetechnik kann bei steigenden Temperaturen die nötige Kühlung liefern. Dazu ist eine klare Gerätekennzeichnung und sind strenge Mindestanforderungen an die Energieeffizienz nötig.

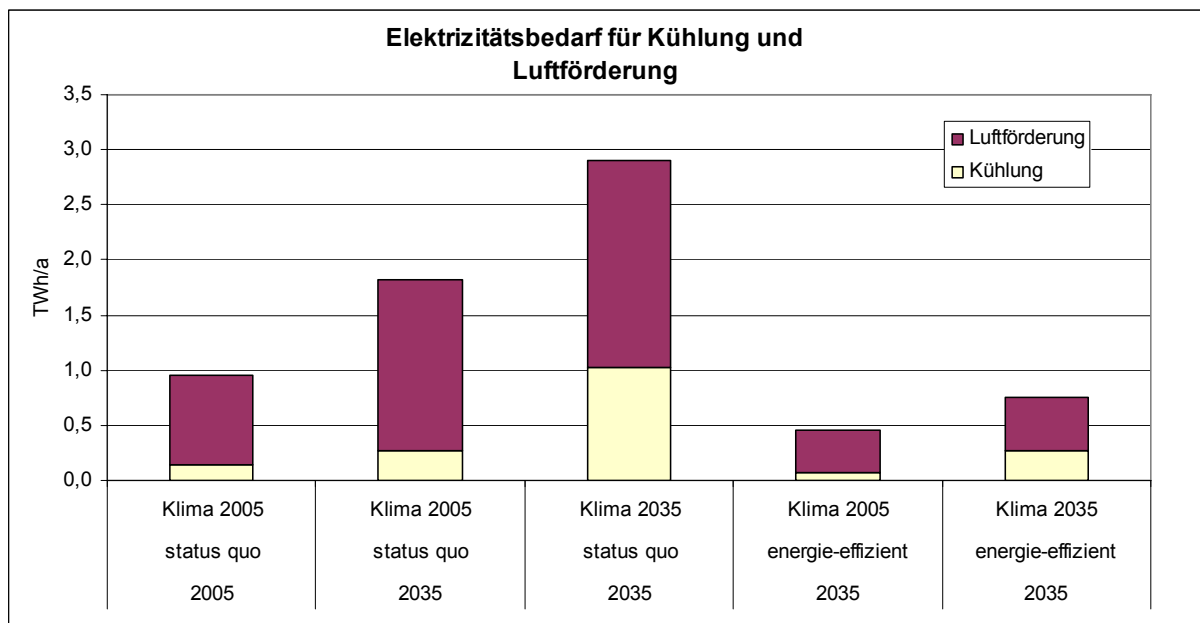
Wir haben auch einige neue und unkonventionelle Lösungswege (hoch effiziente Raumklimageräte, Solar-Cooling-Geräte, Komfort-Ventilatoren, Phasenwechsel-Speichermaterialien, etc.) zur Verminderung des elektrischen Energieverbrauches in Betracht gezogen.

Die Ergebnisse der Untersuchung konzentrieren sich auf ein koordiniertes Vorgehen in der Planung mit einem zwingenden Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz gemäss SIA 180 und die Einhaltung der baulichen Anforderungen für den Sonnenschutz gemäss SIA 382/1. Massnahmenpakete für Neubauten und bestehende Bauten resp. Umbauten im Dienstleistungssektor werden vorgestellt, die bauliche, technische und betriebliche Aspekte umfassen. Dadurch soll das Risiko von thermisch unbehaglichen und damit im Sommer schlecht nutzbaren Gebäuden vermindert werden. Es werden 24 Empfehlungen für gesetzliche und normative Anpassungen formuliert. Zum Beispiel sollen künftig Bauten mit einem Sommertemperaturprofil „DRY warm“ statt „DRY normal“ berechnet werden, um damit die während der Gebäudenutzungsdauer von 30 bis 50 und mehr Jahren zu erwartende mittlere Temperatur in die Optimierung einzubeziehen. Dienstleistungsbauten sollen weiterhin einen ausgezeichneten winterlichen Wärmeschutz bei Fenstern, Dächern und Fassaden aufweisen, was sich nicht

nachteilig auf die sommerlichen Raumtemperaturen auswirkt, weil diese wesentlich stärker durch den Sonnenschutz, den Luftwechsel und die inneren Wärmelasten bestimmt werden. Ausserdem wird verlangt, dass nur noch zentrale Kälteanlagen, welche die Zielwerte der neuen SIA 382/1 erfüllen Kleinklimageräte mit Klasse A oder besser zum Einsatz gelangen. Diese Empfehlungen erfordern eine neue und vorausschauende Handlungsweise der Gesetzgeber und der Normengeber, die auf den zu erwartenden langen Lebenszyklus von Bauten und Anlagen ausgerichtet sein muss. Die erwartete Klimaerwärmung ist im Jahr 2050 noch nicht auf dem Höhepunkt angelangt, sondern sie wird aller Voraussicht nach bis über das Jahr 2100 wirksam sein.

Unmittelbarer Verwendungszweck des Schlussberichtes als SIA Dokumentation wird die Fortbildung der PlanerInnen sein. Die konkrete Anwendung der Erkenntnisse über die effizientesten Kleinklimageräte wird auf Topten sichtbar gemacht.

Mit den im Bericht beschriebenen baulichen, anlagentechnischen und betrieblichen Massnahmen ist es möglich, den zu erwartenden zusätzlichen Elektrizitätsbedarf von 1.9 TWh pro Jahr für Lüftungs- und Klimaanlage auch bei grösseren gekühlten Flächen und weiter steigenden Temperaturen mit kostengünstigen Mitteln vollständig zu kompensieren.



Gesamter elektrischer Energiebedarf für Kühlung und Luftförderung

Das Thema ist mit dem vorliegenden Bericht nicht abgeschlossen. Einerseits müssen weitere Konkretisierungsschritte gemacht werden: Umsetzungsunterlagen für ArchitektInnen und Bauherren, Ausschreibungsunterlagen für Wettbewerbe und Planeraufträge, etc. müssen erstellt und verbreitet werden. Diese müssen in die Aus- und Weiterbildung einbezogen werden. Andererseits müssen energetische Konfliktzonen zwischen Tageslicht- und Heizwärmenutzung einerseits und Sonnenschutz und vermindertem Ausblick andererseits quantitativ besser abgestützt werden. Ferner soll die Umsetzungspolitik und der Baumarkt entsprechend beobachtet werden, um später die hier gemachten Potenzialabschätzungen zu überprüfen.

Résumé: Construire quand le climat se réchauffe

En Suisse, les températures estivales devraient augmenter de 2 à 3° C d'ici le milieu du 21^{ème} siècle. A Zurich, en été, le climat sera le même qu'à Turin actuellement. Cette hausse des températures se manifestera par de plus longues périodes de fortes chaleurs, avec comme corollaire des températures plus élevées dans les bâtiments. En effet, puisqu'on s'attend surtout à des nuits plus chaudes, le "rétablissement thermique" nocturne des bâtiments existants et des constructions nouvelles insuffisamment protégées ne pourra plus avoir lieu. Avec des températures extérieures dépassant 28° C le jour et 20° C la nuit, il sera difficile d'avoir une température agréable à l'intérieur, même avec de bonnes protections solaires et une masse thermique élevée.

Chaque année, 1 TWh d'électricité sont consommés pour la ventilation et le refroidissement des logements et des bâtiments du secteur de l'industrie et des services. Avec le réchauffement du climat décrit plus haut, la consommation devrait atteindre 2.9 TWh en 2035 si l'on se base sur un scénario "business as usual". Voulons-nous cela ? Pouvons-nous nous le permettre ?

L'été, l'approvisionnement en électricité risque de connaître un goulet d'étranglement – comme c'est actuellement le cas avec les pics hivernaux lorsque les basses températures persistent. Il faudra alors davantage de puissance à la production et des capacités de transport de l'électricité plus importantes, ce qui conduira à une forte augmentation des tarifs en été. L'industrie et les grandes entreprises de services qui ont pu jusqu'ici acheter leur électricité à bon compte, en sentiront les effets.

Alors que l'attention s'est portée jusqu'ici sur la période hivernale de chauffage, il est temps désormais de s'intéresser aux périodes estivales qui seront à l'avenir fréquemment plus chaudes et plus longues. La présente étude a pour but de présenter les dispositions qui peuvent être prises au niveau de la construction, des installations techniques et de l'exploitation, dans le but de garantir aux occupants des bâtiments un confort thermique élevé en été tout en réduisant considérablement la consommation d'électricité pendant cette saison, le tout de manière économiquement optimale. Dans le secteur du logement et des services, la prolifération actuelle et presque épidémique des climatiseurs de faible efficacité énergétique – dont la technique est en partie sujette à caution – rappelle dangereusement celle des « petits chauffages » électriques avant et après la dernière guerre mondiale. Une fois acquis et posés, ces équipements consomment de l'électricité et sont difficiles à supprimer ou à optimiser.

L'étude des dispositions applicables à l'enveloppe du bâtiment (fenêtres, pare-soleil) et à la construction des éléments massifs thermiquement actifs montre que les technologies nouvelles déjà éprouvées sont nombreuses; elles offrent d'intéressantes possibilités de conception architecturale pour les vitrages et les protections solaires, extérieures ou intégrées. La taille des fenêtres demeure le principal facteur de risque de surchauffe. La protection solaire des fenêtres avec un système efficace, flexible et automatique, comme demandé dans SIA 382/1 pour les bâtiments refroidis, est une contribution décisive pour tous les types des bâtiments.

Jusqu'ici, dans le domaine de la technique du froid et de la climatisation, on n'a que rarement tiré parti des petites différences de température pour améliorer l'efficacité énergétique, qu'il s'agisse d'installations centrales ou de climatiseurs à poser dans chaque pièce. Soumettre la climatisation à autorisation, comme c'est le cas dans certains cantons, sans imposer d'autre exigence en matière d'énergie aux installations admissibles, ne résout pas le problème. Ce sont des installations techniques du bâtiment modernes et asservies à la charge qui peuvent apporter la fraîcheur désirée, lorsque les températures extérieures sont en hausse. Des exigences strictes seront édictées en matière d'efficacité énergétique et les appareils homologués seront marqués clairement.

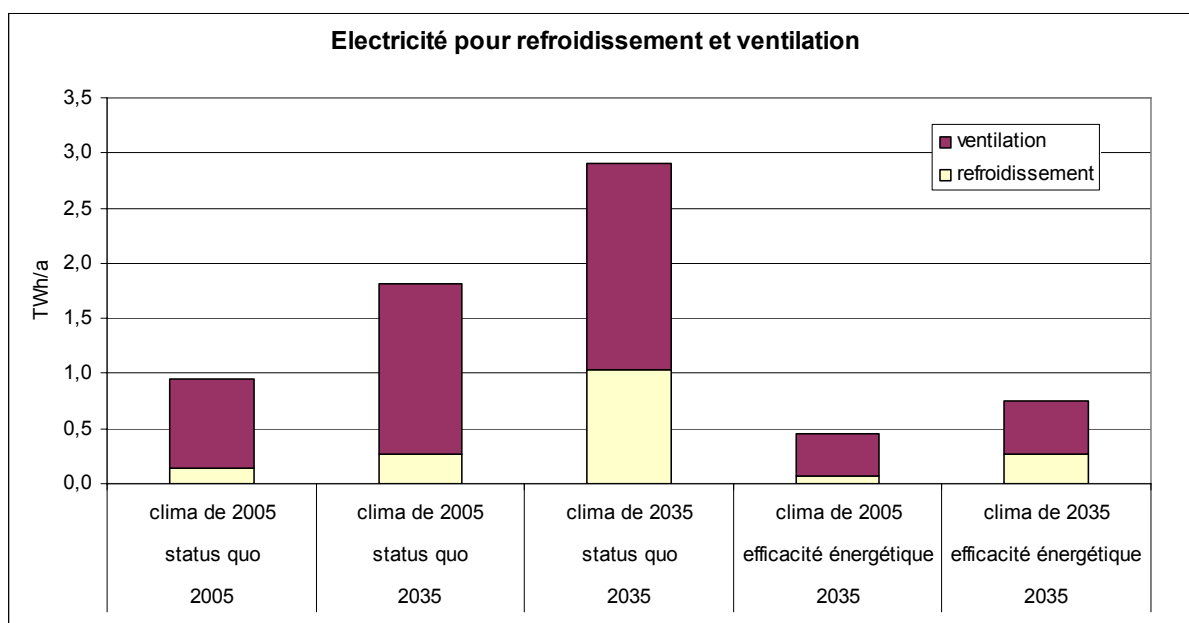
Notre analyse a aussi porté sur quelques moyens inédits et sortant de l'ordinaire, qui permettent de réduire la consommation d'énergie électrique: climatiseurs de haute efficacité pour une pièce, équipements de climatisation solaire, ventilation mécanique douce destinée à assurer l'hygiène de l'air, matériaux à changement de phase, etc.

Au final, nous recommandons une démarche coordonnée dans l'étude des projets de construction, avec un justificatif obligatoire de la protection thermique estivale selon la norme SIA 180 et les exigences pour la construction des systèmes de protection solaire selon la norme SIA 382/1. Des paquets de mesures au niveau de la construction, des installations techniques et de l'exploitation sont proposés pour les nouveaux bâtiments et les bâtiments existants, plus particulièrement pour les transformations dans le secteur des services. Il s'agit de réduire le risque de construire des bâtiments peu confortables sur le plan thermique et donc difficilement utilisables en été. 24 recommandations sont formulées, destinées à être intégrées à la législation ou aux normes. Par exemple, à l'avenir, les bâtiments devraient être calculés sur la base d'un profil de températures estivales "DRY warm" plutôt que "DRY normal", afin d'intégrer au mieux les températures moyennes attendues durant les 30 à 50 années (voire plus) de leur durée d'utilisation. Les bâtiments des services ont toujours besoin une pro-

tection thermique excellente hivernale pour les fenêtres, les murs extérieurs et les toits. Ceci n'est pas un désavantage pour les températures intérieures en été, parce qu'ils dépendent beaucoup plus fort de la protection solaire, la ventilation et les chaleurs internes. De plus, les centrales de refroidissements doivent achever les valeurs cibles de la SIA 382/1, et des petits appareils climatiseurs seuls de la classe A (ou meilleur) devraient être admis. Ces recommandations exigent du législateur et de l'instance de normalisation une nouvelle façon d'agir, qui prenne en compte le long cycle de vie des bâtiments et des installations. Le réchauffement prévisible du climat n'atteindra pas son maximum en 2050, mais continuera vraisemblablement au-delà de l'année 2100.

Le présent rapport final pourra être utilisé directement pour la formation des concepteurs, comme documentation de la SIA. Le site Internet www.topten.ch renseignera sur la manière d'appliquer concrètement les résultats relatifs aux petits climatiseurs les plus efficaces.

Les mesures décrites dans le rapport, concernant la construction, les installations et l'exploitation, permettront d'éviter intégralement et à des coûts avantageux ces besoins supplémentaires en électricité de 1.9 TWh par année calculés pour les installations de ventilation et de climatisation en 2035. Ceci même si les surfaces à refroidir deviennent très importantes et que les températures continuent à croître.



Electricité pour refroidissement et ventilation

Le présent rapport n'épuise pas le sujet. Plusieurs aspects doivent encore être concrétisés. Des documents sont nécessaires à la mise en œuvre par les architectes et les maîtres d'ouvrage; d'autres doivent être élaborés pour les appels d'offres à utiliser pour les concours et les mandats d'étude. Cette documentation doit être diffusée largement et intégrée à la formation de base et à la formation continue. Par ailleurs, les impératifs contradictoires – au niveau de l'énergie – d'une utilisation optimale de la lumière du jour et de la chaleur de chauffage, d'une part, et de protections solaires efficaces avec une vue réduite vers l'extérieur, d'autre part, doivent être mieux documentés par des chiffres. Enfin, à plus long terme, il importe de surveiller la stratégie de mise en œuvre et le marché de la construction pour vérifier les potentialités exprimées ici.

Summary: Building When the Climate Will Be Warmer

We have to assume today, that by the middle of the 21st century summer temperatures in Switzerland will increase by 2 to 3° C. In Zurich we will then have a climate as we know today in Turin, Italy. These higher outdoor temperatures will take the form of extended hot spells and will lead to a steady rise in room temperatures in buildings. Particularly objectionable will be the expected warmer temperatures in existing buildings as well as in sun-exposed new buildings, which will no longer cool down at night. By outside air temperatures exceeding 28° C during the day and 20° C at night not even good solar shading or thermal mass will automatically lead to comfortable room temperatures.

In residences as well as commercial and industrial buildings room ventilation and cooling require approximately 1.0 TWh electricity annually today. With the above mentioned climate warming and business as usual scenario, this would increase to 2.9 TWh annually by the year 2035. Can we and do we wish to let this happen?

The high summer electricity demand can in the future lead to supply shortages, as is the case today during extended cold weather periods. This requires supplemental power generating and transportation capacity. The future result will be a large increase in the price of electricity in summer. This will negatively impact industries and service providers, which for a long time have enjoyed very low electricity prices.

This situation is in strong contrast to the past in Switzerland, when attention was devoted to energy demand in buildings during the winter. Today there is a new focus with the anticipation of increasingly frequent, extended hot spells in summer. The goal of this investigation is to analyze and present economic measures to assure a high level of summer comfort with a reduced demand for electricity under these changing conditions. Included are strategies addressing construction, technologies and operations. The current epidemic spread of technically questionable and inefficient room air conditioning units in residential and commercial buildings is strongly reminiscent of a dangerous, analogous case in the past: the spread of small electric heaters before and after the Second World War. Once such apparatuses are bought, installed and in service, it is difficult to get rid of or improve them.

The investigations of construction measures for the building envelope (windows and sun protection) as well as effective building thermal mass are considering a multitude of new and proven technologies. They open attractive architectural design possibilities for the glazing and exterior or integrated solar protection. Window area remains a central risk with regard to overheating. Highly efficient, adjustable and automated solar protection, required in SIA Norm 382/1 for air conditioned buildings, is a decisive contribution for all types of buildings.

A largely untapped potential exists to increase the efficiency of air conditioning and chiller technologies for both central systems and room units by careful use of small temperature differences. The current practice in some cantons does not solve the problem: installing air conditioning has to be approved, but there are no energy requirements for these installations. Modern equipment with load-dependent operation can deliver the required cooling by increasing ambient temperatures. This capability should be clearly indicated on the equipment. Strict minimal requirements for energy efficiency are necessary.

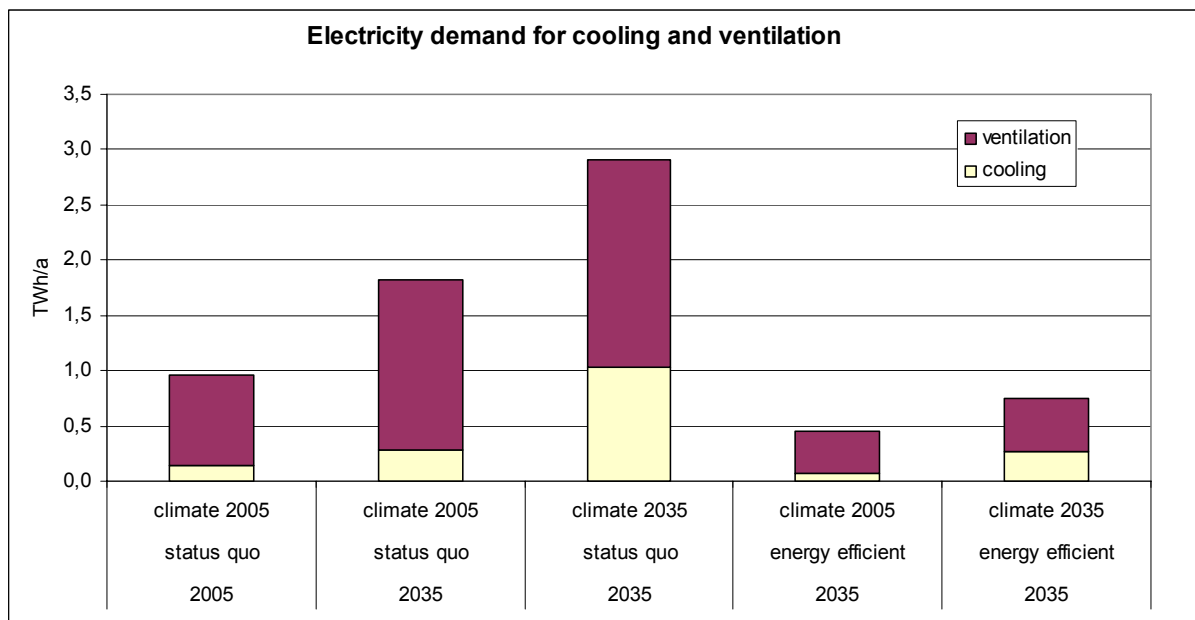
We have also considered several new and unconventional solution paths involving: high-efficiency room air conditioners, solar cooling equipment, balanced mechanical ventilation, phase-change-material thermal storage, etc. all aimed at reducing electricity consumption.

The investigations concentrate on providing a co-coordinated planning approach with a mandatory proof of summer heat protection according to SIA 180 and the necessary requirements for solar protection according to SIA 382/1. Packages of measures for new and existing buildings as well as buildings undergoing major changes are to be presented. Included are constructional, technical and operational measures for residential as well as commercial buildings. Thereby, the risk of thermal discomfort and resulting poor usability of buildings in summer should be minimized. 24 recommendations for changes to laws and standards have been formulated. For example, in the future, buildings should be calculated with a summer temperature profile "DRY warm" instead of "DRY normal" in order to anticipate the expected increase in average temperatures over the 30 to 50 year lifetime of a building. Commercial buildings should continue to have windows, roofs and exterior walls equipped with excellent thermal protection for winter conditions. This is no disadvantage for summer room temperatures because they are influenced much more through solar protection, ventilation and interior thermal loads. In addition, central air conditioning systems shall be accepted only when target values of SIA 382/1 are met; small room air conditioners shall definitely meet Class A or better. These recommendations require that the law-makers and standards writers develop a new and forward-looking way of

doing business, considering the long life cycle of buildings and technical systems. The expected climate warming will not peak in 2050, but rather is now expected to extend through to the year 2100.

The final report, which is in the form of an SIA Documentation, will be used for the continuing education of planners. How to use the results about the most efficient small air conditioners will be presented on the web site www.topten.ch.

The proposed measures regarding construction, technical equipment and operation should make it possible to economically compensate for the expected additional annual 1.9 TWh electrical demand for ventilation and air conditioning, even considering the expected growth in air conditioned building volume and increases in ambient temperatures.



Electricity demand for cooling and ventilation

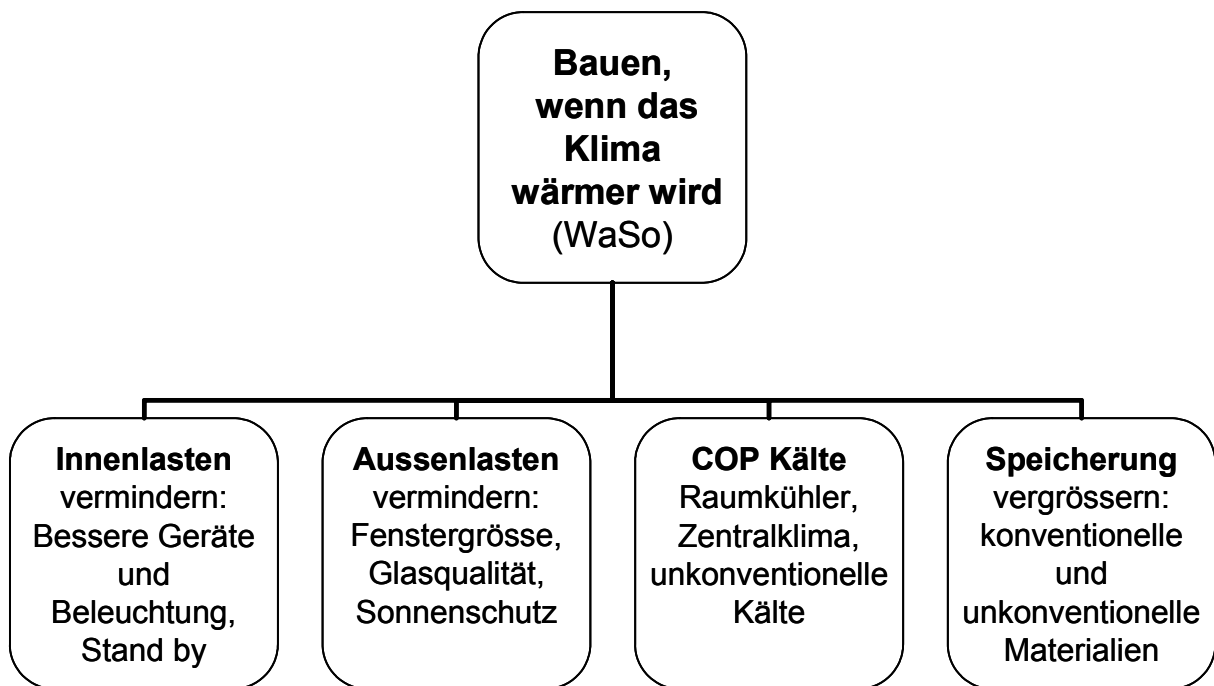
This topic is not closed with the completion of this report. On the one hand further specific steps must be defined. Material for architects and building clients, basis material for calls for tenders and competitions, etc. must be prepared and distributed. This material must also find its way into the education and continuing education of professionals. On the other hand, conflicts have to be resolved, for example design conflicts among day lighting, heating demand, solar protection and the need for a view to the outside. Further, the politics of how the results are taken up as well as the building marketplace must be observed in order to check on the progress of actual savings versus potential savings forecast here.

1. Grundlagen

1.1 Ausgangslage

Gebäude werden für 30 bis 50, sogar bis 100 Jahre Nutzungsdauer geplant und gebaut. Der Gebäudebestand wird nur mit einer Erneuerungsrate von etwa 1% bis 2% pro Jahr abgebrochen und durch zeitgemässe Neubauten ersetzt. Die bisher schon gut beobachtete und künftig stärker werdende Klimaerwärmung führt deshalb zu einer neuartigen und zusätzlichen Belastung des thermischen Verhaltens der Gebäude, seiner Gebäudetechnik und hat zudem bedeutende Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Benützerschaft.

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, den zu erwartenden Erwärmungseffekt im Sommer und seine Auswirkungen auf Dienstleistungsgebäude zu beschreiben, die energetischen Auswirkungen in verschiedenen Szenarien zu quantifizieren und Massnahmen für bestehende und neue Bauten vorzuschlagen, wie der zusätzliche Energieaufwand - elektrische Energie zur Gebäudekühlung - vermindert werden kann.



Figur 1-1 Schema Projektschwerpunkte WaSo

1.2 Projektziele und Abgrenzung

Im Forschungsgesuch von 2005 wurde das Projektziel wie folgt formuliert:

"Der Zuwachs an sommerlichem Elektrizitätsverbrauch, der in Europa zeitweise zu Netzspitzenbelastung führt, soll vermindert werden. In einer Laissez-faire Politik gehen wir davon aus, dass in der Schweiz der Sommertemperatur-abhängige Elektrizitätsverbrauch von heute ca. 1 TWh/a innert 30 Jahren auf ca. 3 TWh/a ansteigt. Durch die Verbesserung der Neubaustandards und die Schaffung von Sanierungspaketen für bestehende Dienstleistungsbauten (Schwergewicht im Büro- und Schulbau und im Detailhandel) soll dieser Zuwachs halbiert werden."

Für Neubauten sollen Grundlagen für spätere normative Festlegungen (SIA Merkblätter) erstellt werden. Für Umbauten und insbesondere für dezentrale Kälte- und Lüftungsanlagen sollen eigentliche Nachrüstpakete mit baulichen und haustechnischen Massnahmen mit einfacher Handhabung für Bauherren und ArchitektInnen erstellt werden."

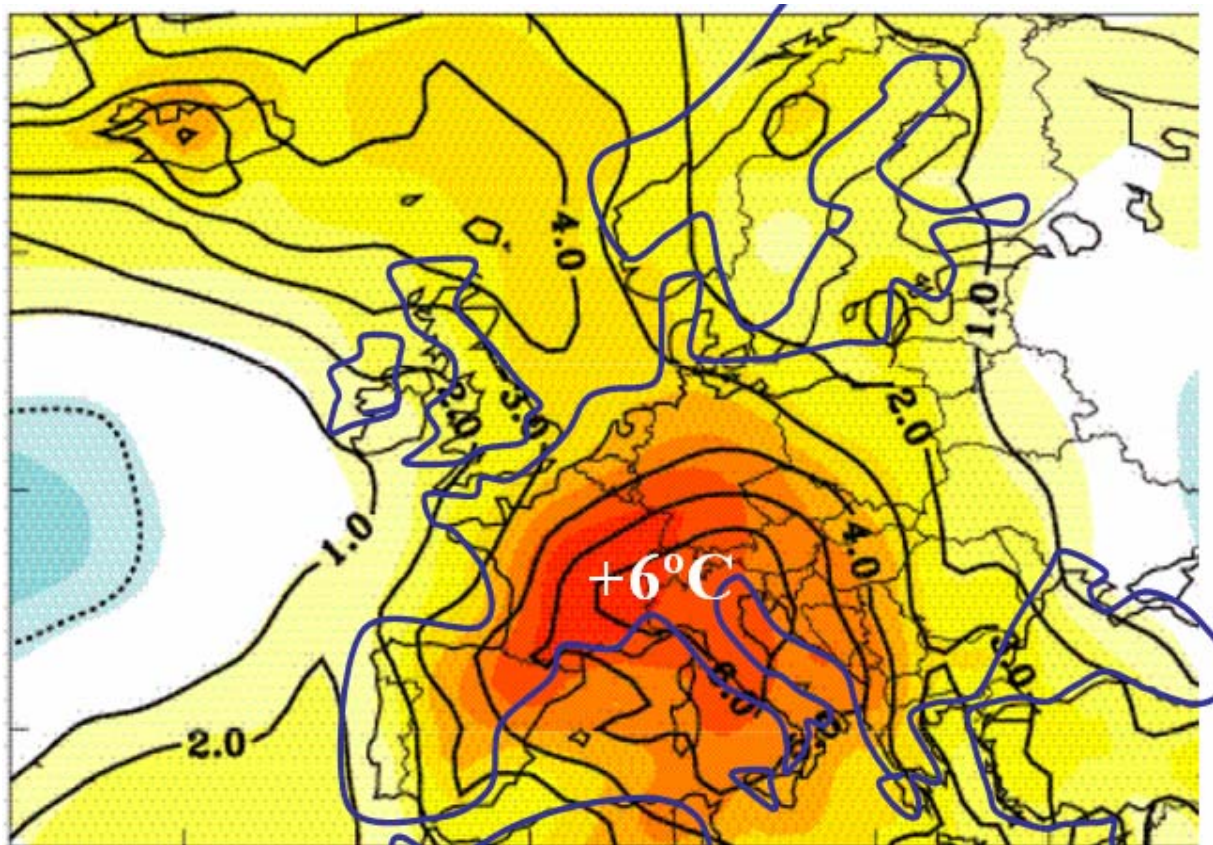
Der Sicherstellung der Datengrundlagen (Gebäudestruktur und -ausrüstung, Klimaeinfluss im Sommer, Elektrizitätsverbrauch für Klimaanlage, Lösungsansätze für Neu- und Umbauten) kommt eine wichtige Aufgabe zu, weil diese im Schweizer Klima bis heute fehlen."

Aus dem Projektziel können auch einige notwendigen Abgrenzungen gemacht werden: Nicht behandelt wird der Winterfall, d.h. die Verminderung des Heizwärmebedarfes. Nicht behandelt werden Wohnbauten, insbesondere Minergie-Bauten. Unsere Hauptaufgabe ist hier nicht eine klimatologische Klärung, sondern ein Eintreten auf eine für die Schweiz wahrscheinliche thermische Entwicklung. Wir

beschränken uns auf das gemässigte Schweizerklima und die hier verbreiteten Bautypen. Zwei wesentliche technische Themen konnten hier nur gestreift, aber nicht vertieft werden: Latentwärmespeicherung und solare Raumkühlung. Wir können hier auch keine allgemeinen Klimauntersuchungen in Bezug auf Temperaturentwicklungen und Wasserkrafterzeugung machen.

1.3 Klimaveränderung

Die voraussichtliche Temperaturentwicklung in der Schweiz im 21. Jahrhundert ist - unabhängig von unserer Klimapolitik - inzwischen relative gut definiert. Aus Figur 1-2 geht für den Hitzesommer 2003 hervor, dass das Alpengebiet und die Schweiz überdurchschnittlich von der Erwärmung betroffen waren. Weniger klar sind die künftige Entwicklung der Luftfeuchte und der Globalstrahlung. Bekannt sind die zu erwartenden Temperaturen (Tabelle 1-1) und der Grundsatz, dass die Städte im Sommer nachts deutlich wärmer sein werden (Figur 1-3). Figur 1-4 zeigt auch Zonen innerhalb der Schweiz, die unterschiedlich stark auf die Erwärmung reagieren werden.



Figur 1-2 Temperaturabweichung 2003 gegenüber Mittelwert 1961 bis 1990
Quelle: Christoph Schär ETH-Z

2050 gegenüber 1990 Quelle: Hohmann OcCC, 2004	Alpennordseite			Alpensüdseite		
	° C	Min	Mittel	Max	Min	Mittel
Sommer Juni Juli Aug	+ 0.8	+ 2.3	+ 5.1	+1.0	+2.5	+ 5.6
Winter Dez Jan Feb	+ 0.7	+ 1.6	+ 3.2	+ 0.7	+1.6	+3.2

Tabelle 1-1 Temperaturannahmen für die Schweiz im Jahr 2050 [1-1]

Die Auswertung der im Hitze-Sommer 2003 in Zürich/MeteoSchweiz gemessenen Werte gibt einen guten Vorgeschmack:

Jahresmittel

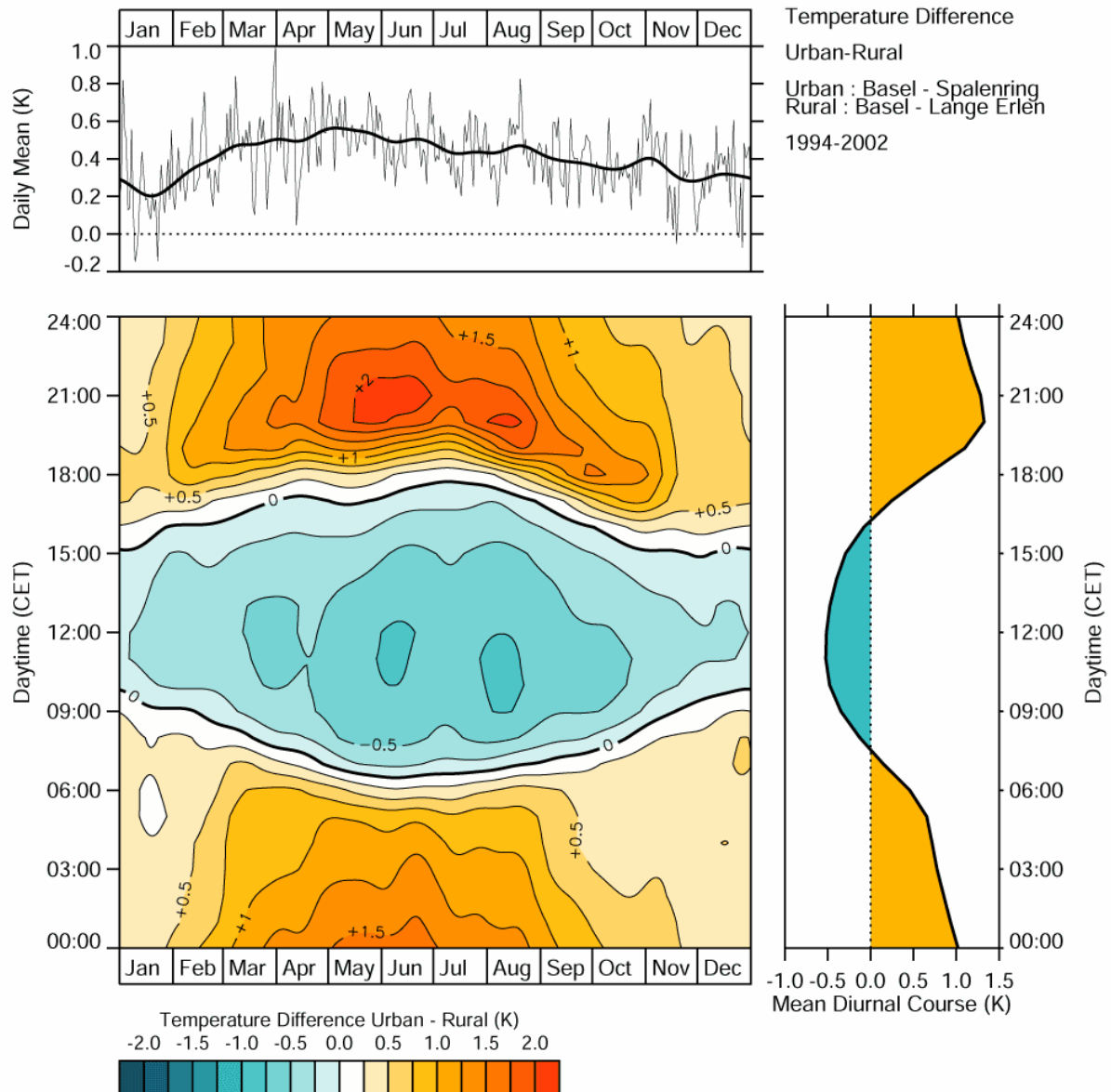
- + 1.8° C gegenüber SIA 380/1 resp. SIA 381/2 (1960 bis 1990) [1-3], [1-6]
- + 0.7° C gegenüber MeteoSchweiz (1987 bis 2006)

Sommer (6 Monate)

- + 3.1° C
- + 2.3° C gegenüber MeteoSchweiz (1987 bis 2006)

Sommerspitzenperiode (3 Monate)

- + 5.1° C
- + 3.8° C gegenüber MeteoSchweiz (1987 bis 2006)

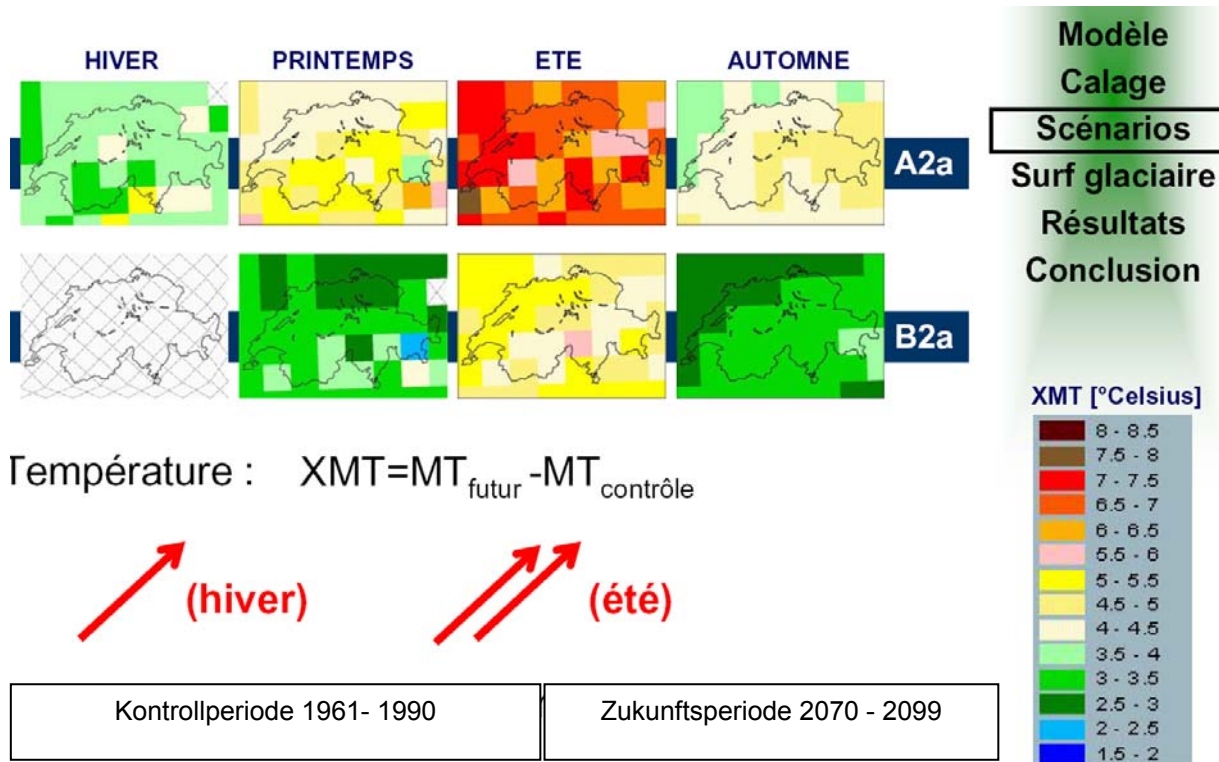


Figur 1-3 Temperaturuntersuchungen Stadt/Land
Quelle: (Eberhard Parlow, Basel 1994-2002)

Die Untersuchungen von Parlow in der Stadt und in der Agglomeration von Basel zeigen in Figur 1-3, dass die Stadt etwas kühler ist als die Vororte am Tag (-0.5 bis -1.0° C), aber viel wärmer in der Nacht (+1.5 bis +2.0° C).

Die oben erwähnten höheren Temperaturen in der Nacht reduzieren die Möglichkeiten der natürlichen Nachtauskühlung und verstärken so den Bedarf für eine mechanische Kühlung.

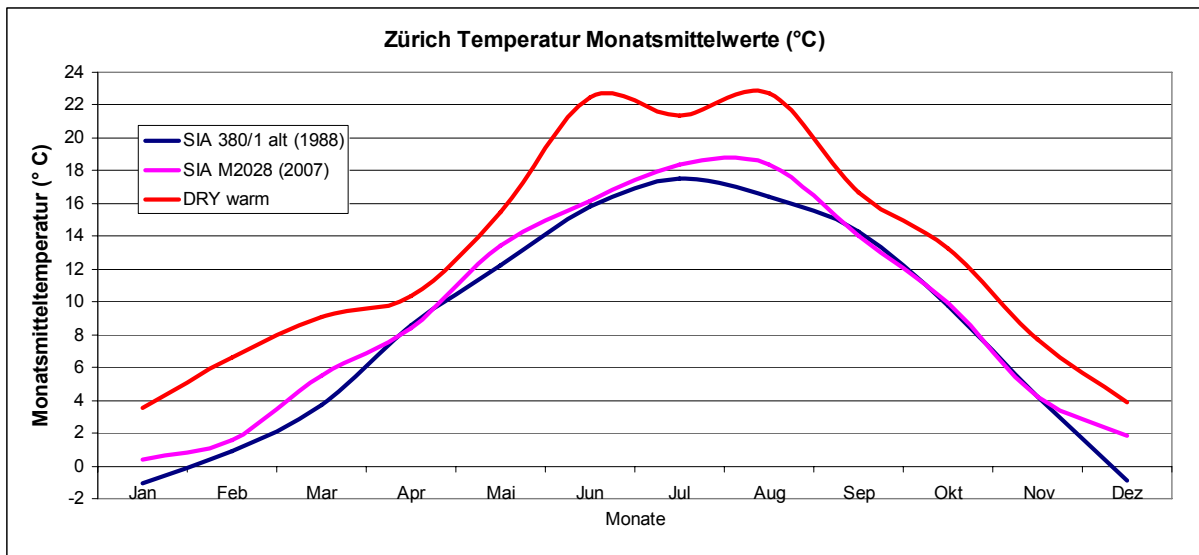
Die regionalen Unterschiede der erwarteten Klimaerwärmung sind beträchtlich. In der Untersuchung der EPF Lausanne in Figur 1-4 ist ersichtlich, dass im stärker erwärmten Szenario A2a die Temperaturzunahme im Zeitraum 2070 bis 2099 (im Vergleich zur Basis im Jahre 1961-1990) regional zwischen 5.5 und 7.5° C beträgt, wobei in den Alpen die geringeren Werte, im Mittelland die höheren Werte zu erwarten sind. Im weniger stark zunehmenden Szenario B2a liegen die entsprechenden Werte zwischen 4 und 6° C. In derselben Untersuchung werden Abschätzungen der künftigen Wasserführung im Sommer und Winter gemacht, die darauf hindeuten, dass insgesamt mit einer geringeren Hydraulizität gerechnet werden muss.



Figur 1-4 Regionales Schweizerisches Klimaszenario bis 2070
Quelle: EPF Lausanne, Projekt Hydram (2005)

1.4 Klimadaten für die Zukunft

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse über die künftige Klimaentwicklung der Schweiz sind verschiedene Untersuchungen im Gang, um für die Gebäudeplanung besser zutreffende Klimadaten zu generieren. Die Ergebnisse der Untersuchung für die Aussentemperaturen, Globalstrahlung und relative Feuchte sind im SIA Merkblatt 2028 (2007) [1-8] und in den zugehörigen Datenbanken als Mittel- und Extremwerte sowie Design Reference Years DRY warm/normal/kalt aufbereitet (Figuren 1-5, 1-6 und 1-7, Tabellen 1-2 und 1-3).

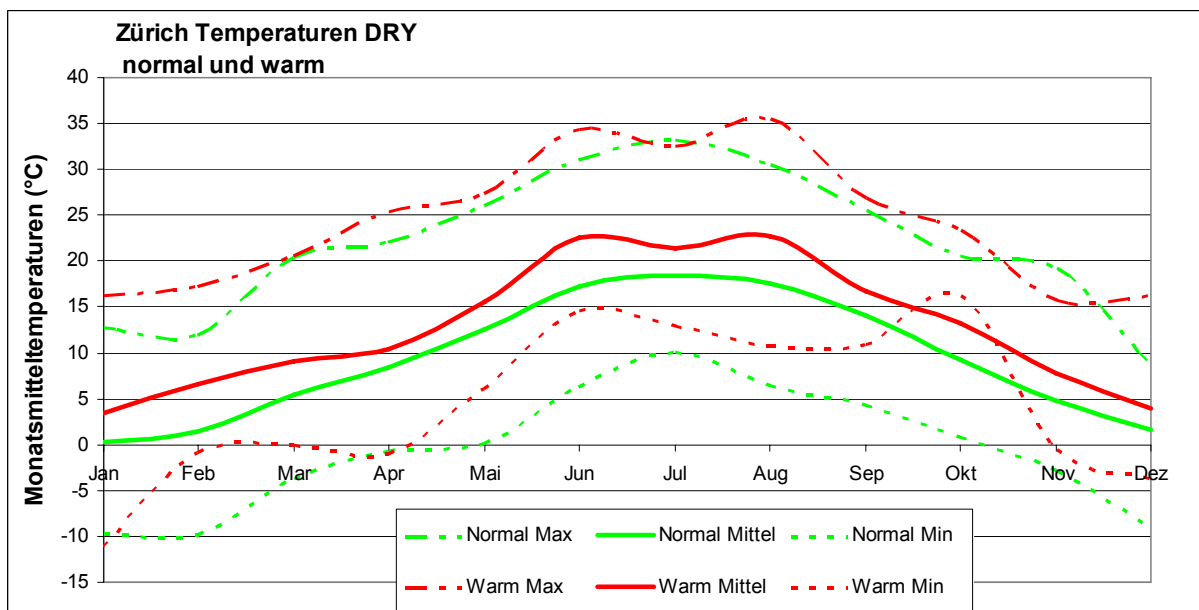


Figur 1-5 Monatsmittelwerte der Temperaturen für Zürich MeteoSchweiz

Quelle: SIA M 2028 [1-8], SIA 380/1 [1-3] und Empa Dübendorf 2007

Im Rahmen des SIA sind mit dem neuen Merkblatt 2028 (Entwurf 2007) inzwischen neue und koordinierte Klimadaten, die auf neueren Erhebungszeiträumen (statt 1960-1990, neu 1984-2003) basieren, vorbereitet worden. Zürich ist dabei im Mittel um 0.9 K wärmer, Dezember und Januar sogar um 1.5 bis 2.7 K (siehe Figur 1-5). Dies wird allmählich zu geringeren Heizlasten und geringerem Wärmebedarf für die Raumheizung aber zu höheren Kältelasten im Sommer führen.

Neue Untersuchungen der Empa Dübendorf im Zusammenhang mit den DRY (Design Reference Year) zeigen das breite Band zwischen normalen, warmen und kalten Monatswerten für Temperatur und Globalstrahlung und deren Minima und Maxima für Zürich.

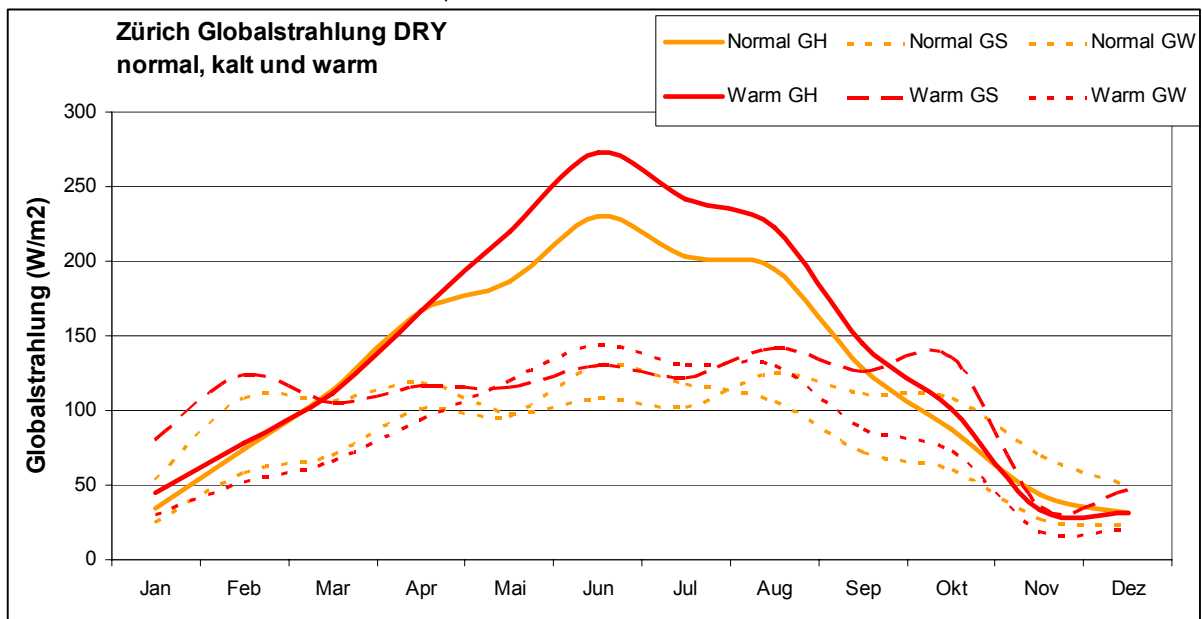


Figur 1-6 Zürich MeteoSchweiz: Design Reference Years

Quelle: Empa Dübendorf 2007

ZH SMA	Temperatur	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Normal °C	Max	12,7	12,0	20,4	22,0	26,0	31,1	33,2	30,6	25,5	20,6	19,2	8,6	21,8
	Mittel	0,3	1,5	5,5	8,5	12,6	17,3	18,4	17,6	14,1	9,3	4,8	1,6	9,3
	Min	-9,6	-9,8	-3,7	-0,7	0,2	6,3	10,1	6,5	4,3	0,8	-2,9	-9,2	-0,6
Warm °C	Max	16,3	17,2	20,5	25,3	27,4	34,3	32,5	35,5	26,9	23,4	15,7	16,2	24,3
	Mittel	3,5	6,6	9,1	10,4	15,5	22,5	21,4	22,7	16,7	13,3	7,7	3,9	12,8
	Min	-11,2	-0,8	0,0	-1,1	6,1	14,5	12,9	10,7	11,0	16,2	-0,5	-3,7	4,5
Kalt °C	Max	10,4	3,6	14,1	19,6	20,5	30,0	28,8	28,5	21,0	20,9	17,7	9,9	18,8
	Mittel	-4,3	-5,2	1,0	6,0	10,0	14,0	16,0	16,7	10,9	6,4	1,2	-0,5	6,0
	Min	-20,4	-15,1	-10,2	-3,9	1,7	6,8	8,0	9,7	4,5	-4,0	-5,5	-7,4	-3,0

Tabelle 1-2 DRY Temperaturen MeteoSchweiz Zürich normal, warm und kalt
Die Werte für „warm“ resp. „kalt“ sind aus den extremen Monaten der letzten 20 Jahre zusammengesetzt.
Quelle: Thomas Frank, Empa Dübendorf, 2007



Figur 1-7 DRY Globalstrahlung W/m² MeteoSchweiz Zürich normal und warm
Quelle: Thomas Frank, Empa Dübendorf, 2007

ZH SMA	Globalstrahlung	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Normal W/m2	GH	34	74	114	167	186	230	203	195	128	88	44	31	125
	GS	53	108	106	119	98	108	102	125	111	108	70	49	96
	GW	25	58	70	101	96	130	118	106	72	60	27	23	74
Warm W/m2	GH	45	78	111	167	220	273	242	223	145	101	33	31	139
	GS	80	124	105	117	116	130	122	142	126	135	35	47	107
	GW	30	52	66	94	120	144	130	130	87	73	19	21	81
Kalt W/m2	GH	33	67	114	115	161	173	191	171	129	72	36	30	108
	GS	58	94	121	79	86	82	96	106	113	87	47	51	85
	GW	30	58	85	63	86	92	105	103	79	54	26	23	67

Tabelle 1-3 DRY Globalstrahlung W/m² MeteoSchweiz Zürich normal, warm und kalt
Quelle: Thomas Frank, Empa Dübendorf, 2007

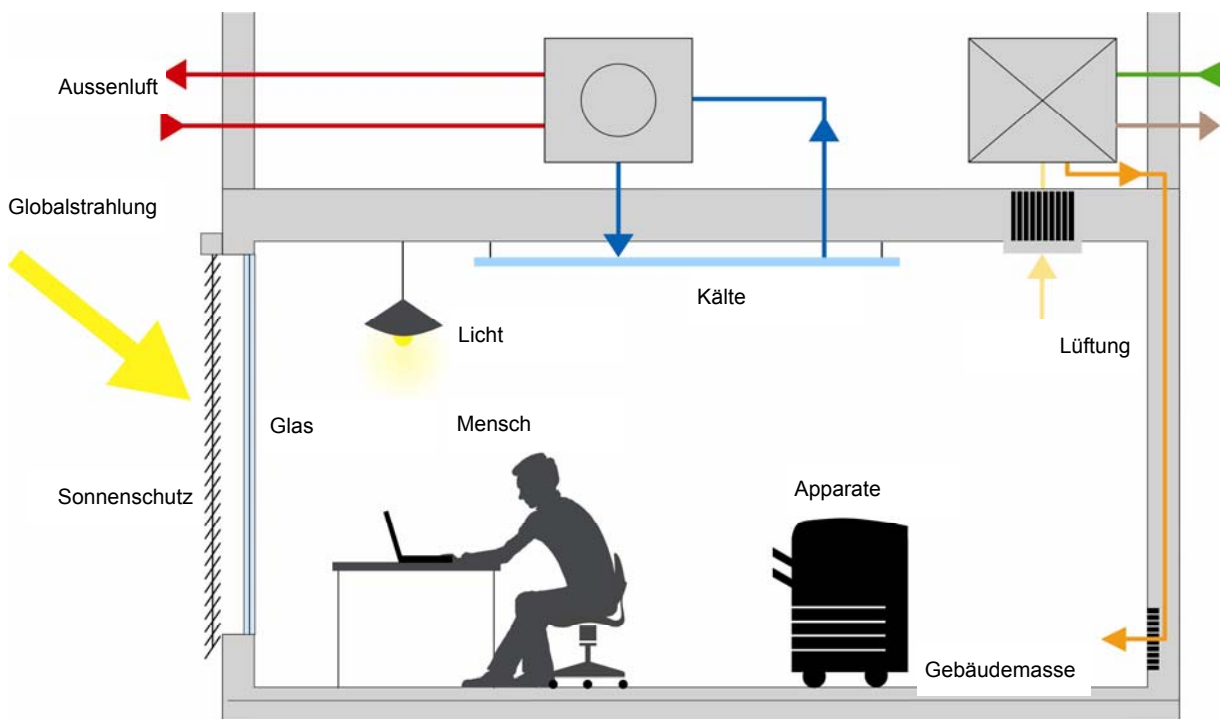
Es ist augenfällig, dass im sogenannten „DRY warm“ (Figur 1-6 und Tabellen 1-2), das mit einer Jahresmitteltemperatur von 12,8° C (statt normal 9,3° C) als guter Massstab für künftige Sommer im Zeitraum 2030 bis 2050 gelten kann, nicht nur eine Erhöhung der mittleren Temperatur in den drei Sommermonaten Juni/Juli/August um 4,4 K stattfindet, die minimale Temperatur wird sogar um 5,1 K, die

maximale dagegen nur um 2.5 K erhöht. Analog nimmt in den drei Sommermonaten die Globalstrahlung je nach Orientierung um 14% bis 18% zu (Tabelle 1-3).

1.5 Behaglichkeitsansprüche

Offensichtlich haben sich die Behaglichkeitsansprüche an das Innenraumklima der Bewohnerschaft in Wohngebäuden und der Arbeitenden im Dienstleistungssektor in den letzten Jahrzehnten in der Schweiz (und analog in Mitteleuropa) verändert. Die individuelle Toleranz für Temperaturschwankungen, -schichtungen und -abweichungen, Luftzug, Strahlungsasymmetrie ist geringer geworden, d.h. die in den Behaglichkeitsstandards (SIA 180 [1-2]) erwarteten individuellen Anstrengungen zur Korrektur durch Bekleidung (clo), körperliche Aktivität (met) und räumliche Verschiebung haben abgenommen. Die stundenlange sitzende Tätigkeit im Büro am Bildschirm hat die kritische Situation artikuliert. Rechtliche Bestimmungen über die Soll- und Grenzwerte in Arbeitsräumen werden von Benützern durchgesetzt.

Die Verbreitung der Raumklimatisierung und Teilkühlung ist in wenigen Gebäudekategorien bisher bedeutend gewesen: Derartige Nutzungen wie Grossraumbüros, Warenhäuser, Hörsäle, Operationsäle, etc. haben einen geringen Gebäudeflächenanteil. Neu sind aber seit geraumer Zeit Eisenbahnhöfe und Trams, Personenwagen, "moderne" Büros, Restaurants, Hochschulen, Detailhandel, etc. dazu gestossen. Diese Nutzungen setzen neue Standards an die Behaglichkeits-Erwartung in "normalen" Büroräumen, insbesondere auch in alten Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen.



Figur 1-8 Schema des Zusammenwirkens verschiedener Systeme mit dem Benutzer

Dazu muss allerdings bemerkt werden, dass unsere traditionelle Gebäudeplanung in der Schweiz stark vom dominierenden Winterzustand geprägt war und ist. Dies hat sich auch in der Ausbildung, in Normen und in Gesetzen ausgewirkt. Das Bewusstsein für sommerliche Wärmezustände und deren Behaglichkeitserfordernisse ist mit SIA 180 (Ausgabe 1999) in die Fachwelt eingeflossen, aber noch zu wenig beachtet und umgesetzt worden.

18 Kantone haben "das Problem" des sommerlichen Wärmeschutzes durch Zulassungsbeschränkungen für Raumklimaanlagen mit dem Bedarfsnachweis Kühlung (Mustervorschriften der Kantone im Gebäudebereich, MuKEN Modul 4) gelöst. Damit wurde der Einsatz der mechanischen Raumkühlung über 20 kW Kälteleistung allgemein, weil zu energieintensiv, eingeschränkt.

7. Lüftungs- und Klimaanlage Installations de ventilation et de climatisation

Kt.	Rechtsgrundlage		Umsetzung MuKEn	Regelungen	Bemerkungen
	Gesetz	Vollzug / Zuständigkeit Bewilligungsbehörden			
Ct.	Base juridique		Applications du MoPEC	Règlementations	Remarques
	Loi	Application / Compétence Autorités délivrant l'autorisation			
ZH	EnG 83 (rev. 95) BBV I	Gemeinden	Ja	MuKEn Modul 1 zusätzlich: Einbaupflicht WRG bis 30.09.02	MINERGIE ist (noch) kein Grund für Befreiung vom Bedarfsnachweis
BE	EnG 81, KEnV 03	Gemeinde, Regierungsstatthalteramt	Nein	SIA V382/1, SIA V382/3	
LU	EnG 89, EnV 90	Kanton	Ja	Bedarfsnachweis	Andere Formulierung
UR	EnG 99	Gemeinden	Ja	Bedarfsnachweis	Keine Begrenzung der Luftgeschwindigkeiten
SZ	PBG 87 / ES pV 95 (rev. 00)	Gemeinden	Ja	Bedarfsnachweis	
OW		Gemeinden	Nein		
NW	EnG 96 VVenG 96	Gemeinden	Ja	SIA 380/1	
GL	EnG 00	Gemeinden	Ja	Bewilligungspflicht > 20kW	
ZG	EnG 94, VVenG 94	Gemeinden	Nein		
FR	LE 00, REN 01	Service des transports et de l'énergie	Oui	SIA 180, SIA V 382/1, SIA V382/3	
SO	EnG 91, EnGV 92	Gemeinden Klima: Kanton	Ja, jedoch mit Differenz	Energietechnischer Massnahmenachweis, Bedarfsnachweis Kühlung > 10 kW	Ab Januar 05 vollständige Anpassung an Modul 4 MuKEn
BS	EnG 98, VEnG 99, WKV 99, VOLA 99	Baudepartement (Energiefachstelle)	Ja, jedoch mit Differenz	SIA 382/1-3	Energietechnischer Nachweis bei > 20kW Bedarfsnachweis bei > 50kW thermische Leistung
BL	Rev. EnG 91 Rev. EnGV 00	Kanton	Ja, jedoch mit Differenz	SIA 382/1-3	Energietechnischer Nachweis immer; Bedarfsnachweis bei > 50kW thermische Leistung.
SH	Baugesetz, EHV 98	Baudepartement Energiefachstelle	Nein	SIA V382/1 bis 3, Stand der Technik mit Bewilligungspflicht	
AR	EnG 01, EnV 01	Gemeinden	Ja	SIA 380/1, SIA 382/1, SIA 382/3, SWKI 95-3, Stand der Technik	
AI	EnGV 01, EnGV 02	Kanton	Nein	Stand der Technik	
SG	EnG 01, EnV 01	Gemeinden	Ja	MuKEn, SIA V382/1, SIA V382/2, SIA V282/2	
GR	BEG 93, BEV 92, ABA 01	Gemeinden	Nein	SIA, Stand der Technik	Weitergehende Vorschriften durch Gemeinden möglich
AG	EnergieG 93, ES pV 03	Gemeinden	Ja	Bedarfsnachweis nach MuKEn	Keine Abweichungen
TG	EnG 86, EnVo 01	Gemeinden	Ja	SIA V382/1, SIA V382/3	Wird im neuen Gesetz geregelt sein.
TI	Len 94, Decreti esecutivo sui provvedimenti di risparmio energetico	Cantone	Oui	SIA 382/1-3	Nessuna differenza
VD	LATC 85	Communes, Canton	Non	Autorisations ventilation > 3'000 m3/h, climatisation > 60 kW frigorifique	Future loi cantonale sur l'énergie
VS	RLEE 92	Communes	Oui mais avec des différences	SIA V382/1-3	Reprise du MoPEC dans le projet d'ordonnance sur l'utilisation rationnelle de l'énergie
NE	LCEn 01 RELCE 02	Canton, 2 villes	Oui	Clause du besoin SIA V382	Conforme au MoPEC modules 1 et 4
GE	LE mod 01, RALEN 03, LCI 97 + RALCI	Canton; autor. pour climatisation seule	Oui mais avec des différences	SIA382/3, Preuve du besoin, efficacité énergétique	En général, la climatisation est interdite, doit s'intégrer dans un concept technique (bât. d'une certaine importance)
JU	LE 98, OE 93	Canton: Service des transports et de l'énergie	Non	SIA V 382/3 SIA V 382/1	L'OE actuelle est déjà dans l'esprit du MoPEC. L'OE révisée appliquera le module 4 du MoPEC

Tabelle 1-4 Auswertung der kantonalen Energiegesetzgebung (2004)

Quelle: UVEK, Stand der Energiepolitik der Kantone (Bern 2004) [1-11]

Die Erfahrungen mit diesem Bedarfsnachweis und Zulassungsbeschränkung sind zwiespältig:

- Das Verfahren wird in den Kantonen unterschiedlich gehandhabt (siehe Tabelle 1-4). Inzwischen haben die neuen Normen SIA 380/4 [1-4] und SIA 382/1 [1-5] bessere Grundlagen zur Verfügung gestellt.
- Die Lüftung (inkl. zusätzlich verstärkte Nachtlüftung) hat u.U. deutlich mehr elektrische Energie gebraucht als eine gezielte Teilkälteanlage.
- Die Möglichkeiten der baulichen Massnahmen (Fenstergrösse und -typ, wirksamer Sonnenschutz, Gebäudemasse), die u.U. den Kühlungsbedarf stark vermindert, wurden nicht kon-

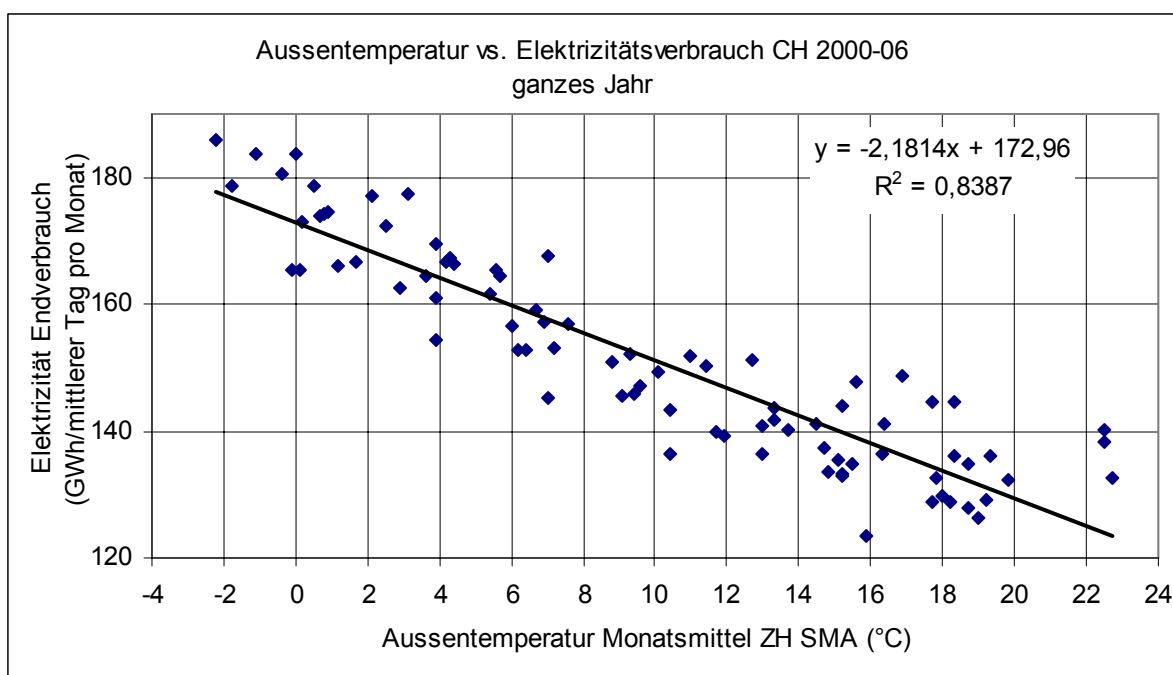
sequent eingesetzt, wie sie bereits im SIA Merkblatt 2021 [1-7] im Jahr 2001 formuliert worden sind.

- Die zugelassen Klimatisierungsanlagen haben oft energetischen Anforderungen wenig Beachtung gegeben, da dazu Anforderungen fehlten (analoges Problem: Geschwindigkeitsbeschränkung in Fahrverbotszone).
- Die schleichende Nachrüstung mit fest eingebauten und mobilen Klimatisierungsgeräten kann so nicht wirksam verhindert werden.

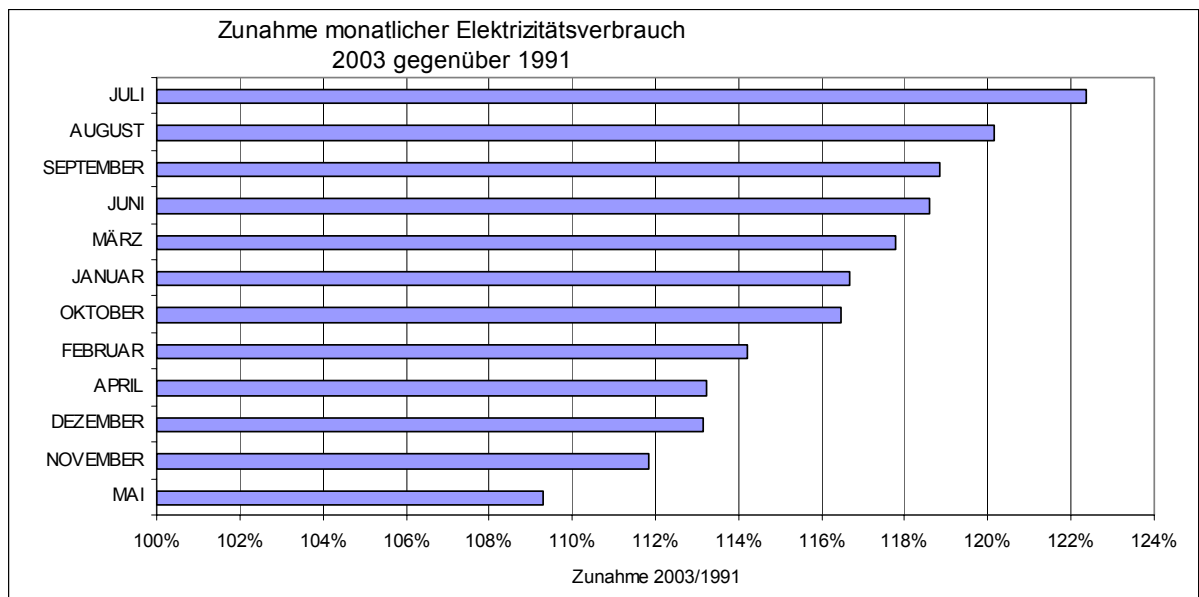
1.6 Elektrischer Energieverbrauch an warmen Tagen

Der schweizerische Elektrizitätsverbrauch korreliert seit langem relativ gut mit der Aussentemperatur, weil offenbar thermische Systeme für Raum- und Prozesswärme den winterlichen Bedarf verstärken (Figur 1-9). Die Analyse basiert auf Monatsmittelwerten für die Temperatur (Basis Zürich Meteo-Schweiz als repräsentativer Wert für die gesamte Schweiz [1-10]) und Monatswerten für den Elektrizitätsverbrauch der Schweiz [1-9]. Dadurch werden Tages- und Wochenschwankungen, resp. Phasenverschobene Wetterabläufe und thermische Trägheiten der Verbraucher in etwa ausgeglichen. Die Monatswerte von 1991 bis 2006 zeigen im Vergleich mit dem extrem warmen Jahr 2003, dass die grössten Zuwachsraten des elektrischen Verbrauchs im Juli und August liegen (Figur 1-10).

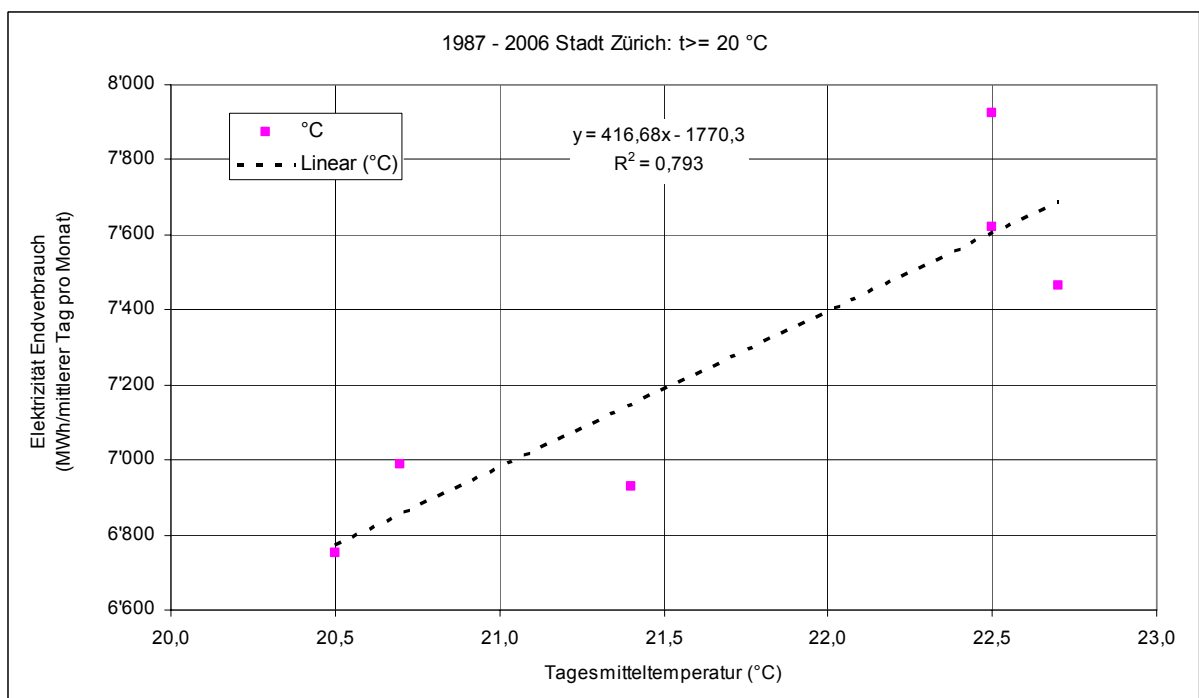
Die Analyse der Monatsmittelwerte der Temperaturen der MeteoSchweiz in Zürich in den Jahren 2000 bis 2006 (Figur 1-9) überdeckt einen Temperaturbereich von $-2,2^{\circ}\text{C}$ bis $+22,7^{\circ}\text{C}$ (Mittelwert $9,9^{\circ}\text{C}$). Der entsprechende schweizerische Elektrizitätsverbrauch der gleichen Periode für das jeweilige Monatsmittel eines Tages ergibt 124 bis 186 GWh (Mittelwert 151 GWh/d). Die lineare Regression mit R^2 0.84 bildet den Zusammenhang relativ gut ab. Allerdings verdeckt die Regression aller Monate des Jahres den darunter liegenden Teil der warmen Monate. Bei mittleren Monatstemperaturen über 20°C nimmt der elektrische Energieverbrauch in der Schweiz wieder zu. Zur genaueren Abklärung wurden die Monatsverbrauchswerte der Stadt Zürich (Quelle ewz) benutzt. Zwischen 2003 und 2006 nimmt in der Stadt Zürich der elektrische Verbrauch bei Monatsmitteltemperaturen über 20°C um 12.5 GWh pro Grad Celsius und Monat zu (siehe Figur 1-11). Die lineare Regression mit R^2 0.79 ist zufrieden stellend.



Figur 1-9 Zusammenhang monatliche Aussentemperaturen und Elektrizitätsverbrauch der Schweiz
Die Graphik zeigt bei der Ganzjahresbetrachtung die erwartete Tendenz: kälter = Mehrverbrauch
Quelle: [1-9], [1-11]



Figur 1-10 Relativer Zuwachs des monatlichen Elektrizitätsverbrauches der Schweiz im Jahr 2003 gegenüber dem 1991
Quelle: [1-9]

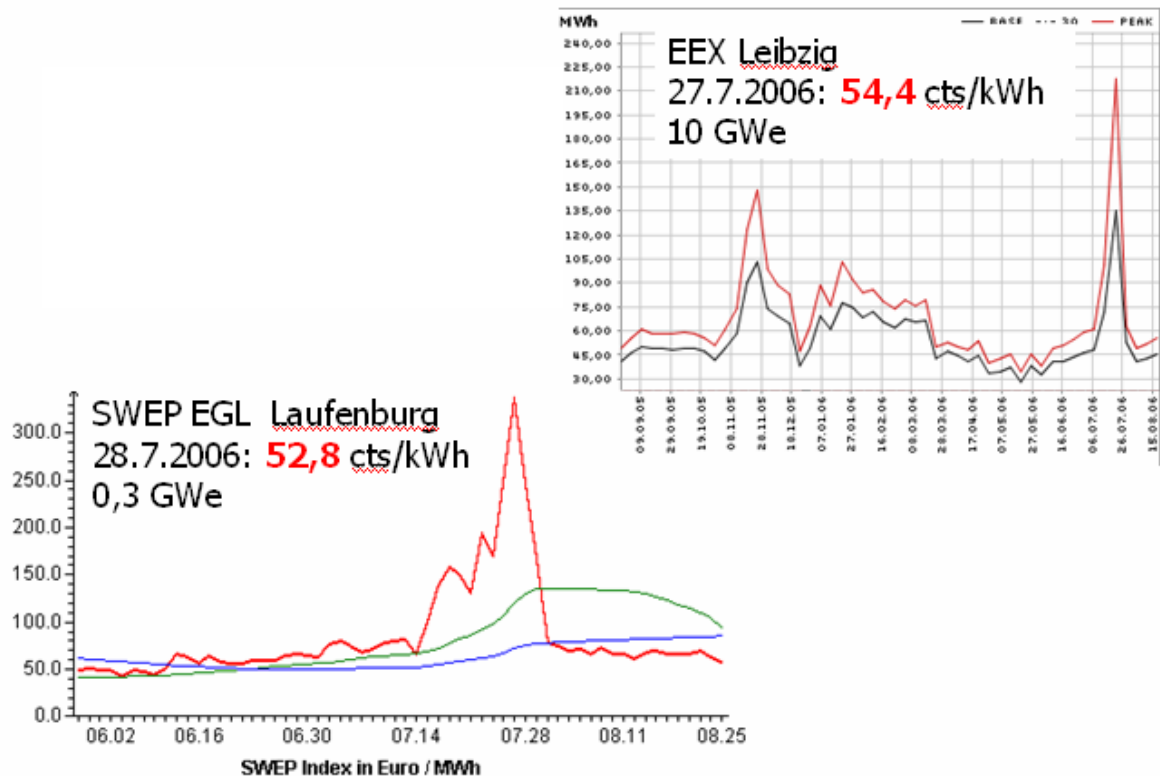


Figur 1-11 Zusammenhang Elektrizitätsverbrauch und Sommertemperaturen der Stadt Zürich
Die Graphik zeigt für die untersuchten warmen Monate die neue Tendenz: wärmer = Mehrverbrauch
Quelle: [1-10] und ewz

Dieser zusätzliche Verbrauch im Sommerhalbjahr wurde im der schweizerischen Strommarkt lange nicht als signifikant oder gar kritisch betrachtet, da einerseits die grossen Speichermöglichkeiten zum Ausgleich genutzt werden können und andererseits die Hydraulizität der Flüsse im Sommer zu einer höheren elektrischen Produktion bei gleichzeitig leicht geringerem Verbrauch führt. Inzwischen haben Untersuchungen der Klimaeinwirkungen die Vermutung bestätigt, dass die sommerliche Wasserführung in Zukunft tendenziell leicht geringer ausfallen wird. Weiter gehen wir davon aus, dass bei unkontrollierter Entwicklung der sommerliche Elektrizitätsbedarf zunimmt (siehe Kapitel 5).

In den letzten 5 Jahren sind in der Schweiz (Strombörse Laufenburg SWEP) und in Europa (Strombörse Leipzig EEX) in sommerlichen Hitzeperioden mit rasch und stark hochschnellenden Preisspitzen bereits Verbote künftiger Sommerengpässe beobachtet worden, die mit den traditionellen Unter-

haltsbetriebspausen grosser thermischer Kraftwerke zusammenfallen. Die Auswertung der Preisspitzen für den heissen Juli 2006 (siehe Figur 1-12) zeigen, dass die kurzzeitigen Preisausschläge der Strombörsen für Hitzetage beachtlich sind. Im Juli 2007 (MeteoSchweiz wärmstes Tagesmittel am 16.7.07: 25.5° C, max. 33.2° C) ist der Preisausschlag bei SWEF mit 12.4 Rappen/kWh (7.5 cts €) wesentlich geringer, weil offenbar die zur Verfügung stehenden thermischen und hydraulischen Mengen genügen.



Figur 1-12 Strompreisentwicklung in cents € in der Hitzeperiode Juli 2006
MeteoSchweiz Tagesmittelttemperaturen 27.7.06: 25,2° C (max. 33,1° C), 28.7.07: 21,3° C (max. 27,8° C)
Quelle: Börsen Leipzig und Laufenburg)

Es ist davon auszugehen, dass das künftige Zusammentreffen von erwarteter elektrischer Minderproduktion (Hydraulizitätsverlust, geringere Kühlmöglichkeiten thermischer Kraftwerke) mit dem wachsenden Zusatzbedarf für Raumkühlung und gewerbliche Kälte die Versorgungslage im Sommer zuspitzt und mittelfristig stark erhöhte Preise zu erwarten sind.

1.7 Zusammenfassung Grundlagen

- **Klima:** es ist mittlerweile klar und beobachtbar, dass wir heute gegenüber früher höhere Sommertemperaturen haben. Wir müssen deshalb für die vorausschauende Planung künftiger Bauten schon heute mit häufigeren Perioden hoher sommerlicher Temperaturen und allenfalls auch höherer Globalstrahlung rechnen. Dazu stehen bereits heute DRY mit „warmem“ gegenüber dem bekannten „normalen“ Datensatz im SIA Merkblatt 2028 (2007) und den zugehörigen Datensätzen zur Verfügung.
- **Behaglichkeit:** Die thermische Behaglichkeit in Arbeitsräumen im Sommer kann bei bestehenden und schlecht geplanten neuen Gebäuden kritisch werden. Um Arbeitskonflikte und Produktivitätsverluste zu vermeiden, muss dem sommerlichen Wärmeschutz gemäss SIA 180 (1999), SIA 382/1 (2007) und SIA Merkblatt 2021 (2001) verstärkt Rechnung getragen werden. Bei mittleren und grösseren Bauten ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutz und der Behaglichkeit explizite zu führen.
- **Elektrizität:** lange war der sommerliche Stromverbrauch in der Schweiz kein Thema. Mit künftig in einer unkontrollierten Entwicklung zunehmendem Sommerverbrauch und gleichzeitig klimabedingter abnehmender hydraulischer Produktion wird der Sommerengpass in der Schweiz und im europäischen Verbundnetz ein wichtiger Preisfaktor.

1.8 Referenzen Grundlagen

[1-1]	Roland Hohmann, Urs Neu, et al.:	Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050, Bern 2004
[1-2]	SIA Norm 180	Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Zürich 1999
[1-3]	SIA Norm 380/1	Thermische Energie im Hochbau, Zürich 2007
[1-4]	SIA 380/4	Elektrische Energie im Hochbau, Zürich 2006
[1-5]	SIA Norm 382/1	Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Zürich 2007
[1-6]	SIA Empfehlung 381/2	Klimadaten zu Empfehlung SIA 380/1, Zürich 1988
[1-7]	SIA Merkblatt 2021	Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz, Zürich 2001
[1-8]	SIA Merkblatt 2028	Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Zürich 2007
[1-9]	BFE 2006	Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2006, Bern 2007
[1-10]	MeteoSchweiz	Monatstabellen Zürich, Zürich 2007
[1-11]	UVEK	Stand der Energiepolitik der Kantone, Bern 2004

2. Gebäudetypologie

2.1 Gebäudemassnahmen

Primär muss am Gebäude, seiner Geometrie, der Grösse, der Form und Art seiner Öffnungen, der thermisch aktivierbaren Innenmasse für eine bestimmte Klimasituation und die spezifische Nutzung (Innenlasten, Tätigkeit, Behaglichkeitsanforderungen) gearbeitet und optimiert werden. Dadurch können Sommertemperaturspitzen im Innenraum gedämpft und verzögert werden und u.U. Klima- und Kälteanlagen vermieden oder ihr Einsatz stark verkürzt und vermindert werden.

Der gegenwärtige Trend zu vollverglasten und vollklimatisierten hermetisch verschlossenen Bürogebäuden bildet dabei eine schwierige Vorgabe.

In der Untersuchung "Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz" (Brunner, Baumgartner, Brühwiler, Frank, Schneiter, Steinemann, SIA Dokumentation 0176, 2001 und Merkblatt SIA 2021 [2-1]) wurde der Einfluss der Verglasung im Detail parametrisiert und untersucht.

2.2 Raumtemperatursimulation

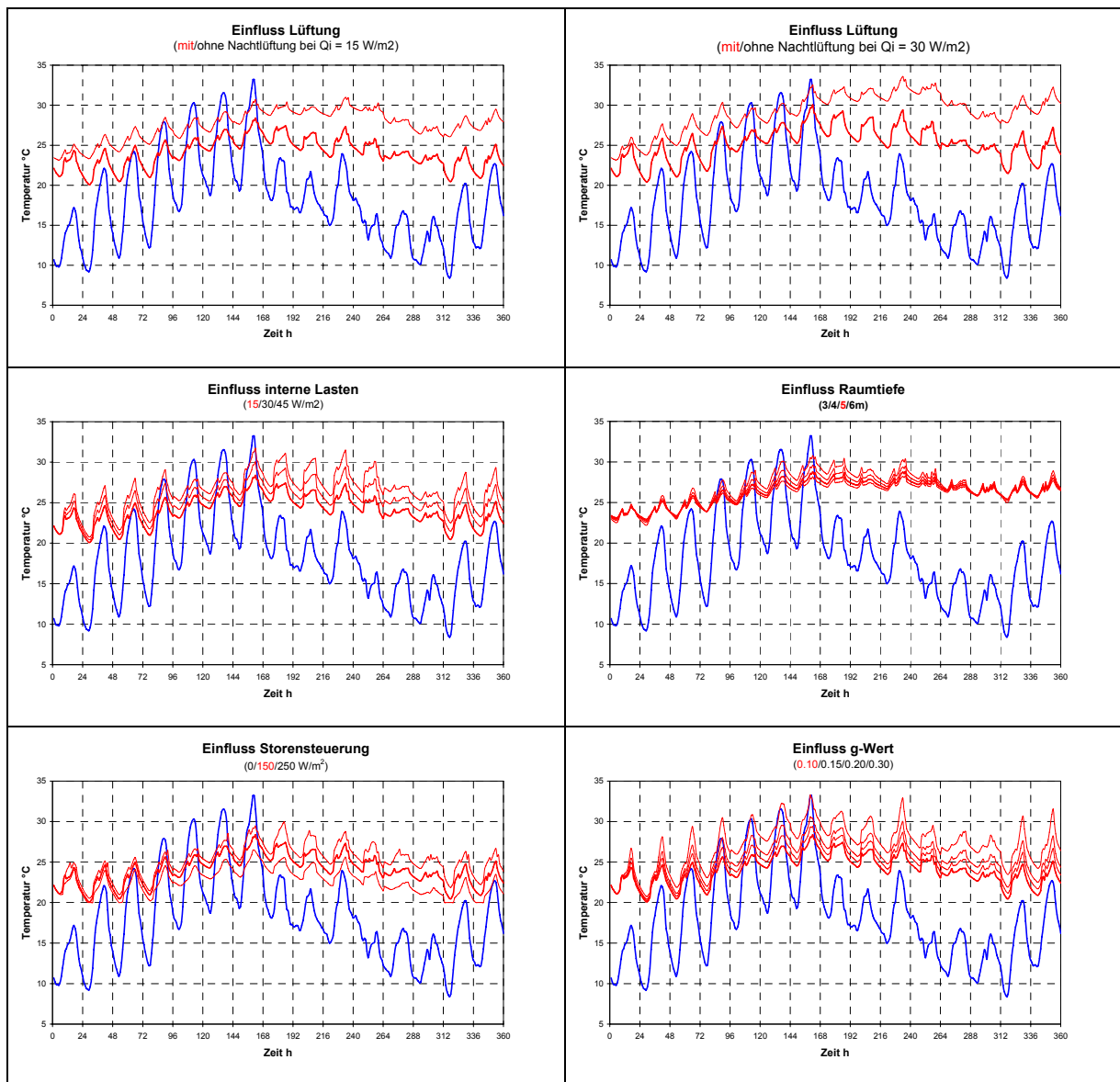
Ergebnisse von thermischen Raumsimulationen von Thomas Frank, Empa: Untersuchte Variationen an einem Musterbüroraum mit Sommerklimadaten für Zürich MeteoSchweiz 2003 (Basis: 2 Sommerwochen im Jahr 2003, Beleuchtung konstant):

Phänomen	Variation	Ergebnis	$t_{i \max}$ der besten/schlechtesten Variante
Raumtiefe	3/4/5/6 m	Maximale Spreizung 3 K, nachher wieder konvergent.	28/31° C
Innenlast	15, 30 und 45 W/m ²	Maximale Spreizung 4 K, bleibt nachher fast vollständig erhalten	28/31° C
g-Wert	0,10/0,15/0,20/0,30	Maximale Spreizung 5 K, bleibt nachher fast vollständig erhalten.	28/33° C
Betrieb Sonnenstoren	Absenkgrenze der Strahlung 0/150/250 W/m ²	Maximale Spreizung 3 K, bleibt nachher fast vollständig erhalten.	26/29° C
Nachtlüftung	Mit/ohne bei 15 W/m ² interne Last	Maximale Spreizung 3 K, bleibt nachher erhalten und wird sogar 5 K	28/31° C
Nachtlüftung	Mit/ohne bei 30 W/m ² interne Last	Maximale Spreizung 3 K, bleibt nachher erhalten und wird sogar 5 K.	30/33° C

Tabelle 2-1 Vergleich der Auswirkung verschiedener Phänomene auf die max. Raumlufttemperatur

Aussentemperaturverlauf:

7 nacheinander wärmer werdende Tage, Starttemperatur 10° C, Endspitze am 7. Tag 33° C; nachher 6 nacheinander kühler werdende Tage, Endwert 8° C.



Figur 2-1 Raumsimulation auf Basis Zürich MeteoSchweiz
Quelle: Thomas Frank, Empa 2001 in: [2-1]

Jedes einzelne der untersuchten Phänomene ist wirksam, um die Spitzenwerte der Raumtemperatur um 3 bis 5 K zu senken. Natürlich ist die Variante mit der Storensteuerung bei 0 W/m² am "besten", d.h. die Storen sind immer zu, was in der Praxis nicht realistisch ist und wegen der Innenlasten und der Beleuchtung zu Komplikationen führen kann. Es ist anzunehmen, dass eine günstige Kombination (6 m Raumtiefe, 15 W/m² Innenlast, mit Nachtlüftung, g-Wert 0,1 und Storenabsenkung bei 150 W/m² Strahlungswert) den gesamten Effekt noch erhöhen kann.

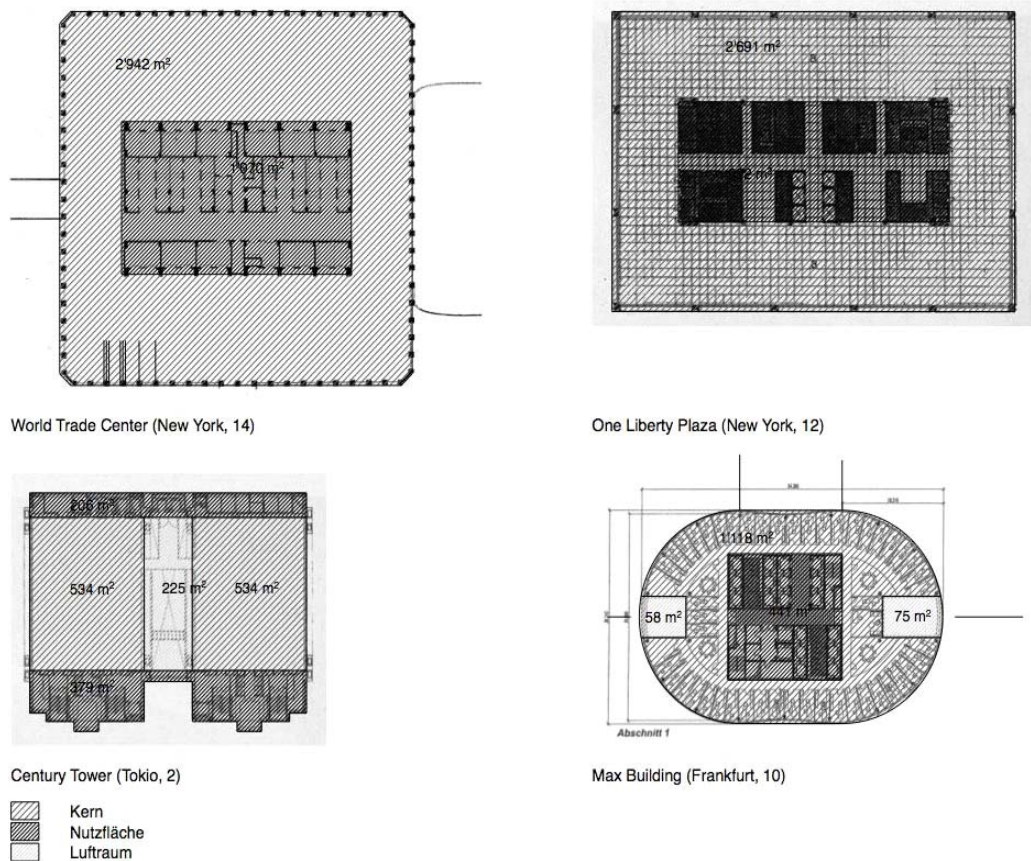
2.3 Gebäudegrundriss

Die Entwicklung der Gebäudetiefe und -höhe wurde an 16 gebauten Beispielen von hochverglasten Bürogebäuden in den USA (14) und der Schweiz (2) untersucht. Mit dem Ziel der Auswirkung auf A_{tot}/EBF, resp. A_g/EBF wurden die typischen Grundrissflächen nach Kern (Ver-/Entsorgung, Transport vertikal/horizontal), Büronutzfläche und Luftraum sowie natürlich belichteter Fensterzone gegliedert. Die Frage, warum diese Bauten ohne äusseren Sonnenschutz offenbar funktionieren, war ebenfalls wichtig.

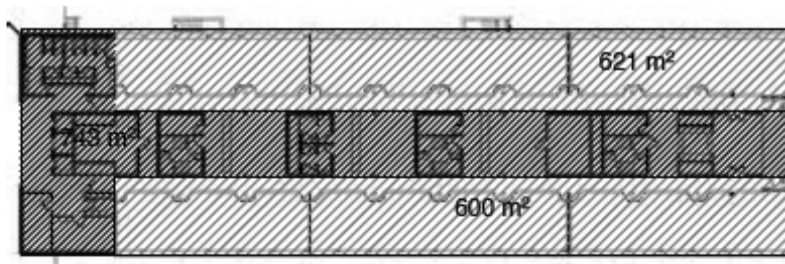
Die vorliegenden Bauten zeigen eine Tendenz zu wesentlich grösseren Gebäudetiefen als früher allgemein üblich. Dadurch sinkt der Anteil Fassaden- resp. Glasfläche zu EBF deutlich. Damit wird die Nutzfläche energetisch deutlich weniger von der solaren Aussenlast, sondern mehr von den Innenlasten und dem Lufthaushalt bestimmt. Die hochverglasten Bauten weisen alle ein Verhältnis der Nettoglasfläche zur EBF von zwischen 10% und 23% auf, wobei die beiden modernen Schweizer Beispiele am oberen Rand stehen.

Die Frage nach der Zulässigkeit und Akzeptanz von tiefen Büroräumen, d.h. Arbeitsplätzen mit wenig Blick ins Freie, stellt sich hier. Das Privileg des Arbeitsplatzes am Tageslicht mit Aussicht wird u.U. energetisch teuer erkaufte. Die künstliche Beleuchtung ist heute Arbeitsplatz-orientiert effizient machbar; die Wärmeabfuhr in Fensternähe (bei Gebäuden ohne äusseren Sonnenschutz) erfordert immer noch aufwändige technische Einrichtungen und einen höheren Energieeinsatz für Lüftung und Kühlung erfordert.

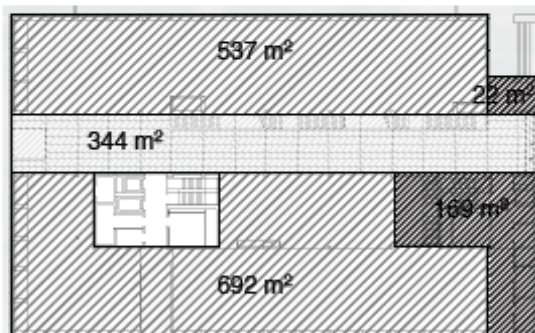
„Dicke“ Grundrisse, d.h. Gebäudeseiten über 30 m erlauben eine flexiblere Grundrissgestaltung bei spezifisch tieferen Baukosten (geringerer Fassadenkostenanteil pro EBF). Zudem können dicke Grundrisse im Winter mit den Innenlasten fast vollständig beheizt werden. Allerdings ist dabei der Komfort in Fensternähe nicht ohne weiteres gewährleistet.



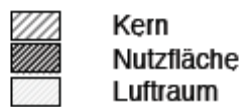
Figur 2-2 Auswahl untersuchter Gebäudegrundrisse (nicht massstäblich)



Swiss Re (Adliswil, 15)



TA Media (Zürich, 16)



Figur 2-3 Beispiel Grundrissanalyse TA Media Zürich



Figur 2-4 TA Media Zürich, Atelier WW 2000

Gebäude	Ort	S	Achitekt	Jahr	Typ	Gebäude-Fläche m ²	Fläche pro Geschoss m ²	Geschosse	Höhe m	ok-ok m	Länge m	Breite m	Umfang m	EBF (K+NF+LR) m ²	Kern (K) m ²	Nutzfläche (NF) m ²	Luft Raum (LR) m ²	Bei Fläche (BF)* m ²	NF/EBF %	Fassadenfläche/EBF %	BF/EBF %	Glasanteil horizontal %	Glasanteil vertikal ok-ok %	Rahmenanteil %	Netto-Glasanteil der Fassade %	Anteil verglaster Umfang %	Netto-Glasfläche/EBF %	Netto-Glasfläche/NF %
Al Faisaliyah Complex	Riyadh	62	Norman Foster	2000	Quadrat	240'000	6'000	40	267																			
Century Tower	Tokyo	116	Norman Foster	1991	Rechteck	26'590	1'266	21	104	4.5	49.8	41.3	199	1'878	585	1'068	225	811	57%	48%	39%	85%	100%	90%	77%	28%	10%	18%
Commerzbank	Frankfurt	132	Norman Foster	1997	Dreieck	100'000	1'887	53	259																			
Condé Nast	New York	140	Fox&Fowle	1999	Quadrat	154'218	3'213	48	247																			
Deutsche Post	Bonn	156	Murphy / Jahn	1999	Ellipse	-	-	44	162																			
Donnelley Building	Chicago	172	Ricard Bofill	1992	Rechteck	110'000	2'200	50	247																			
Hong Kong & Shanghai Bank	Hong Kong	224	Norman Foster	1986	Rechteck	99'000	2'250	44	180																			
Jiushi Corporation	Shanghai	286	Norman Foster	2000	Kreissegment	62'000	1'550	40	168																			
John Hancock Center	Chicago	292	SOM	1969	Rechteck	260'000	2'600	100	344																			
Max Building	Frankfurt	336	Murphy / Jahn	1999	Ellipse	111'334	1'767	63	228	3.5	54.4	36.1	150	1'692	441	1'118	133	673	66%	31%	34%	70%	100%	90%	63%	100%	20%	30%
Messeeturm	Frankfurt	348	Murphy / Jahn	1990	Quadrat	85'200	1'352	63	251																			
One Liberty Plaza	New York	384	SOM	1973	Rechteck	200'000	3'704	54	227	3.8	72.4	50.8	246	3'683	992	2'691	0	1'132	73%	25%	31%	90%	70%	90%	57%	100%	14%	20%
Seagram Building	New York	-	Mies v. d. Rohe	1958	Rechteck	90'000	2'143	42	157																			
World Trade Center	New York	-	Minoru Yamasaki	1973	Quadrat	400'000	3'636	110	521	3.8	63.4	63.4	254	4'012	1'070	2'942	0	1'168	73%	24%	29%	70%	100%	90%	63%	100%	15%	21%
Swiss Re, Adliswil	-	-	-	-	-	10'000	2'000	5	22	3.3	82.0	24.0	212	1'764	191	1'229	344	720	70%	40%	37%	80%	100%	90%	72%	79%	23%	32%
TA Media, Zürich	-	-	-	-	-	11'600	1'657	7	27	3.6	56.3	34.0	181	1'964	743	1'221	0	625	62%	33%	33%	90%	100%	90%	81%	85%	23%	37%

Tabelle 2-2 Übersicht untersuchte Gebäudegrundrisse (gelb markiert: Detailuntersuchung)

2.4 Latentspeicher Materialien

Die Tagesspitzen der Raumlufttemperatur infolge des Wärmeeintrages in einen Raum können unter anderem durch die thermisch aktive Gebäudemasse gedämpft werden. Freiliegende Boden-, Wand- und Deckenflächen sowie Einrichtungsgegenstände werden durch die sich erhöhende Raumlufttemperatur erwärmt. Im Laufe eines Tages können so die ersten 1 bis 10 cm Materialdicke dieser Oberflächen erwärmt werden, die Wärme gespeichert und bei sinkenden Raumtemperaturen nachts (evtl. unterstützt durch verstärkte Nachtlüftung) wieder an den Raum abgegeben werden. Der Effekt wird quantitativ begrenzt durch die zur Verfügung stehenden thermisch freien Oberflächen, d.h. Flächen die nicht durch stark dämmende Schichten (Teppiche, Holz, heruntergehängte Decken, etc.) verdeckt sind und durch den geringen inneren Wärmeübergangskoeffizienten von natürlich zirkulierender Luft (bei 24° C insgesamt 6 bis 8 W/(m² K)):

- Strahlungswärmeübergang ca. 5.5 W/(m² K)
- Konv. Wärmeübergang ca. 0.5 bis 3 W/(m² K) bei ruhender Luft

- Durch gezielte mechanische Luftanströmung mit höherer Geschwindigkeit kann der Wärmeübergangskoeffizient bei forcierter Strömung allenfalls bis auf 10 bis 12 W/(m² K) bei 2 m/s gesteigert werden

Verschiedentlich sind Versuche unternommen worden, die Wärmespeicherkapazität einer bestimmten Raumbooberfläche zu vergrössern. Dazu werden Latentspeichermaterialien (Phase Change Material) PCM) wie Glaubersalz, Paraffin etc. gesucht, die bei Raumtemperaturen zwischen 18°C und 28° C ihren fest-flüssigen Phasenübergang aufweisen und ohne Abminderung und Alterung viele Phasenwechsel überstehen können. Wenn dünne Schichten wie Folien, Karton-Stärke, etc. zur Oberflächenbelegung zur Verfügung stehen, kann damit ohne grosse erforderliche Übertemperatur möglicherweise die gesamte Wärmespeicherung vergrössert werden.

BASF bietet unter dem Produktnamen **Micronal** eine 15 mm dicke Gipskartonplatte in Grössen bis 125 mal 200 cm (11,5 kg/m²) an, die wie eine normale Gipskartonplatte eingesetzt und auf einen Latenrost befestigt werden kann. Die Platte ist mit mikroverkapselten Paraffinen angereichert. Die Werte der Wärmekapazität bei Schalttemperaturen von 23° C resp. 26° C sind wie folgt:

	Smartboard Micronal 23	Smartboard Micronal 26	Normaler Standard Gipskarton
Schalttemperatur	23° C	26° C	–
latente Wärmekapazität ΔH im Schaltbereich	ca. 330 kJ/m ²	ca. 330 kJ/m ²	0 kJ/m ²
Spezifische Wärmekapazität	ca. 1.20 kJ/kg K	ca. 1.20 kJ/kg K	ca. 0.85 kJ/kg K
Wärmeleitfähigkeit λ	ca. 0.18 W/(m K)	ca. 0.18 W/(m K)	ca. 0.19 W/(m K)

Tabelle 2-3 Latentwärmespeichernde Gipskartonplatte

Quelle: BASF <http://www.micronal.de/portal>

Ein kritischer Punkt bei PCM auf der Basis von Paraffin stellt der Brandschutz dar, Lösungen hierzu sind jedoch vorhanden (siehe Micronal Datenblätter).

An der **University of Brighton** UK (Andrew Miller):

<http://www.brighton.ac.uk/env/research/sustainability/CSBE/TSG/Projects/wall-lining/1-intro.htm> sind zwei verschiedene 6 mm dicke Latentspeicher-Versuchspanels zur Oberflächenbeschichtung entwickelt und getestet worden.

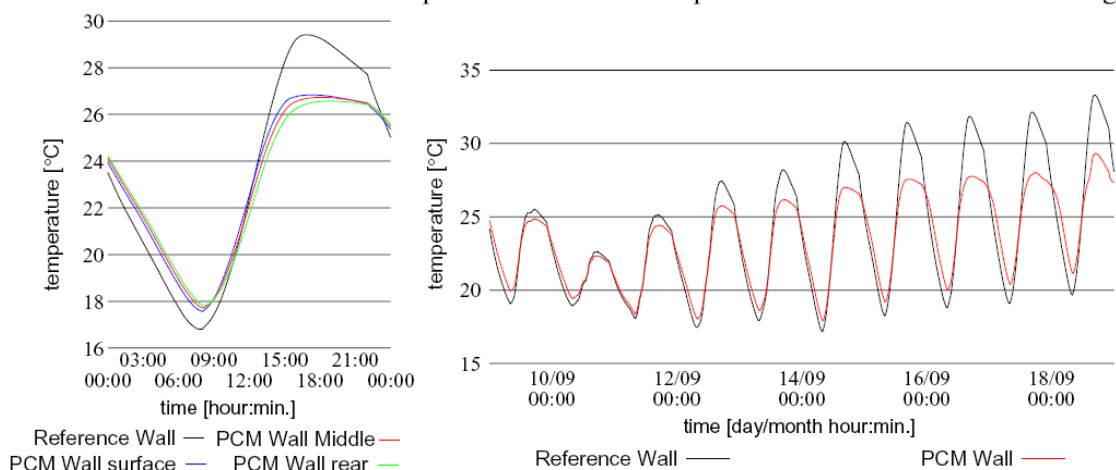
	PCM Walling 1	PCM Walling 2
PCM Inhalt % [Gewicht]	20%	45%
Schmelzpunkt	25 °C	24 °C
Latente Wärmespeicherkapazität pro Gewicht	18 kJ/kg	87 kJ/kg
Latente Wärmespeicherkapazität pro Fläche	108 kJ/m ²	503 kJ/m ²
Wärmeleitfähigkeit λ	0.24 W/(m K)	0.12 W/(m K)

Tabelle 2-4 PCM Panel Brighton

Erste Abschätzung:

Bei obigen 100 kJ/m² (28 Wh/m²) bis 500 kJ/m² (139 Wh/m²), einer Sprungtemperatur von 23° C bis 26° C, bei einer möglichen Wärmeeinlagerungsleistung mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von 5 W/(m² K) ergeben sich bei einer Lufttemperatur von 2 K über/unter derjenigen der Wandoberfläche: 10 W/m², also circa 3 bis 14 Stunden Lade-/Entladezeit. Für eine Tagesladung respektive Entladung stehen wohl höchstens 6 bis max. 10 Stunden zur Verfügung. Also sind Flächenspeicherkapazitäten im Tagesgang von rund 50 bis 100 Wh/m² realistisch.

Untersuchungen von Schossig et al. [2-6] an 15 mm dicken Gipskartonplatten mit 24 bis 27° C Schmelztemperatur zeigen gegenüber dem Referenzraum bis 4 K tiefere Tagestemperaturen unter der Voraussetzung, dass nachts durch zusätzliche Lüftung tatsächlich das Speichermaterial wieder verfestigt werden kann.



Figur 2-5 Gemessene Wand- und Raumtemperaturprofile mit PCM 15mm
Quelle: P. Schossig et al. 2005 [2-6]

Bürraum	Länge innen	m	13,3
	Breite innen	m	6,2
	Höhe innen	m	2,7
	Geschossfläche innen	m ²	82,5
	EBF	m ²	94,5
	Volumen innen	m ³	220,2
PCM Flächen	Decke	m ²	82,5
	Innenwand	m ²	64,6
	Total	m ²	147,1
Lufttemperatur	Aussen Tagesmittel	t _{ma}	30
	Innen Tagesmittel	t _{mi}	25
	Luftwechsel	h-1	0,5
Wärmelast	solare Wärmelast	kWh/d	26,2
	interne Wärmelasten	kWh/d	5,3
	Gesamt Wärmelast	kWh/d	31,5
PCM 15mm	latente Wärmekapazität	kJ/m2	330
		MJ	48,5
		kWh	13,5
	Wärmeübergang	W/m ² K	5
		W/K	735,4
	Ladezeit für Gesamtwärmeabgabe	h	18,3
	PCM Wärmespeicherung 12 h	kWh/d	6,7

Bürraum mit 4 Arbeitsplätzen in Zürich mit 17 m² Fensterfläche gegen Süd und automatischem Sonnenschutz. Solare Wärmelast gemäss SIA Merkblatt 2012.

Tabelle 2-5 Fallstudie Bürraum mit PCM

Der gewählte Bürraum mit 82 m² Grundfläche und einer total verfügbaren Wand- und Deckenfläche von 147 m² hält damit maximal 6,7 kWh Latentwärme pro Tag. Das entspricht rund der solaren Wärmelast der Fenster dieses Raumes. Die Grössenordnung ist also interessant.

Die Oberflächenbeschichtung mit Latentspeichermaterialien muss weiter in Bezug auf folgende Punkte untersucht werden:

- erhöhter Wärmeübergang (gezielte künstliche Anströmung) zur Erhöhung der Flächenleistung
- Dauerhaftigkeit und Umweltverträglichkeit der eingesetzten Materialien
- Modifikation und Auswahl der optimalen Sprungtemperatur

2.5 Fenster und Sonnenschutz

2.5.1 Bedeutung und Probleme des Sonnenschutzes

Bei der Wahl des Sonnenschutzes und dessen Bedienung sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen.

- Sonnenschutz,
- Windfestigkeit (resp. nicht funktionsfähiger Sonnenschutz in kritischen Perioden),
- Tageslichtnutzung (resp. erhöhter Bedarf künstliche Beleuchtung),
- winterliche Solarwärme-Nutzung (resp. erhöhter Wärmebedarf durch geringere Freie Wärme),
- Ausblick ins Freie,
- Ästhetik.

Die Herausforderung besteht darin, die verschiedenen Anforderungen möglichst gleichzeitig zu erfüllen und nicht gegeneinander auszuspielen. Es kann also nicht darum gehen, den Ausblick ins Freie oder die gute Tageslichtnutzung durch einen ungenügenden Sonnenschutz zu erkaufen. Vielmehr muss eine Lösung gefunden werden, bei welcher der Ausblick und die Tageslichtnutzung bei gutem Sonnenschutz gewährleistet werden.

Sonnenschutz wird in wärmerem Klima für Bürobauten immer wichtiger, um die solare Aussenlast während der warmen Sommerperiode zu vermindern. Ein wirksamer Sonnenschutz ist nach Himmelsrichtung differenziert, beweglich und motorisiert. Dabei soll der Tageslicheinfall und seine -verteilung im Raum nicht beschränkt sowie eine allfällige Nutzung der Globalstrahlung im Winter als Raumheizungsbeitrag nicht ausgeschlossen sein.

Die Funktion des Sonnenschutzes nimmt bei Bauten mit grösserem Glasanteil der Fassade an Bedeutung zu. Bei den gängigen modernen Bürobauten mit hohem Glasflächenanteilen der Fassade (> 50%) erfordern die architektonische Wirkung und die innere Behaglichkeit grosse Anstrengungen bzgl. der Ausbildung des Sonnenschutzes. Im geschlossenen Zustand beeinträchtigt er die Aussicht schwerwiegend. Bzgl. der sommerlichen Behaglichkeit von Gebäuden bei heutigen und künftig wärmeren Sommertemperaturen kommt dem Sonnenschutz die zentrale Bedeutung zu, weil damit die Aussenwärmelast praktisch auf Null (<< 10%) vermindert werden kann. Ein Vorteil eines guten Sonnenschutzes ist auch die gleichzeitige Verminderung des Energiebedarfes für Kälte (und evtl. Lüftung).

Sehr weitgehender Sonnenschutz kann – wenn nicht abhängig von Aussenlast und Innentemperatur steuerbar – einen negativen Einfluss auf die Nutzung des winterlichen Wärmegewinns für die Raumheizung haben. Besonders bei feststehendem Sonnenschutz, resp. stark vermindertem g-Wert der Verglasung ist dies als Optimierungsproblem zu untersuchen. Siehe auch [2-2].

Ein sehr weitgehender Sonnenschutz kann sich ebenso negativ auf die Nutzung des Tageslichts zur Raumbeleuchtung auswirken. Dies ist insbesondere bei starrer Anordnung horizontaler und vertikaler Sonnenschutzelemente der Fall, wie sie in südlichen Breitengraden häufig als Dauerschutz eingesetzt werden.

Sonnenschutz ist nicht gleich bedeutend mit Blendschutz. Blendschutz erfordert eine vom Benutzer direkt manipulierbare Beeinflussung des Leuchtdichtekontrastes im Gesichtsfeld. Dies ist naturgemäss bei festen Arbeitsplätzen mit sitzender Tätigkeit wichtig. Ziel des Sonnenschutzes ist die Verminderung der übermässigen Erwärmung des Innenraumes im Sommer. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für sommerliche Behaglichkeit resp. zur Verminderung der nötigen Kälteleistung. Sonnen- und auch Blendschutz kann die Tageslichtnutzung erschweren und vermindern. Heutige IR-beschichtete Gläser werden nach ihrer Selektivität beurteilt, d.h. wie das Verhältnis des Durchlasses von Tageslicht zu Wärmeenergie ist. Ideal sind hochlichtdurchlässige und stark strahlungsreflektierende Gläser, resp. entsprechende Isolierglas-Verbundkonstruktionen mit IR-Beschichtungen auf mehreren Innenoberflächen.

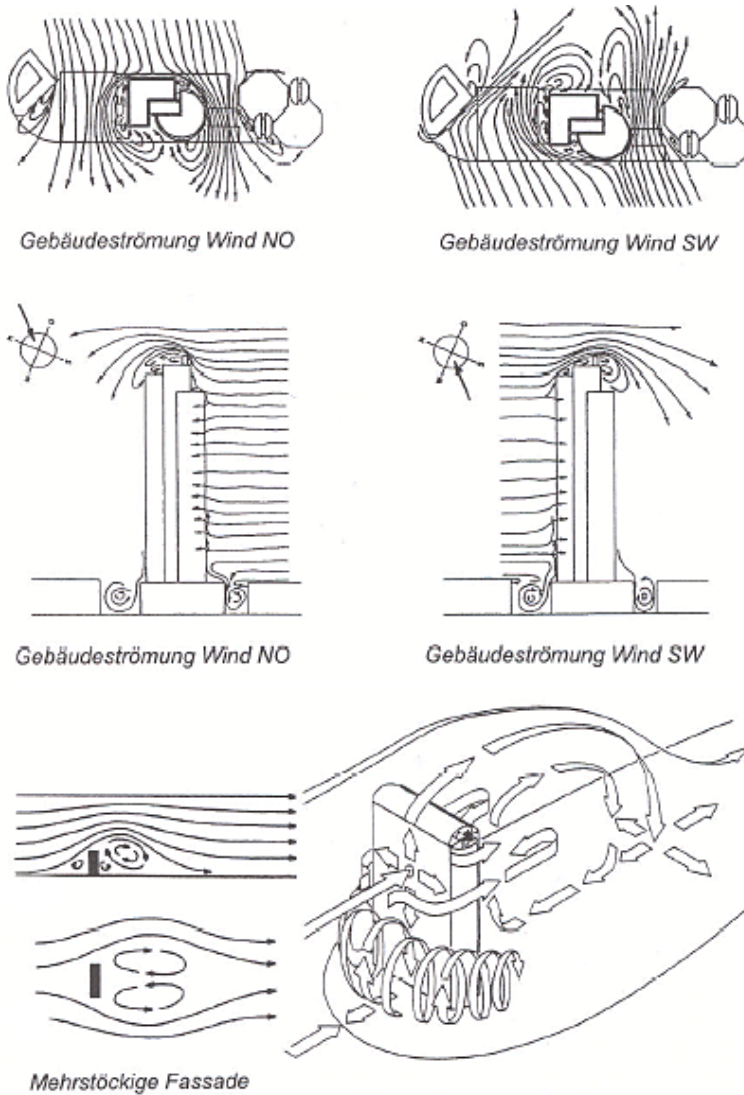
Die Anforderungen an die Stabilität des Sonnenschutzes gemäss dem Verband Schweizerischer Anbieter von Sonnen- und Wetterschutz-Systemen VSR und SIA bedeuten, dass im offenen oder geschlossenen Zustand bis 75 km/h Böenspitzen ohne Störung und Defekte ausgehalten werden können. Dies bedeutet im schweizerischen Mittelland, dass Bauten an windigen Lagen und/oder mit mehr als 6 Geschossen mit konventionellen aussenliegenden, beweglichen Standardlamellen Schwierigkeiten haben.

Windgeschwindigkeit bei geschlossenem Fenster (VSR):

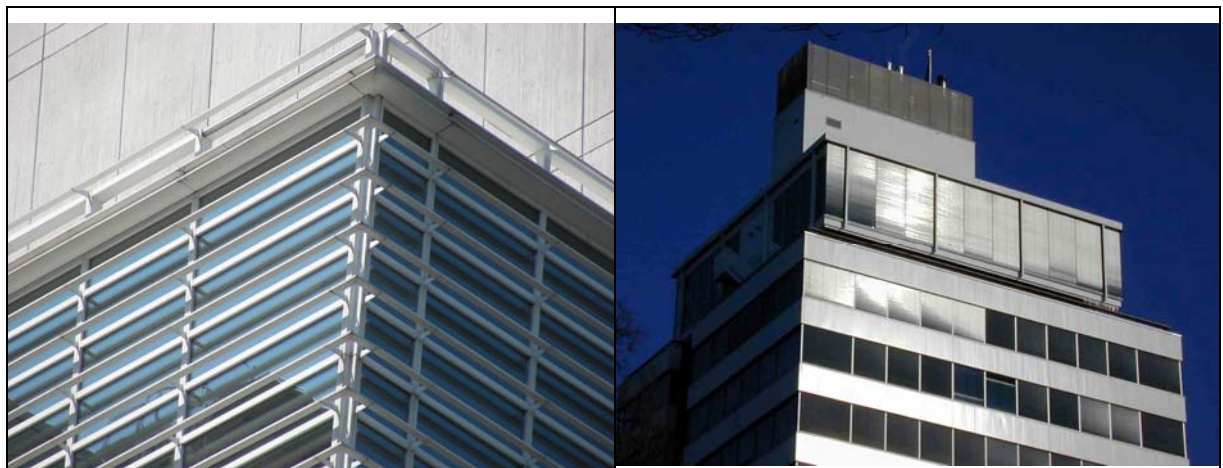
Klasse 1: 75 bis 100 km/h

Klasse 2: 30 bis 75 km/h

Klasse 3: < 30 km/h



Figur 2-6 Strömungen an Bauten
Quelle: VSR



Figur 2-7 Aussenliegender Sonnenschutz für hohe Gebäuden (< 30m)
links: starre Horizontallamellen, rechts: gefährdeter beweglicher Storen

Die Anforderung der SIA 382/1 [2-3] an die Windfestigkeit des Sonnenschutzes lautet:

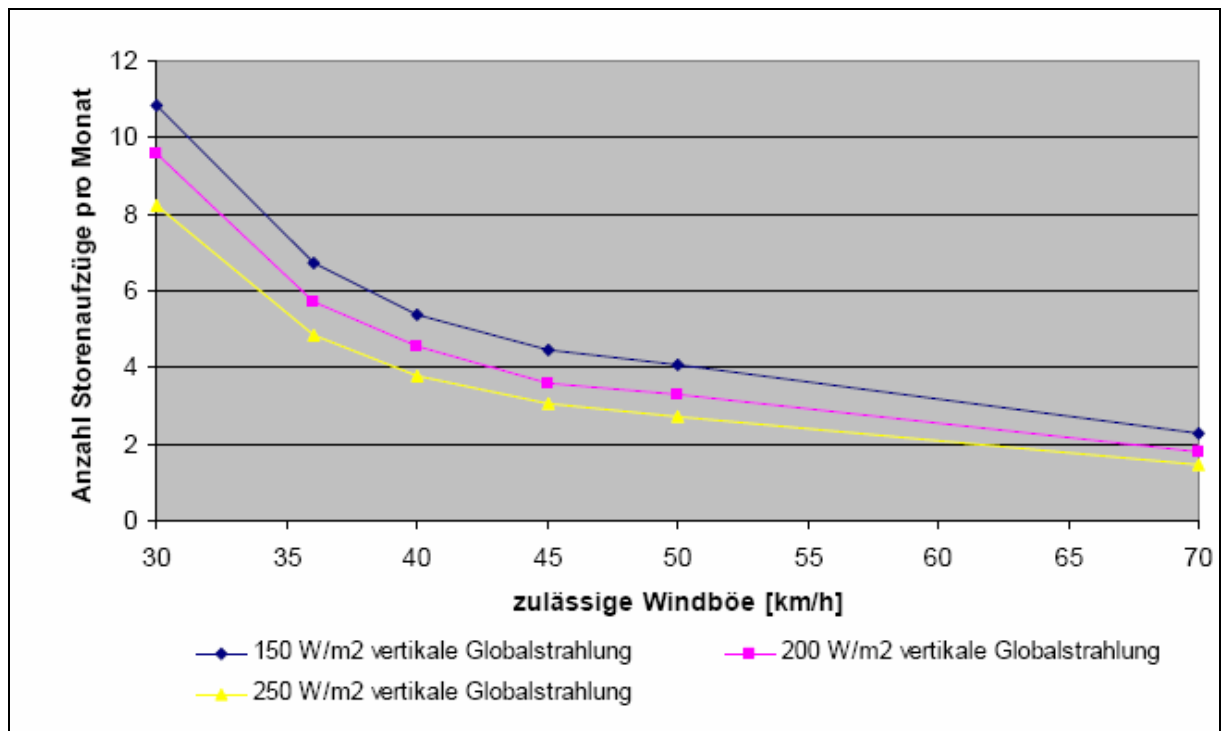
2.1.3.9 Der Sonnenschutz muss im Schweizerischen Mittelland bis zu folgenden Windgeschwindigkeiten in abgelenkter Stellung verbleiben können (im Bereich der Anforderungsklasse 2 gemäss Norm SIA 342):

- –Stundenwert 40 km/h (Mittelwert über 1 Stunde)
- –Minutenwert 60 km/h (Mittelwert über 1 Minute)
- –Sekundenwert 75 km/h (Böenspitze, üblicher Einstellwert Windwächter)

Die Geschwindigkeitsangaben beziehen sich auf einen ungestörten Messort 2 m über dem Hauptdach.

2.1.3.10 Die Anforderung in Ziffer 2.1.3.9 gilt allgemein bei Höhen bis 10 m über Grund für die Geländekategorien III (Ortschaften, freies Feld) und IV (grossflächige Stadtgebiete) gemäss SIA 261. Wenn an exponierten Orten der 1-h-Mittelwert der Windgeschwindigkeit, welcher im langjährigen Mittel während 100 h/a überschritten wird, über 40 km/h liegt, ist dieser Stundenwert massgebend. Der Minutenwert ist dann mit dem Faktor 60/40, der Sekundenwert mit dem Faktor 75/40 aufzuwerten. Für die Bestimmung des 100 h-Wertes können lokale Messungen oder die Klimadatensätze DRY, für Bestimmung des Höhenprofils die Angaben in SIA 261 (Wurzel des Profilbeiwertes c_h) verwendet werden.

In einer Untersuchung von Basler & Hofmann für die Stadt Zürich [2-7] haben die Autoren die Gleichzeitigkeit von Wind und Strahlung für eine Sonnenschutzanlage ausgewertet. Die hier untersuchte Ausstellmarkise erlaubt nur Windböen von 40 km/h. Ihre Wirkung ist demnach im Sommer 4- bis 5-mal pro Monat eingeschränkt. Bei stärker belastbaren äusseren Sonnenschutzeinrichtungen, die die erforderlichen Böenspitzen von 80 km/h aushalten, ist die Gefährdung deutlich geringer.



Figur 2-8 Anzahl windbedingter Storenaufzüge pro Monat in einem Schulhaus in Zürich
Messperiode: 1.5.-30.9.2004 [2-7]

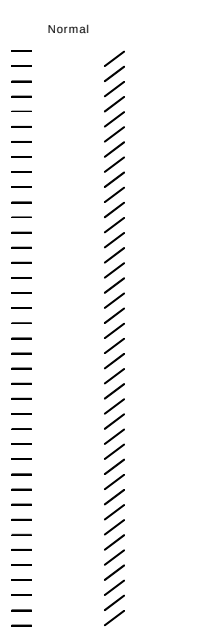
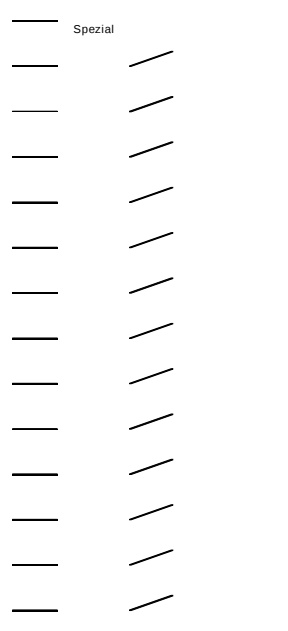
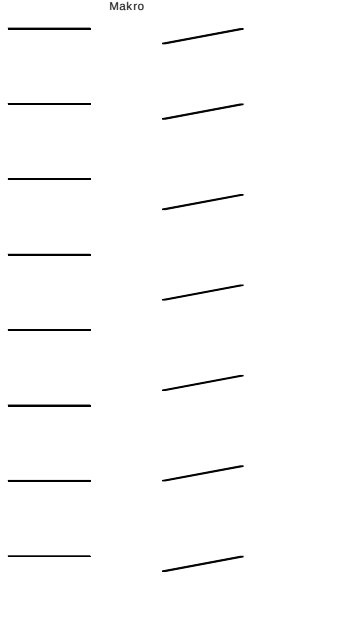
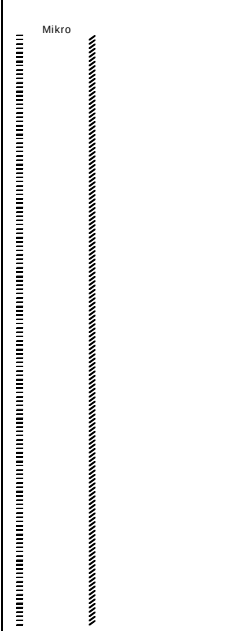
Ein direkt der Sonnenstrahlung ausgesetztes Element erwärmt sich. Dies ist auch bei aussenliegendem Sonnenschutz zu berücksichtigen. Auch im Neuzustand hoch-reflektierende Materialoberflächen des Sonnenschutzes werden durch die Verschmutzung immer stärker absorbierend und damit wärmer. Die Übererwärmung gegenüber der Aussenlast kann 20 K bis 40 K betragen. Dadurch entstehen an der bestrahlten Fassade aufwärts gerichtete Warmluftströmungen. Dies muss bei offenbaren Fensterflügeln berücksichtigt werden, um ein Eindringen übererwärmter Aussenluft in den Raum zu vermeiden. Deshalb muss jeder aussenliegende Sonnenschutz mit einem genügend grossen Abstand vor der Fassade für eine gute Luftzirkulation versehen werden. Die Warmluftströmung wird beim Einsatz von Raumklimageräten durch deren Abwärme (5 K bis 10 K über der Aussenlufttemperatur) noch verstärkt.

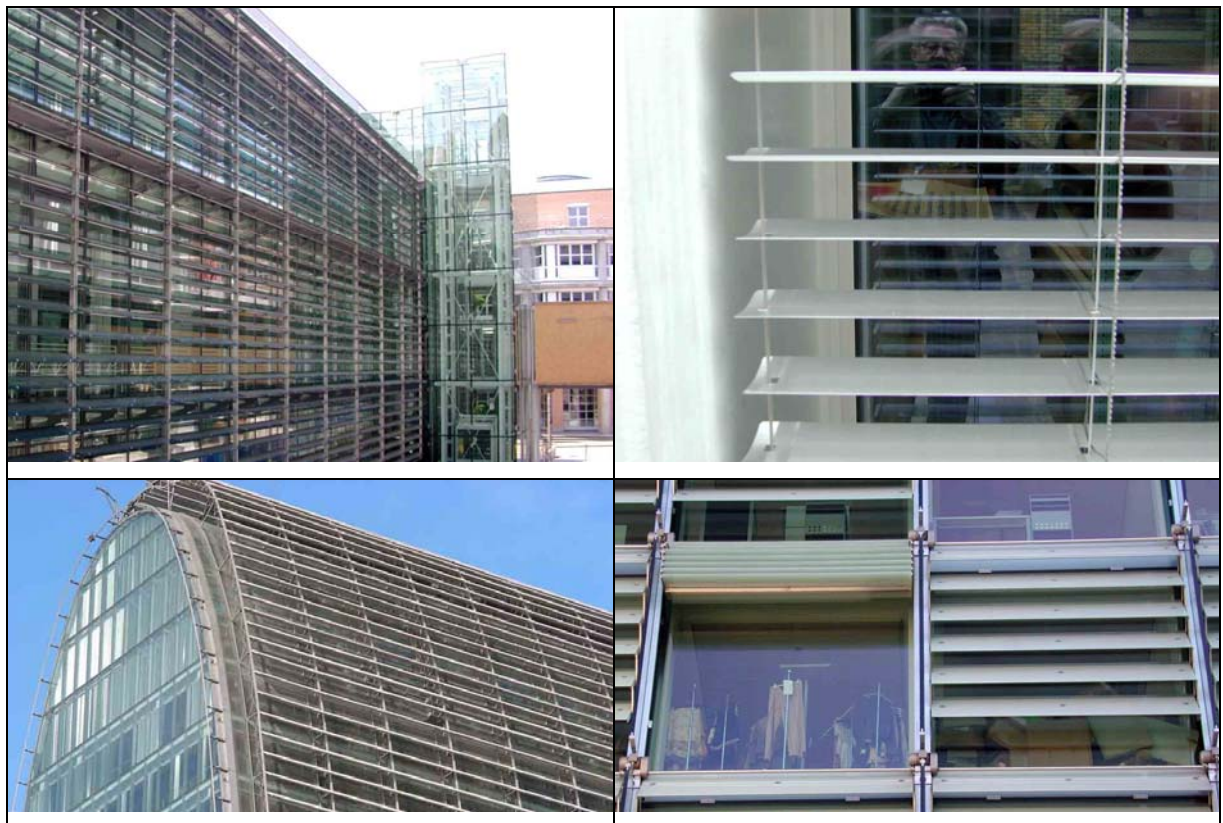
Offensichtlich prägen die beweglichen und festen Elemente des Sonnenschutzes massgeblich die architektonische Nah- und Fernwirkung eines Gebäudes. Ihre Gestaltung ist daher - nicht nur für Architekten und Bauherren - von grosser Bedeutung. Die in letzter Zeit grassierenden Fassadenmontierten Raumklimageräte gehören nach den Fernsehantennen und Satellitenschüsseln bereits zur nächsten Generation der Aussenverschönerung.

2.5.2 Geometrie des Sonnenschutzes

Die heute verfügbaren Sonnenschutz-Systeme unterscheiden sich durch ihre geometrische Anordnung im Schnitt und Grundriss, durch ihre relative Grösse zum Fenster, ihre Beweglichkeit, die optischen und mechanischen Eigenschaften des eingesetzten Materials und die geometrische Form und Stabilität der einzelnen Lamellen.

Horizontal-Lamellen

Horizontal-Lamellen (ausssen; geeignet für Süd-, Südost-, Südwest-Orientierung)			
Normale Lamellen	Spezial Lamellen	Makro Lamellen	Mikro Lamellen
			
Material, Grösse, Funktionalität			
Bewegliche Standard Lamellen (Aluminium, Kunststoff, Stahl) Ca. 10 cm raffbar, drehbar	Bewegliche Speziallamellen (Stahl, Aluminium, Glas) Ca. 50 cm raffbar, drehbar	Feststehende Lamellen (Stahl, Aluminium, Glas, Beton) Ca. 50 cm bis 100 cm, evtl. noch weiter durch Öffnungen gegliedert	Feststehende Lamellen (Aluminium, Stahl) Ca. 0.3 bis 1 cm
Thermische und optische Wirkung			
Variabler g-Wert und Lichteinfall	Variabler g-Wert und Lichteinfall	Fixer g-Wert und reduzierter Tageslicheinfall	Fixer g-Wert und reduzierter Tageslicheinfall
Ausblick			
Ausblick im geschlossenen Zustand blockiert	Ausblick im geschlossenen Zustand blockiert	Ausblick gewährleistet auf Augenhöhe	Ausblick immer nur als Sieb
Anwendbarkeit			
Anwendbar bis max. 6 Geschosse	Anwendbar je nach Konstruktion und Mechanik bis max. 10 Geschosse	Anwendbar unbeschränkt	Anwendbar unbeschränkt



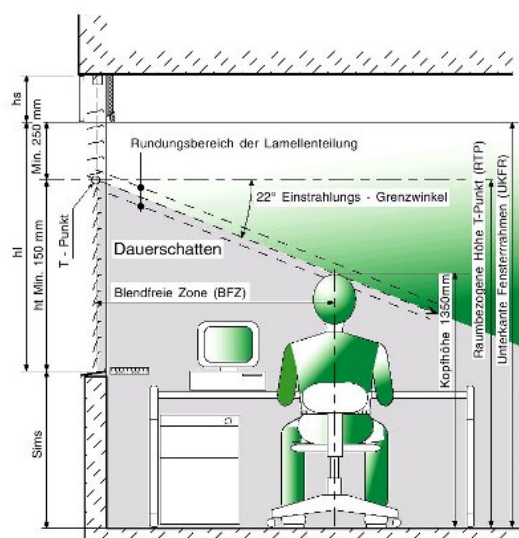
Figur 2-9 Bewegliche Horizontallamellen

Die einzelne horizontale Lamelle kann eine weitere Gliederung erfahren:

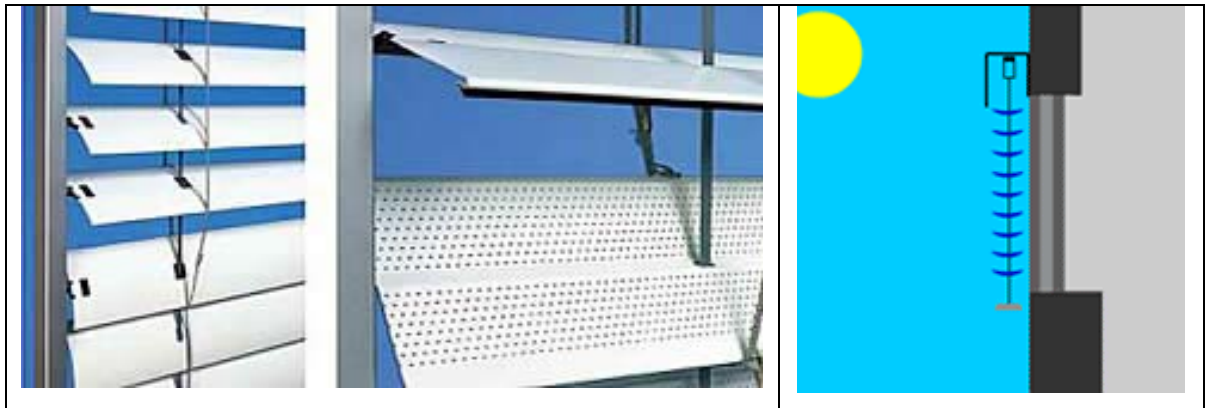
Textil		Knickarmstoren, vertikale Storen
Massiv		Beton
Mit einzelnen Lücken		Beton mit Öffnungen
Gitter		Metallrahmen mit Lamellen

Verstellbare Horizontal-Lamellen:

Zur Optimierung des Sonnenschutzes und des Tageslichteinfalls sind Lamellenstoren mit unterschiedlicher Drehung der verschiedenen Lamellen nach Höhe entwickelt worden:



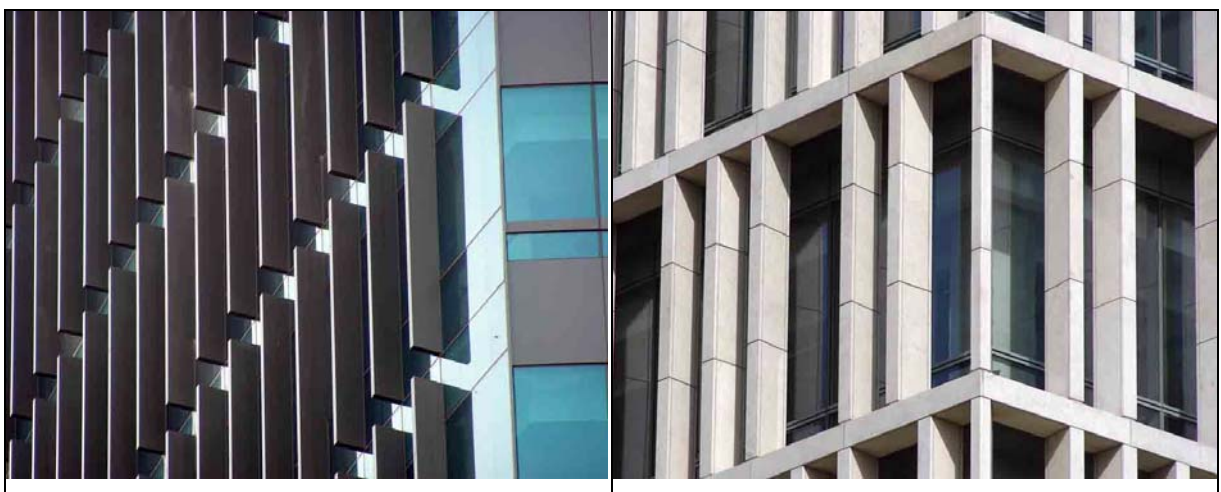
Figur 2-10 Bild Storen mit veränderbarem Lichteinfall
Quelle: Baumann Hüppe



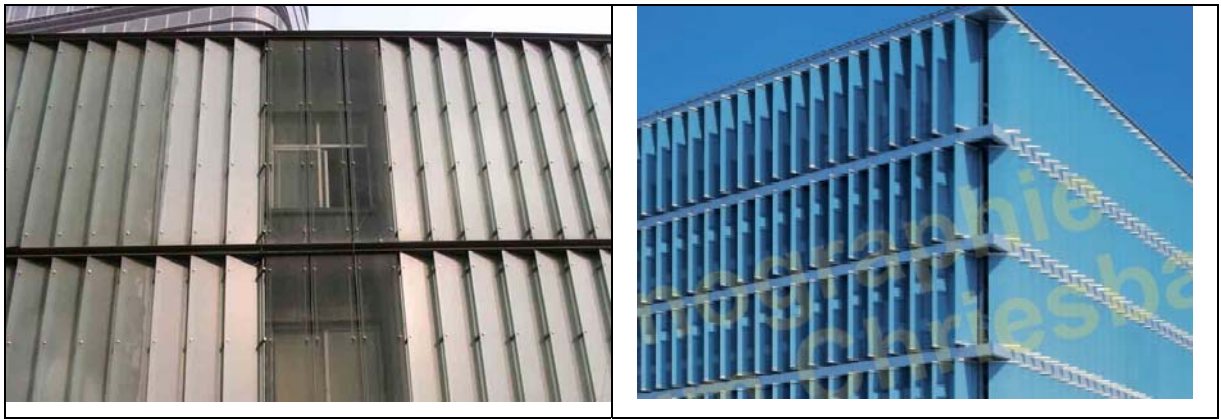
Figur 2-11 Storen mit veränderbarem Lichteinfall
Quelle: Bild Hartmann

Vertikal-Lamellen

Vertikal-Lamellen (aussen; geeignet für Ost- und Westorientierungen)		
Normal		Bewegliche Standardlamellen ca. 10 bis 20 cm (Textil, Kunststoff-Folien, Aluminium), drehbar, seitlich raffbar
Spezial		Bewegliche Speziallamellen ca. 30 bis 60 cm (Aluminium, Stahl, Glas, Kunststoff, Holz)
Makro		Feststehende Lamellen ca. 50 bis 100 cm (Stahl, Aluminium, Beton, Holz)
Pfeiler-Nischen		Konstruktionselemente mit Verkleidung, Tiefe ca. 30 bis 60 cm (Holz, Aluminium, Stahl, Kunststoff)



Figur 2-12 Feststehende Vertikallamellen



Figur 2-13 Bewegliche Vertikallamellen

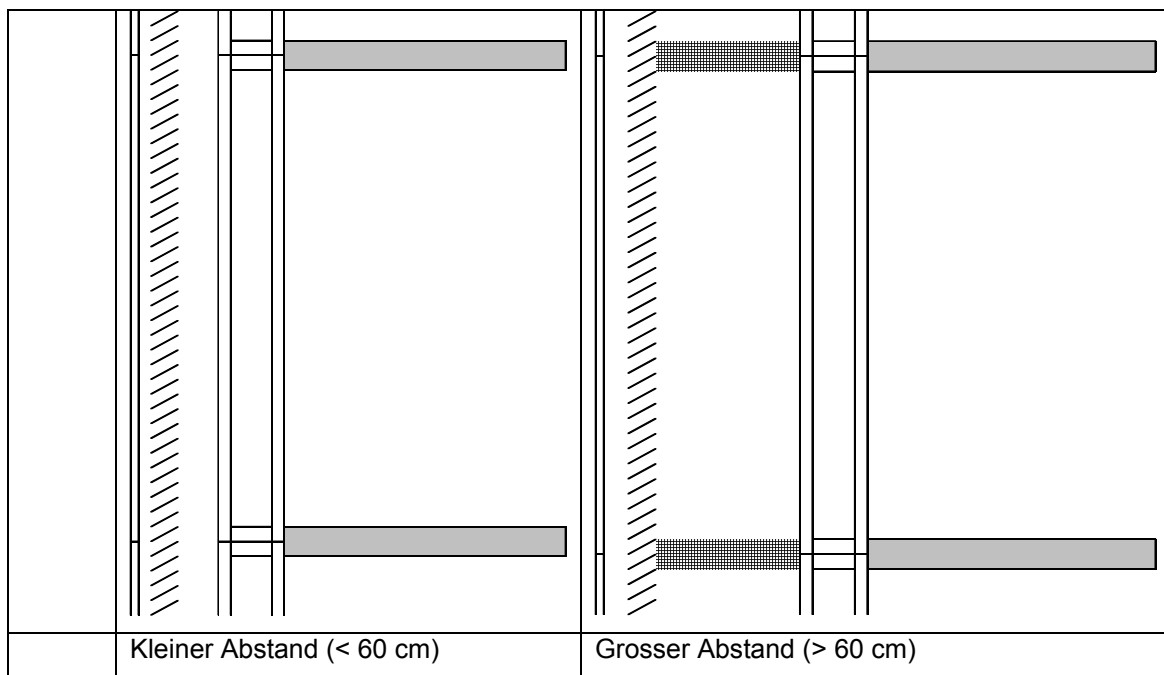
Doppelfassade

In verschiedenen Anwendungen ist ein äusserer Sonnenschutz von der Schutzwirkung her erwünscht, von der örtlichen Windbelastung oder der Stockwerkanzahl aber schwierig oder unmöglich zu realisieren. Die Doppelfassade [2-2], d.h. eine unabhängig von der eigentlichen ersten Fassade vorgelagerte zweite Fassade, kann folgende Funktionen übernehmen:

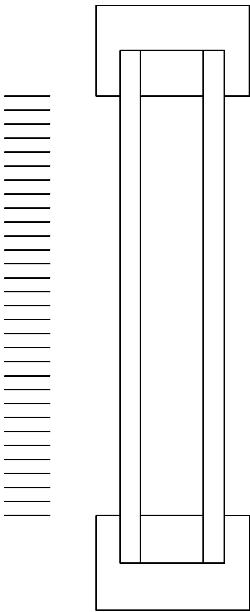
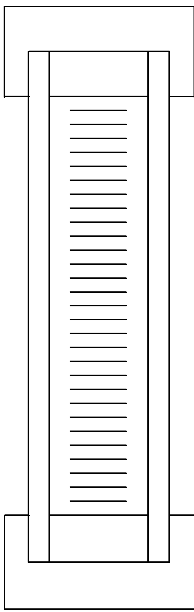
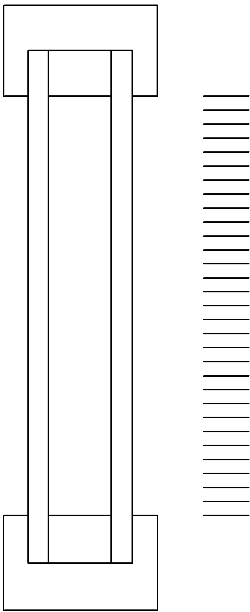
- Schallschutz
- Wetterschutz (Schlagregen, Wind)
- Brandschutz
- Sonnenschutz im Zwischenraum
- zeitweise natürliche Lüftung der ersten Fassade
- Mögliche natürliche Entlüftung der zweiten Fassade (über die Fassade oder über Dach)

Dabei ist es erheblich, ob der Abstand der beiden Fassaden mit über als 60 cm eine Begehung (Reinigung, Unterhalt und Reparatur, Fluchtweg, etc.) erlaubt oder dies bei kleinerem Abstand nicht möglich ist.

Grosser Vorteil des Zwischenraums in Doppelfassaden ist ein dort möglicher hochreflektierender Sonnenschutz, der relativ wenig verschmutzt und auch regelmässig gereinigt werden kann.

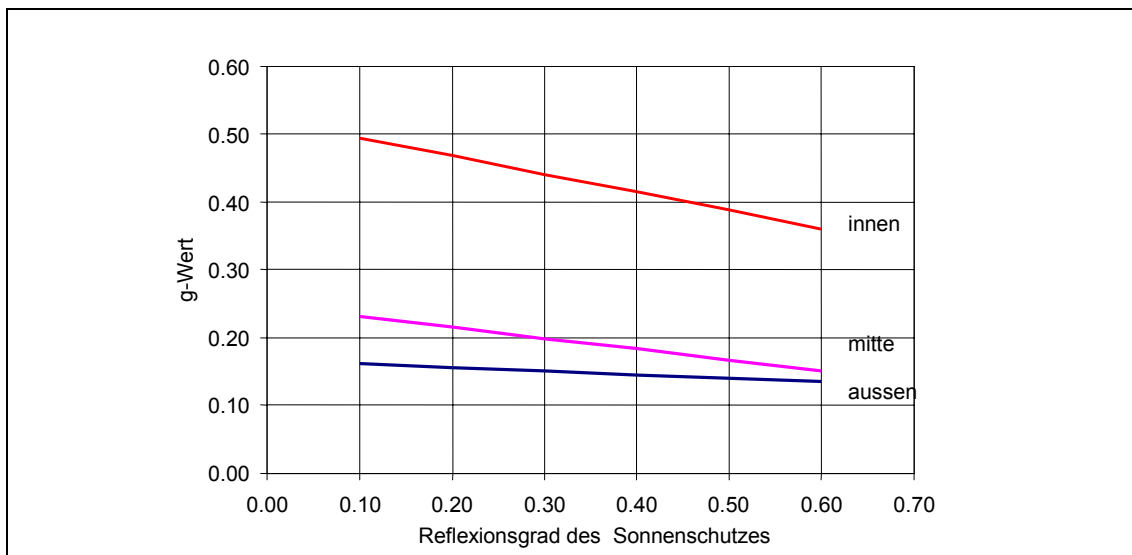


2.5.3 Lage des Sonnenschutzes

Aussen	Zwischen Glas	Innen
		
Lage		
Bewegliche Aussen Lamelle	Bewegliche Zwischen Lamelle	Bewegliche Innen Lamelle
Funktionalität, Einfluss auf g-Wert		
Verschmutzung, Reinigung, Service und Störungsbehebung, Windbelastung	Geringe Einbusse beim g-Wert, Überhitzung, möglicherweise negative Folgen für Lebensdauer des Glasverbundes	Deutliche Einbusse beim g-Wert



Figur 2-14 Doppelfassade



Figur 2-15 Wirkung eines Sonnenschutzes
Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert von Verglasung inkl. Sonnenschutz) je nach Lage des Sonnenschutzes in Bezug zur Verglasung, Annahmen: 2-IV Glas mit mittlerer Lichtdurchlässigkeit von 0,2; U-Wert von 1, 2 W/(m² K); g-Wert 0,55
Quelle: Empa Dübendorf 2001, in [2-1]

2.5.4 Eigenschaften der Sonnenschutz-Lamelle

Optische Materialeigenschaft

Durchsichtig		Glas: IR Beschichtung
Durchscheinend		Glas: IR Beschichtung
Perforiert		Aluminium-, Stahlblech, Glas mit Folie
Undurchsichtig		Glas mit Folie, Aluminium, Stahl, Kunststoff

Stabilität

Steif		
Biegsam		
Textil		

Lamellen Geometrie

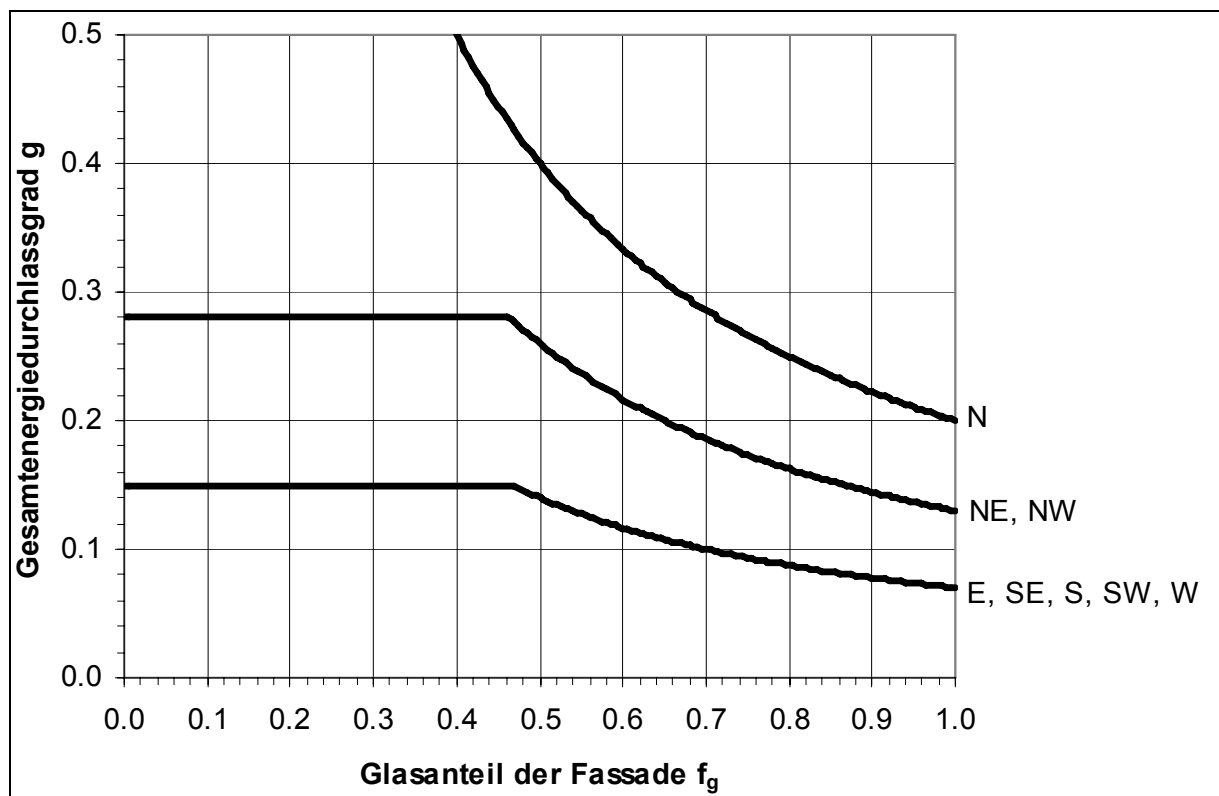
Flach		
Gekrümmt		Besserer Abschluss, grössere Stabilität
Gestuft		Besserer Abschluss, grössere Stabilität, spezielle Reflexionscharakteristik für Tageslicht, Blendschutz, Durchsichtigkeit

2.5.5 Optische und thermische Wirkung

Erforderlicher Sonnenschutz

Für einen befriedigenden sommerlichen Wärmeschutz ist heute gemäss SIA 382/1 je nach Fassadenorientierung und Glasanteil der Fassade ein integraler g-Wert von Sonnenschutz, Blendschutz und Glas von 0.07 bis 0.4 erforderlich.

Für die Gruppe der tiefen g-Werte zwischen 0.07 und 0.15 sind ausschliesslich aussenliegende Sonnenschutzsysteme in Kombination mit Sonnenschutz- oder Wärmeschutzgläser geeignet. Diese müssen fassadenabhängig geregelt und motorisiert sein, um zur richtigen Zeit (nach Sonnenaufgang, bis zum Sonnenuntergang) am richtigen Ort (ohne zufällige Einwirkung von anwesenden Personen) die nötige Schutzwirkung zu erzielen. Als Träger für den Sonnenschutz sind hoch reflektierende Materialien (Reflexion > 50%) notwendig. Die Wirkung der Kombination Glas/Sonnenschutz muss sorgfältig analysiert werden. Dazu sind anerkannte Software Tools (GLAD [2-4], Glassdbase [2-5]) vorhanden.



Figur 2-16 Neue Anforderungen an den g-Wert in Abhängigkeit vom Verglasungsanteil an der Fassade und der Fassadenorientierung
Quelle: SIA 382/1 (2007) [2-3]

Als „Einschaltkriterium“ für den Sonnenschutz wurde in [2-1] 150 W/m^2 für den Sommerfall definiert. In der Übergangszeit im Frühling und Herbst kann es sinnvoller sein, ein Raumtemperaturkriterium ($> 22^\circ \text{ C}$) oder einen höheren Strahlungswert (bis 300 W/m^2) für den Sonnenschutz zu verwenden.

2.5.6 Aktiver Sonnenschutz

Die eleganteste Methode, sich vor Übererwärmung zu schützen, besteht darin, sich hinter einem Solarenergie-Gewinnungssystem zu verstecken, resp. sich von diesem beschatten zu lassen. Dafür kommen zwei Arten von Solarsystemen in Frage:

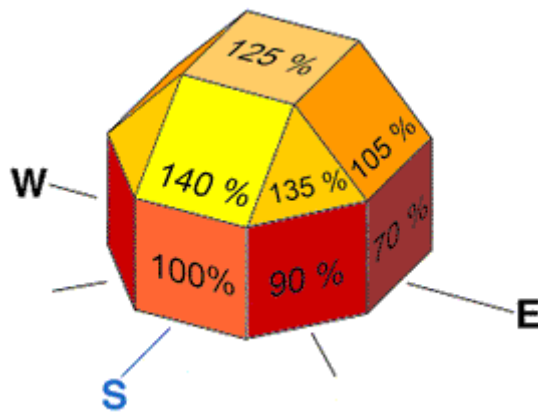
- Solarthermische Kollektoren
- Solarelektrische Photovoltaikpaneele

Bei beiden Gewinnungsarten besteht die Möglichkeit einer vollständigen und fixen Beschattung ($g=0$) oder einer teilweisen Verschattung, die u.U. variiert werden kann. Die Beweglichkeit ist dabei bei elektrischen Systemen leichter zu bewerkstelligen als bei thermischen Systemen, bei denen wärmege-dämmte wasserführende Schläuche für die gefriergeschützte Wärmeträgerflüssigkeit beweglich angeordnet werden müssen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass hinter/unter einem Solarsystem immer noch ein beachtlicher Wärmefluss besteht. Da ein Solarkollektor im optimalen Betriebspunkt

einen thermischen Wirkungsgrad von 70% bis 80% aufweist, wird also unter dem wärmege­dämmten Kasten bei voller Strahlung (700 W/m²) immer noch etwa 150 bis 200 W/m² als Wärme spürbar. Bei dünnen Photovoltaikpane­len mit einem elektrischen Wirkungsgrad unter 20% wird demgemäss ohne zusätzliche Dämmschicht darunter ca. 500 W/m² Wärme anfallen.

Bei beiden Solar-Technologien der Energienutzung sind auch optisch ansprechende halbdurchlässige Systeme für geneigte und vertikale Elemente denkbar:

- Röhrenkollektoren, die durch den Abstand der Rohre einen Lichtdurchlass ermöglichen.
- Zwischenglas-PV Elemente, die in (fast) beliebiger Anordnung die Lichtdurchlässigkeit zwischen 20% und 50% variieren können.



Figur 2-17 Schema Solarstrahlung nach Fassadenorientierung
Quelle: SZFF



Figur 2-18 Beispiel aktiver Sonnenschutz

2.5.7 Sonnenschutzvariationen

Folgende Formen des Sonnenschutzes sind generell möglich und werden nachfolgend beschrieben:

- Pseudo-Glasfassade
- Geneigte und gegliederte Fassade
- Feststehende Verschattungselemente
- Im Isolierglas integrierte Storen
- Gestufte Lamellen

- Sonnenschutz durch stark reflektierende/absorbierende Sonnenschutzgläser
- Fahrzeugverglasung
- Glaslamellen

Sonnenschutz durch Pseudo-Glasfassade

Viele Gebäude wollen als reine Glasfassade in Erscheinung treten und deren Vorteile (Dauerhaftigkeit, Sauberkeit, etc.) in Anspruch nehmen, sind aber keineswegs "transparente" Glasfassaden. Dieser Pseudo-Glasfassadentyp kann eine konventionelle Loch- oder Bandfenster-Fassade sein, deren innere Schale gemauert und aussen wärme gedämmt ist.

Dabei ist im Wesentlichen auf zwei Aspekte zu achten.

Äusseres Erscheinungsbild. Der transparente Teil der Fassade wird bei Klarglas je nach Beleuchtungssituation aussen/innen anders in Erscheinung treten als der Glasteil vor der konventionellen Mauer. Dies ist nur durch eine hohe äussere Reflexionsbeschichtung und/oder starke Farbtonung des Glases oder durch einen grossen Abstand zwischen Glas und der hinterliegenden Wärmedämmung zu erreichen.

Erwärmung der Wärmedämmung: Das Glas vor der Wärmedämmung wirkt wie eine Trombe-Wand, d.h. es entsteht eine Zone der Übererwärmung (+20K bis 50K gegenüber der Aussenluft), die konventionelle Wärmedämmmaterialien negativ in ihrer Wirkung beeinflusst (Lambda Verschlechterung) oder sogar dauerhaft schädigen kann. Die meisten Wärmedämmstoffe an Gebäuden sind nur bis ca. 40°C einsatzfähig. Darüber müssen spezielle Dämmmaterialien (Schaumglas, PIR, Glas- oder Steinwolle, etc.) eingesetzt werden.



Figur 2-19 Pseudo-Glasfassade, geneigte Fassaden

Sonnenschutz durch geneigte und gegliederte Fassaden

Eine nach vorne geneigte Fassade kann die steile südliche Direktstrahlung durch die höhere Reflexion vermindern. Bei starker Neigung kann im Hochsommer der maximale Sonnenstand in der Schweiz am Mittag von ca. 66 ± 1 Grad durch die Totalreflexion von Glas (Grenzwinkel der Totalreflexion von Luft zu Glas ca. 42 Grad bei einem Brechungsindex $n=1,5$ gegenüber Luft) gänzlich wegreflektiert werden.

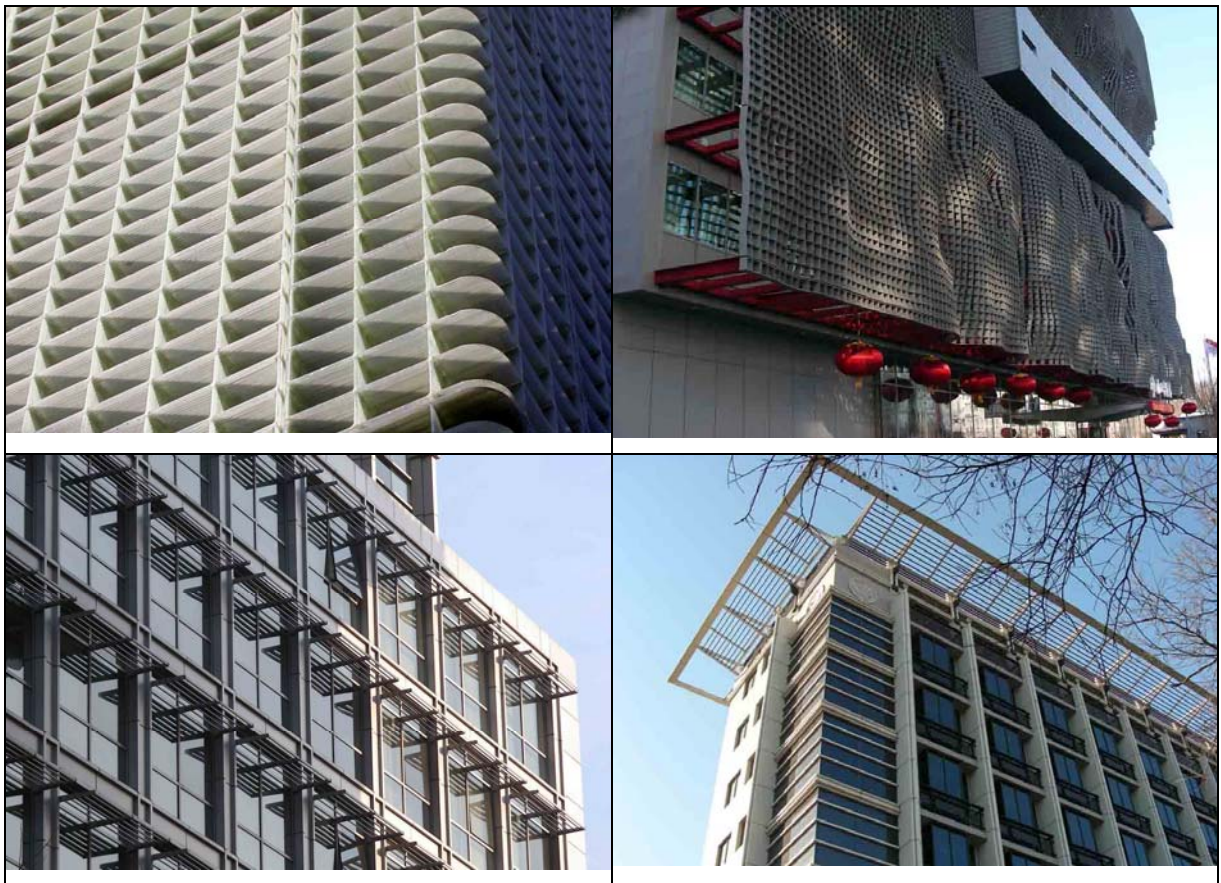
Eine ähnliche Wirkung erzeugen auf gestufte Fassaden, bei denen darüberliegenden Ebenen die unteren leicht überkragen und damit beschatten.

Eine Fassadengliederung im Grundriss (und evtl. im Aufriss) kann eine Eigenverschattung verursachen, die im warmen Sommer wohltuend ist. Dazu eignen sich z.B. Balkone, Wintergärten und Erker sowie Grundrissstaffelungen.

Sonnenschutz durch feststehende Verschattungselemente

Aussenliegende "Vordächer" und "Seitenblenden" können am oberen Gebäuderand oder geschossweise angeordnet werden (Rasterelemente aus Kunststoff, Glasfaserverstärktem Kunststoff, Metall, etc). Die Rasterung kann nach Himmelsrichtung und Breitengrad angepasst werden.

Die Sonnenschutzwirkung ist relativ gering und nur bei direkter Bestrahlung vorhanden. Grosser Nachteil ist die ständige starke Tageslichteinbusse, verstärkt durch Verschmutzungsbeläge auf hellen und reflektierenden Aussenelementen.



Figur 2-20 Feststehende Sonnenschutzelemente und Vordächer

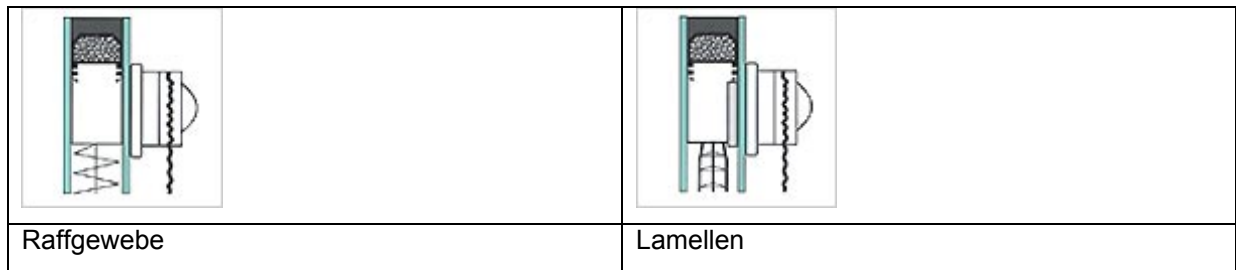
Im Isolierglas integrierte Storen

Feststehende und bewegliche, vertikale und horizontale Lamellenkonstruktionen sind verfügbar. Der Antrieb der beweglichen Lamellen erfolgt manuell oder elektromotorisch, teilweise mit ganz aussenliegenden Konstruktionen.

Swissroll von Glas Troesch ist ein Isolierglas mit einem Lamellen- oder Raffgewebe-System im Scheibenzwischenraum. Die Lamellen sind heb- und senkbar und lassen sich in jedem beliebigen Winkel einstellen. Das Raffgewebe gibt es in drei verschiedenen Ausführungen: transparent, halbtransparent, oder opak. Sowohl Lamellen wie auch Raffgewebe sind in verschiedenen Farben erhältlich. Der patentierte Magnetantrieb ist so gestaltet, dass das Isolierglas hermetisch geschlossen bleibt. Die Steue-

nung kann mechanisch oder elektrisch mittels Schalter oder Fernsteuerung erfolgen. Die minimal erzielbaren g-Werte betragen bis 0.15 bei U-Werten von 1.1 bis 1.2 W/(m² K).

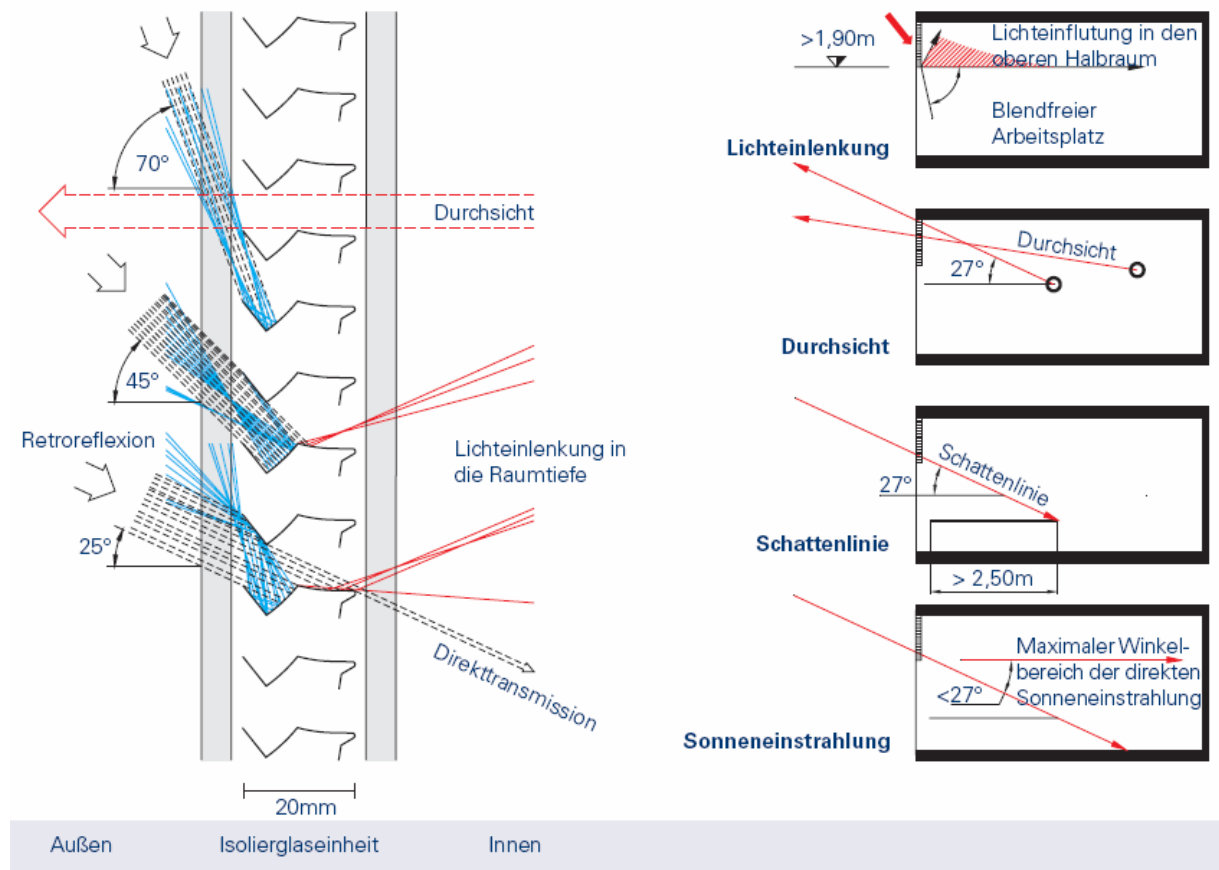
Die Erwärmung des Zwischenraumes muss beachtet werden: Sekundärabstrahlung nach Innen und allfällige Auswirkung auf die Dauerhaftigkeit der Glasklebeverbindung im Falz.



Figur 2-21 Im Isolierglas integrierte Storen
Quelle: Glas Troesch

Gestufte Lamellen

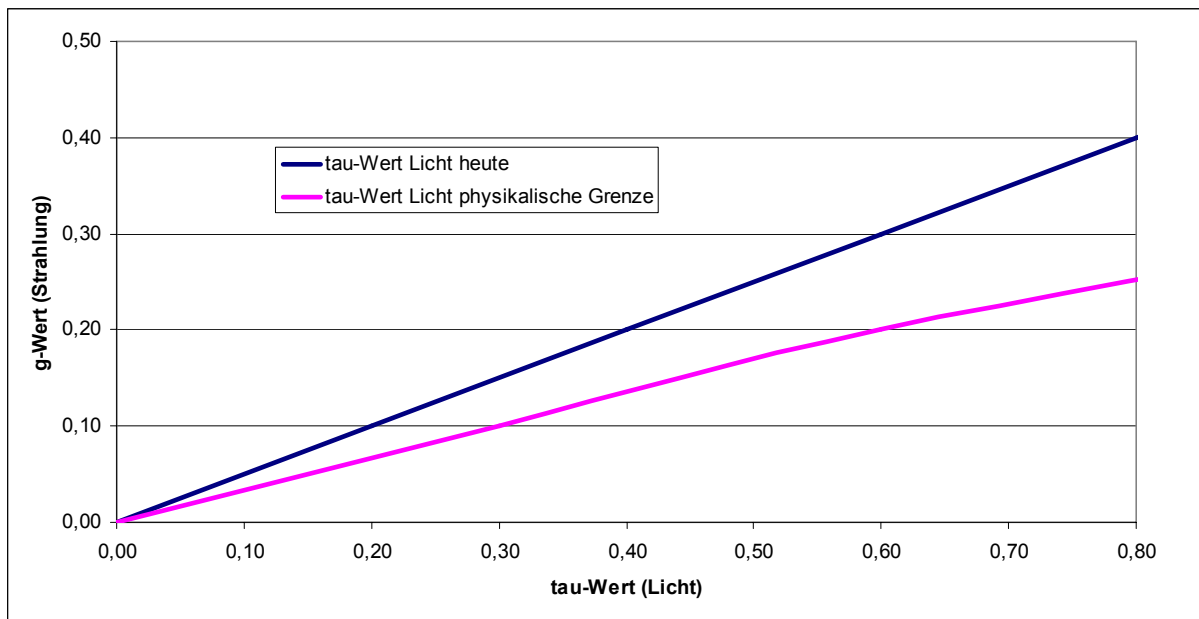
RetroLux Lamellen mit variabler Knickung und mit teilweise reflektierender Oberflächenbeschichtung sind interessante Variationen für den Sonnen- und Blendschutz resp. die Lichtlenkung. Sie werden fix oder starr montiert, als aussenliegender, innenliegender oder im Glaszwischenraum angeordneter Schutz.



Figur 2-22 Gestufte Lamellen im Glaszwischenraum
Quelle: Retro Systeme, Kirn Deutschland (www.retrosolar.de)

Sonnenschutz durch stark reflektierende/absorbierende Sonnenschutzgläser

Minimale g-Werte von Gläsern, die noch als transparent empfunden werden, liegen heute bei etwa 0.2 und einem Tageslichttransmissionsgrad von 0.4. Weniger stark selektive Gläser weisen noch tiefere g-Werte (ca. 0.1) bei ebenfalls tieferen Lichttransmissionswerten (ca. 0.2) auf. Dies entspricht einer Selektivität ($\tau_{\text{Licht}}/g_{\text{Strahlung}}$) von 2. Der Farbwiedergabeindex leidet dabei (80% bis 90%). Die physikalische Grenze der Selektivität von 2 ist aber gemäss Oelhafen noch nicht erreicht (siehe Figur 2-22).



Figur 2-23 Heutige Grenze und physikalische Grenze für Lichtdurchlass tau

Quelle: [2-8] Peter Oelhafen et al., Neue optische Beschichtungen, Basel 2005

Fahrzeug Verglasung

Motorfahrzeuge weisen grundsätzlich dieselben Probleme wie Gebäude auf, wobei die aerodynamische zweifach gekrümmte Formgebung die Möglichkeiten stark einengt. Gebräuchlich sind für Front- und Heckscheiben in Personenwagen normalerweise Verbundsicherheitsgläser. Dafür sind folgende optische Vorschriften für die Lichttransmission der Frontscheibe > 70%/75% international anerkannt; dadurch sind mit speziellen Folien in VSG g-Werte > 0,4 möglich. In flachen (teilweise einfach gekrümmten) Seitenfenstern in öffentlichen Verkehrsmitteln werden häufig ebenfalls 2-fach Isoliergläser (teilweise mit einfachem Sicherheitsglas ESG oder Verbundsicherheitsglas VSG) eingesetzt.

Glaslamellen

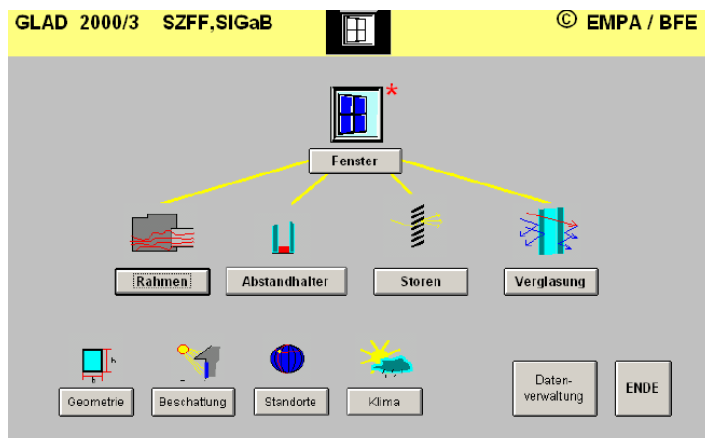
Die Lamelle des Sonnenschutzes kann aus lichtdurchlässigem Material (Glas, Kunststoff) bestehen. Damit besteht eine gewisse Durchsicht, rsp. ein Lichteinfall. Die Verschmutzung wird aber eine zunehmende Wärmeabsorption bei abnehmender Durchsicht verursachen.

2.5.8 Datenbanken

Zuverlässige, vollständige Datenbanken mit standardisierten Angaben vorhandener oder theoretischer Produktkombinationen sind sehr wichtig. Das thermische und optische Zusammenwirken von Sonnenschutz, Fensterrahmen und Glas ist nicht trivial und für eine optimale Planung unerlässlich.

GLAD Empa (Thomas Frank) [2-4]

Anerkanntes Berechnungsverfahren für Windows für Rahmen, Storen, Glas, Abstandshalter, Beschichtung und Füllung.



Figur 2-24 GLAD Optische und thermische Eigenschaften von Fenstern

GLASSDBASE (Uni Basel) [2-5]

Datenbank im Schweizermarkt verfügbarer Glas/Fensterkombinationen mit optischen und thermischen Daten von Gläsern sowie Temperatursimulation.

glassdbase

Die unabhängige und zuverlässige Datenbank für Bauglas: [Messtechniken](#) [Glossar](#) Deutsch [Français](#) [English](#)

Übersicht **Optische Eigenschaften** **Thermische Eigenschaften** **Beispiel: Temperatursimulation**

[Ansicht wechseln](#)

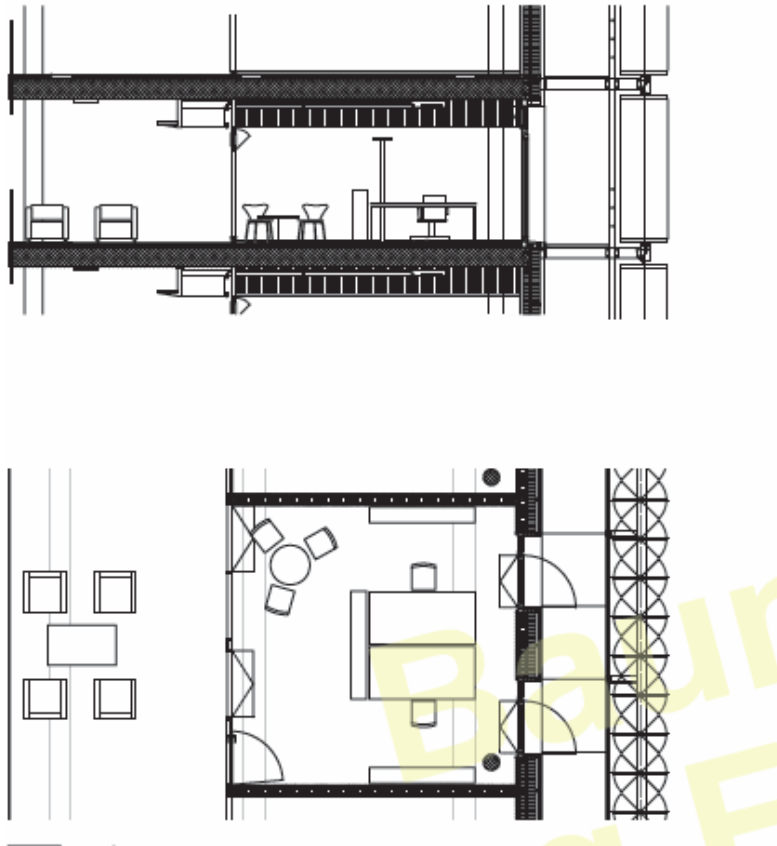
Alle Hersteller anzeigen 50 Einträge/Seite

Vergleichen Auswahl zurücksetzen Gesamtennergiedurchlassgrad g

Hersteller	Produktname/Datenblatt	$g(\varphi=0^\circ)$	$g'(\varphi=0^\circ)$	$T_v/g(\varphi=0^\circ)$
☐ Glas Trösch	Sunstop Silber 12	0.101	0.331	0.740
☐ Pilkington	Insulight TM Sun Silber 36/22	0.194	0.268	1.431
☐ Pilkington	Suncool Brilliant 30/17	0.198	0.503	1.598
☐ POe	Tau_ideal (x,y,z)*V^1/3	0.231	0.231	2.993
☐ MGT Mayer Glastechnik	MGTherm HEAT MIRROR HM44/0.6	0.239	0.218	1.465
☐ Glas Trösch	Sunstop Blau 32	0.245	0.425	1.081
☐ Glas Trösch	Combi Neutral 40/21	0.264	0.372	1.541
☐ Pilkington	Insulight TM Sun Brilliant 50/25 G	0.290	0.483	1.652
☐ MGT Mayer Glastechnik	MGTherm Sunstop 1.0	0.333	0.515	1.670

Figur 2-25 Glas Datenbank
Quelle: Glassdbase Basel

2.5.9 Beispiel mit Vertikallamellen



Figur 2-26 Schnitt/Grundriss EAWAG Forum Chriesbach
Quelle: Architekt Bob Gysin

Baudaten

- Volumen (SIA 116) 38'615 m³
- Geschossfläche GF (SIA 416) 8'533 m²
- Dachfläche (Gebäudegrundfläche) 1'886 m²
- Energiebezugsfläche EBF 11'170 m²
- Energiebezugsfläche EBFo 8'270 m²
- Volumen Warmwasserspeicher 12 m³
- Volumen Speicherbecken Wassergarten 80 m³
- Baukredit (BKP 1–8) 32'720 kFr.
- PV-Anlage 833 kFr.
- Vakuumröhrenkollektor-Anlage 74 kFr.
- Büroarbeit 150 Plätze
- Vortragssaal 140 Plätze
- Seminar- und Sitzungsräume 180 Plätze
- Personalrestaurant 150 Plätze

Energie

- Wärmeleistungsbedarf 8 W/m² EBF
- Heizwärmebedarf Qh (Standardnutzung SIA) 52 MJ/m² EBFa
- Wärmebezug ab Empa-Netz 86 GJ/a
- Kältebezug ab Empa-Netz 43 GJ/a (12 MWh/a)
- Wärmeeinspeisung ins Empa-Netz (theoretisch) 21 GJ/a
- Ertrag Vakuumröhrenkollektoren (50 m²) 86 GJ/a
- Strombedarf 788 GJ/a (219 MWh/a)
- davon Server 137 GJ/a (38 MWh/a)
- Stromerzeugung PV-Anlage (459 m², 77 kWp) 216 GJ/a (60 MWh/a)

- Graue Energie (Primärenergie) insgesamt 43201 GJ/a
- Graue Energie (mittlere Lebensdauer 37,6 a) 1149 GJ/a
- Graue Energie pro Energiebezugsfläche 103 GJ/a (29 kWh/m² EBFa)

Tabelle 2-6 Bau- und Energiedaten, Forum Chriesbach

Quelle: Herbert Güttinger und Ueli Kasser, Bau- und Energiemarkt, 2007



Figur 2-27 EAWAG Forum Chriesbach

Quelle: Architekt Bob Gysin, Baumonographie Eawag Forum Chriesbach

2.6 Das Sommer - Winter - Dilemma

Es stellt sich die Frage, ob unter Berücksichtigung einer Klimaerwärmung auf eine möglichst gute Wärmedämmung der Verglasung und der opaken Aussenflächen von Fassade und Dach bei Dienstleistungsbauten mit entsprechenden Innenlasten verzichtet werden soll, um die sommerliche Nachtauskühlung durch höhere Transmission zu verbessern.

Aus folgenden Gründen sollten auch unter Berücksichtigung einer Klimaerwärmung Verglasungen und opake Aussenflächen mit möglichst guten U-Werten gewählt werden:

2.6.1 Bedeutung der Temperaturdifferenzen innen/aussen im Winter und im Sommer

- **U-Wert Winter:** wichtig wegen hoher Temperaturdifferenz von 28 K (aussen Tagesmittel -8°C /innen Sollwert $+20^{\circ}\text{C}$), Behaglichkeit und Kondensatbildung erfordert möglichst hohe innere Oberflächentemperaturen, spezifischer Wärmeleistungsbedarf bei $U_{\text{Glas}} = 1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ für Auslegetemperatur ist 28 W/m^2 (für die mittlere Wintertemperatur von $+4^{\circ}\text{C}$ ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 16 K und damit nur 16 W/m^2)
- **U-Wert Sommer:** Temperaturdifferenz ist 6 K im sommerlichen Tagesmittel bis max. 10 K als extremer Stundenwert (aussen Tagesmittel $+30^{\circ}\text{C}$ /innen Sollwert $+24^{\circ}\text{C}$), spezifischer Wärmeleistungsbedarf bei $U_{\text{Glas}} = 1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ für Tagesmitteltemperatur ist 6 W/m^2 (Spitzenstundenwert $< 10 \text{ W/m}^2$). Wenn die Aussentemperatur z.B. nachts über der Innentemperatur liegt, reduziert ein guter U-Wert der Verglasung den unerwünschten Wärmeeintrag und ist damit wie im Winter ein positiver Effekt. Mit Berücksichtigung der Erhöhung der äusseren Oberflächentemperatur durch Sonnenstrahlung wird dieser Effekt noch verstärkt. Wenn im Sommer die Aussentemperatur unter der Raumtemperatur liegt, kann durch Transmission ein erwünschter Wärmeabfluss erfolgen. In dieser Situation ist ein schlechterer U-Wert günstiger. Allerdings ist in diesen Situationen die Temperaturdifferenz und damit die Wirkung gering. Bei einer Aussentemperatur von 20°C und einer Innentemperatur von 26°C ist der Wärmefluss nach aussen bei $U_{\text{Glas}} = 1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ lediglich 6 W/m^2 .

2.6.2 Bedeutung des Luftaustausches innen/aussen im Winter und im Sommer

- **Luftaustausch Winter:** Wegen hoher Temperaturdifferenz innen/aussen ist das Ziel, eine dichte Gebäudehülle und ein minimaler Luftaustausch innen/aussen (bestimmt durch erforderliche minimale Aussenluftzufuhr pro Person).
- **Luftaustausch Sommer:** Wünschbarer hoher Luftaustausch bei Aussentemperaturen unter den Innentemperaturen. Gezielter höherer Luftaustausch durch Fenster oder mechanische Lüftung nachts bei Tagesaussentemperatur-Minimum, verminderter Luftaustausch bei Aussentemperaturen über Innentemperaturen.

2.6.3 Bedeutung des Sonnenschutzes im Winter und im Sommer

- **Sonnenschutz Winter:** Möglicher Beitrag des manuellen Sonnenschutzes zur Verminderung der Blendung.
- **Sonnenschutz Sommer:** Zwingender Beitrag des effizienten und mechanisch gesteuerten Sonnenschutzes zur Verminderung der maximalen Globalstrahlung von circa 1000 W/m² auf 100 W/m².

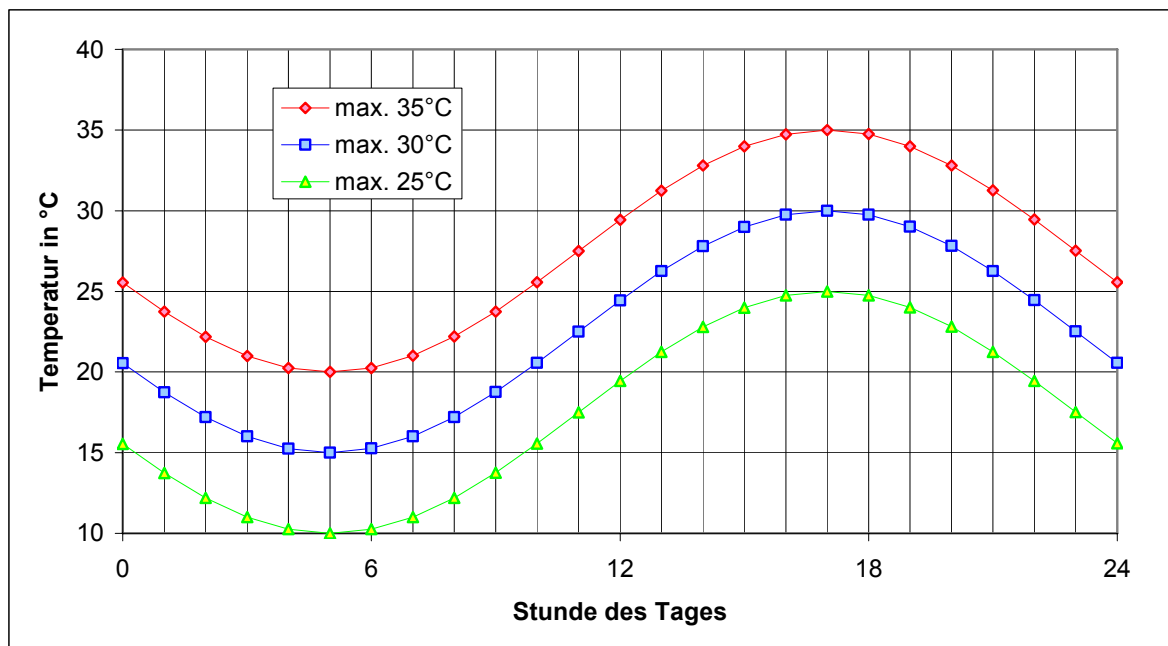
2.6.4 Bedeutung der Innen- und Aussenlasten

Dienstleistungsbauten unterscheiden sich von Wohnbauten durch ihre höheren inneren Wärmelasten (elektrische Geräte, Beleuchtung, dichtere Personenbelegung). Wie in den folgenden Überlegungen zum Tagesgang der Globalstrahlung ausgeführt wird, ist diese in den Fenster-nahen Arbeitszonen meistens wesentlich grösser als die inneren Wärmelasten (besonders natürlich bei hohem Fensteranteil und geringem Sonnenschutz). Die inneren Wärmelasten müssen durch effiziente Bürogeräte und Beleuchtung sowie geringe Standby-Verluste tief gehalten werden. Durch die geringe Temperaturdifferenz innen/aussen ist der sommerliche Wärmeabfluss von Innenlasten durch Transmission bei Fenstern und opaken Flächen gering.

2.6.5 Bedeutung der Tagestemperaturschwankung im Sommer

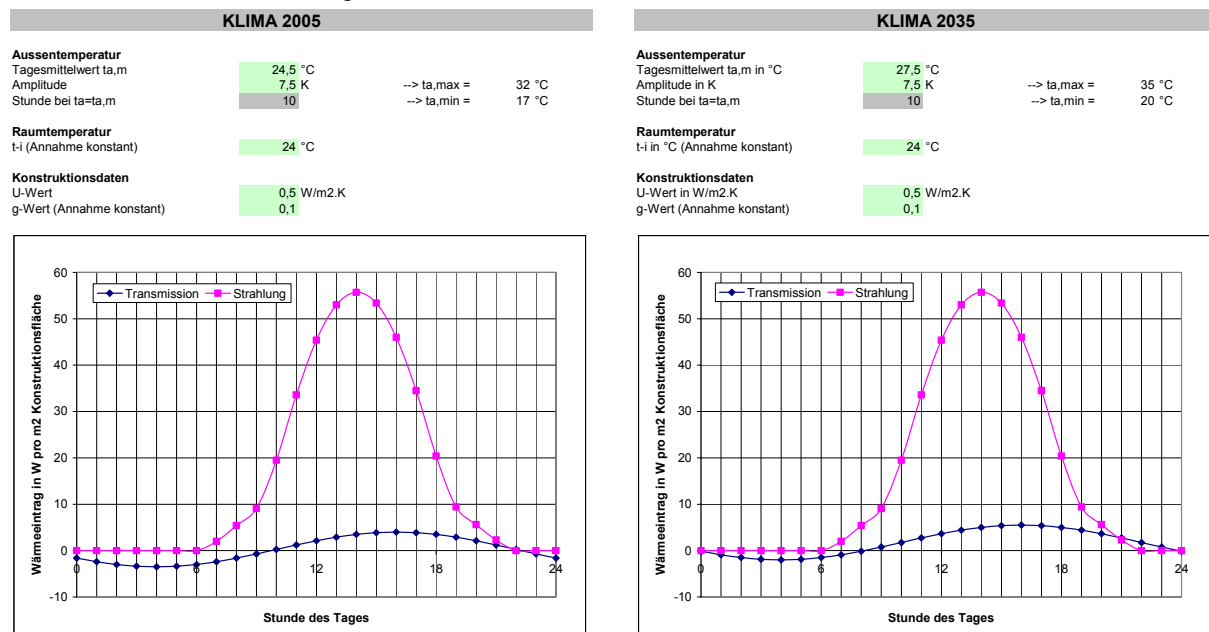
An einem sehr warmen Sommertag mit einer maximalen Aussentemperatur von 35° C und einer Amplitude von 7.5 K fällt die Aussentemperatur nicht unter 20° C. Eine Abkühlung durch Transmission in der Nacht entfällt damit ohnehin sehr weitgehend (Figur 2-28).

	max. 35°C	max. 30°C	max. 25°C
Tagesmittelwert ta,m	27,5	22,5	17,5 °C
Amplitude	7,5	7,5	7,5 K
Stunde bei ta=ta,m	11	11	11



Figur 2-28 Schematischer Tagesgang der Aussentemperaturen

2.6.6 Relative Bedeutung des Wärmeflusses durch Transmission



Figur 2-29 Wärmeleistungsbeitrag von Transmission und Strahlung bei Klima 2005 und 2035
Orientierung Süd, Jahreszeit Sommer

Die Absolutwerte der Transmission im Sommer sind selbst mit einem sehr guten Sonnenschutz immer wesentlich kleiner als die Wärmeeinträge durch die Strahlung. Der Einfluss der Klimaerwärmung ist diesbezüglich vernachlässigbar (Figur 2-28). An einem sonnigen Tag mit einer maximalen Aussentemperatur von 28° C und einer Raumtemperatur von 24° C ergeben sich z.B. etwa die folgenden Tagessummen der Wärmeströme durch die Verglasung (Tabelle 2-7):

Transmission		Strahlung	
U-Wert W/m ² .K	Wärmestrom Wh/m ² .24 h	g-Wert	Wärmestrom Wh/m ² .24 h
0.5	- 46	0.10	+ 492
1.0	- 91	0.15	+ 738
1.5	- 137	0.30	+ 1475

Tabelle 2-7 Vergleich Erwärmungsbeitrag Transmission und Globalstrahlung

Die etwas grössere Wärmeabfuhr durch Transmission mit z.B. $U = 1.0$ statt $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ wird durch eine Verbesserung des g-Wertes um lediglich etwa 0.01 kompensiert.

Die Absolutwerte der Transmission im Sommer sind auch kleiner als die Wärmeeinträge resp. die Kühlwirkung mit der Lüftung. In einem Raum mit $L \times B \times H = 5 \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 60 \text{ m}^3$ und einer Glasfläche von 6 m^2 (Glasanteil der Fassade 50 %, Glasfläche/Bodenfläche 30 %) entspricht eine U-Wert-Differenz der Verglasung von $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ der Wirkung einer Lüftung mit etwa 0.15 LW/h . Mit einer Nachtlüftung mit z.B. 3 LW/h wird damit eine wesentlich bessere Kühlung erreicht als mit einem schlechteren U-Wert der Verglasung.

2.6.7 Bedeutung des thermischen Komforts

Vor allem bei grösseren Glasanteilen ist ein guter U-Wert die Voraussetzung dafür, dass der Strahlungskomfort im Winter ohne aufwendige zusätzliche Massnahmen gewährleistet ist. Auch im Sommer ist ein guter U-Wert für den thermischen Komfort günstiger.

2.7 Zusammenfassung Gebäudetypologie und Sonnenschutz

Unter den vielfältigen möglichen Massnahmen zur Verminderung der sommerlichen Übererwärmung hat der Architekt als Gestalter des Gebäudes (Grundriss, Masse, Fassade, etc.) einige Trumpfkarten.

Die wichtigsten Schlüsse sind wie folgt:

- Grundrisse mit tiefen Räumen (6 m und mehr) erlauben eine bessere Verteilung der solaren Wärmelast tiefer in den Grundriss hinein; trotz allenfalls nötiger künstlicher Beleuchtung ist es energieeffizient und behaglich. Über Eck verglast Räume sind thermisch ungünstig.
- Massive Gebäude ($> 300 \text{ kg/m}^2$) mit einem grossen Anteil ($> 50\%$) an thermisch aktiven Oberflächen können die Tagesamplitude der Sommertemperaturen dämpfen und Spitzen vermindern helfen. Künftig kann allenfalls mit dem Einsatz von Oberflächenbeschichtungen mit Latentspeichermaterialien die Wirkung der Wärmespeicherung vergrössert werden.
- Gebäude mit Fassaden mit hohem Glasanteil ($> 60\%$ Nettoglasfläche pro Fassadenfläche, $> 25\%$ Nettoglasfläche pro EBF) erschweren die mögliche Verminderung der solaren Wärmelast. Hoher Glasanteil ist realisierbar, erfordert aber ausgezeichnete motorisierte und automatisch gesteuerte aussenliegende Sonnenschutzvorrichtungen mit einem orientierungsabhängigen g-Wert. Bei einem hohen Glasanteil über 50% muss der g-Wert bis auf $0,08$ (gemäss SIA 382/1) vermindert werden. Die Sonnenschutzanlage muss automatisch bei mehr als 150 W/m^2 Globalstrahlung auf der jeweiligen Fassade in Betrieb gehen. Es ist u.U. in den Übergangszeiten sinnvoll, die Sonnenschutzanlage nach der Raumtemperatur zu steuern. Der technische Aufwand einer automatisierten Sonnenschutzanlage für Strahlungsmessung, Programmierung, Motorisierung, etc. ist beträchtlich. Die dauerhafte und störungsarme Anwendung (Böenspitzen bis 75 km/h) von äusseren Sonnenschutzanlagen bei hohen Gebäuden über 30 m ist praktisch nicht möglich. Dazu stehen reflektierende Storensysteme im Zwischenraum des Isolierglases und/oder sehr stark beschichtete Sonnenschutzgläser zur Verfügung. Eigentliche Doppelfassaden mit begehbarem Zwischenraum können das thermische und energetische Problem ebenfalls mit entsprechenden Sonnenschutz- und Luftauslasseinrichtungen lösen, sind aber insgesamt in der Erstellung aufwändiger. Bei allen aussenliegenden Sonnenschutzanlagen ist die Verminderung der Reflexion durch die Verschmutzung zu beachten.
- Der Sonnenschutz ist am besten (d.h. am effizientesten), wenn er aussenliegend, hinterlüftet, stark reflektierend und beweglich ist. Die universelle Verwendung von Glaslamellen mit geringer Reflexion (aber hoher Verschmutzung) ist wenig sinnvoll. Die Lamellengrösse kann bei gleicher Wirkung zwischen $0,1$ und 100 cm variieren. Für den ungehinderten Ausblick sind feine Mikrolamellen ($0,3$ bis 1 cm) und grosse Makrolamellen (50 bis 100 cm) günstiger als die gebräuchlichen Lamellen zwischen 6 und 30 cm . Raffbare Lamellensysteme mit nach der Höhe unterschiedlicher Drehung können die Steuerung des Lichteinfalls begünstigen. Fest stehende Sonnenschutzseinrichtungen (vertikale Lamellen gegen Ost und West, horizontale Lamellen gegen Süd) sind nur wirksam, wenn sie dem direkten Sonneneinfallswinkel entsprechend eine starke Verschattung bilden. Damit vermindern sie aber dauernd den Tageslichteinfall. Sie sind in unseren Breitengraden nicht geeignet.
- Aktive Sonnenschutzelemente zur Produktion von Wärme oder Strom stellen eine neue und interessante Spielart für die Beschattung dar.
- Unabhängig vom Sonnenschutz sind innere bewegliche Blendschutzeinrichtungen für fensternahe Arbeitsplätze an Ost-, Süd- und Westfassaden bei hohem Glasanteil unerlässlich.
- Auch bei Dienstleistungsbauten ist ein guter U-Wert von Verglasung und opaken Flächen an Dach und Fassade, wie er für den winterlichen Wärmeschutz gefordert ist, nicht nachteilig für den sommerlichen Wärmeschutz.

2.8 Referenzen Gebäudetypologie

- | | | |
|-------|--|---|
| [2-1] | SIA Merkblatt 2021 | Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz, Zürich 2001 |
| [2-2] | Winfried Heusler, Andrea Compagno, et al.: | Doppelfassaden, Berlin 2001 |
| [2-3] | SIA Norm 382/1 | Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Zürich 2007 |
| [2-4] | GLAD | Glasdatenbank Empa, WIS Advanced Windows Information Systems www.windat.org |
| [2-5] | Glassdbase | Universität Basel www.glassdbase.unibas.ch |
| [2-6] | P. Schossig et al. | Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials, in: Solar Energy and Solar Cells 89, 2005 |

- | | | |
|-------|------------------------|---|
| [2-7] | Basler & Hofmann | Oberstufenschulhaus Albisriederplatz: Windeinfluss auf das Beschattungssystem und Auswirkungen auf den thermischen Komfort, Zürich 2004 |
| [2-8] | Peter Oelhafen et al., | Neue optische Beschichtungen, Basel 2005 |

3. Lüftungs- und Klimaanlage

In der neuen SIA 382/1 [3-1] werden alle lüftungstechnischen Anlagen mit einer Kühlfunktion als Klimaanlage bezeichnet. Ohne eine Befeuchtung gilt die Anlage als einfache Klimaanlage. Zusätzliche Funktionen sind eine Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung. Die entsprechenden Definitionen sind aus der Tabelle 3-1 ersichtlich.

Anlagentyp		Zuluftförderung	Abluftförderung	WRG / AWN	Filtern der Zuluft	Heizen	Kühlen	Befeuchten	Entfeuchten
	Einfache Zuluftanlage				x	–			
	Zuluftanlage mit Lufterwärmung				x	x			
	Einfache Abluftanlage								
	Abluftanlage mit Abwärmenutzung								
Lüftungsanlage	Einfache Lüftungsanlage				x				
	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung				x	x			
	Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und Luftbefeuchtung				x	x		x	
Klimaanlage	Einfache Klimaanlage				x	x	x	–	(x)
	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung				x	x	x	x	(x)
	Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und Luftentfeuchtung				x	x	X	x	x

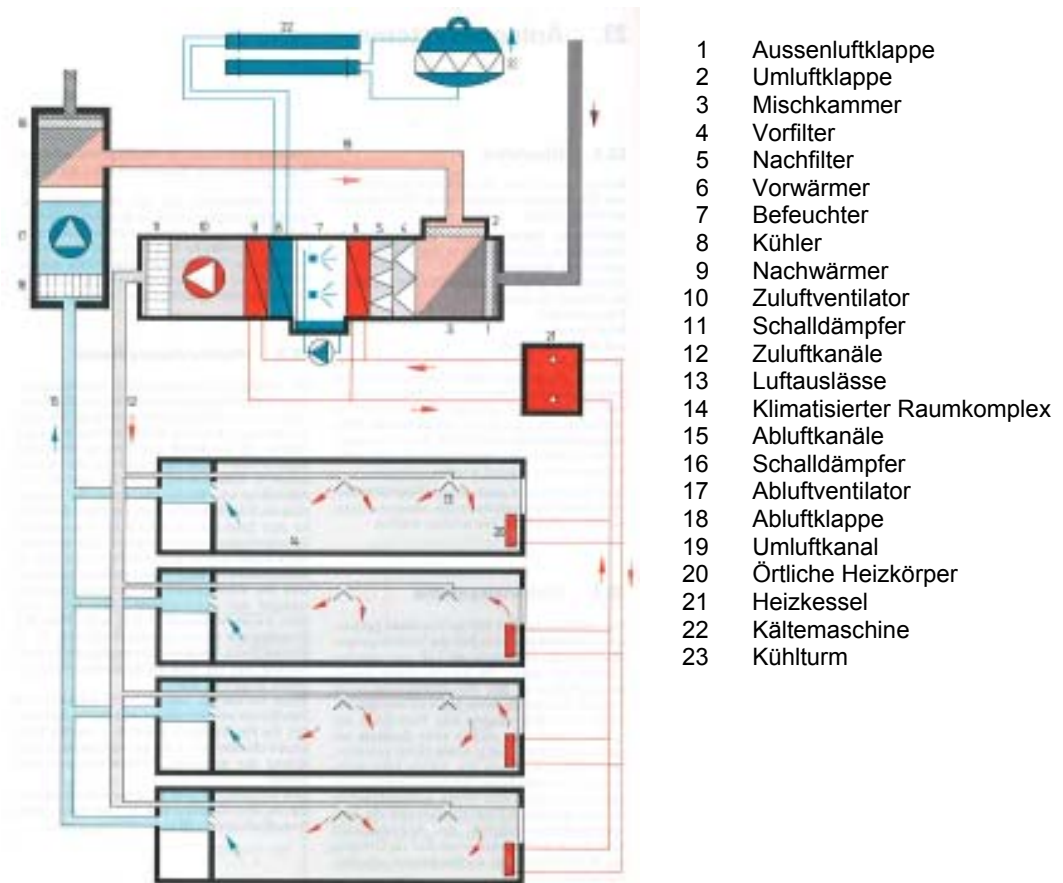
– nicht beeinflusst durch das System bzw. nicht möglich oder nicht vorhanden
 x durch das System kontrolliert und Einhaltung entsprechender Garantiewerte im Raum
 (x) durch das System beeinflusst, aber ohne Garantiewerte im Raum

Tabelle 3-1 Anlagentypen von Lüftungs- und Klimaanlage nach Funktionen
Quelle: SIA 382/1

3.1 Anlagensysteme nach der Art der Luftverteilung

Eine Typisierung der Anlagensysteme kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen und in der Praxis trifft man die unterschiedlichsten Mischformen von Systemen. Nachfolgend wird eine Typisierung der Anlagensysteme nach der Art der Luftverteilung gezeigt, wie sie im Handbuch Klimatechnik dargestellt wird [3-2].

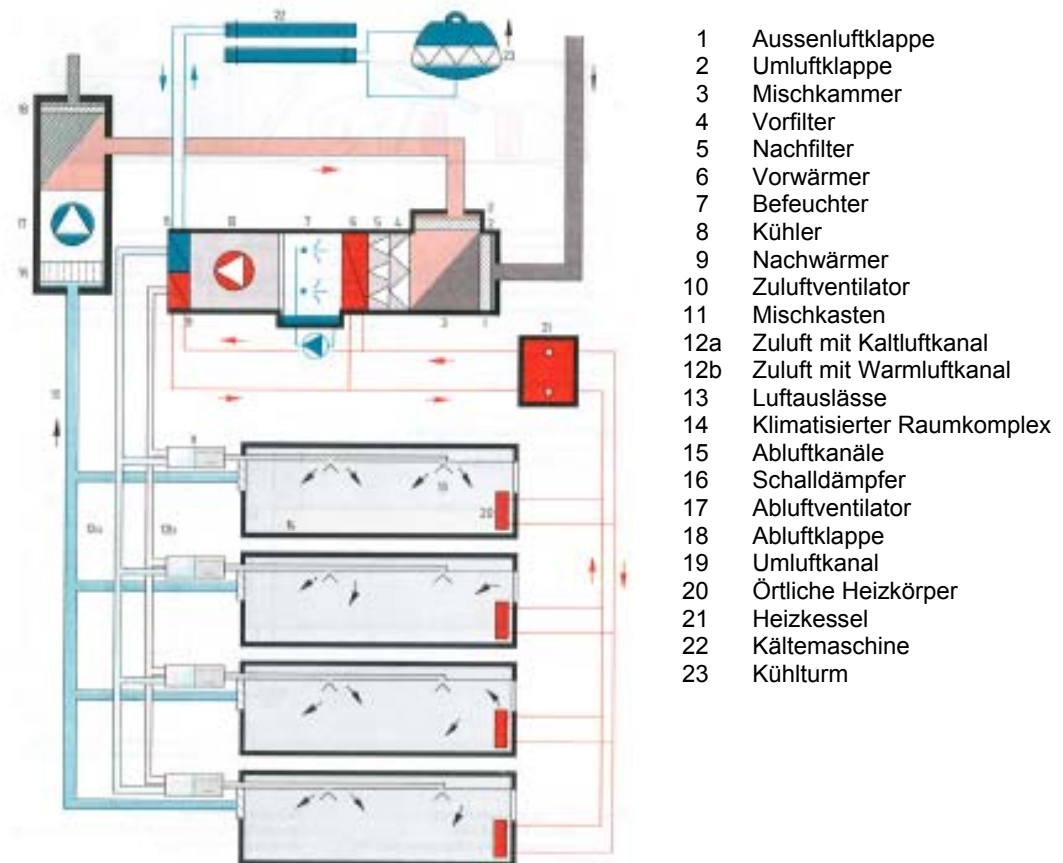
3.1.1 Einkanalssystem



Figur 3-1 Übersicht Einkanalssystem nach [3-2]

Beim Einkanalssystem wird die Zuluft für die ganze versorgte Zone auf einen einheitlichen Zustand aufbereitet. Das System wird ergänzt durch eine Heizung mit Heizkörpern oder auch durch eine Bodenheizung oder ein thermoaktives Bauteilsystem, wobei im zweiten Fall dank der grossen Fläche über das Wassersystem auch gekühlt werden kann.

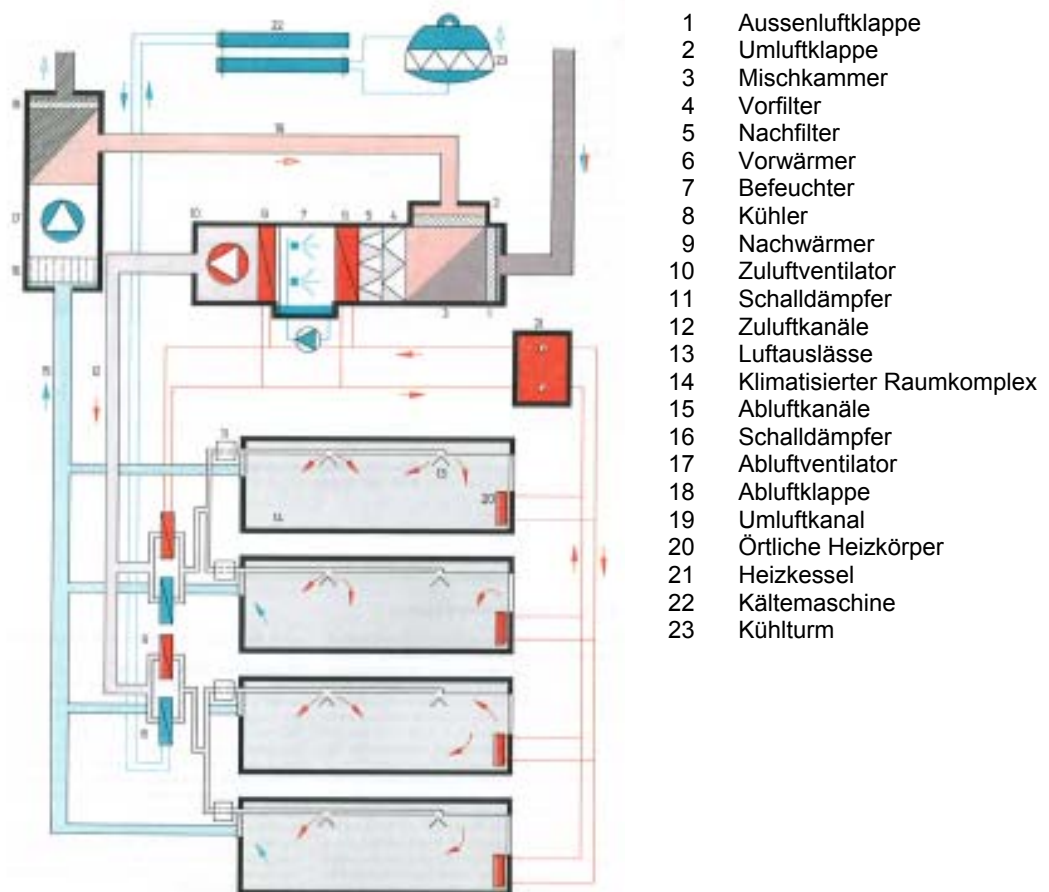
3.1.2 Zweikanalsystem



Figur 3-2 Übersicht Zweikanalsystem nach [3-2]

Bei einem Zweikanalsystem werden zwei Zuluftstränge mit unterschiedlich aufbereiteter Luft zu den Räumen geführt und pro Raum wird die erforderliche Zulufttemperatur durch die Mischung beider Zuluftströme erreicht.

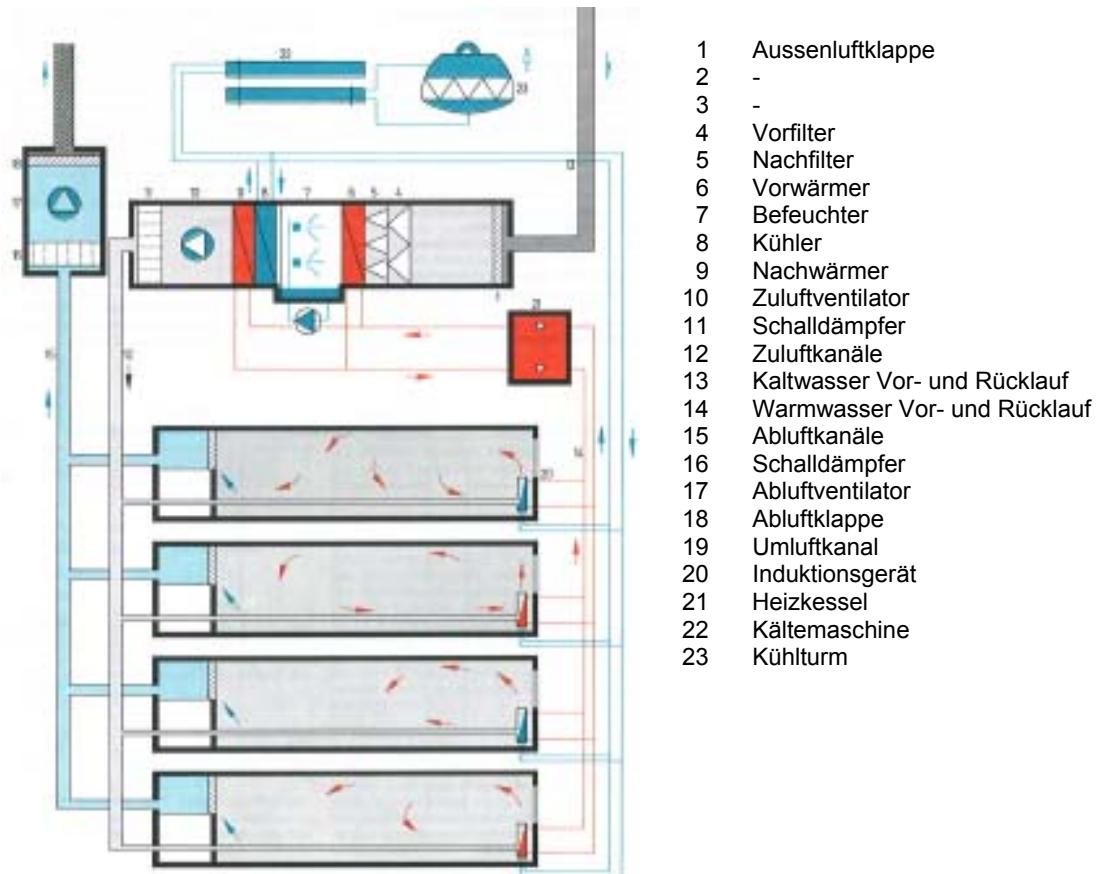
3.1.3 Mehrzonensystem



Figur 3-3 Übersicht Mehrzonensystem nach [3-2]

Beim Mehrzonensystem wird die Zuluft in der Zentrale wie beim Einkanalsystem auf einen einheitlichen Zustand aufbereitet. Bei den einzelnen Räumen oder Raumgruppen erfolgt eine dezentrale Nachwärmung und Kühlung.

3.1.4 Induktionssystem



Figur 3-4 Übersicht Induktionssystem nach [3-2]

Beim Induktionssystem wird ein (reduzierter) Zuluftstrom in der Zentrale auf einen einheitlichen Zustand aufbereitet. In den Räumen erfolgt im Induktionsgerät eine Nachbehandlung und unter Verwendung von Umluft eine Erhöhung des Zuluftvolumenstroms. Mit dem erhöhten Zuluftstrom wird eine grössere Leistung des Systems erreicht.

3.1.5 Beurteilung der Anlagensysteme nach der Art der Luftverteilung

In der Schweiz hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass der Luftvolumenstrom von Lüftungs- und Klimaanlage aufgrund der hygienischen Anforderungen (Lufrate pro Person) festgelegt und dass ein ergänzendes Wassersystem eingesetzt werden soll, wenn mit dem Luftsystem die erforderliche Wärme- oder Kälteleistung nicht erbracht werden kann. Entsprechend werden heute in der Regel Ein-kanalsysteme mit Luftmengen verwendet, welche aufgrund der Personenbelegung bestimmt worden sind. Bei Nutzungen mit variabler Personenbelegung wird das System verfeinert durch variable Luftvolumenströme, welche z.B. aufgrund von CO₂- oder Mischgasfühlern in den Räumen bestimmt werden. Die anderen Systeme sind in der Regel energetisch weniger günstig und werden nur noch in Spezialfällen angewendet.

3.2 Zentrale und dezentrale Anlagen zur Konditionierung der Raumluft

3.2.1 Allgemeine Beurteilung

In der klassischen Klimatechnik werden zentrale oder zonenweise Anlagen zur Konditionierung der Raumluft verwendet. In letzter Zeit werden vermehrt dezentrale Lösungen propagiert und ausgeführt, welche vor allem bezüglich Platzbedarf und gestalterischer Freiheit im Grundriss Vorteile bieten. Die Tabelle 3-2 zeigt eine vergleichende Bewertung von zentralen und dezentralen Lösungen zur Konditionierung der Raumluft.

Kriterien	Benotung* für	
	zentrale Lösung	dezentrale Lösung
Platzbedarf im Grundriss	2	4
Platzbedarf in der Höhe	2	4
Gestalterische Freiheit im Grundriss	2	4
Gestalterische Freiheit in der Fassade	5	1
Hygiene	4	2
Wartungsaufwand	4	1
Energieaufwand (siehe auch 3.2)	3	3
Investitionskosten	2	4
Total	24	23

- * *Note 1 = wesentlich schlechter als Vergleichslösung*
Note 2 = schlechter als Vergleichslösung
Note 3 = neutral
Note 4 = besser als Vergleichslösung
Note 5 = wesentlich besser als Vergleichslösung

Tabelle 3-2 Bewertung von zentralen und dezentralen Lösungen zur Raumluft-Konditionierung

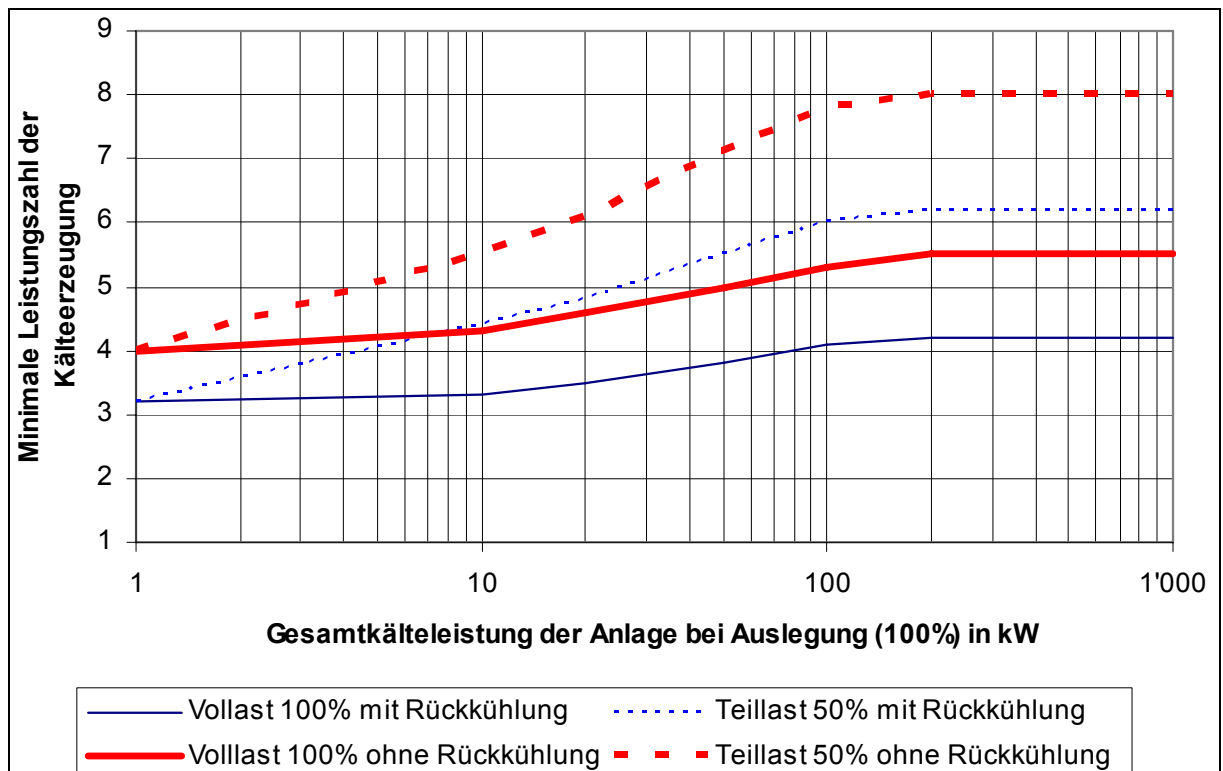
Je nach Gewichtung der verschiedenen Kriterien in Tabelle 3-2 steht die zentrale oder die dezentrale Lösung zur Konditionierung der Raumluft im Vordergrund. Die Nachteile von dezentralen Lösungen betreffend Hygiene und Wartungsaufwand können durch die unbestreitbaren Vorteile betreffend Platzbedarf, gestalterische Freiheit im Grundriss und Investitionskosten in der Regel nicht kompensiert werden.

Bei Wohnbauten ist eine separate Anlage pro Wohnung zu empfehlen oder bei einer zentralen Anlage für mehrere Wohnungen ist ein individueller Betrieb pro Wohnung ohne Übertragung von Gerüchen und Schall zu ermöglichen.

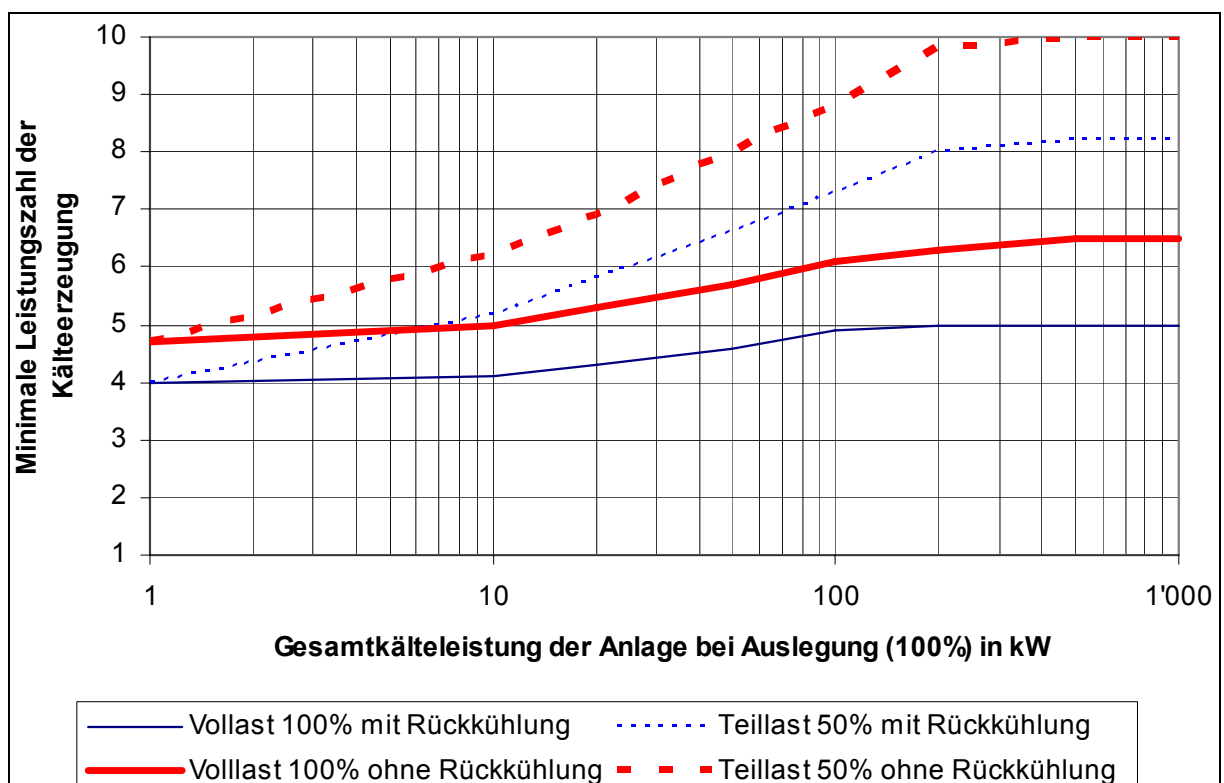
3.2.2 Energieaufwand

Kälteerzeugung

Die neue SIA 382/1:2007 enthält erstmals Anforderungen (Grenz- und Zielwerte) an die minimale Leistungszahl von Kälteanlagen inkl. Rückkühlung (Pumpen und Ventilatoren). Die Anforderungen sind abhängig von der Gesamtkälteleistung der Anlage und gelten bei Volllast (100 %) und Teillast (50 %). Diese Anforderungen sind in den Figuren 3-5 (Grenzwerte) und 3-6 (Zielwerte) dargestellt, wobei die Figuren zusätzlich auch die entsprechenden Leistungszahlen ohne Rückkühlung zeigen.



Figur 3-5 Grenzwerke für die Leistungszahl der Kälteerzeugung nach SIA 382/1



Figur 3-6 Zielwerte für die Leistungszahl der Kälteerzeugung nach SIA 382/1

Die Anforderungen in der SIA 382/1 zeigen indirekt, dass bei Kälteleistungen unter etwa 10 kW und über etwa 200 kW zumindest im Volllastbetrieb die energetische Qualität der Kälteerzeugung nicht von der Kälteleistung abhängig sein muss. Im Zwischenbereich von 10 bis 200 kW kann mit zunehmender Kälteleistung der Anlage eine bessere Energieeffizienz erwartet werden. Eine zentrale Kälteerzeugung in diesem Leistungsbereich kann also gegenüber einer dezentralen Lösung energetische Vorteile bringen.

Luftförderung

Der Energiebedarf für die Luftförderung ist gegeben durch:

$$E = h \cdot \frac{V \cdot \Delta p}{\eta}$$

E	=	Energiebedarf
h	=	Betriebszeit
V	=	Luftvolumenstrom
Δp	=	Druckdifferenz
η	=	Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor und Antrieb

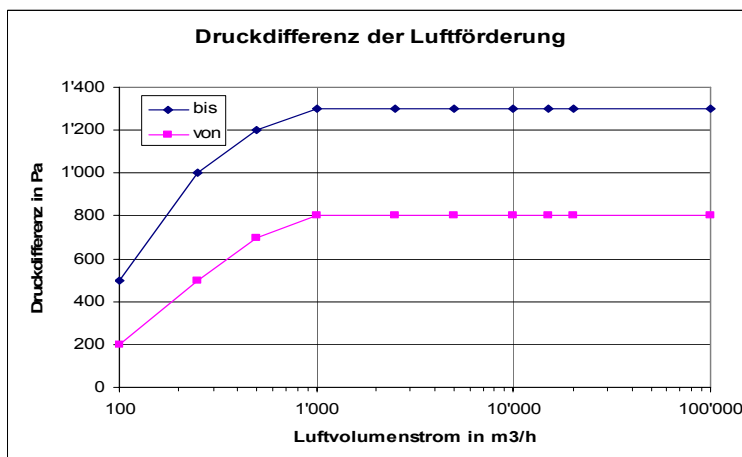
Ausgehend von der Annahme, dass die Luftversorgung (Betriebszeit und Luftvolumenstrom) bei der zentralen und dezentralen Lösung gleich ist, wird der energetische Vergleich der beiden Lösungen bestimmt durch die Abhängigkeit der Druckverluste und Wirkungsgrade vom Luftvolumenstrom.

In der SIA 382/1 sind die maximalen Druckverluste der verschiedenen Anlagentypen gemäss Tabelle 3-3 festgelegt.

Anlagentyp	Maximale Druckverluste in Pa		
	Zuluftanlage	Abluftanlage	Total
Einfache Zuluftanlage	100 – 150	–	100 – 150
Zuluftanlage mit Lufterwärmung, Umluftkühlgerät	100 – 200	–	100 – 200
Einfache Abluftanlage	–	50 – 100	50 – 100
Abluftanlage mit Abwärmenutzung	–	150 – 300	150 – 300
Einfache Lüftungsanlage	250 – 400	150 – 300	400 – 700
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	400 – 600	300 – 500	700 – 1100
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und -befeuchtung	420 – 650	330 – 550	750 – 1200
Einfache Klimaanlage	460 – 700	340 – 600	800 – 1300
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	500 – 750	400 – 650	900 – 1400
Klimaanlage mit Luftbe- und -entfeuchtung	600 – 900	500 – 800	1100 – 1700

Tabelle 3-3 Maximale Druckverluste der verschiedenen Anlagentypen nach SIA 382/1

Für das Projekt WaSo werden einfache Klimaanlage, d.h. Anlagen mit Kühlung aber ohne Luftbefeuchtung und ohne Luftentfeuchtung, betrachtet. Für diese Anlagen werden in der Tabelle totale Druckverluste von maximal 800 bis 1'300 Pa vorgegeben. Für die weiteren Betrachtungen wird angenommen, dass diese Vorgabe der Norm SIA 382/1 bei Luftvolumenströmen über 1'000 m³/h eingehalten wird und dass bei kleineren Luftvolumenströmen die reduzierten Druckdifferenzen gemäss Figur 3-7 eingehalten werden.

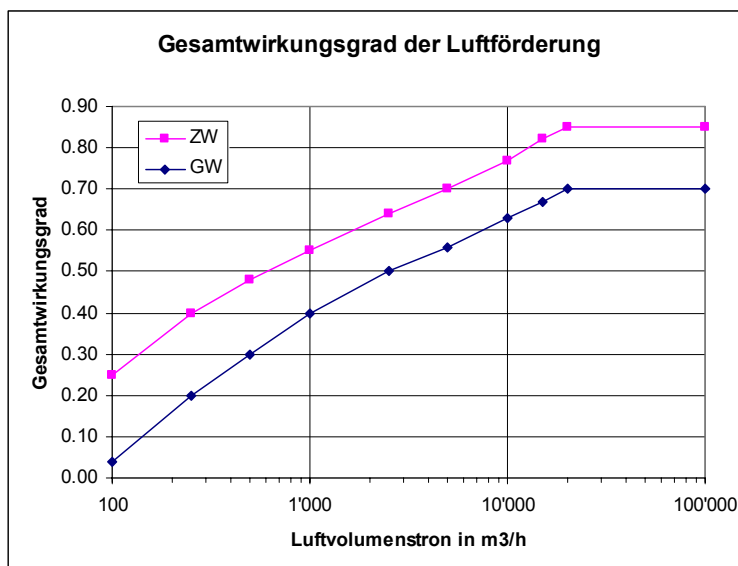


Figur 3-7 Bereiche der Druckdifferenzen der Luftförderung je nach Luftvolumenstrom (bei >1'000 m³/h nach SIA 382/1)

Für den Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoren enthält die SIA 382/1 die Grenz- und Zielwerte nach Tabelle 3-4, welche in Figur 3-8 grafisch dargestellt sind.

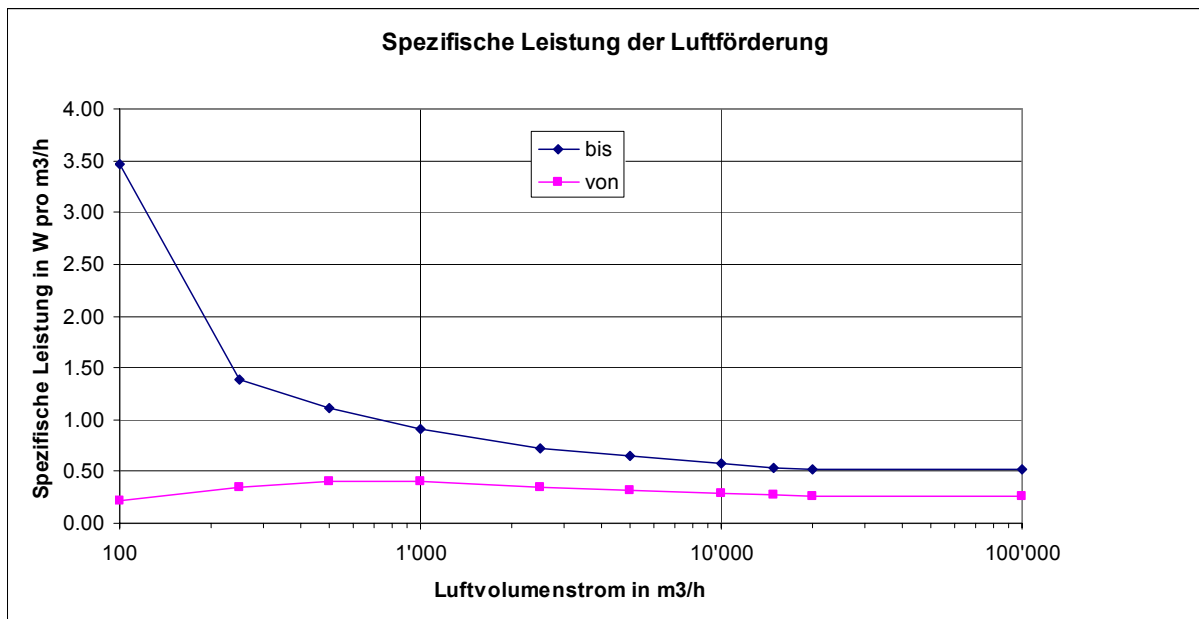
Nennluftstrom m ³ /h	Gesamtwirkungsgrad	
	Grenzwert	Zielwert
≤ 100	0,04	0,25
250	0,20	0,40
500	0,30	0,48
1'000	0,40	0,55
2'500	0,50	0,64
5'000	0,56	0,70
10'000	0,63	0,77
15'000	0,67	0,82
≥ 20'000	0,70	0,85

Tabelle 3-4 Grenz- und Zielwerte für den Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoren nach SIA 382/1



Figur 3-8 Grafische Darstellung der Grenz- und Zielwerte von Tabelle 3-4

Auf der Basis der Angaben in den Figuren 3-7 und 3-8 resultiert der Bereich der spezifischen Leistung der Luftförderung gemäss Figur 3-9. Die untere Grenze des Bereiches ergibt sich aus der Kombination von tiefen Druckverlusten und hohen Wirkungsgraden, die obere Grenze aus hohen Druckverlusten und tiefen Wirkungsgraden.



Figur 3-9 Resultierender Bereich der spezifischen Leistung der Luftförderung je nach Luftvolumenstrom

Beispiel

Bürräume mit total 1'000 m² Bodenfläche
 10 m² Bodenfläche pro Person, d.h. 100 Personen
 Lüftrate 36 m³/(h.Person), total 3'600 m³/h entsprechend 3.6 m³/(h.m²)

- Variante dezentrale Luftförderung mit Geräten à 144 m³/h für 40 m² Bodenfläche:
 Spezifische Leistung Luftförderung 0.3 – 2.5 W pro m³/h
- Variante zentrale Luftförderung der 3'600 m³/h:
 Spezifische Leistung Luftförderung 0.3 – 0.7 W pro m³/h

Der trompetenförmige Bereich der spezifischen Leistung in Figur 3-9 zeigt, dass dezentrale Anlagen mit entsprechend kleinen Luftvolumenströmen bei guten Komponenten energetisch gleich gut sein können wie zentrale Anlagen. Bei den heute noch weit verbreiteten Kleinventilatoren mit sehr schlechten Wirkungsgraden ist aber die spezifische Leistungsaufnahme auch bei kleineren Druckverlusten deutlich grösser als bei zentralen Anlagen.

3.3 Kühlen und Heizen mit Luft oder Wasser als Energieträger

3.3.1 Luft als Energieträger

Beim Kühlen und Heizen mit Luft als Energieträger erfolgt die Wirkung durch Luft, welche mit einer Temperatur unter oder über der Raumtemperatur eingeblasen wird. Nach dem Aussenluftanteil unterscheidet man:

- Aussenluftanlage (die Luft wird vollständig von aussen eingebracht)
- Umluftanlage (es wird 100 % im Gebäude zirkulierende Luft verwendet)
- Mischluftanlage (der zirkulierenden Gebäudeluft wird Aussenluft beigemischt)
- Bei einer Temperatur um 20°C und einem Luftdruck von 966 mbar (mittlerer Luftdruck auf einer Höhe von 400 m ü.M.) hat Luft etwa die folgenden Kennwerte:
- Dichte $\rho = 1.13 \text{ kg/m}^3$
- Spezifische Wärmekapazität $c_p = 1.02 \text{ kJ/kg.K}$
- $\rho \cdot c_p = 1.15 \text{ kJ/m}^3.\text{K}$

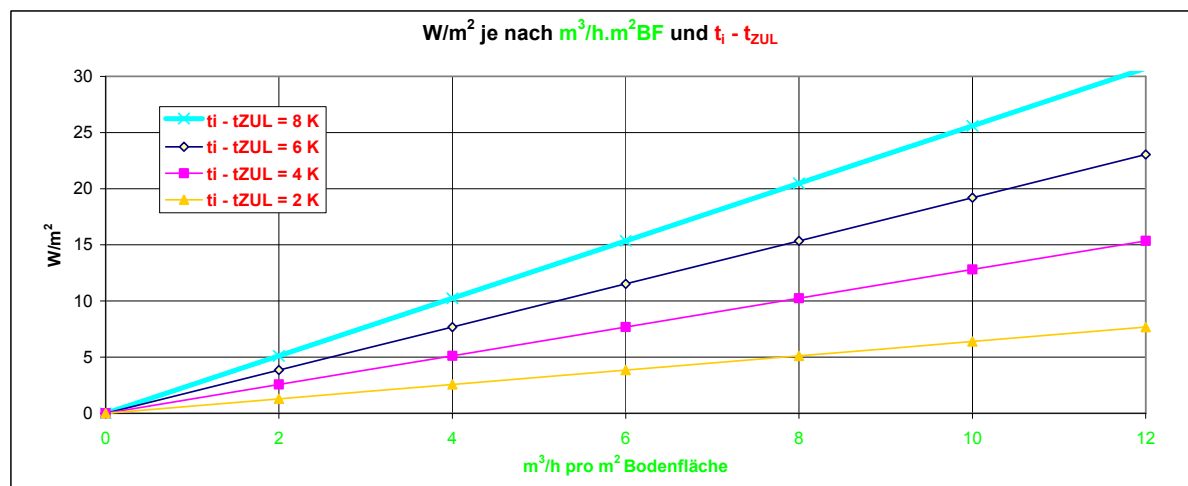
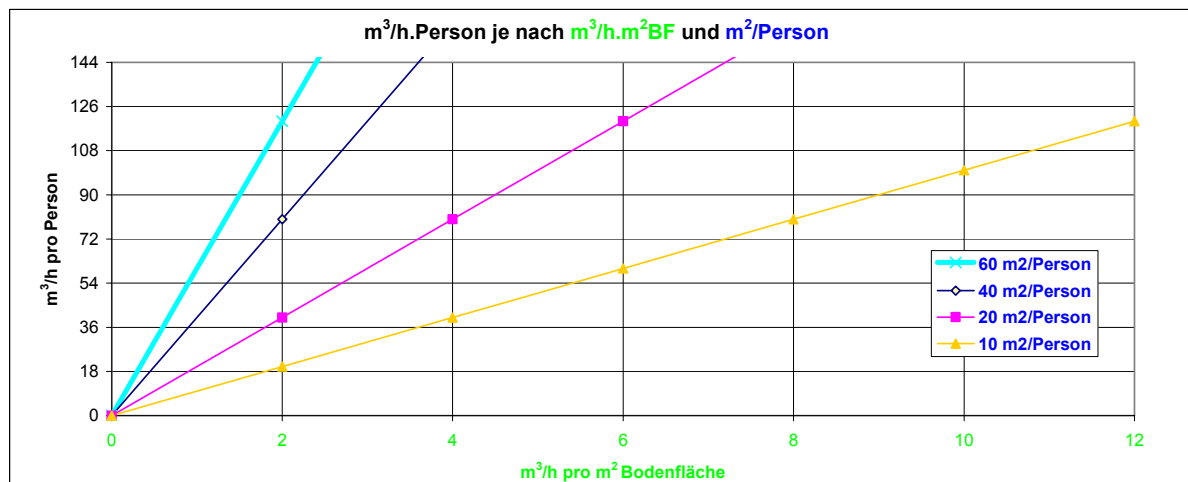
Für die Erwärmung eines Luftstromes von 1 m³/h um 1 Grad ist im Schweizerischen Mittelland eine thermische Leistung von 0.32 W erforderlich. Auf 1000 m ü.M. sinkt die erforderliche thermische Leistung auf 0.30 W.

In Bereichen, welche hauptsächlich dem Aufenthalt von Personen dienen, ist der Luftstrom bei energetisch guten Lösungen durch den hygienisch erforderlichen Luftstrom pro Person bestimmt. Wenn für die Wärmeabfuhr über das Luftsystem (resp. die Wärmezufuhr bei einer Luftheizung) ein wesentlich grösserer Luftstrom erforderlich wäre, sollte aus energetischen Gründen ein ergänzendes Wassersystem eingesetzt werden.

Die Figur 3-10 zeigt die Zusammenhänge zwischen Luftvolumenstrom, Temperaturdifferenz und thermischer Leistung für die Kühlung mit Luft. Die Figur 3-11 gilt sinngemäss für eine Luftheizung.

Luftkühlung

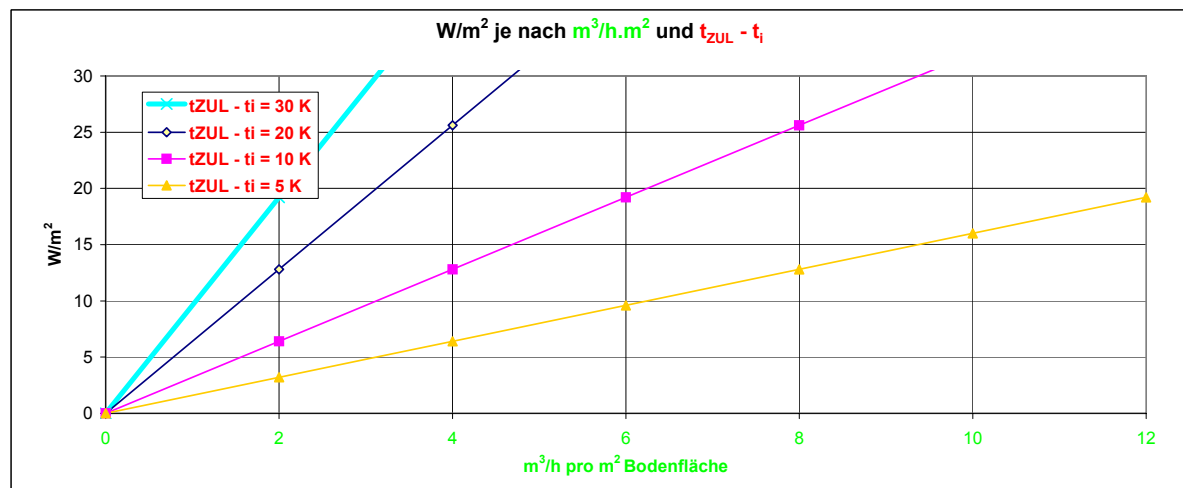
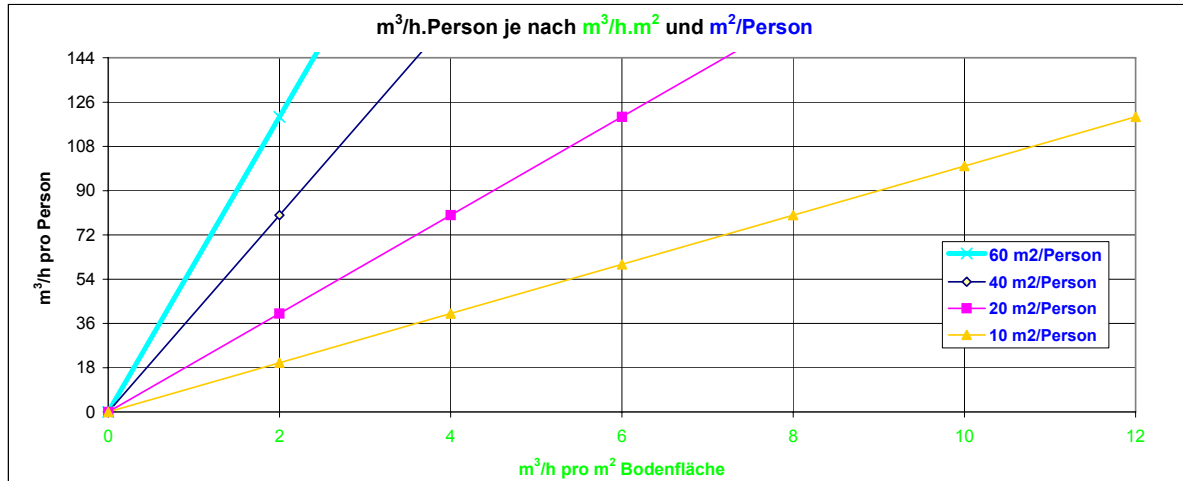
m ³ /h.m ²	m ³ /h.Person je nach Bodenfläche in m ² pro Person					m ³ /h.m ²	W/m ² BF je nach t _i - t _{ZUL}			
	10	20	40	60			2	4	6	8
	10 m ² /Person	20 m ² /Person	40 m ² /Person	60 m ² /Person			t _i - t _{ZUL} = 2 K	t _i - t _{ZUL} = 4 K	t _i - t _{ZUL} = 6 K	t _i - t _{ZUL} = 8 K
0	0	0	0	0		0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	20	40	80	120		2	1,3	2,6	3,8	5,1
4	40	80	160	240		4	2,6	5,1	7,7	10,2
6	60	120	240	360		6	3,8	7,7	11,5	15,4
8	80	160	320	480		8	5,1	10,2	15,4	20,5
10	100	200	400	600		10	6,4	12,8	19,2	25,6
12	120	240	480	720		12	7,7	15,4	23,0	30,7



Figur 3-10 Kühlen mit Luft

Luftheizung

m ³ /h.m ²	m ³ /h.Person je nach Bodenfläche in m ² pro Person					m ³ /h.m ²	W/m ² BF je nach t _{ZUL} - t _i			
	10	20	40	60	60		5	10	20	30
	10 m ² /Person	20 m ² /Person	40 m ² /Person	60 m ² /Person	60 m ² /Person		t _{ZUL} - t _i = 5 K	t _{ZUL} - t _i = 10 K	t _{ZUL} - t _i = 20 K	t _{ZUL} - t _i = 30 K
0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	20	40	80	120	120	2	3,2	6,4	12,8	19,2
4	40	80	160	240	240	4	6,4	12,8	25,6	38,4
6	60	120	240	360	360	6	9,6	19,2	38,4	57,6
8	80	160	320	480	480	8	12,8	25,6	51,2	76,8
10	100	200	400	600	600	10	16,0	32,0	64,0	96,0
12	120	240	480	720	720	12	19,2	38,4	76,8	115,2



Figur 3-11 Heizen mit Luft

3.3.2 Wasser als Energieträger

Bei einer Temperatur um 20° C hat Wasser etwa die folgenden Kennwerte:

- Dichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (Luft 1.13 kg/m^3)
- Spezifische Wärmekapazität $c_p = 4.2 \text{ kJ/(kg.K)}$, Luft 1.02 kJ/(kg.K)
- $\rho \cdot c_p = 4200 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}$, Luft $1.15 \text{ kJ/(m}^3 \cdot \text{K)}$

Der Vergleich der Kennwerte von Luft und Wasser zeigt sofort, dass Wasser der wesentlich bessere Energieträger ist als Luft.

3.3.3 Beurteilung von Luft und Wasser als Energieträger

Aus hygienischen Gründen muss eine Luftversorgung mit geeigneten Lufraten pro Person gewährleistet werden. Wenn diese Luftmenge mit einer Unter- oder Übertemperatur in den Raum so eingeblasen wird, dass keine Komfortprobleme entstehen, ist die damit erreichbare Kühl- oder Heizwirkung willkommen. Sollte aber der Luftstrom zur Übernahme von grösseren thermischen Lasten erhöht werden müssen, ist dies energetisch nachteilig. In diesen Fällen ist eine Lösung mit einem ergänzenden Wassersystem zweckmässig.

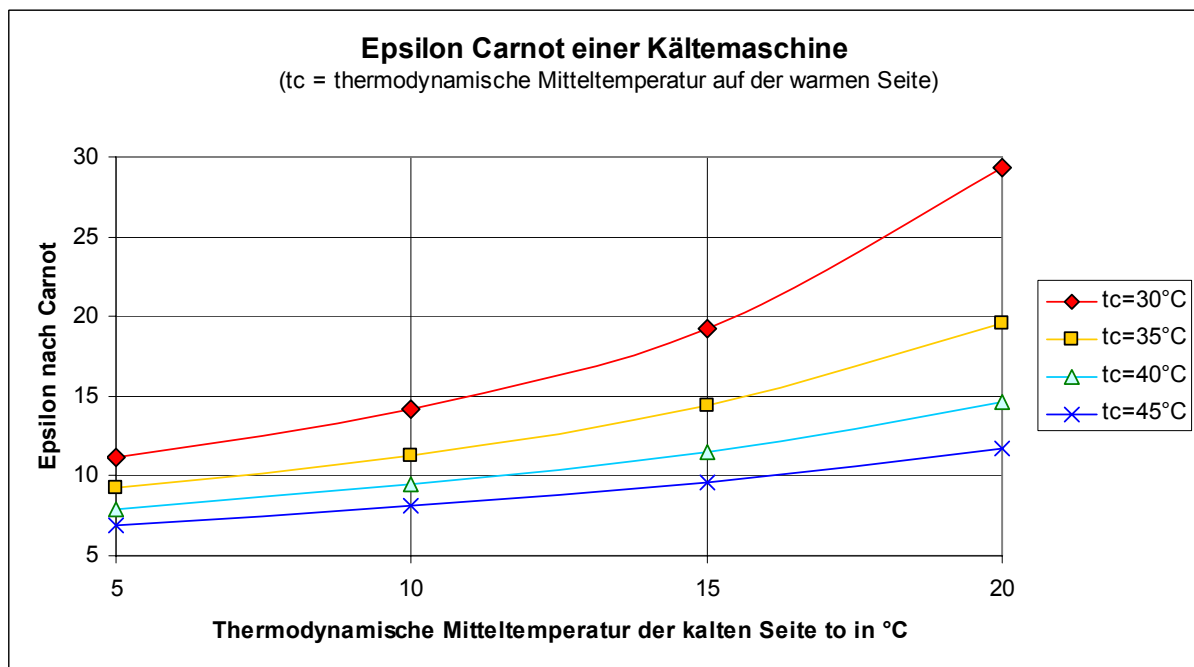
3.4 Varianten der Kälteerzeugung

3.4.1 Vergleichsprozess nach Carnot

Die Leistungszahl ε_c des Carnot-Prozesses zwischen Verdampfungstemperatur T_0 (thermodynamische Mitteltemperatur auf der kalten Seite) und Kondensationstemperatur T_c (thermodynamische Mitteltemperatur auf der warmen Seite) ist

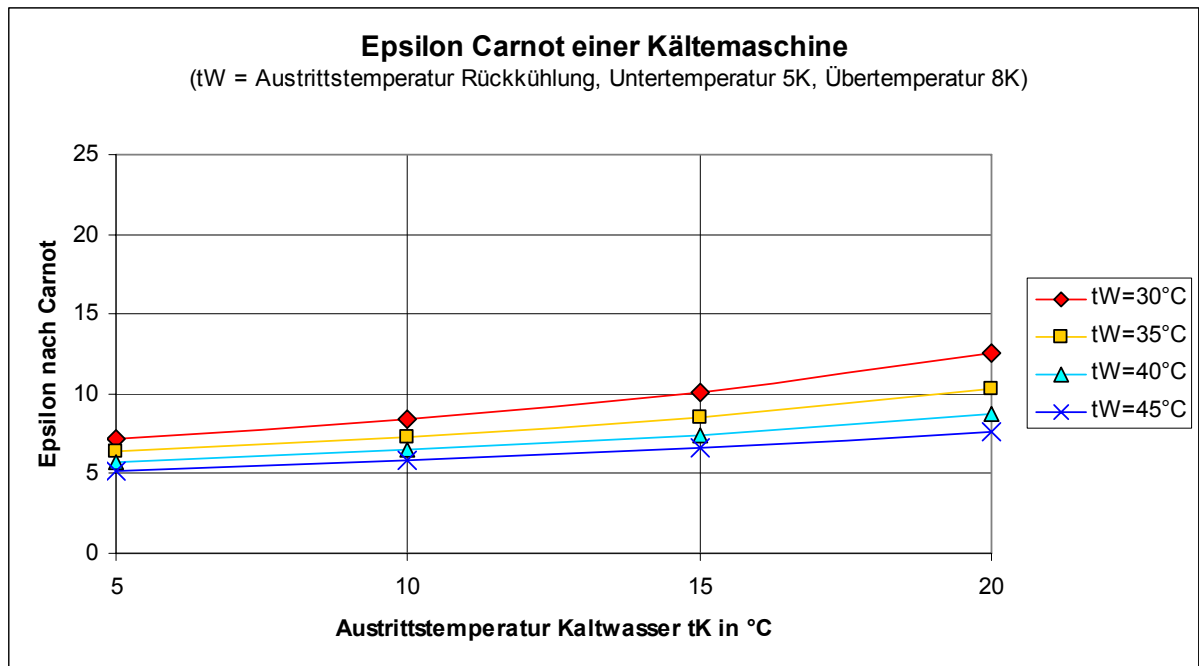
$$\varepsilon_c = \frac{T_0}{T_c - T_0}$$

Im Vergleichsprozess nach Carnot sind damit die folgenden Leistungszahlen möglich:



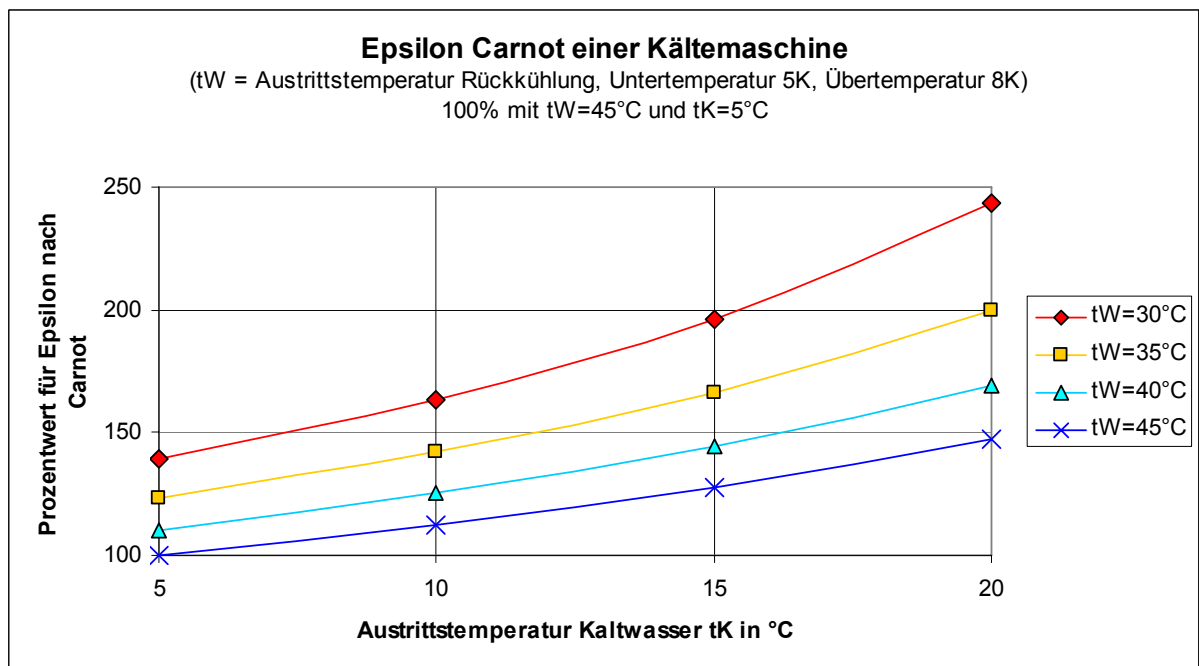
Figur 3-12 Leistungsziffer einer Kältemaschine nach Carnot

Geht man davon aus, dass die Verdampfungstemperatur t_0 gegenüber der Eintrittstemperatur des Kaltwassers t_k eine Untertemperatur von z.B. 5 K und die Kondensationstemperatur t_c gegenüber der Eintrittstemperatur des Warmwassers t_w eine Übertemperatur von z.B. 10 K aufweist, ergeben sich mit dem Carnotprozess die folgenden Leistungszahlen in Abhängigkeit von t_k und t_w :



Figur 3-13 Leistungsziffer einer Kältemaschine nach Carnot bei einer Untertemperatur von 5 K und einer Übertemperatur von 10 K.

Ausgehend von einer konventionellen Auslegung mit einer Eintrittstemperatur des Kaltwassers von $t_K = 5^\circ\text{C}$ und einer Austrittstemperatur der Rückkühlung von $t_W = 45^\circ\text{C}$ (ϵ_C in dieser Situation = 100 %) ergibt sich die in Figur 3-14 dargestellte relative Veränderung der Leistungszahl.



Figur 3-14 Relative Veränderung der je nach Kaltwasser- und Warmwassertemperatur (Ausgangszustand 5/45° C)

3.4.2 Leistungszahl der realen Anlage und Gütegrad

Die Leistungszahl ϵ der realen Anlage wird aus der effektiv erbrachten Kälteleistung Q_0 und der erforderlichen Antriebsleistung P berechnet.

$$\epsilon = \frac{Q_0}{P}$$

Zur Bewertung eines konkreten Kälteprozesses wird das Verhältnis der realen Leistungszahl ε_c des Carnot-Prozesses gebildet und als Gütegrad η bezeichnet.

$$\eta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} = \frac{Q_0}{P} \cdot \frac{T_c - T_0}{T_0}$$

Bei der praktischen Anwendung dieser Grundlagen sind noch diverse weitere Randbedingungen zu beachten. In der neuen SIA 382/1 wird die massgebende Leistungszahl der realen Anlage bei Volllast 100 % und bei Teillast 50 % mit abgesenkter Kühlwasser-Eintrittstemperatur von 18.3°C (ARI-Bedingungen) definiert und als COP (Coefficient of Performance) bezeichnet. Dabei wird auch der Leistungsbedarf der Rückkühlung berücksichtigt. Die entsprechenden Anforderungen sind in Abschnitt 3.2.2 dargestellt. Für energetische Betrachtungen interessiert die mittlere Leistungszahl der realen Anlage unter Berücksichtigung aller mit der Kälteerzeugung zusammenhängenden zusätzlichen Verluste und der wechselnden Betriebsbedingungen. Diese wird auch als (mittlere) Arbeitszahl bezeichnet. In der EN 14511 wird mit der Energieeffizienzgrösse EER (Energy-Efficiency Ration) eine Kenngrösse verwendet, welche bei konstant arbeitenden Kleinklimageräten unter kontrollierten Randbedingungen auch für energetische Betrachtungen gültig sein kann. In der deutschen Version wird diese Kenngrösse als Energieeffizienz-Index EEI bezeichnet, d.h. $EER = EEI$.

3.4.3 Gütegrad verschiedener Prozesse

Im Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2007/2008 [3-3] werden für die verschiedenen Prozesse zur Kälteerzeugung die folgenden Gütegrade genannt:

Prozess	Gütegrad η
Kaltdampf-Kompressionskälteprozess	0.5 – 0.6
Absorptionskälteprozess	0.5 – 0.8
Adsorptionskälteprozess	~ 0.6
Thermoelektrische Kälteerzeugung	0.1 – 0.2

Tabelle 3-5 Gütegrade verschiedener Prozesse [3-3]

3.5 Zusammenfassung Lüftungs- und Klimaanlage

Die Technologie der Lüftungs- und Klimaanlage, der Kälteerzeugung und -verteilung hat sich stark entwickelt und verbessert. Es ist davon auszugehen, dass sich künftig Klimaanlage im Dienstleistungsbereich stärker verbreiten und aus den warmen Klimazonen langsam auch in unsere temperierten Zonen gelangen. Diese Entwicklung erfolgt nicht nur im Bürobereich, sondern phasenverschoben auch im Wohnungsbereich.

Bei der Planung, der Ausführung und dem Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage sind die folgenden Punkte zu beachten:

- Lüftungs- und Klimaanlage sind auf den tatsächlichen Bedarf an Aussenluft auszulegen und bedarfsgerecht zu betreiben. In der Regel ist von der hygienisch erforderlichen Aussenluft rate pro Person auszugehen (Standardwert 36 m³/h.Person).
- Aussenluftfassungen sind so anzuordnen, dass die angesaugte Aussenluft im Sommer möglichst kühl und generell möglichst frei von Schadstoffen und Gerüchen ist. Dazu sind auch die Fortluftöffnungen geeignet zu platzieren.
- Eine Kühlung soll nur bei ausgewiesenem Bedarf, d.h. nach Abschluss baulicher Massnahmen (Sonnenschutz je nach Orientierung und Glasanteil der Fassade, Zonierung, etc.), bei verminderten Innenlasten (energieeffiziente Geräte und Beleuchtungen mit minimalen Standby-Verlusten und bedarfsgerechtem Betrieb, Tageslichtnutzung) und richtigem Betrieb (an warmen Tagen reduzierte Lüftung am Tag, intensive Lüftung in der Nacht) eingesetzt werden.
- Im Sinne von SIA 382/1 gelten Anlagen mit einem totalen elektrischen Leistungsbedarf für die Medienförderung und die Medienaufbereitung inkl. Kühlung und allfälliger Befeuchtung und Wasseraufbereitung von total 7 W/m² (neue Anlagen) resp. 12 W/m² (bestehende Anlagen) als Anlagen mit kleinem Leistungsbedarf. In diesen Fällen ist eine Kühlung gerechtfertigt, auch wenn sie nicht unbedingt erforderlich wäre.

- Als einfache Alternative können auch Komfortventilatoren in unmittelbarer Nähe des Aufenthaltsortes sowie raumbezogen energetisch sehr gute Klein-Klimageräte (EER > 5) empfohlen werden.
- Die eingesetzten Anlagen sollen in der Luft- und Kälteleistung auf den effektiven Bedarf der Räume und Zonen abgestimmt werden.
- Bei variabler Nutzung sollen die Anlagen örtlich und zeitlich nur nach Bedarf genutzt werden (variable Volumenströme, CO₂- oder Mischgasfühler, Leitsystem).
- Die Anforderungen von SIA 382/1 für die Leistungszahl der Kälterzeugung und für den Leistungsbedarf der Luftförderung sind zu übertreffen.
- Die Möglichkeiten der freien Kühlung sind zu nutzen.
- Wenn mit dem hygienisch erforderlichen Luftstrom keine ausreichende Kühlwirkung erzielt werden kann, soll eine zusätzliche Kühlung nach Möglichkeit mit einem Wassersystem (Temperaturen über 18° C) erfolgen.
- Bei der Luftförderung ist auf geringe Druckverluste und kleine Wärmeverluste zu achten: Geringe Luftgeschwindigkeiten in den Luftaufbereitungsgeräten und Kanälen, strömungsgünstiges, luftdichtes und wärmegeädämmtes Kanalnetz, kurze Transportwege für die Luft (Schachtkonzept) etc.
- Für den Antrieb der Ventilatoren sind Premium Motoren (IE3) zu verwenden. Der Leistungsbedarf für die Luftförderung soll die Anforderungen in der SIA 382/1 übertreffen.
- Bei der Kälteerzeugung ist aus energetischer Sicht das Hauptanliegen, dass der Temperaturhub zwischen der warmen und der kalten Seite möglichst gering ist (möglichst hohe Kaltwassertemperaturen) und dass dieser bedarfsgerecht angepasst wird (variable Kaltwassertemperaturen).
- Die Anlagen sind regelmässig zu reinigen (Aussenluftfassung, Luftfilter, Kanalnetz etc.) und zu warten.
- Zu empfehlen ist die Führung einer Energiebuchhaltung mit der Bestimmung von Verbrauchskenngrössen sowie regelmässigen Vergleichen mit Vergleichsperioden.

3.6 Referenzen Lüftung und Kühlung

- [3-1] SIA 382/1, Ausgabe 2007: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
- [3-2] Dr.-Ing. Paul Berliner, Klimatechnik, Vogel-Buchverlag Würzburg
- [3-3] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 07/08, Oldenbourg Industrieverlag München

4. Klein-Klimageräte

4.1 Technik und Typologie

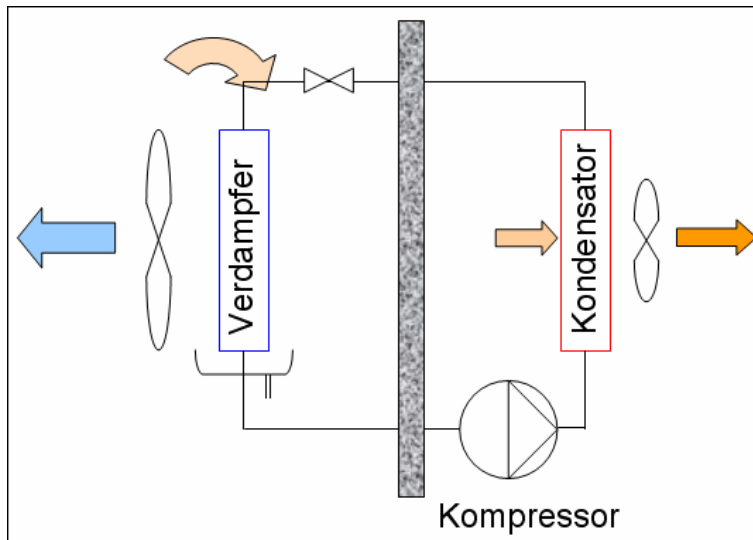
4.1.1 Erweiterte Kategorisierung bzw. Typologie

- | | |
|----|--|
| A. | Passive Nachtauskühlung, Fensteröffner etc., ev. auch kombiniert mit Abluftanlage. Diese Kategorie ist einerseits ein physikalisches Funktionsprinzip, andererseits auch als Hardware denkbar: Lüfter, Klappen, Aktoren mit einer "intelligenten" Steuerung.

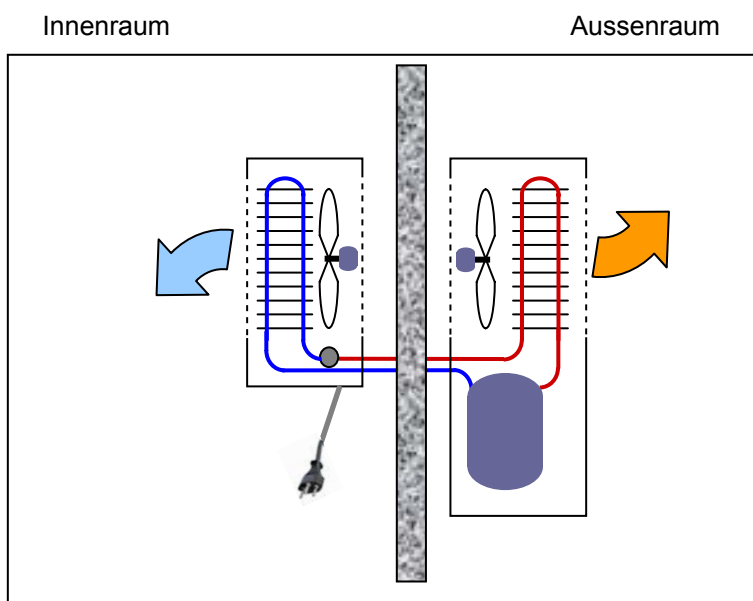
Eine elegante Lösung ist die passive Luftvorkühlung bei Komfortlüftung (Erdregister, oft vorhanden). Für gute Wirksamkeit muss der in der Komfortlüftung enthaltene Wärmetauscher (Wärmerückgewinnung) für die Kühlanforderung umgangen werden. |
| B. | Kleine, eigenständige elektrische Geräte wie Figur 4-3, nach Bauarten 1 bis 4
Kompakt, Split, Mobil-Split, Fenstereinbau, vgl. folgende Seiten. |
| C. | Lüftungs-/ Klima-Anlagen (Systeme, grosse Einheiten), wo möglich mit Teilsystem Free Cooling. |
| D. | Adiabate Kühlung: Nutzung der "Verdunstungskälte", meist über Wärmetauscher, damit keine zusätzliche Feuchte in die Räume gebracht wird. Mit zunehmender Luftfeuchte nimmt die Kühlwirkung ab. Adiabate Kühlung kann u.U. in Lüftungs-/Klimaanlagen integriert werden. Bisher sind kaum praktische Erfahrungsberichte aus der Schweiz dokumentiert. |
| E. | Absorptionskälte: bisher wurden vergleichsweise schlechte Leistungsziffern erzielt; in der Forschung wird nach neuen Stoffpaare gesucht. Wenn Abwärme eingesetzt werden kann, ist Absorptionskälte auch wirtschaftlich interessant. Bisher werden fast ausschliesslich Anlagen grosser Leistung angeboten, die Entwicklung kleinerer Einheiten ist im Gange. |
| F. | Reversible Wärmepumpenanlagen (auch Gas-Absorption):
Noch kaum als komplettes Heiz-/Kühl-System im Angebot bzw. eher für grössere Anlagen, Bürogebäude.
Grundsätzlich auch mit Klein-Elektro-WP möglich. Für die "Kälte"-Abgabe sind Fussbodenheizungen nur bei kleinen spezifischen Leistungen geeignet, mit thermo-aktiven Bauteilen (TABs) sind auch grössere Leistungen problemlos. Als Wärmesenke sind Erdsonden ideal, da damit der winterliche Wärmeentzug z.T. kompensiert wird. In USA sind reversible Luft-Luft-Geräte üblich. |
| G. | Hocheffiziente Speichermaterialien, Latentspeicher: in unserem Klima kann damit eine nicht zu lange Hitzeperiode überbrückt werden. |

4.1.2 Funktionsprinzip, Energieflussschema

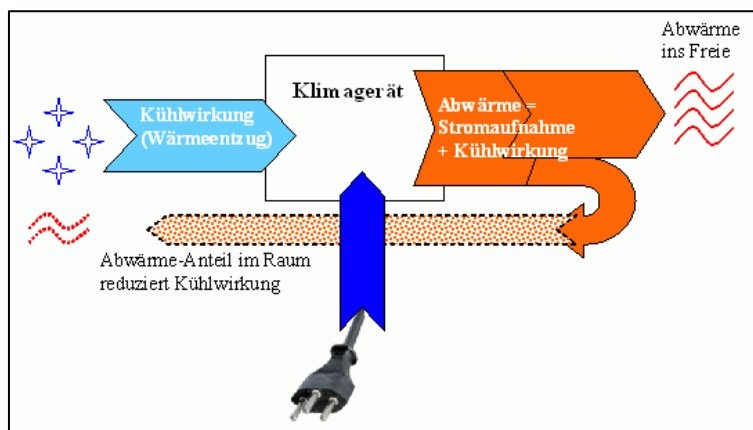
Klein-Klimageräte sind technisch Luft/Luft-Wärmepumpen, bei welchen im Normalbetrieb (Kühlen) die kalte Seite (Verdampfer) als Nutzenergie dient (Figur 4-1 und 4-2). Die Geräte enthalten nebst dem Kälteaggregat mindestens zwei Ventilatoren zur Belüftung von Verdampfer und Kondensator. Da beim Verdampfer Kondenswasser entstehen kann, muss dieses entsorgt werden, was bei im Raum aufgestellten Kompaktgeräten mit verschiedenen Methoden praktiziert wird, z.B. Verdampfen und Abführen mit der Kondensatorabluft.



Achtung:
Bei Kompaktgeräten wird
die Kondensator-Kühlluft
aus dem Raum entnom-
men, Ersatzluft vom Fens-
terspalt!



Figur 4-1 Funktionsprinzip von Klein-Klimageräte
Prinzipschema und Schemabilder, für Split-Konfiguration



Figur 4-2 Energieflussschema von Klein-Klimageräten

Bei kompakten, im Raum aufgestellten Klein-Klimageräten wird die möglicherweise gute Kälte-Leistungszahl des Kühlaggregats durch den im Raum verbleibenden Abwärme-Anteil deutlich reduziert. Dazu kommt u.U. ein zusätzlicher Wärmeeintrag durch den Fensterspalt oder einen anderen Ersatzluftweg. Die effektiv erreichte Leistungszahl kann daher deutlich kleiner sein als die deklarierte.

4.1.3 Kleinklimageräte: Typen und Kurzbeschreibungen

1	Kompaktgeräte Einleitungssystem (1 Luftschlauch) Kostengünstig. Schlauch-Adapter für Fenster-/Türspalt oder Bohrungen. Die warme Fortluft wird durch den Schlauch ins Freie geblasen. Es wird Ersatzluft von draussen (neben dem Schlauch) angesaugt, die meist wärmer ist als der Raum und sich im Raum verteilt. Dadurch und weil viel Abwärme im Raum bleibt, ist die Effizienz klein; die effektive Kühlleistung ist bis 40% kleiner als die deklarierte Kühlleistung	
2	Kompaktgeräte Zweileitungs-System Etwas teurer als Ein-Schlauch-Geräte; vorzuziehen, wenn kein Splitgerät oder Fassadeneinbaugerät in Frage kommt (Vorschriften) und Durchlassöffnungen vorhanden sind. Die erforderliche Geräte-Kühlluft wird durch ein Rohr bzw. Schlauch von draussen angesaugt, warme Fortluft durch das 2. Rohr bzw. Schlauch ins Freie geblasen. Dadurch ist die Effizienz etwas besser als bei Ein-Schlauch-Geräten. Gut konzipierte Geräte der Bauart gemäss dem unteren Bild (fest an der Innenwand montiert) sollten deutlich effizienter sein als die Einleitungsgeräte. Für diese wäre somit der "Bonus" von 0.4 bei der Energie-Etiketten-Skalierung gegenüber Fenstergeräten (vgl. Figur 4-5) nicht gerechtfertigt.	
3	Split-Systeme Bei „Mobil-Split“-Geräten ist der Kompressor im Innengerät, der Wärme abführende Kondensator samt Ventilator im trennbaren, relativ leichten Aussengerät. Kompressorabwärme und -Geräusch bleiben deshalb innen. Die Effizienz ist deutlich besser als bei Schlauch-Geräten; aber nicht so gut wie bei Split-Geräten mit Kompressor im Aussenteil. Bei den deutlich teureren Split-Geräten für feste Installation befindet sich der Kondensationsteil samt Kompressor ausserhalb des Raums, womit keine Abwärme davon in den Raum gelangt. Dies ist optimal bezüglich Effizienz und Geräusch. Das Innenraum-Teil ist schlank und kann z.B. an der Decke montiert werden. Die Verbindungsleitung soll möglichst nicht trennbar sein, damit kein Kältemittel verloren gehen kann. Gute Split-Geräte sind z.T. in einer teureren Version mit Drehzahlsteuerung (Inverter) erhältlich. Dies erlaubt einen besonders effizienten und geräuscharmen Teillastbetrieb.	
4	Kompaktgeräte für Fenster-/Mauereinbau Die Geräte werden so in ein Fenster bzw. eine Maueröffnung eingebaut, dass der kühlende Teil innerhalb, der Wärme abführende Teil ausserhalb des Raumes liegt. Dies erfordert gewisse bauliche Massnahmen zur Anpassung am Fenster und bedeutet im Winter tendenziell eine Wärmebrücke. Die Effizienz ist wegen der extrem gedrängten Bauweise weniger gut als bei Split-Geräten, das Geräusch oft lauter.	

Figur 4-3 Typenübersicht Kleinklimageräte

4.1.4 Begriff und Auszüge aus EU-Direktive und EN 14511

EU-Direktive

Deutsch	Englisch
---------	----------

Split/Multisplit Kompakt Einleitungssystem	Split/Multisplit Packaged Single-duct
--	---

gemeint: Fenster-/Wandeinbaugeräte
= Einkanal-Luftkonditionierer (s.u., EN14511) (die-
se sind natürlich auch kompakt)
(als Variante von Kompakt...)

Zweileitungssystem	Double-duct
--------------------	-------------

EEL

EER

Energie-Effizienz Index Energy Efficiency Ratio

Australien / Paul Waide

Paul Waide (IEA) presentation: Keeping your cool: an overview of trends (2004)

- Chiller Systems Zentrale Anlagen mit Rückkühler
- Packaged Kompakt, Fenster (in USA 80%)
- Room units vermutlich von Multisplit-Geräten

Norm SN/EN 14511-1:2004 [4-1], Begriffe

Teil-Seite

1-p4 ...ausgenommen sind wassergekühlte Multi-Split-Systeme

Anm. 1 Die Prüfung der Geräte unter Teillast ist in CEN/TS 14825 festgelegt.

"Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und Kühlung – Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen"

1-p5 2.6 Kompaktgerät: Geräte, bei dem die Bauteile des Kältesystems fabrikmässig auf einer gemeinsamen Vorrichtung zusammengebaut werden, so dass sie eine allein stehende Baueinheit bilden.

2.8 Einkanal-Luftkonditionierer: Luftkonditionierer zur partiellen Kühlung, bei dem die Eintrittsluft in den Verflüssiger aus dem das Geräte enthaltenden Raum zugeführt und ausserhalb dieses Raumes abgeblasen wird.

1-p7 2.28 Leistungszahl im Kühlbetrieb *EER* (Energy Efficiency Ratio, deutsch *EEL*, Energieeffizienzindex): Verhältnis der gesamten Kühlleistung zur effektiven Leistungsaufnahme des Gerätes, angegeben in Watt/Watt (effektiv werden Durchschnittsleistungen, also Energien gemessen).

2.29 Faktor sensibler Wärme *SHR*: Verhältnis der sensiblen (fühlbaren) Kühlleistung zur gesamten Kühlleistung, angegeben in Watt/Watt

1-p8 2.30 Leistungszahl im Heizbetrieb *COP* (Coefficient of Performance).

4.2 Energie-Etikette und Prüfnorm für Klein-Klimageräte

4.2.1 Direktive zur Energie-Etikette der EU

RICHTLINIE 2002/31/EG DER KOMMISSION vom 22. März 2002

zur Durchführung der Richtlinie 92/75/EWG des Rates betreffend die Energieetikettierung für Raumklimageräte (Text von Bedeutung für den EWR)

Diese Richtlinie [4-2] gilt für netzbetriebene Raumklimageräte im Sinne der Europäischen Normen EN 255-1, EN 814-1 oder gemäss den in Artikel 2 genannten harmonisierten Normen. Dies sind die erst 2004 definitiv geltenden EN 14511-1 bis -4, welche die EN 255 und EN 814 ablösen:

"Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und -kühlung"

Teil 1: Begriffe, 2: Prüfbedingungen, 3: Prüfverfahren, 4: Anforderungen.

Die Richtlinie gilt nicht für folgende Geräte:

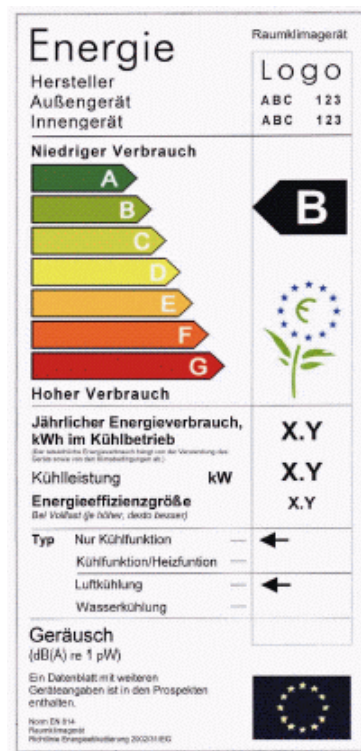
- Geräte, die auch mit anderen Energiequellen betrieben werden können,

- Luft-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpengeräte,
- Geräte mit einer Leistung (Kühlleistung) über 12 kW.

Anmerkungen zu den "Angaben auf dem Etikett":

V. Näherungswert für den jährlichen Energieverbrauch, berechnet bei Gesamtleistungsaufnahme gemäß den in Artikel 2 genannten harmonisierten Normen, multipliziert mit ca. 500 Betriebsstunden jährlich im Kühlbetrieb bei Volllast, ermittelt nach den Prüfverfahren der in Artikel 2 genannten harmonisierten Normen (Bedingungen T1 „mittel“. Diese ist allerdings in EN 14511 nicht zu finden, bezieht sich ev. auf die Vorgänger-Normen EN 814 oder ISO 5151).

Die EU-Direktive bzw. die Labelvorschrift wurde in der Schweiz auf Juni 2006 übernommen (Energieverordnung, Anhang 3.8), mit Übergangsfrist bis 31.12.2006.



Figur 4-4 Energie-Etikette für Raumklimageräte
Quelle: EU-Direktive

ANHANG IV der Direktive

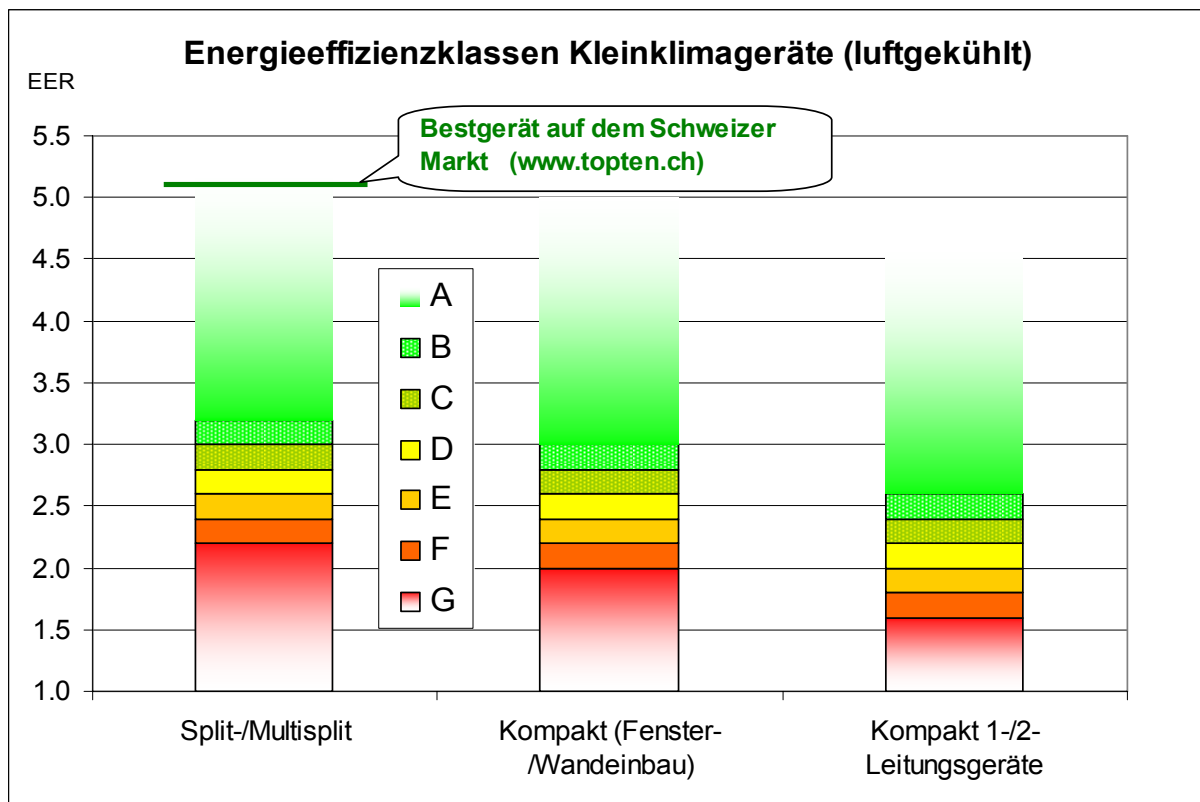
EINSTUFUNG

1. Die Energieeffizienzklasse wird nach den folgenden Tabellen bestimmt. Dabei wird die Energieeffizienzgröße nach den Prüfverfahren der in Artikel 2 genannten harmonisierten Normen (Bedingungen T1 „mittel“) ermittelt.

Figur 4-5 gibt den Inhalt der Tabelle 1 von Anhang IV der Direktive wieder; in Figur 4-7 sind auch die Geräte mit Wasserkühlung (Tabelle 2 der Direktive) enthalten. Die Werte für die Heizfunktion (Tabelle 3 der Direktive) sind in Figur 4-8 illustriert.

Zu den A-Klasse-Grenzwerten der Geräte-Kategorien lässt sich kurz zusammenfassen:

Bei den luftgekühlten Geräten weisen Split-/Multisplitgeräte die höchsten, Kompakt-Einleitungs-Geräte ("1-Schlauch-G.") die tiefsten Grenzwerte auf. Unter Kompaktgeräten werden Fenster-/Wand-Einbaugeräte verstanden. Wenn solche als "Zweileitungssystem", also 2-Schlauch-Geräte, gebaut sind, erhalten sie einen Korrekturfaktor von -0.4, womit sie den 1-Schlauchgeräten gleichgesetzt sind. Die sehr tiefen Grenzwerte der "Schlauchgeräte" scheinen technisch gerechtfertigt, während heute Splitgeräte mit EER bis über 5 auf dem Markt sind, also sehr weit über dem A-Grenzwert von 3.2 und sogar über jenem für wassergekühlte Splitgeräte (vgl. Figur 4-7).



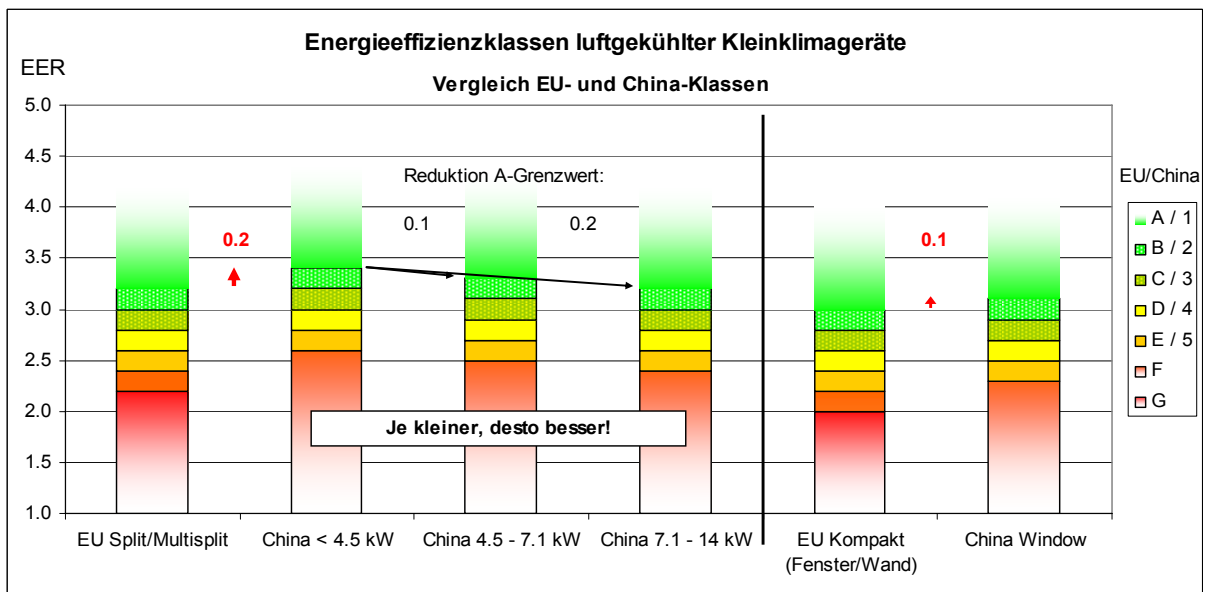
Figur 4-5

Energieeffizienzklassen

Quelle: gemäss EU-Direktive 2002/31/EG vom 22. März 2002

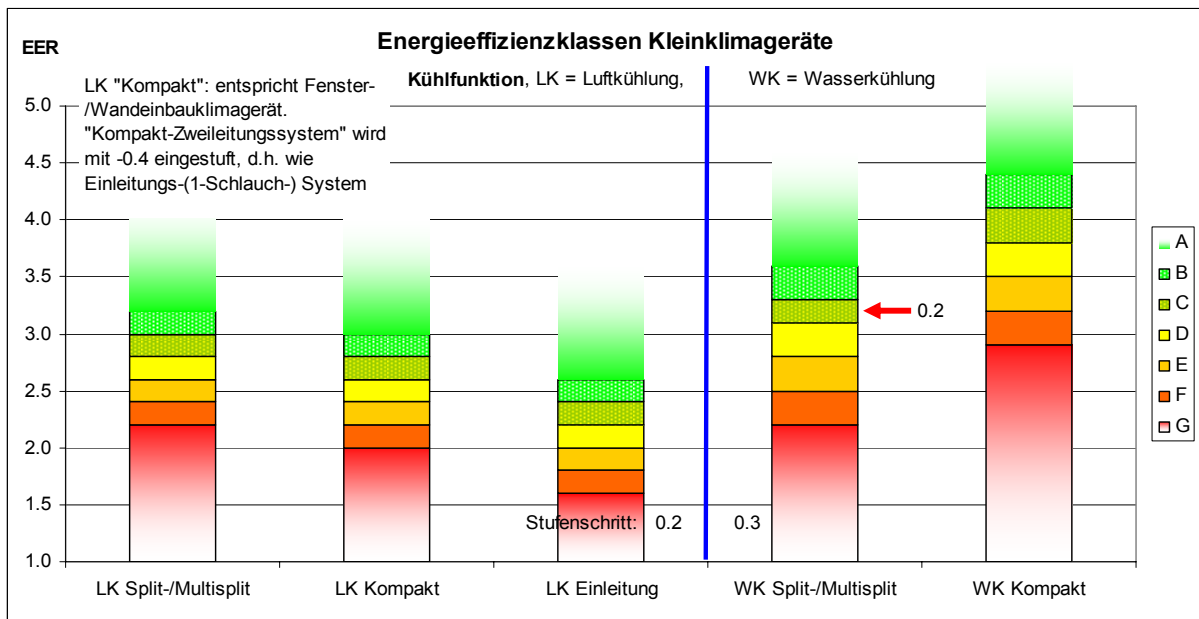
Die Klassen sind immer inkl. oberen Grenzwert, also z.B. D (Split) $2.6 < \text{EER} < 2.8$.

Interessant ist die Gegenüberstellung der chinesischen Grenzwerte mit jenen der EU (Figur 4-6). China setzt leicht höhere A-Grenzwerte und gibt eine Abstufung der Werte für die Splitgeräte nach Leistungsklassen vor. Aus anderen Unterlagen war die Leistungsabhängigkeit schon ersichtlich, welche im Gegensatz zu sonstigen physikalischen Skalengesetzen steht: grössere Geräte sind offensichtlich weniger effizient! (vgl. "DEM"-Bericht, 3.1)



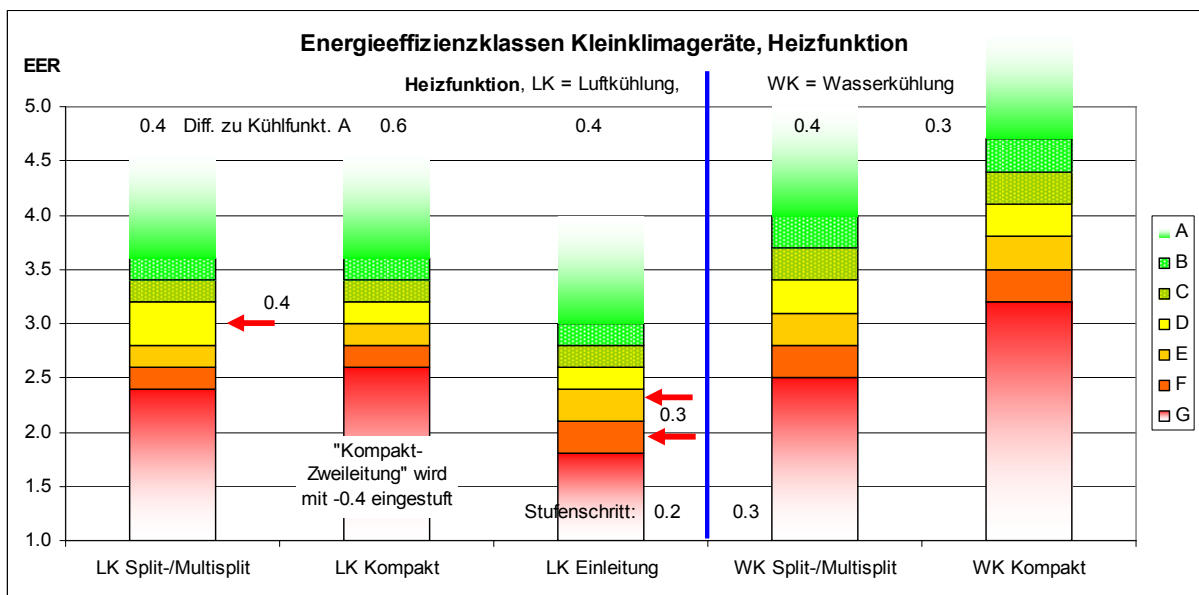
Figur 4-6

Effizienzklassen, Vergleich EU- und China-Grenzwerte



Figur 4-7 Energieeffizienzklassen gemäss EU-Direktive 2002/31/EG vom 22. März 2002
Die Klassen sind immer inkl. oberen Grenzwert, also z.B. D (Split) $2.6 < \text{EER} \leq 2.8$.

Bei Wasserkühlung sind auch gemäss Directive wesentlich höhere Effizienzwerte erreichbar. Für Schweizer Klimaverhältnisse ist allerdings Wasserkühlung höchstens in Ausnahmefällen sinnvoll (hohe Betriebsstundenzahl, z.B. Serverraum-Kühlung, und verfügbares Kühlwasser, da Trinkwasser i.d.R. nicht in Frage kommt).



Figur 4-8 Energie-Etiketten-Klassierung mit Heizfunktion.
Die A-Grenzwerte liegen um 0.4 höher als für die Kühlfunktion, mit Ausnahme der Kompaktgeräte (luftgekühlt 0.6, wassergekühlt 0.3).

4.2.2 Norm SN/EN 14511-1:2004, Prüfbedingungen

Für die Hauptkategorien der in der Norm behandelten Geräte werden die Norm-Nennbedingungen sowie die Betriebs-Nennbedingungen in den Tabellen 3 bis 15 angegeben. Dies sind in den meisten Fällen die Trocken- und Feuchtkugelttemperaturen am Eintritt der Aussen- sowie Innenwärmeübertrager (Wärmetauscher).

Tabellenübersicht:

- 3 Luft/Luft-Wärmepumpen – Heizen
- 4 Luft/Luft-Wärmepumpen und Luftkonditionierer – Kühlen
- 5 Wasser/Luft Wärmepumpen – Heizen
- 6 Wasser/Luft-Wärmepumpen und Luftkonditionierer – Kühlen
- 7 Wasser/Wasser-Wärmepumpen – Heizen
- 8 Wasser/Wasser-Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze – Kühlen
- 9 Luft/Wasser-Wärmepumpen – Heizen
- 10 Luft/Wasser-Wärmepumpen und Flüssigkeitskühlsätze – Kühlen
- 11 Flüssigkeitskühlsätze mit getrennt angeordnetem Verflüssiger
- 12 Flüssigkeitskühlsätze mit Verflüssiger zur Wärmerückgewinnung
- 13 Heizleistung – Multi-Split-Systeme
- 14 Kühlleistung – Multi-Split-Systeme
- 15 Wärmerückgewinnung – Multi-Split-Systeme

Für die Raumkühlung (Komfort-Luftkonditionierer) sind vor allem die Tabellen bzw. Systeme 4, 6, 8, 10, 14 von Interesse; wenn nur luftgekühlte Geräte betrachtet werden: 4 und 14 (s. unten).

Im normativen Anhang A werden die Bedingungen für die Energie-Etikettierung festgehalten. Es sind dies die Norm-Nennbedingungen von Tabelle 4-1 und 14. Weiter wird angegeben, dass hierfür ausschliesslich das Kalorimeterraum-Verfahren einzusetzen ist (s. unten). Schliesslich werden die zulässigen Toleranzen angegeben (12% für Leistungen, 15% für EER/COP, sowohl für 1. wie 2. Prüfung). Dies bedeutet, dass die wahren EER-Werte bis 15% unter den deklarierten liegen dürfen.

Norm-Nennbedingungen von Tabelle 4-1 (EN 14511)
(Luft/Luft-Wärmepumpen und Luftkonditionierer – Kühlen)

Gerät		Aussenwärmeübertrager		Innenwärmeübertrager	
(LK = Luftkonditionierer)		Temperaturen am Eintritt, °C			
		Trockenkugel	Feuchtkugel	Trockenkugel	Feuchtkugel
Komf-LK	Aussenluft-/Umluft	35	24 ^a	27	19
	Abluft/Umluft	27	19	27	19
	Abluft/Aussenluft	27	19	35	24
Einkanal-LK ^b		35	24	35	24
(Tab. 14) Multi-Split-Sys.		35	24 ^a	27	19

a Der Feuchttemperaturzustand ist bei der Prüfung von Geräten, die kein Kondensat verdampfen, nicht erforderlich.

b Bei Anwendung des Kalorimeterraum-Verfahrens muss der Druckausgleich zwischen Innen- und Aussenraum durch Zuleitung von Luft in den Innenraum bei gleichen Temperatur-Nennbedingungen erreicht werden.

Tabelle 4-1 Norm-Nennbedingungen

Kalorimeter-Prüfverfahren

Aus EN 14511-3, Anhang A (normativ), A.1.1:

"Das Kalorimeter ermöglicht ein Verfahren, mit dem die Leistungen gleichzeitig auf der Innen- und Aussenseite ermittelt werden können. Im Kühlbetrieb erfolgt die Ermittlung der innenseitigen Leistung, indem die Kühl- und Entfeuchtungswirkung mit abgemessenen Wärme- und Wasserzufuhren ausgeglichen wird. Die Ermittlung der aussenseitigen Leistung erfolgt als Bestätigung der Kühl- und Entfeuchtungswirkung, indem die Wärme- und Wasserabgabe auf der Verflüssigerseite mit einer abgemessenen Kältemenge ausgeglichen wird."

A.1.3:

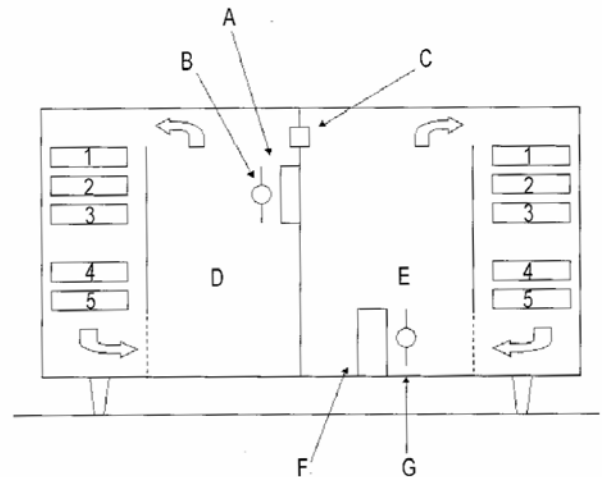
Jeder Raum muss also mit einem Rekonditionierungsgerät zur Aufrechterhaltung des festgelegten Luftstromes und der vorgeschriebenen Bedingungen ausgerüstet sein. Für den innenseitigen Raum muss dieses Gerät aus Erhitzern für die Zufuhr sensibler Wärme und einem Befeuchter für die Zufuhr von Feuchtigkeit bestehen. Für den aussenseitigen Raum muss das Gerät die Kühlung, Entfeuchtung und Befeuchtung übernehmen. Die Energiezufuhr sollte geregelt und gemessen werden. (...)

A.1.4:

Die Rekonditionierungseinrichtung für beide Räume muss mit Ventilatoren ausreichender Leistung ausgerüstet sein, um Luftströme sicherzustellen, die mindestens dem 2fachen Luftaustritt aus dem im Kalorimeterraum geprüften Gerät entsprechen.

Das Kalorimeter muss mit Einrichtungen zur Messung oder Ermittlung der festgelegten Trocken- und Feuchttemperaturen in beiden Kalorimeter-räumen ausgestattet sein.

- | | |
|---|--------------------------|
| A | Innengerät (Wandmontage) |
| B | Luftentnahmerohre |
| C | Druckausgleichssystem |
| D | Innenraumseite |
| E | Aussenraumseite |
| F | Aussengerät |
| G | Luftentnahmerohre |
| 1 | Luftkühler |
| 2 | Lufterhitzer |
| 3 | Befeuchter |
| 4 | Ventilator |
| 5 | Mischereinrichtung |

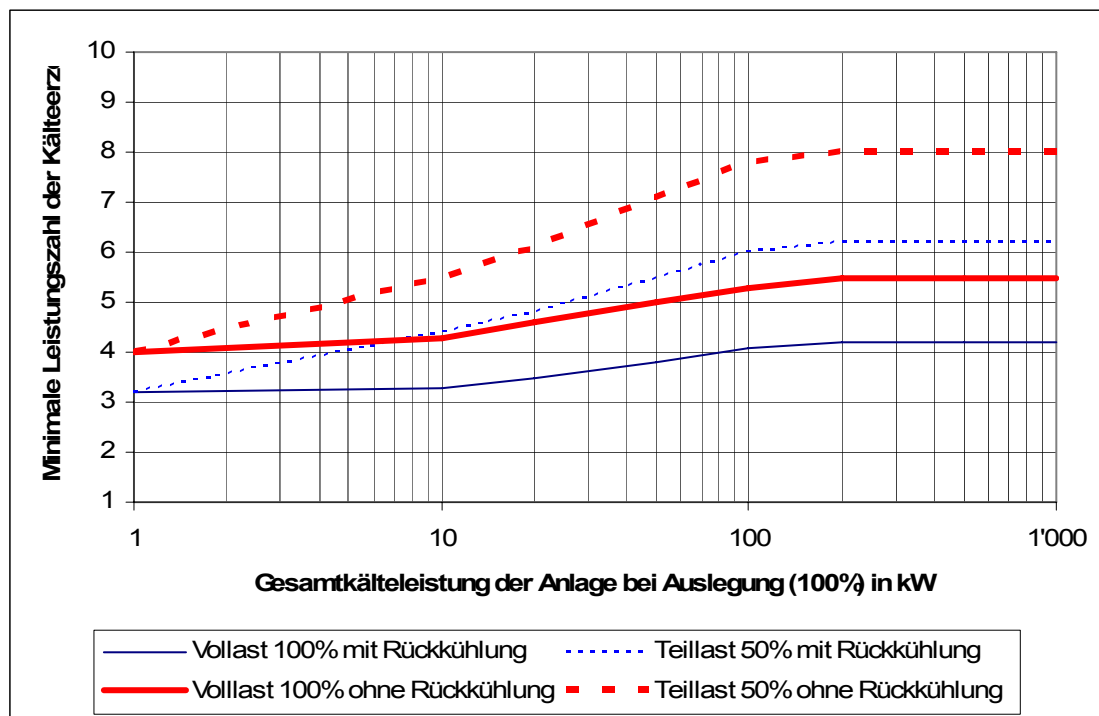


Figur 4-9 Bild A.1 aus EN 14511-3

Gemäss den Beschreibungen der Norm scheint mit dem Kalorimeterraum-Verfahren tatsächlich der praxisnahe Energieverbrauch und damit die Effizienz bzw. der Energie-Effizienz-Index EER ermittelt zu werden. Die Norm-Nennbedingungen von Tabelle 4-1 (EN 14511) oben sind für vor allem für Einkanal-Geräte hart ($35^{\circ}/24^{\circ}$ C Trocken-/Feuchtkugelttemperatur). Deshalb wurden wohl die Klassierungs-Grenzwerte für diese Geräte so viel tiefer gesetzt, da gemäss Klassierung für Splitgeräte wohl keine A- bis C-Einkanalgeräte resultiert hätten.

4.2.3 Leistungszahlen in SIA 382/1

Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen



Figur 4-10 Anforderungen an die Kälte-Leistungszahl

Quelle: SIA 382/1, 2006

ohne Rückkühlung entfällt deren Energieverbrauch, deshalb höhere Leistungszahl.

Bei Kleingeräten ist ein umgekehrter Zusammenhang zu beobachten (vgl. Figur 4-6, China), nämlich mit steigender Einheitsleistung sinkende Leistungszahl. Der Grund ist noch nicht im Detail untersucht. Die Anforderungen gemäss SIA 382/1 sind nicht direkt vergleichbar mit den EER-Werten von Kleinklimageräten, weil letztere sowohl kalt- als auch warmseitig auf Lufttemperaturen basieren, während SIA 382/1 kaltseitig auf Wasser/Sole als Wärmeträger basiert und warmseitig ohne Rückkühlung ebenfalls.

4.3 Markt-/Technologieberichte

4.3.1 Benchmarking of air conditioner efficiency levels in five Asian countries.

Diese Untersuchung zur Effizienz von Raumklimageräten wurde 2004 von Danish Energy Management A/S (DEM) im Auftrag des Australian Greenhouse Office durchgeführt [4-3].

Prepared for the Australian Greenhouse Office.

Prepared by Danish Energy Management A/S (DEM), June 2004.

The main objective of this study was to compare the energy efficiency of room air conditioners across the five countries.

A secondary objective was to compare the regulated levels (minimum energy performance standards, or MEPS) and labelling categories across the five countries.

An additional objective was to compare, where possible, the accuracy of data reported in manufacturer catalogues against test results carried out by accredited laboratories.

A massive amount of data was collected – ranging from 23 to 46 brands per country; and from 224 up to 929 models per country.

5 countries: Thailand, Malaysia, China, Korea, and Australia.

Study team (verantwortlich für die lokale Datenerhebung):

Australia Paul Ryan, EnergyConsult Pty.

China China Certification Center for Energy Conservation Products (CECP)

Korea Korea Testing Laboratory (KTL)

Malaysia Mensilin Holdings Sdn Bhd

Thailand Monthon Kumpengsath, Saangsan Consultants Co., Ltd.

Overall Danish Energy Management A/S

Der Bericht untersucht vorwiegend Splitgeräte und wenige Fenstergeräte (Modelle). Die Daten sind unterschiedlich aus Katalog-, Test- und Shop-Erhebungen zusammengesetzt; nachstehend eine Synthese (ein Gesamttotal wird wegen Überschneidungen nicht angegeben):

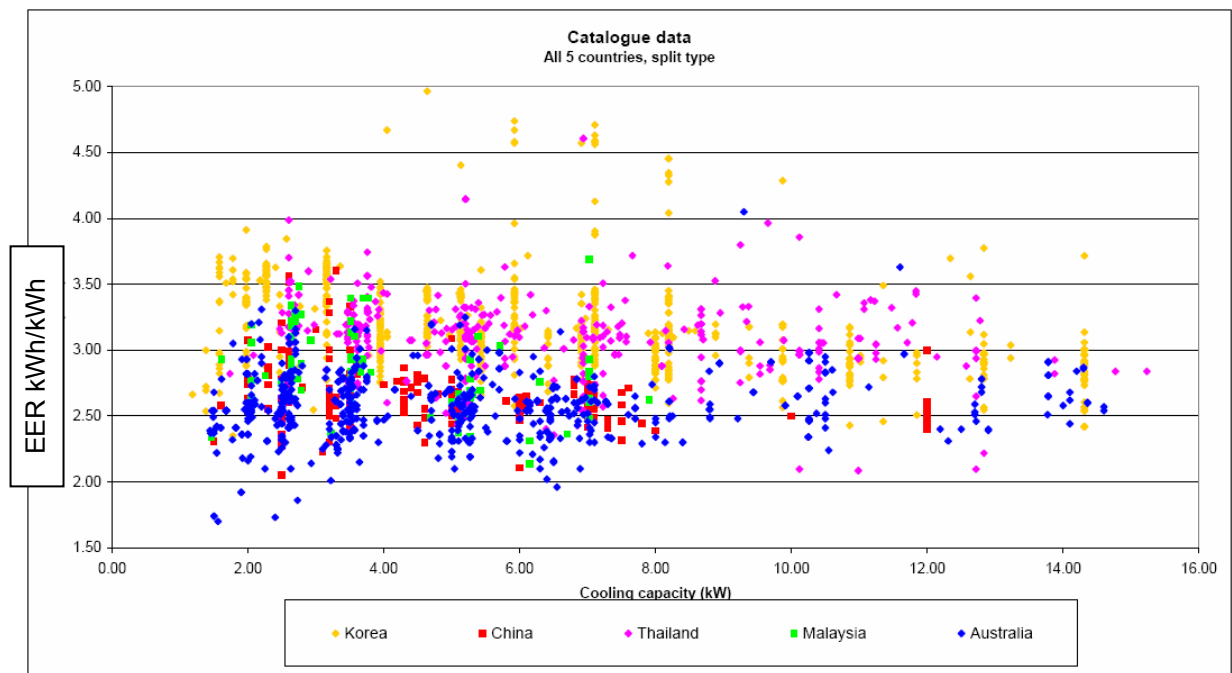
	Australia	Korea	China	Thailand	Malaysia
Split	362	751	ca. 890	670	224
Fenster	218	40	39	mind. 15	17

Tabelle 4-2 Synthese der EER Werte der 5 untersuchten Länder

Fenster-Geräte scheinen nur in Australien eine wesentliche Rolle zu spielen. In den weiteren Auswertungen der Studie wird keine Unterscheidung mehr gemacht.

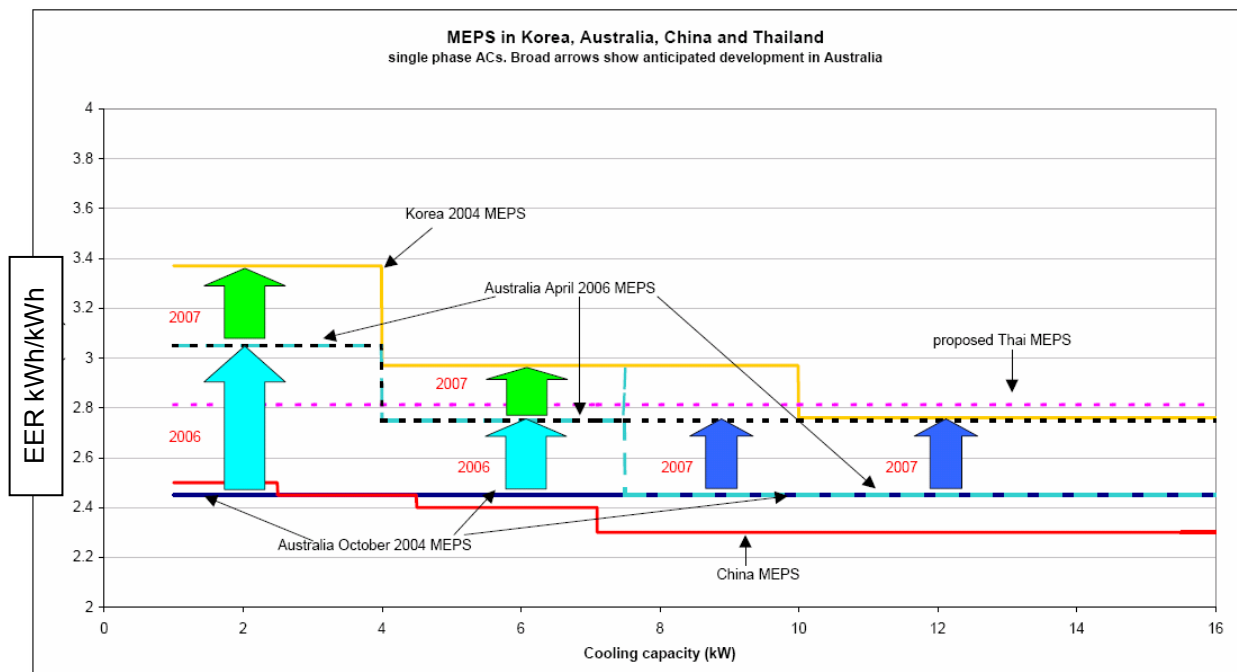
Die Daten zu den Geräten stammen zu je nach Land unterschiedlichen Anteilen aus Katalog-Auswertungen, Testbericht-Auswertungen und Erhebungen in Verkaufsgeschäften. Sie umfassen Raumklimageräte bis 16 kW Kühlleistung, mit einer Konzentration der Modelle im Bereich 2 bis 7 kW, vgl. Figur 4-11. Zur Zuverlässigkeit bzw. Genauigkeit der Daten nach Quelle wurden keine systematischen Auswertungen gemacht. Die EER-Werte in Figur 4-11 bis 4-13 sind Energie-Verhältnisse, ihre Einheit ist also kWh/kWh.

In Figur 4-12 sind die aktuellen und geplanten Minimum Efficiency Performance Standards (MEPS) für Australien im gleichen Schema wie Figur 7 wiedergegeben.



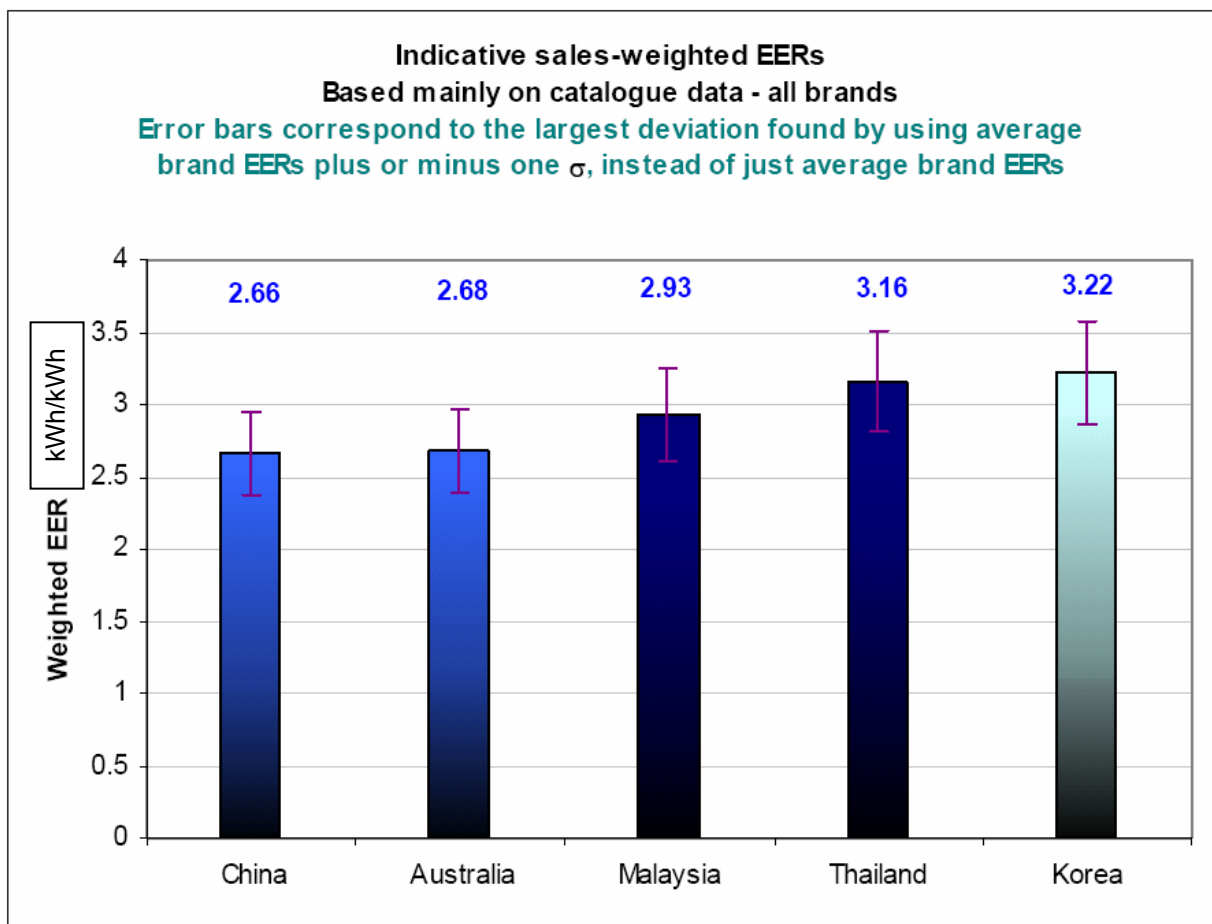
Figur 4-11 Übersicht der EER der 5 Länder, nach Kühlleistung [4-3]

Auffallend hohe EER für Korea und (wenige) Thailand, 1 Gerät aus Australien mit EER > 4



Figur 4-12 Minimum Efficiency Performance Standards, current and proposed levels in the five countries [4-3]
The arrows indicate the development of MEPS in Australia over the next couple of years (in 2006 and 2007 respectively)

Eine interessante Auswertung ist in Figur 4-13 wiedergegeben, es sind die Verkaufszahlen-gewichteten EER-Werte der 5 Länder. China und Australien – mit den grössten Verkaufszahlen – weisen die tiefsten EER auf, Korea die höchsten. Das "Performance-Benchmarking" soll weiterhin periodisch erfolgen (Benchmarking Initiative).



Figur 4-13 Verkaufsgewichtete EER der 5 Länder [4-3]

Aus der "DEM" Studie und aktuellen Gerätedaten aus der Schweiz können die Folgerungen abgeleitet werden: (vorbehältlich gleicher Testbedingungen!)

- Split-Raumklimageräte im meistverkauften Leistungsbereich (2 bis 5 kW Kühlleistung) können mit EER bis über 4 gebaut und erfolgreich verkauft werden.
- Mit zunehmender Leistung sind offenbar weniger hohe EER erreichbar, wie die MEPS-Abstufungen (Figur 4-12) angeben. Die EER-Übersicht Figur 4-11 stützt diese Aussage weitgehend, allerdings nicht für China.
- Die Mehrkosten qualitativ guter Geräte dürften weniger auf die EER-bestimmenden Eigenschaften als auf Komfort-Extras und ggf. Drehzahlregelung (Inverter) zurückzuführen sein. Inverter-Geräte werden allerdings deutlich bessere mittlere EER über alle Betriebsbedingungen aufweisen.

4.3.2 "Kaum Kühlung", Stiftung Warentest, 6/2005

Im Frühjahr 2005 wurden die folgenden Klein-Klimageräte von der Stiftung Warentest (STIWA) getestet:

Gerät	Bauart	Kälteleistung W	EER	Klasse	Kühlwirkung -- - 0 + ++	Mittel. Preis €
De Longhi PAC T 100 Öko	Kompakt	2480	3.2	A	0	1'050
Fakir 2012 Öko Art. Nr. 6725006	Kompakt	2900	2.3	C	0	1'050
Bauhaus Polaris 9000	Kompakt	2420	2.1	D	0	900
Siemens S 1 RKM 210 09002	Kompakt	2900	2.2	D	0	295
Atlantik HCL-57E	Kompakt	2470	3.2	A	0	1'130
Saeco Tuareg 8 EH	Kompakt	2850	2.2	D	0	289
Split-Klimagerät 9000 BTU	Split	2700	2.6	G	+	199
De Longhi PAC FX 400 eco	Split	2360	2.6	G	+	1'400

Tabelle 4-3 Ergebnis Stiftung Warentest

Die "Kompakt" Bauart heisst in der offiziellen EU-Terminologie "Einleitungssystem".

Die Klassenbewertung wurde im Bericht nicht aufgeführt oder erwähnt, die Werte in der Tabelle berücksichtigen allfällige Rundungen nicht (≤ 2.2 Grenzwert C zu D).

Die generelle Beurteilung ist sehr zurückhaltend (vgl. Titel), wobei dem "Schnäppchen" Splitgerät zu 199 € mindestens ein gutes Preis/Leistungs-Verhältnis zugestanden wurde. Technisch erstaunt der gute EER von 3.2 für zwei Kompaktgeräte, welcher weit über dem A-Klasse Grenzwert für Einleitungsgeräte (2.6) liegt.

Bewertung Kühlwirkung: -- mangelhaft, - ausreichend, 0 befriedigend, + gut, ++ sehr gut.

Recht erstaunlich sind die 3 Billigpreise, welche sachlich schwer erklärlich sind, da immer ein Kältesystem vorhanden ist.

4.3.3 "Y a de l'absurde dans l'air", Que Choisir 427, juin 2005

In Zusammenarbeit mit einem französischen Prüfinstitut wurden 10 Klein-Klimageräte getestet, 6 Split und 4 Kompakt (Einleitungssystem). Nur 1 Gerät ist auch im STIWA-Test 3.2 vertreten (Delonghi PAC T100 eco).

Hersteller	Modell	Bauart	Kälteleistung W	EER *	Klasse	Kühlwirkungsgrad	Kühlgeschwindigkeit	Preis €
Delonghi-m	Pac T100eco	monobloc	1670	2.7	A	3	1	900
Whirlpool	AMB 761	monobloc	2460	2.1	D	2	1	920
Siemens	SiRKM09002/03	monobloc	1860	2.1	D	1	1	970
Alpatec	AC90.1ES	monobloc	1370	1.7	F	1	1	740
Carrier	Holiday ice 51AKS010-P	split	2840	3.1	B	4	3	1'100
Delonghi-s	PAC 51000	split	2600	2.5	E	3	2	1'350
York	PSC 15G	split	2800	2.5	E	3	4	1'200
Airwell	Aelia II 10	split	3500	2.1	G	2	4	949
Supra	Blizair split 3900	split	2750	2.1	G	1	5	900
Saeco	Tuareg 1005	split	1960	2.1	G	1	1	1'400

* nicht angegeben, aus der Klassenbewertung abgeleitet, da Leistungsaufnahme nicht angegeben.

Tabelle 4-4 Ergebnisse Test Que Choisir

Beurteilung Kühlwirkungsgrad und Kühlgeschwindigkeit: mauvais= 1, très bon = 5

Es wurden keine Angaben zur Mess- bzw. Beurteilungsmethode gemacht.

Die (evtl. subjektiven) Beurteilungen von Kühlwirkungsgrad und Kühlgeschwindigkeit korrelieren recht gut mit den Effizienzklassen bzw. EER, mit Ausnahmen. Da keine Angaben über die Testmethode gemacht wurden, sind keine weiteren Interpretationen möglich. Im Gegensatz zum STIWA Test sind keine Billigpreise vertreten.

Die generelle Beurteilung ist hier noch deutlicher negativ als bei STIWA. Auf Problembereiche wie die Mobilität der Geräte, Wand-Durchführungen bzw. offene Fenster oder die Etikettierung wird im Text ausführlich eingegangen.

Die Gegenüberstellung der Tests bzw. deren minime Überdeckung (1 Gerät) trotz Gleichzeitigkeit zeigt ein Problem der Beurteilung der Klein-Klimageräte: Die Modellzahl ist derart gross, dass einzelne Tests für die Käuferschaft wenig hilfreich sind, da die entsprechenden Modelle rasch nicht mehr zu finden sind oder anders heissen. Die z.T. kryptischen Modellbezeichnungen tragen dazu bei. Umso wichtiger wäre eine aussagekräftige Energie-Etikette, welche weitere wesentliche Kriterien quantitativ

angeben könnte, etwa das Geräusch (als Deklarationsmöglichkeit auf der Etiketle vorgesehen, vgl. Figur 4-4).

4.4 Energy-using Products (EuP) Arbeiten in der EU, Lot 10

Die Richtlinie 2005/32/EG des europäischen Parlamentes und des Rates "zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG..." (Energielabel) bezweckt wirksame Massnahmen zur Effizienzverbesserung energiebetriebener Produkte. Dies soll in erster Linie über die Festlegung von Anforderungen wie Mindest-Effizienz (Minimum Energy Performance Standards MEPS) und Energie-Etiketten geschehen. Aber auch andere Umweltbelastungseffekte sollen behandelt werden [4-4].

Die kurz "EuP-Direktive" genannte Richtlinie und das entsprechende Aktionsprogramm umfasst 13 Produktgruppen und die gesamthaft behandelte Standby-Problematik. Es gibt ein generelles Vorgehensschema (MEEuP), welches als wichtigste Schritte Umwelteinfluss, Marktanalyse und Verbesserungspotenzial enthält.

Lot 10 behandelt die Produktgruppe "**Geräte zur Raumklimatisierung**" Residential room conditioning appliances (airco and ventilation); auf der Website www.ecoaircon.eu/ können sich Interessierte ohne weiteres registrieren und haben dann Zugang zu den bisher erarbeiteten Dokumenten.

4.4.1 Fokus und Umfang

Als wahrscheinliche Produkte im Bereich "Geräte zur Raumklimatisierung" wurden bezeichnet und in einer ersten Phase untersucht:

- Klimageräte
- Lüftungsventilatoren
- Komfortventilatoren
- Luftentfeuchtungsgeräte
- Luftbefeuchter
- Adiabate Kühlgeräte (evaporative coolers)
- Luftreiniger

Die erste Phase der Untersuchungen diente der Analyse der heutigen Situation, mit folgenden Teilen (Chapters):

1. Produktdefinitionen, anwendbare Normen und Bericht zum Einsatz der Geräte
2. Marktanalyse und ökonomische Grundlagen
3. Benutzerverhalten und örtliche Infrastruktur
4. Technische Analyse der gängigen Produkte
5. Darstellung der systematischen Behandlung eines Standardprodukts (Definition of Base-Case)

Die Projektteile der zweiten Phase sind:

6. Technische Analyse der besten verfügbaren Technik (best available technology BAT)
7. Verbesserungspotenzial
8. Analysen von Szenarios, politischen Handlungsmöglichkeiten, deren Einfluss und der Sensitivität bezüglich Bedingungen.

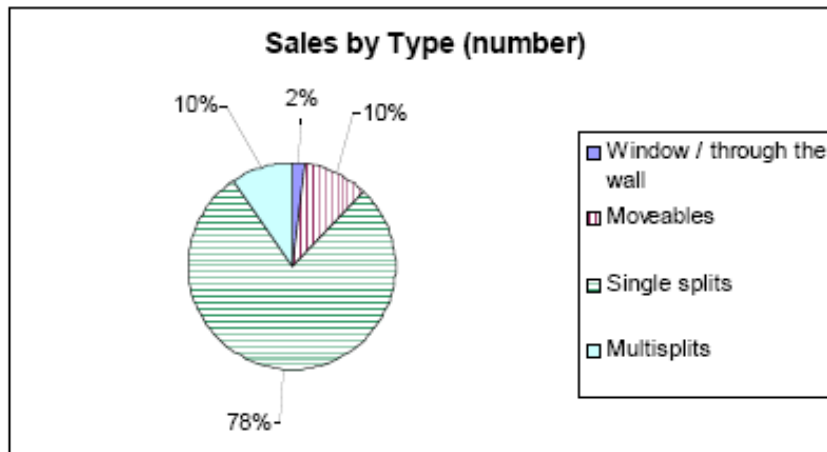
4.4.2 Stand der Arbeiten

Vertragspartner der EU-Kommission ist die französische Forschungsorganisation Armines (www.armines.net), Projektleitung Philippe Rivière. Projektpartner sind Austrian Energy Agency, BRE (Building Research Establishment Ltd), Université de Liège, University of Athens, IASA, University of Porto, IDMEC.

Im Mai 2007 waren die Teile (Chapters) 1 bis 5 erarbeitet; sie liegen auf der Website als Entwurf vor. Die erste Phase soll im Februar 2008 mit einem Entwurf des Massnahmenplans abgeschlossen werden, welcher an einer Konferenz (Consultation Forum) vorgestellt und diskutiert werden soll.

Bisher sind keine für die Schweiz besonders überraschenden Erkenntnisse publiziert. Einige Grafiken aus der Marktanalyse Teil 2, welche auch für Schweizer Projekte von Interesse sind, werden nachstehend kommentiert:

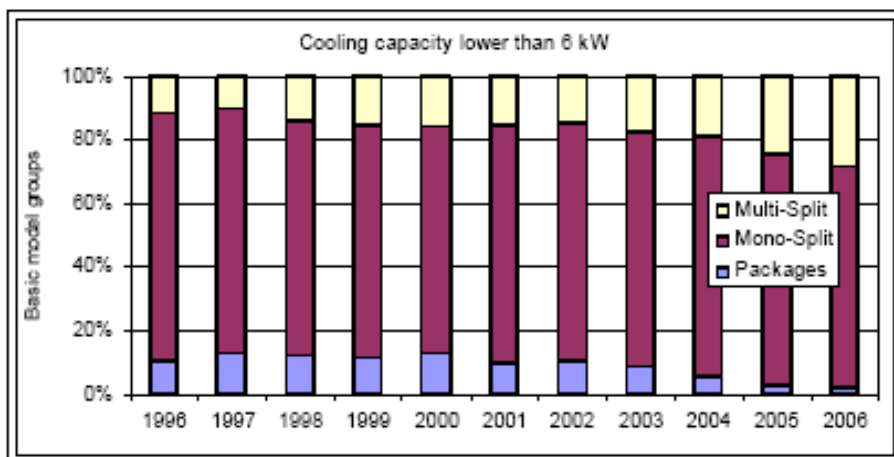
Figure 2.4: Air conditioners' sales by technical type (shares in numbers), EU-27 (<12kW)



Figur 4-14 Verkauf Raum-Klimageräte nach Typ (EU 27)

Single Split Geräte machen insgesamt (EU-27) zahlenmässig den Hauptanteil aus, Fenster-/Wandgeräte sind marginal (im Gegensatz zu USA).

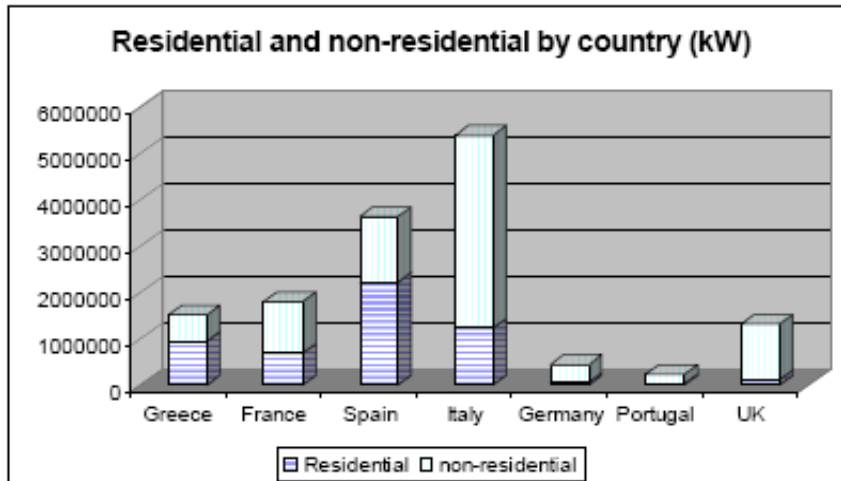
Table 2-2: Non moveable air conditioners by type, in number of models, Eurovent-Certification (<12kW)



Figur 4-15 Festeingebaute Raum Klimageräte nach Typ

Der Trend weg von Kompaktgeräten (Packages) verstärkt sich; allerdings sind hier die mobilen Geräte nicht enthalten, d.h. als Packages gelten hier offenbar nur die Fenster-/Wandgeräte.

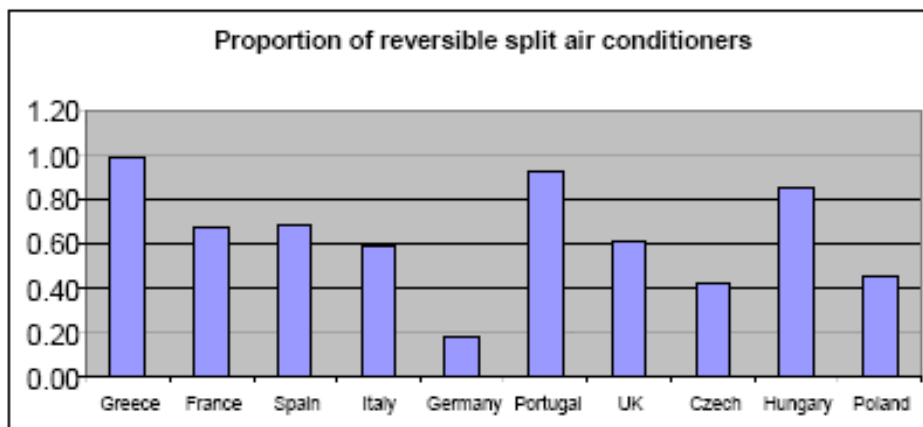
Figure 2.9: Residential and non-residential sales by country (shares in cooling capacity), EU-27. All types within study scope (<12kW)



Figur 4-16 Wohn- und Nichtwohngeräte nach Ländern (EU 27)

Der Anteil des Geräteinsatzes in Nichtwohnbauten ist je nach Land sehr unterschiedlich.

Figure 2.13: Proportion of reversible split and multi-split air conditioners (shares in numbers of outside units) in 10 European countries (<12kW)



Figur 4-17 Anteil verschiedener Splitgeräte Typen in 10 europäischen Ländern

Der Anteil reversibler Geräte (Kühlen und Heizen) ist in südlichen Ländern mit kleinem Heizwärmebedarf sehr gross, in Deutschland hingegen sehr klein (dürfte auch für die Schweiz gelten).

4.5 Überblick Marktangebot Schweiz

4.5.1 Topten.ch

Der Verkauf von Klein-Klimageräten erfolgt über sehr unterschiedliche Kanäle, vom Warenhaus, Discounter über den Elektriker bis zu Lüftungssystemanbietern. Für die Erhebung der Topten-Geräte wurden die Schweizer Vertretungen der massgebenden (ausländischen) Hersteller angegangen, wobei nicht alle wichtigen rasch gefunden wurden. Billig-Geräte werden oft nur kürzeste Zeit von Warenhäusern, Discountern etc. angeboten, wo kaum Beratung oder Service möglich sind.

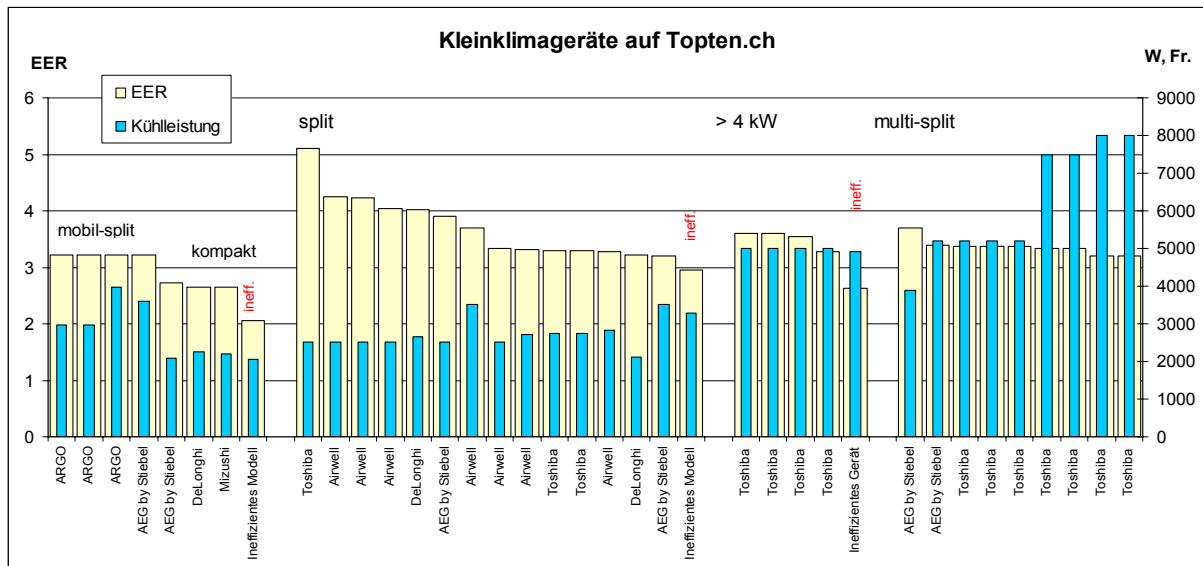
Auf Topten.ch ist ein ausführlicher Ratgeber zu finden, welcher auch auf Ursachenbekämpfung und Systemansätze fokussiert [4-5].

Auswahlkriterien: Energieeffizienzkategorie A

Die Topten-Listen "Klimageräte" wurden im Frühjahr 2007 erweitert; es sind nun 4 Kategorien mit jeweils 4 bis 14 Baureihen oder Geräten:

- Mobil-Split- und Kompaktgeräte
- Split-Geräte bis 4 kW Kühlleistung

Mobil-Split- und Kompaktgeräte sind bewusst auf einer gemeinsamen Liste platziert (Figur 4-19), wobei dank Sortierung nach EER alle Mobilsplit-Geräte vorn, die Kompaktgeräte hinten (rechts) liegen und das ineffiziente Gerät am Schluss. Wie bei Topten üblich, finden sich Unterseiten mit den Auswahlkriterien, inkl. Etiketten-Klassifizierungsschema, Begriffserklärungen etc. und einer Ratgeberseite mit Vorgehenshinweisen, Beschreibung der Klimageräte-Typen, Nutzungs-Hinweisen etc.



Figur 4-18 Klein-Klimageräte (Topten): EER und Kühlleistung

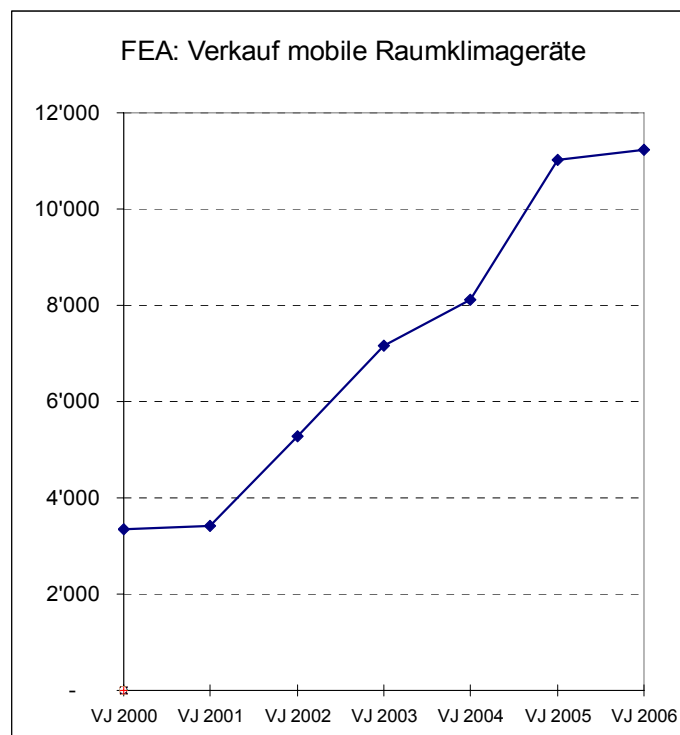
Die Auswertung der Topten-Listen (Mai 2007) nach Kühlleistung und EER (Figur 4-18) bestätigt im Wesentlichen den bereits bei den China-Grenzwerten beobachteten Zusammenhang: abnehmende EER-Werte mit zunehmender Leistung.

	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☛ Marke	ARGO	ARGO	ARGO	AEG by Stiebel	AEG by Stiebel	DeLonghi	Mizushi	Ineffizientes Modell
☛ Modell	10 HLA	10 CLA	13 CLA	ACPS 11 D	ACP 08	Pinguino PAC T 105 ECO	Iceberg Modell 7	
☛ Option							Weitere Geräte mit höheren Leistungen erhältlich	
☛ Kaufpreis (Fr.)	2894	2464	2787	3227	2421	1630	1495	790
☛ Geräteart	Mobiles Split-Klimagerät	Mobiles Split-Klimagerät	Mobiles Split-Klimagerät	Mobil-Split	kompakt Zweileitungssystem	kompakt Einleitungssystem	kompakt Einleitungssystem	kompakt Einleitungssystem
☛ Kühlleistung in Watt	2980	2980	3980	3600	2100	2250	2190	2050
☛ Heizleistung in Watt	3340			1800	1800		1600	
☛ Leistungsaufnahme Kühlbetrieb in Watt	925	925	1240	1120	770	850	830	1000
☛ EER	3.22	3.22	3.21	3.21	2.72	2.65	2.64	2.05
☛ Effizienzklasse	A	A	A	A	A	A	A	D
☛ Energieverbrauch kWh / Jahr (500 Betriebsstunden)	462.5	462.5	620	585	385	425	415	500
☛ Stromkosten (Fr. in 10 J.)	925	925	1240	1170	770	850	830	1000
☛ Masse Aussengerät (HxBxT mm)	25.0x52.5x49.0	23.0x44.0x43.5	25.0x52.5x49.0	500 x 580 x 240				
☛ Masse Innengerät (HxBxT mm)	24.5x58.0x79.0	24.5x58.0x79.0	24.5x58.0x79.0	855 x 475 x 360	855 x 475 x 485	940 x 495 x 410	840x440x420	810 x 460 x320
☛ Verbindung trennbar	ja	ja	ja	ja				
☛ Gewicht Innengerät kg	15	9.5	15	39	39	34	36	35
☛ Gewicht Aussengerät kg	55	44	55	12				

Figur 4-19 Topten.ch: Klimageräte; Seite "Mobile- und Kompakt-Klimageräte"

4.5.2 FEA-Verkaufsstatistik

Seit kurzem führt der Fachverband Elektro-Apparate FEA (Zürich) eine Statistik der verkauften mobilen Klimageräte. Sie weist für 2004 und 2005 (nach den heissen Sommern) einen steilen Anstieg auf. Allerdings sind nur die FEA-Mitglieder berücksichtigt, während etwa die Verkaufszahlen der Grossverteiler fehlen.



Figur 4-20 Klein-Klimageräte, Verkaufsentwicklung der FEA-Mitglieder

4.6 Technologie-Entwicklung

4.6.1 "Konventionelle" Klein-Klimageräte mit hermetischem Verdichter

Theoretisch ist nach Carnot noch ein bedeutendes Optimierungspotenzial gegeben. Letztlich ist dies auch eine Frage der Grösse der Wärmetauscher (Platzbedarf, Kosten) und der Ventilatoren (Effizienz, Geräusch, Kosten).

Der Carnot-Wirkungsgrad für ΔT 30 K (t_a 30° C, Abgabe 20° C, 2×5 K ΔT Wärmeübergang):

9.7, mit Gütegrad 0.5 ergibt sich ein EER von 4.8. Tatsächlich ist mindestens ein Gerät mit 5 auf dem Markt (Toshiba, Haier China).

Wenn sehr gute konventionelle (Split-) Geräte eingesetzt werden, könnte der Einsatz von Photovoltaik-Strom interessant werden, insbesondere wenn Spitzenpreise für Elektrizität in Hitzeperioden berücksichtigt werden. Vgl. dazu ein sehr kleines Gerät, welches als "solar-powered air conditioner" in einer amerikanischen Technik-News Website beschrieben wird, allerdings mit unklaren Leistungsdaten. Die F&E Szene ist offensichtlich in Bewegung.

http://news.com.com/2300-11392_3-6168612-1.html

4.6.2 Komfortlüftungsgeräte mit integrierter Kühlung

Technisch wohl kein besonderes Problem; wäre gerade in Kombination mit Wassererwärmung sinnvoll (welche in manchen Geräte heute schon integriert ist, dabei wird die Wärme der Fortluft entzogen). Aktuell fehlt wohl die Nachfrage, was sich aber ändern kann.

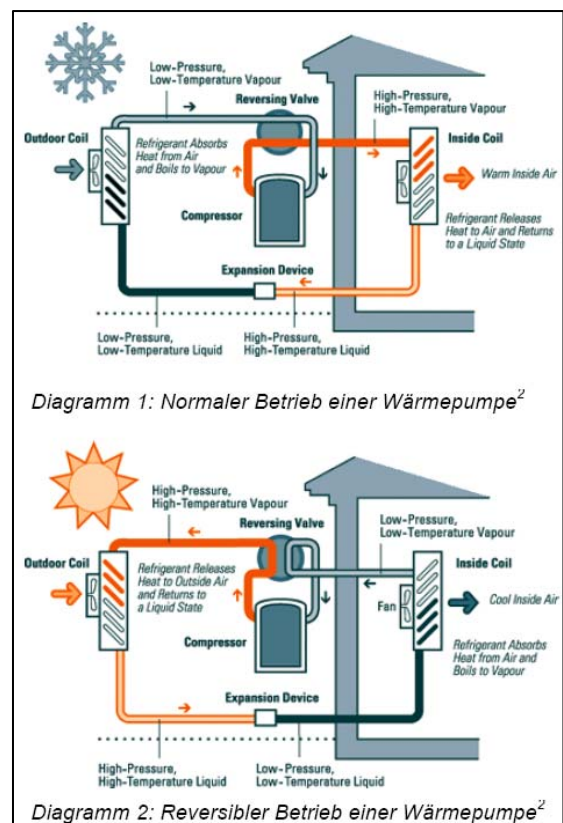
Wenn die Systeme angeboten werden, würden sie wohl auch genutzt was einen zusätzlichen Stromverbrauch ergibt! Erdregister dürften für die Kühlung effizienzmässig viel besser sein; sie werden bisher v.a. wegen der Vermeidung der Wärmetauscher-Vereisung eingesetzt. Ihr Einsatz dürfte wegen der Möglichkeit der Sommer-Kühlung zunehmen.

4.6.3 Reversible Heizungs-Wärmepumpen

Klein-Heizwärmepumpen für reversiblen Betrieb sind als Luft-Luft-Geräte in den USA und weiteren Ländern verbreitet; in warmem Klima ist die Kühlfunktion sogar die wichtigere Nutzung. Figur 4-21 stammt aus einer Fallstudie am NDSE 2005 [4-4]. In der Schweiz dürften solche Geräte die üblichen Komfortansprüche kaum erfüllen. Allerdings könnten die in sehr gut wärmegeprägten Bauten sehr kleinen Luftmengen dies relativieren.

- Wird auch in der Schweiz bereits angeboten (in USA Standard, Luft-Luft-Geräte)
- Keine Daten für System-Effizienz verfügbar
- Kaum "bewährte Praxis"

Figur 4-21 Reversibler Betrieb einer Wärmepumpe, aus [4-6]



Für die in der Schweiz verbreiteten **Elektro-Klein-Wärmepumpen mit Fussbodenheizung** ist der reversible Einsatz technisch nicht ganz simpel, da die resultierende abzugebende Wärmeleistung relativ hoch ist (Wärmequellen > 25° C führen zu Hochdruck-Störungen). Das Leistungsproblem wäre mit Inverter-WP entschärft. Als Wärmesenke sind Erdsonden ideal, da damit der winterliche Wärmeentzug z.T. kompensiert wird. Bisher wurden keine Praxisberichte zu derartigen Anlagen gefunden. Wegen der grossen thermischen Trägheit der Fussbodenheizungen ist möglicherweise die Steuerung mit herkömmlichen PI-Reglern und Raumtemperaturfühlern nicht befriedigend zu lösen. Insbesondere ist der zusätzliche Energieverbrauch bei Einhaltung (zu) enger Temperaturgrenzen zu beachten. Aus technischer Sicht sind die erforderlichen Isolierungen wegen der nun zeitweise kalten Leitungen der

Abgabeseite zu beachten. Auch bestehende Anlagen könnten mit nicht allzu grossem Aufwand für den reversiblen Betrieb umgebaut werden. Ein Forschungsprojekt zu reversiblen erdgekoppelten Wärmepumpen wurde 2007 abgeschlossen [4-7].

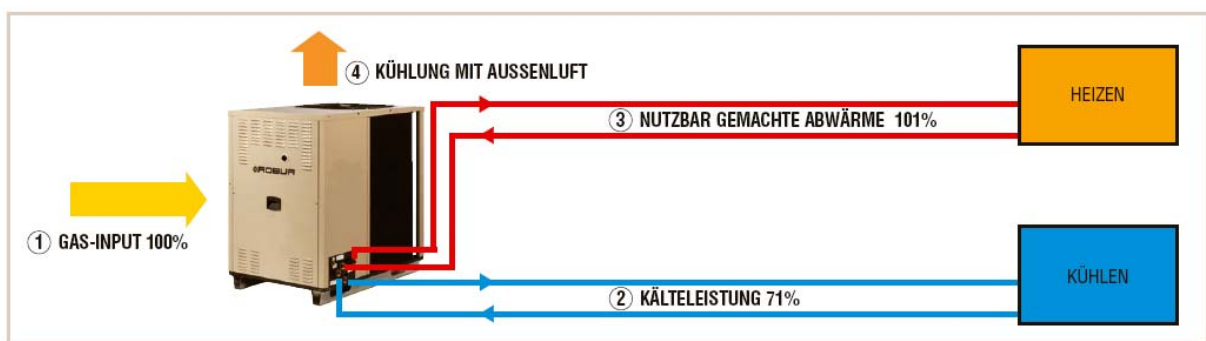
Bei grösseren Anlagen, vor allem mit thermo-aktiven Bauteilen (TABs), ist die Kühlung durch reversiblen WP-Betrieb technisch eine gute Lösung, evtl. aus Komfortgründen zu ergänzen durch Luftentfeuchtung. Ein automatisch geregelter Komfort inkl. Kühlung und Entfeuchtung ist mit beträchtlichem Mehr-Energieverbrauch verbunden, da die sonst übliche Toleranz der Gebäudenutzer wegfällt.

4.6.4 Absorptionskühlung, solar oder Brennstoff-beheizt

Für mittlere/grössere Anlagen verfügbar, relativ aufwendig/ teuer.

Zur solaren (Absorptions-) Kühlung mit Röhrenkollektoren sagt Beat Kegel (Klimasystementwickler, Zürich, früher Ernst Basler & Partner AG): "Riesige Kollektorleistung nötig, Stromverbrauch für die Rückkühlung beträchtlich, nicht empfehlenswert." Dies ist sicher für die Deckung von kurzzeitigen Leistungsspitzen gültig; wenn eine längere Nutzungsdauer etwa durch eine Kombination mit Wassererwärmung möglich ist, könnten solar erwärmte Absorptionsanlagen interessant sein.

Möglicherweise sinnvoll, wenn Abwärme ausreichender Temperatur verfügbar und nicht allzu kleine Anlage.



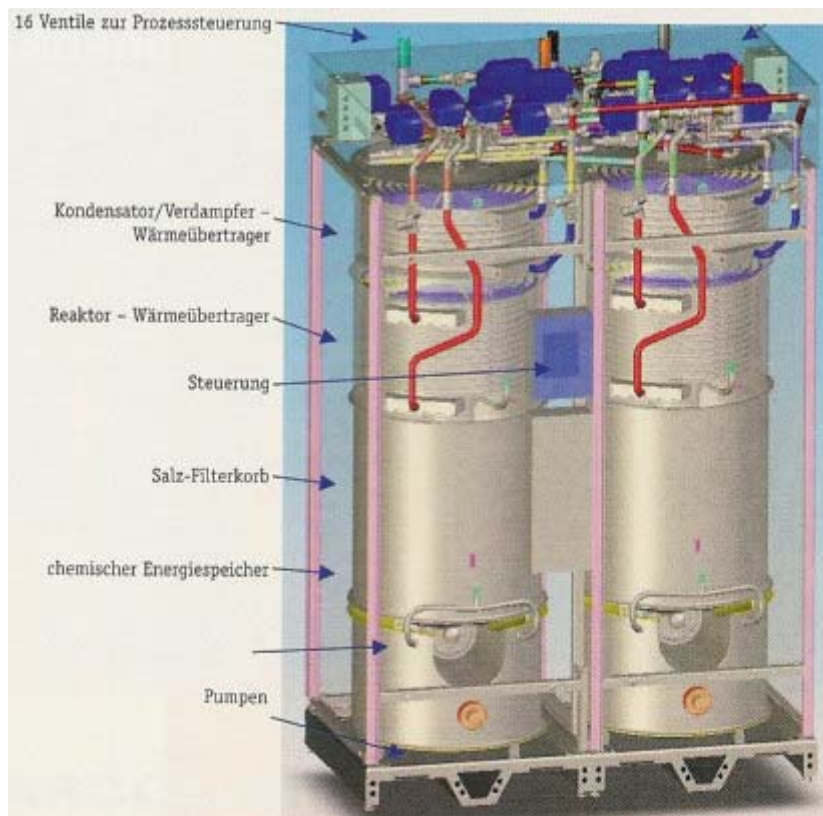
Figur 4-22 Gas-Absorptions-Wärmepumpe. Quelle: www.robur.it (Katalog). Kälteleistung ab 18 kW.

Absorption: Gas-WP zum Kühlen/Heizen, $25 \text{ kW}_{\text{th}}$, 18 kW_{k} , www.robur.it
Website, Präs. (> 3. Sp., Kühlen mit Erdgas) <http://www.asue.de/> (Gasindustrie), [4-8].

Seit einiger Zeit befinden sich auch kleine Absorptions-Kältemaschinen in Entwicklung, z.B. bei Climatewell (Schweden), Vgl. Figur 4-23. Das Gerät soll eine Kühlleistung von 10 bis 20 kW aufweisen und enthält einen Speicher für rund 60 kWh Kälte. Durch die Leistungsgrösse und den Speicher eignet es sich für die Versorgung mittels Sonnenkollektoren.

Ein noch kleineres Gerät, jedoch wahrscheinlich mit Kompressor, wird als "solar-powered air conditioner" in einer amerikanischen Technik-News Website beschrieben, mit unklaren Leistungsdaten. Die F&E Szene ist offensichtlich in Bewegung.

http://news.com.com/2300-11392_3-6168612-1.html



Figur 4-23 Absorptions-Klimagerät für solare Speisung
Quelle: Climatewell, Schweden

4.6.5 Magnetische Kühlung

Würde den Ersatz der problematischen Kältemittel bringen. Der COP liegt offenbar etwa wie bei den konventionellen Systemen. Marktreife wird in 5 bis 10 Jahren erwartet (B. Kegel).

Der magnetische Kühlschrank, Swiss Technology Award 2006, HEIG-VD Yverdon

International Institute of Refrigeration IIR: <http://www.iifiir.org/en/>

4.7 Probleme: Wartung, Platzbedarf, Hygiene, Lärm, Wirtschaftlichkeit

4.7.1 Wartung/ Unterhalt

Bei nicht professionellen Betreibern ein ernsthaftes Problem (wie alle nicht ganz simplen Wartungsaufgaben).

Lösungsansätze:

- Gerät muss auf Wartungsbedarf aufmerksam machen (mindestens Signal, wie Geschirrspüler, evtl. Funktionssperre wie Kaffeemaschine bei Wassermangel).
- Wartung, insb. Filterwechsel, muss sehr einfach sein, ohne Werkzeug, Anleitung zwangsläufig sichtbar oder greifbar.
Ein jährlicher Filterwechsel ist in den Betriebsanleitungen vorzuschlagen.
- Hygiene, tiefer greifende Reinigung: wird unterlassen wenn keine Reminder und keine Angabe von Nachteilen. Könnte evtl. in Wartungsvertrag (ev. anderer Geräte) eingebaut bzw. gekoppelt werden.

4.7.2 Platzbedarf

Bei Neubauten eine Planungsfrage bzw. -Anforderung. Bei bestehenden ist der Einbau einer festen Anlage, ev. sogar einer Splitanlage, oft ein gravierendes Platzproblem (Raumhöhe, Schächte, Durchbrüche etc.). Daher die oft hohe Präferenz für mobile Geräte.

4.7.3 Lärm / Geräusch

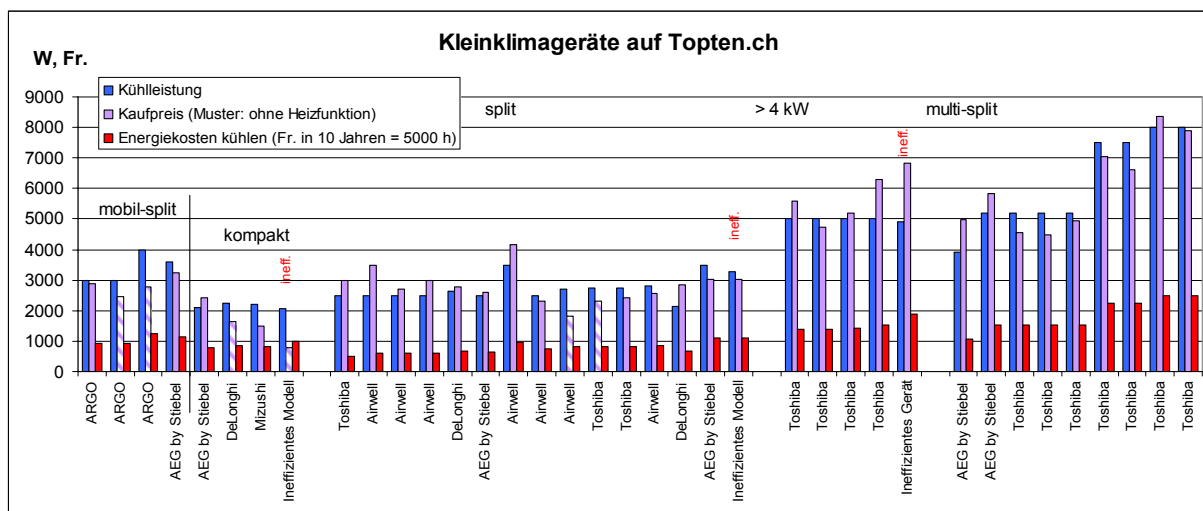
Kann i.d.R. zum Voraus anhand von deklarierten Werten nicht abgeschätzt werden. Hörproben könnten nur bei Stille einen Eindruck geben. Für den Betrieb tagsüber am Arbeitsplatz sind die Anforderungen bzw. Erwartungen meist nicht sehr hoch, im Gegensatz zu Wohnungen und zum nächtlichen

Betrieb (Nachtauskühlung!). Zu hohe Geräuschpegel können einen geplanten Nachtbetrieb u.U. verunmöglichen.

4.7.4 Wirtschaftlichkeit, Lebenserwartung

Der überwiegende Teil der in der Schweiz zur Zeit und in nächster Zukunft eingesetzten Klein-Klimageräte weist eine relativ kleine Betriebsstundenzahl auf. Ausnahmen wären Anwendungen für Serverräume oder ähnliche, wenig klimaabhängige Kühlanforderungen, welche allerdings effizienter mit Wassersystemen zu kühlen wären. Auch die Vorgabe der EU-Direktive zur Energie-Etikette gibt mit 500 Stunden Volllast eine schwache Auslastung vor.

Da Klein-Klimageräte im praktischen Einsatz mit einer Temperatur-Regelung betrieben werden (mindestens Thermostat), entsprechen 500 h Volllast einer Einsatzdauer von etwa der doppelten Zeit, d.h. 1000 h/a, was bei 10 h/Tag 100 Tagen Einsatz entspricht. Dies macht bei 5-Tagewoche (Büronutzung) 20 Wochen aus, was weit über der Dauer von (bisher) üblichen Hitzeperioden liegen dürfte. In der Topten-Geräteauswertung Figur 4-24 wurde trotzdem mit 500 h gerechnet. Die angenommenen 10 Jahre Betriebsdauer dürften jedoch bei Splitgeräten, insbesondere grösserer Leistung, meist übertroffen werden, was bei weniger Jahresstunden die Gesamtbetriebsdauer wiederum erhöht. Die angenommenen 5000 h in 10 Jahren könnten somit bei nicht übermässigen Wärmelasten und nicht exzessiven Raumtemperatur-Anforderungen durchaus repräsentativ sein.



Figur 4-24 Klein-Klimageräte (Topten): Kühlleistung, Kühl-Energiekosten und Kaufpreis

Die Auswertung von Gerätepreisen und Kühl-Energiekosten im Zusammenhang mit der Kühlleistung zeigt einerseits, dass die Kaufpreise recht direkt mit der Kühlleistung zusammenhängen (Geräte ohne Heizfunktion sind günstiger).

Die über 10 Jahre kumulierten Energiekosten liegen bei den meisten Geräten weit unter den Anschaffungskosten (bei Splitgeräten kommt zum Kaufpreis die Installation hinzu). In einer Wirtschaftlichkeitsrechnung würden daher die Anschaffungskosten stark überwiegen bzw. die Energieeffizienz würde nur einen relativ schwachen Einfluss zeigen. Aus zwei Gründen wird sich dies nicht unbedingt stark auf die Gerätewahl auswirken:

- Komfortable und qualitativ hoch stehende Geräte werden auch eine gute Effizienz aufweisen (z.B. Invertertechnik). Dank der Energie-Etikette werden unter dem Qualitätsaspekt kaum B- und schlechtere Geräte gekauft.
- Die drohende Zunahme heisser Perioden spricht zu Gunsten effizienterer Geräte.

4.8 Komfortventilatoren

4.8.1 Physiologische Wirkung, Grenzen

Mit kühlendem Luftzug den Komfort im Sommer zu verbessern ist eine bewährte Technik, welche durch die relativ billigen Klein-Klimageräte verdrängt werden könnte. Immerhin haben Deckenventilatoren in gewissen Kreisen sogar Kultstatus, und mit den fortgesetzt heissen Sommern hat der Detailhandel nun auch bei Ventilatoren aufgerüstet.

Physiologisch entsteht die Kühlwirkung einerseits durch Konvektion und wirkt daher vor allem auf der unbedeckten Haut, im Gesicht und an den Armen (kurze Ärmel vorausgesetzt!). Andererseits bewirkt

der Luftzug eine Abkühlung durch Entzug der Verdunstungswärme, die beim Schwitzen stark zunimmt; letzteres stellt allerdings bereits eine deutliche Komforteinbusse dar. Ein Komfort-Dilemma entsteht durch den unvermeidlichen Luftzug, der gerade bei Schwitzen unbemerkt zu "Verkühlung" führen kann, und durch das Geräusch, welches von der Qualität des Ventilators abhängt.

Der Kühleffekt durch Verdunstungswärme-Entzug nimmt ab, wenn die Raumluft feuchter wird, also bei schwül-warmen Verhältnissen. Diese sind allerdings in unserem Klima recht selten. Bei Raumtemperaturen über etwa 28° C wäre für merkliche Kühlung ein starker Luftzug mit entsprechend lästigen Nebenwirkungen erforderlich. Ventilator-Kühlung ist daher nur bei moderater Überwärmung eine komfortable Lösung.

4.8.2 Angebot, Bauarten

Komfortventilatoren sind als Tisch-, Stand- und Deckenventilatoren erhältlich. Es sind viele Design-Typen und Farben verfügbar. Je nach örtlichen Gegebenheiten eignen sich unterschiedliche Bauarten. Deckenventilatoren erfordern eine feste Installation (allenfalls anstelle oder neben Leuchtenanschlüssen), während alle anderen Bauarten mobil sind und nach der Nutzungsperiode weggeräumt werden können. Als minimale Tisch-Lösung sind Kleinstventilatoren für USB-Anschluss (5 V DC) erhältlich. Die meisten Komfortventilatoren mit Netzanschluss weisen 2 bis 4 Drehzahlstufen oder stufenlose Steuerung auf, Tisch- und Standventilatoren auch einen Schwenkmechanismus. Für Deckenventilatoren gibt es auch Fernbedienungen. Die Kaufpreise erstrecken sich von etwa CHF 20 für einfache Tischmodelle über rund CHF 100 für gute Standmodelle bis über CHF 300 für exklusive Deckenventilatoren.

Aktuelle Tests und Erfahrungsberichte zeigen, dass Geräusch und Ausführungsqualität kritisch sind; d.h. dass Billig-Geräte oft unangenehm laut sind und nach kurzer Zeit defekt werden. Bezüglich Leistung ist zu beachten, dass ein (zu) starker Ventilator bei reduzierter Drehzahlstufe einen tieferen Geräuschpegel, aber auch einen schlechteren Wirkungsgrad aufweist. Da Deckenventilatoren nur kleine Luftgeschwindigkeiten mit wenig horizontaler Komponente erzeugen, bewirken sie vor allem eine Luftdurchmischung im Raum, was bei warmen Decken (Flachdach!) sogar kontraproduktiv sein kann.



Figur 4-25 Bauarten von Komfortventilatoren

Quelle: Risch Lufttechnik

4.8.3 Wirkungsgrad, Vergleich mit Klein-Klimageräten

Komfortventilatoren werden bisher ausschliesslich mit relativ uneffizienten Motoren angeboten (Kondensator-Asynchronmotor, sogar Spaltpolmotoren, etwa in Deckenventilatoren). Der Vergleich ihrer Leistungsaufnahme mit Klein-Klimageräten ist trotzdem frappant: 25 bis 60 Watt (pro Arbeitsplatz) stehen 900 bis 1500 W (pro Raum) gegenüber. Mit 3 bis 5%, bei 2 Ventilatoren pro Raum 6 bis 8% der Klimagerät-Leistungsaufnahme beträgt das Verhältnis rund 20 und es könnte mit effizienteren Ventilatoren (Magnetmotor) verdoppelt bis verdreifacht werden.

Eine quantitative Beurteilung von Komfortventilatoren anhand des geförderten Volumenstromes oder der Luftgeschwindigkeit ist übrigens kaum möglich, da kein Druckverlust messbar ist (freiblasend) und die Luftausbreitung (Abströmwinkel) kaum quantifizierbar ist. Hierzu wären einheitliche messbare Grössen nützlich.

Komfortventilatoren werden in den EuP Arbeiten Lot 10 „Geräte zur Raumklimatisierung“ untersucht und möglicherweise als Alternative zu Klein-Klimageräten positioniert. Die Arbeiten sind allerdings noch nicht weit genug fortgeschritten, um dies erkennen zu können.

4.9 Solar Cooling

Es ist naheliegend, als Energieträger zur Raumkühlung im Sommer, direkt und synchron Sonnenenergie einzusetzen. Besonders in tropischen Zonen mit lang anhaltenden Hitzeperioden und besseren Solarstrahlungs-Verhältnissen als in der Schweiz, ist diese Kombination einleuchtend, die unter Umständen auch ohne Netzanschluss möglich ist.

Bis jetzt sind von verschiedenen Forschern zwei hauptsächliche Strategien verfolgt worden:

- Solarthermisch-Absorptionskältemaschine
- Photovolatilik- Kompressionskältemaschine

Trotz langjährigen grossen internationalen (u.a. IEA Task 25 Solar Heating and Cooling, www.iea-sac.org) und nationalen (SPF Institut für Solartechnik Hochschule Rapperswil) Forschungsanstrengungen ist noch kein massengefertigtes und geeignetes Kompaktgerät auf dem Markt erhältlich.

Beide erwähnten Technologien haben noch gravierende Nachteile:

Best Available Technology solar-thermische Systeme im Leistungsbereich zwischen 10 und 100 kW brauchen für den effizienten Betrieb einer u.U. mehrstufigen Absorptionskältemaschine mit genügend hoher Leistungsziffer Hochtemperatur-Vakuumröhren-Kollektoren, die in der Lage sind 120 bis 150° C Heisswasser zu liefern. Beim Absorptionskälteprozess ist die Antriebsleistung der Pumpe im Vergleich zu den thermischen Leistungen sehr gering und wird bei den thermodynamischen Berechnungen meist vernachlässigt. Der Gütegrad nach Carnot bezeichnet das Verhältnis der Kälteleistung zur Wärmezufuhr im Austreiber und erreicht bei ausgeführten Anlagen Werte von etwa 0.5 bis 0.8. Diese tiefen Werte sind aber nicht wirklich schlecht, wenn die Wärmezufuhr solar oder mit Abwärme erfolgt. Dazu ist ein schwach konzentrierendes Vakuumröhren Kollektorssystem nötig, das unter Umständen sogar ein 1- oder 2-achsig nachgeführt werden muss. Bei tieferen Solar-Produktionstemperaturen sinkt die Leistungsziffer der Kältemaschinen von maximal 1.2 rasch auf weit unter 1 ab. Der Betrieb einer Absorptionskältemaschine ist aufwändig und eher für grössere Anlagen (100 bis 1000 kW) geeignet. Solche Systeme sind allenfalls dort sinnvoll, wo kein Netzstrom zur Verfügung steht. Ein vereinfachter Weg - ohne Stromnetz - führt über fossile Erwärmung mit Erdgas, Öl oder Propan. Dadurch können höhere Kochertemperaturen erzielt werden und wird die Absorptionsmaschine effizienter, dafür wird fossile Energie verbraucht und entsprechend CO₂ emittiert.

			Solarthermie	Photovoltaik	
			Hochtemperatur	PV AC/DC	PV DC
Solarsystem	Einstrahlung global	W/m ²	700	700	700
	Typ		Vakuum, schwach konzentrierend	polykristallin	polykristallin
	Orientierung		Süd fix	Süd fix	Süd fix
	Neigung	°	30° fix	30° fix	30° fix
	Produktion		150° C	100 V DC	100 V DC
	Wirkungsgrad thermisch		60%		
	Wirkungsgrad elektrisch			15%	15%
	Wechselrichter AC/DC	eta		97%	
	Nutzleistung	W/m ²	420	102	105
Kältesystem	System		Absorptionskälte	Kompressionskälte	
	COP		1,2	5	5
	Kälteleistung	W/m ²	504	509	525

Tabelle 4-5 Solar Cooling: Vergleich Solarthermie mit Photovoltaik

Eine photovoltaische Anlage heute „Best Available Technology“ erfordert wegen des tiefen Panel Wirkungsgrades von 10 bis 15% eine relativ grosse Auffangfläche (bei maximaler Globalstrahlung mit 1000 W/m² rund 6 m²/kWe, bei häufiger Globalstrahlung von 700 W/m² etwa 10 m²/kWe). Eine elekt-

risch betriebene Kompressions-Kältemaschine im Leistungsbereich zwischen 2 und 20 kW kann im besten Fall direkt mit Gleichstrom von der Photovoltaikanlage gespeist werden. Solche Geräte ohne Wechselrichter (Kosten, Verluste, etc.) sind am Markt im beschränkten Umfang erhältlich. Bei einem EER der Kältemaschine von 5 ergeben also 10m² PV ungefähr 5 kW maximale Kälteleistung bei voller Sonnenstrahlung. Das entspricht einem Raum von 500 m² Grundfläche bei einer spezifischen Kälteleistung von 10 W/m². Technisch gesehen ist eine solche Kombination funktionell einwandfrei und stabil. Da PV Anlagen mittlerweile ihre Graue Energie innert etwa 3 Jahren amortisiert haben, ist das auch in unserem Klima ökologisch vertretbar. Ökonomisch leidet sie an den hohen Anfangskosten der PV Panels. Neben den kristallinen PV Panels mit besserem Wirkungsgrad sind auch günstigere Panels mit tieferem Wirkungsgrad (Dünnschichttechnologie) am Markt. Diese eröffnen die Möglichkeit, grössere PV-Flächen auch bei etwas ungünstigerer Exposition zu realisieren (z.B. an Wänden). Der Effekt der Süd-Orientierung der Panels wird teilweise überschätzt, der Effekt einer Beschattung durch Eigenschatten, Nachbargebäude, Bäume, Horizont) wird dagegen eher unterschätzt. Zusätzlich kann mit thermischen Speicherelementen die abgegebene Kälteleistung auch leicht über die Zeit der wirksame Sonnenstrahlung hinaus geschoben werden.

In der Gegenüberstellung gemäss Tabelle 4-5 sind beide Systeme etwa gleich effizient, mit einem leichten Vorteil für die PV-DC Anlage.

4.10 Zusammenfassung Klein-Klimageräte

Die Technologie der raumorientierten kleinen Kältegeräte hat sich stark entwickelt und verbessert. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Geräte künftig sehr stark verbreiten und aus den warmen Klimazonen langsam auch in unsere temperierten Zonen gelangen. Sie werden künftig nicht nur im Bürobereich, sondern auch im Wohnungsbereich verstärkt eingesetzt werden.

Folgende Kriterien bei der Gerätewahl lassen sich aus heutiger Kenntnis formulieren:

- Klein-Klimageräte sollen nur bei ausgewiesenem Bedarf, d.h. nach Abschluss baulicher Massnahmen (Sonnenschutz, etc.), bei verminderten Innenlasten (energieeffiziente Geräte mit minimalen Standby-Verlusten und bedarfsgerechtem Betrieb) und richtigem Betrieb einer mechanischen Lüftung resp. Fensterlüftung (reduzierte Lüftung am Tag, intensive Nachtlüftung) eingesetzt werden.
- Als einfache Alternative können auch Komfortventilatoren in unmittelbarer Nähe des Aufenthaltsortes empfohlen werden.
- Die eingesetzten Geräte sollen in der Leistung resp. in deren Anzahl auf den erforderlichen Kältebedarf der Räume gut abgestimmt werden, überdimensionierte Geräte sind zu teuer. Es sollen leistungsgeregelte Invertergeräte mit drehzahlgeregelten Kompressoren eingesetzt werden.
- Die Geräte sollen örtlich und zeitlich (Schaltuhr) nur nach Bedarf genutzt werden.
- Sie sollen automatisch nach der erforderlichen Raumtemperatur (Einstellbereich 24 bis 26° C) eingestellt und geregelt werden. Unnötig tiefe Sollwerte sind zu vermeiden.
- In erster Linie sollen fest montierte Split-Systeme oder - wenn kein Aussengerät möglich ist - die besten Kompaktgeräte mit Zweileitungs-System eingesetzt werden.
- Die ungehinderte Wärmeabfuhr nach aussen ist zu gewährleisten und Ansaug-Ausblas-Kurzschlüsse sind zu vermeiden.
- Die Geräte sollen nicht zusätzlich über ohmsche Heizelemente verfügen.
- Die Geräte sollen einen EER > 5 aufweisen. Dazu werden leistungsabhängige Kompressoren mit Frequenzumrichtern oder Permanentmagnet- und Magnetmotor-Antriebe eingesetzt.
- Die Geräte sind regelmässig zu reinigen (Luftfilter, etc.) und zu warten.
- Kleinklimageräte können unter Umständen den Einbau einer zentralen Klimaanlage vermeiden.
- Es ist denkbar, dass künftig solar betriebene kompakte Kleinklimageräte auf dem Markt erscheinen werden.

4.11 Referenzen Klein-Klimageräte

- [4-1] Norm SN/EN 14511-1:2004, Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und -kühlung"
Teil 1: Begriffe (-2 bis -4: 2: Prüfbedingungen, 3: Prüfverfahren, 4: Anforderungen)

- [4-2] RICHTLINIE 2002/31/EG DER KOMMISSION vom 22. März 2002 zur Durchführung der Richtlinie 92/75/EWG des Rates betreffend die Energieetikettierung für Raumklimageräte (Official Journal of the European Communities, 3.4.2002)
- [4-3] Danish Energy Management: Benchmarking of AC Efficiency Levels in 5 Asian Countries, Draft Report, 6.2004
- [4-4] Richtlinie 2005/32/EG des europäischen Parlamentes und des Rates, zum EuP Energy using Products Projekt, Brüssel 6. 7. 2005
- [4-5] Jürg Nipkow, Arena: Topten-Ratgeber Klimageräte, www.topten.ch, 22.05.2006
- [4-6] S. Vallis, T. Büchner: Wärmepumpenkompaktgeräte zum Heizen und Kühlen, Fallstudie NDSE 9/2006 (FHBB / Institut für Energie, MuttENZ)
- [4-7] R. Dott et al.: Heizen & Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen, FHNW, in: 14 Schweiz. Statusseminar, S. 187ff.
- [4-8] Tibor Brockmann et al ASUE / VBI Heizen und Kühlen mit Gasklimageräten "Werbebroschüre" Erdgas D 01.11.2003, www.asue.de

Weitere Quellen Kleinklimageräte:

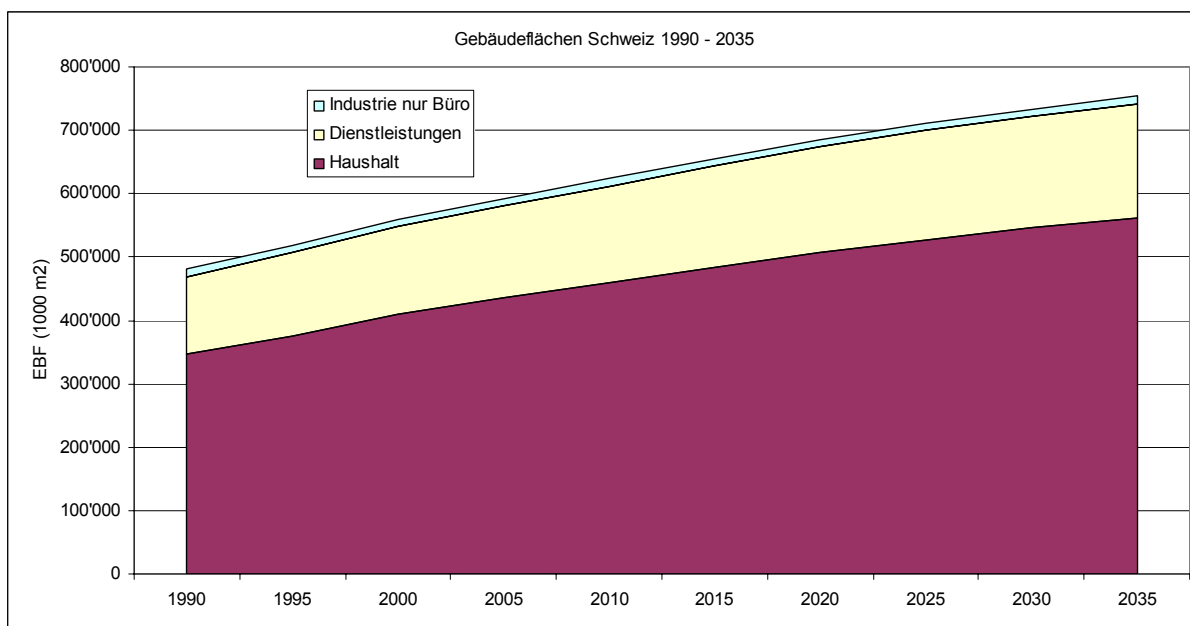
- Jürg Nipkow, Arena: Kleinst-Raumklimageräte, Präsentation für Energiepraxis Seminar 2003 (pdf), Auszug in Zürcher Energiepraxis, 19.11.2003
- Beat Gasser und Beat Kegel: Gebäudetechnik - Faktor 10, Bau + Architektur 4/2005
- Magnetic Cooling, announcement of new working party, 5/2005, IIF/IIR
- Test Ventilatoren, saldo Nr. 10/2007, saldo-Verlag, Zürich

5. Elektrischer Energiebedarf für Kühlung und Luftförderung

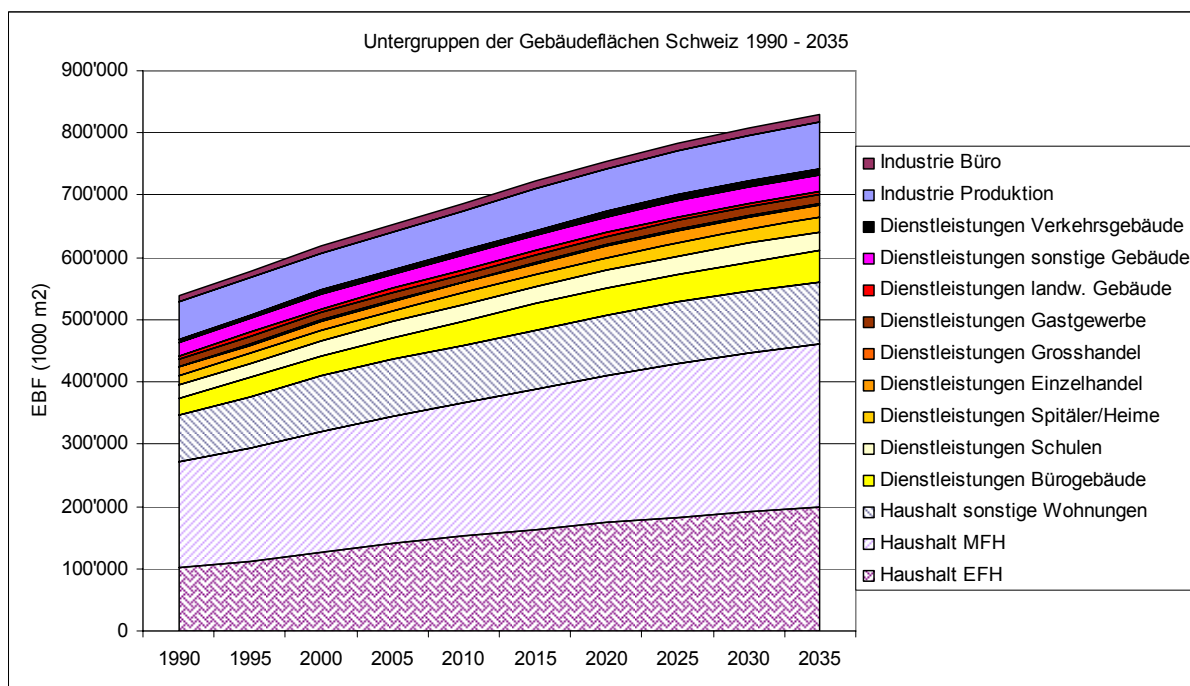
Zur Quantifizierung der Auswirkungen einer Klimaerwärmung auf den Elektrizitätsverbrauch von Lüftungs- und Klimaanlage in Wohn- und Bürobauten und zur Beurteilung verschiedener Szenarien und Massnahmen wird ein einfaches Modell erstellt. Mit dem Modell WaSo werden die durch eine Klimaerwärmung beeinflussbaren Anteile der Kühlung und Luftförderung in Wohn- und Bürobauten erfasst. Nicht enthalten sind die Verbräuche für das Abführen von grossen internen Wärmelasten sowie generell von Anlagen mit grossen Leistungen, welche unabhängig vom Klima sind.

5.1 Gebäudeflächen

Nach Untersuchungen von Wüest & Partner [5-1] nimmt die Gebäudefläche der Schweiz in den nächsten Jahren im Mittel um 0.8% pro Jahr weiter zu.



Figur 5-1 Entwicklung der Gebäudefläche in der Schweiz nach den Hauptkategorien Haushalt, Dienstleistungen und Industrie (nur Büro)



Figur 5-2 Entwicklung der Gebäudeflächen in der Schweiz nach den Unterkategorien von Haushalt (3), Dienstleistungen (9) und Industrie (2)

Für die weiteren Überlegungen wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung der Gebäudeflächen unabhängig bleibt vom Einfluss warmer Sommer. Die Betrachtung erfolgt für die Gebäudeflächen nach Figur 5-1, d.h. in der Hauptkategorie Industrie mit der Unterkategorie Büro, aber ohne die Unterkategorie Produktion.

5.2 Technisierung der Gebäudeflächen für Belüftung und Kühlung

Für die weiteren Betrachtungen werden die folgenden 3 Situationen betreffend Belüftung und Kühlung der Gebäudeflächen unterschieden:

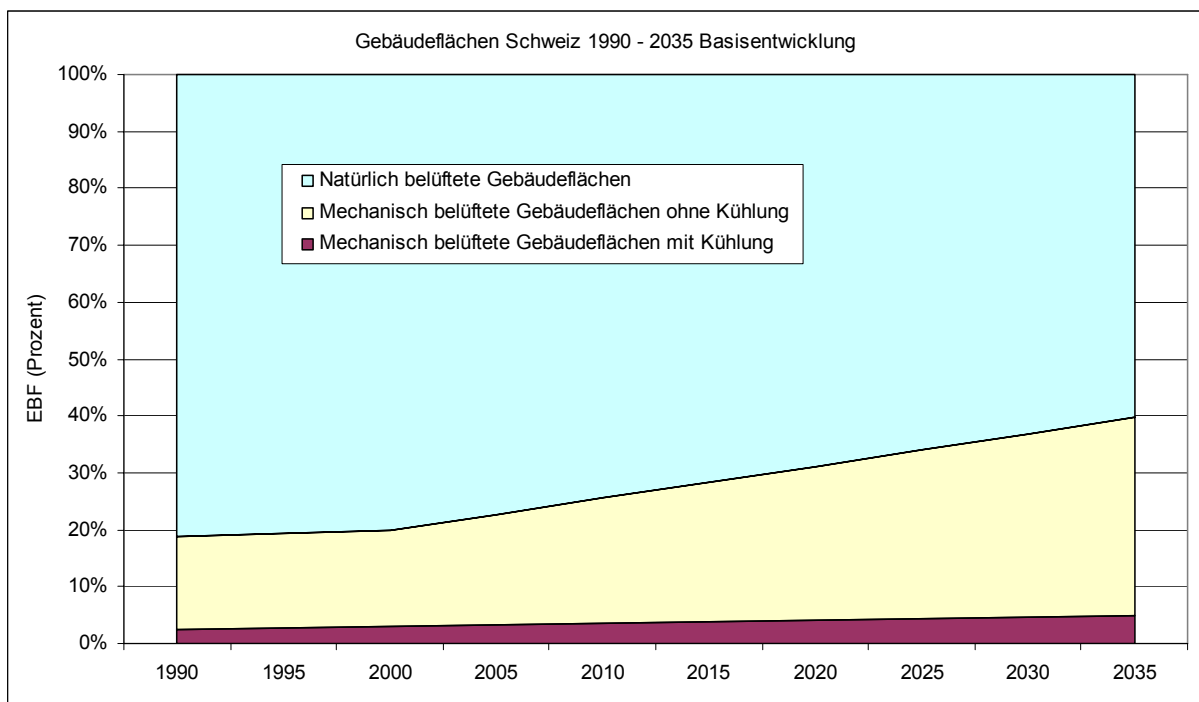
- Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung
- Mechanisch belüftete Gebäudeflächen ohne Kühlung
- Natürlich belüftete Gebäudeflächen

Einfache Bürobauten und Wohnbauten sind heute zu einem grossen Teil natürlich belüftet oder verfügen über mechanische Lüftungsanlagen ohne Kühlung. Mit der allgemeinen Zunahme der Komfortansprüche ist in der Zukunft eine Verschiebung zu höherer Technisierung und im Falle einer Kühlung zu höheren Kühlkapazitäten zu erwarten. Diese Entwicklung wird durch eine Klimaerwärmung verstärkt und beschleunigt.

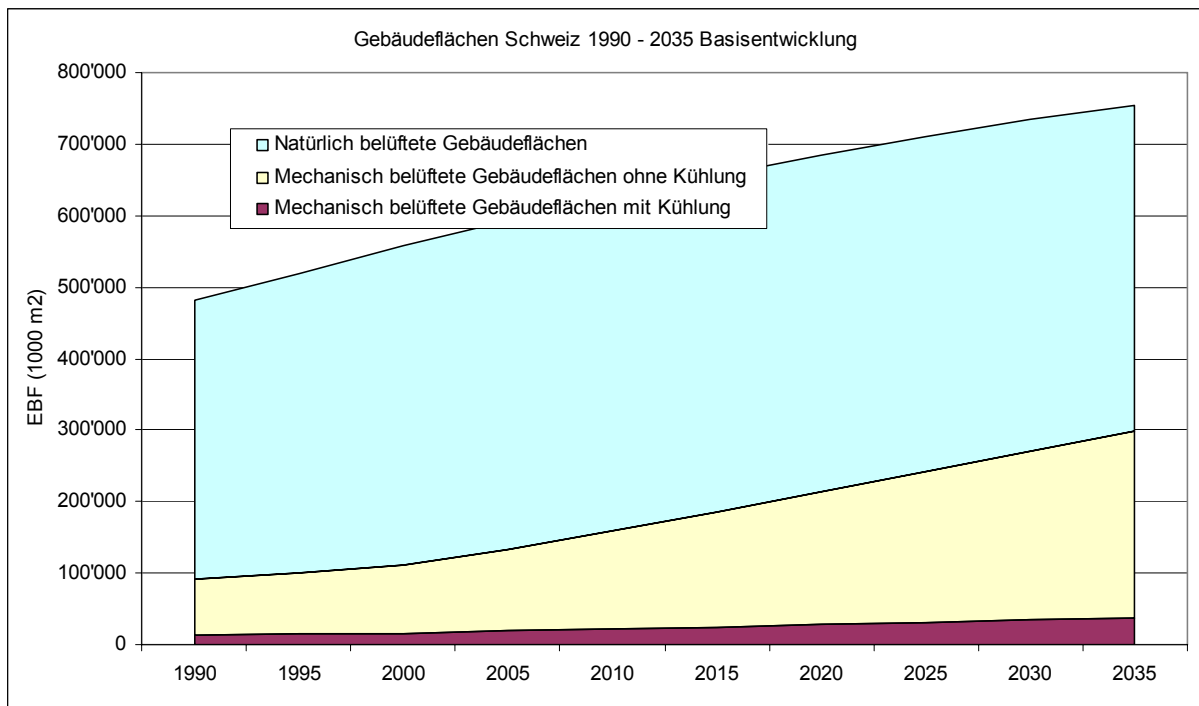
Zur Verwendung der genannten 3 Technisierungsstandards gibt es keine zuverlässigen Erhebungen. Die nachfolgenden Angaben beruhen auf eigenen Abschätzungen, welche separat für jede Untergruppe der Gebäudenutzung vorgenommen worden sind (vergleiche Anhang).

5.2.1 Basisentwicklung

Aus den im Anhang dargestellten Annahmen über die Häufigkeit der 3 Technisierungen in den einzelnen Unterkategorien der Gebäudenutzungen ergeben sich die Resultate gemäss den Figuren 5-3 (relative Betrachtung) und 5-4 (absolute Betrachtung).

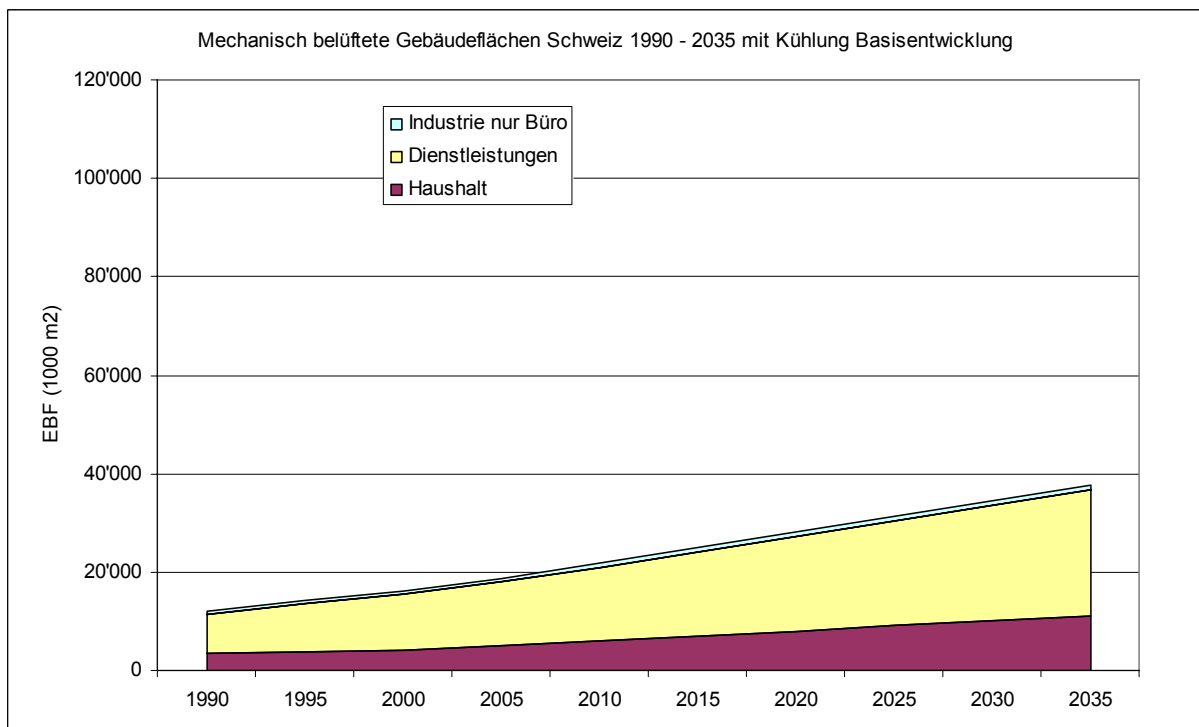


Figur 5-3 Relative Bedeutung der 3 Technisierungen in der Basisentwicklung

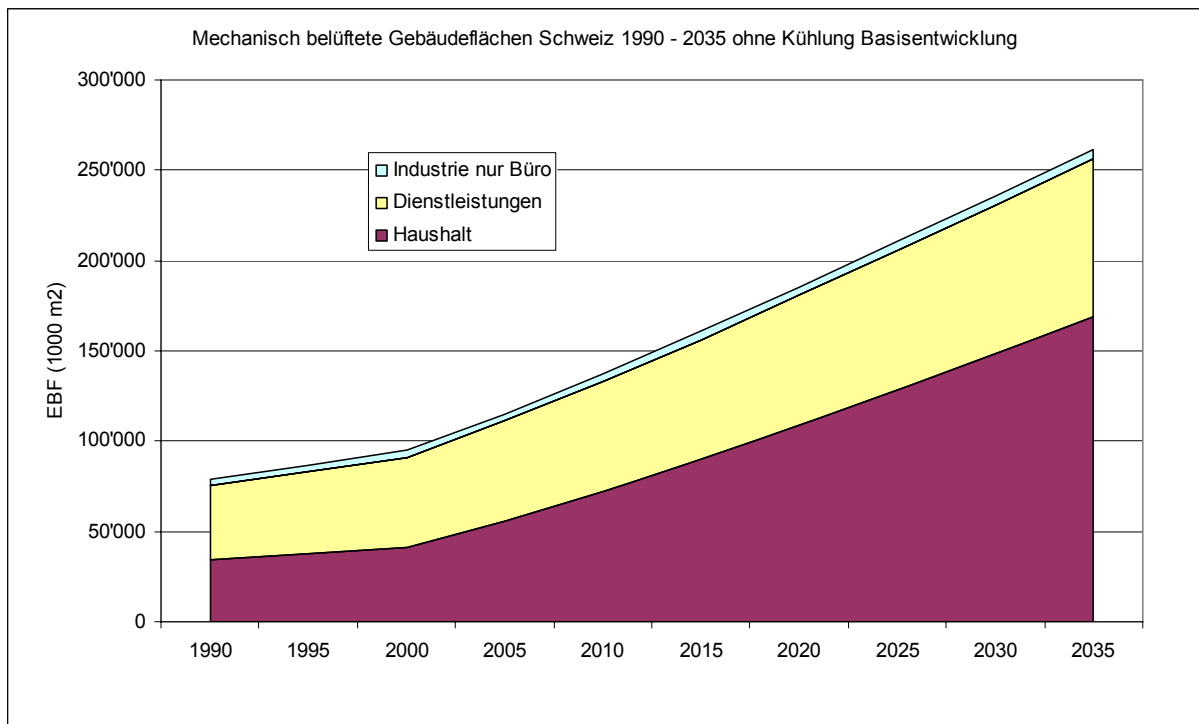


Figur 5-4 Gebäudeflächen der 3 Technisierungen in der Basisentwicklung

Mit den oben dargestellten Grundlagen ergeben sich in der Basisentwicklung die mechanisch belüfteten Gebäudeflächen mit Kühlung gemäss Figur 5-5 und die mechanisch belüfteten Gebäudeflächen ohne Kühlung gemäss Figur 5-6.



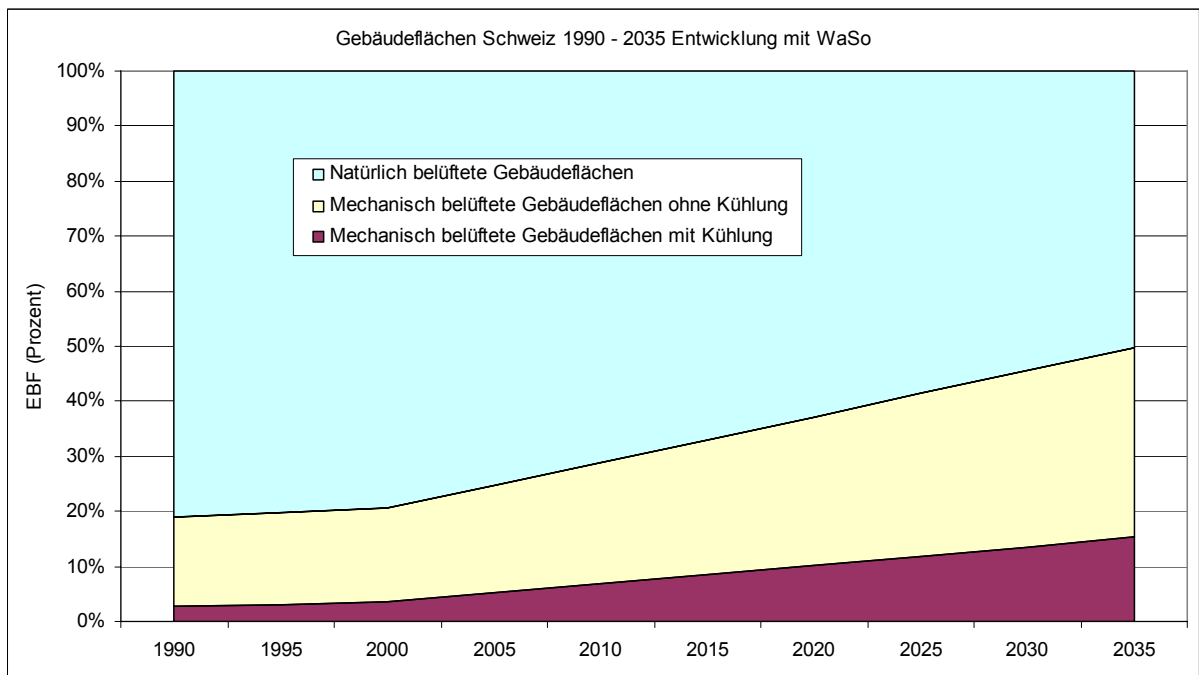
Figur 5-5 Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung in der Basisentwicklung



Figur 5-6 Mechanisch belüftete Gebäudeflächen ohne Kühlung in der Basisentwicklung

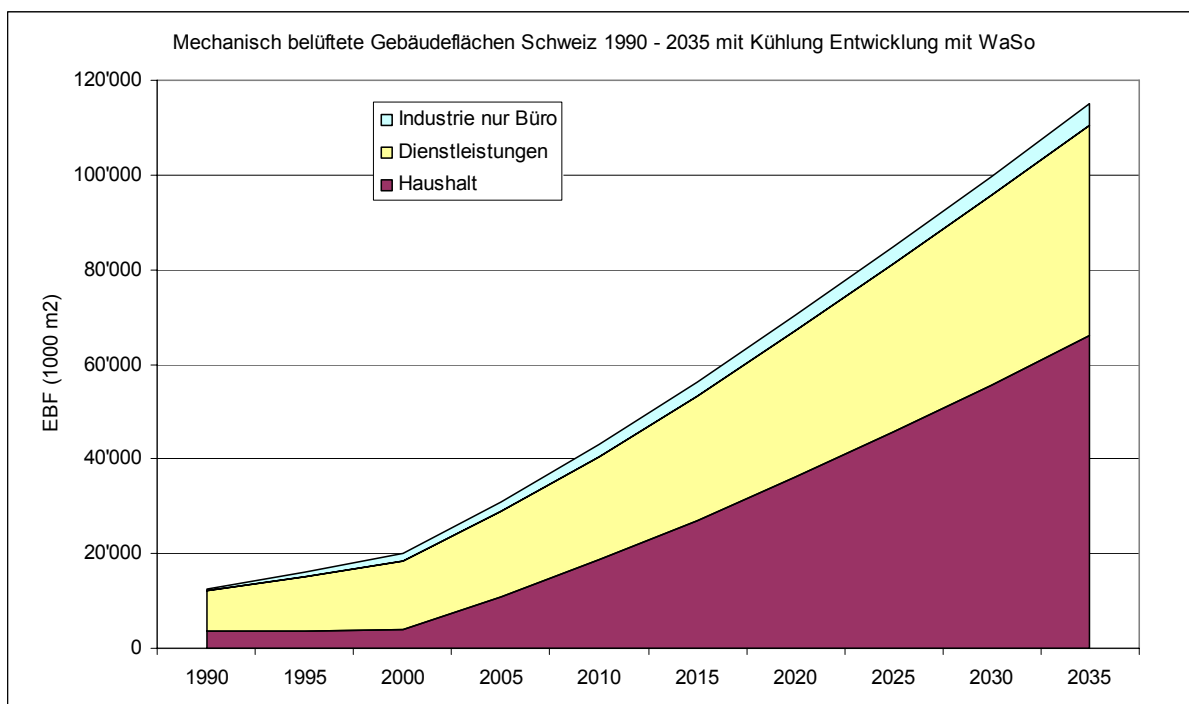
5.2.2 Entwicklung mit warmen Sommern (WaSo)

Als Folge von warmen Sommern werden die Gebäudeflächen mit Kühlung in der Zukunft bei allen Gebäudekategorien deutlich stärker zunehmen als in der Basisentwicklung. Bei den Flächen mit mechanischer Belüftung ohne Kühlung wird für die Zukunft im Haushalt keine Veränderung erwartet (zusammen mit den gekühlten Flächen nimmt aber insgesamt der Anteil der mechanisch belüfteten Haushaltsflächen zu). Bei den übrigen Nutzungen wird ein leichter Rückgang gegenüber der Basisentwicklung prognostiziert (Figur 5-7).

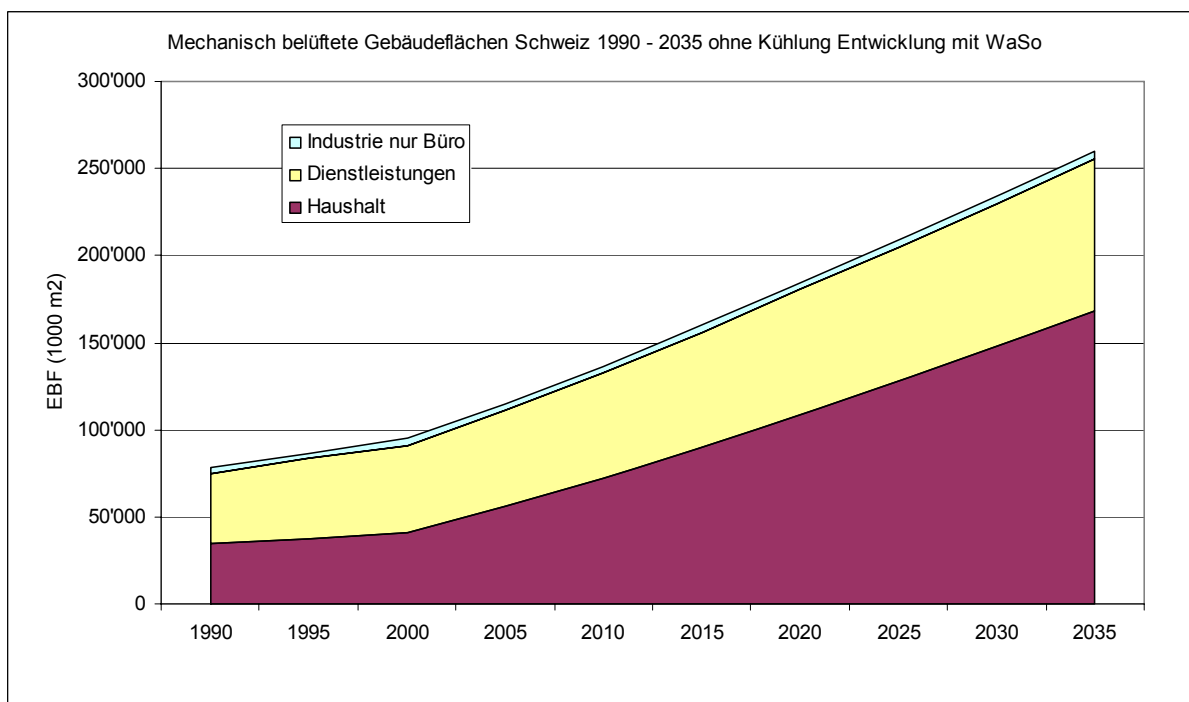


Figur 5-7 Relative Bedeutung der 3 Technisierungen in der WaSo-Entwicklung

Mit den im Anhang dargestellten Annahmen über die Auswirkungen von warmen Sommern in den einzelnen Gebäudekategorien ergeben sich für die mechanisch belüfteten Gebäudeflächen mit und ohne Kühlung die Ergebnisse in den Figuren 5-8 und 5-9.



Figur 5-8 Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung in der Entwicklung mit warmen Sommern



Figur 5-9 Mechanisch belüftete Gebäudeflächen ohne Kühlung in der Entwicklung mit warmen Sommern

Die gesamten Auswirkungen der EBF-Entwicklung (gemäss 5-1) und der Annahmen über den Anteil der mechanisch belüfteten und gekühlten Flächen in den verschiedenen Sektoren in der Basisentwicklung und im WaSo-Modell sind in Tabelle 5-1 zusammengefasst. Das Verhältnis $3.73/2.01=1.86$ entspricht einer Vergrösserung der gekühlten Flächen um 86% gegenüber der Basisentwicklung, resp. um 273% gegenüber heute.

Entwicklung 2035/2005	EBF	Anteil mechanische Belüftung mit Kühlung		Total	
Sektor		Basis	WaSo	Basis	WaSo
Haushalt	1,29	1,75	4,67	2,26	6,02
Dienstleistungen	1,25	1,56	1,99	1,95	2,48
Industrie	0,97	1,50	2,40	1,45	2,32
Total (gewichtet)	1,27	1,58	2,93	2,01	3,73

Tabelle 5-1 Annahmen für die Entwicklung der Gebäudeflächen 2035/2005 EBF und mechanische Lüftung/Kühlung

5.3 Abschätzung des Elektrizitätsbedarfs für die Kühlung der Aussenluft

5.3.1 Dimensionierungszustände der Kühlung je nach Klimaentwicklung

Heute werden Kühlungen im Schweizerischen Mittelland auf maximale Aussentemperaturen um 32° C ausgelegt. In den hier betrachteten Gebäudetypen werden dabei mit der Kühlung Raumtemperaturen von 26° C (Wohnen) bis 24° C (übrige Gebäudetypen) angestrebt.

Mit der Klimaerwärmung dürfte es notwendig werden, die Kühlung auf maximale Aussentemperaturen um 35 statt 32° C auszuliegen.

Für die Abschätzung im vorliegenden Bericht wird von den folgenden Dimensionierungszuständen ausgegangen:

Gebäudenutzung	Klima 2005				Klima 2035			
	$t_{a,max}$	$t_{i,max}$	t_{ZUL}	Δt_{max}	$t_{a,max}$	$t_{i,max}$	t_{ZUL}	Δt_{max}
Wohnen	32°C	26°C	23°C	9 K	35°C	26°C	23°C	12 K
Dienstleistung	32°C	24°C	20°C	12 K	35°C	24°C	20°C	15 K
Industrie (Büro)	32°C	24°C	20°C	12 K	35°C	24°C	20°C	15 K

Tabelle 5-2 Annahme zu den Dimensionierungszuständen für die Kühlung im Klima 2005 (ohne Klimaerwärmung) und im Klima 2035 (mit Klimaerwärmung)

$t_{a,max}$	=	Maximale Aussentemperatur
$t_{i,max}$	=	Maximale Raumtemperatur
t_{ZUL}	=	Zulufttemperatur
Δt_{max}	=	$t_{a,max} - t_{ZUL}$

Im weiteren wird davon ausgegangen, dass es mit energieeffizienter Technik möglich ist, die Zulufttemperatur ohne Komforteinbusse um 1 K anzuheben, womit sich die Differenz zur Aussentemperatur entsprechend verringert.

5.3.2 Thermischer Leistungsbedarf für die Abkühlung der Aussenluft

Der thermische Leistungsbedarf für die Kühlung wird bestimmt durch die internen und externen Wärmelasten, die Komfortansprüche und das Klimatisierungssystem.

Für die Untersuchung der Abhängigkeit des thermischen Leistungsbedarfs für die Kühlung von warmen Sommern wird der Einfluss einer allfälligen Änderung der Strahlungsdaten und einer Änderung der internen Wärmelasten vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, dass die Veränderung der Kühllast infolge höherer Aussentemperaturen über ein Luftsystem aufgenommen wird.

Für die Abkühlung eines Luftvolumenstromes von 1 m³/h um 1 K wird im Schweizerischen Mittelland eine thermische Leistung von etwa 0.32 W benötigt. Mit den Personenflächen aus SIA 380/1 [5-2] und einer üblichen Luftrate von 36 m³/h Person [5-3] ergeben sich die Werte in Tabelle 5-3.

Gebäudenutzung	Personenfläche M ² EBF/Person	Minimaler Aussenluftstrom		Kühlleistung W _{th} /(m ² K)
		m ³ /h Person	m ³ /(h m ²)	
Wohnen	50	36	0.72	0.23
Dienstleistung	20	36	1.80	0.58
Industrie (Büro)	20	36	1.80	0.58

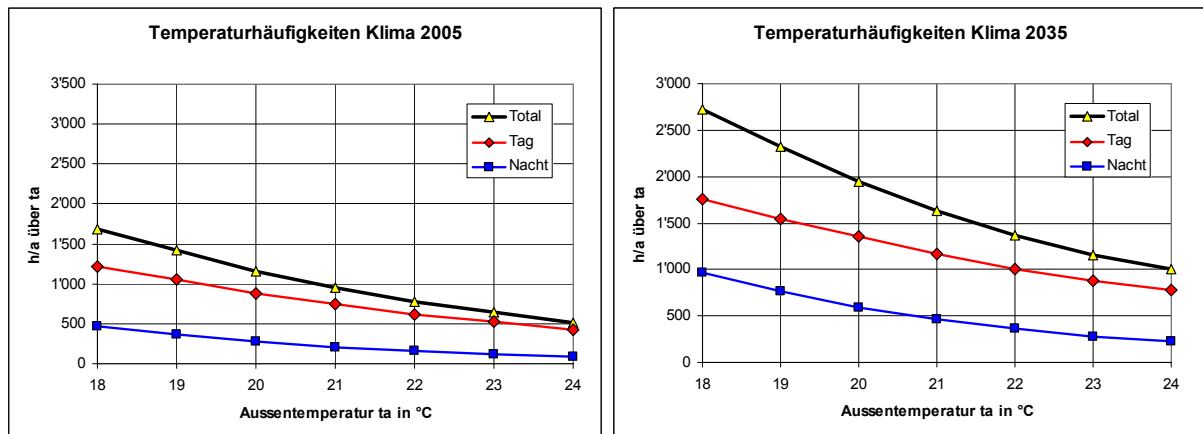
Tabelle 5-3 Spezifische Kühlleistung zur Abkühlung des hygienisch notwendigen Aussenluftstromes

Im Bereich Wohnen werden die mechanischen Lüftungsanlagen üblicherweise etwa auf den genannten Aussenluftstrom pro Person ausgelegt und dauernd betrieben. Bei den übrigen Gebäudetypen

(Büros) sind höhere Luftmengen üblich. Im Status quo der Technik werden die Luftmengen doppelt so gross, beim energieeffizienten Szenario wird ein Zuschlag von 50 % angenommen.

5.3.3 Thermischer Energiebedarf für die Abkühlung der Aussenluft

Für die Abschätzung des thermischen Energiebedarfs für die Abkühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur werden die Aussentemperaturhäufigkeiten für die Tages- und Nachtstunden bei der Station Zürich Stadt gemäss der Dokumentation SIA D012 [5-4] verwendet. Die Originalangaben der D012 werden als Klima 2005 verwendet, für das Klima 2035 (mit Erwärmung) wird eine Parallelverschiebung der Summenhäufigkeitskurve um 3 K angenommen. Damit resultieren die Temperaturhäufigkeiten in Figur 5-9.

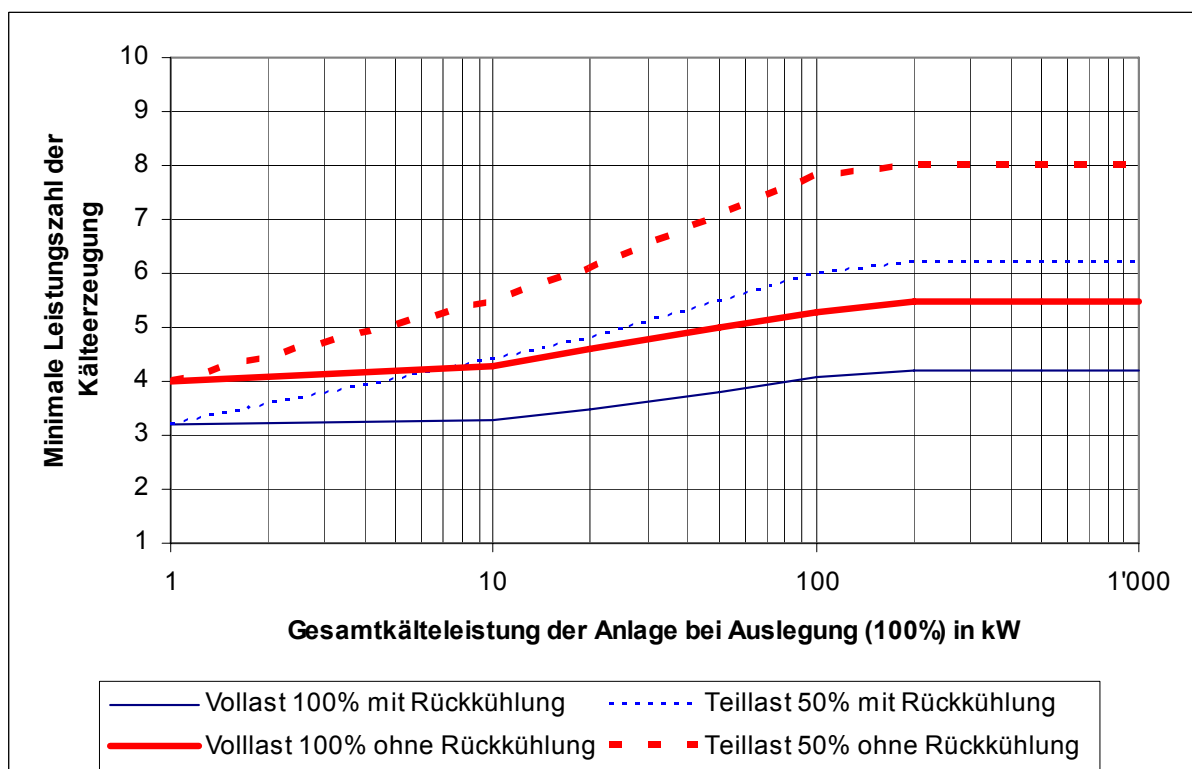


Figur 5-9 Aussentemperaturhäufigkeiten für Tagesstunden (7 – 19 Uhr) Nachtstunden (19 – 7 Uhr) und 24 h-Tag im Klima 2005 (links) und im Klima 2035 (rechts)

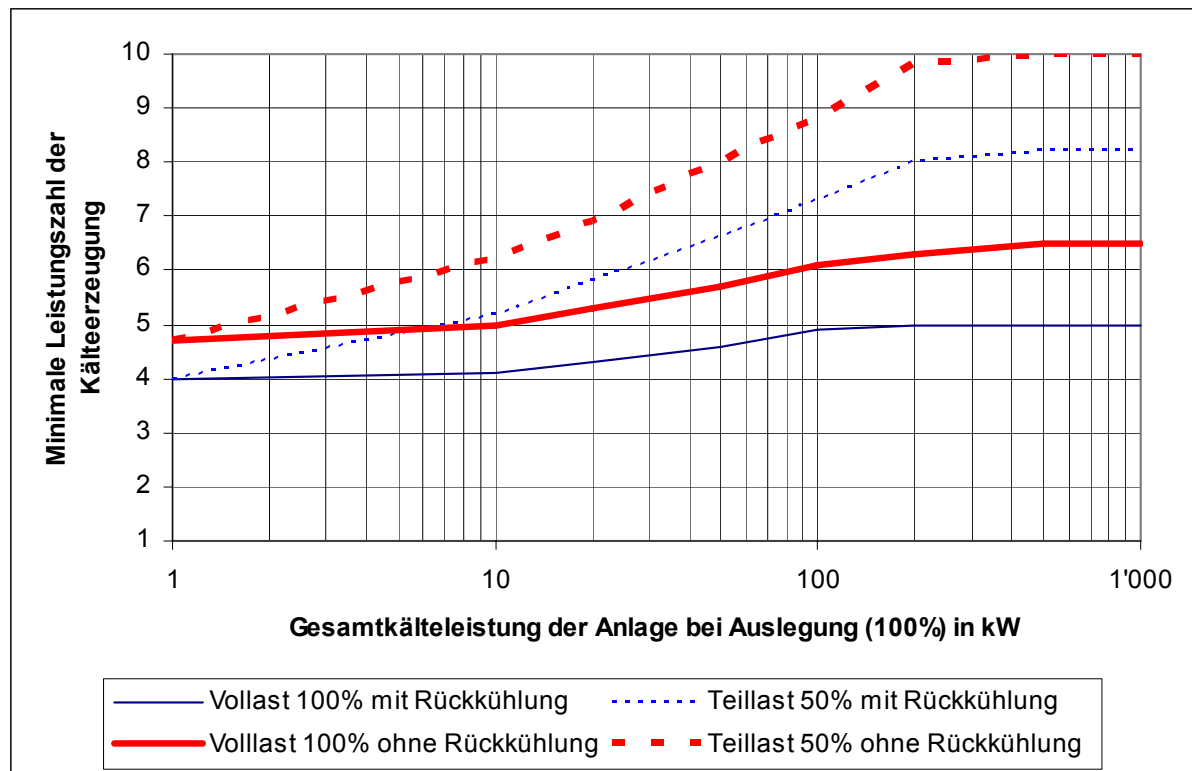
Bei der Wohnnutzung wird ein durchgehender Betrieb der Kühlung angenommen, in Büros ein Betrieb am Tag von 7 – 19 Uhr.

5.3.4 Elektrischer Leistungsbedarf für die Abkühlung der Aussenluft

In der neuen SIA 382/1 [5-3] sind die minimalen Leistungszahlen der Kälteerzeugung abhängig von der Gesamtkälteleistung der Anlage festgelegt. Die entsprechenden Anforderungen sind in den Figuren 5-10 (Grenzwerte) und 5-11 (Zielwerte) dargestellt.



Figur 5-10 Grenzwerte für die Leistungszahl der Kälteerzeugung



Figur 5-11 Zielwerte für die Leistungszahl der Kälteerzeugung

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Kühlung im Wohnbereich mit kleinen Geräten erfolgt und generell die neuen Anforderungen nach der SIA 382/1 im Markt noch nicht etabliert sind, wird für die weiteren Abschätzungen von den folgenden Annahmen ausgegangen:

Gebäudenutzung	Leistungszahl COP der Kälteerzeugung	
	Status quo der Technik	Energieeffiziente Technik
Wohnen	2.0	3.5
Dienstleistung	2.5	5.0
Industrie (Büro)	2.5	5.0

Tabelle 5-4 Leistungszahl COP der Kälteerzeugung je nach angewandeter Technik

5.3.5 Elektrischer Energiebedarf für die Abkühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur

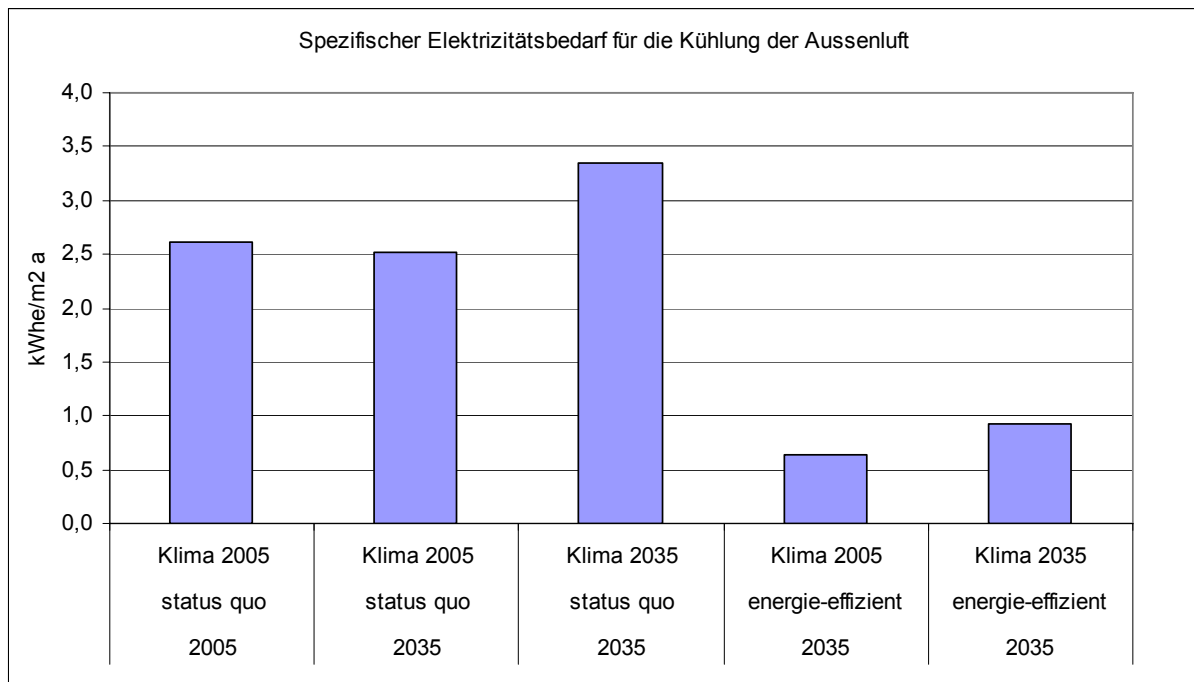
Für die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs für die Abkühlung der Aussenluft werden ausgehend von den Angaben in den Abschnitten 5.3.3 und 5.3.4 die folgenden Annahmen getroffen:

Gebäudenutzung	Status quo der Technik		Energieeffiziente Technik	
	Betriebsstunden Kühlung	Vollbetriebsstunden	Betriebsstunden Kühlung	Vollbetriebsstunden
Wohnen	640/1160 h/a	60 %	510/1000 h/a	50 %
Dienstleistung	880/1360 h/a	70 %	740/1170 h/a	60 %
Industrie (Büro)	880/1360 h/a	70 %	740/1170 h/a	60 %

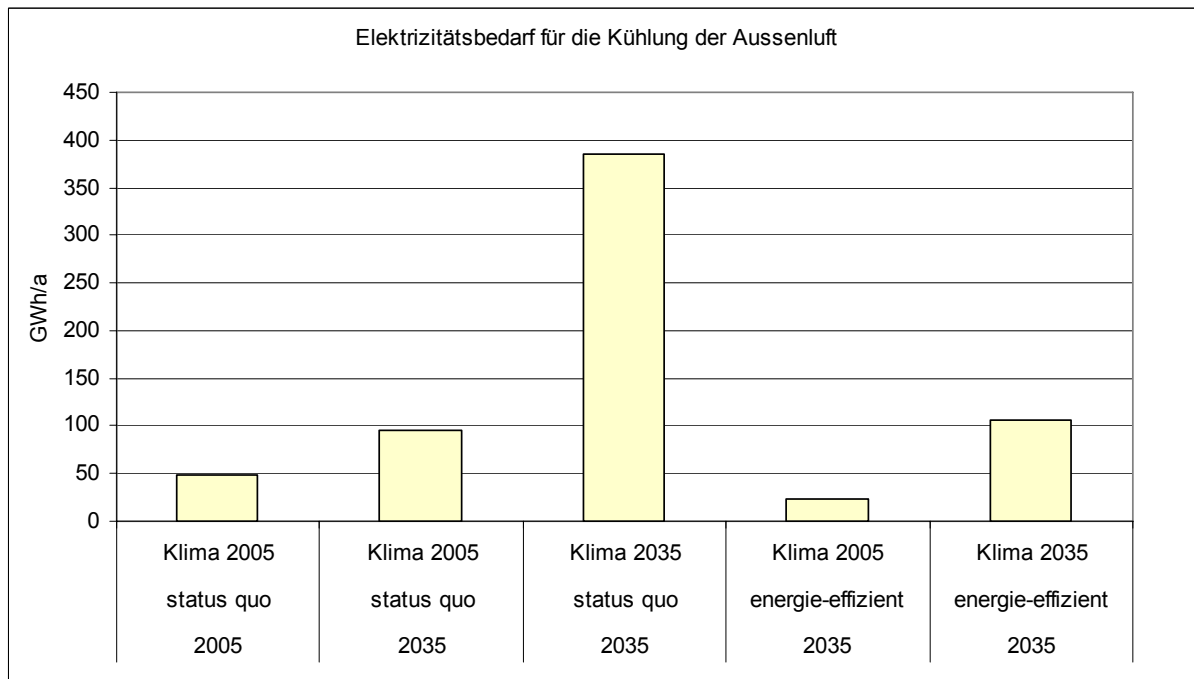
Tabelle 5-5 Jährliche Betriebsstunden und Vollbetriebsstunden der Kälteerzeugung je nach zur Anwendung kommender Technik (Klima 2005/Klima 2035)

Beim Status Quo der Technik resp. der energieeffizienten Technik werden nicht nur die Qualität der technischen Anlage selber, sondern auch die Wirkung der Steuerung und zusätzlich auch von baulichen Massnahmen berücksichtigt. Bei der Gebäudenutzung Wohnen ergeben sich so 384 resp. 696 Vollbetriebsstunden pro Jahr beim Status Quo der Technik und 255 resp. 500 Vollbetriebsstunden pro Jahr bei energieeffizienter Technik. Bei der Deklaration der Energieetikette von Kleinklimageräten wird von 500 Vollbetriebsstunden pro Jahr ausgegangen.

Mit den oben genannten Grundlagen ergibt sich für die Kühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur in den untersuchten Szenarien der spezifische elektrische Energiebedarf nach Figur 5-12 und der absolute elektrische Energiebedarf nach Figur 5-13.



Figur 5-12 Spezifischer elektrischer Energiebedarf für die Kühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur



Figur 5-13 Absoluter elektrischer Energiebedarf für die Kühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur

Der spezifische Elektrizitätsbedarf für die Kühlung ist abhängig von der eingesetzten Technik und vom Aussenklima. Wenn die heute übliche Technik beibehalten wird (Status quo), führen warme Sommer in Zukunft zu einer massiven Zunahme des Elektrizitätsbedarfs für die Kühlung. Mit der Anwendung von energie-effizienten Techniken kann der spezifische Elektrizitätsbedarf gegenüber dem Status Quo auf etwa einen Viertel reduziert werden. Mit der prognostizierten allgemeinen Zunahme der Gebäudeflächen und des Anteils der gekühlten Flächen muss bei einer Klimaerwärmung ohne zusätzliche

Massnahmen aber trotzdem eine Zunahme des absoluten Elektrizitätsbedarfs für die Kühlung der Aussenluft erwartet werden.

5.4 Abschätzung des Energiebedarfs für eine zusätzliche Kühlung

Mit dem Energiebedarf nach Abschnitt 5.3 wird der Aussenluftstrom auf eine Zulufttemperatur abgekühlt, welche 2 bis 4 K unter der angestrebten Raumtemperatur liegt. Damit verbunden ist eine leichte Kühlwirkung im Raum, welche bei den Wohnnutzungen und einfachen Büronutzungen einen ausreichend guten Komfort gewährleistet.

Wie die Angaben in Abschnitt 3.3.1 zeigen, ist die Kühlwirkung mit einem hygienisch angemessenen Luftstrom begrenzt. Im Bürobereich erreicht sie bei einer Lufrate von $3.6 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ und einer Untertemperatur von 4 K etwa 5 W/m^2 . Bei höheren Wärmelasten stellt sich das thermische Gleichgewicht bei einer höheren Raumtemperatur ein resp. zur Einhaltung der gewünschten Raumtemperatur ist eine zusätzliche Kühlung erforderlich. Der Energiebedarf für eine solche zusätzliche Kühlung ist stark abhängig von den inneren und äusseren Wärmelasten, von den Möglichkeiten der Fensterlüftung und der verwendeten Technik. Bei einer Kühlung mit erhöhten Luftmengen ist zu beachten, dass bei dieser Lösung nicht nur der Energiebedarf für die Kühlung der Luft, sondern auch der Energiebedarf für die Luftförderung zunimmt. Bei grösseren Wärmelasten ist darum ein ergänzendes Wassersystem energetisch vorteilhaft. Für die weiteren Berechnungen wird davon ausgegangen, dass im Wohnbereich keine zusätzliche Kühlung erforderlich ist und dass im Bürobereich die zusätzliche Kühlung den doppelten Energiebedarf der Kühlung der Aussenluft hat.

5.5 Abschätzung des elektrischen Energiebedarfes für die Luftförderung

5.5.1 Spezifische Ventilatorleistung nach SIA 382/1

Der Leistungsbedarf für die Luftförderung ist abhängig vom Volumenstrom, der Druckdifferenz (Strömungsgeschwindigkeit) und dem Gesamtwirkungsgrad des Ventilators. Es gilt

$$P = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta_{\text{tot}}} \quad P_{\text{SFP}} = \frac{P}{V} = \frac{\Delta p}{\eta_{\text{tot}}}$$

P = Ventilatorleistung

P_{SFP} = Spezifische Ventilatorleistung

V = Volumenstrom

Δp = Druckverlust

η_{tot} = Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor und Antrieb

In der neuen SIA 382/1 sind für die verschiedenen Anlagentypen nach der Typisierung in der Norm die folgenden Grenz- und Zielwerte für die spezifische Ventilatorleistung in $\text{W pro m}^3/\text{h}$ festgelegt:

Anlagentyp	Spezifische Ventilatorleistung SFP in $\text{W pro m}^3/\text{h}$			
	Zuluftventilator		Abluftventilator	
	Grenzwert	Zielwert	Grenzwert	Zielwert
Einfache Zuluftanlage	0,14	0,083	–	–
Zuluftanlage mit Lufterwärmung, Umluftkühlgerät	0,14	0,083	–	–
Einfache Abluftanlage	–	–	0,14	0,083
Abluftanlage mit Abwärmenutzung	–	–	0,14	0,083
Einfache Lüftungsanlage	0,14	0,083	0,14	0,083
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung	0,20	0,14	0,14	0,083
Lüftungsanlage mit Lufterwärmung und -befeuchtung	0,20	0,14	0,14	0,083
Einfache Klimaanlage	0,35	0,20	0,20	0,14
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung	0,35	0,20	0,20	0,14
Klimaanlage mit Luftbefeuchtung und -entfeuchtung	0,35	0,20	0,20	0,14

Tabelle 5-6 Grenz- und Zielwerte nach SIA 382/1 für die spezifische Ventilatorleistung

Die Tabelle 5-6 gilt für normale Anlagen. Für komplexere Anlagen kann die nächst höhere SFP-Kategorie akzeptiert werden.

Wenn die Anforderung an die spezifische Ventilatorleistung erfüllt ist, entfallen die Einzelanforderungen an die Druckverluste, die Strömungsgeschwindigkeit und den Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoren, welche in der Norm ebenfalls enthalten sind.

5.5.2 Elektrischer Leistungsbedarf für die Luftförderung

Für die Abschätzung des Energiebedarfs für die Luftförderung wird im Modell WaSo von den Luftmengen gemäss Abschnitt 5.3.2 ausgegangen und es wird davon ausgegangen, dass im Status quo der Technik die Grenzwerte in der neuen SIA 382/1 um 50 % überschritten sind und dass mit einer energieeffizienten Technik die Zielwerte der spezifischen Ventilatorleistung erreicht werden. Für die Gebäudenutzung Wohnen werden Lüftungsanlagen mit Lufterwärmung, für die Gebäudenutzung Dienstleistung und Industrie (Büro) einfache Klimaanlage angenommen. Damit ergeben sich die folgenden Kennwerte für den elektrischen Leistungsbedarf der Luftförderung.

Gebäudenutzung	Luftmenge und spezifische Ventilatorleistung					
	Status quo der Technik			Energieeffiziente Technik		
	Luftmenge m ³ /h.m ²	Zuluftventilator W pro m ³ /h	Abluftventilator W pro m ³ /h	Luftmenge m ³ /h.m ²	Zuluftventilator W pro m ³ /h	Abluftventilator W pro m ³ /h
Wohnen	0.72	0.21	0.21	0.72	0.083	0.083
Dienstleistung	3.60	0.525	0.30	2.70	0.20	0.14
Industrie (Büro)	3.60	0.525	0.30	2.70	0.20	0.14

Tabelle 5-7 Spezifische Ventilatorleistung je nach zur Anwendung kommender Technik

5.5.3 Elektrischer Energiebedarf für die Luftförderung

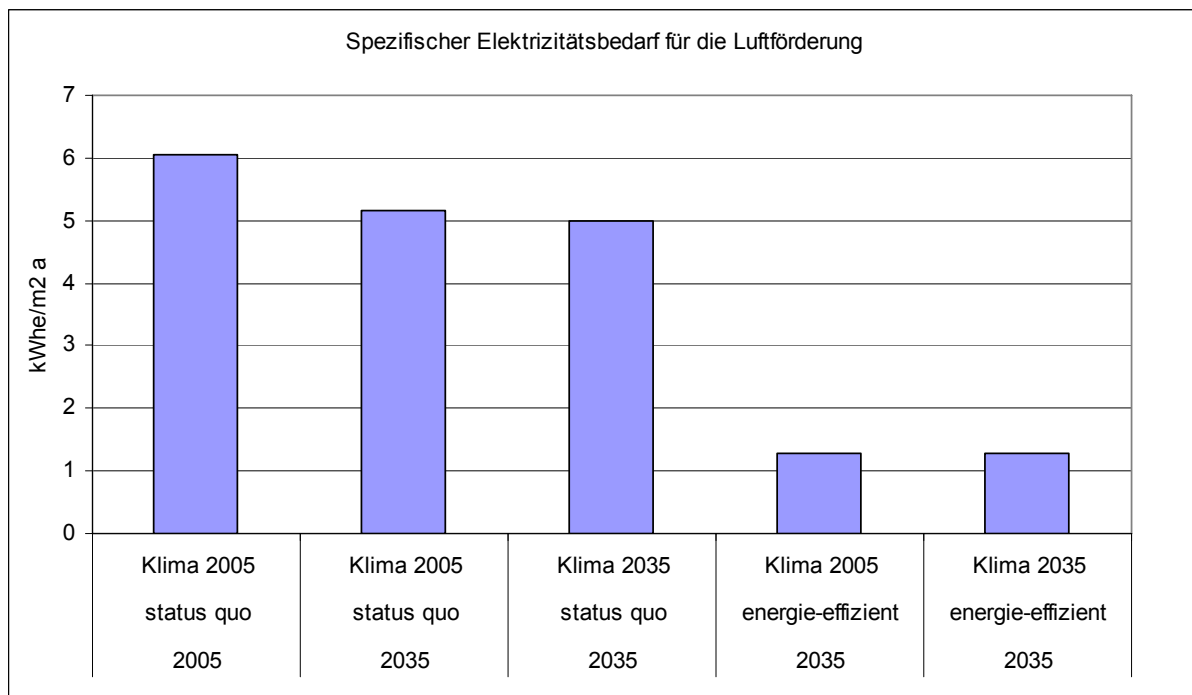
Für die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs für die Luftförderung werden ausgehend vom Leistungsbedarf nach Abschnitt 5.5.2 die folgenden Annahmen getroffen.

Gebäudenutzung	Betriebsstunden der Luftförderung	
	Status quo der Technik	Energieeffiziente Technik
Wohnen	8'760 h/a	8'760 h/a
Dienstleistung	3'000 h/a	3'000 h/a
Industrie (Büro)	3'000 h/a	3'000 h/a

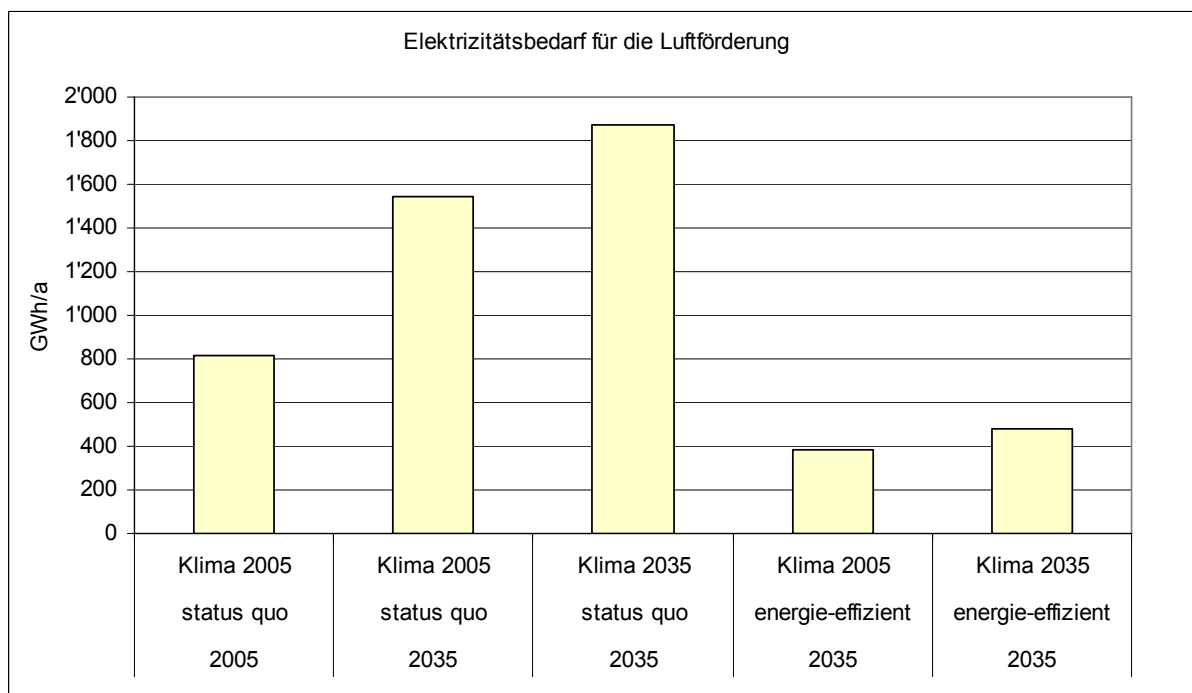
Tabelle 5-8 Jährliche Betriebsstunden und Vollbetriebsstunden der Luftförderung je nach zur Anwendung kommender Technik

Im Status quo der Technik werden 100 % Vollbetriebsstunden der Luftförderung angenommen. Bei der energieeffizienten Technik sind es im Bürobereich dank Frequenzumformer und bedarfsgerechtem Betrieb (CO₂- oder Mischgasfühler) 60 %.

Mit den oben genannten Grundlagen ergibt sich für die Luftförderung der spezifische elektrische Energiebedarf nach Figur 5-14 und der absolute elektrische Energiebedarf nach Figur 5-15.



Figur 5-14 Spezifischer elektrischer Energiebedarf für die Luftförderung



Figur 5-15 Absoluter elektrischer Energiebedarf für die Luftförderung

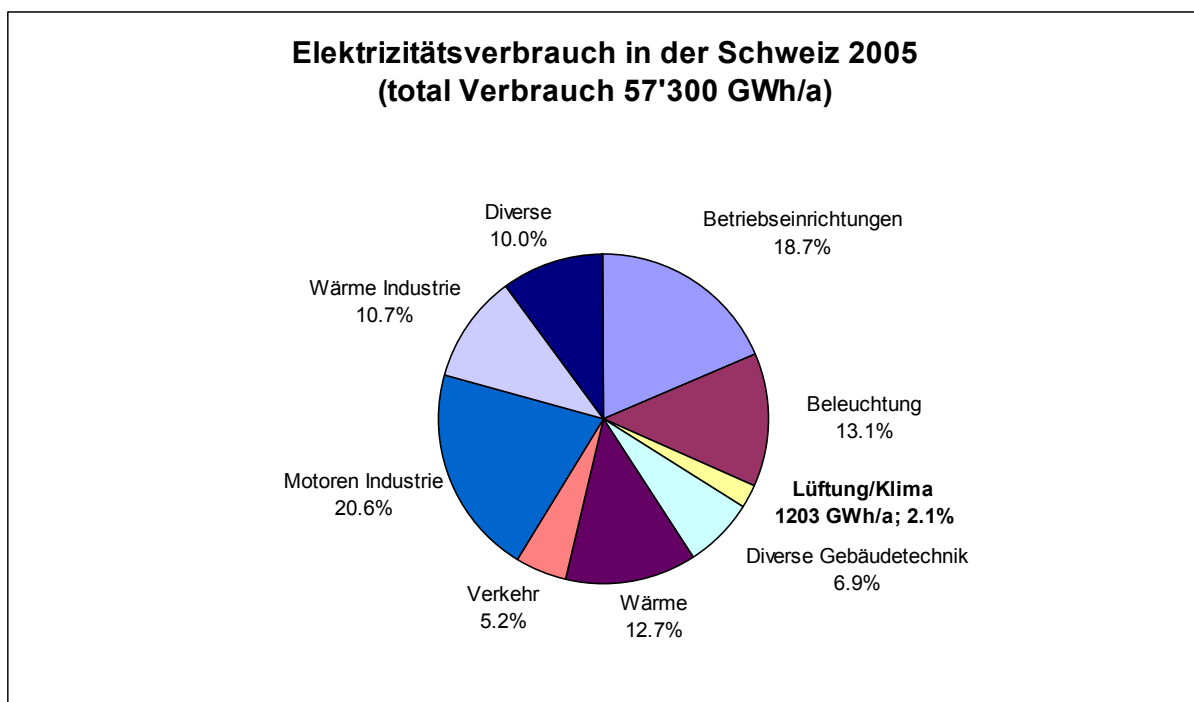
5.6 Vergleich mit anderen Quellen

5.6.1 Verbrauchsmatrix nach SIA 380/4

Im Jahr 2005 lag der Elektrizitätsverbrauch in der Schweiz bei 57'300 GWh/a. Mit der Verbrauchsmatrix der Norm SIA 380/4, in welcher etwa die Hälfte der gesamten Elektrizitätsnachfrage erfasst wird, resultiert die Aufteilung nach Tabelle 5-9 und Figur 5-16:

Verbrauchsgruppe	Anteil in %	Anteil in GWh/a	erfasst in SIA 380/4
Betriebseinrichtungen	18.7%	10715	
Beleuchtung	13.1%	7506	
Lüftung/Klima	2.1%	1203	
Diverse Gebäudetechnik	6.9%	3954	
Wärme	12.7%	7277	
Verkehr	5.2%	2980	
Motoren Industrie	20.6%	11804	
Wärme Industrie	10.7%	6131	
Diverse	10.0%	5730	

Tabelle 5-9 Relative und absolute Bedeutung der Elektrizitätsverbrauchsgruppen
Quelle: R. Lang, Materialien zu nach SIA 380/4, Zürich 2006

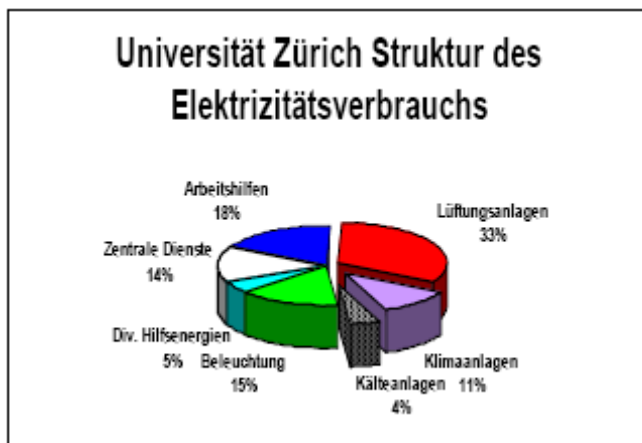


Figur 5-16 Relative Bedeutung der Elektrizitätsverbrauchsgruppen
Quelle: R. Lang, Materialien zu nach SIA 380/4, Zürich 2006

Nach der Verbrauchsmatrix von SIA 380/4 liegt der gesamtschweizerische Elektrizitätsverbrauch für Lüftung/Klima bei 1'200 GWh/a. Mit dem Modell WaSo wird der heutige Elektrizitätsbedarf für die Kühlung und Luftförderung im Wohnbereich sowie im Bürobereich des Dienstleistungs- und Industriesektors auf 960 GWh/a geschätzt, womit etwa 80 % des Gesamtverbrauchs der Verbrauchsgruppe Lüftung/Klima nach SIA 380/4 erfasst wird. Dieser Zusammenhang erscheint plausibel, da diverse spezielle Anlagen nicht berücksichtigt worden sind.

5.6.2 Struktur des Elektrizitätsverbrauchs der Universität Zürich

An der Veranstaltung des Forums Energie Zürich vom 14.6.2007 hat Bernhard Brechbühl die folgende Struktur des Elektrizitätsverbrauchs der Universität Zürich präsentiert (Basis = effektiv gemessene Verbrauchswerte):



Figur 5-17 Struktur des Elektrizitätsverbrauchs der Universität Zürich [5-5]

Für die Validierung des Modells WaSo mit den Verbrauchsanteilen Luftförderung und Kälteerzeugung interessiert vor allem der Verbrauchsanteil der Kälteanlagen, welcher bei der Universität Zürich bezogen auf den Gesamtverbrauch der Lüftungs- und Klimaanlage 8 % beträgt. Im Modell WaSo liegt dieser Anteil mit 15 % höher, was auf die Tatsache zurückzuführen sein dürfte, dass im Modell WaSo der Energiebedarf für eine zusätzliche Luftförderung infolge einer Zusatzkühlung auch der Kühlung zugeordnet wird.

	Universität Zürich		WaSo 2005
	Anteil an Haustechnik	Anteil Lüftung/Klima	Lüftung/Klima
Lüftungsanlagen und Klimaanlage	33+11 = 44 %	92 %	812 GWh/a = 85 %
Kälteanlagen	4 %	8 %	143 GWh/a = 15 %
Total Lüftung/Klima	48 %	100 %	956 GWh/a = 100 %

Tabelle 5-10 Elektrizitätsverbrauchsanteil in der Universität Zürich (gemessen) und nach Modell WaSo

5.6.3 Simulationsrechnungen des CEPE

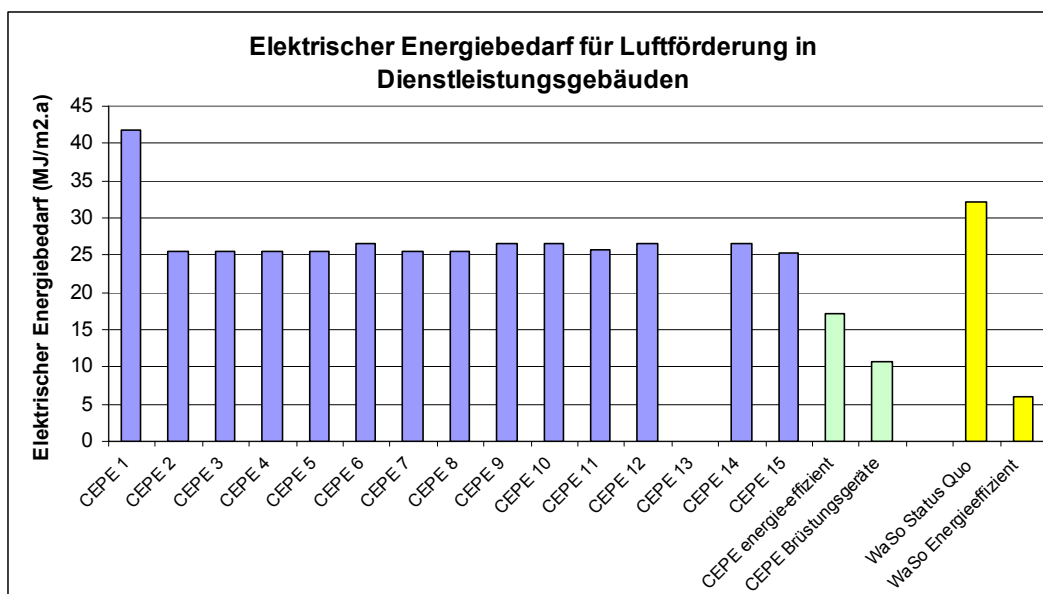
Im Zusammenhang mit dem Projekt „Grenzkosten Wirtschaftsbauten“ [5-12] sind vom Centre für Energy Policy and Economics CEPE der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit der HTA Luzern für eine grössere Zahl von unterschiedlichen Dienstleistungsgebäuden thermische Simulationsrechnungen zur Bestimmung des elektrischen Energieverbrauchs durchgeführt worden. Eine Auswahl von Fällen wurde zudem mit einem angenommenen zukünftigen wärmeren Klima simuliert. Die Resultate von 15 ausgewählten Beispielen sind uns von Martin Jakob zum Vergleich mit dem Modell WaSo zur Verfügung gestellt worden.

Elektrischer Energiebedarf für die Luftförderung

Die erwähnte Auswahl der Simulationsergebnisse des CEPE basieren auf einem Gesamtwirkungsgrad der Luftförderung von 0.55 und Druckverlusten von 700 Pa beim Zuluftventilator und 475 Pa beim Abluftventilator. Weitere Fälle mit energie-effizienteren Technik wurden mit 500 Pa und 300 Pa (verbesserte Lüftungsanlagen), bzw. 300 Pa und 200 Pa (Brüstungsgeräte) gerechnet. Die spezifische Ventilatorleistung beträgt damit 0.35 resp. 0.24 W pro m³/h, bei den energie-effizienten Fällen 0.25 und 0.15 W pro m³/h (verbesserte Lüftungsanlagen). Im Modell WaSo haben wir für den Status quo der Technik bei Lüftungsanlagen in Dienstleistungsgebäuden mit 0.525 und 0.30 W pro m³/h etwas höhere, für die Situation mit energieeffizienter Technik mit 0.20 und 0.14 W pro m³/h etwas tiefere Werte eingesetzt.

Die Fallbeispiele von CEPE basieren auf einer Personenfläche von 10 oder 17 m² pro Person und für die Luftmenge wird bis auf eine Ausnahme mit 19 m³/h.m² ein einheitlicher Wert von 4 m³/h.m² eingesetzt (10 m²/Person, belüftet Bürofläche +10 %, mit der Annahme, dass die Verkehrsflächen nicht separat belüftet werden). Im Modell WaSo rechnen wir auf der Basis der Angaben in SIA 380/1 in den Dienstleistungsgebäuden mit einer Personenfläche von 20 m² EBF pro Person. Zusammen mit der Luftrate von 36 m³/h pro Person resultiert ein minimaler Aussenluftstrom von 1.8 m³/h pro m² EBF. Im Status quo der Technik haben wir den Luftstrom mit 3.6 m³/h.m², bei der energieeffizienten Technik mit 2.7 m³/h.m² angenommen.

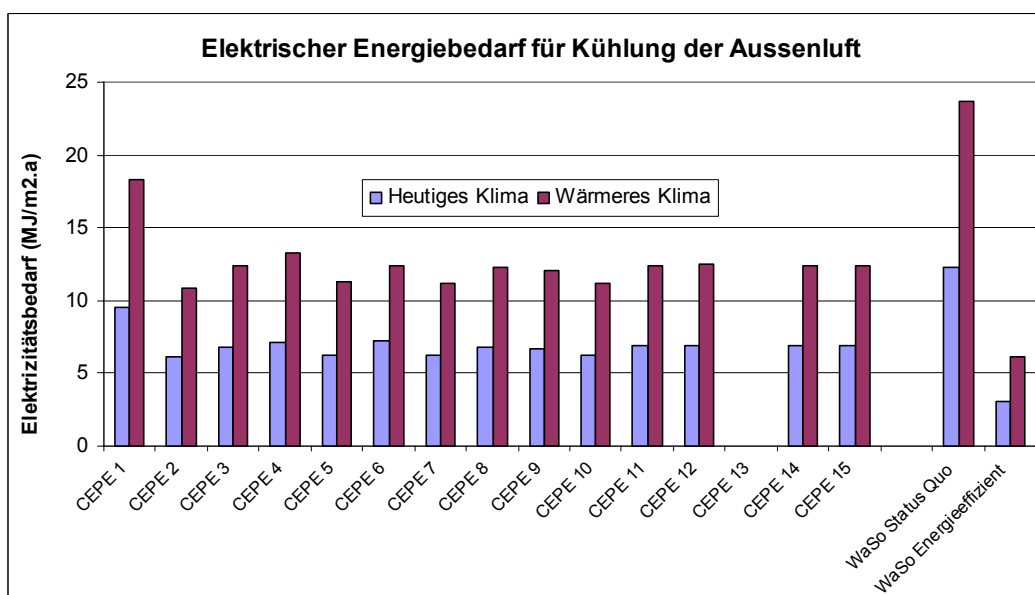
Wenn eine mechanische Lüftung vorhanden ist, ergeben die Simulationsrechnungen von CEPE einen elektrischen Energiebedarf für die Luftförderung von 25 – 27 MJ/m².a, in einem Fall von 42 MJ/m².a (zum Aufzeigen eines Betriebs inkl. Wochenende). Nach dem Modell WaSo liegt der elektrische Energiebedarf für die Luftförderung bei 32 MJ/m².a im Status quo der Technik und bei 6 MJ/m².a bei der energieeffizienten Technik. Die Unterschiede zwischen WaSo und CEPE sind durch die unterschiedlichen Annahmen gut nachvollziehbar.



Figur 5-18 Vergleich des elektrischen Energiebedarfs für die Luftförderung in Dienstleistungsgebäuden nach CEPE und WaSo

Elektrischer Energiebedarf für die Kühlung der Aussenluft

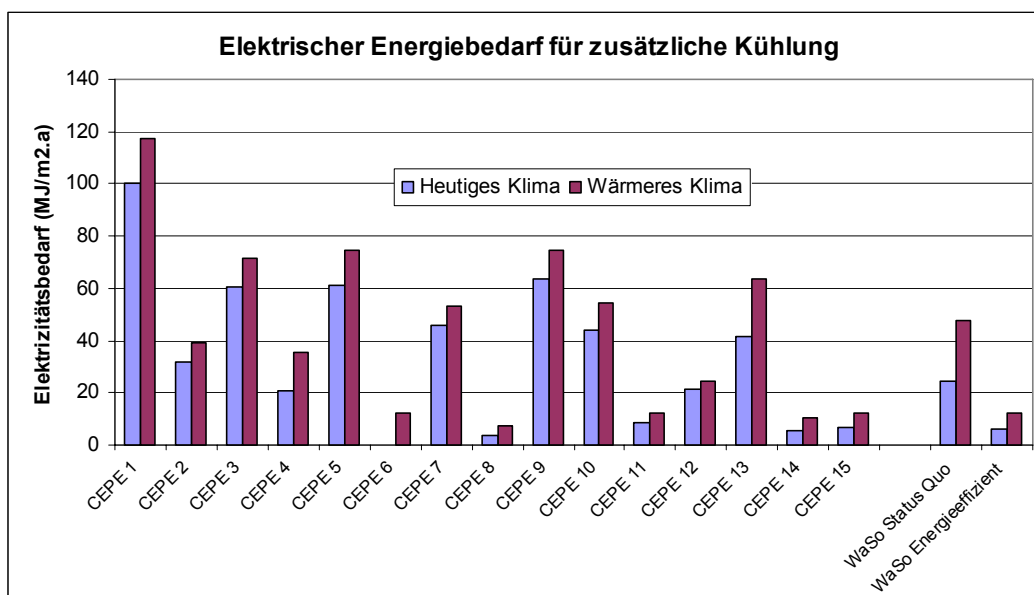
In den Simulationsrechnungen des CEPE wird ein Energiebedarf für die Kühlung der Aussenluft und ein zusätzlicher Energiebedarf für eine Kühlung mit Kühlelementen (z.B. Kühldecken oder Fan-Coils) berechnet. Der Vergleich des spezifischen Energiebedarfs für die Kühlung der Aussenluft ist in Figur 5-19 dargestellt und zeigt, dass dieser nach CEPE vor allem aufgrund der grösseren Luftmenge und der tieferen Zulufttemperatur etwas grösser ist als nach WaSo. CEPE rechnet mit 18° C Zuluft-Temperatur, WaSo differenziert mit 23° C für Wohnbauten und 20° C für Dienstleistungs- und Industriebauten. Im Status quo der Technik sind die Ergebnisse von WaSo höher, mit der energieeffizienten Technik tiefer als nach CEPE.



Figur 5-19 Vergleich des elektrischen Energiebedarfs für die Kühlung der Aussenluft in Dienstleistungsgebäuden nach CEPE und WaSo

Elektrischer Energiebedarf für die zusätzliche Kühlung

Die bei grösseren Wärmelasten erforderliche zusätzliche Kühlung wird in den Simulationsrechnungen von CEPE als Kühlung mit Kühlelementen bezeichnet. Der dazu erforderliche Energiebedarf wird unter Berücksichtigung der verschiedenen Situationen bei den Beispielobjekten fallweise bestimmt. Im Modell WaSo wird stark vereinfacht angenommen, dass der Energiebedarf für die zusätzliche Kühlung im Mittel über alle Büroflächen doppelt so gross ist wie der Energiebedarf für die Kühlung des angenommenen Aussenluftstromes auf die Zulufttemperatur. Die Figur 5-20 zeigt den Vergleich der Ergebnisse nach CEPE und WaSo. Dieser Vergleich legt nahe, dass die getroffenen Annahmen im WaSo-Modell für viele bestehende und auch neue Gebäude (mit Fensteröffnungsmöglichkeit, nicht zu geringen Solltemperaturen oder Nachtauskühlung) eine gute Annäherung darstellt, v.a. was die Differenz zwischen heutigem und wärmerem Klima betrifft.



Figur 5-20 Vergleich des elektrischen Energiebedarfs für die zusätzliche Kühlung nach CEPE und WaSo
(nebst Kühlung des Aussenluft-Volumenstroms) in Dienstleistungsgebäuden

Zusammenfassung CEPE

Nach den oben dargestellten Simulationsrechnungen des CEPE für verschiedene Dienstleistungsgebäude ist der spezifische Energiebedarf für die Luftförderung und die Kühlung etwas grösser als nach dem Modell WaSo. Die Unterschiede bleiben im Rahmen der bei solchen Anschätzungen erreichbaren Genauigkeit. Für genauere Aussagen sind vertiefte Betrachtungen und Felduntersuchungen notwendig.

5.6.4 Energieperspektiven 2035 des BFE

Im Rahmen der Energieperspektiven 2035 des Bundesamtes für Energie BFE wurden die Energienachfrage und deren Deckung für verschiedene Szenarien geprüft [5-6 bis 5-11]. Im 3. Exkurs wurde auch der Einfluss der Klimaerwärmung mit Annahmen zur Zunahme der Kühlgradtage und der gekühlten Flächen abgeschätzt [5-9].

Insgesamt kommen die Verfasser der Energieperspektiven 2035 zum Schluss, dass der Energieverbrauch für die Heizwärme und das Warmwasser in der Zukunft unter dem Einfluss einer Klimaerwärmung abnehmen und der Energieverbrauch für die Klimakälte zunehmen wird.

Für den Wohnbereich gehen die Energieperspektiven davon aus, dass der Ausstattungsgrad der Wohnungen mit Klimageräten von heute unter 1 % auf 50 % im Jahr 2035 steigen wird, wobei gleichzeitig der Anteil der klimatisierten Fläche der Wohnung von 1/3 auf 2/3 zunehmen wird. Die klimatisierte Wohnfläche steigt so von heute 2 Mio. m² auf 191 Mio. m² im Jahr 2035. Unter der Annahme, dass die Kühlung im Wohnbereich mit überwiegender Mehrheit dezentral über Kompakt- oder Splitanlagen erfolgen wird, rechnen die Energieperspektiven mit einer sehr starken Zunahme des elektrischen Energieverbrauchs für die Kühlung von heute 10 GWh/a auf 1'934 GWh/a im Jahr 2035 (Szenario I Klima wärmer).

Im Modell WaSo unterscheiden wir bei allen untersuchten Nutzungen zwischen belüfteten Gebäudeflächen mit Kühlung, belüfteten Gebäudeflächen ohne Kühlung und natürlich belüfteten Gebäudeflächen. Beim Energiebedarf für die Kühlung berechnen wir die Anteile für die Kühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur (abhängig von Kühlgradtagen), die zusätzliche Kühlung (unabhängig von Kühlgradtagen) und die Luftförderung (unabhängig von Kühlgradtagen) separat. Im Modell WaSo nehmen die gekühlten Wohnflächen von rund 11 Mio. m² im Jahr 2005 auf 66 Mio. m² im Jahr 2035 zu. Zusätzlich wird eine Zunahme der mechanisch belüfteten Wohnflächen von 56 Mio. m² auf 168 Mio. m² prognostiziert. Ohne Massnahmen steigt der elektrische Energieverbrauch für die Kühlung von 2 auf 64 GWh/a, zusammen mit der Luftförderung ergibt sich nach dem Modell WaSo eine Zunahme von 164 auf 685 GWh/a. Im Vergleich zu den Energieperspektiven sind unsere Zahlen für den heutigen Zustand höher, für den künftigen Zustand tiefer, wobei wir mit der Anwendung energieeffizienter Techniken ein markanteres Reduktionspotential ausweisen als dies in den Szenarien der Energieperspektiven der Fall ist. Die Unterschiede zwischen WaSo und Energieperspektiven sind durch die unterschiedliche Annahmen und Berechnungsansätze begründet.

Für den Dienstleistungsbereich liegen die Resultate nach Energieperspektiven und WaSo näher beieinander. Für den heutigen Zustand wird der Elektrizitätsbedarf für die Kühlung in den Energieperspektiven mit rund 1'000 GWh/a, im Modell WaSo mit rund 800 GWh/a angegeben. Im Jahr 2035 mit Klimaerwärmung liegen die Werte bei den Energieperspektiven je nach Szenario zwischen 2'200 und 3'200 GWh/a, im Modell WaSo sind es mit dem Klima 2035 rund 2'200 GWh/a mit dem Status Quo der Technik und 480 GWh/a mit energieeffizienter Technik. Auch für den Dienstleistungsbereich sind die Unterschiede zwischen WaSo und Energieperspektiven durch die unterschiedlichen Annahmen und Berechnungsansätze begründet.

Die Differenzen zwischen WaSo und Energieperspektiven sind u.a. eine Folge der unterschiedlichen Annahmen zu den gekühlten Flächenanteilen der verschiedenen Gebäudetypen. Es wäre sehr wünschbar, wenn die diesbezüglichen Unsicherheiten durch gezielte Erhebungen geklärt werden könnten.

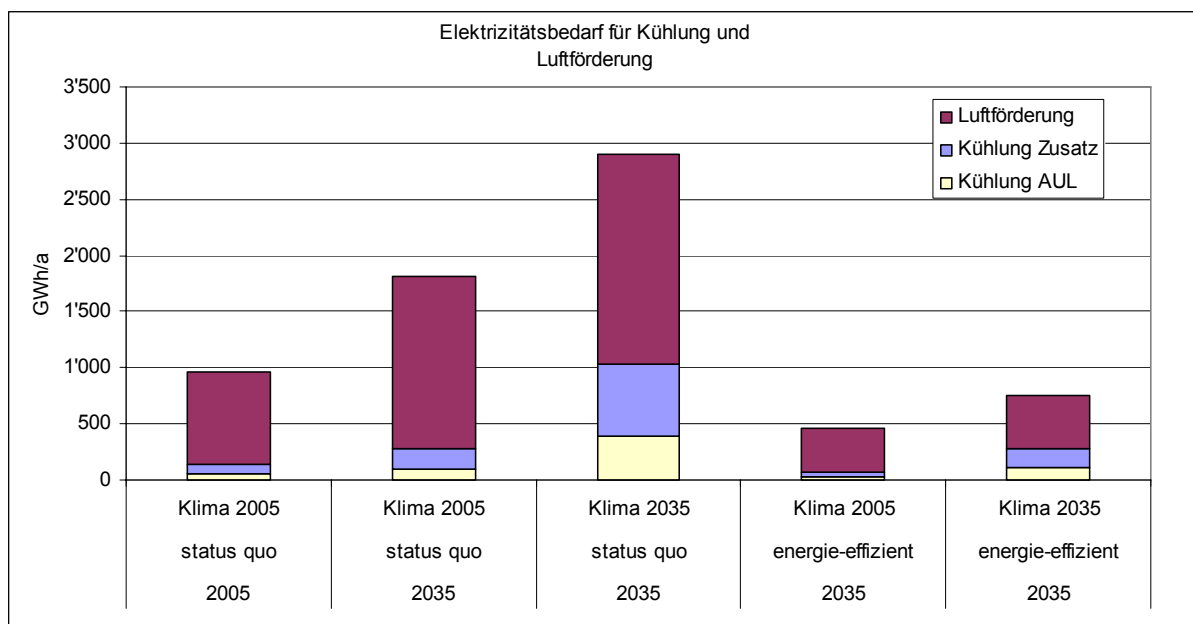
5.6.5 Beurteilung

Die Vergleiche mit den anderen Quellen zeigen, dass die Ergebnisse des Modells WaSo sowohl für die mittlere Anlage als auch für das Kollektiv im Wohnbereich sowie im Bürobereich des Dienstleistungs- und Industriesektors plausibel sind. Die Unterschiede bleiben im Rahmen der bei solchen Abschätzungen erreichbaren Genauigkeit. Für genauere Aussagen sind vertiefte Betrachtungen und Felduntersuchungen notwendig.

5.7 Zusammenfassung Energiebedarf Kühlung und Luftförderung

- Als Folge der Zunahme der Bevölkerung und der Komfortansprüche mit höheren Gebäudeflächen pro Person wird die gesamte Gebäudefläche der Schweiz in den nächsten Jahren unabhängig vom Einfluss warmer Sommer weiter zunehmen.
- Als weitere Folge der erhöhten Komfortansprüche wird eine Zunahme der mechanisch belüfteten und der gekühlten Gebäudeflächen erwartet, wobei diese Entwicklung durch warme Sommer mit häufigeren und längeren Hitzeperioden beschleunigt werden dürfte.
- Mit dem Modell WaSo wird im vorliegenden Bericht der Elektrizitätsbedarf für die Kühlung der Aussenluft, für eine zusätzliche Kühlung zur Abführung von Wärmelasten und für die Luftförderung in den Wohn- und Bürobauten der Schweiz abgeschätzt. Dabei wird von der oben beschriebenen Entwicklung der Gebäudeflächen ausgegangen.
- Beim Klima werden die heutige Situation (Klima 2005) und eine mögliche künftige Situation mit wärmeren Sommern (Klima 2035) betrachtet. Zusätzlich wird bei der Gebäudetechnik einerseits die heute übliche Technik (Status quo) und andererseits eine Anwendung von energieeffizienten Techniken (energieeffizient) berücksichtigt.
- Die Abschätzungen ergeben, dass in den nächsten Jahren bei unveränderter Technik eine deutliche Zunahme des Elektrizitätsbedarfs für die Kühlung und Luftförderung zu erwarten ist. Mit wärmeren Sommern wird diese Entwicklung noch verschärft.
- Mit dem Einsatz von heute bereits verfügbaren energieeffizienten Techniken bei der Kühlung und Luftförderung kann der Elektrizitätsbedarf wirksam reduziert werden. Im Jahr 2035 könnte so der Elektrizitätsbedarf für die Kühlung und Luftförderung selbst unter Berücksichtigung von wärmeren Sommern und vermehrter mechanischer Lüftung und Kühlung unter das heutige Niveau gesenkt werden.

- Ohne den Einsatz von energieeffizienten Techniken müsste bis zum Jahr 2035 mit wärmeren Sommern etwa eine Verdreifachung des Elektrizitätsbedarfs für die Luftförderung und Kühlung in den Wohn- und Bürobauten der Schweiz in Kauf genommen werden.



Figur 5-21 Gesamter elektrischer Energiebedarf für die Kühlung der Aussenluft und die Luftförderung

Die Betrachtungen im vorliegenden Bericht zeigten, dass der Elektrizitätsbedarf von Lüftungs- und Klimaanlage durch die Luftförderung dominiert wird. Zur Reduktion dieses Hauptanteils des Elektrizitätsverbrauchs von **Lüftungs- und Klimaanlage** bestehend die folgenden Möglichkeiten:

- Wahl der tatsächlichen Nutzung angepasster Luftmengen bei Dimensionierung und im Betrieb (z.B. mit Präsenz- oder CO₂-Regelung). Falls der Luftstrom für die Kühlung mit Luft grösser wäre als der für die Personen erforderliche Luftstrom, zusätzliche Wärmelast über ein Wassersystem abführen.
- Druckverluste minimieren durch kurze Kanalnetze (gutes Schachtkonzept), kleine Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen und Apparaten und allgemein strömungsgünstige Formgebung des Kanalnetzes.
- Wirkungsgrade von Ventilatoren, Motoren und Antrieben maximieren. Einsatz von Direktantrieben und EC-Motoren prüfen.

Bei der **Kühlung** sind die folgenden Massnahmen zu beachten:

- Kühlbedarf durch Massnahmen an der Quelle (Gebäude, Sonnenschutz, technische Wärmequellen inkl. Beleuchtung) minimieren.
- Kälteerzeugung inkl. Rückkühlung mit hoher Leistungsziffer entsprechend den Anforderungen in der neuen SIA 382/1 auslegen. Verzicht auf unnötig tiefe Kaltwassertemperaturen.
- Möglichkeiten der freien Kühlung durch angepasste Lüftung, Fensteröffnungsmöglichkeit, Erdsonden mit Wärmetauscher, etc. nutzen.
- Anlage bedarfsgerecht betreiben, d.h. nicht zu geringe Solltemperaturen in den Räumen.

5.8 Referenzen Energiebedarf für Kühlung und Luftförderung

- [5-1] Wüest & Partner
Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen – Perspektiven bis 2035
Bericht im Auftrag des BFE, Juli 2004
- [5-2] Norm SIA 380/1, Ausgabe 2007: Thermische Energie im Hochbau
- [5-3] Norm SIA 382/1, Ausgabe 2007: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
- [5-4] Dokumentation SIA D012, Januar 1987: Meteodaten für die Haustechnik
- [5-5] Beat Brechbühl: Elektrizitätsverbrauch Universität Zürich, Zürich 2007

- [5-6] BFE: Die Energieperspektiven 2035, Band 1: Synthese, Bern, Januar 2007
- [5-7] Prognos: Die Energieperspektiven 2035, Band 2: Szenarien I bis IV, Studie im Auftrag des BFE, Juli 2007
- [5-8] Ecoplan: Die Energieperspektiven 2035, Band 3: Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Studie im Auftrag des BFE, März 2007
- [5-9] BFE: Die Energieperspektiven 2035, Band 4: Exkurse, Studie im Auftrag des BFE, Juni 2007
- [5-10] Prognos: Die Energieperspektiven 2035, Band 5: Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebots, Studie im Auftrag des BFE, Juni 2007
- [5-11] Prognos: Die Energieperspektiven 2035, Anhang zu den Bänden 2 und 5 Studie im Auftrag des BFE, Mai 2007
- [5-12] Jakob, M., et al.: Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten, CEPE 2006

6. Massnahmenpakete und Empfehlungen

6.1 Massnahmen

Zur Verhinderung eines zusätzlichen Energieeinsatzes für die Kühlung bei tendenziell wärmeren Sommertemperaturen in Dienstleistungsgebäuden in der Schweiz werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

- Prüfung der Notwendigkeit einer Kühlung nach SIA 382/1 (2006) → [Abschnitt 6.2](#)
- Insbesondere wenn Kühlung erwünscht oder notwendig: Risikominderung durch guten Sonnenschutz, kleine internen Wärmelasten, geeignete Grundrissformen und Raumgeometrien, genügend thermisch aktive Gebäudemasse → [Abschnitt 6.3](#)
- Wenn Kühlung realisiert wird: Effiziente Kälteerzeugung und –verteilung vorsehen, Anlagen mit kleinem elektrischem Leistungsbedarf bauen und generell Anlagen bedarfsgerecht betreiben → [Abschnitt 6.4](#)
- Massnahmenpakete für Bauherren und Planer:
 - Neubau (für Gebäude, Haustechnik und Betrieb) → [Abschnitt 6.5](#)
 - Umbau (für Gebäude, Haustechnik und Betrieb) → [Abschnitt 6.6](#)
- Empfehlungen für Institutionen → [Abschnitt 6.7](#)

6.2 Prüfung der Notwendigkeit einer Kühlung

Die Prüfung der Notwendigkeit einer Kühlung kann nach SIA 382/1 mit den folgenden zwei Verfahren durchgeführt werden.

6.2.1 Prüfung anhand der internen Wärmequellen und der vorhandenen Möglichkeit der Fensterlüftung

Eine relativ einfache Beurteilung der Notwendigkeit einer Kühlung kann anhand der internen Wärmequellen und der (zusätzlich zur mechanischen Lüftung) vorhandenen Möglichkeiten der Fensterlüftung mit der Tabelle 6-1 vorgenommen werden.

Summe der internen Wärmequellen pro Tag in Wh/m ² .Tag						
< 80	80 - 120	120 - 160	160 - 200	200 - 240	> 240	
nicht notwendig	nicht notwendig	erwünscht	erwünscht	notwendig	notwendig	Fensterlüftung Tag und Nacht möglich
nicht notwendig	nicht notwendig	erwünscht	erwünscht	notwendig	notwendig	Fensterlüftung nur am Tag möglich
nicht notwendig	nicht notwendig	erwünscht	erwünscht	notwendig	notwendig	ohne Fensterlüftung

Tabelle 6-1 Beurteilung der Notwendigkeit einer Kühlung je nach internen Wärmequellen und Fensterlüftung

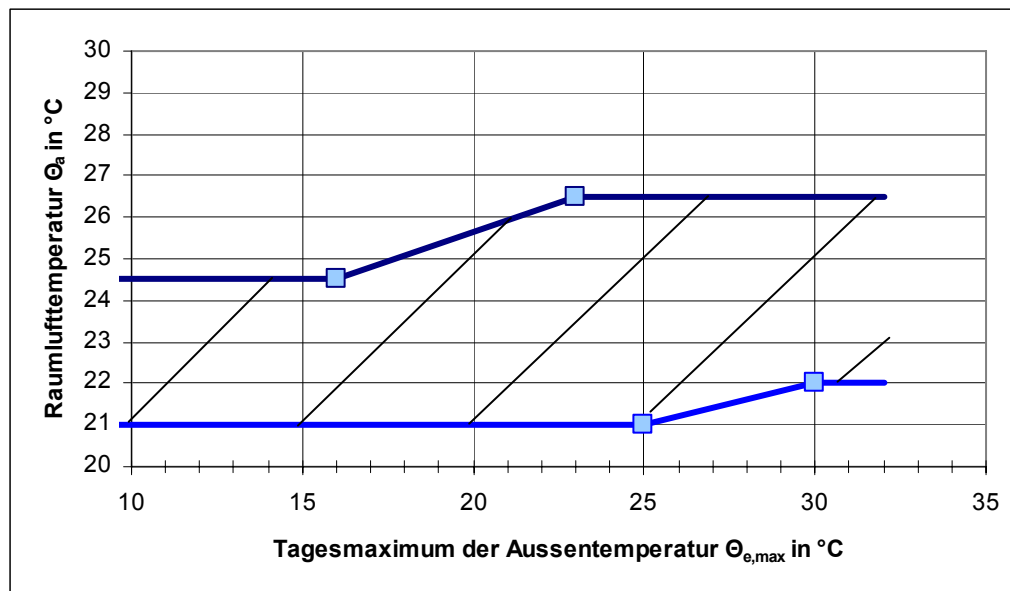
Angaben zu den internen Wärmequellen ergeben sich aus einer Erfassung der Personenbelegung und der Technisierung. Für eine erste Beurteilung können die Standard-Nutzungsbedingungen im SIA Merkblatt 2024 herangezogen werden (siehe Anhang 7.3.2). Für eine vertiefte Beurteilung empfiehlt sich die Verwendung projektspezifischer Daten.

6.2.2 Prüfung anhand der Raumlufthtemperaturen

Eine vertiefte Beurteilung der Notwendigkeit einer Kühlung kann mittels einer fachgerechten dynamischen Simulation (berechnete Raumlufthtemperaturen im 1 h-Schritt) oder mittels Messungen (gemessene Raumlufth- und Aussentemperaturen im 1 h-Schritt) erfolgen. Die Beurteilung erfolgt aufgrund der Anzahl Stundenwerte der Raumlufthtemperaturen, welche während der Nutzungszeit eines Jahres über der oberen Grenzkurve nach Figur 6-1 liegen.

Anzahl Stunden während der Nutzungszeit mit Raumlufthtemperaturen über der oberen Grenzkurve nach Figur 6-1		
keine	bis 100 h/a	> 100 h/a
Kühlung nicht notwendig	Kühlung erwünscht	Kühlung notwendig

Tabelle 6-2 Beurteilung der Notwendigkeit einer Kühlung anhand der Anzahl Stunden mit Raumlufthtemperaturen über der Grenzkurve von Figur 6-1.



Figur 6-1 Komfortbereich der Raumlufttemperatur je nach Tagesmaximum der Aussentemperatur

6.3 Risikominderung

Bei Räumen, für welche nach Abschnitt 6.2 eine Kühlung notwendig oder erwünscht ist und bei allen Räumen, welche tatsächlich gekühlt werden, müssen die nachfolgenden Massnahmen zur Risikominderung eingehalten werden. Zusätzlich empfehlen wir, diese Massnahmen auch bei allen andern Räumen so weit wie möglich zu berücksichtigen.

6.3.1 Guter Sonnenschutz

Die heute massgebenden Anforderungen an den Sonnenschutz sind in der Ziffer 2.1.3 der neuen SIA 382/1 festgelegt. Für Fassadenfenster gelten die Anforderungen an den g-Wert in Abhängigkeit vom Glasanteil und der Orientierung der Fassade gemäss WaSo Figur 2-16. Für Oblichter enthält die SIA 382/1 Anforderungen an den g-Wert je nach Glasanteil der Dachfläche. Der Sonnenschutz von Fassadenfenstern muss motorisiert sein und mindestens fassadenweise in Abhängigkeit von der gemessenen Globalstrahlung automatisch gesteuert werden. Der Sonnenschutz von Oblichtern muss immer separat gesteuert werden.

6.3.2 Kleine interne Wärmelasten

Durch die Wahl von Geräten und Beleuchtungen mit angemessener (möglichst kleiner) Leistung und energie-effizienter Technik sowie durch einen bedarfsgerechten Betrieb und Vermeidung von Stand-by-Verlusten können die internen Wärmelasten massgeblich reduziert werden. Damit kann evtl. auf eine mechanische Kühlung verzichtet oder deren Leistung und Energiebedarf massgeblich reduziert werden. Mit dieser Massnahme wird der direkte elektrische Energiebedarf für die Geräte und die Beleuchtung reduziert und gleichzeitig reduziert sich auch der Energiebedarf für die Kühlung. Zudem wird mit dieser Massnahme auf jeden Fall der Investitionsbedarf für die Kühlung, häufig auch die Investition für die Geräte und die Beleuchtung reduziert.

6.3.3 Geeignete Grundrissformen und Raum- und Fassadengeometrien

Bei Raumtiefen von weniger als etwa 4 m führen die externen Wärmelasten auch bei gutem Sonnenschutz häufig zu Komfortproblemen mit einer Überhitzung des Raumes resp. sie begründen eine leistungsstarke Kühlung. Zudem sind grosszügige Raumhöhen (>2.7 m) anzustreben und über Eck verglaste Räume zu vermeiden. Unnötig hohe Fensteranteile (insbesondere auch Verglasungen unterhalb der Tischhöhe) sind zu vermeiden.

6.3.4 Konstruktionen mit genügender thermisch aktiver Masse

Mit einer guten Wärmespeicherfähigkeit können Temperatur- und Leistungsspitzen geglättet und der Komfort verbessert werden. In Ziffer 2.1.4 der SIA 382/1 wird darum für gekühlte Räume eine Wärmespeicherfähigkeit von mindestens 30 Wh/m².K verlangt. Diese Anforderung ist z.B. erfüllt, wenn in einem Raum die Betondecke zu mindestens 80 % frei ist. Teppiche, abgehängte Decken und Doppel-

böden vermindern die Nutzung der Gebäudemasse. Für detaillierte Berechnungen steht ein Tool der HTA Luzern zur Verfügung.

6.4 Energieeffiziente Kälteerzeugung und -verteilung

Wenn eine Kühlung ausgeführt wird, sollen die Kälteerzeugung und die Kälteverteilung energieeffizient geplant und betrieben werden.

Eine gute Basis dafür sind Anlagen, welche im Sinne von SIA 382/1 Ziffer 5.5 als Anlagen mit kleinem elektrischem Leistungsbedarf gelten. Dabei handelt es sich um Anlagen mit einem gesamten elektrischen Leistungsbedarf für die Medienförderung (Luft, Wasser und andere Flüssigkeiten) und die Medienaufbereitung inkl. Kühlung und allfällige Befeuchtung und Wasseraufbereitung von insgesamt maximal 7 W/m^2 (Bezugsfläche = gekühlte Nettogeschossfläche). Für bestehende und sanierte Anlagen liegt die Grenze bei 12 W/m^2 .

Bei der zentralen Kälteerzeugung sind die Zielwerte für die Leistungsziffer COP inkl. Rückkühlung nach SIA 382/1 Ziffer 5.6 (WaSo Figur 3-6) anzustreben. Bei Raumklimageräten ist eine Kennzahl von EER >5 anzustreben.

6.5 Massnahmenpaket Neubau

	Kategorien	Anwendungsthemen	Massnahmen
Gebäude	Geometrie	Tiefe Grundrisse	Fensterzone > 6 m (bis 8 m) Keine über Eck befensterte Arbeits- und Aufenthaltsräume
		Grosse lichte Raumhöhe:	2.7 m bis 3.5 m
		Glasanteil A_g /EBF	< 30% bis 40% in allen Räumen, verglaste Eckräume und Verglasung unterhalb Tischhöhe vermeiden
		Gebäudemasse	> 30 $\text{Wh}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (nach SIA 382/1), Berechnungstool HTA Oberfläche mit > 100% EBF-Äquivalent (Boden oder Decke) thermisch aktivierbar (mit konventionellen Baumaterialien); bei Einsatz PCM 75%; bei künstlicher Anströmung: 50%
	Zonen	Unterschiedliche Luftqualität	Zonierung innerhalb des Gebäudes nötig bei: Temperaturdifferenz > 4K, Feuchtedifferenz > 20%, Unterschiedliche Anforderung an Luftreinheit, Einsatz von Schleusen, Pendeltüren mit automatischer Schliessung
		Aussen Abschluss	Windfang Schleuse (automatische Türen), Drehtüren
	Fassade	U_{Fassade} (gesamter U-Wert der Fassade)	< 0.9 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (mindestens SIA 380/1)
		U_{Glas}	< 1,1 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
		Fenster	Vom Benützer offenbare Fenster erwünscht (A_{fo} > 5% GF) bei Gebäuden bis 20 Geschosse. Erwärmter aufsteigender Luftstrom entlang der Fassade für Öffnungsart beachten (z.B. hohe schmale und seitlich drehbare Flügel wählen).
	Sonnenschutz	Gesamtenergiedurchlass Fassaden differenziert Ost/West/Süd bei A_g/A_f > 0,5	g_{tot} < 0,1 (SIA 382/1 neu) fassadenorientiert, beweglich, hinterlüftet, reflektierend (hell), Motorisiert, automatisch gesteuert und abgesenkt bei Globalstrahlung dieser Fassade G_v > 150 W/m^2 oder/und t_i (wichtige Räume) > 22° C. In der Übergangszeit kann das Sonnenschutz-Einsatzkriterium in Abhängigkeit von der Raumtemperatur bis auf 300 W/m^2 erhöht werden.
		Feststehende Sonnenschutzelemente	Süd horizontal: 45 Grad Sonneneinfallswinkel; Ost und West: vertikal 45 Grad Azimutwinkel

			Achtung: starke Tageslichtverminderung
		Gebäudehöhe < 30 m: Aussen-liegender Sonnenschutz (gesamter g-Wert gemäss 382/1)	Glas g-Wert < 0,5 Lichtdurchlass $\tau_l > 0,6$ Funktionsfähig bei Böen mit v_{max} 75 km/h
		Gebäudehöhe > 30 m: Dazwischen-liegender Sonnenschutz (gesamter g-Wert gemäss 382/1)	Glas g-Wert < 0,4 Lichtdurchlass $\tau_l > 0,5$
		Gebäudehöhe > 30 m: Innen-liegender (gesamter g-Wert gemäss 382/1) Sonnenschutz	Glas g-Wert < 0,3 Lichtdurchlass $\tau_l > 0,4$
		Blendschutz innen S/E/W	Zusätzlich zu Sonnenschutz erforderlich, für feste Arbeitsplätze frei verstellbar
	Begrünung	Dach	Aufbau mit Erde und extensiver Bepflanzung
		Fassade	u.U. geführter Bewuchs
		Umgebung	Vermeidung von reflektierenden geschlossenen Hartplätzen vor den S/E/W-Fassaden

	Kategorien	Anwendungsthemen	Massnahmen
Gebäudetechnik	Lüftung	Fensterlüftung	Natürliche Fensterlüftung erwünscht für Gebäudehöhe < 30 m. Zusätzlich zu allfälliger künstlicher Lüftung: Fensterkontakte zur Lüftungsabschaltung (bei Kühldecken mögliche Kondensatbildung vermeiden). Einsatz von individuellen Arbeitsplatz-orientierten Komfort-Lüftern und Deckenventilatoren prüfen.
		Künstliche Lüftung	Künstliche > Lüftung für hygienische Mindestzufuhr 20 bis 36 m ³ /(Person und Stunde) mit variablem Luftvolumenstrom VAV, Präsenzsteuerung und Luftqualitätssensoren. Möglichkeit für Komfortventilatoren im Raum prüfen. Vorkühlung der Zuluft im Erdreich oder durch Wasserwärmetauscher mit Erdsonden. Luftkanäle gegen Wärmeintrag und -verlust dämmen. Motoren und Ventilatoren mit hohem Wirkungsgrad. Einsatz Lastregelung mit Frequenzumrichter kritisch prüfen. Ort der Aussenluftfassung ohne Wärmelast oder Luftverunreinigung.
		Nachtlüftung	Nachtlüftung bei t_a Nacht < 20° C: 2 bis 4 Stunden pro Nacht. Beachtung von morgendlichen Komforteinbussen durch zu starke Auskühlung. Falls längere Laufzeiten nötig: Teilkälte ist effizienter. Bei $t_a > 20^\circ$ C: kein Nachtlüftungsbetrieb.
	Kühlung	Zentrales Kühleisystem	Zentrales Kälteerzeugungssystem mit Niedertemperatur Wasserkreislauf an Gebäudemasse angelehnt oder in Gebäudemasse (Tabs) integriert. Kombination mit Erdreichsonden-Wärmetauscher zur Vorkühlung, bzw. Bypass Kältemaschine. Freie Kühlung nutzen (Fenster, Erdsonden, Bypass Kältemaschine). Möglichst hohe Kaltwassertemperatur: > 18° C Kaltwasserleitungen nicht nur gegen Schwitzwasser dämmen, Ziel Wärmeverlust < 5 W/m ² Energieeffiziente Kälteerzeugung: Premium-Motoren (IE3), Pumpen (Klasse A) und Kompressoren mit hohem Wirkungs-

			grad COP von Kälteanlagen inkl. Rückkühlung Zielwerte nach SIA 382/1 Ziffer 5.6 (WaSo Figur 3-6)
		Raumklima Geräte	Geräte Kälteziffer im Jahresschnitt EER > 5 (Geräte mit hocheffizienten PM-Motoren und FU) Betrieb nur bei Bedarf
	Heizung	Flächenheizung	Vorhandene Flächenheizung (Boden/Decke/Wand) im Sommer zur Kühlung nutzen

	Kategorien	Anwendungsthemen	Massnahmen
Betrieb		Bedarf	Bedarfsgerechter und lastabhängiger Betrieb für Lüftung, Kälte, Heizung und Beleuchtung
		Innenlasten	Tageslichtnutzung, Künstliche Beleuchtung < 8 W/m ² , Präsenz- und Helligkeitssteuerung, Effiziente Bürogeräte, bei Abwesenheit: aus Geringer Standby Keine unnötige Wärmeabgabe (z.B. Kühlschränke, Kaffeemaschinen, etc.)
		Raumtemperatur Sommer	Solltemperatur Tag/Nacht mit grossem zulässigen Schwankungsbereich, Raum benutzt: 24° C ± 3 K Raum nicht benutzt > 10 Stunden, z.B. nachts): ± 4 K > 24 Stunden, z.B. Wochenende: ± 6 K
		Steuerung/Regelung	Präsenzsteuerung für Raumtemperatur/-feuchte Präsenz- und Helligkeitssteuerung für Beleuchtung Auto Stand-by Steuerung für Innenlasten Bei hohen (und tiefen) t_a Luftmengen reduzieren (über Leitsystem). Umgehung WRG bei $t_a < t_{ABL}$ Kontinuierliche Messung und regelmässige Auswertung Anlagenbetrieb und Energieverbrauch
		Fensterlüftung	Bei $t_a < t_i$: intensiv (inkl. Nacht) Bei $t_a > t_i$: Fenster zu, für Luftaustausch allenfalls Stosslüftung.

Tabelle 6-3 Das Neubau Massnahmenpaket

6.6 Massnahmenpaket Altbau/Umbau

Grundsätzlich gelten für bestehende Bauten und Umbauten analog die selben Massnahmen wie bei Neubauten, nur sind im allgemeinen die Gebäudegeometrie, -masse, Fensterkonfiguration, etc. schwer, d.h. nur mit sehr hohem Aufwand veränderbar. Dafür sind oft der Sonnenschutz und die gebäudetechnischen Anlagen erneuerungsbedürftig und bieten eine gute Chance, State-of-the-Art Technologie einzusetzen.

Gebäude

	Kategorien	Anwendungsthemen	Massnahmen
	Geometrie	Gebäudemasse	> 30 Wh/m² K (nach SIA 382/1), Berechnungstool HTA Oberfläche mit > 100% EBF-Äquivalent (Boden oder Decke) thermisch aktivierbar (mit konventionellen Baumaterialien): u.U. vorhandene dämmende Teppiche, abgehängte Decken, Wandbeläge entfernen (Akustik sicherstellen). Einsatz PCM prüfen: 75%; bei künstlicher Anströmung: 50%
	Zonen	Unterschiedliche Luftqualität	Zonierung innerhalb des Gebäudes nötig bei: Temperaturdifferenz > 4K, Feuchtedifferenz > 20%, Unterschiedliche Anforderungen an Luftreinheit, Einsatz von Schleusen, Pendeltüren mit automatischer Schliessung
		Aussen Abschluss	Windfang Schleuse (automatische Türen), Drehtüren
	Fassade	U _{Fassade} (gesamter U-Wert der Fassade)	< 0.9 W/(m ² K) (mindestens SIA 380/1)
		U _{Glas}	< 1,1 W/(m ² K)
		Fenster	Verglasung prüfen und u.U. ersetzen, Vom Benützer offenbare Fenster erwünscht, vorhandene belassen (A₁₀ < 5% GF) bei Gebäuden bis 20 Geschosse. Erwärmter aufsteigender Luftstrom entlang der Fassade für Öffnungsart beachten (z.B. hohe schmale seitlich drehbare Flügel).
	Sonnenschutz	Gesamtenergiedurchlass Fassaden differenziert Ost/West/Süd bei Ag/Af > 0,5	g_{tot} < 0,1 (SIA 382/1 neu) fassadenorientiert, beweglich, hinterlüftet, reflektierend (hell), motorisiert, automatisch gesenkt bei Globalstrahlung dieser Fassade G_v > 150 W/m² oder/und t_i (wichtige Räume) > 22° C.
		Feststehende Sonnenschutzelemente	Auf Tauglichkeit prüfen (Verschattung gross/Sonnenschutz Wirkung klein): u.U. entfernen Süd horizontal: 45 Grad Sonneneinfallswinkel; Ost und West: vertikal 45 Grad Azimutwinkel Achtung starke Verminderung des Tageslichteinfalls
		Gebäudehöhe < 30 m: Aussen-liegender Sonnenschutz	Bestehende Sonnenschutzanlagen prüfen, evtl. ergänzen, ersetzen, motorisieren, Glas g-Wert < 0,5 Lichtdurchlass τ_i > 0,6 Funktionsfähig bei Böen mit v_{max} 75 km/h
		Gebäudehöhe > 30 m: Dazwischen-liegender Sonnenschutz	Glas g-Wert < 0,4 Lichtdurchlass τ_i > 0,5
		Gebäudehöhe > 30 m: Innen-liegender Sonnenschutz	Glas g-Wert < 0,3 Lichtdurchlass τ_i > 0,4
		Blendschutz innen S/E/W	Zusätzlich zu Sonnenschutz erforderlich, für feste Arbeitsplätze frei verstellbar
		Begrünung	Dach
			Fassade
			Umgebung

Gebäudetechnik

	Kategorien	Anwendungsthemen	Massnahmen
	Lüftung	Fensterlüftung	Natürliche Fensterlüftung erwünscht für Gebäudehöhe < 30m. Automatische, einbruch- und schlagregensichere Fensteröffnung zur Nachtauskühlung. Zusätzlich zu allfälliger künstlicher Lüftung: Fensterkontakte zur Lüftungsabschaltung. Nachrüstung mit individuellen Lüftern und Deckenventilatoren prüfen.
		Künstliche Lüftung	Künstliche > Lüftung für hygienische Mindestzufuhr (20 - 36 m ³ /Person und Stunde) mit variablem Luftvolumenstrom VAV, Präsenzsteuerung, Luftqualitätssensoren. Möglichkeit für Komfortventilatoren im Raum prüfen. Vorkühlung der Zuluft im Erdreich oder durch Wasserwärmetauscher mit Erdsonden. Luftkanäle gegen Wärmeintrag und -verlust dämmen. Motoren und Ventilatoren mit hohem Wirkungsgrad. Einsatz Lastregelung mit Frequenzumrichter kritisch prüfen. Ort der Aussenluftfassung ohne Wärmelast oder Luftverunreinigung.
		Nachtlüftung	Nachtlüftung bei t _a Nacht < 20° C: Lüftungsanlage oder automatischer Fensterkontakt: 2 bis 4 Stunden pro Nacht. Beachtung von morgendlicher Unbehaglichkeit durch zu starke Auskühlung. Falls längere Laufzeiten nötig: Teilkälte ist effizienter. Bei t _a > 20° C: kein Nachtlüftungsbetrieb.
	Kühlung	Zentrales Kühlsystem	Bestehendes Lüftungs- und Klimatisierungssystem überprüfen. U.U. stilllegen, ersetzen und verbessern. Zentrales Kälteerzeugungssystem mit Niedertemperatur Wasserkreislauf an Gebäudemasse angelehnt oder in Gebäudemasse (Tabs) integriert. Kombination mit Erdreichsonden-Wärmetauscher zur Vorkühlung. Freie Kühlung nutzen. Möglichst hohe Kaltwassertemperatur: > 18° C Kaltwasserleitungen nicht nur gegen Schwitzwasser dämmen, Ziel Wärmeverlust < 5 W/m ² Energieeffiziente Kälteerzeugung: Premium-Motoren (IE3), Pumpen (Klasse A) und Kompressoren mit hohem Wirkungsgrad COP von Kälteanlagen inkl. Rückkühlung Zielwerte nach SIA 382/1 Ziffer 5.6 (WaSo Figur 3-6)
		Raumklima Geräte	Geräte Kälteziffer im Jahresschnitt EER > 5 (Geräte mit hocheffizienten PM-Motoren und FU) Betrieb nur bei Bedarf Splitgeräte: Fassadeneinbau problematisch: Ästhetik, Gebäudedichtigkeit, Kondensatableitung, Wärmeabführung, etc.
	Heizung	Flächenheizung	Vorhandene Flächenheizung (Boden/Decke/Wand) im Sommer zur Kühlung nutzen

	Kategorien	Anwendungsthemen	Massnahmen
Betrieb		Bedarf	Bedarfsgerechter und lastabhängiger Betrieb Lüftung, Kälte, Heizung und Beleuchtung
		Innenlasten	Tageslichtnutzung, Vorhandene Beleuchtungsanlage überprüfen, u.U. ersetzen, evtl. Einbau mobiler energieeffizienter Stehleuchten (www.toplicht.ch), Künstliche Beleuchtung < 8 W/m ² , Präsenz- und Helligkeitssteuerung, Effiziente Bürogeräte, bei Abwesenheit: aus Geringer Standby Keine unnötige Wärmeabgabe (z.B. Kühlschränke, Kaffeemaschinen, etc.)
		Raumtemperatur Sommer	Solltemperatur Tag/Nacht mit grossem zulässigen Schwankungsbereich, Raum benutzt: 24° C ± 3 K Raum nicht benutzt > 10 Stunden, z.B. nachts): ± 4 K > 24 Stunden, z.B. Wochenende: ± 6 K
		Steuerung/Regelung	Präsenzsteuerung für Raumtemperatur/-feuchte Präsenz- und Helligkeitssteuerung für Beleuchtung Auto Stand-by Steuerung für Innenlasten Bei hohen (und tiefen) t _a Luftmengen reduzieren (über Leitsystem). Umgehung WRG bei t _a < t _{ABL} Kontinuierliche Messung und regelmässige Auswertung Anlagenbetrieb und Energieverbrauch
		Fensterlüftung	Bei t _a < t _i : intensiv (inkl. Nacht) Bei t _a > t _i : Fenster zu, für Luftaustausch allenfalls Stosslüftung.

Tabelle 6-4 Das Altbau/Umbau Massnahmenpaket

6.7 Empfehlungen für Institutionen

In der folgenden Matrix werden Empfehlungen zur Umsetzung der sommerlichen Energiemassnahmen an die entsprechenden Institutionen gerichtet. Die Möglichkeit der Verschärfung kantonaler Bau- und Energie-Vorschriften ist günstig, da die MuKEN gegenwärtig auf 2008 erneuert wird. Der Stellenwert des sommerlichen Wärmeschutzes soll in Zukunft gleich hoch wie der winterliche Wärmeschutz sein. Das BFE ist ebenso daran, mit dem Aktionsplan Energieeffizienz 2007 verschiedene neue Akzente im Bereich elektrischer Energienutzung zu setzen.

Institution	Aufgabe	Massnahmen
Bund: BFE und BBL (KBOB)	BFE: Zuständig für Anforderungen elektrischer Geräte BBL: Zuständig für die Beschaffung elektrischer Geräte des Eigenbedarfs der Bundesverwaltung	Im Rahmen der Effizienz-Strategie und Aktionsplan Energieeffizienz 2007-2010 elektrische Energie: 1. Mindestanforderungen für elektrische Geräte inkl. Informatikgeräte (Betrieb und Standby) mit Deklarationspflicht 2. Mindestanforderungen für Raumklimageräte Kategorie A (2008), später Verschärfung 3. Mindestanforderung für Elektromotoren für Lüftungs- und Kältemaschinen: IE2 ab 2008, IE3 ab 2010 4. Beschaffungsprogramme für effiziente Klimageräte und -anlagen sowie Informatikgeräte der Bundesverwaltung 5. Empfehlung für gute Muster-Devis, Vergabekriterien, Vorgaben und Kriterien bei Wettbewerben etc.
Kantone	Zuständig für Bauten	Im Rahmen der MuKEN Revision 2008: 6. Mindestanforderungen für zentrale und dezentrale Raum-Kälte-/Lüftungssysteme, Überarbeitung Modul 4 7. Gebäudemassnahmen für sommerlichen Wärmeschutz: Vorschrift Nachweis sommerlicher Wärmeschutz
Städte und Gemeinden (Energistadt)	Umsetzung Baugesetze, Tarife Strom, Gas, Fernwärme	Im Rahmen der Vorbildfunktion öffentliche Bauten 8. Beschaffungsprogramme für effiziente Klimageräte und -anlagen 9. Umsetzung der Gebäudeanforderungen für den sommerlichen Wärmeschutz 10. Tarifmodell ohne Sommerprivileg (zusammen mit EVU)
Energieversorgungsunternehmen	Elektrizitätsversorgung, Tarife Elektrizität	Im Rahmen der Programme zur Verminderung des zusätzlichen Sommerbedarfes: 11. Anreizsysteme für hocheffiziente Klimageräte und -anlagen 12. Tarifmodell ohne Sommerprivileg (zusammen mit Städten und Gemeinden)
SIA	Zuständig für Baunormen	Im Rahmen der Energycodes und des „Effizienzpfad Energie“ 13. Klimadaten (M2028): neues „DRY warm“ (Empa) integrieren 14. Revision und Konkretisierung der Anforderungen an Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes SIA 180 15. Anforderungen Mindestwirkungsgrad Lüftung/Kälte 382/1 (Forschungsprojekt für Benchmark zusammen mit der Industrie) 16. Schärfere Anforderungen maximale Innenlasten in SIA 380/4 17. Weiterbildungsprogramm „Effiziente Lüftung und Kühlung“ mit SIA Form
Hochschulen	Lehre und Forschung	18. Erstausbildungsschwerpunkt „Effiziente Lüftung und Kühlung“

Industrie Gebäudetechnik	Entwicklung, Produktion und Verkauf von Produkten und Anlagen	19. Forschungsprojekt für Benchmark von Lüftungs- und Klimaanlage zusammen mit der Industrie (zusammen mit SIA) 20. Einheitliche Angaben und Anforderungen für Sonnenschutzanlagen (zusammen mit VSR und SZFF)
S.A.F.E.	Topten	21. Auswahl von besten Raumklimageräten 22. Auswahl von sparsamen Bürogeräten 23. Auswahl bester Umwälzpumpen 24. Auswahl bester Elektromotoren: Topmotors

Tabelle 6-5 Matrix der Empfehlungen für Institutionen

7. Anhang

7.1 Modell WaSo: Datenbasis

- Seite 128: Annahmen zum Gebäudebestand und dessen Technisierung in der Basisentwicklung
- Seite 129: Annahmen zum Gebäudebestand und dessen Technisierung mit warmen Sommern (WaSo)
- Seite 130: Modell WaSo: Elektrizitätsbedarf für die Kühlung der Aussenluft
- Seite 131: Modell WaSo: Elektrizitätsbedarf für eine zusätzliche Kühlung
- Seite 132: Modell WaSo: Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung

MODELL WaSO:
ANNAHMEN ZUM GEBÄUDEBESTAND UND DESSEN TECHNISIERUNG IN DER BASISENTWICKLUNG

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2035/2005
Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung in %												
Haushalt		1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,9%	2,0%	1,75
Dienstleistungen/Gewerbe		6,5%	7,4%	8,2%	9,0%	9,9%	10,7%	11,6%	12,4%	13,2%	14,1%	1,56
Industrie nur Büro		5,0%	5,6%	6,1%	6,7%	7,2%	7,8%	8,3%	8,9%	9,4%	10,0%	1,50
Total		2,5%	2,7%	2,9%	3,2%	3,5%	3,8%	4,1%	4,4%	4,7%	5,0%	1,58
Haushalt	EFH	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,9%	2,0%	1,75
	MFH	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,9%	2,0%	1,75
	sonstige Wohnungen	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,9%	2,0%	1,75
	Total HH	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,9%	2,0%	1,75
Dienstleistungen	Bürogebäude	15,0%	16,7%	18,3%	20,0%	21,7%	23,3%	25,0%	26,7%	28,3%	30,0%	1,50
	Schulen	5,0%	5,6%	6,1%	6,7%	7,2%	7,8%	8,3%	8,9%	9,4%	10,0%	1,50
	Spitäler/Heime	5,0%	5,6%	6,1%	6,7%	7,2%	7,8%	8,3%	8,9%	9,4%	10,0%	1,50
	Einzelhandel	5,0%	5,6%	6,1%	6,7%	7,2%	7,8%	8,3%	8,9%	9,4%	10,0%	1,50
	Grosshandel	30,0%	32,2%	34,4%	36,7%	38,9%	41,1%	43,3%	45,6%	47,8%	50,0%	1,36
	Gastgewerbe	5,0%	5,6%	6,1%	6,7%	7,2%	7,8%	8,3%	8,9%	9,4%	10,0%	1,50
	landw. Gebäude	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,8%	1,9%	2,0%	1,50
	sonstige Gebäude	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,8%	1,9%	2,0%	1,50
	Verkehrsgebäude	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,6%	1,7%	1,8%	1,9%	2,0%	1,50
	Total DL	6,5%	7,4%	8,2%	9,0%	9,9%	10,7%	11,6%	12,4%	13,2%	14,1%	1,56
Industrie	Produktion	10,0%	11,1%	12,2%	13,3%	14,4%	15,6%	16,7%	17,8%	18,9%	20,0%	1,50
	Büro	5,0%	5,6%	6,1%	6,7%	7,2%	7,8%	8,3%	8,9%	9,4%	10,0%	1,50
	Total I	9,2%	10,2%	11,2%	12,3%	13,3%	14,4%	15,5%	16,5%	17,6%	18,7%	1,53
		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	
Mechanisch belüftete Gebäudeflächen ohne Kühlung in %												
Haushalt		10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33
Dienstleistungen/Gewerbe		32,8%	34,6%	36,4%	38,1%	39,8%	41,5%	43,3%	45,1%	46,8%	48,6%	1,28
Industrie nur Büro		30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
Total		16,3%	16,7%	17,0%	19,5%	22,0%	24,5%	27,1%	29,6%	32,1%	34,7%	1,78
Haushalt	EFH	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33
	MFH	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33
	sonstige Wohnungen	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33
	Total HH	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33
Dienstleistungen	Bürogebäude	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
	Schulen	15,0%	17,2%	19,4%	21,7%	23,9%	26,1%	28,3%	30,6%	32,8%	35,0%	1,62
	Spitäler/Heime	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
	Einzelhandel	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
	Grosshandel	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	1,00
	Gastgewerbe	60,0%	61,1%	62,2%	63,3%	64,4%	65,6%	66,7%	67,8%	68,9%	70,0%	1,11
	landw. Gebäude	40,0%	42,2%	44,4%	46,7%	48,9%	51,1%	53,3%	55,6%	57,8%	60,0%	1,29
	sonstige Gebäude	40,0%	42,2%	44,4%	46,7%	48,9%	51,1%	53,3%	55,6%	57,8%	60,0%	1,29
	Verkehrsgebäude	40,0%	42,2%	44,4%	46,7%	48,9%	51,1%	53,3%	55,6%	57,8%	60,0%	1,29
	Total DL	32,8%	34,6%	36,4%	38,1%	39,8%	41,5%	43,3%	45,1%	46,8%	48,6%	1,28
Industrie	Produktion	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
	Büro	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
	Total I	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29
		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	
Natürlich belüftete Gebäudeflächen in %												
Haushalt		89,0%	89,0%	89,0%	86,0%	83,0%	80,0%	77,0%	74,0%	71,0%	68,0%	0,79
Dienstleistungen/Gewerbe		60,6%	58,0%	55,4%	52,9%	50,3%	47,7%	45,1%	42,5%	39,9%	37,3%	0,70
Industrie nur Büro		60,8%	58,1%	55,4%	52,7%	50,0%	47,3%	44,5%	41,8%	39,0%	36,3%	0,69
Total		81,2%	80,5%	80,1%	77,4%	74,5%	71,7%	68,8%	66,0%	63,1%	60,3%	0,78
Haushalt	EFH	89,0%	89,0%	89,0%	86,0%	83,0%	80,0%	77,0%	74,0%	71,0%	68,0%	0,79
	MFH	89,0%	89,0%	89,0%	86,0%	83,0%	80,0%	77,0%	74,0%	71,0%	68,0%	0,79
	sonstige Wohnungen	89,0%	89,0%	89,0%	86,0%	83,0%	80,0%	77,0%	74,0%	71,0%	68,0%	0,79
	Total HH	89,0%	89,0%	89,0%	86,0%	83,0%	80,0%	77,0%	74,0%	71,0%	68,0%	0,79
Dienstleistungen	Bürogebäude	55,0%	51,7%	48,3%	45,0%	41,7%	38,3%	35,0%	31,7%	28,3%	25,0%	0,56
	Schulen	80,0%	77,2%	74,4%	71,7%	68,9%	66,1%	63,3%	60,6%	57,8%	55,0%	0,77
	Spitäler/Heime	65,0%	62,8%	60,6%	58,3%	56,1%	53,9%	51,7%	49,4%	47,2%	45,0%	0,77
	Einzelhandel	65,0%	62,8%	60,6%	58,3%	56,1%	53,9%	51,7%	49,4%	47,2%	45,0%	0,77
	Grosshandel	30,0%	27,8%	25,6%	23,3%	21,1%	18,9%	16,7%	14,4%	12,2%	10,0%	0,43
	Gastgewerbe	35,0%	33,3%	31,7%	30,0%	28,3%	26,7%	25,0%	23,3%	21,7%	20,0%	0,67
	landw. Gebäude	59,0%	56,7%	54,3%	52,0%	49,7%	47,3%	45,0%	42,7%	40,3%	38,0%	0,73
	sonstige Gebäude	59,0%	56,7%	54,3%	52,0%	49,7%	47,3%	45,0%	42,7%	40,3%	38,0%	0,73
	Verkehrsgebäude	59,0%	56,7%	54,3%	52,0%	49,7%	47,3%	45,0%	42,7%	40,3%	38,0%	0,73
	Total DL	60,6%	58,0%	55,4%	52,9%	50,3%	47,7%	45,1%	42,5%	39,9%	37,3%	0,70
Industrie	Produktion	60,0%	57,2%	54,4%	51,7%	48,9%	46,1%	43,3%	40,6%	37,8%	35,0%	0,68
	Büro	65,0%	62,8%	60,6%	58,3%	56,1%	53,9%	51,7%	49,4%	47,2%	45,0%	0,77
	Total I	60,8%	58,1%	55,4%	52,7%	50,0%	47,3%	44,5%	41,8%	39,0%	36,3%	0,69

MODELL WaSO:
ANNAHMEN ZUM GEBÄUDEBESTAND UND DESSEN TECHNISIERUNG MIT WARMEN SOMMERN (WaSo)

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2035/2005	2035 WaSo/BASIS
Mechanisch belüftete Gebäudeflächen mit Kühlung in %													
Haushalt		1,0%	1,0%	1,0%	2,5%	4,0%	5,6%	7,1%	8,7%	10,2%	11,8%	4,67	5,88
Dienstleistungen/Gewerbe		7,0%	8,5%	10,4%	12,4%	14,4%	16,5%	18,5%	20,6%	22,6%	24,6%	1,99	1,75
Industrie nur Büro		5,0%	8,9%	12,8%	16,7%	20,6%	24,4%	28,3%	32,2%	36,1%	40,0%	2,40	4,00
Total		2,6%	3,1%	3,6%	5,2%	6,9%	8,6%	10,3%	11,9%	13,6%	15,3%	2,93	3,04
Haushalt	EFH	1,0%	1,0%	1,0%	3,0%	5,0%	7,0%	9,0%	11,0%	13,0%	15,0%	5,00	7,50
	MFH	1,0%	1,0%	1,0%	2,3%	3,6%	4,9%	6,1%	7,4%	8,7%	10,0%	4,38	5,00
	sonstige Wohnungen	1,0%	1,0%	1,0%	2,3%	3,6%	4,9%	6,1%	7,4%	8,7%	10,0%	4,38	5,00
	Total HH	1,0%	1,0%	1,0%	2,5%	4,0%	5,6%	7,1%	8,7%	10,2%	11,8%	4,67	5,88
Dienstleistungen	Bürogebäude	15,0%	18,3%	21,7%	25,0%	28,3%	31,7%	35,0%	38,3%	41,7%	45,0%	1,80	1,50
	Schulen	5,0%	6,7%	8,3%	10,0%	11,7%	13,3%	15,0%	16,7%	18,3%	20,0%	2,00	2,00
	Spitäler/Heime	5,0%	7,8%	10,6%	13,3%	16,1%	18,9%	21,7%	24,4%	27,2%	30,0%	2,25	3,00
	Einzelhandel	5,0%	6,7%	8,3%	10,0%	11,7%	13,3%	15,0%	16,7%	18,3%	20,0%	2,00	2,00
	Grosshandel	30,0%	32,8%	35,6%	38,3%	41,1%	43,9%	46,7%	49,4%	52,2%	55,0%	1,43	1,10
	Gastgewerbe	5,0%	6,1%	7,2%	8,3%	9,4%	10,6%	11,7%	12,8%	13,9%	15,0%	1,80	1,50
	landw. Gebäude	1,0%	1,4%	1,9%	2,3%	2,8%	3,2%	3,7%	4,1%	4,6%	5,0%	2,14	2,50
	sonstige Gebäude	1,0%	1,4%	1,9%	2,3%	2,8%	3,2%	3,7%	4,1%	4,6%	5,0%	2,14	2,50
	Verkehrsgebäude	1,0%	1,4%	1,9%	2,3%	2,8%	3,2%	3,7%	4,1%	4,6%	5,0%	2,14	2,50
	Total DL	7,0%	8,5%	10,4%	12,4%	14,4%	16,5%	18,5%	20,6%	22,6%	24,6%	1,99	1,75
Industrie	Produktion	10,0%	13,3%	16,7%	20,0%	23,3%	26,7%	30,0%	33,3%	36,7%	40,0%	2,00	2,00
	Büro	5,0%	8,9%	12,8%	16,7%	20,6%	24,4%	28,3%	32,2%	36,1%	40,0%	2,40	4,00
	Total I	9,2%	12,6%	16,0%	19,5%	22,9%	26,3%	29,8%	33,2%	36,6%	40,0%	2,06	2,14
		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035		
Mechanisch belüftete Gebäudeflächen ohne Kühlung in %													
Haushalt		10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33	1,00
Dienstleistungen/Gewerbe		32,8%	34,6%	36,3%	38,0%	39,6%	41,3%	43,0%	44,7%	46,4%	48,1%	1,27	0,99
Industrie nur Büro		30,0%	31,1%	32,2%	33,3%	34,4%	35,6%	36,7%	37,8%	38,9%	40,0%	1,20	0,89
Total		16,3%	16,7%	17,0%	19,4%	21,9%	24,4%	26,9%	29,4%	32,0%	34,5%	1,78	0,99
Haushalt	EFH	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33	1,00
	MFH	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33	1,00
	sonstige Wohnungen	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33	1,00
	Total HH	10,0%	10,0%	10,0%	12,9%	15,7%	18,6%	21,4%	24,3%	27,1%	30,0%	2,33	1,00
Dienstleistungen	Bürogebäude	30,0%	31,1%	32,2%	33,3%	34,4%	35,6%	36,7%	37,8%	38,9%	40,0%	1,20	0,89
	Schulen	15,0%	17,8%	20,6%	23,3%	26,1%	28,9%	31,7%	34,4%	37,2%	40,0%	1,71	1,14
	Spitäler/Heime	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29	1,00
	Einzelhandel	30,0%	31,7%	33,3%	35,0%	36,7%	38,3%	40,0%	41,7%	43,3%	45,0%	1,29	1,00
	Grosshandel	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	40,0%	1,00	1,00
	Gastgewerbe	60,0%	61,1%	62,2%	63,3%	64,4%	65,6%	66,7%	67,8%	68,9%	70,0%	1,11	1,00
	landw. Gebäude	40,0%	42,2%	44,4%	46,7%	48,9%	51,1%	53,3%	55,6%	57,8%	60,0%	1,29	1,00
	sonstige Gebäude	40,0%	42,2%	44,4%	46,7%	48,9%	51,1%	53,3%	55,6%	57,8%	60,0%	1,29	1,00
	Verkehrsgebäude	40,0%	42,2%	44,4%	46,7%	48,9%	51,1%	53,3%	55,6%	57,8%	60,0%	1,29	1,00
	Total DL	32,8%	34,6%	36,3%	38,0%	39,6%	41,3%	43,0%	44,7%	46,4%	48,1%	1,27	0,99
Industrie	Produktion	30,0%	31,1%	32,2%	33,3%	34,4%	35,6%	36,7%	37,8%	38,9%	40,0%	1,20	0,89
	Büro	30,0%	31,1%	32,2%	33,3%	34,4%	35,6%	36,7%	37,8%	38,9%	40,0%	1,20	0,89
	Total I	30,0%	31,1%	32,2%	33,3%	34,4%	35,6%	36,7%	37,8%	38,9%	40,0%	1,20	0,89
		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035		
Natürlich belüftete Gebäudeflächen in %													
Haushalt		89,0%	89,0%	89,0%	84,6%	80,2%	75,8%	71,5%	67,0%	62,6%	58,2%	0,69	0,86
Dienstleistungen/Gewerbe		60,6%	56,9%	53,3%	49,6%	45,9%	42,2%	38,5%	34,8%	31,0%	27,2%	0,55	0,73
Industrie nur Büro		65,0%	60,0%	55,0%	50,0%	45,0%	40,0%	35,0%	30,0%	25,0%	20,0%	0,40	0,55
Total		81,2%	80,2%	79,4%	75,4%	71,2%	67,0%	62,8%	58,6%	54,4%	50,2%	0,67	0,83
Haushalt	EFH	89,0%	89,0%	89,0%	84,1%	79,3%	74,4%	69,6%	64,7%	59,9%	55,0%	0,65	0,81
	MFH	89,0%	89,0%	89,0%	84,9%	80,7%	76,6%	72,4%	68,3%	64,1%	60,0%	0,71	0,88
	sonstige Wohnungen	89,0%	89,0%	89,0%	84,9%	80,7%	76,6%	72,4%	68,3%	64,1%	60,0%	0,71	0,88
	Total HH	89,0%	89,0%	89,0%	84,6%	80,2%	75,8%	71,5%	67,0%	62,6%	58,2%	0,69	0,86
Dienstleistungen	Bürogebäude	55,0%	50,6%	46,1%	41,7%	37,2%	32,8%	28,3%	23,9%	19,4%	15,0%	0,36	0,60
	Schulen	80,0%	75,6%	71,1%	66,7%	62,2%	57,8%	53,3%	48,9%	44,4%	40,0%	0,60	0,73
	Spitäler/Heime	65,0%	60,6%	56,1%	51,7%	47,2%	42,8%	38,3%	33,9%	29,4%	25,0%	0,48	0,56
	Einzelhandel	65,0%	61,7%	58,3%	55,0%	51,7%	48,3%	45,0%	41,7%	38,3%	35,0%	0,64	0,78
	Grosshandel	30,0%	27,2%	24,4%	21,7%	18,9%	16,1%	13,3%	10,6%	7,8%	5,0%	0,23	0,50
	Gastgewerbe	35,0%	32,8%	30,6%	28,3%	26,1%	23,9%	21,7%	19,4%	17,2%	15,0%	0,53	0,75
	landw. Gebäude	59,0%	56,3%	53,7%	51,0%	48,3%	45,7%	43,0%	40,3%	37,7%	35,0%	0,69	0,92
	sonstige Gebäude	59,0%	56,3%	53,7%	51,0%	48,3%	45,7%	43,0%	40,3%	37,7%	35,0%	0,69	0,92
	Verkehrsgebäude	59,0%	56,3%	53,7%	51,0%	48,3%	45,7%	43,0%	40,3%	37,7%	35,0%	0,69	0,92
	Total DL	60,6%	56,9%	53,3%	49,6%	45,9%	42,2%	38,5%	34,8%	31,0%	27,2%	0,55	0,73
Industrie	Produktion	60,0%	55,6%	51,1%	46,7%	42,2%	37,8%	33,3%	28,9%	24,4%	20,0%	0,43	0,57
	Büro	65,0%	60,0%	55,0%	50,0%	45,0%	40,0%	35,0%	30,0%	25,0%	20,0%	0,40	0,44
	Total I	60,8%	56,3%	51,7%	47,2%	42,7%	38,1%	33,6%	29,0%	24,5%	20,0%	0,42	0,55

Modell WaSo:

Elektrizitätsbedarf für die Kühlung der Aussenluft auf die Zulufttemperatur

2005	status quo Klima 2005	Auslegung		spez. Leistung	Wth/m2	COP	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elt. Energie		gekühlte EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
		ta max °C	tZUL °C	W/m2 K	peak	-	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen		32	23	0,23	2,0736	2,0	640	60%	0,40	1,43	5,0	2	
DL		32	20	1,15	13,824	2,5	880	70%	3,41	12,26	13,1	44	
Industrie Büro		32	20	1,15	13,824	2,5	880	70%	3,41	12,26	0,8	3	
Total									2,61	9,39	18,8	49	0 100%

2035	status quo Klima 2005	Auslegung		spez. Leistung	Wth/m2	COP	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elektrische Energie		gekühlte EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
		ta max °C	tZUL °C	W/m2 K	peak	-	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen		32	23	0,23	2,0736	2,0	640	60%	0,40	1,43	11,2	4	
DL		32	20	1,15	13,824	2,5	880	70%	3,41	12,26	25,4	87	
Industrie Büro		32	20	1,15	13,824	2,5	880	70%	3,41	12,26	1,1	4	
Total									2,51	9,04	37,8	95	46 93%

2035	status quo Klima 2035	Auslegung		spez. Leistung	Wth/m2	COP	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elektrische Energie		gekühlte EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
		ta max °C	tZUL °C	W/m2 K	peak	-	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen		35	23	0,23	2,76	2,0	1'160	60%	0,96	3,46	66,1	64	
DL		35	20	1,15	17,28	2,5	1'360	70%	6,58	23,69	44,5	293	
Industrie Büro		35	20	1,15	17,28	2,5	1'360	70%	6,58	23,69	4,4	29	
Total									3,35	12,07	115,0	386	337 686%

2035	energie- effizient Klima 2005	Auslegung		spez. Leistung	Wth/m2	COP	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elektrische Energie		gekühlte EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
		ta max °C	tZUL °C	W/m2 K	peak	-	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen		32	24	0,23	1,8432	3,5	510	50%	0,13	0,48	11,2	2	
DL		32	21	0,86	9,504	5,0	740	60%	0,84	3,04	25,4	21	
Industrie Büro		32	21	0,86	9,504	5,0	740	60%	0,84	3,04	1,1	1	
Total									0,63	2,28	37,8	24	-25 -51%

2035	energie- effizient Klima 2035	Auslegung		spez. Leistung	Wth/m2	COP	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elektrische Energie		gekühlte EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
		ta max °C	tZUL °C	W/m2 K	peak	-	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen		35	24	0,23	2,53	3,5	1'000	50%	0,36	1,30	66,1	24	
DL		35	21	0,86	12,10	5,0	1'170	60%	1,70	6,11	44,5	76	
Industrie Büro		35	21	0,86	12,10	5,0	1'170	60%	1,70	6,11	4,4	8	
Total									0,93	3,35	115,0	107	58 118%

Modell WaSo: Elektrizitätsbedarf für eine zusätzliche Kühlung

Faktor Zusatzkühlung Büros

2

2005	status quo Klima 2005							spez. elt. Energie	gekühlte EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
								kWhe/m2 a MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen								0,00 0,00	5,0	0	
DL								6,81 24,52	13,1	89	
Industrie Büro								6,81 24,52	0,8	5	
Total								5,01 18,03	18,8	94	0 100%

2035	status quo Klima 2005							spez. elektrische Energie	gekühlte EBF	abs. elt. Energie	
								kWhe/m2 a MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen								0,00 0,00	11,2	0	
DL								6,81 24,52	25,4	173	
Industrie Büro								6,81 24,52	1,1	8	
Total								4,79 17,23	37,8	181	87 92%

2035	status quo Klima 2035							spez. elektrische Energie	gekühlte EBF	abs. elt. Energie	
								kWhe/m2 a MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen								0,00 0,00	66,1	0	
DL								13,16 47,38	44,5	586	
Industrie Büro								13,16 47,38	4,4	59	
Total								5,60 20,17	115,0	644	550 584%

2035	energie-effizient Klima 2005							spez. elektrische Energie	gekühlte EBF	abs. elt. Energie	
								kWhe/m2 a MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen								0,00 0,00	11,2	0	
DL								1,69 6,08	25,4	43	
Industrie Büro								1,69 6,08	1,1	2	
Total								1,19 4,27	37,8	45	-49 -52%

2035	energie-effizient Klima 2035							spez. elektrische Energie	gekühlte EBF	abs. elt. Energie	
								kWhe/m2 a MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a	
Wohnen								0,00 0,00	66,1	0	
DL								3,40 12,23	44,5	151	
Industrie Büro								3,40 12,23	4,4	15	
Total								1,45 5,20	115,0	166	72 77%

Modell WaSo: Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung

2005	status quo Klima 2005	Luftstrom		P-SFP in W pro m3/h		Spez. Leistung	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elt. Energie		mechanisch belüftete EBF	abs. elt. Energie	Delta zu 2005
		m3/h.m2	ZUL	ABL	W/m2	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a		
Wohnen		0,72	0,21	0,21	0,302	8'760	100%	2,65	9,54	61,0	162		0 100%
DL		3,6	0,525	0,30	2,970	3'000	100%	8,91	32,08	68,2	608		
Industrie Büro		3,6	0,525	0,30	2,970	3'000	100%	8,91	32,08	4,8	43		
Total								6,06	21,82	134,0	812		

2035	status quo Klima 2005	Luftstrom	P-SFP in W pro m3/h		Spez. Leistung	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elt. Energie		mechanisch belüftete EBF	abs. elt. Energie
		m3/h.m2	ZUL	ABL	W/m2	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a
Wohnen		0,72	0,21	0,21	0,302	8'760	100%	2,65	9,54	179,7	476
DL		3,6	0,525	0,30	2,970	3'000	100%	8,91	32,08	113,3	1'010
Industrie Büro		3,6	0,525	0,30	2,970	3'000	100%	8,91	32,08	6,1	54
Total								5,15	18,54	299,2	1'540

72890%

2035	status quo Klima 2035	Luftstrom		P-SFP in W pro m3/h		Spez. Leistung	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elt. Energie		mechanisch belüftete EBF	abs. elt. Energie	
		m3/h.m2	ZUL	ABL	W/m2	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a		
Wohnen		0,72	0,21	0,21	0,302	8'760	100%	2,65	9,54	234,5	621		1'060 130%
DL		3,6	0,525	0,30	2,970	3'000	100%	8,91	32,08	131,5	1'171		
Industrie Büro		3,6	0,525	0,30	2,970	3'000	100%	8,91	32,08	8,9	79		
Total								4,99	17,98	374,9	1'872		

2035	energie- effizient Klima 2005	Luftstrom		P-SFP in W pro m3/h		Spez. Leistung	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elt. Energie		mechanisch belüftete EBF	abs. elt. Energie	
		m3/h.m2	ZUL	ABL	W/m2	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a		
Wohnen		0,72	0,083	0,08	0,120	8'760	100%	1,05	3,77	179,7		188	
DL		2,7	0,2	0,14	0,918	3'000	60%	1,65	5,95	113,3		187	
Industrie Büro		2,7	0,2	0,14	0,918	3'000	60%	1,65	5,95	6,1		10	
Total								1,29	4,64	299,2		386	
												-427	-53%

2035	energie- effizient Klima 2035	Luftstrom		P-SFP in W pro m3/h		Spez. Leistung	Betriebs- stunden	Vollbetriebs- stunden	spez. elt. Energie		mechanisch belüftete EBF	abs. elt. Energie	
		m3/h.m2	ZUL	ABL	W/m2	h/a	%	kWhe/m2 a	MJ/m2 a	Mio m2	GWhe/a		
Wohnen		0,72	0,083	0,08	0,120	8'760	100%	1,05	3,77	234,5		246	
DL		2,7	0,2	0,14	0,918	3'000	60%	1,65	5,95	131,5		217	
Industrie Büro		2,7	0,2	0,14	0,918	3'000	60%	1,65	5,95	8,9		15	
Total								1,27	4,59	374,9		478	
												-335	-41%

7.2 Begriffe, Abkürzungen, Einheiten und Symbolverzeichnis

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
BBL	Bundesamt für Bauten und Logistik
BFE	Bundesamt für Energie
CEPE	Centre for Energy Policy and Economics of ETH Zurich
COP	Coefficient of Performance (hier: Wirkungsgrad von Wärmepumpen im Heizbetrieb)
DC	Direct Current (Gleichstrom)
DRY	Design Reference Year
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EBF	Energiebezugsfläche (SIA 380/1)
EEL	Energie-Effizienz-Index, identisch EER (z.B. bei Haushaltapparaten Etikette für Kühlgeräte)
EER	Energy Efficiency Ratio, identisch EEL
EEX	Strombörse Leipzig
EN	Europäische Norm
EPF	Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich
EuP	European Commission Directive on Energy-using Products
FEA	Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz
FU	Frequenzumformer
g	g-Wert (%) Gesamtenergiedurchlassgrad von Fenstern und Sonnenschutzanlagen
GLAD	Glas Datenbank (Empa Dübendorf)
HTA	Hochschule für Technik und Architektur, Luzern
IEA	International Energy Agency, Paris
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes
Lot 10	EuP Unterthema Raumklimageräte
Lot 11	EuP Unterthema Motoren, Pumpen und Ventilatoren
MEPS	Minimum Energy Performance Standard (Mindestanforderung)
OcCC	Organe consultatif sur les changements climatiques
PCM	Phase Change Material (Latentspeicher Material)
PM	Permanentmagnet Motoren
PV	Photovoltaik
S.A.F.E.	Schweizerische Agentur für Energieeffizienz
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SMA	Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich, neu MeteoSchweiz
SN	Schweizer Norm
STIWA	Stiftung Warentest
SWEP	Schweizer Strombörse bei der Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg
SZFF	Schweizerische Zentralstelle für Fenster und Fassadenbau
TABS	Thermo active building systems
Topten	Internet Plattform für energieeffiziente Produkte www.topten.ch
U	U-Wert, Wärmedurchlasskoeffizient ($W/(m^2 K)$)
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSR	Verband Schweizerischer Anbieter von Sonnen- und Wetterschutz-Systemen
WaSo	Kurzbezeichnung für Forschungsprojekt "Bauen, wenn das Klima wärmer wird"

7.3 Referenzen

7.3.1 Quellen (chronologisch geordnet)

Autor	Institution	Titel	in:	Ort	Datum Publ.
IEC	IEC	60034-30 Energy Efficiency Classes for electric motors	Draft Standard	Genf	2007
Th. Afiei, R. Dott	FHNW	heizen und Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen	BFE Energieforschung	Muttenz	2007
Beat Brechbühl	Universität Zürich	Elektrizitätsverbrauch Universität Zürich,	Forum Energie Zürich	Zürich	2007
Peter Hofer	Prognos AG	Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990 - 2035	Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft, 1990 - 2035	Basel	2007
BFE	BFE	Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2006		Bern	2007
Bernhard Aebischer	CEPE ETH-Z	Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft, 1990 - 2035	Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer	Zürich	2007
Roland Hohmann	OcCC	Klimaänderung in der Schweiz 2050		Bern	2007
MeteoSchweiz		Monatstabellen Zürich		Zürich	2007
Recknagel, Sprenger, Schramek	Oldenbourg Industrieverlag	Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 07/08		München	2007
Martin Jakob et al.	CEPE ETH-Z	Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei WirtschaftsbautenWohn- und Dienstleistungsgebäuden		Zürich	2006
Wolfgang Schmid		Kühlung aus heiterem Himmel	in: Haustech Nr. 10/2006		2006
R. Dott et al.	FHNW	Heizen & Kühlen mit erdgekoppelten Wärmepumpen	in: 14. Schweiz. Statusseminar Energieforschung	Zürich	2006
S. Vallis, T. Büchner	FHBB / Institut für Energie	Wärmepumpenkompaktgeräte zum Heizen und Kühlen	Fallstudie	Muttenz	2006
Conrad U. Brunner et al.		Building in a hotter climate	Building Performance Congress	Frankfurt a.M.	2006
Martin Jakob, et al.	ETH-Z CEPE	Energy Efficiency, Costs and Comfort in Buildings in the Service Sector	Building Performance Congress, IEECB'06	Frankfurt a.M.	2006
Conrad U. Brunner, Urs Steinemann		Bauen, wenn das Klima wärmer wird, die notwendige Umkehr des normativen Denkens	Status Seminar Energieforschung ETH-Z	Zürich	2006
Beat Wellig, Beat Kegel, et al.	Ernst Basler & Partner	Verdoppelung der JAZ von Klimakälteanlagen durch Ausnützung eines kleinen Temperaturhubes	BFE-Schlussbericht	Zürich	2006
Stiftung Warentest	Stiftung Warentest	Kaum Kühlung	Test 6/2005	Berlin	2006
Jürg Nipkow	Arena	Modellrechnung Kleinklima V2 / Klein-Klimageräte: Relevanz, Hochrechnung (7/06)	intern	Zürich	2006
Jürg Nipkow	Arena	Topten-Ratgeber Klimageräte	www.topten.ch	Zürich	2006
Viktor Dorer	Empa Dübendorf	Kühlen – die Herausforderung der Zukunft	EMPA/Novatlantis	Dübendorf	2005
Thomas Frank	Empa Dübendorf	Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland	Energy and Buildings, vol 37, Nov 2005	Dübendorf	2005
Bernard Aebischer	CEPE ETH Z	Zum Energieverbrauch für Klimatisierung bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen und für verschiedene Gebäudenutzungen	Arbeitspapier in: Energieperspektiven 2000-2035	Zürich	2005
Derek Christie	Energie - environnement	La face cachée des climatiseurs mobiles	Energie - environnement	Romandie	2005
Heinrich Manz et al.	Empa Dübendorf	Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland	in: Energy Conversion and Management 47 (2006)	Dübendorf	2005
George Henderson	indep. cons.	Home air-conditioning in Europe - how much energy would we use if we became more like American households	in: eceee proceedings summer study 2005	St. Albans UK	2005
Vladimir Prochaska, Thomas Baumgartner	HTA Luzern	SIA 382/1. vertiefende Abklärungen zu einzelnen Anforderungen	Bericht	Horw	2005
Martin Wild et al.	ETH-Z	From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface.	Science, vol 308, 6.5.05	Zürich	2005
Peter Schossig et al.	ISE	Micro-encapsulated phase-change materials integrated into construction materials,	in: Solar Energy and Solar Cells 89 (2005)	Freiburg i.B.	2005
Beat Gasser und Beat Kegel		Gebäudetechnik: Faktor 10	Bau + Architektur 4/2005		2005
Pascal Horton, et al.	EPF-L Hydram	Impact d'un potentiel changement climatique sur les régimes hydrauliques des bassins versant de haute montagne et les consequences pour la production hydroélectrique		Lausanne	2005
Canton de Genève	Service ct. de l'énergie GE	L'été au frais	Broschüre / pdf	Romandie	2005
Christoph Schär, et al.	ETH-Z	Hot news from summer 2003	Nature, vol 432, dec 2004	Zürich	2004

Autor	Institution	Titel		in:	Ort	Datum Publ.
Peter A. Scott et al.	Hadley Centre	Human contribution to the European heatwave of 2003		Nature, vol 432, Dec 2004	Reading UK	2004
Christoph Frei	ETH-Z	Die Klimazukunft der Schweiz - eine probabilistische Projektion			Zürich	2004
Conrad U. Brunner		Bauen in der Schweiz: Wenn das Klima künftig wärmer wird		Grundlagenpapier	Zürich	2004
Basler & Hofmann	AHB Zürich	Oberstufenschulhaus Albisriederplatz: Windeinfluss auf das Beschattungssystem und Auswirkungen auf den thermischen Komfort			Zürich	2004
Rolf Philipona et al.	Phys.-meteo. Observatorium	Greenhouse forcing outweighs decreasing solar radiation during rapid temperature rise over land		Geophysical research letters, vol 31, 2004	Davos	2004
Jérôme Adnot, et al.		GreenBuilding Programme: Air-conditioning Systems Module			Paris	2004
Dieter Marmet	Wüest & Partner	Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen –		Perspektiven bis 2035, Bericht im Auftrag des BFE,	Zürich	2004
Eduardo de Oliveira Fernandes	Universidade do Porto	Climate Change: A focus on building energy use to 2050		in: IEA proceedings Sophia-Antipolis	Porto	2004
Paul Waide	IEA	Keeping your cool: an overview of trends		in: IEA proceedings Sophia-Antipolis	Paris	2004
Paul Waide	IEA	International experience with standards and labels		in: IEA proceedings Sophia-Antipolis	Paris	2004
Conrad U. Brunner		Risiko oder Chance für Bau		Präsentation Parlamentariertreffen Proclim	Zürich	2004
Danish Energy Management		Benchmarking of AC Efficiency in 5 Asian Countries		Draft Report	Canberra	2004
Thoma Frank	Empa Dübendorf	Gebäude mit hohem Glasanteil: Raumsimulation Sommer 2003			Dübendorf	2004
Thomas Glauser, Albert Wettstein	Statistik Stadt Zürich	Sommerhitze und Alterssterblichkeit		in: info Statistik Stadt Zürich, Juni 2004	Zürich	2004
Jens Knissel	DSP	Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfes von Gebäuden: Modul 1.3 Parameterstudie Kälte			Frankfurt a.M.	2004
Roland Hohmann, Urs Neu	OcCC	Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050			Bern	2004
Ariadna Alvarez Garreta	Atrium Groupe	Skyscrapers			Barcelona	2004
Christoph Schär, et al.	ETH-Z	The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves		Nature, 2004	Zürich	2004
UVEK		Stand der Energiepolitik der Kantone			Bern	2004
Jürg Nipkow	Arena	Kleinst-Raumklimageräte			Zürich	2003
Tibor Brockmann et al	ASUE / VBI	Heizen und Kühlen mit Gasklimageräten		"Werbefroschüre" Erdgas	Zürich	2003
OcCC (Herausgeber)	OcCC	Extremereignisse und Klimaänderung			Bern	2003
C.-D. Schönwiese et al.	DMG; ÖGM, SGM	Klimastatement, Anpassung der Schweizer Aspekte				2003
Jérôme Adnot, Paul Waide et al.	EU DG Tren	Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners			Paris	2003
VKF	Verein kantonaler Feuerversicherungen	Brandschutzerklärung: Bauten mit Doppelfassade		Erläuterung 1004	Bern	2003
Conrad U. Brunner, Thomas Baumgartner, Daniel Brühwiler, Thomas Frank, Paul Schneider, Urs Steinemann	SIA	Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz		SIA Dokumentation D 0176	Zürich	2002
Conrad U. Brunner, Thomas Baumgartner, Daniel Brühwiler, Thomas Frank, Paul Schneider, Urs Steinemann	SIA	Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz		SIA Merkblatt 2012	Zürich	2002
Roland Hohmann et al	OcCC	Das Klima ändert – auch in der Schweiz			Bern	2002
Martine Rebetez	EPF-L	Changes in daily and nightly day-to-day temperature variability during the twentieth century for two stations in Switzerland			Lausanne	2001
Winfried Heusler, Andrea Compagno, et al.:		Doppelfassaden			Berlin	2001
Jérôme Adnot, Paul Waide et al.	EU DG Tren	Energy Efficiency of Room Air Conditioners			Paris	1999
Lukas Weber, Urs-Peter Menti, Ivan Keller	A+W	Energieverbrauch in Bürogebäuden			Zürich	1999

7.3.2 Normen, Standards und Richtlinien (Directives)

SIA Norm 180	Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Zürich 1999
SIA Norm 380/1	Thermische Energie im Hochbau, Zürich 2007
SIA Norm 380/4	Elektrische Energie im Hochbau, Zürich 2006

SIA Empfehlung 381/2	Klimadaten zu Empfehlung SIA 380/1, Zürich 1988
SIA Norm 382/1	Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Zürich 2007
SIA Merkblatt 2021	Gebäude mit hohem Glasanteil - Behaglichkeit und Energieeffizienz, Zürich 2001
SIA Merkblatt 2023	Lüftung in Wohnbauten, Zürich 2007 (rev.)
SIA Merkblatt 2024	Standard-Nutzungsbedingungen für die energie- und Gebäudetechnik, Zürich 2006
SIA Merkblatt 2028	Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Zürich 2007
SIA Dokumentation D012	Meteodaten für die Haustechnik, Zürich 1987
Norm SN/EN 14511-1:2204	Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumheizung und –kühlung", Zürich 2004
EN 15251	Indoor Environmental Parameters for Assessment of Energy Performance, Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, Brussels 2006
Directive 2005/32/EC	Ecodesign for Energy-using Products, Brussels 06.07.2005
Richtlinie 2002/31/EG	der Kommission zur Durchführung der Richtlinie 92/75/EWG des Rates betreffend die Energieetikettierung für Raumklimageräte, Brüssel 22.3.2002