Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 99 (2008)
Heft: 7

Artikel: Elektrischer Energiebedarf für Raumkühlung
Autor: Brunner, Conrad U. / Nipkow, Jürg / Steinemann, Urs
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855841

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Elektrischer Energiebedarf für Raumkühlung

Massnahmen zur Verminderung des zusätzlichen Energiebedarfs bei wärmerem Klima

Der elektrische Energiebedarf für die Belüftung und Kühlung von Dienstleistungs-, Industrie- und Wohnbauten in der Schweiz wird heute auf rund 1 TWh pro Jahr geschätzt. Bereits sind elektrische Verbrauchsspitzen mit starken Preissprüngen im Sommer beobachtet worden. Obwohl genaue Marktdaten nicht vorhanden sind, kann bei Neubauten vor allem im Dienstleistungssektor – also bei Banken, Versicherungen, Mittel- und Hochschulen, Warenhäusern, Spitälern usw. – ein deutlicher Trend zu einem höheren Technisierungsgrad mit installierten Lüftungs- und Klimaanlagen festgestellt werden. Angesichts der zu erwartenden klimatischen Veränderungen wurde in einer Forschungsarbeit untersucht, mit welchen baulichen, betrieblichen und gebäudetechnischen Massnahmen diese Verbrauchszunahme vermindert bzw. kompensiert werden kann.

Conrad U. Brunner, Jürg Nipkow, Urs Steinemann

Im Rahmen der hier zusammengefassten Forschungsarbeit [1] wurde ein Modell für die Schweiz erstellt, das die Entwicklung des elektrischen Energiebedarfs für Lüftung und Klimatisierung bis ins Jahr 2035 umfasst und auf folgenden Parametern beruht:

- der Gebäudeflächenentwicklung im Wohnungs-, Dienstleistungs- und Industriebereich,
- der Entwicklung der zu erwartenden Temperaturen, der Globalstrahlung und der Feuchte bis 2050,
- der Entwicklung des Gebäudeflächenanteils für Lüftungs- und Klimaanlagen bei heutigen und künftigen klimatischen Verhältnissen,
- dem elektrischen Energiebedarf für Lüftung und Klimatisierung mit heutiger Technologie und beim verstärkten Einsatz effizienter Technik.

Für die Gebäudeflächenentwicklung wurde auf die Untersuchung von Wüst & Partner abgestellt, die 2004 für die Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE) erstellt wurde [2]. Sie zeigt für den Zeitraum von 2005 bis 2035 per Saldo von Abbruch und Neubau einen mittleren Gebäudeflächenzuwachs von jährlich 0,8% – insgesamt also 27% Zunahme gegenüber heute.

Die Entwicklung der klimatischen Entwicklung wurde auf die Untersuchung der OcCC[1)] abgestützt [3]. Mit der bereits beobachteten Entwicklung und mit dem Einsatz von globalen und regionalen Klimamodellen kommen die Autoren für die Schweiz im Jahr 2050 auf das in Tabelle I dargestellte Ergebnis.

Die Entwicklung der Globalstrahlung und der Luftfeuchte wird als ungefähr konstant geschätzt. Wichtig für die Gebäudeklimatisierung ist nicht nur die höhere Mitteltemperatur, sondern speziell auch die höhere Nachttemperatur: Dadurch bestehen geringere Chancen zur Nachtlüftung und zur freien Kühlung. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Tagestemperaturen sich vor allem in den Städten übermässig erhöhen werden.

OcCC 2004

	Alpennordseite			Alpensüdseite		
	Min. [°C]	Mittel [°C]	Max. [°C]	Min. [°C]	Mittel [°C]	Max. [°C]
Sommer Jun Jul 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 I Bis 2050 zu erwartende mittlere Temperaturen in der Schweiz.
Veränderungen im Jahr 2050 gegenüber 1990.

Der zu erwartende Anteil der Gebäudeflächen für Lüftung und Klimatisierung wurde von den Autoren abgeschätzt, wobei die Untersuchungen der Energienachfrage der BFE-Energieperspektiven für den Haushaltsbereich [4] und den Dienstleistungsbereich [5] ausgewertet und kritisch analysiert wurden. Die geschätzten Flächenanteile für Lüftung und Klimatisierung liegen in derselben Grössenordnung, die Energieverbräuche sind aber sowohl unter heutigen wie auch unter künftigen Klimabedingungen etwas grösser als in [1] und [2] geschätzt.

Der spezifische elektrische Energiebedarf für Lüftung und Klimatisierung wurde in einem eigenen Bottom-up-Modell ermittelt und für die verschiedenen Anwendungskategorien im Haushalt – vorwiegend Raumklimageräte – und im Dienstleistungs- und Industriesektor – vorwiegend zentrale Lüftungs- und Klimaanlagen – für den Status quo sowie für energiesparende Technik berechnet. Dabei wurde festgestellt, dass bei heutigen gebäudetechnischen Anlagen bereits ein grosses wirtschaftliches und nicht ausgeschöpftes Sanierungspotenzial besteht. Nicht überraschend ist, dass der elektrische Energieverbrauch der Lüftung deutlich höher ist als für die Raumkühlung

Technik	Klima	Luftförderung [$kWh_e/(m^2 \cdot a)$]	Kühlung Aussenluft [$kWh_e/(m^2 \cdot a)$]	Zusatzkühlung [$kWh_e/(m^2 \cdot a)$]	Total [$kWh_e/(m^2 \cdot a)$]
Status quo	2005	6,1	2,6	5,0	13,7
Energieeffizient	2035	1,3	0,9	1,4	3,7

Tabelle II Spezifischer elektrischer Energiebedarf für Lüftung und Kühlung.

articles spécialisés

im engeren Sinne. Die in Tabelle II aufgeführten spezifischen Werte für die Luftförderung, die Kühlung der Aussenluft und die zusätzlich nötige Kälteleistung wurden im WaSo-Modell[x)] als Durchschnitt von Wohn-, Dienstleistungs- und Industriebauten ermittelt.

Mit den oben erwähnten Teilelementen der Entwicklung der Gebäudeflächen, des Lüftungs- und Klimatisierungsanteils und des spezifischen elektrischen Energiebedarfs bei heutigen und künftigen Klimaverhältnissen wurde der Gesamtbedarf für die verschiedenen Fälle berechnet. Wie in Bild 1 dargestellt, kann der heutige elektrische Energiebedarf ohne technische Verbesserungen von heute knapp 1 TWh/a auf rund 2,9 TWh/a im Jahr 2035 ansteigen. Durch den optimierten Einsatz von Effizienztechnologien bei Neubauten und Gebäudesanierungen kann der elektrische Energiebedarf hingegen auf 0,8 TWh/a gesenkt werden. Damit kann die erwartete Entwicklung vollumfänglich kompensiert werden (Säule ganz rechts in Bild 1).

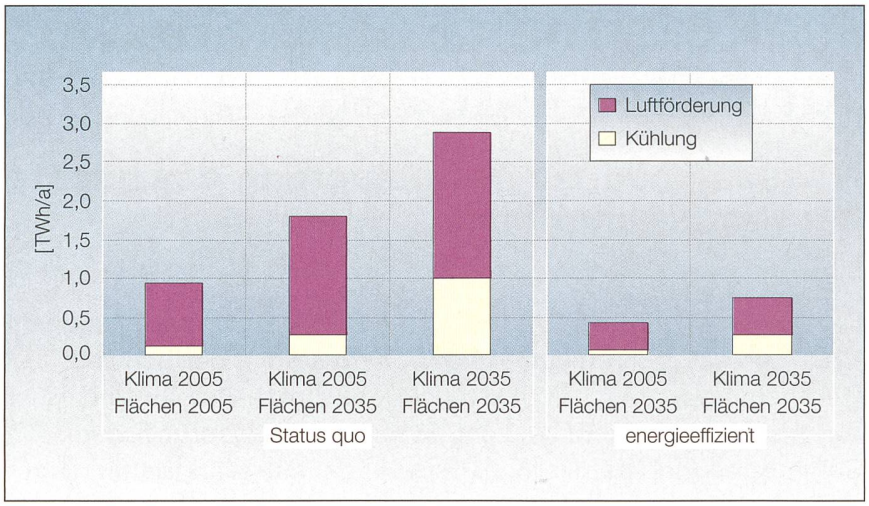


Bild 1 Entwicklung des elektrischen Energieverbrauchs für Lüftung und Kühlung in der Schweiz

Effizienzmassnahmen

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die analysierten Effizienzmassnahmen im Gebäudebereich sowie bei zentralen und dezentralen Lüftungs- und Klimaanlagen gegeben werden.

Gebäudebereich

Im Gebäudebereich steht ein verbesserter Sonnenschutz im Vordergrund. Bewegliche, motorisierte und auf den verglasten Fassaden- und Dachflächen mit Strahlungssensoren gesteuerte wirksame äussere Sonnenschutzanlagen sind Stand der Technik. Allerdings werden sie vor allem im Zusammenhang mit stark verglasten Bauten nicht überall systematisch eingesetzt. Neuerdings können auch aktive Sonnenschutzelemente eingesetzt werden, die durch ihre Exposition sehr geeignet sind, um beispielsweise mit Fotovoltaikelementen elektrischen Strom zu erzeugen. Die Behaglichkeitsmängel von übermässig verglasten Bauten können mit zusätzlicher Gebäudetechnik nur unvollständig und mit unnötig hohem Energiebedarf ausgeglichen werden. Wichtig ist die Erkenntnis, dass die bisherigen hohen Anforderungen von Fassaden, Dächern und Verglasungen an den winterlichen Wärmeschutz durch die sommerlichen Anforderungen keineswegs infrage gestellt werden: Wärme- und Sonnenschutzgläser weisen grosse Gemeinsamkeiten auf, insbesondere einen tiefen U-Wert[3)]. Dauerhaft tiefe g-Werte[4)] sind bei Gläsern dagegen nur im Sommer günstig, im Winter mindern sie die Nutzung der freien Wärme. Deshalb sind in unseren Breitengraden bewegliche äussere Sonnenstoren zu bevorzugen.

Zur besseren Pufferung von Tages-Temperaturspitzen werden künftig – neben der konventionellen Gebäudemasse – auch Phasenwechselmaterialien (Latentspeicher) an inneren Raumoberflächen beitragen.

Zentrale Lüftungs- und Klimaanlagen

Der oben erwähnte gute Sonnenschutz inkl. dessen richtige, möglichst automatisierte Bedienung stellt eine grundlegende Voraussetzung für eine energieeffiziente Gebäudetechnik dar. Zusätzlich sind auch die Innenlasten durch die Auswahl effizienter Beleuchtungen und Geräte sowie deren bedarfsgerechter Betrieb inklusive Vermeidung von Stand-by-Verlusten tief zu halten. Gute und aktuelle Informationen über die energetische Qualität von Beleuchtungen und Geräten finden sich beispielsweise unter www.topten.ch.

Für die Energieeffizienz von Lüftungs- und Klimaanlagen sind deren sorgfältige Planung, die Auswahl effizienter und der Situation angepasster Komponenten und der bedarfsgerechte Betrieb mit vernünftigen Sollwerten entscheidend. Hervorzuheben sind insbesondere die folgenden Punkte:

- Die Nutzungsdaten und Anforderungen sollten als Grundlage für die Auslegung sauber erfasst werden.
- Die Luftmengen sollten auf die zu erwartenden Nutzungen ausgelegt und im Betrieb bei variabler Nutzung angepasst werden.
- Es sollte ein gutes und den Bedürfnissen angepasstes Anlagenkonzept gewählt werden.
- Wenn die Luftmenge für die Wärmeabfuhr mit der Lüftung alleine deutlich grösser würde, als aus hygienischen Gründen erforderlich ist (Aussenluftrate pro Person um 36 m^3/h), sollte ein ergänzendes Wassersystem verwendet werden.
- Durch kurze Wege (Zentralen- und Schachtkonzept), kleine Strömungsgeschwindigkeiten in Kanälen und Apparaten (grosse Querschnitte mit entsprechendem Platzbedarf) und generell strömungsgünstige Formgebung lassen sich geringe Druckverluste realisieren.
- Es sollten Ventilatoren und Motoren mit hohen Wirkungsgraden in allen Betriebszuständen gewählt werden.

Gesamtkälteleistung der Anlage in kW bei 100%		1	10	20	50	100	200	500	1000
Minimale Leistungszahl bei Teillast 50% (inkl. Rückkühlung)	Grenzwert	3,2	4,4	4,8	5,5	6,0	6,2	6,2	6,2
	Zielwert	4,0	5,2	5,8	6,6	7,3	8,0	8,2	8,2
Minimale Leistungszahl bei Volllast 100% (inkl. Rückkühlung)	Grenzwert	3,2	3,3	3,5	3,8	4,1	4,2	4,2	4,2
	Zielwert	4,0	4,1	4,3	4,6	4,9	5,0	5,0	5,0

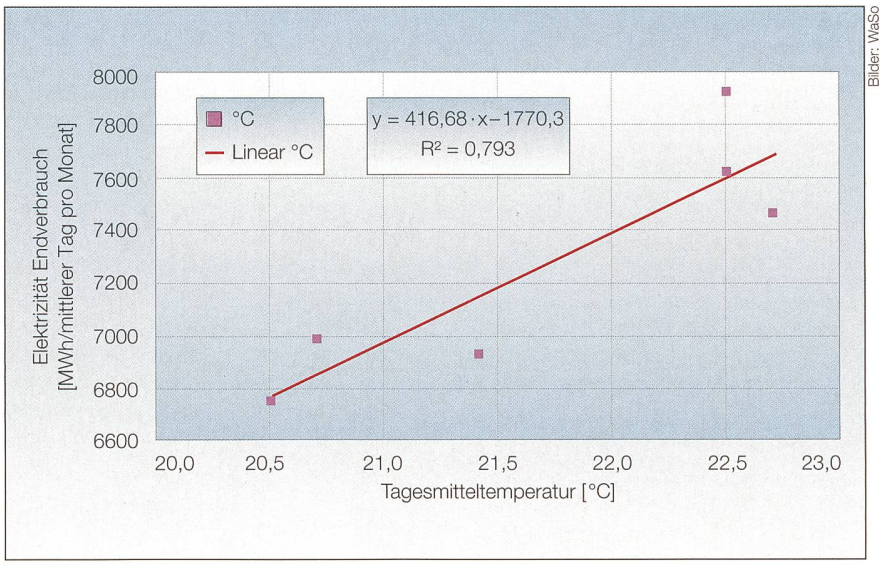
Tabelle III Leistungszahlen von Kälteanlagen inkl. Rückkühlung (Pumpen und Ventilatoren).
Nach SIA 382/1.

■ Bei der Kälteerzeugung sollte auf geringe Temperaturdifferenzen zwischen Kondensations- und Verdampfungsseite geachtet – d.h. grosszügig dimensionierte Wärmetauscher – und auf unnötig tiefe Kaltwassertemperaturen verzichtet werden. Für die Leistungszahl von Kälteanlagen inklusive Rückkühlung (Pumpen und Ventilatoren) enthält die Norm SIA 382/1 die Grenz- und Zielwerte nach Tabelle III.

■ Es sollte die Möglichkeiten der freien Kühlung und der Nachtlüftung genutzt werden.

■ Generell sollten effiziente elektrische Antriebe mit Premium-Motoren (IE3[5]) für Kompressoren, Ventilatoren und Pumpen eingesetzt werden.

Die Erfahrung zeigt, dass seriöse und umfassende Abnahmen, laufende Betriebsoptimierungen und Anpassungen an Veränderungen sowie eine konsequente Energiebuchhaltung mit periodischen Kontrollen und möglichst automatisierten Kennwerten wesentliche Voraussetzungen sind für einen energieeffizienten Betrieb.



Bilder: WaSo

Bild 2 Zusammenhang zwischen mittlerer Temperatur bei Monaten über 20 °C und monatlichem Elektrizitätsbedarf in der Stadt Zürich
Die Daten stammen von Meteo Schweiz und EWZ.

Dezentrale Raumklimageräte

Steckbare Raumklimageräte in Kompakt- und Splitbauweise[6] haben in den letzten Jahren eine starke Verkaufszunahme erfahren. Sie können ebenfalls nur sinnvoll bei gutem Sonnenschutz und geringen Innenlasten eingesetzt werden. Die Gerätetechnologie zeigt grosse Unterschiede je nach Anlagenkonzept und technischer Ausrüstung. Ein Energieeffizienzindex von 5 ist anzustreben. Dies bedeutet, dass im Jahresmittel pro kWh elektrischer Energie (inklusive aller Hilfsaggregate) insgesamt 5 kWh nutzbare Kälteenergie zur Verfügung steht. Dazu sind neben optimalen Wärmetauschern effiziente Permanentmagnetmotoren und eine lastabhängige Regelung mit Frequenzumrichtern nötig. Die heutige europäische Energieetikette für Raumklimageräte trägt dieser Entwicklung noch nicht Rechnung, beträgt doch der A-Klassen-Grenzwert für Geräte in Splitbauweise 3,2. Kompaktgeräte mit Luftschläuchen oder für Fenstereinbau weisen wesentlich schlechtere Energieeffizienzindizes als Splitgeräte auf und sollen daher nicht eingesetzt werden.

Wirkung auf die elektrische Energieversorgung

Die Beobachtung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Energiebedarfs der letzten Jahre hat gezeigt, dass warme Sommermonate tatsächlich einen höheren Bedarf aufweisen. Für die wärmsten Monate der Jahre 1992 bis 2006 ergibt sich mit guter Übereinstimmung ein zusätzlicher elektrischer Energieverbrauch pro Grad Celsius und Monat von 12,5 GWh. Ein von Juni bis August um 4 °C zu warmer Sommer ergibt damit einen Mehrverbrauch von rund 150 GWh/a.

Zusammenfassende Erkenntnisse

Durch die erwartete Klimaänderung mit häufigeren, längeren und wärmeren Sommerperioden wird das Bedürfnis nach besserer Raumklimatisierung verstärkt. Ohne technische und bauliche Verbesserung entsteht ein zusätzlicher Elektrizitätsbedarf von rund 2 TWh/a. Durch die Gleichzeitigkeit von Hitzewellen in der Schweiz und in Europa können Versorgungsengpässe und grosse Preissprünge entstehen. Im Gebäudepark der Schweiz besteht bei der Lüftung und Klimatisierung ein vernachlässigtes Effizienzpotenzial, dessen Umsetzung den zusätzlichen Elektrizitätsbedarf kompensieren kann.

Die neu geschaffenen SIA-Normen im Bereich Lüftung und Klima (SIA 382/1) stellen eine wichtige Basis dar, um für den sommerlichen Wärmeschutz (Sonnenschutz, Gebäudemasse, Anforderungen an Kältesysteme) sowohl die Behaglichkeit zu verbessern als auch den Energiebedarf zu vermindern. Verbesserte und strengere Anforderungen an Raumklimageräte sollen ebenfalls helfen, die energetische Qualität von dezentralen Anlagen auf den Stand der Technik zu bringen.

Referenzen

[1] Conrad U. Brunner, Urs Steinemann, Jürg Nipkow: Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Faktor-Verlag Zürich, 2008, Bestellungen unter www.faktor.ch. Diese Forschungsarbeit (WaSo steht als Kurzbezeichnung für «Warme Sommer») wurde vom Bundesamt für Energie (BFE), vom Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL) mit der «Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes» KBOB, vom Kanton Basel-Stadt und von der Stadt Zürich unterstützt.

[2] Dieter Marmet (Wüst & Partner): Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen. Energieperspektiven BFE 2035, Zürich 2004, www.energieperspektiven.ch.

[3] Roland Hohmann (OcCC): Klimaänderung in der Schweiz 2050. Bern 2007, www.occc.ch/reports_d.html.

[4] Peter Hofer (Prognos AG): Der Energieverbrauch Privater Haushalte 1990–2035. Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE) 2035, Basel 2007.

[5] Bernhard Aebischer (CEPE ETH-Z): Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft 1990–2035. Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE) 2035, Zürich 2007.

Angaben zu den Autoren

Conrad U. Brunner, dipl. Arch. ETH/SIA, ist seit 30 Jahren als selbstständiger Energieplaner in Zürich tätig. Er wirkt in verschiedenen SIA-Kommissionen und Expertengremien der Schweiz mit und ist Mitbegründer und Vorstandsmitglied der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. Seine aktuelle Tätigkeit sind Arbeiten zur Umsetzung der Energieeffizienzpolitik in Europa und in China.
cub@cub.ch, www.cub.ch

Jürg Nipkow, dipl. El.-Ing. ETH/SIA, ist Inhaber der Beratungsfirma Arbeitsgemeinschaft Energie-Alternativen Arena in Zürich. Er ist seit 30 Jahren in der Energieberatung und -forschung tätig, ist Dozent für «Elektrische Energie im Hochbau» am Nachdiplomstudium Energie der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW und seit 1999 Präsident der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E.
juerg.nipkow@arena-energie.ch, www.arena-energie.ch

Urs Steinemann, dipl. Ingenieur FH/SIA, ist Inhaber des Ingenieurbüros Urs Steinemann, Wollerau. Er war bis 2007 Präsident der SIA-Kommission 382.
ing.us@bluewin.ch

[1] OcCC: Organe consultatif sur les changements climatiques. 1996 vom Departement des Innern (EDI) und vom Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eingesetztes beratendes Organ für Fragen zur Klimaänderung.
[2] WaSo: Kurzbezeichnung für «Warme Sommer». Das WaSo-Modell beschreibt die massgeblichen Parameter zur Bestimmung des elektrischen Energiebedarfs für die Luftförderung und Kühlung im heutigen und künftigen Gebäudebestand in der Schweiz mit und ohne den Effekt einer Klimaerwärmung und mit verschieden effizienten Technologien.
[3] U-Wert: Wärmedurchgangskoeffizient U (früher als k-Wert bezeichnet). Er ist im Zusammenhang mit dem Wärmeschutz im Hochbau eine der wichtigsten Rechengrössen und wird vor allem dazu verwendet, Bauteile hinsichtlich ihrer Wärmedämmfähigkeit beurteilen zu können.
[4] g-Wert: Gibt die Durchlässigkeit von Verglasungen an.
[5] IE3: IEC-Code für die IEC-Energieklasse «Premium Efficiency».
[6] Splitbauweise: Die Geräteteile sind fest montiert und die Verbindungsleitungen nicht lösbar. Das Raumgerät (Kühlteil) kann als Wand-, Decken- oder Truhengerät ausgeführt werden. Der (wetterfeste) Kondensator wird im Freien fest montiert. Vorteil dieser Bauart ist ein sehr leiser Betrieb im Raum.

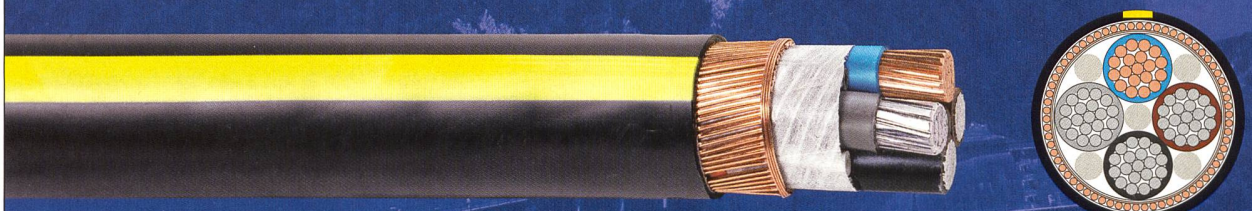
Résumé

La consommation d'énergie pour le refroidissement des locaux

Mesures de réduction de la consommation d'énergie supplémentaire en climat plus chaud. La consommation d'énergie électrique pour la ventilation et le refroidissement des bâtiments industriels, résidentiels et du secteur tertiaire en Suisse est estimé actuellement à 1 TWh par an environ. On a déjà observé en été des pointes de consommation avec de fortes fluctuations de prix. Bien qu'il n'y ait pas de données précises sur les chiffres du marché, on constate pour les nouveaux bâtiments, surtout dans le secteur tertiaire – donc les banques, assurances, écoles moyennes et supérieures, grands magasins, hôpitaux, etc. –, une nette tendance vers un accroissement du nombre des installations techniques de ventilation et de climatisation. Etant donné les changements climatiques à attendre, un travail de recherche a servi à examiner les mesures techniques, de construction et d'exploitation qui permettraient de réduire ou tout au moins de compenser cette augmentation de la consommation.

Niederspannungsnetzkabel 5-Leiter-Mäander GKN-TNS

■ Verstärkter Neutralleiter ■ Hoher Investitionsschutz ■ Halogenfrei

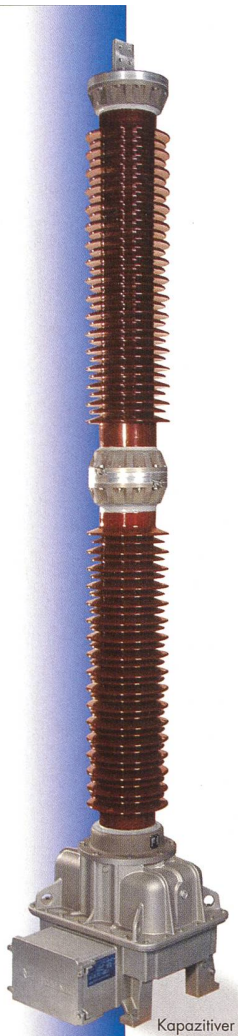


Die EMV-freundliche Energieversorgung
von der Trafostation bis zum Hausanschluss.

LEONI
STUDER CABLES

The Quality Connection

LEONI Studer AG · Herrenmattstr. 20 · CH - 4658 Däniken · Tel. +41 (0)62 288 82 82 · Fax +41 (0)62 288 83 83 · www.leoni-power-utilities.com



Kapazitiver Spannungswandler
ECF 72...525
Transformateur de tension capacitif

Umspannwerk Crans-près-Céligny (JOF300 und ECF300)
Poste de Crans-près-Céligny (JOF300 et ECF300)

Schweizer Präzision im weltweiten Einsatz für Schutz- und Messzwecke in Stromnetze bis 525 kV

powertage
Halle 6, Stand G14

Précision suisse mondialement appliquée pour la protection et la mesure dans les réseaux électriques jusqu'à 525 kV

PFIFFNER Messwandler AG
PFIFFNER Transformateurs de mesure SA
CH-5042 Hirschthal

PFIFFNER
SINCE 1927
true values

Tel. +41 62 739 28 28
Fax +41 62 739 28 10
E-mail sales@pmw.ch
www.pmw.ch

Die einfache Lösung für Ihr NISV-Problem
– wir reduzieren die Felder an der Quelle auf ein Minimum.

RAUSCHER
STOECKLIN

Rauscher & Stoecklin AG
Reuslistrasse 32, CH-4450 Sissach
T +41 61 976 34 66, F +41 61 976 34 22
info@raustoc.ch, www.raustoc.ch