

Merkblatt
2044

s i a

Klimatisierte Gebäude – Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs et
des architectes

società svizzera
degli ingegneri e
degli architetti

swiss society
of engineers and
architects

selnaustrasse 16
postfach
ch-8027 zürich
www.sia.ch

SIA Merkblätter

Zur Erläuterung und ergänzenden Regelung von speziellen Themen gibt der SIA Merkblätter heraus.

Die Merkblätter sind Bestandteil des SIA-Normenwerks.

Merkblätter sind nach ihrer Veröffentlichung drei Jahre gültig. Die Gültigkeit kann wiederholt um jeweils drei Jahre verlängert werden.

Allfällige Korrekturen und Kommentare zur vorliegenden Publikation sind zu finden unter www.sia.ch/korrigenda.

Der SIA haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können.

2010-11 1. Auflage

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Vorwort	4
0 Geltungsbereich	5
0.1 Abgrenzung	5
0.2 Normative Verweisungen.....	5
1 Verständigung	7
1.1 Begriffe und Definitionen	7
1.2 Bezeichnungen, Begriffe und Einheiten.....	16
1.3 Indizes	18
2 Standard-Berechnungsverfahren	21
2.1 Raummodell	21
2.2 Umrechnung der Eingabedaten und Ergänzung des Knotenmodells	25
2.3 Berechnung der erforderlichen Heizwärme- und Klimakälteleistung.....	32
2.4 Lüftungsanlage	34
2.5 Berechnung der Verluste und des Hilfsenergiebedarfs bei der Abgabe.....	44
2.6 Berechnung der Wärme- und Kälteverteilung.....	46
2.7 Kälteerzeugung.....	48
2.8 Wärmeerzeugung	51
3 Beschreibung der Eingabegrößen des Standard-Berechnungsverfahrens	56
3.1 Raum	56
3.2 Lüftung.....	59
3.3 Kühlung	62
3.4 Heizung	64
Anhang	
A (normativ) Vorgabewerte (Defaultwerte) für die Berechnung	66
B (informativ) Publikationen	70

Vorwort

Das vorliegende Merkblatt ist eine Ergänzung zur Norm SIA 382/2 *Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf*. Es enthält den detaillierten Beschrieb des Standard-Berechnungsverfahrens zu dieser Norm. Es ist somit ein unentbehrliches Dokument für die Ersteller allfälliger Rechenprogramme.

Das beschriebene Verfahren ist in einem Rechenprogramm umgesetzt, das unter www.energytools.ch heruntergeladen und lizenziert werden kann.

Die Anforderungen an die klimatisierten Gebäude und an alternative Berechnungsverfahren sind in der Norm SIA 382/2 festgelegt.

Kommission SIA 382

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzung

0.1.1 Das vorliegende Merkblatt beschreibt ein vereinfachtes dynamisches Berechnungsverfahren zur Berechnung des thermischen Leistungsbedarfs sowie des Heizwärme- und Klimakältebedarfs von Gebäuden. Mit demselben Berechnungsverfahren können die Raumlufthtemperatur und die Raumtemperatur berechnet werden. Zudem wird die Berechnung der Raumluftheuchte anhand einer Massenbilanz ohne Berücksichtigung der Feuchtespeicherung in Bauteilen behandelt. Das vorliegende Merkblatt behandelt ebenfalls die Berechnung des Leistungs- und Energiebedarfs auf Stufe Endenergie.

0.2 Normative Verweisungen

Im Text dieses Merkblatts wird auf die nachfolgend aufgeführten Publikationen verwiesen, die im Sinne der Verweisungen ganz oder teilweise mitgelten. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe, bei datierten Verweisungen die entsprechende Ausgabe der betreffenden Publikation.

0.2.1 Publikationen des SIA

Norm SIA 180	Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau
Norm SIA 380/1:2009	Thermische Energie im Hochbau
Norm SIA 380/4:2006	Elektrische Energie im Hochbau
Norm SIA 382/1:2007	Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
Norm SIA 416/1:2007	Kennzahlen für die Gebäudetechnik – Bauteilabmessungen, Bezugsgrößen und Kennzahlen für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik
Merkblatt SIA 2023:2008	Lüftung in Wohnbauten
Merkblatt SIA 2024	Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik
Merkblatt SIA 2028	Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik

0.2.2 Internationale Normen

SN EN 215	Thermostatische Heizkörperventile – Anforderungen und Prüfung
SN EN 1507	Lüftung von Gebäuden – Rechteckige Luftleitungen aus Blech – Anforderungen an Festigkeit und Dichtheit
SN EN ISO 7730	Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)
SN EN 12237	Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech
SN EN 13363-1	Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren
SN EN ISO 13786:2007	Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007)
SN EN ISO 13790	Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008)
SN EN 14239	Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Messung von Luftleitungsoberflächen
SN EN 14511	Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und Kühlung (mehrere Teile)
SN EN 15243:2007	Lüftung von Gebäuden – Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie für Gebäude mit Klimaanlageanlagen
SN EN 15316-4-1:2008	Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 4-1: Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Verbrennungssysteme (Heizungskessel)

SN EN 15316-4-2:2008	Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 4-2: Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Wärmepumpensysteme
SN EN 15316-4-4	Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 4-4: Wärmeerzeugungssysteme, gebäudeintegrierte KWK-Anlagen
SN EN 15456	Heizkessel – Elektrische Leistungsaufnahme für Wärmeerzeuger – Systemgrenzen – Messungen
SN EN 15500	Automation von HLK-Anwendungen – Elektronische Regel- und Steuereinrichtungen für einzelne Räume oder Zonen
SN EN 60675	Elektrische Haushalt-Direktheizgeräte – Prüfverfahren zur Bestimmung der Gebrauchseigenschaft (IEC 60675:1994)

1 VERSTÄNDIGUNG

1.1 Begriffe und Definitionen

1.1.1 Raum

- 1.1.1.1 Raumnutzung
Local type Kategorie gemäss SIA 2024, Kapitel 1.
- 1.1.1.2 Komfortbedingungen
Conditions de confort Gesamtheit der für eine Raumnutzung geltenden Raumklimabedingungen (Raumtemperatur, relative Feuchte, maximale Luftgeschwindigkeit) gemäss SIA 2024.
- 1.1.1.3 Nettogeschossfläche
Surface nette de plancher
 A_{NGF}
 m^2 Teil der Geschossfläche zwischen den umschliessenden oder den innenliegenden Konstruktionsbauteilen.
- ### 1.1.2 Raummodell
- 1.1.2.1 Knotenmodell
Modèle à noeuds Thermisches Modell, das in Analogie zu einem elektrischen Schaltkreis einen Raum als einen mit thermischen Widerständen und Wärmespeicherkapazitäten verknüpften Temperaturnoten abbildet.
Mit dem Berechnungsverfahren dieses Merkblatts wird jeder Raum mit drei Raumtemperaturnoten und einer Kapazität für die Summe der Wärmespeicherfähigkeit aller Bauteile abgebildet.
- 1.1.2.2 Fläche der opaken Bauteile
Surface des éléments opaques
 A_{op}
 m^2 Fläche der den Raum umgebenden Bauteile abzüglich der darin enthaltenen Aussparungen für Fenster und Türen.
Bei der Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit werden die Innenabmessungen der Bauteile verwendet. Bei der Berechnung der Wärmetransmission sind die Aussenabmessungen gemäss SIA 416/1 zu berücksichtigen.
- 1.1.2.3 Wärmedurchgangskoeffizient
Coefficient de transmission thermique
 U, Ψ, χ
 $W/(m^2 \cdot K), W/(m \cdot K), W/K$ Verhältnis der Dichte des Wärmestroms, der im stationären Zustand durch das Bauteil fliesst, zur Differenz der angrenzenden Umgebungstemperaturen.
Der Wärmedurchgangskoeffizient kann flächen-, längen- oder punktbezogen sein.
- 1.1.2.4 Wärmetransferkoeffizient
Coefficient de transfert thermique
 H, H_{ec}, H_{em}
 W/K Verhältnis des Wärmestroms, der im stationären Zustand durch ein Bauteil fliesst, zur Differenz der angrenzenden Umgebungstemperaturen, umfassend die Transmissionstransfers durch die Gebäudehülle und die Lüftungstransfers.
Dabei wird der Wärmetransfer durch leichte Bauteile (mit geringer Wärmespeicherfähigkeit) als H_{ec} und der Wärmetransfer durch schwere Bauteile (mit hoher Wärmespeicherfähigkeit) als H_{em} bezeichnet.
- 1.1.2.5 Wärmeübergangskoeffizient
Coefficient d'échange thermique superficiel
 H_{mc}, H_{ac}
 W/K Verhältnis des Wärmestroms an der Oberfläche eines Bauteils zur Temperaturdifferenz zwischen dieser Fläche und ihrer Umgebung unter stationären Bedingungen. Der Wärmeübergang findet durch Konvektion und/oder Strahlung statt.
Dabei wird der Wärmeübergang zwischen dem Masseknoten m und dem Zentralknoten c als H_{mc} und der Wärmeübergang zwischen dem Luftknoten a und dem Zentralknoten c als H_{ac} bezeichnet.
- 1.1.2.6 Flächenbezogener Wärmeübergangskoeffizient
Coefficient d'échange thermique superficiel spécifique
 h_{cv}, h_r
 $W/(m^2 \cdot K)$ Dichte des Wärmestroms, der beim stationären Wärmeaustausch mit der angrenzenden Luft (h_{cv}) bzw. Strahlungsaustausch (h_r) durch die Bauteiloberfläche fliesst, im Verhältnis zur Differenz der Bauteiloberflächentemperatur zur angrenzenden Luft- bzw. Strahlungstemperatur, bezogen auf die Bauteilfläche.

1.1.2.7	Reduktionsfaktor für Wärmetransfer <i>Facteur de réduction du transfert thermique</i> b	Faktor, um den der Wärmedurchgang gegen Aussenklima durch den unbeheizten Raum oder das Erdreich reduziert wird. Für die Reduktionsfaktoren für Wärmetransfers gegen unbeheizte Räume im Kontakt mit der Aussentemperatur werden Werte gemäss Norm SIA 380/1, Tabelle 15, verwendet. Für die Reduktionsfaktoren für Wärmetransfers gegen Erdreich und gegen unbeheizte Räume im Kontakt mit dem Erdreich sind Werte gemäss Norm SIA 380/1, Tabelle 16, zu verwenden.
1.1.2.8	Flächenbezogene Wärmespeicherfähigkeit <i>Capacité thermique d'un élément de construction</i> κ $\text{Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Effektive Wärmespeicherfähigkeit eines Bauteils, bezogen auf die Bauteilfläche, berechnet nach EN ISO 13786. Dabei wird der Wärmeübergangswiderstand zwischen Bauteiloberfläche und Raumluft bereits im Raummodell gemäss 2.1.3 berücksichtigt.
1.1.2.9	Wärmespeicherfähigkeit des Raumes <i>Capacité thermique d'un local</i> C_m Wh/K	Wärmemenge, die ein Bauteil oder ein Raum speichert und wieder abgibt, wenn er mit einer bestimmten Periodenlänge der Wärmeschwankungen um 1 K erwärmt bzw. abgekühlt wird. Massgebend ist die effektive Wärmespeicherfähigkeit für Wärmeschwankungen mit einer Periode von 24 h gemäss EN ISO 13786, Ziffer 7.2.2, ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstands.
1.1.2.10	TABS-Decken-/Bodenfläche <i>Surface des éléments de construction thermoactifs (plafonds ou sols)</i> A_{TABS} m^2	Decken- oder Bodenfläche eines Raumes, welche effektiv thermisch aktiviert wird.
1.1.2.11	Konvektiver Anteil des Abgabesystems <i>Part convective du système d'émission</i> $f_{HC,cv}$	Leistungsanteil des konvektiven Wärmeübergangs an der Oberfläche eines Wärme- oder Kälteabgabesystems, im Verhältnis zur gesamten abgegebenen Leistung.
1.1.2.12	Solarer Absorptionsgrad <i>Coefficient d'absorption du rayonnement solaire</i> α_s %	Bruchteil der auf allen Frequenzen aus dem Halbraum einfallenden Leistung der Sonnenstrahlung, welcher von einem Oberflächenelement des Körpers absorbiert wird.
1.1.2.13	Emissionsgrad <i>Émissivité</i> ε_0	Verhältnis zwischen der abgestrahlten Wärmestromdichte einer gegebenen Oberfläche und derjenigen einer ideal schwarzen Oberfläche bei gleicher Temperatur. Der Emissionsgrad wird in der Regel für eine Strahlungstemperatur von 300 K (Wellenlängenbereich etwa 3 bis 50 μm) angegeben.
1.1.3 Solare Wärmeeinträge		
1.1.3.1	Solare Wärmeeinträge <i>Apports thermiques solaires</i> Φ_s W	Wärmeleistung, die einem Raum durch Sonneneinstrahlung zugeführt wird. Nach dem Berechnungsverfahren dieses Merkblatts wird unterschieden zwischen solaren Wärmeeinträgen durch transparente Bauteile und solaren Wärmeeinträgen durch opake Bauteile.
1.1.3.2	Solarstrahlung <i>Rayonnement solaire</i> I_s W/m^2	Totale flächenbezogene solare Einstrahlungsleistung auf einer geneigten Ebene; Mittelwert über den Betrachtungszeitraum. Die totale Solarstrahlung entspricht der Summe der direkten und diffusen solaren Einstrahlungsleistung: $I_s = I_{B,i} + I_{D,i}$
1.1.3.3	Diffuse Solarstrahlung <i>Rayonnement solaire diffus</i> I_D W/m^2	Diffuser (ungerichteter) Anteil der flächenbezogenen solaren Einstrahlungsleistung auf einer geneigten Ebene; Mittelwert über den Betrachtungszeitraum.

1.1.3.4	Direkte Solarstrahlung <i>Rayonnement solaire direct</i> I_B W/m ²	Direkter (gerichteter) Anteil der flächenbezogenen solaren Einstrahlungsleistung auf einer geneigten Ebene; Mittelwert über den Betrachtungszeitraum.
1.1.3.5	Sonnenazimut <i>Azimut du soleil</i> α_s °	Winkel zwischen dem auf die horizontale Ebene projizierten Sonnenstand und der Südrichtung. Dabei werden Abweichungen zur Südrichtung gegen Osten als negativer Winkel und Abweichungen gegen Westen als positiver Winkel definiert.
1.1.3.6	Sonnenhöhe <i>Hauteur du soleil</i> δ_s °	Vertikaler Winkel zwischen der Sonne und der horizontalen Ebene.
1.1.3.7	Gesamtenergiedurchlassgrad senkrecht <i>Facteur de transmission d'énergie globale normal</i> g_{\perp}	Quotient des durch die transparenten Bauteile durchgelassenen Wärmestroms (inkl. sekundäre Wärmeübertragung) zur einfallenden Gesamtstrahlung der Sonne. g ist abhängig vom Einfallswinkel i . Die Herstellerangaben gelten für senkrechten Einfall.
1.1.3.8	Gesamtenergiedurchlassgrad mit Sonnenschutz <i>Facteur de transmission d'énergie globale avec protection solaire</i> g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad unter Berücksichtigung der Wirkung des Sonnenschutzes.
1.1.3.9	Fensterfläche <i>Surface des fenêtres</i> A_w m ²	Beim Massivbau das Fertiglichtmass der Wand- bzw. Dachöffnung gemäss SIA 416/1. Türen werden wie Fenster behandelt. Bei Vorhangfassaden ist anstelle der Fensterfläche die Glasfläche massgebend. Sämtliche opaken Bestandteile von Vorhangfassaden inklusive die Rahmenkonstruktion werden als opake Bauteile behandelt.
1.1.3.10	Glasanteil <i>Taux de surface vitrée</i> f_g	Verhältnis der von innen sichtbaren Glasfläche zur totalen äusseren Ansichtsfläche des betrachteten Fassadenausschnitts. Der Glasanteil der Dachfläche bezeichnet das Verhältnis der von innen sichtbaren Glasfläche zur Geschossfläche des betrachteten Raumes (siehe auch SIA 416/1, Ziffer 5.1).
1.1.3.11	Abminderungsfaktor für Fensterrahmen <i>Quote-part vitrée des fenêtres</i> F_F	Verhältnis der Glasfläche zur Fensterfläche.
1.1.3.12	Verschattungsfaktoren <i>Facteurs d'ombrage</i> $F_S, F_{S1}, F_{S2}, F_{S3}$	Verhältnis der auf eine Bauteiloberfläche einfallenden totalen Solarstrahlung unter Berücksichtigung feststehender Verschattungselemente zur totalen Solarstrahlung ohne Verschattung. Es wird unterschieden zwischen Horizontverschattung, Verschattung durch Nachbargebäude sowie Verschattung durch Überhang (z.B. Balkon) oder Seitenblenden.
1.1.3.13	Horizontwinkel <i>Angle de l'horizon</i> α °	Winkel zwischen Fassadenmitte bei gebäudeweiser Betrachtung bzw. Fenstermitte bei raumweiser Betrachtung und dem mittleren Horizont.
1.1.3.14	Winkel der Überhangs <i>Angle du surplomb</i> β °	Winkel zwischen Fenstermitte und Überhang (z.B. Balkon). Er wird fensterweise bestimmt.

1.1.3.15	Winkel der Seitenblende <i>Angle de l'écran latéral</i> γ °	Winkel zwischen Fenstermitte und Seitenblende. Der Rechenwert gilt für eine einseitige Blende. Bei nach Osten oder Westen orientierten Fenstern gilt er für auf der Südseite des Fensters liegende Seitenblenden; für auf der Nordseite liegende Seitenblenden gilt der Faktor 1,0. Für Südfenster mit beidseitigen Seitenblenden müssen die beiden Rechenwerte miteinander multipliziert werden.
1.1.3.16	Lichtdurchlassgrad <i>Taux de transmission du vitrage</i> τ_v	Verhältnis des von einer Oberfläche durchgelassenen Strahlungsflusses im Lichtbereich (sichtbare Strahlung) zum einfallenden Strahlungsfluss im Lichtbereich. Unter sichtbarer Strahlung werden dabei Wellenlängen von 380 nm bis 780 nm verstanden, bezogen auf die Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges.
1.1.4 Interne Wärmeeinträge und Feuchtequellen		
1.1.4.1	Beleuchtung <i>Éclairage</i>	Beleuchtung von Innen- und Aussenräumen (Raumbeleuchtung, Akzentbeleuchtung, Sicherheits- und Notbeleuchtung, Aussenbeleuchtung usw.).
1.1.4.2	Betriebseinrichtungen <i>Équipements d'exploitation</i>	Geräte, welche der Nutzung der Räume dienen, in denen sie installiert sind, oder welche diesen Räumen zugeordnet werden können (ohne Beleuchtung, Lüftung, Klimatisierung).
1.1.4.3	Interne Wärmeeinträge <i>Apports thermiques internes</i> Φ_i W/m ²	Wärmeleistung, die im Raum bzw. innerhalb der Gebäudehülle durch andere Quellen als die gebäudetechnische Anlage, insbesondere durch Personen (sensible Wärme), Beleuchtung und Betriebseinrichtungen abgegeben wird. Für jeden internen Wärmeeintrag sind die Anteile der konvektiven Wärmeabgabe ($\Phi_{i,cv}$) und der Strahlungs-Wärmeabgabe ($\Phi_{i,r}$) getrennt anzugeben.
1.1.4.4	Flächenbezogene elektrische Leistung der Beleuchtung <i>Puissance électrique spécifique pour l'éclairage</i> ρ_L W/m ²	Die über eine Stunde gemittelte effektive Leistung der Beleuchtung bei Volllast, bezogen auf die Nettogeschossfläche.
1.1.4.5	Tageslichtbeleuchtungsstärke <i>Éclairement lumineux de l'éclairage diurne</i> $E_{v,dI}$ lx (Lux)	Quotient aus dem auf ein kleines Element einer Oberfläche auftreffende Tageslichtstrom und der Fläche dieses Elements.
1.1.4.6	Sollwert (Wartungswert) der Beleuchtungsstärke <i>Indice de maintenance de l'éclairage</i> E_{vm} lx (Lux)	Quotient aus dem auf ein kleines Element einer Oberfläche auftreffenden Lichtstrom und der Fläche dieses Elements. Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_{vm} ist der Wert, unter den die auf jedem Sehaufgabenbereich gemittelte Beleuchtungsstärke nicht sinken darf. Es handelt sich um die mittlere Beleuchtungsstärke zu dem Zeitpunkt, bei dem eine Wartung der Beleuchtungsanlage durchzuführen ist.
1.1.4.7	Reflexionsgrad der Raumbooberflächen <i>Facteur de réflexion des surfaces du local</i> ρ	Verhältnis des von einer Oberfläche zurückgeworfenen Lichtstroms zu dem auf diese Oberfläche auffallenden Lichtstrom. Der Reflexionsgrad ist unabhängig von der spektralen Verteilung, der Polarisation und der geometrischen Verteilung des Lichts. Typische Reflexionsgrade von Materialien und Farben sind in der Norm SIA 380/4, Anhang D, angegeben.
1.1.4.8	Interne Feuchtequellen <i>Sources internes d'humidité</i> g_i g/(m ² ·s)	Feuchte, welche durch Personen und andere Feuchtequellen, wie Pflanzen, Kochen, Duschen, Aquarien und Betriebseinrichtungen, abgegeben wird.

1.1.5 Lüftung im Raum

- 1.1.5.1 Mechanische Lüftung
Ventilation mécanique
Luftaustausch, angetrieben von einem oder mehreren Ventilatoren.
- 1.1.5.2 Natürliche Lüftung
Aération naturelle
Luftaustausch, angetrieben von Wind- und thermischen Auftriebskräften (Fensterlüftung, thermische Lüftung über vertikalen Schacht, sogenannte Schachtlüftung, und Infiltration bzw. Exfiltration).
- 1.1.5.3 Fensterlüftung
Aération par les fenêtres
Luftaustausch durch das Öffnen von Fenstern oder Lüftungsflügeln.
Bei der reinen Fensterlüftung erfolgt der Luftaustausch ausschliesslich über die Fenster. Bei der unterstützenden Fensterlüftung kann trotz mechanischer Lüftung bei Bedarf das Fenster geöffnet werden, z.B. um am Morgen bei Arbeitsbeginn oder nach intensiven Nutzungsphasen eine intensive Raumdurchspülung und evtl. Abkühlung zu erreichen.
- 1.1.5.4 Aussenluft-Volumenstrom bei Fensterlüftung
Débit d'aération par les fenêtres
 $q_{v,w}$
 m^3/h
Durchschnittlicher stündlicher Volumenstrom, der sich bei direktem Luftaustausch zwischen Raum und aussen bei offenem Fenster einstellt.
Mit dem Berechnungsverfahren dieses Merkblatts wird nur der Temperaturunterschied zwischen innen und aussen als Antrieb für die Fensterlüftung betrachtet. Der Windeinfluss wird nicht berücksichtigt.
- 1.1.5.5 Stosslüftung
Aération sporadique
Intensive Fensterlüftung, in der Regel von kurzer Dauer.
- 1.1.5.6 Infiltration (Gebäudehülle)
Infiltration (enveloppe du bâtiment)
Unbeabsichtigter und unkontrollierter Lufteintritt durch Undichtheiten der Gebäudehülle, verursacht durch Auftrieb, Wind oder Abluftüberschuss des mechanischen Systems.
- 1.1.5.7 Exfiltration (Gebäudehülle)
Exfiltration
Unbeabsichtigter und unkontrollierter Luftaustritt durch Undichtheiten der Gebäudehülle, verursacht durch Auftrieb, Wind oder Zuluftüberschuss des mechanischen Systems.

1.1.6 Temperaturen im Raum

- 1.1.6.1 Empfundene Temperatur
Température ressentie
 θ_o
°C
Für die thermische Behaglichkeit des Menschen massgebende Temperatur unter Berücksichtigung der Lufttemperatur am betrachteten Ort im Raum und der Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen.
Die empfundene Temperatur wird auch als «operative Temperatur» bezeichnet.
Bei den meisten Anwendungen im Geltungsbereich des vorliegenden Merkblatts liegt die relative Luftfeuchte zwischen 30% und 70%, sind die Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone gering (< 0,2 m/s) und es bestehen nur kleine Unterschiede zwischen der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur im Raum (< 4 K). In diesen Fällen kann die empfundene Temperatur wie folgt berechnet werden:
$$\theta_o = \frac{\theta_{a,i} + \theta_r}{2}$$

 θ_o empfundene Temperatur am betrachteten Ort im Raum
 $\theta_{a,i}$ Raumlufttemperatur
 θ_r mittlere Strahlungstemperatur der Oberflächen bezogen auf den betrachteten Ort im Raum
Detaillierte Angaben zur Bestimmung der empfundenen Temperatur finden sich in EN ISO 7730.
- 1.1.6.2 Raumtemperatur
Température ambiante
 θ_i
°C
Empfundene Temperatur in Raummitte.

1.1.6.3	Raumlufttemperatur <i>Température de l'air intérieur</i> $\theta_{a,i}$ °C	Temperatur der Raumlucht, in der Raummitte 1 m über Boden gemessen.
1.1.6.4	Sollwert der Raumlufttemperatur im Heiz- bzw. Kühlfall <i>Consigne de température de l'air intérieur pour le chauffage ou le refroidissement</i> $\theta_{a,i,set,H}, \theta_{a,i,set,C}$ °C	Sollwert, den die Raumlufttemperatur im Heizfall (Winter) nicht unterschreiten und im Kühlfall (Sommer) nicht überschreiten soll. Sollwerte für verschiedene Raumnutzungen werden in SIA 382/1, Anhang A definiert. Die Sollwerte werden an das Tagesmaximum der Aussentemperatur angepasst.
1.1.6.5	Regelabweichung im Heiz- und im Kühlfall <i>Écart de régulation pour le chauffage ou le refroidissement</i> $\Delta\theta_{i,ctr,H}, \Delta\theta_{i,ctr,C}$ K	Abweichung der effektiven Raumlufttemperatur zum geforderten Sollwert infolge von Schwankungen der Raumtemperatur und infolge der Regelungenauigkeit Nach dem Berechnungsverfahren dieses Merkblatts hängt die Regelabweichung weitgehend von der Art des Wärme-/Kälteabgabesystems sowie deren Regelung ab. Im Heizfall wird die Regelabweichung zum Sollwert dazu addiert, im Kühlfall wird sie davon abgezogen.
1.1.6.6	Vorlauftemperatur des TABS <i>Température aller du système d'éléments de construction thermoactifs</i> $\theta_{TABS,su,max}, \theta_{TABS,su,min}$ °C	Maximale (Winter) bzw. minimale (Sommer) Vorlauftemperatur, mit der das thermoaktive Bauteilsystem (TABS) gespeist wird.
1.1.7 Leistungs- und Energiebedarf		
1.1.7.1	Thermischer Leistungsbedarf für Heizen und Kühlen <i>Puissance thermique requise pour le chauffage et le refroidissement</i> $\dot{\Phi}_{HC}$ W	Heizwärme- oder Klimakälteleistung, die einem Raum oder einer Zone zugeführt werden muss, um die Raumlufttemperatur innerhalb der gesetzten Sollwerttemperaturen zu halten.
1.1.7.2	Heizwärmebedarf <i>Besoin de chaleur pour le chauffage</i> Q_H Wh	Wärme, die dem beheizten Raum während der Berechnungsperiode zugeführt werden muss, um den unteren Sollwert der Raumtemperatur einzuhalten.
1.1.7.3	Heizwärmeleistung <i>Puissance thermique de chauffage</i> Φ_H W	Wärmeleistung, die dem beheizten Raum zugeführt werden muss, um den unteren Sollwert der Raumtemperatur in einer bestimmten Stunde des Jahres einzuhalten.
1.1.7.4	Norm-Heizwärmeleistungsbedarf <i>Puissance standard de chauffage requise</i> $\dot{\Phi}_{H,std}$ W	Wärmeleistung, die dem beheizten Raum bei Normbedingungen gemäss Norm SIA 384.201 zugeführt werden muss. Wird in SIA 384.201 als Norm-Heizlast bezeichnet.
1.1.7.5	Klimakältebedarf <i>Besoins de froid pour le refroidissement</i> Q_C Wh	Wärme, die dem gekühlten Raum während der Berechnungsperiode entzogen werden muss, um den oberen Sollwert der Raumtemperatur einzuhalten. Summe der internen und solaren Wärmeeinträge und der Wärme, die dem Aussenluftvolumenstrom entzogen werden muss, um diesen auf die Raumluft-Solltemperatur abzukühlen, inkl. der damit einhergehenden Entfeuchtung.

1.1.7.6	Klimakälteleistung <i>Puissance thermique de refroidissement</i> Φ_C W	Wärmeleistung, die dem gekühlten Raum entzogen werden muss, um den oberen Sollwert der Raumtemperatur in einer bestimmten Stunde des Jahres einzuhalten.
1.1.7.7	Klimadaten <i>Données climatiques</i>	Statistische Messdaten zu Aussentemperatur, Luftfeuchte und Sonnenstrahlung für eine bestimmte Klimastation. Für das Berechnungsverfahren dieses Merkblatts werden im Allgemeinen stündliche Klimadaten gemäss SIA 2028 für ein ganzes Jahr (Design Reference Year, DRY) und für einzelne Winter- und Sommerauslegungsperioden benötigt. Für die Berechnung der Wärmetransmission von Bauteilen gegen Erdreich werden Monatsmittelwerte der Aussentemperatur verwendet.
1.1.7.8	Auslegungsklimadaten <i>Données climatiques de dimensionnement</i>	Klimadaten gemäss SIA 2028, die zur Auslegung von Systemkomponenten anzuwenden sind. Es wird unterschieden zwischen Winter-Auslegungsklimadaten und Sommer-Auslegungsklimadaten.
1.1.7.9	Aussentemperatur <i>Température extérieure</i> θ_e °C	Temperatur der Aussenluft. Trockentemperatur der Aussenluft, gemessen mit mechanisch belüftetem Trockenthermometer 2 m über Boden.
1.1.8 Lüftungssystem		
1.1.8.1	Zuluft <i>Air fourni</i>	Luft im System nach der Luftbehandlung bis zum Eintritt in den versorgten Raum.
1.1.8.2	Zulufttemperatur <i>Température d'air fourni</i> θ_{SUP} °C	Temperatur der Zuluft.
1.1.8.3	Zuluftvolumenstrom <i>Débit d'air fourni</i> $q_{V,SUP}$ m ³ /h	Volumenstrom der Zuluft.
1.1.8.4	Abluft <i>Air repris</i>	Luft, welche den versorgten Raum oder den Raum, in den die Luft übergeströmt ist, verlässt.
1.1.8.5	Ablufttemperatur <i>Température d'air repris</i> θ_{ETA} °C	Temperatur der Abluft.
1.1.8.6	Abluftvolumenstrom <i>Débit d'air repris</i> $q_{V,ETA}$ m ³ /h	Volumenstrom der Abluft.
1.1.8.7	Spezifische Ventilatorleistung <i>Puissance spécifique du ventilateur</i> p_{SFP} Wh/m ³	Aufgenommene elektrische Leistung eines Ventilators dividiert durch den geförderten Volumenstrom.
1.1.8.8	Lufterwärmung <i>Réchauffement de l'air</i>	Erhöhung der Temperatur eines Luftstroms auf einen gewünschten Wert durch Zufuhr von Wärme mittels eines Wärmeübertragers.
1.1.8.9	Luftkühlung <i>Refroidissement de l'air</i>	Verminderung der Temperatur eines Luftstroms auf einen gewünschten Wert durch Entzug von Wärme mittels eines Wärmeübertragers.
1.1.8.10	Lüftungseffektivität <i>Efficacité de la ventilation</i> ϵ_V	Quotient zwischen der Konzentration der abzuführenden Luftbeimengungen in der Abluft und der mittleren Konzentration im Aufenthaltsbereich.

1.1.8.11	Befeuchtung <i>Humidification</i>	Zufuhr von Wasserdampf in einen Luftstrom, um dessen relative oder absolute Feuchte auf einen gewünschten Wert zu erhöhen.
1.1.8.12	Entfeuchtung <i>Déshumidification</i>	Entzug von Wasserdampf aus einem Luftstrom, um dessen relative oder absolute Feuchte auf einen gewünschten Wert zu vermindern.
1.1.8.13	Relative Luftfeuchte <i>Humidité relative de l'air</i> φ %	Verhältnis der effektiven Wasserdampfmenge zur Sättigungsdampfmenge bei einer bestimmten Temperatur in Prozent.
1.1.8.14	Massebezogene Luftfeuchte <i>Humidité spécifique</i> x g/kg	Wasserdampfmenge je Masseneinheit trockener Luft. Wird auch als Mischungsverhältnis bezeichnet.
1.1.8.15	Psychrometrische Berechnung <i>Calcul psychrométrique</i>	Berechnungen zur Ermittlung der Zustandsparameter von feuchter Luft.
1.1.8.16	Wärmerückgewinnung <i>Récupération de chaleur</i>	Wärmeübertragung von einem Wärmestrom auf einen anderen, gleich verlaufenden Wärmestrom im selben System (z.B. von der Fortluft auf die Zuluft mittels Wärmeübertrager).
1.1.8.17	Kreislaufverbund-WRG <i>Circuit de récupération de chaleur</i>	Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen, bestehend aus zwei Wärmeübertragern und einem diese verbindenden gepumpten Flüssigkeitskreislauf.
1.1.8.18	Temperaturänderungsgrad <i>Rendement de récupération</i> $\eta_{rec,\theta}$	Verhältnis der Differenz der Temperatur der Aussenluft nach und vor der WRG zur Differenz der Temperatur der Abluft vor der WRG und der Aussenluft vor der WRG. Wird auch als Rückwärmzahl bezeichnet. $\eta_{rec} = \frac{\theta_{SUP,rec} - \theta_{ODA}}{\theta_{ETA} - \theta_{ODA}}$
1.1.8.19	Vereisungsschutz <i>Protection contre le givre</i>	Vorrichtung zur Verhinderung der Vereisung von Komponenten in einer Lüftungsanlage, insbesondere der Wärmerückgewinnung.
1.1.9	Systeme allgemein	
1.1.9.1	Teilsystem <i>Sous-système</i>	Gesamtheit der Anlagenteile, die für die Erfüllung eines Teilprozesses innerhalb der gebäudetechnischen Anlagen notwendig sind. Die Teilprozesse sind Erzeugung, Speicherung, Verteilung, Abgabe.
1.1.9.2	Abgabesystem <i>Système d'émission</i>	Teilsystem zur raumseitigen Zu- und Abfuhr von Wärme, Kälte und Luft.
1.1.9.3	Verteilsystem <i>Système de distribution</i>	Teilsystem zur Verteilung von Wärme und/oder Medien (Luft, Wasser usw.) im Gebäude.
1.1.9.4	Erzeugungssystem <i>Système de production</i>	Teilsystem zur Umwandlung der gelieferten Energieträger in die benötigte Energieform (Wärme und Kälte).
1.1.9.5	Quelle <i>Source</i>	Herkunft der einer gebäudetechnischen Anlage zugeführten Energien (Energieträger und Wärmequellen).
1.1.9.6	Senke <i>Puits</i>	System, an welches abzuführende Wärme abgegeben werden kann.
1.1.9.7	Wärmequelle <i>Source de chaleur</i>	System, von welchem Wärme gewonnen werden kann.
1.1.9.8	Wärmeübertrager <i>Récupérateur de chaleur</i>	Vorrichtung zur Übertragung von Wärme von einem Medium auf ein anderes.
1.1.9.9	Rückkühlwerk <i>Système de refroidissement</i>	Vorrichtung zur Abfuhr überschüssiger Wärme an die Umgebung.

1.1.9.10	Druckverlust <i>Perte de charge</i> Δp Pa	Druckdifferenz infolge Reibung in einem geförderten Medienstrom.
1.1.9.11	Wirkungsgrad von Pumpen, Ventilatoren usw. <i>Rendement d'une pompe, d'un ventilateur, etc.</i> η	Verhältnis der nutzbaren (zur Förderung des Medienstroms notwendigen) Leistung zur aufgenommenen elektrischen Leistung der Maschine.
1.1.9.12	Effizienzfaktor <i>Facteur de rendement</i> f_{eff}	Faktor zur Berücksichtigung der Gesamteffizienz einer Pumpe, berechnet als Quotient aus der elektrischen Leistungsaufnahme und der hydraulischen Leistung der Pumpe.
1.1.9.13	Nenn-Leistungsaufnahme <i>Puissance nominale</i> $P_{el,N}$ W	Leistungsaufnahme eines Gerätes bei definierten Betriebsbedingungen, häufig in Prüfnormen festgelegt.
1.1.9.14	Nenn-Wärmeleistung <i>Puissance nominale de chauffage</i> $\Phi_{H,N}$ W	Nutzseitige Wärmeleistung eines Gerätes bei definierten Betriebsbedingungen, häufig in Prüfnormen festgelegt.
1.1.10 Gesamtenergiebilanz		
1.1.10.1	Bilanzperimeter <i>Périmètre de bilan</i>	Perimeter, der das Gebäude (oder die Gebäudeteile, für welche die Berechnung der Energiebilanz durchgeführt werden soll) inkl. der dazugehörigen Aussenanlagen vollständig umschliesst. Er definiert insbesondere die Abgrenzung gegen benachbarte Gebäude oder gegen Gebäudeteile, die nicht in die Berechnung einbezogen werden sollen. Die thermische Energiebilanzierung zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs erfolgt über die thermische Gebäudehülle.
1.1.10.2	Nutzenergie <i>Énergie utile</i> Q_u kWh	Thermische Energie, die dem Verbraucher unmittelbar zur Verfügung steht, z.B. als Wärme im Raum, als dem Raum entzogene Wärme (Kühlung) oder als Warmwasser an der Entnahmestelle.
1.1.10.3	Thermische Verluste <i>Pertes thermiques</i> Q_{ls} kWh	Für ein System: Teil des Endenergiebedarfs eines technischen Systems für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Befeuchtung, Entfeuchtung oder Lüftung, welcher nicht zur Deckung des Nutzwärmebedarfs dient. Für ein Teilsystem: Teil der von einem Teilsystem aufgenommenen Energie, welcher nicht zur Deckung des Bedarfs des oder der nachgelagerten Teilsysteme zur Verfügung steht.
1.1.10.4	Rückgewinnbare thermische Verluste <i>Pertes thermiques récupérables</i> $Q_{ls,rec}$ kWh	Teil der thermischen Verluste eines Systems, der zur Verminderung des Heizwärmebedarfs oder Klimakältebedarfs oder des Energiebedarfs für Heizung oder Kühlung zurückgewonnen werden kann. Dazu gehört auch der in Wärme umgewandelte und rückgewonnene Teil der elektrischen Hilfsenergie.
1.1.10.5	Hilfsenergie <i>Énergie auxiliaire</i> E_{aux} kWh	Elektrische Energie, die in gebäudetechnischen Systemen benötigt wird, um die Energietransformation zur Deckung des Nutzenergiebedarfs zu unterstützen. Bei Systemen oder Teilsystemen, die mit Brenn- oder Treibstoffen betrieben werden, und solchen mit thermischem Input zählt die elektrische Hilfsenergie nicht zur aufgenommenen Leistung bzw. Energie und wird daher beim Wirkungsgrad bzw. Nutzungsgrad nicht berücksichtigt. Die Hilfsenergie wird in diesem Fall separat ausgewiesen.

1.1.10.6	Endenergie <i>Énergie finale</i> E_F kWh	Energie, die dem Verbraucher zur Umsetzung in Nutzenergie zur Verfügung steht. Dazu zählen die Energie, die von der letzten Stufe des Handels (inkl. nachbarliche Netze) geliefert wird, und die am Standort gewonnene und benützte Energie. Die Endenergie wird separat pro Energieträger ausgewiesen. Der Energieinhalt von Brenn- und Treibstoffen bemisst sich nach ihrem Brennwert (oberer Heizwert).
1.1.10.7	Heizenergiebedarf <i>Besoin d'énergie pour le chauffage</i> E_H kWh	Endenergie, die dem Heizsystem während eines Jahres zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf zu decken.
1.1.10.8	Kühlenergiebedarf <i>Besoin d'énergie pour le refroidissement</i> E_C kWh	Endenergie, die dem Kühlsystem während eines Jahres zugeführt werden muss, um den Klimakältebedarf zu decken. Sie setzt sich zusammen aus dem Klimakältebedarf, der Hilfsenergie und den Kälteverlusten der Kälteerzeuger, der Kältespeicher und der Kälteverteilung.
1.1.10.9	Netto gelieferte Energie <i>Énergie nette fournie</i> E_{del} kWh	Endenergie, welche über den Bilanzperimeter geliefert wird. Wenn der Verbraucher Energie, die er z.B. aus erneuerbaren Energien oder Wärme-Kraft-Kopplung erzeugt hat, dem Handel zurückliefert, wird die zurückgelieferte Energie von der gelieferten Energie abgezogen. Die netto gelieferte Energie wird separat pro Energieträger ausgewiesen. Der Energieinhalt von Brenn- und Treibstoffen bemisst sich nach ihrem Brennwert (oberer Heizwert).
1.1.10.10	Energieträger <i>Agent énergétique</i>	Stoff oder Phänomen, der/das angewendet werden kann, um mechanische Arbeit oder Wärme zu erzeugen oder chemische oder physikalische Prozesse durchzuführen (ISO 13600:1997). Der Energiegehalt von Brennstoffen ist durch ihren Brennwert gegeben. Energieträger sind vor allem Elektrizität, Holz, Kohle, Heizöl, Erd- oder Flüssiggas, Biogas, Fernwärme, Umgebungswärme, Sonnen- oder Windenergie und Geothermie.
1.1.10.11	Nutzungsgrad <i>Fraction utile</i> η	Verhältnis der von einem Gerät oder einer Anlage während einer bestimmten Periode abgegebenen nutzbaren Energie zu der während dieser Periode aufgenommenen Energie. Bei Systemen oder Teilsystemen, die mit Brenn- oder Treibstoffen betrieben werden, und solchen mit thermischem Input zählt die Hilfsenergie nicht zur Energie am Eingang. Sie wird separat ausgewiesen.

1.2 Bezeichnungen, Begriffe und Einheiten

Für die praktische Anwendung sind die nach einem Strichpunkt genannten Einheiten ebenfalls üblich und zulässig.

Bezeichnung	Begriff	Einheit
A_{NGF}, A_{TABS}	Nettogeschossfläche, TABS-Decken-/Bodenfläche	m ²
A_{op}, A_w	Fläche der opaken Bauteile, Fensterfläche	m ²
C_m	Wärmespeicherfähigkeit des Raumes	Wh/K
E_F, E_{del}, E_{aux}	Endenergie, netto gelieferte Energie, Hilfsenergie	kWh
E_H, E_C	Heizenergiebedarf, Kühlenergiebedarf	kWh
$E_{vm}, E_{v,dl}$	Beleuchtungsstärke (Wartungswert), Tageslichtbeleuchtungsstärke	lx
F_F, F_S	Abminderungsfaktor für Fensterrahmen, Verschattungsfaktor	–

Bezeichnung	Begriff	Einheit
H, H_{ec}, H_{em}	Wärmetransferkoeffizient (allgemein, durch leichte Bauteile, durch schwere Bauteile)	W/K
H_{mc}, H_{ac}	Wärmeübergangskoeffizient (Masseknoten zu Zentralknoten, Luftknoten zu Zentralknoten)	W/K
I_s, I_D, I_B	Solarstrahlung (total, diffus, direkt)	W/m ²
$P_{el}, P_{el,N}$	Leistungsaufnahme eines Geräts (allgemein, Nenn-)	W
$Q_{Is}, Q_{Is,rec}$	thermische Verluste (total, rückgewinnbar)	kWh
Q_U, Q_H, Q_C	Nutzenergie, Heizwärmebedarf; Klimakältebedarf	kWh
U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
b	Reduktionsfaktor für Wärmetransfers	–
c	spezifische Wärmekapazität	J/(kg·K)
$f, f_{HC,cv}$	Teillastfaktor, konvektiver Anteil des Abgabesystems	–
f_g	Glasanteil	–
g, g_L, g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad (allgemein, senkrecht, mit Sonnenschutz)	–
g_i	interne Feuchtequellen	g/(m ² ·s)
h, h_{cv}, h_r	flächenbezogener Wärmeübergangskoeffizient (allgemein, konvektiv, Strahlungs-)	W/(m ² ·K)
h, h_w	Höhe des Projektstandorts über Meer, Höhe der Fensteröffnung	m
k_{Pr}	Korrekturfaktor Präsenzmelder	–
l	Länge	m
n	Drehzahl	s ⁻¹ ; min ⁻¹
p	Druck	Pa; hPa; mbar
p_L	flächenbezogene elektrische Leistung für die Beleuchtung	W/m ²
p_{SFP}	spezifische Ventilatorleistung	Wh/m ³
v_a	Luftgeschwindigkeit	m/s
x	massebezogene Luftfeuchte	g/kg
Δp (Delta)	Druckverlust	Pa
$\Delta \theta_{i,ctr}$	Regelabweichung	K
Φ_C	Klimakälteleistung	W
Φ_H	Heizwärmeleistung	W
Φ_{HC}	thermischer Leistungsbedarf	W
$\Phi_{H,N}$	Nenn-Wärmeleistung	W
$\Phi_{H,std}$	Norm-Heizwärmeleistungsbedarf	W
Φ_s, Φ_i (Phi)	Wärmeeintragsleistung (solar, intern)	W; W/m ²
α_s, α (Alpha)	Sonnenazimut, Horizontwinkel	°
α_s	solarer Absorptionsgrad	–
β (Beta)	Winkel der Überhangs	°
γ (Gamma)	Winkel der Seitenblende, Winkel der Kippfensters	°
δ_s (Delta)	Sonnenhöhe	°

Bezeichnung	Begriff	Einheit
ε_0 (Epsilon)	Emissionsgrad	–
ε_V	Lüftungseffektivität	–
$\eta, \eta_{rec,\theta}$ (Eta)	Wirkungsgrad, Nutzungsgrad, Temperatur-Änderungsgrad	–; %
θ_e (Theta)	Aussentemperatur	°C
$\theta_o, \theta_i, \theta_{a,i}, \theta_{a,i,set}$	empfundene Temperatur, Raumtemperatur, Raumlufttemperatur, Sollwert der Raumlufttemperatur	°C
$\theta_{SUP}, \theta_{ETA}$	Temperatur der Zuluft bzw. Abluft	°C
$\theta_{TABS,su}$	Vorlauftemperatur des TABS	°C
κ (Kappa)	flächenbezogene Wärmespeicherefähigkeit	Wh/(m ³ ·K)
ρ (Rho)	Dichte	kg/m ³
ρ	Reflexionsgrad	–; %
φ (Phi)	relative Feuchte von Luft	% r.F.
χ (Chi)	punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (für Stützen, Träger, Konsolen)	W/K
Ψ (Psi)	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (für Decke/Wand, Gebäudesockel, Balkon, Fensteranschlag, Boden/Keller-Innenwand)	W/(m·K)

1.3 Indizes

Index	deutsch	englisch	französisch
A	Betriebseinrichtungen	appliances	équipements
AHU	Lüftungsgerät	air handling unit	appareil de ventilation
B	direkt	beam	direct
B	Sole	brine	saumure
BHE	Erdwärmesonde	borehole heat exchanger	sonde géothermique
C	Kühlung	cooling	refroidissement
COP	Leistungszahl	coefficient of performance	coefficient de performance
D	diffus	diffuse	diffuse
DD	Auslegungstag	design day	jour de référence
EHA	Fortluft	exhaust air	air rejeté
ETA	Abluft	extract air	air repris
F	Ventilator	fan	ventilateur
F	Fensterrahmen	frame	cadre de fenêtre
G	Erdreich	ground	terrain
H	Heizung	heating	chauffage
HC	Heizung und Kühlung	heating and cooling	chauffage et refroidissement
L	Länge, längs	length	longueur, longitudinal
L	Beleuchtung	lighting	éclairage
M	Motor	motor	moteur
N	nominal, Nenn-	nominal	nominal
NGF	Nettogeschossfläche	net floor area	surface nette de plancher (SN)
ODA	Aussenluft	outdoor air	air neuf
P	Personen	persons (occupants)	personnes
PLR	Teillast	part load ratio	charge partielle
Pr	Präsenz	presence	présence
Pu	Pumpe	pump	pompe
R	Raum	room	local

Index	deutsch	englisch	französisch
<i>RCA</i>	Umluft	recirculation air	air recyclé
<i>S</i>	Verschattung	shading	ombragement
<i>SDD</i>	Sommer-Auslegungstage	summer design days	jours de référence d'été
<i>SUP</i>	Zuluft	supply air	air fourni
<i>TABS</i>	thermoaktives Bauteilsystem	thermo-active building system	système d'éléments de construction thermoactifs
<i>V</i>	Lüftung	ventilation	ventilation
<i>W</i>	Warmwasser	domestic hot water	eau chaude
<i>W</i>	Breite	width	largeur
<i>WB</i>	Feuchtkugel	wet bulb	bulbe humide
<i>WDD</i>	Winter-Auslegungstage	winter design days	jours de référence d'hiver
<i>a</i>	Luft	air	air
<i>act</i>	momentan	actual	actuel
<i>as</i>	Verbindung zwischen den Knoten <i>a</i> und <i>s</i>	connection between the nodes <i>a</i> and <i>s</i>	connexion entre les nœuds <i>a</i> et <i>s</i>
<i>aux</i>	Hilfs-	auxiliary	auxiliaire
<i>brm</i>	Heizraum	boiler room	chaufferie
<i>c</i>	Zentralknoten <i>c</i>	central node <i>c</i>	nœud central <i>c</i>
<i>c</i>	Kondensator	condenser	condenseur
<i>chp</i>	Wärme-Kraft-Kopplung	combined heat and power	couplage chaleur-force
<i>cl</i>	Bekleidung	clothing	vêtement
<i>cor</i>	Korrektur	correction	correction
<i>ctr</i>	Regelung	control	régulation
<i>cv</i>	konvektiv	convective	convectif
<i>del</i>	geliefert	delivered	livré
<i>des</i>	Auslegung	design	dimensionnement
<i>dis</i>	Verteilung	distribution	distribution
<i>dl</i>	Tageslicht	day light	lumière du jour
<i>du</i>	Kanal	duct	canal
<i>e</i>	aussen	external	extérieur
<i>e</i>	Verdampfer	evaporator	évaporateur
<i>ec</i>	Verbindung zwischen den Knoten <i>e</i> und <i>c</i>	connection between the nodes <i>e</i> and <i>c</i>	connexion entre les nœuds <i>e</i> et <i>c</i>
<i>eff</i>	Effizienz	efficiency	rendement
<i>el</i>	elektrisch	electric	électrique
<i>em</i>	Abgabe	emission	émission
<i>em</i>	Verbindung zwischen den Knoten <i>e</i> und <i>m</i>	connection between the nodes <i>e</i> and <i>m</i>	connexion entre les nœuds <i>e</i> et <i>m</i>
<i>f</i>	Anteil, Faktor	fraction, factor	fraction, facteur
<i>fc</i>	freie Kühlung	free cooling	refroidissement naturel
<i>fl</i>	Stockwerk	floor	étage
<i>g</i>	Glas	glass	vitre
<i>gen</i>	Erzeugung	generation	production
<i>hu</i>	Befeuchtung	humidification	humidification
<i>hy</i>	hydraulisch	hydraulic	hydraulique
<i>i</i>	innen	internal	intérieur
<i>i</i>	beabsichtigt	intended	visé

Index	deutsch	englisch	französisch
<i>in</i>	Eintritt, Eingang	input	entrée
<i>inf</i>	Infiltration	infiltration	infiltration
<i>int</i>	Mittel-, mittlere	intermediate	intermédiaire
<i>j, k</i>	Hilfsindizes	running indices	indices auxiliaires
<i>lea</i>	Leck(luft)	leakage	fuites
<i>ls</i>	Verlust	loss	perte
<i>m</i>	Masse	mass	masse
<i>max</i>	Maximum, maximal	maximum	maximal, maximum
<i>mc</i>	Verbindung zwischen den Knoten <i>m</i> und <i>c</i>	connection between the nodes <i>m</i> and <i>c</i>	connexion entre les nœuds <i>m</i> et <i>c</i>
<i>min</i>	Minimum, minimal	minimum	minimal, minimum
<i>n</i>	Nachbar	neighbour	voisin
<i>o</i>	empfunden	operative	opératif
<i>o</i>	Betrieb	operational	opérationnel
<i>op</i>	opak	opaque	opaque
<i>out</i>	Austritt, Ausgang	output	sortie
<i>p</i>	bei konstantem Druck	at constant pressure	à pression constante
<i>preh</i>	Vorwärmung	preheating	préchauffage
<i>r</i>	Strahlung	radiation	rayonnement
<i>rc</i>	Rückkühlung	recooling	refroidissement par circulation
<i>rec</i>	Rückgewinnung, rückgewinnbar	recovery, recoverable	recupération, récupérable
<i>req</i>	verlangt	required	exigé
<i>ret</i>	Rücklauf	return	retour
<i>rot</i>	Rotor, rotierend	rotor	rotor, tournant
<i>s</i>	solar	solar	solaire
<i>sc</i>	Quelle	source	source
<i>set</i>	Sollwert	set point	consigne
<i>spr</i>	Spreizung	spread	dispersion
<i>sr</i>	Einzelwiderstand	single resistance	résistance isolée
<i>std</i>	Norm-, Standard-	standard	standard
<i>su</i>	Zufuhr, Vorlauf	supply	alimentation, aller
<i>sys</i>	System	system	système
<i>ta</i>	Ziel	target	valeur cible
<i>test</i>	bei Prüfbedingungen	test	aux conditions de mesure
<i>th</i>	thermisch	thermal	thermique
<i>tot</i>	total	total	total
<i>u</i>	Benützer, Nutzung	user, use	utilisateur, utilisation
<i>ul</i>	unbegrenzt	unlimited	illimité
<i>unc</i>	unkonditioniert	unconditioned	non conditionné
<i>v</i>	visuell, Licht	visual	visuel, lumière
<i>vm</i>	Wartungswert	maintenance	maintenance
<i>vs</i>	räumliche Schwankung	variation in space	variation dans l'espace
<i>w</i>	Fenster	window	fenêtre

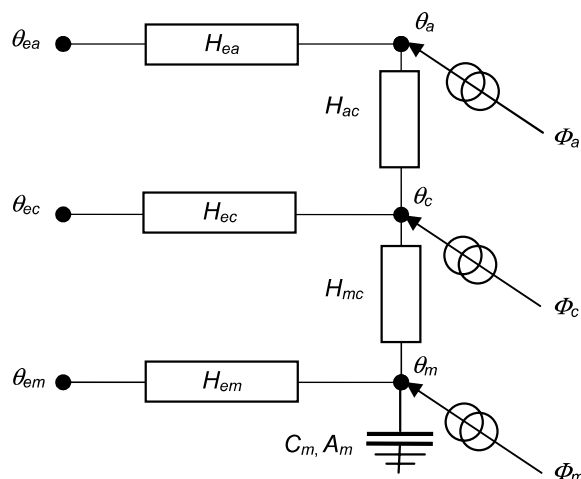
2 STANDARD-BERECHNUNGSVERFAHREN

2.1 Raummodell

2.1.1 Das Knotenmodell

- 2.1.1.1 Das vereinfachte Stundenverfahren beruht auf einem äquivalenten Widerstands-Kapazitätenmodell (Knoten-Modell). Alle Eingabedaten für Gebäude und Anlagen können stündlich variiert werden.
- 2.1.1.2 Das Modell unterscheidet zwischen der Raumlufttemperatur (θ_a), der Massetemperatur (θ_m) und der «Zentraltemperatur» (θ_c), welche eine Mischung von Raumlufttemperatur, Massetemperatur und der Oberflächentemperatur von Fenstern und anderen aussen liegenden Leichtbauteilen darstellt. Das erhöht – gegenüber Modellen mit nur einem raumseitigen Temperaturnode – die Genauigkeit bei der Berücksichtigung der strahlungs- und konvektionsbezogenen Anteile an den solaren und internen Gewinnen. Damit kann das Modell auch zur Überprüfung der thermischen Behaglichkeit eingesetzt werden.
- 2.1.1.3 Das Berechnungsverfahren beruht auf Vereinfachungen der Wärmeübertragung zwischen dem Innenraum und der Aussenumgebung nach Figur 1.

Figur 1 Knotenmodell mit fünf Widerständen und einer Kapazität gemäss EN ISO 13790



θ_a	Raumlufttemperatur, in °C
θ_c	Zentraltemperatur, in °C
θ_m	Massetemperatur, in °C
θ_{ea}	gewichtete Temperatur der Luftvolumenströme, in °C
θ_{ec}	gewichtete Temperatur (vgl. 2.1.5) der leichten Bauteile (ohne Speichermasse), in °C
θ_{em}	gewichtete Temperatur (vgl. 2.1.5) der schweren Bauteile (mit Speichermasse), in °C
H_{ea}	Luftwärmestromkoeffizient (Summe von mech. Lüftung, Fensterlüftung, Infiltration), in W/K
H_{ec}	Transmissionswärmetransferkoeffizient über leichte Bauteile und Wärmebrücken, in W/K
H_{em}	Transmissionswärmetransferkoeffizient über schwere Bauteile, in W/K
H_{ac}	Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem Luftknoten a und dem Zentralknoten c , in W/K
H_{mc}	Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem Zentralknoten c und dem Masseknoten m , in W/K
C_m	Wärmespeicherfähigkeit des Raumes, in Wh/K
A_m	effektive Fläche der thermischen Masse, in m ²
Φ_a, Φ_c, Φ_m	den Temperaturnoten zugeführte (positives Vorzeichen) oder entzogene (negatives Vorzeichen) Wärmeleistung durch direkte Solarstrahlung, Personen, elektrische Geräte, Beleuchtung sowie durch Raumheiz- und Raumkühlsysteme, in W

- 2.1.1.4 Die auf den Raum einwirkenden Randbedingungen H_{ea} , θ_{ea} , θ_{ec} , θ_{em} , Φ_a , Φ_c , Φ_m können stündlich variieren. Die zur Einhaltung eines bestimmten Raumtemperaturbereichs notwendige Heizwärme- bzw. Klimakälteleistung kann für jede Stunde analytisch bestimmt werden. Das Lösungsmodell wird in 2.3 beschrieben.

2.1.2 Thermische Masse und Zerlegung der Bauteile

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes entspricht der Summe der Wärmespeicherfähigkeit (innen und aussen) der einzelnen Bauteile:

$$C_m = \sum_{j=1}^k A_j \cdot \kappa_j \quad (1)$$

A_j Fläche des Bauteils j , in m^2

κ_j spezifische Wärmespeicherfähigkeit des Bauteils j , in $Wh/(m^2 \cdot K)$

Die thermische Masse aller Bauteile wird auf die Fläche A_m konzentriert:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum_{j=1}^k A_j \cdot \kappa_j^2} \quad (2)$$

$$\kappa_m = \frac{C_m}{A_m} \quad (3)$$

Der Transmissionswärmestrom durch die Bauteile wird im Rechenmodell unterteilt in Transmission durch leichte Bauteile ohne Wärmespeicherfähigkeit und schwere Bauteile mit Wärmespeicherfähigkeit. Dafür wird jedes Bauteil der Fläche A_j in einen massiven Anteil der Fläche $A_{j,m}$ und einen masselosen Anteil der Fläche $A_{j,l}$ zerlegt. Bei Fenstern wird die Wärmespeicherfähigkeit vernachlässigt.

$$A_{j,m} = A_j \cdot \frac{\kappa_j}{\kappa_m} \quad (4)$$

$$A_{j,l} = \max(A_j - A_{j,m}; 0) \quad (5)$$

2.1.3 Wärmeübergangs-, Wärmetransfer-, Wärmedurchgangs- und Luftwärmestromkoeffizienten

Für die spezifischen Wärmeübergangskoeffizienten werden folgende, zeitlich konstante Werte angenommen:

$$h_{cv,j} = 2,5 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \quad (6)$$

$$h_{r,j} = 5,5 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \quad (7)$$

$$h_{ic} = h_{cv,i} + 1,2 h_{r,i} = 9,1 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \quad (8)$$

$h_{cv,i}$ Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion an innenliegenden Flächen

$h_{r,i}$ Wärmeübergangskoeffizient für langwellige Strahlung

h_{ic} gesamter Wärmeübergangskoeffizient an innenliegenden Flächen

$$H_{mc} = H_{ic} \cdot A_m \quad (9)$$

$$H_{ac} = \frac{A_t}{\frac{1}{h_{cv,i}} - \frac{1}{h_{ic}}} = A_t \cdot 3,45 \text{ W}/(m^2 \cdot K) \quad (10)$$

A_t Summe aller Flächen, die in den Raum weisen, in m^2

$$H_{em} = \sum_{j=1}^k \frac{A_{j,m} \cdot U_j \cdot h_{ic}}{h_{ic} - U_j} \quad (11)$$

$A_{j,m}$ massive Teilfläche des Bauteils j , in m^2

U_j Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils j , in $W/(m^2 \cdot K)$

$$H_{ec} = \sum_{j=1}^k A_{j,l} \cdot U_j + \sum_{j=1}^k L_j \cdot \psi_j + \sum_{j=1}^k \chi_j \quad (12)$$

$A_{j,l}$ masselose Teilfläche des Bauteils j , in m^2

L_j Länge der längenbezogenen Wärmebrücke j , in m

ψ_j Wärmedurchgangskoeffizient der längenbezogenen Wärmebrücke j , in $W/(m \cdot K)$

χ_j Wärmedurchgangskoeffizient der punktbezogenen Wärmebrücke j , in W/K

$$H_{ea} = (q_{V,sys} + q_{V,w} + q_{V,inf}) \cdot \rho \cdot c_p \quad (13)$$

$q_{V,sys}, q_{V,w}, q_{V,inf}$ Zuluft-Volumenstrom durch mechanische Lüftung, Fensterlüftung und Infiltration, in m^3/h
 $\rho \cdot c_p$ volumenbezogene Wärmekapazität von Luft $\approx (1220 - (0,14 \cdot h)) / 3600$, in $Wh/(m^3 \cdot K)$
 h Höhe des Projektstandorts, in m über Meer

2.1.4 Aufteilung der Wärmeeinträge auf die Temperaturknoten

Die solaren Wärmeeinträge Φ_s , die internen Wärmeeinträge Φ_i sowie die dem Raum zugeführte Heizwärme- und Klimakälteleistung Φ_{HC} werden wie folgt zwischen den internen Temperaturknoten aufgeteilt:

$$\Phi_a = F_{sa} \Phi_s + \Phi_{i,cv} + \Phi_{HC,cv} \quad (14)$$

$$\Phi_c = F_{rs} (\Phi_{i,r} + \Phi_{HC,r}) + (1 - F_{sa}) F_{rsd} \Phi_s \quad (15)$$

$$\Phi_m = F_{rm} (\Phi_{i,r} + \Phi_{HC,r}) + (1 - F_{sa}) F_{rmd} \Phi_s \quad (16)$$

$$F_{rs} = \frac{A_t - A_m - \frac{H_{ec}}{H_{ic}}}{A_t} \quad (17)$$

$$F_{rsd} = \frac{A_t - A_m - A_w - \frac{H_{ec}}{H_{ic}}}{A_t - A_w} \quad (18)$$

$$F_{rm} = \frac{A_m}{A_t} \quad (19)$$

$$F_{rmd} = \frac{A_m}{A_t - A_w} \quad (20)$$

F_{sa} Anteil der totalen Solarstrahlung, der als konvektive Wärme anfällt; wenn keine genaueren Angaben vorliegen, kann $F_{sa} = 0$ angenommen werden

Φ_s solarer Wärmeeintrag durch transparente Bauteile

$\Phi_{i,cv}$ konvektiver Anteil der Summe der internen Wärmeeinträge durch Personen und Betriebseinrichtungen Φ_i ; wenn keine genaueren Angaben vorliegen, kann $\Phi_{i,cv} = 0,5 \Phi_i$ angenommen werden

$\Phi_{HC,cv}$ konvektiver Anteil der abgegebenen Heiz-/Kühlleistung

$\Phi_{i,r}$ Strahlungsanteil der Summe der internen Wärmeeinträge durch Personen und Betriebseinrichtungen Φ_i ; wenn keine genaueren Angaben vorliegen, kann $\Phi_{i,r} = 0,5 \Phi_i$ angenommen werden

$\Phi_{HC,r}$ Strahlungsanteil der abgegebenen Heiz-/Kühlleistung

2.1.5 Berechnung der externen Temperaturen

2.1.5.1 Von aussen wirken die folgenden Temperaturen auf den Raum:

Gewichtete Temperatur der in den Raum eintretenden Luftvolumenströme

$$\theta_{ea} = \frac{\rho \cdot c_p \sum_{j=1}^k q_{V,j} \cdot \theta_{V,j}}{H_{ea}} = \frac{[q_{V,sys} \cdot \theta_{V,sys} + (q_{V,w} + q_{V,inf}) \cdot \theta_e] \cdot \rho \cdot c_p}{H_{ea}} \quad (21)$$

$\theta_{V,sys}$ Zulufttemperatur der mechanischen Lüftung

θ_e Aussentemperatur

Gewichtete Temperatur der leichten Bauteile ohne Wärmespeicherefähigkeit

$$\theta_{ec} = \frac{\sum_{j=1}^k A_{j,l} \cdot U_j \cdot \theta_{e,j}}{H_{ec}} \quad (22)$$

Gewichtete Temperatur der schweren Bauteile mit Wärmespeicherefähigkeit

$$\theta_{em} = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{A_{j,m} \cdot U_j \cdot h_{ic}}{(h_{ic} - U_j) \cdot \theta_{e,j}}}{H_{em}} \quad (23)$$

Jedes Bauteil kann mit den Nachbarn gemäss Tabelle 1 in Kontakt stehen.

Tabelle 1 Massgebende Temperaturen für den Wärmedurchgang durch Bauteile

Nachbar	Massgebende Temperatur
Aussenluft	Ausstemperatur (Design Reference Year, DRY)
Erdreich	Monatsmittel-Ausstemperatur; Differenz Innen- zu Ausstemperatur mal Reduktionsfaktor gemäss 3.1.3.4
Unbeheizter Nachbarraum mit mehrheitlich Kontakt zum Erdreich	Monatsmittel-Ausstemperatur; Differenz Innen- zu Ausstemperatur mal Reduktionsfaktor gemäss 3.1.3.4
Unbeheizter Nachbarraum mit mehrheitlich Kontakt zur Aussenluft	Differenz Innen- zu Ausstemperatur mal Reduktionsfaktor nach SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.7
Nachbarraum mit konstanter Raumlufttemperatur	Konstante Raumlufttemperatur des Nachbarraums
Klimatisierter Nachbarraum mit ähnlichen Sollwerttemperaturen im Heiz- und Kühlfall	Transmission wird vernachlässigt

2.1.5.2 Bei opaken Bauteilen kann der Einfluss der Solarstrahlung auf den Wärmedurchgang und der Wärmestrahlung an den Himmel mit Hilfe einer sogenannten Strahlungslufttemperatur θ_e^* beschrieben werden. Dabei handelt es sich um eine fiktive Aussenlufttemperatur, bei der ein Bauteil dieselbe Wärmestromdichte aufweist wie unter dem Einfluss der Solarstrahlung.

$$\theta_e^* = \theta_e + \frac{\alpha_s \cdot I_{G,i}}{h_{e,cv}} - \frac{F_r \cdot h_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \Delta T_{er}}{h_{e,cv}} \quad (24)$$

θ_e^* Strahlungslufttemperatur, in °C

θ_e Aussenlufttemperatur, in °C

α_s solarer Absorptionsgrad der aussenliegenden Bauteiloberfläche

$I_{s,i}$ totale Solarstrahlung auf der vertikalen und horizontalen Bauteilfläche, in W/m²

$h_{e,cv}$ konvektiver Wärmeübergangskoeffizient aussen; Werte: 8 W/(m²·K) für Last- und Temperaturberechnung, 17,5 W/(m²·K) für Energiebedarfsberechnung

F_r Formfaktor für die Strahlung zwischen dem Bauteil und dem Himmel:

$F_r = 1$ für ein horizontales Dach ohne Verschattung

$F_r = 0,5$ für eine vertikale Wand ohne Verschattung

h_r externer Strahlungswärmeübergangskoeffizient, Näherungswert: $h_r = 5,5$ W/(m²·K)

ε_0 Emissionsgrad der Wärmestrahlung der aussenliegenden Bauteiloberfläche

ΔT_{er} Differenz zwischen Aussenlufttemperatur und Temperatur des Himmels; durchschnittlicher Wert für gemässigte Klimazonen: $\Delta T_{er} = 11$ K

2.1.5.3 Bei nicht hinterlüfteten opaken Bauteilen gegen Aussenluft wird in Gleichung 25 und 26 die Strahlungslufttemperatur θ_e^* eingesetzt. Bei hinterlüfteten opaken Bauteilen wird die Aussenlufttemperatur θ_e verwendet.

2.1.6 Berechnung der Raumknotentemperaturen

Bei den Temperaturen handelt es sich um den Mittelwert über eine Stunde; Ausnahmen bilden $\theta_{m,t}$ und $\theta_{m,t-1}$, bei denen es sich um Momentanwerte zu den Zeitpunkten t und $t-1$ handelt.

Für einen gegebenen Zeitschritt wird $\theta_{m,t}$ am Ende des Zeitschrittes wie folgt aus dem vorhergehenden Wert $\theta_{m,t-1}$ berechnet:

$$\theta_{m,t} = \frac{\theta_{m,t-1} \cdot [C_m \cdot 3600 - 0,5(H_3 + H_{em})] + \Phi_{m,tot}}{C_m \cdot 3600 + 0,5(H_3 + H_{em})} \quad (25)$$

$$H_1 = \frac{1}{\frac{1}{H_{ea}} + \frac{1}{H_{ac}}} \quad (26)$$

$$H_2 = H_1 + H_{ec} \quad (27)$$

$$H_3 = \frac{1}{\frac{1}{H_2} + \frac{1}{H_{mc}}} \quad (28)$$

$$\theta_{m,tot} = \Phi_m + H_{em} \cdot \theta_{em} + \frac{H_3 \cdot \left[\Phi_c + H_{ec} \cdot \theta_{ec} + H_1 \cdot \left(\frac{\Phi_a}{H_{ea}} + \theta_{ea} \right) \right]}{H_2} \quad (29)$$

Für den betrachteten Zeitabschnitt ergeben sich damit die Mittelwerte der Knoten-Temperaturen wie folgt:

$$\theta_m = \frac{\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1}}{2} \quad (30)$$

$$\theta_c = \frac{H_{mc} \cdot \theta_m + \Phi_c + H_{ec} \cdot \theta_{ec} + H_1 \cdot \left(\frac{\Phi_a}{H_{ea}} + \theta_{ea} \right)}{H_{mc} + H_{ec} + H_1} \quad (31)$$

$$\theta_a = \frac{H_{ac} \cdot \theta_c + H_{ea} \cdot \theta_{ea} + \Phi_a}{H_{ac} + H_{ea}} \quad (32)$$

Die empfundene Temperatur θ_o (Mittelwert zwischen Lufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur) ergibt sich wie folgt:

$$\theta_o = \frac{\theta_a + \theta_c \cdot \left(1 + \frac{h_{cv,i}}{h_{r,c}} \right) - \theta_a \cdot \frac{h_{cv,i}}{h_{r,c}}}{2} = \theta_a \cdot 0,31 + \theta_c \cdot 0,69 \quad (33)$$

$$h_{rc} = 1,2 \cdot h_{r,i} = 6,6 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (34)$$

2.1.7 Berechnung der Raumlufffeuchte

Die Raumlufffeuchte wird in Anlehnung an das in EN 15243, Anhang H, beschriebene Verfahren für die Berechnung des latenten Energiebedarfs ermittelt.

$$x_{a,t} = x_{a,t-1} + A \cdot (1 - e^{-B \cdot t}) \quad (35)$$

$$A = \frac{x_{in} \cdot q_m + g_i \cdot A_{NGF}}{q_m - x_{a,t-1}} \quad (36)$$

$$B = \frac{q_m}{V \cdot \rho} \quad (37)$$

$x_{a,t}$	Mischungsverhältnis der Raumlufft zur Stunde t , in g/kg trockener Luft
$x_{a,t-1}$	Mischungsverhältnis der Raumlufft in der vorangehenden Stunde $t-1$, in g/kg trockener Luft
x_{in}	Mischungsverhältnis der eintretenden Luft, in g/kg trockener Luft
q_m	in den Raum eintretender Massenstrom trockener Luft, in kg/s
g_i	interne Feuchtequellen, in g/(m ² ·s)
A_{NGF}	Nettogeschossfläche, in m ²
V	Raumlufftvolumen, in m ³
ρ	Dichte der Raumlufft, in kg/m ³

Die Kontrolle der Raumlufffeuchte über zentrale Klimaanlage wird in 2.4.4 beschrieben.

2.2 Umrechnung der Eingabedaten und Ergänzung des Knotenmodells

2.2.1 Einleitung

2.2.1.1 Die in Kapitel 3 definierten, auf bestehenden SIA-Normen und SIA-Merkblättern abgestützten Eingabedaten können zum Teil nicht direkt in das Knotenmodell gemäss 2.1.1 eingesetzt werden. Die notwendigen Umrechnungen werden im Folgenden beschrieben.

2.2.2 Solare Wärmeeinträge durch transparente Bauteile

2.2.2.1 Die auf den Raum wirkenden solaren Wärmeeinträge Φ_s werden anhand der Summe über alle Fensterflächen $A_{w,i}$, dem Abminderungsfaktor für Fensterrahmen F_F , dem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp} der Verglasung, dem Verschattungsfaktor F_S für feststehende Elemente sowie der spezifischen Solarstrahlung $I_{s,i}$ auf den vertikalen und horizontalen Glasflächen berechnet. Da im Allgemeinen unterschiedliche Verschattungsfaktoren pro Fenster gelten, erfolgt die Berechnung separat für jedes Fenster.

2.2.2.2 Produktangaben zum g -Wert von Verglasungen beziehen sich auf senkrecht einfallende Solarstrahlung. Um den durchschnittlichen Einfallswinkel und den durchschnittlichen Grad der Verschmutzung zu berücksichtigen, wird der Produktwert für alle Orientierungen mit dem Faktor 0,9 multipliziert.

$$\Phi_s = \sum^i I_{s,i} \cdot F_S \cdot A_{w,i} \cdot F_F \cdot g_{\perp} \cdot 0,9 \quad (38)$$

2.2.2.3 Sobald die totale Solarstrahlung $I_{s,i}$ auf der Fensterebene i über den Grenzwert $I_{s,i, \text{set}}$ steigt, wird der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} der Verglasung mit Sonnenschutz berücksichtigt.

$$\Phi_s = \sum^i I_{s,i} \cdot F_S \cdot A_{w,i} \cdot F_F \cdot g_{\text{tot},i} \cdot 0,9 \quad (39)$$

2.2.3 Verschattungsfaktoren

2.2.3.1 Der Verschattungsfaktor berücksichtigt die Minderung der Sonneneinstrahlung durch Topographie, durch andere Gebäude und durch feststehende Elemente des Gebäudes selbst (inkl. Position des Fensters in Bezug auf die Fassade).

Der Verschattungsfaktor F_S setzt sich aus drei Verschattungsfaktoren zusammen:

F_{S1} Verschattungsfaktor Horizont (Topographie und andere Gebäude)

F_{S2} Verschattungsfaktor Überhang

F_{S3} Verschattungsfaktor Seitenblende

$$F_S = F_{S1} \cdot F_{S2} \cdot F_{S3} \quad (40)$$

2.2.3.2 Der Verschattungsfaktor Horizont F_{S1} muss fensterweise bestimmt werden. Der Horizontwinkel wird als Mittelwert bezüglich der Fenstermitte bestimmt. Für die Berechnung wird angenommen, dass der Horizontwinkel nur die direkte Solarstrahlung beeinflusst.

$$\text{Wenn } \delta_s < \alpha, \text{ so gilt } F_{S1} = 1 - \frac{I_{B,i}}{I_{s,i}} \quad (41)$$

$$\text{Andernfalls ist } F_{S1} = 1 \quad (42)$$

δ_s Sonnenhöhe, in $^{\circ}$

α mittlerer Horizontwinkel, in $^{\circ}$

$I_{B,i}$ direkte Solarstrahlung auf der Fassade i , in W/m^2

$I_{s,i}$ totale Solarstrahlung auf der Fassade i , in W/m^2

2.2.3.3 Der Verschattungsfaktor Überhang F_{S2} muss fensterweise bestimmt werden. Der Winkel β des Überhangs wird bezüglich der Fenstermitte bestimmt. Für die Berechnung wird angenommen, dass der Überhang die direkte und die diffuse Solarstrahlung beeinflusst.

Für Überhänge werden die Teil-Verschattungsfaktoren für die direkte Strahlung $F_{S2,B}$ und die diffuse Strahlung $F_{S2,D}$ berechnet:

$$F_{S2,B} = \max \left[0; 1 - \frac{0,5 \cdot \tan \beta}{\tan(90 - \delta_s)} \right] \quad (43)$$

$$F_{S2,D} = 1 - \frac{\beta}{90} \quad (44)$$

$$F_{S2} = \frac{F_{S2,B} \cdot I_{B,i} + F_{S2,D} \cdot I_{D,i}}{I_{s,i}} \quad (45)$$

$I_{D,i}$ diffuse Solarstrahlung auf der Fassade i , in W/m^2

2.2.3.4 Der Verschattungsfaktor Seitenblende F_{S3} muss fensterweise bestimmt werden. Der Winkel γ der Seitenblende wird bezüglich der Fenstermitte bestimmt. Für die Berechnung wird angenommen, dass die Seitenblende die direkte und die diffuse Solarstrahlung beeinflusst.

Für Seitenblenden werden die Teil-Verschattungsfaktoren für die direkte Strahlung $F_{S3,B}$ und die diffuse Strahlung $F_{S3,D}$ unter Berücksichtigung der Fassadenorientierung berechnet. Die Orientierung der vertikalen Fassade wird als Winkel α_w zur Südrichtung angegeben, wobei Westen $+90^\circ$ und Osten -90° entsprechen.

Zudem wird unterschieden, ob die Seitenblende links ($F_{S3,l}$) oder rechts ($F_{S3,r}$) des Fensters angeordnet ist. Dabei liegt rechts beim Blick von innen nach aussen auf der rechten Seite des Betrachters.

$$\text{Wenn } \alpha_S < (\alpha_w - 90 + \gamma_l) \text{ so gilt } F_{S3,B,l} = 0, \text{ andernfalls ist } F_{S3,B,l} = 1 \quad (46)$$

$$\text{Wenn } \alpha_S > (\alpha_w + 90 - \gamma_r) \text{ so gilt } F_{S3,B,r} = 0, \text{ andernfalls ist } F_{S3,B,r} = 1 \quad (47)$$

$$F_{S3,D,l} = 1 - 0,5 \cdot \frac{\gamma_l}{90} \quad \text{und} \quad F_{S3,D,r} = 1 - 0,5 \cdot \frac{\gamma_r}{90} \quad (48)$$

$$F_{S3} = \frac{F_{S3,B,l} \cdot F_{S3,B,r} \cdot I_{B,i} + F_{S3,D,l} \cdot F_{S3,D,r} \cdot I_{D,i}}{I_{G,i}} \quad (49)$$

2.2.4 Tageslichtnutzung und Beleuchtung

2.2.4.1 Verfügbares Tageslicht

Die Verfügbarkeit von Tageslicht im Raum beeinflusst die Einschaltdauer der Beleuchtung. Der stündliche, in den Raum eindringende Tageslichtstrom Φ_{dl} wird näherungsweise anhand einer mittleren Lichtausbeute von 100 lm pro W solarer Wärmeeinträge berechnet. Die solaren Wärmeeinträge müssen mit dem Quotienten aus Lichtdurchlassgrad durch Gesamtenergiedurchlassgrad (Selektivität) der Verglasung multipliziert werden.

$$\Phi_{dl} = 100 \text{ lm/W } \Phi_s (\tau_v / g_{\perp}) \quad (50)$$

Φ_s solare Wärmeeinträge gemäss 2.2.2

τ_v Lichtdurchlassgrad der Verglasung

g_{\perp} Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung bei senkrecht einfallender Solarstrahlung

Die Tageslichtnutzung wird für die Fläche $A_{NGF,dl}$ entlang den mit Fenstern versehenen Fassaden berücksichtigt. Die mit Tageslicht versorgte Fläche entspricht der Raumlänge mal der Raumtiefe, wobei die Raumtiefe bis maximal zur zweifachen lichten Raumhöhe berücksichtigt wird.

Unter Berücksichtigung des Raumwirkungsgrades η_R wird aus dem Verhältnis von Tageslichtstrom Φ_{dl} zu $A_{NGF,dl}$ die durchschnittliche Tageslichtbeleuchtungsstärke E_{dl} berechnet.

$$E_{dl} = \frac{\eta_R \cdot \Phi_{dl}}{A_{NGF,dl}} \quad (51)$$

Der Raumwirkungsgrad wird gemäss SIA 380/4, Ziffer 3.3.2.6.5, berechnet, wobei für die Faktoren f_1 und f_2 je nach Standardkombination der Reflexionsgrade (siehe 3.1.5.3) die folgenden Werte einzusetzen sind:

- hell $f_1 = 1,35$ $f_2 = 1,00$
- normal $f_1 = 1,25$ $f_2 = 1,00$
- dunkel $f_1 = 1,00$ $f_2 = 1,95$

2.2.4.2 Beleuchtungsleistung

Die spezifische elektrische Leistung der Raumbeleuchtung p_L entspricht der Summe der Systemleistung aller installierten Leuchten, bezogen auf die Netto-Geschossfläche A_{NGF} . Sofern keine Planungswerte vorliegen, kann die spezifische Beleuchtungsleistung gemäss SIA 380/4, Ziffer 3.3.2, berechnet werden.

2.2.4.3 Beleuchtungsregelung

In Raumbereichen, welche mehr als die zweifache Raumhöhe von einer Fassade mit Fenstern entfernt sind, bleiben die Leuchten eingeschaltet. Die Einschaltdauer wird entsprechend der nutzungsspezifischen Personenbelegung berechnet. In den übrigen Raumbereichen ist die Beleuchtung abhängig von der Art der Tageslichtregelung:

- Bei automatischer Tageslichtregelung läuft die Beleuchtung nur, wenn die verfügbare Tageslichtbeleuchtungsstärke E_{dl} gemäss 3.1.5.2 unter dem Sollwert E_{vm} liegt.

- Bei Konstantlichtregelung (mit Dimmer) wird die momentane elektrische Leistung der Beleuchtung entsprechend dem Verhältnis von verfügbarer Tageslichtbeleuchtungsstärke zum Sollwert für die Beleuchtungsstärke reduziert.

$$p_{L,act} = p_L \cdot \frac{E_{dl}}{E_{vm}}; \text{ wenn } E_{dl} < E_{vm} \quad (52)$$

- Bei manueller Tageslichtregelung wird die Beleuchtung mit einer Regelungsgenauigkeit von $\Delta E_{vm} = 100 \text{ lx}$ bedient, d.h. die Benutzer schalten die Beleuchtung erst ein, wenn die Tageslichtbeleuchtungsstärke um ΔE_{vm} unter dem Sollwert E_{vm} liegt und schalten sie erst wieder aus, wenn $E_{dl} > (E_{vm} + \Delta E_{vm})$.

Bei Präsenzmeldern wird die momentane Beleuchtungsleistung bei Personenbelegung wie folgt berechnet:

$$p_{L,act} = p_L \cdot k_{Pr} \quad (53)$$

k_{Pr} Korrekturfaktor Präsenzmelder gemäss SIA 380/4, Tabelle 33

Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, ist immer von automatischer Präsenz- und Tageslichtregelung auszugehen. Der Einfluss von Tageslichtregelung und Präsenzmeldern wird kumuliert.

Wenn aufgrund des Personenprofils keine Personen im Raum anwesend sind, ist die Beleuchtung unabhängig von der Regelung immer aus.

2.2.5 Interne Wärmeeinträge

- 2.2.5.1 Bei den stündlichen Wärmeeinträgen für Personen und Betriebseinrichtungen gemäss SIA 2024 wird zwischen Arbeits- und Ruhetagen unterschieden. Anhand der Anzahl Ruhetage pro Woche (in Abhängigkeit der Standardnutzung) werden Wochenprofile berechnet. Die Monatsprofile dienen der Berücksichtigung von Feier- und Ferientagen. Sie werden in SIA 2024 als prozentuale Auslastung pro Monat angegeben und mit allen Tagesprofilen des entsprechenden Monats multipliziert.
- 2.2.5.2 Für die Berechnung des thermischen Leistungsbedarfs gemäss SIA 382/2, Ziffer 3.1, werden die Monatsprofile nicht berücksichtigt.
- 2.2.5.3 Für die Berechnung des Heizwärme- und Klimakältebedarfs gemäss SIA 382/2, Ziffer 3.2, werden folgende Vereinfachungen gemacht:
- das Jahr beginnt immer mit einem Samstag,
 - das Jahr ist kein Schaltjahr und hat 365 Tage,
 - die 1-stündige Verschiebung zwischen internen und solaren Lasten während der Sommerzeit wird vernachlässigt.

2.2.6 Lüftungsverluste und -gewinne

2.2.6.1 Allgemeines

Die Wahl der Lüftungsart (Fensterlüftung, mechanische Lüftung) bzw. des Lüftungssystems beeinflusst die Wärme- und Feuchtbilanz und damit den thermischen Heizwärme- und Klimakälteleistungsbedarf eines Raumes. Die relevanten Parameter werden im Folgenden definiert.

2.2.6.2 Volumenstrom bei mechanischer Lüftung ($q_{V,sys}$)

Der durch eine mechanische Lüftungsanlage dem Raum zu- und abgeführte Luftvolumenstrom hängt vom Anlagenkonzept ab. Bei reinen Zuluftanlagen entspricht $q_{V,sys}$ dem Zuluftvolumenstrom $q_{V,SUP}$. Bei reinen Abluftanlagen entspricht $q_{V,sys}$ dem Abluftvolumenstrom $q_{V,ETA}$. In Räumen mit Zu- und Abluft wird $q_{V,sys}$ dem höheren Volumenstrom von Zu- und Abluft gleichgesetzt. Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Differenz zwischen Zu- und Abluftvolumenstrom aus Nachbarräumen nachströmt bzw. in Nachbarräume abströmt (Kaskadenlüftung). Dabei sind $q_{V,SUP}$ und $q_{V,ETA}$ als nominale Werte bei Auslegungsbedingung zu verstehen. Sie müssen mit dem dimensionslosen, von der Lüftungsregelung und allenfalls von der Personenbelegung abhängigen Lüftungsprofil multipliziert werden, um den effektiven stündlichen Volumenstrom wiederzugeben. Weitere Angaben zur Bestimmung des Volumenstroms in Abhängigkeit der Ventilatorsteuerung sind 2.4.1 zu entnehmen.

2.2.6.3 Volumenstromregelung

Lüftungsanlagen können 1-stufig, 2-stufig oder stufenlos betrieben werden. Sofern der stündliche Volumenstrom nicht durch ein vordefiniertes Lüftungsprofil gegeben ist, kann die Volumenstromregelung anhand des Personenprofils nach SIA 2024 ermittelt werden:

- Die Lüftungsanlagen sind nur in Betrieb, wenn Personen im Raum sind.
- Bei 1-stufigen Lüftungsanlagen wird während der gesamten Belegungszeit der volle Volumenstrom $q_{V,sys}$ berücksichtigt.
- Bei 2-stufigen Lüftungsanlagen wird der volle Volumenstrom nur dann berücksichtigt, wenn mindestens 67% der Personen anwesend sind. Bei einer Belegung unter 67% wird der Volumenstrom auf 67% des Auslegungswerts reduziert.
- Bei stufenlosen Lüftungsanlagen wird der Volumenstrom $q_{V,sys}$ mit dem dimensionslosen stündlichen Personenprofil multipliziert.

2.2.6.4 Volumenstrom bei temperaturabhängiger Regelung

Bei mittels Raumthermostat geregelten Umluftkühlern und Umluftheizungen wird der geförderte Volumenstrom «rückwärts» über den Heiz- bzw. Kühlbedarf des Raumes ermittelt.

$$q_{V,sys} = \frac{\Phi_{HC}}{(\theta_{V,SUP} - \theta_{V,RCA}) \cdot \rho \cdot c_p} = \frac{\Phi_{HC}}{(\theta_{V,SUP} - \theta_t) \cdot \rho \cdot c_p} \quad (54)$$

$q_{V,sys}$	Luftvolumenstrom der mechanischen Lüftung, in m ³ /h
Φ_{HC}	Heizwärme-/Klimakältebedarf im Raum, in W
$\theta_{V,SUP}$	Zulufttemperatur, in °C
$\theta_{V,RCA}$	Umlufttemperatur in °C, welche in der Regel der Raumlufttemperatur θ_t entspricht
$\rho \cdot c_p$	volumenbezogene Wärmekapazität von Luft $\approx [1220 - (0,14 h)] / 3600$, in Wh/(m ³ K)
h	Höhe des Projektstandorts, in m über Meer

2.2.6.5 Volumenstrom bei Fensterlüftung mit Rechtecköffnung

Die Berechnung des Volumenstroms bei Fensterlüftung erfolgt nach dem vereinfachten Ansatz gemäss SIA 2023, Anhang C. Für den durch eine Rechtecköffnung einströmenden Luftvolumenstrom infolge Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen gilt angenähert:

$$q_{V,w} = c_d \cdot h_w \cdot w_w \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{g \cdot h_w \cdot (T_{i,t-1} - T_e)}{T_e} \right)^{0,5} \cdot 3600 \quad (55)$$

$q_{V,w}$	Luftvolumenstrom bei Fensterlüftung, in m ³ /h
c_d	Durchlassfaktor ($\approx 0,6$)
h_w	Höhe der Öffnung, in m
w_w	Breite der Öffnung, in m
g	Erdbeschleunigung, in m/s ²
$T_{i,t-1}$	Raumlufttemperatur des vorangegangenen Stundenschritts, in K
T_e	Aussentemperatur, in K

Mit dieser vereinfachten Formel wird nur der Einfluss der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen abgebildet. Andere Faktoren wie Winddruck oder warme Heizkörper unter der Öffnung werden nicht berücksichtigt. Querlüftung wird nicht behandelt.

2.2.6.6 Volumenstrom bei Fensterlüftung mit Kippfenster

Die Abhängigkeit des Luftvolumenstroms vom Kippwinkel wird durch den Faktor $c_k(\alpha)$ angegeben, als Verhältnis des effektiven Luftvolumenstroms beim Kippwinkel α zum Luftvolumenstrom durch die Rechtecköffnung gleicher Fensterhöhe und -breite (Gleichung 57):

$$c_k(\alpha) = \frac{q_{V,w,Kippfenster}(\alpha)}{q_{V,w,Rechteckfenster}} \quad (56)$$

Aus Messungen an Kippfenstern mit h_w : w_w im Bereich von 1 bis 2 kann folgende Approximation angegeben werden:

$$c_k(\alpha) = 2,60 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha^3 - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha^2 + 1,86 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha \quad (57)$$

α Kippwinkel des Fensters, in °

2.2.6.7 Nachtauskühlung durch mechanische Lüftung

Sofern keine genaueren Angaben vorliegen, können für eine Nachtauskühlung mit mechanischer Lüftung gemäss SIA 382/1 die folgenden Regelparameter angenommen werden: Die mechanische Lüftung wird eingeschaltet, wenn die Raumlufttemperatur des vorangehenden Stundenschrittes θ_{t-1} mindestens 24°C betrug und diese zudem mindestens 2 K über der aktuellen Aussentemperatur θ_e liegt.

2.2.6.8 Zulufttemperatur

Die Temperatur der durch mechanische Lüftungsanlagen dem Raum zugeführten Luft hängt vom Anlagenkonzept ab.

Bei Abluftanlagen wird davon ausgegangen, dass Luft aus Nachbarräumen nachströmt. Wenn keine genaueren Angaben bekannt sind, kann bei Abluftanlagen die Temperatur der Nachströmluft gleich 22°C gesetzt werden.

Bei reinen Zuluftanlagen entspricht $\theta_{V,sys}$ der Zulufttemperatur $\theta_{V,SUP}$.

Bei Anlagen mit Zu- und Abluft kann die Zulufttemperatur $\theta_{V,SUP}$ durch Wärmerückgewinnung, Befeuchtung, Heiz- und Kühlregister beeinflusst werden (siehe 2.4.4).

Bei Fensterlüftung und Infiltration entspricht die Temperatur der zugeführten Luft immer der Aussentemperatur.

2.2.7 Heizwärme- und Kälteabgabesysteme

2.2.7.1 Die vom Raumheizsystem abgegebene bzw. vom Raumkühlsystem aufgenommene thermische Leistung Φ_{HC} wird unterteilt in einen konvektiven Anteil $\Phi_{HC,cv}$ und einen Strahlungsanteil $\Phi_{HC,r}$.

$$\Phi_{HC,cv} = f_{HC,cv} \cdot \Phi_{HC} \quad (58)$$

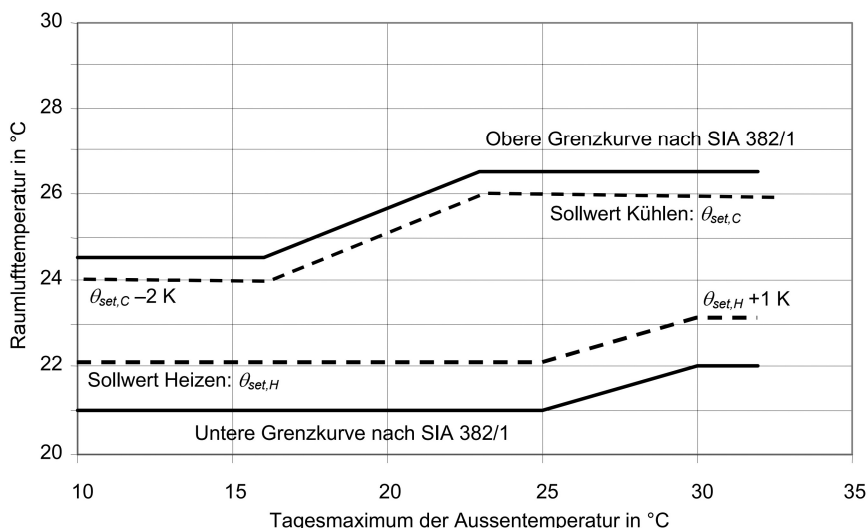
$$\Phi_{HC,r} = (1 - f_{HC,cv}) \cdot \Phi_{HC} \quad (59)$$

2.2.7.2 Damit klimatisierte Räume den Komfortanforderungen gemäss SIA 382/1, Ziffer 2.2.3.7, gerecht werden, müssen die momentanen Sollwerttemperaturen entsprechend dem Tagesmaximum der Aussentemperatur angepasst werden (siehe Figur 2).

Die Sollwerttemperatur für den Kühlfall $\theta_{set,C}$ wird bei Tagesmaxima der Aussentemperatur über 23°C strikt eingehalten. Bei einem Tagesmaximum der Aussentemperatur zwischen 23°C und 16°C wird die momentane Sollwerttemperatur linear um 2 K abgesenkt. Bei Tagesmaxima unter 16°C gilt $\theta_{set,C} - 2$ K als momentane Sollwerttemperatur.

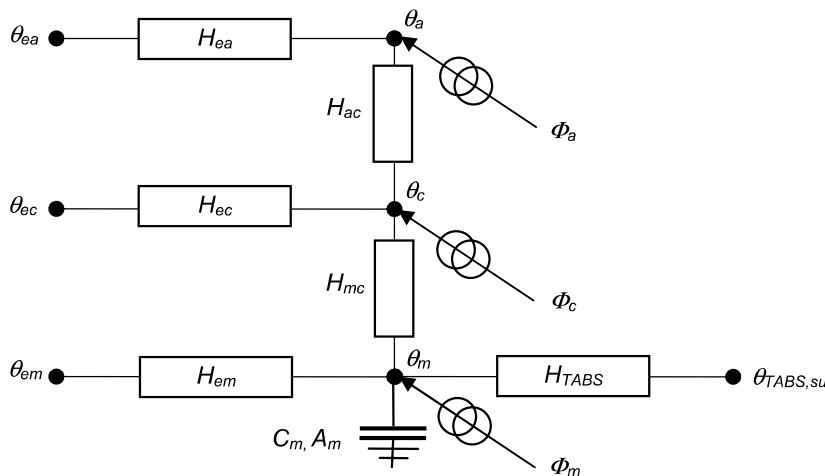
Die Sollwerttemperatur für den Heizfall $\theta_{set,H}$ wird bei Tagesmaxima der Aussentemperatur unter 25°C strikt eingehalten. Bei einem Tagesmaximum der Aussentemperatur zwischen 25°C und 33°C wird die momentane Sollwerttemperatur linear um 1 K angehoben. Bei Tagesmaxima über 30°C gilt $\theta_{set,H} + 1$ K als momentane Sollwerttemperatur.

Figur 2 Anpassung der momentanen Sollwerttemperaturen entsprechend den Komfortanforderungen gemäss SIA 382/1



2.2.7.3 Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) wirken über die Speichermasse auf den Raum ein. Um TABS berücksichtigen zu können, wird das Knotenmodell um einen Temperaturknoten erweitert, welcher die Vorlauftemperatur im TABS vorgibt (Figur 3). Die Wassertemperatur ist über einen Widerstand mit dem raumseitigen Masseknoten verbunden.

Figur 3 Ergänzung des Knotenmodells mit einem TABS-Knoten



2.2.7.3 Das TABS-Modell beruht auf den folgenden Annahmen: Die minimale (Kühlbetrieb) und maximale (Heizbetrieb) Vorlauftemperatur im TABS wird vom Benutzer vorgegeben. Die aktuelle Vorlauftemperatur wird im Verhältnis zur Aussenlufttemperatur linear zwischen Maximal- und Minimalwert angepasst.

$$\theta_{TABS,su} = \theta_{TABS,su,max} - (\theta_{TABS,su,max} - \theta_{TABS,su,min}) \cdot \frac{\theta_e - \theta_{e,min}}{\theta_{e,max} - \theta_{e,min}} \quad (60)$$

- $\theta_{TABS,su}$ Vorlauftemperatur im TABS, in °C
- $\theta_{TABS,su,max}$ TABS-Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingung im Winter, in °C
- $\theta_{TABS,su,min}$ TABS-Vorlauftemperatur bei Auslegungsbedingung im Sommer, in °C
- θ_e Aussenlufttemperatur, in °C
- $\theta_{e,min}$ Auslegungstemperatur im Winter, in °C
- $\theta_{e,max}$ Auslegungstemperatur im Sommer, in °C

2.2.7.4 Die vom TABS abgegebene Leistung wird wie folgt berechnet:

$$\Phi_{TABS} = H_{TABS} \cdot (\theta_{TABS,su} - \theta_m) \quad (61)$$

- Φ_{TABS} Leistungsabgabe vom TABS an den Raum, in W; heizen, falls $\Phi_{TABS} > 0$; kühlen falls $\Phi_{TABS} < 0$
- H_{TABS} Wärmetransferkoeffizient zwischen Wasserkreislauf und Masseknoten, in W/K

$$H_{TABS} = \frac{A_{TABS}}{R_{TABS}} \quad (62)$$

- A_{TABS} mit TABS belegte Decken- oder Bodenfläche, in m² (typischer Wert: $A_{TABS} = 0,7$ bis $0,9 A_{NGF}$)
- R_{TABS} thermischer Gesamtwiderstand zwischen Wasserkreislauf und Masseknoten, in m²K/W (Bezugsfläche A_{TABS} ; typischer Wert: $R_{TABS} = 0,08$ m²K/W)

2.2.7.5 Der thermische Gesamtwiderstand R_{TABS} hängt von der Geometrie sowie den thermischen Eigenschaften des Bauteilsystems ab.¹

¹ Als typische Werte für eine thermisch aktivierte Betondecke wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

- Bauteildicke = 0,3 m
- Rohrabstand = 0,2 m
- Rohrdurchmesser = 0,02 m
- Rohrwanddicke = 0,0025 m
- Wassermassenstrom = 12,5 kg/(h·m²)
- spez. Wärmekapazität von Beton = 1100 J/(kg·K)
- spez. Wärmekapazität von Wasser = 4187 J/(kg·K)
- Wärmeleitfähigkeit des Rohrmantels = 0,4 W/(m·K)
- Wärmeleitfähigkeit von Beton: 1,8 W/(m·K)
- Dichte von Beton = 2400 kg/m³
- resultierender thermischer Gesamtwiderstand $R_{TABS} = 0,08$ m²K/W

Der angegebene Wert für R_{TABS} gilt für Bauteile ohne Boden- und Deckenbeläge. Mit einem Teppich erhöht sich dieser Widerstand um ca. 10%, mit einem Doppelboden um ca. 25%. Weitergehende Angaben zur Modellierung von TABS finden sich in [1], [2] und [3].

- 2.2.7.6 Die auf den Masseknoten einwirkende Wärmeleistung $\Phi_{m,tot}$ nach Gleichung 29 muss nun noch um die TABS-Leistung erweitert werden.

$$\Phi_{m,tot} = \Phi_m + H_{em} \cdot \theta_e + \frac{H_3 \left[\Phi_c + H_{ec} \cdot \theta_{ec} + H_1 \left(\frac{\Phi_a}{H_{ea}} + \theta_{ea} \right) \right]}{H_2} + \Phi_{TABS} \quad (63)$$

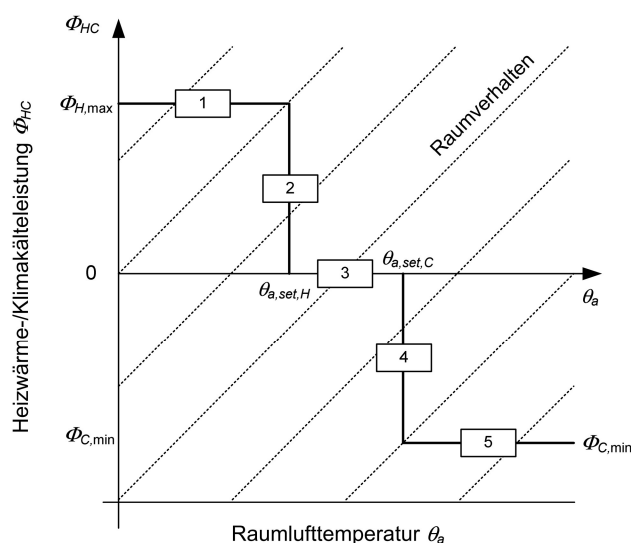
- 2.2.7.7 Die weitere Berechnung der Raumlufttemperatur erfolgt analog zum Verfahren ohne TABS. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund des thermischen Widerstands im Bauteil die Heizwärme- und Klimakälteleistung eines TABS beschränkt ist und die Raumlufttemperatur daher unter oder über den Sollwerttemperaturen liegen kann.

2.3 Berechnung der erforderlichen Heizwärme- und Klimakälteleistung

2.3.1 Allgemeine Beschreibung

- 2.3.1.1 Das Lösungsverfahren für das Knotenmodell beruht auf einem linearen Crank-Nicholson-Schema, bei dem ein Zeitschritt von einer Stunde zugrunde gelegt wird. Das Verfahren ermöglicht für jede Stunde die Berechnung der Raumlufttemperatur θ_a für jeden Heizwärme- bzw. Klimakältebedarf Φ_{HC} . Das Lösungsverfahren ist so aufgebaut, dass θ_a eine lineare Funktion von Φ_{HC} darstellt.
- 2.3.1.2 Für eine gegebene Stunde lässt sich die Gerade für das Raumverhalten durch Anwendung der unter 2.1.6 beschriebenen Gleichungen für zwei Werte von Φ_{HC} bestimmen.
- 2.3.1.3 Die benötigte Heizwärme-/Klimakälteleistung wird für jede Stunde in drei Schritten berechnet. Zunächst werden die drei Raumknotentemperaturen ohne Heizwärme-/Klimakälteleistung unter Berücksichtigung der Massetemperatur $\theta_{m,t-1}$ des vorangehenden Stundenschrittes berechnet. Dann wird die Berechnung mit einer Heizwärmeleistung von $10 \text{ W/m}^2 \cdot A_{NGF}$ wiederholt. Aus dem Unterschied zwischen der gewünschten Solltemperatur und der Raumlufttemperatur bei einer Heizwärmeleistung von $10 \text{ W/m}^2 \cdot A_{NGF}$ wird im dritten Schritt die effektiv benötigte Heizwärme-/Klimakälteleistung linear extrapoliert und die sich einstellende Massetemperatur $\theta_{m,t}$ neu berechnet.
- 2.3.1.4 Die Berechnung erfolgt über alle 8760 Jahresstunden. Aus der Summe der mittleren Leistung pro Stunde (in W) kann der Energieverbrauch über eine beliebige Zeitspanne (z.B. pro Tag, Woche, Monat, Jahr) ermittelt werden.

Figur 4 Darstellung des Raumverhaltens (diagonale Linien) gegen das Anlagenverhalten (dicke Linien)



- 2.3.1.5 In Figur 4 wird für jeden Stundenschritt der momentane Heizwärme- bzw. Klimakälteleistungsbedarf als lineare Funktion der Raumlufttemperatur abgebildet.

- 2.3.1.6 Die vom Heiz- bzw. Kühlsystem an den Raum abgegebene thermische Leistung Φ_{HC} wird im selben Diagramm durch die $\theta_{a,set}$ -Temperaturen und die maximal verfügbare Heizwärmeleistung $\Phi_{H,max}$ bzw. die minimale Klimakälteleistung² $\Phi_{C,min}$ begrenzt.³
- 2.3.1.7 Die sich ergebende Raumlufthtemperatur sowie der Heizwärme- und der Klimakältebedarf werden durch den Schnittpunkt der beiden Kurven dargestellt. Fünf Situationen sind möglich:
- 1) Der Raum erfordert Heizung und die Heizwärmeleistung ist nicht ausreichend, um den Sollwert zu erreichen. Der Heizwärmeleistungsbedarf ist auf die maximal mögliche Heizwärmeleistung begrenzt und die berechnete Raumlufthtemperatur liegt unter dem Sollwert für das Heizen $\theta_{a,set,H}$. Dies geschieht üblicherweise während der Aufheizperiode.
 - 2) Der Raum erfordert Heizung und die Heizwärmeleistung ist ausreichend. Die Raumlufthtemperatur entspricht $\theta_{a,set,H}$ und der berechnete Heizwärmebedarf liegt unter dem Höchstwert.
 - 3) Der Raum erfordert weder Heizung noch Kühlung (Gleichgewichtsbedingungen). Es wird weder geheizt noch gekühlt und die Raumlufthtemperatur wird berechnet.
 - 4) Der Raum erfordert Kühlung und die Klimakälteleistung ist ausreichend. Die Raumlufthtemperatur entspricht $\theta_{a,set,C}$ und der Klimakältebedarf liegt unter dem Minimalwert.
 - 5) Der Raum erfordert Kühlung und die Klimakälteleistung ist nicht ausreichend. Der Klimakältebedarf ist auf die mögliche Klimakälteleistung begrenzt. Die berechnete Raumlufthtemperatur liegt über der Solltemperatur für das Kühlen $\theta_{a,set,C}$.

2.3.2 Berechnungsverfahren

2.3.2.1 Mit Hilfe dieses Verfahrens werden die momentane Raumlufthtemperatur $\theta_{a,act}$ und der momentane Heizwärme- bzw. Klimakälteleistungsbedarf $\Phi_{HC,act}$ berechnet. In allen Fällen wird auch die momentane Massetemperatur $\theta_{m,t}$ (siehe Gleichung 25) berechnet und gespeichert, da diese für den folgenden Zeitschritt angewendet wird.

2.3.2.2 Schritt 1

Es ist zu prüfen, ob gekühlt oder geheizt werden muss (Fall 3 nach Figur 4).

Φ_{HC} ist mit 0 anzusetzen, und die Gleichungen 25 bis 32 sind anzuwenden.

θ_a ist als $\theta_{a,0}$ zu bezeichnen ($\theta_{a,0}$ ist die Lufttemperatur unter Gleichgewichtsbedingungen).

Sofern $\theta_{a,set,H} \leq \theta_{a,0} \leq \theta_{a,set,C}$ ist weder Heizen noch Kühlen erforderlich, so dass $\Phi_{HC,act} = 0$ und $\theta_{a,act} = \theta_{a,0}$ wird. Die Berechnung ist abgeschlossen.

Andernfalls ist Schritt 2 durchzuführen.

2.3.2.3 Schritt 2

Es ist der Sollwert auszuwählen und der Heizwärme- bzw. Klimakälteleistungsbedarf zu berechnen.

Wenn $\theta_{a,0} > \theta_{a,set,C}$, ist $\theta_{a,set} = \theta_{a,set,C}$ zu setzen.

Wenn $\theta_{a,0} < \theta_{a,set,H}$, ist $\theta_{a,set} = \theta_{a,set,H}$ zu setzen.

Es sind die Gleichungen 25 bis 32 anzuwenden, wobei $\Phi_{HC} = \Phi_{HC,10}$ mit $\Phi_{HC,10} = 10 \text{ W/m}^2 \cdot A_{NGF}$ gilt.

θ_a ist als $\theta_{a,10}$ zu bezeichnen ($\theta_{a,10}$ ist die Raumlufthtemperatur, die man für eine Heizwärmeleistung von 10 W/m^2 erhält).

Es ist $\Phi_{HC,ul}$ zu berechnen (der unbegrenzte Heizwärme- bzw. Klimakälteleistungsbedarf, um die Anforderungen an den Sollwert zu erfüllen; $\Phi_{HC,ul}$ ist im Heizfall positiv und im Kühlfall negativ).

$$\Phi_{HC,ul} = \Phi_{HC,10} \cdot \frac{\theta_{a,set} - \theta_{a,0}}{\theta_{a,10} - \theta_{a,0}} \quad (64)$$

2.3.2.4 Schritt 3

Es ist zu prüfen, ob die verfügbare Klimakälte- bzw. Heizwärmeleistung ausreichend ist (Fall 2 oder Fall 4 nach Figur 4).

² Die maximal verfügbare Heizwärme- und die minimale Klimakälteleistung sind Eingabegrößen, abhängig von der Art des gewählten Abgabesystems.

³ Das Schema kann so abgeändert werden, dass in Abhängigkeit von der Raumlufthtemperatur die maximale Heiz- oder Kühlleistung berücksichtigt wird.

Wenn $\Phi_{HC,ul}$ zwischen $\Phi_{H,max}$ (maximale Heizwärmeleistung) und $\Phi_{C,min}$ (minimale Klimakälteleistung) liegt, gilt:

$$\Phi_{HC,act} = \Phi_{HC,ul}$$

$$\theta_{a,act} = \theta_a$$

und die Berechnung ist abgeschlossen.

Andernfalls ist Schritt 4 durchzuführen.

2.3.2.5 Schritt 4:

Es ist die Raumlufttemperatur zu berechnen (Fall 1 oder Fall 5 nach Figur 4).

Wenn $\Phi_{HC,ul}$ positiv ist, ist $\Phi_{HC,act} = \Phi_{H,max}$ zu setzen. Wenn $\Phi_{HC,ul}$ negativ ist, ist $\Phi_{HC,act} = \Phi_{C,max}$ zu setzen.

$\theta_{a,act}$ ist unter Anwendung der Gleichungen 25 bis 32 zu berechnen.

In diesem Fall wird die Solltemperatur nicht eingehalten.

2.3.2.6 Falls eine Regelabweichung vorliegt, sind die Sollwerte mit der regelungsbedingten Temperaturabweichung zu korrigieren:

$$\theta_{a,set,H,corr} = \theta_{a,set,H} + \Delta\theta_{a,ctr,H} \quad (65)$$

$$\theta_{a,set,C,corr} = \theta_{a,set,C} - \Delta\theta_{a,ctr,C} \quad (66)$$

2.3.2.7 Falls im Raum nicht die Raumlufttemperatur, sondern die empfundene Temperatur geregelt werden soll, sind die Schritte 1 bis 4 mit θ_o statt mit θ_a durchzuführen.

2.4 Lüftungsanlage

2.4.1 Berechnung des Luftvolumenstroms durch ventilatorgestützte Lüftung

2.4.1.1 Ventilatorgestützter Luftvolumenstrom für den Aufenthaltsbereich

Die ventilatorgestützten Luftvolumenströme in den bzw. aus dem Aufenthaltsbereich sind wie folgt zu berechnen:

$$q_V = \frac{q_{V,req} \cdot C_{ctr} \cdot C_{i,lea} \cdot C_{RCA}}{\varepsilon_V} \quad (67)$$

Dabei kann $q_{V,req} = q_{V,SUP,req}$ für die Zuluft oder $q_{V,req} = q_{V,ETA,req}$ für die Abluft eingesetzt werden. Daraus ergeben sich dann die Volumenströme $q_{V,SUP}$ oder $q_{V,ETA}$.

2.4.1.2 Ventilatorgestützter Luftvolumenstrom am Luftbehandlungsgerät

Die ventilatorgestützten Luftvolumenströme in das bzw. aus dem Luftbehandlungsgerät sind wie folgt zu berechnen:

$$q_{V,AHU} = \frac{q_{V,req} \cdot C_{ctr} \cdot C_{lea} \cdot C_{RCA}}{\varepsilon_V} \quad (68)$$

Dabei kann $q_{V,req} = q_{V,SUP,req}$ für die Zuluft oder $q_{V,req} = q_{V,ETA,req}$ für die Abluft eingesetzt werden. Daraus ergeben sich dann die Volumenströme $q_{V,SUP}$ oder $q_{V,ETA}$.

2.4.1.3 Geforderter Luftvolumenstrom

$q_{V,SUP,req}$ bzw. $q_{V,ETA,req}$ sind die jeweiligen Luftvolumenströme, die jedem einzelnen Raum zugeführt oder aus ihm abgeführt werden.

2.4.1.4 Koeffizient für die örtliche Luftvolumenstrom-Regelung C_{ctr}

Für Anlagen mit variablen Luftvolumenstrom (bedarfsgeregelte Lüftung, VVS-Systeme) ist der C_{ctr} -Koeffizient ($\leq 1,0$) der Quotient des tatsächlichen Luftvolumenstroms für einen gegebenen Zeitraum, dividiert durch den Wert von $q_{V,SUP,req}$ oder $q_{V,ETA,req}$, wenn letztere als Auslegungswerte definiert sind.

Bei zweistufiger Regelung kann der Koeffizient zwei Werte annehmen; 1 und $C_{ctr,PLR}$.

Bei stufenloser Regelung kann der Koeffizient zwischen 1 und dem Minimalwert $C_{ctr,min}$ variieren.

2.4.1.5 Umluftkoeffizient C_{RCA}

Der Umluftkoeffizient ($\geq 1,0$) wird hauptsächlich für VVS-Systeme mit Umluft verwendet. Mit seiner Hilfe wird der Bedarf nach höherer als der geforderten Aussenluftzufuhr berücksichtigt.

Im Standard-Berechnungsverfahren wird keine Umluft berücksichtigt, d.h. der Wert ist 1. In 2.2.6.4 ist ein Verfahren zur Berechnung des Volumenstroms bei temperaturabhängiger Regelung angegeben.

2.4.1.6 Leckagen

Die Leckagen für die Leitungsverluste $C_{du,lea}$ können aus Tabelle 2.1, die der Komponenten $C_{AHU,lea}$ aus der Tabelle 2.2 entnommen werden. In 2.4.1.7 ist für diese Koeffizienten ein Berechnungsverfahren angegeben.

Tabelle 2.1 Leckage von Kanälen

Klasse	$C_{du,lea}$
A	1,06
B	1,02
C und D	1,0

Tabelle 2.2 Leckage von Lüftungsgeräten

Klasse	$C_{AHU,lea}$
L3	1,1
L2	1,04
L1	1,01

2.4.1.7 Berechnung der Koeffizienten für Komponentenundichtheit

Koeffizient für Undichtheit des Lüftungsgeräts:

$$C_{AHU,lea} = 1 + \frac{q_{V,AHU,lea} \cdot \varepsilon_V}{q_{V,req} \cdot C_{ctr} \cdot C_{sys}} \quad (69)$$

Koeffizient für Leitungsundichtheit:

$$C_{du,lea} = 1 + \frac{q_{V,du,lea} \cdot \varepsilon_V}{q_{V,req} \cdot C_{ctr} \cdot C_{sys}} \quad (70)$$

Die Gleichung kann entweder mit $q_{V,req} = q_{V,SUP,req}$ oder mit $q_{V,req} = q_{V,EHA,req}$ angewendet werden.

C_{sys} -Koeffizient:

Der C_{sys} -Koeffizient (≥ 1) berücksichtigt die Genauigkeit des Systementwurfs in Beziehung zur Beschreibung der Komponenten. Er drückt die Tatsache aus, dass es unmöglich ist, den geforderten Luftdurchsatz genau einzuhalten.

Der durch eine Undichtheit in der Luftleitung strömende Luftvolumenstrom (Leitungsleckage) wird wie folgt berechnet:

$$q_{V,du,lea} = \frac{A_{du} \cdot K \cdot \Delta p_{du}^{0,65}}{q_{V,req} \cdot C_{ctr} \cdot C_{sys}} \quad (71)$$

$q_{V,du,lea}$ durch die Undichtheiten der Luftleitung strömende Luft, in m^3/h

A_{du} nach EN 14239 zu berechnende Luftleitungsfläche, in m^2

Δp_{du} Differenzdruck zwischen der Luftleitung und der umgebenden Luft, in Pa;

falls nicht anders festgelegt, ist dies:

- in Zuluflleitungen: der Mittelwert aus Differenzdruck am Auslass des Luftbehandlungsgeräts und Differenzdruck direkt vor dem Luftdurchlass
- in Fortluftleitungen: der Mittelwert aus Differenzdruck direkt nach dem Luftdurchlass und dem Differenzdruck am Luftbehandlungsgerät

K Luftdichtheit der Luftleitung, in $m^3/(s \cdot m^2)$ für 1 Pa; die Undichtheit der Luftleitung muss nach EN 12237 (bei Luftleitungen mit rundem Querschnitt) bzw. EN 1507 (bei rechteckigen Luftleitungen) bestimmt werden

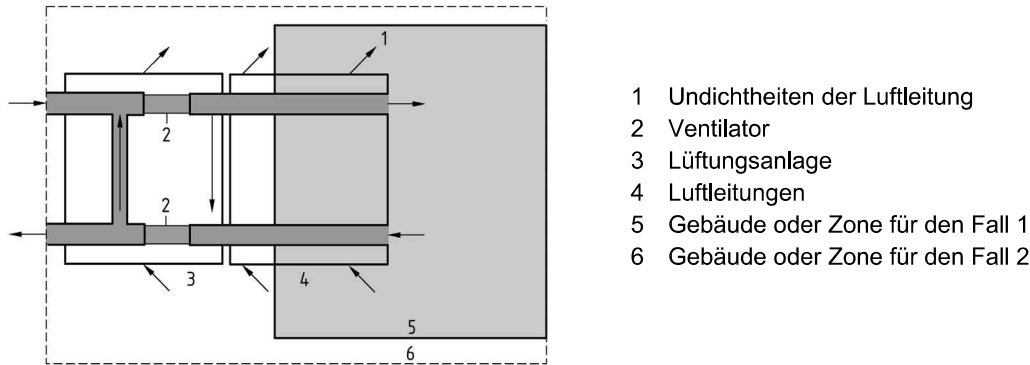
2.4.1.8 Koeffizient für Undichtheit bei Innen- und Aussenaufstellung des Luftbehandlungsgerätes

In Abhängigkeit von der Position des Luftbehandlungsgeräts innerhalb oder ausserhalb des beheizten bzw. klimatisierten Bereichs sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- Fall 1: das Luftbehandlungsgerät befindet sich ausserhalb des klimatisierten Bereichs (Figur 5, Bilanzgrenze 5).
- Fall 2: das Luftbehandlungsgerät befindet sich im klimatisierten Bereich (Figur 5, Bilanzgrenze 6).

Dies ist im gesamten Berechnungsprozess zu berücksichtigen.

Figur 5 Luftvolumenströme am Luftbehandlungsgerät



Falls sich das Luftbehandlungsgerät im konditionierten Bereich befindet, gilt:

$$C_{i,lea} = C_{du,lea} \cdot C_{AHU,lea} \quad (72)$$

$$C_{e,lea} = 1 \quad (73)$$

Falls sich das Luftbehandlungsgerät ausserhalb des konditionierten Bereichs befindet, gilt:

$$C_{i,lea} = 1 + \frac{f_{A,i}}{100} \cdot (C_{du,lea} - 1) \quad (74)$$

$$C_{e,lea} = \left[1 + \left(1 - \frac{f_{A,e}}{100} \right) \cdot (C_{du,lea} - 1) \right] \cdot C_{AHU,lea} \quad (75)$$

$f_{A,i}$ Flächenanteil im konditionierten Bereich, in %

$f_{A,e}$ Flächenanteil ausserhalb des konditionierten Bereichs, in %

Bei der Auslegung der Ventilatoren und der Berechnung der dazugehörigen Luftvolumenströme müssen die Luftundichtheiten von Luftleitungen und Luftbehandlungsgeräten (in den Abschnitten nach den Zuluftventilatoren [Überdruck] und vor den Abluftventilatoren [Unterdruck] im Luftbehandlungsgerät) zur Summe der Luftvolumenströme in die Räume bzw. aus den Räumen addiert werden. Dies ist erforderlich, weil diese Undichtheiten nicht dem Volumenstrom dienen, der für die angestrebte Raumluftqualität erforderlich ist.

Die gesamte Leckage wird berechnet aus:

$$C_{lea} = C_{i,lea} \cdot C_{e,lea} \quad (76)$$

2.4.2 Wärmeverluste der Luftleitungen

2.4.2.1 Wärmeübertragung durch die Luftleitungen

Es ist festzustellen, ob die Verluste im konditionierten Bereich im Hinblick auf die für die Berechnungen erforderliche Genauigkeit von Bedeutung sind.

Bei Anlagen, die weder heizen noch kühlen, können sie vernachlässigt werden.

Ist dies nicht der Fall, sind die Gleichungen anzuwenden, die auch bei Luftleitungen ausserhalb der klimatisierten Zone zur Anwendung kommen, wobei jedoch die Temperatur der die Luftleitung umgebenden Luft gleich der Zonentemperatur ist. Wenn die Wärmeübertragung der Zone an die Luft in der Luftleitung berücksichtigt wird, muss die Energiebilanz des Raums vervollständigt werden (z.B. muss ein Verlust der an die Luft übertragenen Wärme durch die Zone erfolgen). Die Verluste im unkonditionierten Bereich werden nach Gleichungen 77 und 78 berechnet. Diese gelten für Heiz- und Kühlbetrieb; ein negatives Vorzeichen bedeutet einen Wärmestrom ins System.

$$\Delta\theta_{ODA} = (\theta_{ODA} - \theta_{i,unc}) \cdot \left(1 - e^{\frac{-H_{ODA}}{(\rho_a c_a) \cdot q_v}} \right) \quad (77)$$

$$\Delta\theta_{SUP} = (\theta_{SUP} - \theta_{i,unc}) \cdot \left(1 - e^{\frac{-H_{SUP}}{(\rho_a c_a) \cdot q_v}} \right) \quad (78)$$

Die Verlustfaktoren H_{ODA} und H_{SUP} werden berechnet aus den Flächen und den U -Werten der Luftleitungen:

$$H_{ODA} = A_{ODA} \cdot U_{ODA} \quad \text{und} \quad H_{SUP} = A_{SUP} \cdot U_{SUP} \quad (79)$$

Für das Produkt von Dichte und spezifischer Wärme der Luft $\rho_A \cdot c_A$ kann vereinfachend der Wert $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ eingesetzt werden.

Der Verlust der Abluft wird vernachlässigt.

2.4.2.2 Temperaturkorrektur aufgrund der Leitungsundichtheit

Befindet sich der Ventilator im Gebäude, wird aufgrund der Infiltration von Raumluft in die Aussenluftleitung eine Temperaturdifferenz berechnet. Bei allen anderen Infiltrationen und Exfiltrationen werden keine Temperatur-Korrekturen vorgenommen.

$$\Delta\theta_{ODA,inf} = \frac{\theta_{ODA} \cdot q_{V,req} + \theta_i \cdot (q_V - q_{V,req})}{q_V} \quad (80)$$

2.4.3 Energie für die Luftförderung

Die Leistungsaufnahme des Ventilators im Teillastverhalten kann, in Abhängigkeit der Bauart, vereinfacht wie folgt berechnet werden:

2.4.3.1 Drehzahlregelung:

$$P_F = \frac{P_{F,req}}{100} \left[19,67 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right)^3 + 96,82 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right)^2 - 25,98 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right) + 10,42 \right] \quad (81)$$

2.4.3.2 Variable Schaufelneigung bei Axialventilatoren:

$$P_F = \frac{P_{F,req}}{100} \left[93,75 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right)^3 - 16,07 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right)^2 + 17,67 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right) + 4,928 \right] \quad (82)$$

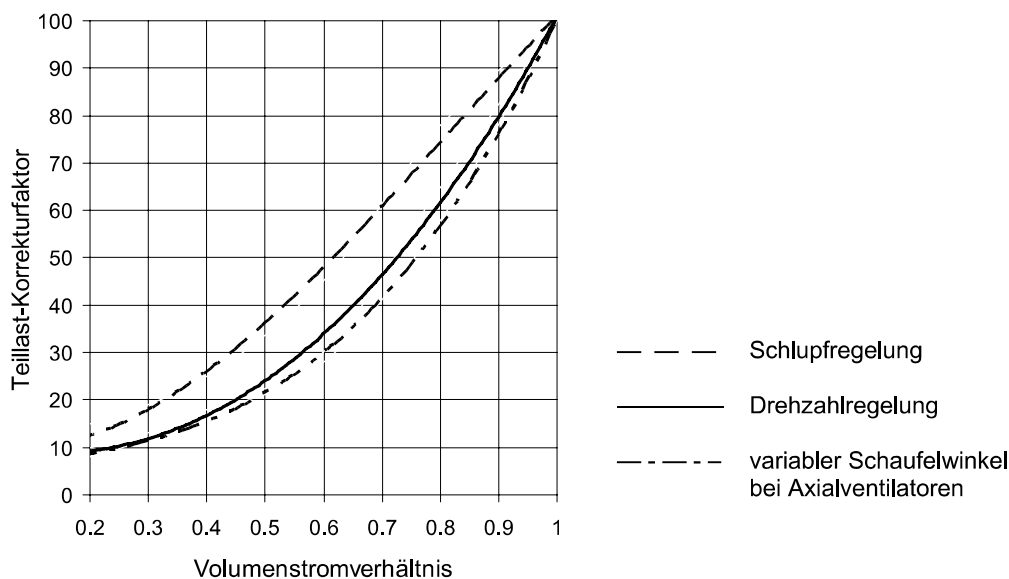
2.4.3.3 Schlupfregelung:

$$P_F = \frac{P_{F,req}}{100} \left[-82,17 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right)^3 + 202,2 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right)^2 - 29,9 \cdot \left(\frac{q_V}{q_{V,req}} \right) + 10,93 \right] \quad (83)$$

P_F Ventilatorleistung bei Teillast, in W

$P_{F,req}$ Ventilatorleistung bei Volllast, in W

Figur 6 Teillastkurven für verschiedene Ventilatorregelungen

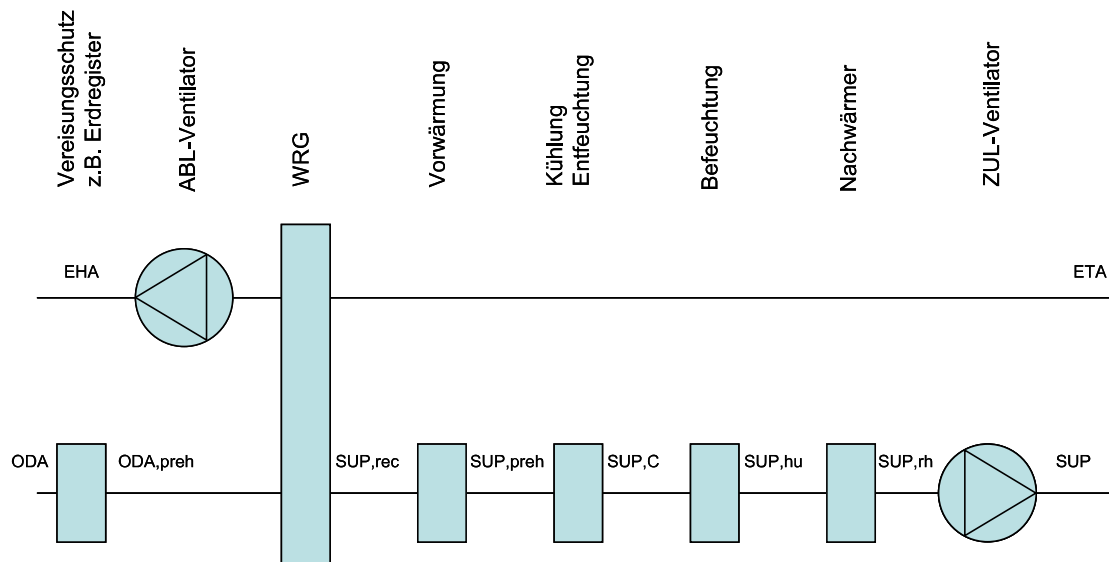


2.4.4 Luftaufbereitung

2.4.4.1 Allgemein

Für die Kühlung, Erwärmung, Befeuchtung und Entfeuchtung wird Energie benötigt. Für jede Komponente gemäss Figur 7 müssen die aufgewendeten Energien separat ausgewiesen werden, wobei der Anteil an Hilfsenergie ersichtlich sein muss. Je nach Anlagentyp entfallen Komponenten.

Figur 7 Komponenten, die den thermodynamischen Prozess beeinflussen



2.4.4.2 Vereisungsschutz

Damit die Wärmerückgewinnung bei tiefen Aussentemperaturen nicht vereist, sind aktive oder passive Vereisungsschutzmassnahmen erforderlich. Die verschiedenen Varianten können unterschiedliche Energieverbräuche verursachen.

Die Vereisungsgefahr hängt ab von der Rückwärmzahl der WRG, den Eintrittstemperaturen der Abluft und der Aussenluft sowie der Abluftfeuchte.

Erdregister

Erdregister weisen einen grösseren Luftnetzwidestand auf. Dies muss bei den Ventilatoren berücksichtigt werden.

Bypassschaltung

Der Sommerbypass kann als Frostschutz wirken. Die Klappe wird so weit geöffnet, dass die Fortlufttemperatur nicht unter 2°C fällt. Dadurch fällt die Zulufttemperatur leicht ab.

Erwärmung der Aussenluft

Die Aussenluft wird so weit erwärmt, dass die Fortlufttemperatur nicht unter 2°C fällt. Bei falsch ausgelegtem Aussenluftvorwärmer steigt der Energieverbrauch rasch an.

Umluft

Wenn die Abluft nicht kontaminiert ist, kann die Aussenluft durch Beimischung von Umluft erwärmt werden. Der Aussenluft wird so viel Abluft beigemischt, dass die Fortlufttemperatur nicht unter 2°C fällt.

2.4.4.3 WRG

Das Berechnungsverfahren deckt die gängigsten Bauformen von WRG-Systemen, nämlich Plattenwärmeübertrager, Rotoren und Kreislaufverbundsysteme ab. Bei den Rotoren wird die Feuchteübertragung berücksichtigt. Allfällige Undichtheiten werden nicht berücksichtigt bzw. sind in der Berechnung gemäss 2.4.1 enthalten.

Die Umluftbeimischung kann als eine Art einer WRG betrachtet werden, die Wärme und Feuchte überträgt.

Die Berechnung der Rückwärmzahl in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit erfolgt nach Gleichung 84.

$$\eta_{rec} = \eta_{rec,N} - C_1 \cdot (v_{eff} - 2) \quad (84)$$

- η_{rec} Rückwärmzahl
 $\eta_{rec,N}$ Rückwärmzahl bei 2 m/s
 v_{eff} effektive Luftgeschwindigkeit bei Teillast, in m/s
 C_1 Konstante gemäss Tabelle 3, abhängig vom WRG-Typ

Die effektive Geschwindigkeit wird berechnet nach Gleichung 85.

$$v_{eff} = \frac{v_{max} \cdot q_V}{q_{V,req}} \quad (85)$$

- v_{max} maximal mögliche Luftgeschwindigkeit, in m/s
 q_V Luftvolumenstrom im Teillastfall, in m³/h
 $q_{V,req}$ Luftvolumenstrom im Auslegefall, in m³/h

Tabelle 3 Konstante C_1 für die Berechnung der Rückwärmzahlen für die verschiedenen WRG-Typen

WRG-Typ	C_1
Plattenwärmeübertrager	0,054
Rotor nicht hygroskopisch	0,038
Rotor hygroskopisch	0,056
Rotor sorptiv	0,051
KVS	0,04

Die Berechnung der Rückfeuchtzahl bei Rotoren erfolgt nach Gleichung 86.

$$\eta_{rec,x} = \eta_{rec,x,0} + \Delta\eta_{rec,x,ODA} + \Delta\eta_{rec,x,v} + \Delta\eta_{rec,x,ETA} + \Delta\eta_{rec,x,q} \quad (86)$$

$$\eta_{rec,x,0} = \frac{(C_3 - C_1) \left(1 - e^{-\frac{\Delta x}{C_2}} \right) + C_1}{1 - e^{-(A_1 + A_2 \Delta x) \left[n_{rot} - (B_1 - B_2) e^{-B_3 \Delta x} - B_2 \right]}} \quad (87)$$

$$\Delta\eta_{rec,x,ODA} = A \cdot \theta_{ODA}^2 + B \cdot \theta_{ODA} + C \quad (88)$$

$$\Delta\eta_{rec,x,v} = D \cdot v_{eff} + E \quad (89)$$

$$\Delta\eta_{rec,x,ETA} = F \cdot \theta_{ETA} + G \quad (90)$$

$$\Delta\eta_{rec,x,q} = H \cdot \frac{q_{m,ODA}}{q_{m,ETA}} + I \quad (91)$$

Die Konstanten A_1 bis C_3 und A bis I in den Gleichungen 87 bis 91 sind gemäss Tabelle 4 einzusetzen. Die Drehzahl als Eingangsgrösse für Gleichung 87 wird nach Figur 8 (siehe 2.4.5.1.2) bestimmt.

Tabelle 4 Konstanten für die Berechnung der Rückfeuchtzahl in Abhängigkeit vom WRG-Typ

Konstante	WRG-Typ		
	nicht hygroskopisch	hygroskopisch	sorptiv
A_1	0,613	0,6532	0,554
A_2	0	0	0
B_1	10,549	13,0596	4,117
B_2	5,209	3,9786	4,117
B_3	0,156	1,0903	1
C_1	0,308	0,4802	0,688
C_2	5,616	5,5833	-100000
C_3	0,559	0,8992	1,688
A	-0,0016	-0,0004	0
B	-0,0272	-0,0068	0
C	0,1528	0,0454	0
D	-0,0634	-0,1084	0,123
E	0,1816	0,2957	0,313
F	-0,0188	-0,0125	-0,0057
G	0,4176	0,3153	0,1297
H	0,6168	-0,3484	-0,5805
I	-0,6168	0,3481	0,5786

Verfügt der Wärmeübertrager über einen Bypass, muss dieser bei der Berechnung berücksichtigt werden.

Die Zulufttemperatur nach der WRG beträgt

$$\theta_{SUP,rec} = \theta_{ODA,preh} + \eta_{rec} \cdot (\theta_{ETA,rec} - \theta_{ODA,preh}) \quad (92)$$

Die Zuluftfeuchte nach der WRG beträgt

$$x_{SUP,rec} = x_{ODA} + \eta_{rec,x} \cdot (x_{ETA,rec} - x_{ODA}) \quad (93)$$

- $\theta_{SUP,rec}$ Zulufttemperatur nach der WRG, in °C
- $\theta_{ODA,preh}$ Aussentemperatur vor der WRG, in °C
- $\theta_{ETA,rec}$ Ablufttemperatur vor der WRG, in °C
- $x_{SUP,rec}$ Feuchtegehalt der Zuluft nach der WRG, in g/m³
- x_{ODA} Feuchtegehalt der Aussenluft vor der WRG, in g/m³
- $x_{ETA,rec}$ Feuchtegehalt der Abluft vor der WRG, in g/m³

2.4.4.4 Vorwärmung

Bei einer Zulufttemperaturregelung wird die Temperatur mit dem Sollwert verglichen. Ist die Temperatur zu tief, muss sie erwärmt werden.

$$\Delta\theta_{SUP,preh} = \theta_{SUP,req} - \theta_{SUP,rec} \quad (94)$$

- $\Delta\theta_{SUP,preh}$ Temperaturdifferenz Vorwärmer, in K
- $\theta_{SUP,req}$ Sollwert der Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenluft, in °C
- $\theta_{SUP,rec}$ Zulufttemperatur nach der WRG, in °C

Daraus kann die Leistung des Vorwärmers bestimmt werden:

$$\Phi_{preh} = (\rho_A \cdot c_A) \cdot q_V \cdot \Delta\theta_{SUP,preh} \quad (95)$$

- Φ_{preh} Leistung Vorwärmer, in W
- q_V Volumenstrom beim Vorwärmer, in m³/h
- $\Delta\theta_{SUP,preh}$ Temperaturdifferenz Vorwärmer, in K

Für das Produkt von Dichte und spezifischer Wärme der Luft $\rho_A \cdot c_A$ kann vereinfachend der Wert 0,34 Wh/(m³·K) eingesetzt werden.

2.4.4.5 Kühlung, Entfeuchtung

$$\Delta\theta_{SUP,C} = \theta_{SUP,rec} - \theta_{SUP,req} \quad (96)$$

$\Delta\theta_{SUP,C}$ Temperaturdifferenz Kühler, in K
 $\theta_{SUP,rec}$ Zulufttemperatur nach der WRG, in °C
 $\theta_{SUP,req}$ Sollwert der Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenluft, in °C

Damit gekühlt werden darf, muss $\Phi_{preh} = 0$ W sein.

Kühlleistung durch Kühlung:

$$\Phi_C = (\rho_A \cdot c_A) \cdot q_V \cdot \Delta\theta_{SUP,C} \quad (97)$$

Φ_C Leistung Kühler, in W
 q_V Volumenstrom beim Kühler, in m³/h
 $\Delta\theta_{SUP,C}$ Temperaturdifferenz Kühler, in K

Für das Produkt von Dichte und spezifischer Wärme der Luft $\rho_A \cdot c_A$ kann vereinfachend der Wert 0,34 Wh/(m³·K) eingesetzt werden.

Wird bei der Kühlung auch entfeuchtet, muss diese Leistung ebenfalls berechnet werden. Dabei wird der Bypassfaktor f_{BP} bestimmt.

$$f_{BP} = \frac{\theta_{SUP,req} - \theta_0}{\theta_{SUP,rec} - \theta_0} \quad (98)$$

f_{BP} Bypassfaktor
 $\theta_{SUP,req}$ Sollwert der Zulufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenluft, in °C
 $\theta_{SUP,rec}$ Zulufttemperatur nach der WRG, in °C
 θ_0 Oberflächentemperatur des Registers

$$\Delta x_C = (x_0 - x_{SUP}) \cdot (1 - f_{BP}) \quad (99)$$

Δx_C Differenz des Feuchtegehalts, in g/kg
 x_0 Sättigungsgehalt bei θ_0 , in g/kg
 x_{SUP} Feuchtegehalt der Zuluft nach der WRG, in °C

Durch die Entfeuchtung bei der Kühlung entsteht eine zusätzliche Leistung.

$$\Phi_{C,x} = (\rho_A \cdot r) \cdot q_V \cdot \Delta x_C \quad (100)$$

$\Phi_{C,x}$ Leistung für die Entfeuchtung, in W
 q_V Volumenstrom beim Kühler, in m³/h
 Δx_C Differenz des Feuchtegehalts, in g/kg

Für das Produkt von Dichte der Luft und spezifischer Verdampfungsenthalpie des Wassers ($\rho_A \cdot r$) kann vereinfachend der Wert 0,83 Wh/m³ eingesetzt werden.

2.4.4.6 Befeuchtung

Die Luft wird bis zu einem Wert x_{SUP} (g/kg trockene Luft) befeuchtet.

Die erforderliche Heizleistung zur Befeuchtung der Luft bei konstanter Temperatur, Φ_{hu} , wird wie folgt berechnet:

$$\Phi_{hu} = (\rho_A \cdot r) \cdot q_V \cdot \max[0; (x_{SUP} - x_{SUP,C})] \quad (101)$$

q_V Luftvolumenstrom durch den Befeuchter, in m³/h
 $x_{SUP,C}$ Luftfeuchte vor dem Befeuchter, in g/kg trockene Luft

Für das Produkt von Dichte der Luft und spezifischer Verdampfungsenthalpie des Wassers $\rho_A \cdot r$ kann vereinfachend der Wert 0,83 Wh/m³ eingesetzt werden.

Der verdunstete Wassermassenstrom beträgt:

$$q_{V,W} = q_V \cdot \max[0; (x_{SUP} - x_{SUP,C})] \quad (102)$$

Die Kennwerte der Luft ($\theta_{SUP,hu}$, x_{SUP}) nach dem Befeuchter sind:

$$\theta_{SUP,hu} = \theta_{SUP,C} \quad (103)$$

$$x_{SUP} = \max(x_{SUP}; x_{SUP,C}) \quad (104)$$

$\theta_{SUP,C}$ Lufttemperatur vor dem Befeuchter, in °C
 $\theta_{SUP,hu}$ Lufttemperatur nach dem Befeuchter, in °C
 x_{SUP} Luftfeuchte nach dem Befeuchter, in g/kg trockene Luft

Es wird angenommen, dass die Lufttemperatur konstant bleibt (Dampfbefeuchtung) oder dass die Luft erwärmt wird, um sie konstant zu halten (Wasserbefeuchtung).

Diese Formel gilt daher nur für die Erhöhung der Luftfeuchte im Winter zur Vermeidung des Trockenheitsgefühls und nicht für die thermische Behaglichkeit unter sommerlichen Bedingungen (Verdunstungskühlung).

2.4.4.7 Nachwärmer

Eine allfällige Nachwärmung (z.B. nach der Kühlung) wird nach 2.4.4.4 berechnet.

2.4.4.8 Ventilatoren

Die Gleichung gilt sowohl für Zuluft- wie auch für Abluftventilatoren.

$$\Delta\theta_F = \frac{P_F \cdot f_{rec,F}}{\rho \cdot c \cdot q_V} \quad (105)$$

$\Delta\theta_F$ durch den Ventilator verursachter Anstieg der Lufttemperatur, in K
 P_F Ventilatorleistung, in W, gemäss 2.4.3
 $f_{rec,F}$ Ventilator-Rückgewinnungsgrad
 $\rho \cdot c$ als Standardwert kann ein Wert von 0,34 Wh/(m³·K) verwendet werden (bei 20°C)
 q_V Luftvolumenstrom durch den Ventilator, in m³/h

Der Ventilator-Rückgewinnungsgrad $f_{rec,F}$ ist das Verhältnis der vom Ventilator an die Luft übertragenen Wärme zu der dem Ventilator zugeführten elektrischen Energie. Tabelle 5 enthält Standardwerte. Wenn die Lage unbekannt ist, muss der ungünstigste Wert angewendet werden (bei Kühlung Motor im Luftvolumenstrom, bei Heizung ausserhalb des Luftvolumenstroms).

Tabelle 5

Motor im Luftvolumenstrom	$f_{rec,F} = 0,9$
Motor ausserhalb des Luftvolumenstroms	$f_{rec,F} = 0,6$

2.4.5 Hilfsenergie

2.4.5.1 Wärmerückgewinnung

2.4.5.1.1 Regulierung der WRG

Die aktuelle Übertragungsleistung wird zurückreguliert, wenn die maximal mögliche Übertragungsleistung grösser ist als erforderlich, d.h. wenn die Zulufttemperatur $\theta_{SUP,WRG}$ nach der WRG gemäss Gleichung 89 bei maximaler Leistung grösser ist als der erforderliche Wert.

Die zur Erzielung der erforderlichen Zulufttemperatur notwendige Rückwärmzahl beträgt:

$$\eta_{rec,ta} = \frac{\theta_{SUP,rec,ta} - \theta_{ODA,rec}}{\theta_{ETA,rec} - \theta_{ODA,rec}} \quad (106)$$

2.4.5.1.2 Rotierende WRG

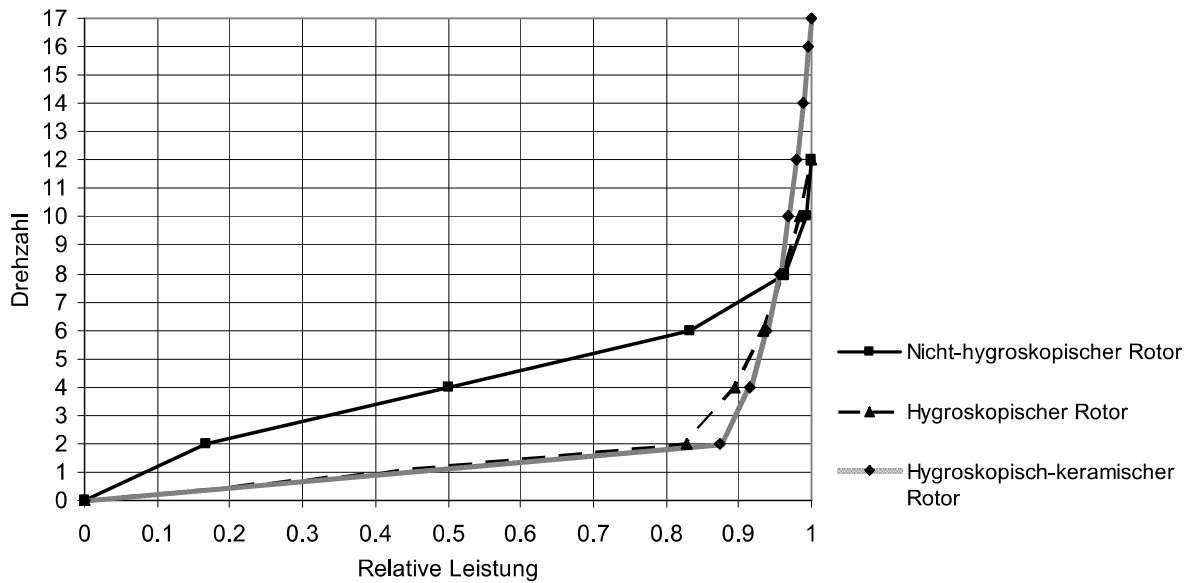
Die Antriebsleistung des Rotors ist proportional zur Drehzahl des Rotors:

$$P_{M,rot,i} = \frac{n_{rot,i}}{n_{rot,max}} \cdot P_{M,rot,max} \quad (107)$$

$n_{rot,i}$ aktuelle Rotordrehzahl
 $n_{rot,max}$ max. Rotordrehzahl
 $P_{M,rot,max}$ Antriebsleistung des Motors bei max. Drehzahl

Aus der relativen Übertragungsleistung $\eta_{rec,ta,i}/\eta_{rec,max}$ kann die Drehzahl, abhängig vom Rotortyp, mit Hilfe der Funktion in Figur 8 bestimmt werden. Dabei wird die Drehzahl nicht unter den Minimalwert $n_{rot,min}$ reduziert.

Figur 8 Abhängigkeit der Rotordrehzahl von der Leistungsreduktion



2.4.5.1.2 Kreislaufverbundsystem

Die aktuelle Pumpenleistung beträgt

$$P_{Pu,i} = \left(\frac{\eta_{rec,ta,i}}{\eta_{rec,max}} \right)^{2,5} \cdot P_{Pu,max} \cdot q_{V,ODA} \quad (108)$$

$P_{Pu,max}$ relative Pumpenantriebsleistung pro geförderten Volumenstrom, bei max. Drehzahl, in Wh/m³
 $q_{V,ODA}$ Aussenluft-Volumenstrom der Lüftungsanlage

Dabei wird die relative Übertragungsleistung (und damit die Pumpendrehzahl) nicht unter einen Minimalwert von $\left(\frac{\eta_{rec,i}}{\eta_{rec,max}} \right)_{min}$ reduziert. Typischer Wert: 0,5.

2.4.5.2 Befeuchtung

Die stündliche Leistungsaufnahme der Befeuchterpumpe berechnet sich auf der Grundlage der folgenden Standardwerte:

$$P_{Pu,hu,i} = q_{V,ODA,des} \cdot P_{el,hu,des} \cdot f_{hu,i} \quad (109)$$

$q_{V,ODA,des}$ Auslegungs-Aussenluftvolumenstrom des Befeuchtungssystems
 $P_{el,hu,des}$ spezifische Leistungsaufnahme der Befeuchterpumpen je m³/h Luftvolumenstrom (Tabelle 6)
 $f_{hu,i}$ aktueller Teillastfaktor der Pumpe

Tabelle 6 Spezifische Leistungsaufnahme und mögliche Regelungsarten der Befeuchterpumpen

	Spezifische Leistung $P_{el,hu,des}$ Wh/m ³	Regelung
Kontakt- und Rieselbefeuchter	0,01	ungeregelt und ventilgeregelt
Umlaufsprühbefeuchter	0,20	ungeregelt
	0,20	ventilgeregelt
	0,20	ein/aus
	0,20	drehzahlgeregelt
Hochdruckbefeuchter	0,04	drehzahlgeregelt
Hybridbefeuchter	0,02	ein/aus

Der Teillastfaktor berechnet sich in Abhängigkeit von der Regelung der Pumpe. Der Zusammenhang der Regelungsart mit dem Befeuchtertyp ist in Tabelle 6 angegeben.

Ungeregelter Betrieb oder Ventilregelung:

$$f_{hu,i} = 1 \quad (110)$$

Ein-/Aus-Regelung:

$$f_{hu,i} = \frac{q_{m,W,i}}{q_{m,W,N}} \quad (111)$$

Drehzahlregelung:

$$f_{hu,i} = \left(\frac{q_{m,W,i}}{q_{m,W,N}} \right)^{2,5} \quad (112)$$

2.5 Berechnung der Verluste und des Hilfsenergiebedarfs bei der Abgabe

2.5.1 Wärmeverluste

Die räumlichen und zeitlichen Temperaturschwankungen können von der thermischen Belastung abhängen. Da keine ausreichenden Daten vorliegen, werden diese Schwankungen in der vorliegenden Ausgabe dieses Merkblatts nicht berücksichtigt. Beispielwerte für Emissionsverluste für Heizung sind in 2.5.1.1, für Kühlung in 2.5.1.2 angegeben.

2.5.1.1 Emissionsverluste Heizung

Tabelle 7 Räumliche Schwankungen in Abhängigkeit von der Art des Wärmeemitters und entsprechende räumliche Abweichungsklasse

Klasse der räumlichen Schwankung	Emitter	Räumliche Abweichung für den Standort weniger als 4 m unterhalb der Decke K	Zusätzliche räumliche Abweichung bei Deckenhöhen von mehr als 4 m K/m
A	Fussbodenheizung	0,0	0,0
B	Kassettendecke, Hohlbalkendecke und Deckenstrahlungsheizung	0,5	0,2
C	Sonstige Emitter	0,5	0,4

Tabelle 8 Regelgenauigkeit

	Norm	Regelgenauigkeit $\Delta\theta_{ctr}$ K
Direkter elektrischer Emitter mit integriertem Regler	EN 60675	0,9
Thermostatisches Heizkörperventil	EN 215	1,2
Regeleinrichtung für einzelne Zone	EN 15500	$C_{a,H}$ in der Norm definiert und zertifiziert
Sonstige Regler, wenn Emission vollständig gestoppt werden kann		1,8
Sonstige Regler, wenn Emission nicht vollständig gestoppt werden kann		2,0

2.5.1.2 Emissionsverluste Kühlung

Tabelle 9 Räumliche Schwankungen in Abhängigkeit von der Art des Kälteemitters und entsprechende räumliche Abweichungsklasse

Klasse der räumlichen Schwankung	Emitter	Räumliche Abweichung für den Standort weniger als 4 m unterhalb der Decke K	Zusätzliche räumliche Abweichung bei Deckenhöhen von mehr als 4 m K/m
A	Kühldecke	0,0	0,0
B	Sonstige Emitter	0,0	-0,2
C	Kühlboden	-0,4	-0,4

Tabelle 10 Regelgenauigkeit

	Norm	Regelgenauigkeit $\Delta\theta_{ctr}$ K
Regeleinrichtung für einzelne Zone	EN 15500	$C_{a,c}$ in der Norm definiert und zertifiziert
Sonstige Regler, wenn Emission vollständig gestoppt werden kann		-1,8
Sonstige Regler, wenn Emission nicht vollständig gestoppt werden kann		-2,0

2.5.2 Hilfsenergie

Die Leistung der Hilfsgeräte für den Wärmeübergabeprozess im Raum wird wie folgt berechnet:

$$P_{em,aux} = P_{ctr} + P_{F,Pu} \quad (113)$$

$P_{em,aux}$ Leistung der Hilfsgeräte, in W

P_{ctr} Leistung des Regelungssystems, in W

$P_{F,Pu}$ Leistung der Gebläse und Zusatzpumpen, in W

Die Komponente $P_{F,Pu}$ ist nach Gleichung 114 einzusetzen.

$$P_{F,Pu} = n_F \cdot P_F + n_{Pu} \cdot P_{Pu} \quad (114)$$

n_F Anzahl der Lüfter-/Gebläseeinheiten

P_F Bemessungswert für den Elektroenergieverbrauch der Lüfter/Gebläse (aus Tabelle 12 oder entsprechenden Produktdaten zu entnehmen), in W

n_{Pu} Anzahl der Zusatzpumpen

P_{Pu} den Herstellerangaben zu entnehmende Leistung der Pumpen, in W

oder

$$P_{Pu} = 50 \cdot (\Phi_{H,a})^{0,08} \quad (115)$$

$\Phi_{H,a}$ Bemessungswert für den Elektroenergieverbrauch des Lufterhitzers, in W

Der Bemessungswert für den Elektroenergieverbrauch einer Zusatzpumpe darf nur angewendet werden, wenn der Hydraulikkreis des Lufterhitzers eine Zusatzpumpe erfordert (z. B. Injektionskreislauf), die nicht bereits bei der Betrachtung der Wärmeverteilung berücksichtigt wurde.

Die Betriebsdauer der Lüfter-/Gebläseeinheiten und/oder Pumpen wird der Betriebsdauer des Heizsystems gleichgesetzt.

Tabelle 11 Defaultwerte für die Hilfsenergie des Regelungssystems

Einflussgrößen		P_{ctr} W
Regelungssystem mit Hilfsenergie	Elektrisches Regelungssystem mit elektromotorischer Betätigung	0,1 (je Stellglied)
	Elektrisches Regelungssystem mit elektrothermischer Betätigung	0,1 (je Stellglied)
	Elektrisches Regelungssystem mit elektromagnetischer Betätigung	0,1 (je Stellglied)

Tabelle 12 Defaultwerte für die Hilfsenergie von Gebläsen für die Luftzufuhr zu Räumen mit einer Höhe $h \leq 4$ m

Einflussgrößen		P_F W
Lüfter/Gebläse	Gebläsekonvektor	10
	Gebläsekonvektor für E-Direktheizung	10
	Speicherheizung mit dynamischer Entnahme	12
	Speicherheizung mit kontinuierlicher dynamischer Entnahme	12
	Gebäudeklimageräte: DX-Inneneinheiten mit Luftverteilung über Luftleitungen und einzelne Entlüftungsvorrichtungen	30
	Gebäudeklimageräte: DX-Inneneinheiten mit Deckenkassetten	20
	Gebäudeklimageräte: DX-Inneneinheiten, Wandmontage	20
	Kaltwasser-Gebläsekonvektoren, Wand- und Deckenmontage, Kaltwasser 6°C	20
	Kaltwasser-Gebläsekonvektoren, Wand- und Deckenmontage, Kaltwasser 14°C	35
	Kaltwasser-Gebläsekonvektoren, Deckenmontage mit Luftverteilung über Luftleitungen, Kaltwasser 14°C	40

2.6 Berechnung der Wärme- und Kälteverteilung

2.6.1 Wärmeverluste

$$\Phi_{Is,dis} = \Delta T_i \cdot H_i \cdot f_{rec} + \Delta T_e \cdot H_e + \Delta T_\theta \cdot H_\theta \quad (116)$$

ΔT_i Differenz zwischen Systemtemperatur und beheizter Zone, in K

ΔT_e Differenz zwischen Systemtemperatur und Aussenbedingungen, in K

ΔT_θ Differenz zwischen Systemtemperatur und einer unconditionierten Zone mit einer Temperatur $\theta_{i,unc}$, in K

H_i Wärmetransferkoeffizient der Leitungen im konditionierten Bereich, in W/K

H_e Wärmetransferkoeffizient der Leitungen im Aussenbereich, in W/K

H_θ Wärmetransferkoeffizient der Leitungen im unconditionierten Bereich, in W/K

f_{rec} Rückgewinnfaktor

Der Rückgewinnfaktor wird auf 1 gesetzt, d.h. die Wärmeverluste im konditionierten Bereich als vollständig rückgewinnbar betrachtet und vernachlässigt.

Die Differenz der Systemtemperatur ergibt sich aus:

$$\Delta T_e = \left(\frac{\theta_{su} + \theta_{ret}}{2} - \theta_{e,i} \right) \cdot \frac{\Phi_{HC,i}}{\Phi_{HC,max}} \quad (117)$$

$$\Delta T_\theta = \left(\frac{\theta_{su} + \theta_{ret}}{2} - \theta_{i,unc} \right) \cdot \frac{\Phi_{HC,i}}{\Phi_{HC,max}} \quad (118)$$

θ_{su} Auslege-Vorlauftemperatur, in °C

θ_{ret} Auslege-Rücklauftemperatur, in °C

$\theta_{e,i}$ Aussenlufttemperatur zum Zeitpunkt i , in °C

$\theta_{i,unc}$ Raumtemperatur der unbeheizten Zone, in °C

$\Phi_{HC,i}$ geforderte Heiz- oder Kühlleistung der Zone zum Zeitpunkt i , in W

$\Phi_{HC,max}$ maximale Heiz- oder Kühlleistung der Zone, in W

Der Wärmetransferkoeffizient berechnet sich aus dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und der Rohrlänge.

$$H_e = \psi_e \cdot l_e \quad (119)$$

$$H_\theta = \psi_\theta \cdot l_\theta \quad (120)$$

ψ längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient, in W/(m·K)

l Länge des Verteilsystems im jeweiligen Bereich, in m

Ist die Länge des Verteilsystems bekannt, wird diese für die Berechnung eingesetzt. Sind keine Angaben vorhanden, kann die Länge für Heizsysteme nach (121) berechnet werden.

$$l_{\theta} = 2 \cdot l_L + 0,0325 \cdot l_L \cdot l_W + 6 \quad (121)$$

l_L Länge der Zone, in m

l_W Breite der Zone, in m

2.6.2 Hilfsenergie

$$P_{Pu,dis} = P_{hy,des} \cdot f_{eff} \quad (122)$$

$P_{Pu,dis}$ elektrische Leistung der Pumpe, in W

$P_{hy,des}$ hydraulische Leistung der Pumpe, in W

f_{eff} Effizienzfaktor der Pumpe

Ist der Effizienzfaktor f_{eff} der Pumpe bekannt, wird dieser in die Berechnung eingesetzt. Ohne genaue Angaben kann er wie folgt bestimmt werden:

$$f_{eff} = \left(1,25 + \left(\frac{200}{P_{hy,des}} \right)^{0,5} \right) \cdot f_{ctr} \cdot b \quad (123)$$

f_{ctr} Faktor für Adaptierbarkeit der Pumpe

Werte: Heizanlagen: 1,5

Kälteanlagen: 1,05 bis 1,2

b für Neubauten $b = 1$

für bestehende Bauten $b = 1,2$

Für alle Berechnungen sind die hydraulische Leistung und der Differenzdruck des Verteilsystems am Auslegungspunkt von Bedeutung. Die hydraulische Leistung ergibt sich wie folgt:

$$P_{hy,des} = 0,2778 \cdot \Delta p_{des} \cdot q_{V,des} \quad (124)$$

$q_{V,des}$ Volumenstrom am Auslegungspunkt, in m³/h

Δp_{des} Differenzdruck am Auslegungspunkt, in kPa

Der Durchfluss wird anhand der Auslegungs-Heiz- oder -Kühllast $\Phi_{HC,max}$ der Zone und der Auslegungstemperaturdifferenz $\Delta \theta_{dis,des}$ des Heizsystems berechnet:

$$q_{V,des} = \frac{\Phi_{HC,max}}{c \cdot \rho \cdot \Delta \theta_{dis,des}} \quad (125)$$

c spezifische Wärmekapazität, in kJ/(kg·K)

ρ Dichte, in kg/m³

$\Delta \theta_{dis,des}$ Auslegungstemperaturdifferenz, in K

Ist der Differenzdruck aus Messungen oder genauer Berechnung bekannt, wird für die Ermittlung der Energieverluste dieser Wert eingesetzt. Sind keine Werte bekannt, kann er vereinfacht anhand Gleichung 126 berechnet werden:

$$\Delta p_{des} = l_{max} \cdot \Delta p_L \cdot (1 + f_{sr}) \quad (126)$$

l_{max} für die Pumpenauslegung massgebende Leitungslänge, in m

Δp_L Druckverlust pro Leitungslänge, in kPa/m

f_{sr} Zuschlagsfaktor für Einzelwiderstände

Vereinfacht wird die maximale Leitungslänge bestimmt mit:

$$l_{max} = 2 \cdot \left(l_L + \frac{l_W}{2} + n_{fl} \cdot h_{fl} + l_c \right) \quad (127)$$

l_L Länge Gebäude bzw. betrachtete Zone

l_W Breite Gebäude bzw. betrachtete Zone

n_{fl} Anzahl Stockwerke

h_{fl} Stockwerkhöhe

l_c 10 m für Zweirohr-Heiz- und Kühlkreise, bei Einrohr-Heizungen $l_L + l_W$

Die Energie der Pumpe ergibt sich aus den Stundenwerten. Diese betragen

für einstufige Pumpen:

$$P_{Pu,dis,hy,i} = P_{hy,des} \quad (128)$$

für zweistufige Pumpen:

$$P_{Pu,dis,hy,i} = \begin{pmatrix} P_{hy,des}, & \text{wenn } \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} > 0,67 \\ P_{hy,des} \cdot 0,367, & \text{wenn } \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} \leq 0,67 \end{pmatrix} \quad (129)$$

für stufenlose Pumpen:

$$P_{Pu,dis,hy,i} = P_{hy,des} \cdot \max \left(0,2; \left(\frac{\Phi_i}{\Phi_{max}} \right)^{2,5} \right) \quad (130)$$

Φ_i Wärmeleistung des Verteilsystems im Zeitpunkt i

Φ_{max} maximale Wärmeleistung des Verteilsystems

Faktor 0,367 = $0,67^{2,5}$

2.7 Kälteerzeugung

2.7.1 Kältemaschinen

Die elektrische Leistungsaufnahme der Kältemaschine beträgt

$$P_{C,gen} = \frac{\Phi_{C,gen}}{\eta_{COP,C}} \quad (131)$$

$\Phi_{C,gen}$ aktuelle Wärmeaufnahmeleistung der Kältemaschine aus dem Kaltwassernetz

$\eta_{COP,C}$ aktuelle Leistungszahl der Kältemaschine

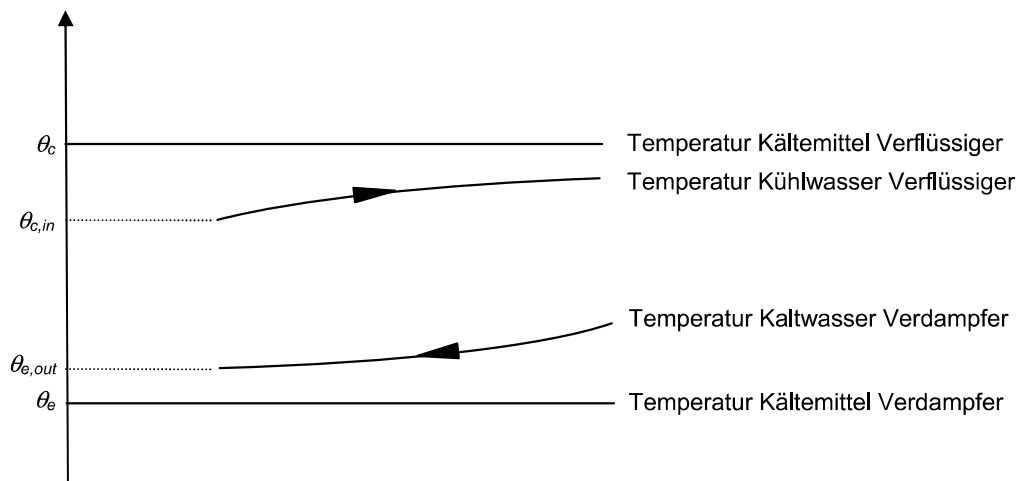
$$\eta_{COP,C} = \frac{273 + \theta_{e,out} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in} - \theta_{e,out} + \Delta\theta_{cor}} \cdot (a \cdot f_{PLR}^3 + b \cdot f_{PLR}^2 + c \cdot f_{PLR} + d) \quad (132)$$

$\theta_{e,out}$ Verdampfer-Austrittstemperatur des Kaltwassers

$\theta_{c,in}$ Verflüssiger-Eintrittstemperatur des Kühlwassers

$\Delta\theta_{cor}$ Korrektur-Temperaturdifferenz, um von der Differenz zwischen Verdampfer-Austrittstemperatur und Verflüssiger-Eintrittstemperatur auf den Temperaturhub des Kältemittels zu korrigieren; Erklärung in Figur 9

Figur 9 Temperaturdiagramm Kältemaschine



$$\Delta\theta_{cor} = (\theta_c - \theta_e) - (\theta_{c,in} - \theta_{e,out}) \quad (133)$$

Vereinfachend wird angenommen, dass diese Differenz konstant bleibt und gleichmässig auf die beiden Wärmeübertrager verteilt ist. Sie ist ermittelbar, wenn nebst den 4 Betriebspunkten gemäss ARI/ESEER ein weiterer Betriebspunkt bekannt ist. Idealerweise ist dieser Betriebspunkt bei einem der ARI/ESEER-Teillastverhältnisse (z.B. 50%), aber einer anderen Kondensator-Eintrittstemperatur (z.B. jener von ARI/ESEER 100%). Dann wird

$$\Delta\theta_{cor} = \frac{\eta_{COP,C,1} \cdot \theta_{c,in,1} - \theta_{c,in,2}}{\eta_{COP,C,2} - \frac{\eta_{COP,C,1}}{\eta_{COP,C,2}}} + \theta_{e,out} \quad (134)$$

f_{PLR} Teillastverhältnis

$$f_{PLR} = \frac{\Phi_{C,gen}}{\Phi_{C,gen,N}} \quad (135)$$

$\Phi_{C,gen,N}$ Nenn-Wärmeaufnahmeleistung der Kältemaschine

a, b, c, d Koeffizienten; diese können mit dem linearen Gleichungssystem 136 bestimmt werden, wenn die $\eta_{COP,C}$ -Werte bei 4 Betriebspunkten bekannt sind, z.B. diejenigen bei den gemäss ARI oder ESEER gemessenen Betriebszuständen.

$$a + b + c + d = \frac{\eta_{COP,C,100}}{\left(\frac{273 + \theta_{e,out,100} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in,100} - \theta_{e,out,100} + \Delta\theta_{cor}} \right)}$$

$$a \cdot 0,75^3 + b \cdot 0,75^2 + c \cdot 0,75 + d = \frac{\eta_{COP,C,n,75}}{\left(\frac{273 + \theta_{e,out,75} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in,75} - \theta_{e,out,75} + \Delta\theta_{cor}} \right)} \quad (136)$$

$$a \cdot 0,5^3 + b \cdot 0,5^2 + c \cdot 0,5 + d = \frac{\eta_{COP,C,n,50}}{\left(\frac{273 + \theta_{e,out,50} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in,50} - \theta_{e,out,50} + \Delta\theta_{cor}} \right)}$$

$$a \cdot 0,25^3 + b \cdot 0,25^2 + c \cdot 0,25 + d = \frac{\eta_{COP,C,n,25}}{\left(\frac{273 + \theta_{e,out,25} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in,25} - \theta_{e,out,25} + \Delta\theta_{cor}} \right)}$$

Für bestimmte Regelungs-Entscheide, z.B. die Ermittlung des Umschaltpunktes trocken/nass bei Hybrid-Rückkühlern, kann es notwendig sein, die maximal verfügbare Wärmeaufnahmeleistung der Kältemaschine bei den aktuellen Betriebsbedingungen zu kennen. Diese kann aus der Nenn-Wärmeaufnahmeleistung gemäss Gleichung 137 ermittelt werden.

$$\dot{Q}_{C,gen,max} = \dot{Q}_{C,gen,n} \cdot \frac{\frac{273 + \theta_{e,out} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in} - \theta_{e,out} + \Delta\theta_{cor}}}{\frac{273 + \theta_{e,out,n} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in,n} - \theta_{e,out,n} + \Delta\theta_{cor}}} \quad (137)$$

2.7.2 Rückkühlwerke

Die Energiebilanzabschätzung der Wärmeabfuhr erfolgt auf der Grundlage des für die jeweilige Auslegung der Rückkühlrichtung spezifischen Bedarfs an elektrischer Energie $q_{R,el}$ und eines stündlichen Nutzungsfaktors $f_{R,av}$ des Rückkühlsystems.

$$P_{rc,el} = \Phi_{rc,N} \cdot p_{rc,el} \cdot f_{ctr,i} \quad (138)$$

$P_{rc,el}$ elektrischer Leistungsbedarf des Rückkühlsystems zur Stunde i , in kW
 $\Phi_{rc,N}$ Nennleistung der Rückkühlung, in kW
 $p_{rc,el}$ spezifischer elektrischer Energiebedarf des Rückkühlsystems, in kW/kW
 $f_{ctr,i}$ Nutzungsfaktor der Rückkühlung zur Stunde i

Tabelle 13 Spezifischer elektrischer Energiebedarf $q_{R,el}$ von Wärmeabfuhrsystemen

	Kühlturm oder Verdampfungs-kondensator (einschliesslich Sprühwasserpumpen)		Trockenkühler
	geschlossener Kreis	offener Kreis	
$q_{R,el}$ in kW/kW			
ohne zusätzlichen Schalldämpfer (Axialventilator)	0,033	0,018	0,045
mit zusätzlichem Schalldämpfer (Radialventilator)	0,040	0,021	–

$$f_{ctr,i} = \left(\frac{q_{v,a,i}}{q_{v,a,max}} \right)_i^2 \quad (139)$$

$\left(\frac{q_{v,a,i}}{q_{v,a,max}} \right)_i$ Teillast-Luftvolumenstrom-Verhältnis des Wärmeabfuhrsystems im Zeitintervall i

2.7.2.1 Kühlturm oder Verdampfungskondensator

$$\left(\frac{q_{v,a,i}}{q_{v,a,max}} \right)_{rc,e} = \frac{\ln \left(1 - \frac{\eta_{e,i}}{c_{rc}} \right) \cdot f_{V,min,i}}{\ln \left(1 - \frac{\eta_{e,N}}{c_{rc}} \right) \cdot f_{V,min,N}} \quad \text{mit} \quad \left(\frac{q_{v,a,i}}{q_{v,a,max}} \right)_{rc,e} \geq 0,25 \quad (140)$$

$\eta_{e,N}$ Temperaturverhältnis der Verdampfungswärmeabfuhr bei Nennleistung
 $f_{V,min,N}$ relativer Mindestluftvolumenstrom bei Nennleistung
 c_{rc} Kühlturmkonstante der Verdampfungswärmeabfuhrsysteme
 $f_{V,min,i}$ relativer Mindestluftvolumenstrom im Zeitintervall i
 $\eta_{e,i}$ Temperaturverhältnis des Verdampfungs-Umlaufkühlers im Zeitintervall i
 – Temperaturverhältnis bei maximaler Nennleistung $\eta_{ev} = 0,5$ (Kühlzonenbereich: 6 K, Grenzwert des Kühlunterschieds: 6 K)
 – relativer Mindestluftvolumenstrom bei Nennleistung $f_{V,min,N} = 0,87$
 – Kühlturmkonstante $c_{rc} = 0,8$

$$\eta_{e,i} = \frac{\theta_{W,rc,su,i} - \theta_{W,rc,ret,i}}{\theta_{W,rc,su,i} - \theta_{WB,i}} \quad (141)$$

$$f_{V,min,i} = -0,0162 \cdot \theta_{WB,i} + 1,2103 \quad (\text{mit } 10^\circ\text{C} \leq \theta_{WB,i} \leq 25^\circ\text{C}) \quad (142)$$

$\theta_{W,rc,su,i}$ Kühlwasser-Vorlauftemperatur des Wärmeabfuhrsystems im Zeitintervall i , in °C
 $\theta_{W,rc,ret,i}$ Kühlwasser-Rücklauftemperatur des Wärmeabfuhrsystems im Zeitintervall i , in °C
 $\theta_{WB,i}$ Feuchtkugeltemperatur der Aussenluft im Zeitintervall i , in °C

2.7.2.2 Trockenkühler

$$\left(\frac{q_{v,a,i}}{q_{v,a,max}} \right)_{rc} = \frac{(\theta_{W,rc,su,i} - \theta_{W,rc,ret,i}) \cdot (\theta_{W,rc,ret,N} - \theta_{ODA,N})}{(\theta_{W,rc,su,N} - \theta_{W,rc,ret,N}) \cdot (\theta_{W,rc,ret,i} - \theta_{ODA,i})} \quad \text{mit} \quad \left(\frac{q_{v,a,i}}{q_{v,a,max}} \right)_{rc} \geq 0,25 \quad (143)$$

$\theta_{W,rc,su,i}$	Kühlwasser-Vorlauftemperatur des Wärmeabfuhrsystems im Zeitintervall i , in °C
$\theta_{W,rc,su,N}$	Kühlwasser-Vorlauftemperatur des Wärmeabfuhrsystems bei Betrieb mit Nennkühlleistung, in °C
$\theta_{W,rc,ret,i}$	Kühlwasser-Rücklauftemperatur des Wärmeabfuhrsystems im Zeitintervall i , in °C
$\theta_{W,rc,ret,N}$	Kühlwasser-Rücklauftemperatur des Wärmeabfuhrsystems bei Betrieb mit Nennkühlleistung, in °C
$\theta_{ODA,N}$	Aussenlufttemperatur, bei der die Nennleistung bestimmt wird, in °C
$\theta_{ODA,i}$	Aussenlufttemperatur im Zeitintervall i , in °C

2.7.2.3 Hybridkühler

Die Berechnung von Hybrid-Rückkühlern erfolgt durch Anwendung der Modelle für Kühltürme (2.7.2.1) und Trockenkühler (2.7.2.2) im Wechsel. Wichtig ist dabei die Bestimmung des Umschaltpunktes (Einschalten der Besprühung). Dazu gibt es zwei Möglichkeiten:

- Die Besprühung wird ab einer bestimmten Aussenlufttemperatur eingeschaltet.
- Die Besprühung wird eingeschaltet, wenn der aktuelle Kälteleistungsbedarf die maximale Leistung der Kältemaschine gemäss Gleichung 135 übersteigt.

2.7.2.4 Free Cooling und Vorkühlung

Bei vorhandener Hydraulik und Regelung können die Rückkühler bei geeigneten Bedingungen im Direktkühlbetrieb unter Umgehung der Kältemaschine, oder der Kältemaschine vorgeschaltet zur Vorkühlung, betrieben werden. Eingabeparameter sind die entsprechenden Einschalt-Temperaturdifferenzen.

2.7.3 Erdsondenfelder

Erdsondenfelder zur direkten Kühlung werden gemäss EWS [4] berechnet. Im Rechenprogramm wird dazu eine Schnittstelle vorgesehen, welche die stündlichen Kühlleistungen und/oder Eintrittstemperaturen ins EWS überträgt und die Austrittstemperaturen und/oder Kühlleistungen zurückspeisen lässt.

2.8 Wärmeerzeugung

2.8.1 Heizkessel

2.8.1.1 Allgemeines

Die Berechnung erfolgt nach der Methode 2 gemäss Ziffer 5.3 «Fallspezifisches Kesselnutzungsgrad-Verfahren» in EN 15316-4-1, angewendet auf einen Zeitschritt von 1 Stunde.

Diese Methode beruht auf drei Messwerten aus der Kesselprüfung:

$\eta_{gen,N}$	Kesselwirkungsgrad bei Nennlast
$\eta_{gen,int}$	Kesselwirkungsgrad bei mittlerer Last (z.B. 30%)
$\Phi_{gen,ls,0}$	Kesselverlustleistung bei Nulllast (Stillstandsverluste)

Daraus werden die unter den aktuellen Betriebsbedingungen auftretenden Verluste bestimmt. Zwischen den drei Punkten dieser Verluste wird linear interpoliert. Das Prinzip der Methode ist in Figur 10 ersichtlich.

Analog wird der Hilfsenergiebedarf durch Interpolation zwischen drei Testwerten ermittelt.

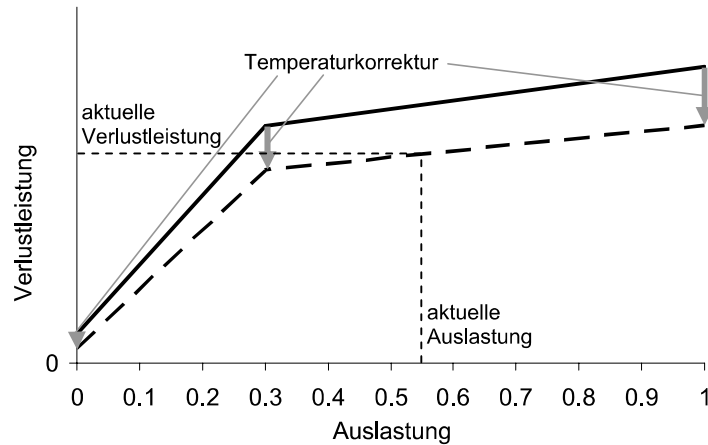
2.8.1.2 Bestimmung der Kesselauslastung

Die aktuelle vom Heizkessel zu produzierende Wärmeleistung beträgt

$$\Phi_{gen,out,i} = f_{ctr} \cdot \Phi_{H,dis,in,i} + \Phi_{W,dis,in,i} \quad (144)$$

f_{ctr}	Regelungsfaktor
$\Phi_{H,dis,in,i}$	aktuell ins Heizverteilsystem eingespeiste Wärmeleistung
$\Phi_{W,dis,in,i}$	aktuell ins Warmwasserverteilsystem eingespeiste Wärmeleistung

Figur 10 Prinzip der Methode



Die aktuelle Kesselauslastung beträgt somit

$$\beta_{gen} = \frac{\Phi_{gen,out,i}}{\Phi_{gen,N}} \quad (145)$$

mit der Nennleistung des Kessels $\Phi_{gen,N}$.

2.8.1.3 Korrektur der Wirkungsgrade und Verluste auf Grund der aktuellen Betriebsbedingungen

Die beiden Kesselwirkungsgrade $\eta_{gen,P,N}$ bei Nennlast und $\eta_{gen,P,int}$ bei mittlerer Last werden auf Grund der aktuellen Heizkesseltemperatur korrigiert gemäss

$$\eta_{gen,Px,cor,i} = \eta_{gen,Px} + f_{cor} \cdot (\theta_{gen,test} - \theta_{gen,i}) \quad (146)$$

f_{cor} Korrekturfaktor für die jeweilige Auslastung
 $\theta_{gen,test}$ mittlere Heizkessel-Wassertemperatur bei Testbedingungen
 $\theta_{gen,i}$ aktuelle mittlere Heizkessel-Wassertemperatur

Daraus wird dann der aktuelle Heizkessel-Wärmeverlust bei den beiden Lastfällen berechnet:

$$\Phi_{gen,ls,Px,cor,i} = \frac{(1 - \eta_{gen,Px,cor,i})}{\eta_{gen,Px,cor,i}} \Phi_{gen,N} \quad (147)$$

Die Temperaturkorrektur der Stillstandsverluste erfolgt nach

$$\Phi_{gen,ls,0,cor} = \Phi_{gen,ls,0} \cdot \left(\frac{\theta_{gen,i} - \theta_{i,bm}}{\Delta\theta_{gen,test,0}} \right)^{1,25} \quad (148)$$

$\theta_{i,bm}$ aktuelle Heizraumtemperatur
 $\Delta\theta_{gen,test,0}$ Temperaturdifferenz bei Testbedingungen

2.8.1.4 Interpolation

Die aktuelle Kessel-Verlustleistung ermittelt sich durch stückweise lineare Interpolation gemäss

$$\Phi_{gen,ls,i} = \frac{\Phi_{gen,out,i}}{\Phi_{gen,P,int}} (\Phi_{gen,ls,P,int,cor} - \Phi_{gen,ls,P0,cor}) + \Phi_{gen,ls,P0,cor} \quad (149a)$$

wenn $\Phi_{gen,out,i} \leq \Phi_{gen,P,int}$

$$\Phi_{gen,ls,i} = \frac{\Phi_{gen,out,i} - \Phi_{gen,P,int}}{\Phi_{gen,n} - \Phi_{gen,P,int}} (\Phi_{gen,ls,Pn,cor} - \Phi_{gen,ls,P,int,cor}) + \Phi_{gen,ls,P,int,cor} \quad (149b)$$

wenn $\Phi_{gen,out,i} > \Phi_{gen,P,int}$

2.8.1.5 Interpolation der Hilfsenergie

Der aktuelle Leistungsbedarf an elektrischer Hilfsenergie ermittelt sich durch stückweise lineare Interpolation gemäss

$$P_{aux,i} = \frac{\Phi_{gen,out,i}}{\Phi_{gen,int}} (P_{aux,int} - P_{aux,0}) + P_{aux,0} \quad \text{wenn } \Phi_{gen,out,i} \leq \Phi_{gen,int} \quad (150a)$$

$$P_{aux,i} = \frac{\Phi_{gen,out,i} - \Phi_{gen,int}}{\Phi_{gen,N} - \Phi_{gen,int}} (P_{aux,N} - P_{aux,int}) + P_{aux,int} \quad \text{wenn } \Phi_{gen,out,i} > \Phi_{gen,int} \quad (150b)$$

mit den drei Testwerten (aus EN 15456)

- $P_{aux,N}$ Hilfsleistung bei Nennleistung des Heizkessels
- $P_{aux,int}$ Hilfsleistung bei mittlerer Leistung des Heizkessels
- $P_{aux,0}$ Hilfsleistung bei Stillstand des Heizkessels

2.8.1.6 Rechenwerte

Rechenwerte für eine grosse Anzahl Gerätekategorien sind in Anhang B von EN 15316-4-1 gegeben.

2.8.2 Wärmepumpen

2.8.2.1 Allgemeines

Die Methode zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen lehnt sich an diejenige des Programms WPesti [5], [6] an. Diese Methode wiederum entspricht im Wesentlichen dem «Ausführlichen fallspezifischen Verfahren zur Berechnung der Jahresarbeitszahl auf der Grundlage der Daten zum Nutzungsgrad der Bauteile» gemäss Ziffer 5.3.5 und 5.3.6 von EN 15316-4-2, welche auf unterschiedliche «Bin»-Grössen anwendbar ist. Im Unterschied zu obigen Methoden werden die Leistungszahlen hier stündlich ermittelt.

Die benötigten Eingabedaten sind die unter Testbedingungen (Testergebnisse des WP-Testzentrums [7]), ermittelten Norm-COP-Werte und -Leistungen (gemäss EN 14511).

2.8.2.2 Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Quelltemperatur (Aussenlufttemperatur) wird in drei Bereiche unterteilt, welche den drei Norm-Messpunkten zugeordnet werden (Tabelle 14).

Tabelle 14 Bereiche der Aussenlufttemperatur und zugeordnete Norm-Messpunkte

Bereich	Bedingung	Norm-Messpunkt
1	$\theta_{a,e} < -1,5^\circ\text{C}$	A-7/W35
2	$-1,5^\circ\text{C} \leq \theta_{a,e} < 5,5^\circ\text{C}$	A2/W35
3	$5,5^\circ\text{C} \leq \theta_{a,e}$	A7/W35

A-7/W35 COP und Nennleistung bei Lufttemperatur -7°C und Vorlauftemperatur 35°C

A2/W35 COP und Nennleistung bei Lufttemperatur $+2^\circ\text{C}$ und Vorlauftemperatur 35°C

A7/W35 COP und Nennleistung bei Lufttemperatur $+7^\circ\text{C}$ und Vorlauftemperatur 35°C

Innerhalb des Temperaturbereichs wird dann der Norm-COP-Wert auf Grund der effektiven Betriebsparameter umgerechnet gemäss

$$\eta_{COP,i} = \eta_{COP,N} \cdot \frac{\left(273 + \theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2} + 4\right) \left(\theta_{su,n} - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2} + 4 - \theta_{sc,N} + 15\right)}{\left(273 + \theta_{su,N} - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2} + 4\right) \left(\theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2} + 4 - \theta_{sc,i} + 15\right)} \quad (151)$$

$\theta_{su,N}$ Nenn-Vorlauftemperatur bei den Testbedingungen des jeweiligen Norm-Messpunktes

$\theta_{su,i}$ aktuelle Vorlauftemperatur

$\Delta\theta_{spr,N}$ Temperaturspreizung bei den Testbedingungen des jeweiligen Norm-Messpunktes

$\Delta\theta_{spr,i}$ aktuelle Temperaturspreizung (in der Regel nicht die aktuelle stündliche Temperaturspreizung des Verteilsystems, sondern die Auslege-Temperaturspreizung, da nur die Betriebszeit der Wärmepumpe massgebend ist)

$\theta_{sc,N}$ Quelltemperatur bei den Testbedingungen des jeweiligen Norm-Messpunktes

$\theta_{sc,i}$ aktuelle Quelltemperatur

Konkret wird für die drei Bereiche die Umrechnung wie folgt

$$\text{Bereich 1: } \eta_{COP,i} = \eta_{COP,N} \cdot \frac{\left(277 + \theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2}\right) \left(61 - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2}\right)}{\left(312 - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2}\right) \left(\theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2} - \theta_{sc,i} + 19\right)} \quad (152a)$$

$$\text{Bereich 2: } \eta_{COP,i} = \eta_{COP,N} \cdot \frac{\left(277 + \theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2}\right) \left(52 - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2}\right)}{\left(312 - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2}\right) \left(\theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2} - \theta_{sc,i} + 19\right)} \quad (152b)$$

$$\text{Bereich 3: } \eta_{COP,i} = \eta_{COP,N} \cdot \frac{\left(277 + \theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2}\right) \left(47 - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2}\right)}{\left(312 - \frac{\Delta\theta_{spr,N}}{2}\right) \left(\theta_{su,i} - \frac{\Delta\theta_{spr,i}}{2} - \theta_{sc,i} + 19\right)} \quad (152c)$$

Die aktuell maximal zur Verfügung stehende Wärmeleistung wird gemäss Gleichung 153 ermittelt

$$\Phi_{gen,out,i,max} = \Phi_{gen,N} \cdot \frac{\eta_{COP,i}}{\eta_{COP,N}} \quad (153)$$

mit der Nennleistung und dem Nenn-COP des jeweiligen Bereichs.

Wenn der aktuelle Bedarf die maximale Leistung gemäss Gleichung 153 übersteigt, muss die Differenz durch eine zweite Wärmeerzeugung zur Verfügung gestellt werden (bivalent-paralleler Betrieb).

2.8.2.3 Erdsonden-Wärmepumpen

Die Einteilung in die drei Bereiche entfällt hier, und die Ausgangsdaten sind der COP und die Nennleistung bei Soletemperatur 0°C und Vorlauftemperatur 35°C (B0/W35). Die Umrechnung auf den aktuellen Betriebszustand erfolgt analog zur Luft-Wasser-Wärmepumpe gemäss Gleichung 151.

Die Quelltemperatur aus den Erdsonden kann extern mit dem Programm EWS [4] ermittelt werden. Näherungsweise wird sie konstant gehalten und kann gemäss Gleichung 154 bestimmt werden.

$$\theta_{sc,BHE} \approx 10 - \left(0,055 + 22 \cdot \left(0,4 + 0,6 \frac{2,5}{\lambda_G}\right) \cdot 0,006\right) \frac{\Phi_N (\eta_{COP,N} - 1)}{\eta_{COP,N} \cdot l_{BHE} \cdot n_{BHE}} - n_{BHE} \cdot 0,1 - \Delta\theta_{cor,N} \quad (154)$$

λ_G	Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs
Φ_N	Nennleistung B0/W35
$\eta_{COP,N}$	COP B0/W35
l_{BHE}	Länge der Erdsonden
n_{BHE}	Anzahl der Erdsonden

$$\Delta\theta_{cor,N} = \begin{cases} 0,25 \cdot n_{BHE} & \text{wenn } n_{BHE} < 6 \\ 2 & \text{wenn } n_{BHE} \geq 6 \end{cases} \quad (155)$$

Ein weiterer Eingabeparameter ist die Antriebsleistung der Erdsondenpumpe $P_{Pu,BHE}$. Diese ist unregelt und läuft immer, wenn die Wärmepumpe in Betrieb ist. Es ist zu berücksichtigen, dass die Leistung zur Überwindung des Druckabfalls im Verdampfer im COP der Wärmepumpe bereits enthalten ist. Ein Richtwert für diesen Anteil ist 4% der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe.

2.8.2.4 Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Die Quelltemperatur ist ein Eingabeparameter und kann als stündliches Profil oder als konstanter Wert vorgegeben werden. Die Einteilung in die drei Bereiche entfällt auch hier, und die Ausgangsdaten sind der COP und die Nennleistung bei Quellenwassertemperatur 10°C und Vorlauftemperatur 35°C (W10/W35). Die Umrechnung auf den aktuellen Betriebszustand erfolgt analog zur Luft-Wasser-Wärmepumpe gemäss Gleichung 151.

Ein weiterer Eingabeparameter ist die Antriebsleistung der Quellenwasserpumpe $P_{Pu,W,sc}$. Diese ist unreguliert und läuft immer, wenn die Wärmepumpe in Betrieb ist. Es ist zu berücksichtigen, dass die Leistung zur Überwindung des Druckabfalls im Verdampfer im COP der Wärmepumpe bereits enthalten ist. Ein Richtwert für diesen Anteil ist 4% der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe.

2.8.2.5 Trinkwarmwasser

Bei allen drei Wärmepumpentypen muss für die Trinkwassererwärmung die höhere Senktemperatur berücksichtigt werden. Dazu werden jeweils die Nennleistung und der COP bei einer Senktemperatur von 50°C benötigt (L7/W50, B0/W50 bzw. W10/W50). Die Umrechnung auf die effektiven Betriebsbedingungen geschieht analog zum Heizfall gemäss (151).

2.8.2.6 Elektrische Leistungsaufnahme

Die aktuelle von der Wärmepumpe aufgenommene elektrische Leistung ist

$$P_{gen,i} = \frac{\Phi_{H,dis,in,i}}{\eta_{COP,H,i}} + \frac{\Phi_{W,dis,in,i}}{\eta_{COP,W,i}} \quad (156)$$

2.8.3 Solarkollektoranlagen

Der Beitrag von Solarkollektoren wird hier nicht behandelt und kann mit einem externen Werkzeug wie Polysun [8] ermittelt werden. Im Rechenprogramm wird dafür eine Schnittstelle vorgesehen. Über diese können die stündlichen Lasten für Trinkwarmwasser und Raumheizung übergeben und die folgenden stündlichen Werte zurück gelesen werden:

- durch andere Erzeuger zu deckender Restbedarf für Heizung und Warmwasser,
- Hilfsenergieverbrauch für Pumpen, Ventile, Steuerung usw.

2.8.4 Weitere Erzeuger

Weitere Erzeuger wie WKK-Anlagen können mittels einer Teillast-Charakteristik, wie sie in EN 15316-4-4 beschrieben ist, berücksichtigt werden. Die Werte $\eta_{th,0}$ bis $\eta_{th,100}$ sind in 10%-Intervallen über den ganzen Lastbereich anzugeben und daraus eine Funktion zu bestimmen. Das gleiche gilt bei WKK-Anlagen für die elektrische Leistungsabgabe $P_{el,chp,0}$ bis $P_{el,chp,100}$.

Aus den stündlichen Lasten können mit diesen Funktionen die stündlichen Werte des Brennstoffbedarfs sowie die Beiträge an den elektrischen Leistungsbedarf bestimmt werden.

3 BESCHREIBUNG DER EINGABEGRÖSSEN DES STANDARD- BERECHNUNGSVERFAHRENS

3.1 Raum

3.1.1 Klimadaten

3.1.1.1 Jedem Gebäudestandort ist eine in derselben Klimaregion gelegene Klimastation mit ähnlicher Höhenlage und topografischer Lage gemäss SIA 2028 zuzuordnen. Als Eingabedaten für das Stundenverfahren werden die folgenden stündlichen Design-Reference-Year-Klimadaten (DRY) benötigt:

- Aussentemperatur θ_e (°C)
- relative Feuchte der Aussenluft φ_e (%)
- absolute Feuchte der Aussenluft x_e (g/kg)
- totale Solarstrahlung $I_{s,i}$ (W/m²) auf der horizontalen und vertikalen Fläche i (4 Haupt- und 4 Nebenhimmelsrichtungen)
- diffuse Strahlung $I_{D,i}$ (W/m²) auf der horizontalen und vertikalen Fläche i (4 Haupt- und 4 Nebenhimmelsrichtungen)
- Sonnenhöhe δ_{sol} (°)
- Sonnenazimut δ_{sol} (°)

3.1.1.2 Für die Berechnung des Leistungsbedarfs zur Auslegung der Heiz- und Kühlsysteme werden die Auslegungsklimadaten für den Heiz- und den Kühlfall gemäss SIA 2028 verwendet. Für den Heizfall wird eine Auslegungsperiode von 4 Tagen verwendet, für den Kühlfall je ein Auslegungstag für die Monate Juni, August und Oktober.

3.1.2 Raumabmessungen

3.1.2.1 Zu jedem Raum sind die Nettogeschossfläche sowie die Raumlänge, Raumtiefe und Raumhöhe als Innenabmessungen zu definieren. Dabei wird die Abmessung parallel zur Fassade als Raumlänge, jene senkrecht zur Fassade als Raumtiefe bezeichnet. Bei Eckräumen wird die längere Seite als Raumlänge, die kürzere als Raumtiefe bezeichnet.

3.1.2.2 Bei Räumen ohne rechtwinkligen Grundriss können die mittlere Raumlänge und/oder die mittlere Raumtiefe definiert werden, wobei die Nettogeschossfläche des Raumes dem effektiven Wert entsprechen muss.

3.1.2.3 Die Raumhöhe wird von der Bodenoberkante bis zur Deckenunterkante gemessen. Bei vollständig geschlossenen abgehängten Decken bilden diese die Deckenunterkante.

3.1.2.4 Bei Räumen mit unterschiedlichen Raumhöhen ist die mittlere Höhe massgebend, wobei das Netto-Raumvolumen dem effektiven Wert entsprechen muss.

3.1.3 Opake Bauteile und Wärmebrücken

3.1.3.1 Für opake Bauteilflächen werden die äusseren Abmessungen der thermischen Gebäudehülle verwendet. Die Bauteilabmessungen sind detailliert in SIA 416/1 definiert.

3.1.3.2 Die Berechnung der flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Werte) von opaken Bauteilen richtet sich nach SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.1.

3.1.3.3 Bei Bauteilen gegen nicht konditionierte Räume werden Reduktionsfaktoren gemäss SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.7, verwendet. Bauteile gegen nicht konditionierte, an das Erdreich angrenzende Räume sind wie Bauteile zu behandeln, die direkt an das Erdreich angrenzen (siehe 3.1.3.4).

3.1.3.4 Bei Bauteilen gegen Erdreich werden Reduktionsfaktoren gemäss SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.9, und für die Aussentemperatur θ_e (°C) die Monatsmittelwerte verwendet. Die mittlere Tiefe des Bauteils im Erdreich wird gemäss SIA 416/1 bestimmt. Bei Böden gegen Erdreich wird für das Verhältnis von Bodenfläche zum Umfang der Bodenplatte das gesamte Gebäude und nicht der einzelne Raum herangezogen.

3.1.3.5 Bei Bauteilen gegen benachbarte Räume mit konstanter Temperatur ist die Raumlufttemperatur θ_n (°C) des Nachbarräume zu verwenden.

3.1.3.6 Für die Länge von linearen Wärmebrücken gelten die Angaben in SIA 380/1, Ziffer 3.5.3.4. Die punkt- und längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten werden gemäss SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.4, berechnet.

3.1.3.7 Die Berechnung der spezifischen Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile erfolgt mit dem detaillierten Verfahren nach EN ISO 13786. Dabei sind die Wärmeübergangswiderstände zwischen Bauteiloberfläche und Raumluft bereits im Raummodell gemäss 2.1.3 berücksichtigt. Bei teilweise abgehängten Decken sind zudem die Vorgaben zur Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes in SIA 382/1, Anhang E, massgebend. Unter www.energytools.ch steht ein Rechenprogramm zur Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit gemäss EN ISO 13786 zur Verfügung.

3.1.3.8 Für die Berücksichtigung der solaren Wärmeeinträge durch opake Bauteile ist der solare Absorptionsgrad α_s und der Emissionsgrad ε_0 der aussen liegenden Bauteiloberflächen zu definieren.

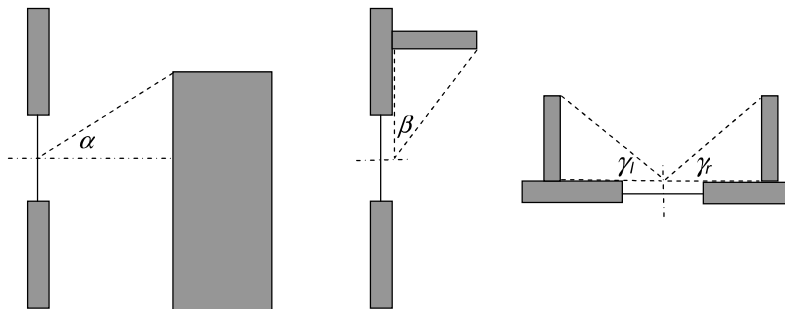
3.1.4 Fenster und Sonnenschutz

3.1.4.1 Für die Fensterfläche A_w gilt das lichte Mass der Wand- bzw. Dachöffnungen. Detaillierte Angaben zur Bemessung der Fensterflächen finden sich in SIA 416/1. Türen werden wie Fenster behandelt. Bei Vorhangfassaden ist anstelle der Fensterfläche die Glasfläche A_g massgebend.

3.1.4.2 Für die Berechnung der solaren Wärmeeinträge durch transparente Bauteile werden zudem die folgenden Eingabedaten benötigt:

- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung für senkrecht auftreffendes Licht g_{\perp} gemäss SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.10. Um den durchschnittlichen Einfallswinkel und den durchschnittlichen Grad der Verschmutzung zu berücksichtigen, wird der g_{\perp} -Wert für senkrecht auftreffendes Licht für alle Orientierungen um 10% reduziert ($g = 0,9 \cdot g_{\perp}$).
- Abminderungsfaktor für Fensterrahmen F_F gemäss SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.11.
- Horizontwinkel α , gemessen bezüglich der Fenstermitte.⁴
- Winkel β des Überhangs, gemessen bezüglich der Fenstermitte.
- Winkel der Seitenblenden links γ_l und rechts γ_r (bei Blick von innen nach aussen), gemessen bezüglich der Fenstermitte.
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} der Verglasung mit Sonnenschutz nach EN 13363-1.
- Grenzwert der totalen Solarstrahlung für die Sonnenschutzsteuerung $I_{s,set}$, ausgedrückt als Produkt der totalen Solarstrahlung an der Fensteraussenseite und dem g -Wert der Verglasung bei senkrecht einfallendem Licht. Sofern keine projektspezifischen Vorgaben bekannt sind, gilt für $I_{s,set}$ ein Standardwert von 90 W/m^2 .

Figur 11 Darstellung von Horizontwinkel α und Winkel des Überhangs β im Schnitt, Winkel der Seitenblenden γ_l und γ_r im Grundriss



3.1.4.3 Die flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (U -Werte) von Fenstern werden nach SIA 380/1, Ziffer 3.5.4.2, berechnet.

3.1.4.4 Die spezifische Wärmespeicherfähigkeit wird bei Fenstern vernachlässigt.

3.1.5 Beleuchtung

3.1.5.1 Wenn eine Beleuchtungsplanung bereits vorliegt, wird für die spezifische elektrische Leistung der Beleuchtung p_L die effektiv geplante oder installierte Systemleistung (Leistung der Leuchten inkl. Betriebsgeräte) pro Nettogeschossfläche verwendet. Wenn keine Planungswerte vorliegen, wird die spezifische elektrische Leistung der Beleuchtung gemäss SIA 380/4, Ziffer 3.3.2, berechnet. Dazu sind die in den folgenden Ziffern angegebenen Eingabedaten notwendig.

⁴ Der Horizontwinkel kann durch Topographie, Gebäude oder Bäume gebildet werden. In SIA 380/1 wird der Horizontwinkel fassadenweise und bezüglich der Fassadenmitte bestimmt.

- 3.1.5.2 Der Sollwert (Wartungswert) der Beleuchtungsstärke E_{vm} wird aus SIA 2024 für 44 verschiedene Raumnutzungen übernommen.
- 3.1.5.3 Beim Reflexionsgrad ρ der Raumboflächen (Decke, Wände, Boden) werden gemäss SIA 380/4, Ziffer 3.3.2.6.3, die folgenden 3 Standardkombinationen von Reflexionsgraden unterschieden:
- hell Decke 80%, Wände 50%, Boden 30%
 - normal Decke 70%, Wände 50%, Boden 20%
 - dunkel Decke 30%, Wände 30%, Boden 10%
- 3.1.5.4 Bezüglich Beleuchtungsregelung wird zwischen Präsenzmeldern und Tageslichtregelung unterschieden.
- Bei Präsenzmeldern wird unterschieden zwischen automatischer Ausschaltung und automatischer Ein- und Ausschaltung. Die Korrekturfaktoren für Präsenzmelder k_{Pr} hängen von der Raumnutzung ab und können aus SIA 380/4, Tabelle 33 übernommen werden.
- Bei der Tageslichtregelung werden die folgenden Varianten unterschieden:
- Konstantlichtregelung (mit Dimmer),
 - automatische Ein- und Ausschaltung aufgrund des Tageslichts,
 - manuelle Schaltung aufgrund des Tageslichts,
 - keine Tageslichtregelung.
- 3.1.5.5 Die im Raum verfügbare Tageslichtbeleuchtungsstärke E_{dl} wird gemäss 2.2.4.1 berechnet und entsprechend der gewählten Beleuchtungsregelung berücksichtigt.

3.1.6 Interne Wärme- und Feuchtequellen

- 3.1.6.1 Die nutzungsbedingten internen Wärme- und Feuchtequellen sind als stündliche Lastprofile zu definieren. Die Lastprofile müssen den typischen Tagesverlauf von Arbeits- und Ruhetagen sowie typische saisonale Schwankungen durch Ferienzeiten und Feiertage berücksichtigen.
- 3.1.6.2 Wärmeeinträge sind in W anzugeben. Zudem ist für jede Wärmequelle der Anteil der konvektiven Wärmeabgabe zu definieren. Die Feuchtequellen sind in g/s anzugeben.
- 3.1.6.3 Für die Wärme- und Feuchteabgabe durch Personen sind die Anzahl Personen bei Vollbelegung und deren nutzungsbedingter Aktivitätswert M massgebend. Die Wärme- und Feuchteabgabe bei Vollbelegung wird mit dem dimensionslosen Personenlastprofil multipliziert. Detaillierte Angaben zur Berechnung der Wärme- und Feuchteabgabe durch Personen in Abhängigkeit der Tätigkeit finden sich in SIA 382/1, Anhang B.
- 3.1.6.4 Bei Betriebseinrichtungen ist die durchschnittliche Wärme- und Feuchteabgabe über eine Stunde bei Auslegungsbedingungen massgebend. Die Wärme- und Feuchteabgabe bei Auslegungsbedingungen wird mit dem dimensionslosen Lastprofil der Betriebseinrichtungen multipliziert.
- 3.1.6.5 Neben der Feuchteabgabe durch Personen und Betriebseinrichtungen sind weitere Feuchtequellen wie Zimmerpflanzen und Sanitäreinrichtungen zu berücksichtigen. Angaben dazu finden sich in SIA 180, Ziffer 3.1.3, und SIA 380/4, Ziffer 3.4.4. Die dort angegebenen spezifischen Kennwerte müssen in g/s umgerechnet werden.
- 3.1.6.6 Sofern keine genaueren Planungswerte vorliegen, können für alle Wärme- und Feuchtequellen Standardwerte gemäss SIA 2024 verwendet werden.
- 3.1.6.7 Sofern keine genaueren Angaben vorliegen, wird für alle internen Wärmeeinträge ein konvektiver Anteil von 50% angenommen.

3.1.7 Lüftung

- 3.1.7.1 Die Vorgaben für die je nach Nutzung anzuwendenden Auslegungswerte für die Aussenluftfrate pro Person bzw. pro Nettogeschossfläche gemäss Norm SIA 382/1, Anhang A, dürfen nicht unterschritten werden.
- 3.1.7.2 Bei mechanischer Lüftung muss der Zuluftvolumenstrom $q_{V,SUP}$ und der Abluftvolumenstrom $q_{V,ETA}$ bei Auslegungszustand raumweise definiert werden. Zudem muss definiert werden, ob die Volumenstromregelung einstufig, zweistufig oder stufenlos erfolgt. Alternativ kann ein dimensionsloses Lüftungsprofil (Fahrplan) definiert werden. Zudem müssen die Zulufttemperatur $\theta_{V,SUP}$ und die Zuluftfeuchte $x_{V,SUP}$ in g/kg trockener Luft definiert sein. Modelle zur Berechnung von Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte in Abhängigkeit von der Art und Regelung der Lüftungsanlage finden sich in 2.4.4.5 und 2.4.4.6.

3.1.7.3 Bei Fensterlüftung wird gemäss dem angestrebten Lüftungszweck unterschieden zwischen hygienisch und thermisch bedingter Fensterlüftung.

Bei hygienisch bedingter Fensterlüftung wird angenommen, dass die Benutzer die Lüftungsflügel entsprechend dem hygienischen Aussenluftbedarf bedienen. Der Volumenstrom $q_{V,w}$ entspricht somit den an die effektive Personenbelegung angepassten Auslegungswerten für die Aussenluftfrate gemäss Ziffer 3.1.7.1.

Bei thermisch bedingter Fensterlüftung wird der Volumenstrom aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen innen und aussen berechnet. Als Eingabedaten müssen die Höhe und die Breite der Fensteröffnung sowie die Art des Fensterflügels (Drehflügel, Kippflügel) definiert werden.

3.1.7.4 Infiltration durch unkontrollierten Lufttritt wird als konstanter spezifischer Volumenstrom pro Nettogeschossfläche definiert. Falls keine genaueren Angaben vorliegen, können Standardwerte gemäss SIA 2024 eingesetzt werden.

3.1.8 Wärme- und Kälteabgabe

3.1.8.1 Für die im Raum installierten Wärme- und Kälteabgabesysteme werden die folgenden Eingabedaten benötigt:

- Konvektiver Anteil des Abgabesystems $f_{HC,cv}$ (Gleichung 58). Solange die Art des Abgabesystems nicht festgelegt ist, wird mit rein konvektiven Systemen gerechnet ($f_{HC,cv} = 1$). Falls die Art des Abgabesystems bekannt ist, aber keine genaueren Angaben dazu vorliegen, können die folgenden Richtwerte verwendet werden.

Tabelle 15 Richtwerte für den konvektiven Anteil von Wärme- und Kälteabgabesystemen

	Konvektiver Anteil $f_{HC,cv}$
Umluftgerät, Induktionsgerät	1
Kühldecke, Fussbodenheizung	0,5
Fussbodenkühlung, Heizdecke	0,1

- Maximal verfügbare Heizwärmeleistung $\Phi_{H,max}$ bzw. Klimakälteleistung $\Phi_{C,max}$ bei Auslegungsbedingung.
- Sollwerttemperaturen für den Heizfall $\theta_{a,set,H}$ und den Kühlfall $\theta_{a,set,C}$.
- Allfällige Regelabweichungen von der Sollwerttemperatur infolge von systembedingtem räumlichen Schwankungen der Raumtemperatur $\Delta\theta_{vs}$ oder infolge der Regelungenauigkeit $\Delta\theta_{ctr}$ im Heizfall ($\Delta\theta_{a,ctr,H}$) und im Kühlfall ($\Delta\theta_{a,ctr,C}$) sind gemäss 2.5.1 zu berücksichtigen.

3.1.8.2 Bei thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS) gemäss 2.2.7.3 werden die folgenden Eingabedaten benötigt:

- maximale Vorlauftemperatur des TABS im Winter $\theta_{TABS,su,max}$, in °C,
- minimale Vorlauftemperatur des TABS bei Auslegungsbedingung im Sommer $\theta_{TABS,su,min}$, in °C,
- mit TABS belegte Decken- oder Bodenfläche A_{TABS} , in m².

3.1.9 Kühlbedarf

Bei der Berechnung des Kühlbedarfs aufgrund hoher sommerlicher Raulufttemperaturen gemäss SIA 382/1, Ziffer 4.4.4, sind die standardisierten Eingabeparameter gemäss SIA 382/2, Tabelle 2 zu verwenden.

3.1.10 Befeuchtungsbedarf

Bei der Berechnung des Befeuchtungsbedarfs gemäss SIA 382/1, Ziffer 2.2.6, sind die standardisierten Eingabeparameter gemäss SIA 382/2, Tabelle 2 zu verwenden. Dabei ist der geforderte Aussenluftvolumenstrom pro Person bei Aussentemperaturen unter 0°C auf 15 m³/h zu reduzieren.

3.2 Lüftung

3.2.1 Geforderter Luftvolumenstrom

$q_{V,SUP,req}$ bzw. $q_{V,ETA,req}$ sind die jeweiligen Luftvolumenströme, die jedem einzelnen Raum zugeführt oder aus ihm abgeführt werden (siehe 2.4.1.3). Normalerweise wird $q_{V,SUP,req}$ verwendet. Die Werte hängen von der Nutzung ab und sind personenbezogen. Sie sind gemäss SIA 382/1 zu bestimmen. Bei fehlenden Angaben sind die Standardwerte gemäss SIA 2024 einzusetzen.

3.2.2 Lüftungseffektivität

Als Mass für den Gütegrad der Lüftung bezüglich des Abtransportes von Luftbeimengungen dient die Lüftungseffektivität.

Bei effizienten Systemen kann ε_V grösser als 1,0, bei Kurzschlussystemen kleiner als 1,0 sein.

Der Vorgabewert für ε_V ist 1, was vollständiger Durchmischung entspricht.

3.2.3 Verluste infolge Undichtheit der Lüftungsanlage

Die Leckagekoeffizienten für die Leitungsverluste $C_{du,lea}$ und $C_{AHU,lea}$ werden durch Wahl der Dichtheitsklasse des Kanalsystems und des Lüftungsgeräts gemäss Tabellen 2.1 und 2.2 in Ziffer 2.4.1.6 bestimmt. Die Dichtheitsklassen und Kriterien für die Wahl der Klasse sind in SIA 382/1, Ziffer 5.11, definiert.

$f_{A,i}$ Flächenanteil im konditionierten Bereich, in %

$f_{A,e}$ Flächenanteil ausserhalb des konditionierten Bereichs, in %

3.2.4 Wärmeverluste der Lüftungskanäle (Ziffer 2.4.2)

A_{ODA} Fläche der im unkonditionierten Bereich liegenden Aussenluftkanäle, in m^2

A_{SUP} Fläche der im unkonditionierten Bereich liegenden Zuluftkanäle, in m^2

U_{ODA} Wärmedurchgangskoeffizient der im unkonditionierten Bereich liegenden Aussenluftkanäle, in $W/(m^2 \cdot K)$

U_{SUP} Wärmedurchgangskoeffizient der im unkonditionierten Bereich liegenden Zuluftkanäle, in $W/(m^2 \cdot K)$

3.2.5 Energiebedarf für die Luftförderung (Ziffer 2.4.3)

$p_{F,req}$ spezifische Ventilator-Antriebsleistung bei Volllast, in Wh/m^3

Wahl der Regelung des Luftvolumenstroms gemäss Tabelle 16.

Tabelle 16 Arten der Regelung des Luftvolumenstroms

1	einstufig
2	zweistufig
3	stufenlos

$C_{ctr,PLR}$ Teillastfaktor der zweistufigen Regelung

$C_{ctr,min}$ minimaler Teillastfaktor der stufenlosen Regelung

Wahl der Art der Ventilatorregelung gemäss Tabelle 17.

Tabelle 17 Arten der Ventilatorregelung

1	Drehzahlregelung
2	variable Schaufelwinkel bei Axialventilatoren
3	Schlupfregelung

Wahl der Lage des Antriebsmotors gemäss Tabelle 18

Tabelle 18 Lage des Antriebsmotors

1	Motor im Luftvolumenstrom
2	Motor ausserhalb des Luftvolumenstroms

3.2.6 Wärmerückgewinnung

Wahl des Vereisungsschutzes gemäss Tabelle 19.

Tabelle 19 Varianten des Enteisungsschutzes

1	Erdregister / Erdsonde
2	Bypassschaltung
3	Erwärmung der Aussenluft
4	Umluft

Wahl der Bauform der Wärmerückgewinnung gemäss Tabelle 20.

Tabelle 20 Bauformen der Wärmerückgewinnung

1	Plattenwärmeübertrager
2	Rotor nicht hygroskopisch
3	Rotor hygroskopisch
4	Rotor sorptiv
5	Kreislaufverbundsystem

Platten- und Rotations-WRG: Rückwärmzahl $\eta_{rec,\theta}$ bei einer Anströmgeschwindigkeit von 2 m/s.

Kreislaufverbundsystem: Wahl des Niveaus der Nenn-Rückwärmzahl gemäss Tabelle 21.

Tabelle 21 Rückwärmzahl-Niveau für Kreislaufverbundsystem

1	obere Grenze
2	Mittel
3	untere Grenze

3.2.7 Regelung der Zulufttemperatur und -feuchte

Zulufttemperatur gemäss Tabelle 22.

Im Fall 2 ist eine lineare Funktion mit mehreren Abschnitten zu bestimmen.

Tabelle 22 Zulufttemperatur-Führung

1	konstant
2	gleitend nach θ_e

Zuluftfeuchte gemäss Tabelle 23.

Im Fall 3 ist eine lineare Funktion mit mehreren Abschnitten zu bestimmen.

Tabelle 23 Führung der absoluten Feuchte der Zuluft

1	keine Befeuchtung
2	konstant
3	gleitend nach θ_e

3.2.8 Hilfsenergiebedarf (Ziffer 2.4.5)

3.2.8.1 Rotations-WRG

$P_{M,rot,max}$ Antriebsleistung des Motors bei max. Drehzahl, in W

Minimale Drehzahl in Prozent der maximalen.

3.2.8.2 KVS-WRG

$p_{Pu,max}$ volumenstrombezogene Antriebsleistung der Umwälzpumpe bei max. Drehzahl, in Wh/m³

Minimale Drehzahl der Pumpe in Prozent der maximalen.

3.2.8.3 Befeuchtung

Wahl der Art des Befeuchters gemäss Tabelle 24.

Tabelle 24 Befeuchtertypen

1	Kontakt- und Rieselbefeuchter
2	Umlaufsprühbefeuchter
3	Hochdruckbefeuchter
4	Hybridbefeuchter

Wahl der Regelung der Befeuchterpumpe gemäss Tabelle 25.

Tabelle 25 Befeuchter-Regelungsarten

1	ungeregelt
2	ventilgeregelt
3	ein/aus
4	drehzahlgeregelt

3.3 Kühlung

3.3.1 Verluste bei der Wärmeabfuhr im Raum

$\Delta\theta_{vs}$ Abweichung von der Soll-Raumtemperatur infolge der räumlichen Schwankung der Temperatur, in K

$\Delta\theta_{ctr}$ Abweichung von der Soll-Raumtemperatur infolge der Regelungengenauigkeit, in K

3.3.2 Hilfsenergiebedarf bei der Wärmeabfuhr im Raum

n_F Anzahl der Lüfter-/Gebläseeinheiten mit Hilfsantrieb für die Wärmeabfuhr im Raum

n_{Pu} Anzahl der Zusatzpumpen für die Wärmeabfuhr im Raum

P_F elektrische Anschlussleistung der Lüfter/Gebläse, in W

P_{Pu} elektrische Anschlussleistung der Pumpen, in W

P_{ctr} elektrische Anschlussleistung des Regelungssystems, in W

3.3.3 Wärmeverluste bei der Verteilung

θ_{su} Auslege-Vorlauftemperatur des Verteilsystems, in °C

θ_{ret} Auslege-Rücklauftemperatur des Verteilsystems, in °C

ψ Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen, in W/(m·K)

$l_{dis,unc}$ gesamte Länge des Verteilsystems ausserhalb des konditionierten Bereichs, in m (falls bekannt; alternativ: die beiden folgenden Eingaben zu den Zonenabmessungen)

l_L Länge der Zone, in m

l_W Breite der Zone, in m

3.3.4 Hilfsenergiebedarf bei der Verteilung

f_{eff} Effizienzfaktor der Pumpe (falls bekannt)

Δp_L Druckverlust pro Leitungslänge, in kPa/m

f_{sr} Zuschlagsfaktor für Einzelwiderstände (dimensionslos)

l_{dis} gesamte Länge des längsten Strangs des Verteilsystems, in m (falls bekannt; alternativ: die 4 folgenden Eingaben zu den Zonenabmessungen)

h_{fl} Stockwerkhöhe der Zone, in m

n_{fl} Anzahl Stockwerke im Gebäude

l_L Länge der Zone, in m

l_W Breite der Zone, in m

3.3.5 Wahl des Kälteerzeugungssystems

Pro Kälteerzeuger (max. 3) Auswahl einer Variante gemäss Tabelle 26.

Tabelle 26 Auswahl des Kälteerzeugungssystems

Variante	Erzeuger 1
1	Kompressorkältemaschine
2	Rückkühler direkt
3	Erdsondenfeld
4	Grundwasser
6	Erdsondenfeld

3.3.6 Energiebedarf mit Kältemaschine

$\Phi_{C,gen,N}$ Nenn-Kälteleistung der Kältemaschine, in kW

Leistungszahlen der Kältemaschine bei vier Normbedingungen gemäss ARI 550/590 98 oder Eurovent 6-C003-2006 (ESEER), siehe Tabelle 27. Im Rechenprogramm können durch Wahl eines vorgegebenen Kältemaschinentyps aus einer beschränkten Auswahl vorgegebene Werte verwendet werden. Falls ein spezifischer, in der Auswahl nicht enthaltener Maschinentyp berechnet werden soll, müssen die Werte angegeben werden.

Tabelle 27 ARI- und ESEER-Normbedingungen für Teillast von Kältemaschinen

PLR	ARI Temperatur		ESEER Temperatur	
	Kondensator-Eintritt	Verdampfer-Austritt	Kondensator-Eintritt	Verdampfer-Austritt
100%	29,4°C	6,4°C	30,0°C	7,0°C
75%	23,9°C		26,0°C	
50%	18,3°C		22,0°C	
25%	18,3°C		18,0°C	

$\Delta\theta_{cor}$ Korrektur-Temperaturdifferenz in K. Alternativ kann der COP-Wert für einen fünften Betriebspunkt angegeben werden (z.B. bei PLR 50% und 29,4°C bzw. 30°C). Daraus kann $\Delta\theta_{cor}$ bestimmt werden.

3.3.7 Wahl des Rückkühlsystems

Auswahl einer Variante gemäss Tabelle 28.

Tabelle 28 Rückkühlssysteme

1	luftgekühlter Kondensator
2	Trockenrückkühler
3	Kühlturm oder Verdunstungskondensator
4	Hybridrückkühler

3.3.8 Rückkühlsystem

3.3.8.1 Alle Typen

$\Phi_{rc,N}$ Nennleistung der Rückkühlung, in kW

$p_{rc,el}$ auf die Nennleistung bezogener spezifischer elektrischer Leistungsbedarf des Rückkühlsystems, in kW/kW (bei Hybridrückkühlern: ohne Sprühpumpe)

3.3.8.2 Trockenrückkühler

$\theta_{a,e,N}$ Aussenlufttemperatur, bei der die Nennleistung bestimmt wird, in °C

3.3.8.3 Verdunstungs- und Hybridkühler

$\theta_{WB,e,N}$ Feuchtkugeltemperatur der Aussenluft, bei der die Nennleistung bestimmt wird, in °C

3.3.8.4 Hybridrückkühler

$p_{Pu,el}$ spezifischer elektrischer Leistungsbedarf der Sprühpumpe, in kW/kW

Regelungsart des Sprühbetriebs: Auswahl einer Variante gemäss Tabelle 29

Tabelle 29 Regelungsarten des Sprühbetriebs bei Hybridrückkühlern

1	maximale Leistung
2	Temperatur

$\theta_{a,e,ctr,Pu}$ Aussenlufttemperatur, bei deren Überschreitung die Sprühpumpe eingeschaltet wird, in °C (nur bei Wahl 2)

3.3.8.5 Rückkühlkreis (bei Trockenrückkühler, Verdunstungskondensator oder Hybridrückkühler)

$\Delta\theta_{ctr,rc}$ Temperaturdifferenz für Rückkühlkreis-Betrieb («Kühlgrenzabstand»), in K

Die übrigen Parameter werden wie bei anderen Wasserkreisen (3.3.3 und 3.3.4) bestimmt.

3.3.9 Betriebsart des mechanischen Kühlung

Auswahl einer Variante gemäss Tabelle 30.

Tabelle 30 Betriebsarten der Kälteanlage

1	reiner Rückkühlbetrieb
2	Freecooling (Direktkühlung über Rückkühlwerk ohne Kältemaschine)
3	Freecooling und Vorkühlung über Rückkühlwerk

3.3.9.1 Einschaltkriterium für Freecooling-Betrieb und Vorkühlung

$\Delta\theta_{ctr,fc}$ Temperaturdifferenz, bei welcher sich der Freecooling-Betrieb bzw. die Vorkühlung einschaltet.

Bedeutung:

Freecooling: Differenz zwischen Kaltwasservorlauf und Aussentemperatur

Vorkühlung: Differenz zwischen Kaltwasserrücklauf und Aussentemperatur

3.3.10 Erdsonden

Die relevanten Eingabeparameter sind dem Programm EWS [4] zu entnehmen.

3.4 Heizung

3.4.1 Abgabe und Verteilung

Die Ziffern 3.3.1 bis 3.3.4 gelten auch für die Heizungsabgabe und -verteilung

3.4.2 Warmwasser

Bei kombinierter Erzeugung für Heizung und Warmwasser wird der Speicherladekreis als Verteilsystem berechnet.

3.4.3 Wahl des Wärmeerzeugungssystems

Pro Wärmeerzeuger (max. 3) Auswahl einer Variante gemäss Tabelle 31.

Tabelle 31 Auswahl des Wärmeerzeugungssystems

Variante	Erzeuger 1
1	Heizkessel Öl
2	Heizkessel Gas
3	Heizkessel Biomasse
4	Luft-Wasser-Wärmepumpe
5	Erdsonden-Wärmepumpe
6	Wasser-Wasser-Wärmepumpe
7	WKK-Anlage Gas
8	Elektrisch direkt

Entscheid, ob ein Solarbeitrag berechnet wird (über Schnittstelle)

3.4.4 Heizkessel

$\Phi_{H,gen,N}$	Nenn-Wärmeleistung des Heizkessels, in kW
$\eta_{gen,N}$	Kesselwirkungsgrad bei Nennlast
$f_{cor,N}$	Korrekturfaktor für den Kesselwirkungsgrad bei Volllast
$\theta_{gen,test,N}$	mittlere Heizkessel-Wassertemperatur bei Testbedingungen unter Volllast, in °C
$\Phi_{gen,int}$	Wärmeleistung des Heizkessels bei mittlerer Last, in kW
$\eta_{gen,int}$	Kesselwirkungsgrad bei mittlerer Last
$f_{cor,int}$	Korrekturfaktor für den Kesselwirkungsgrad bei mittlerer Last
$\theta_{gen,test,int}$	mittlere Heizkessel-Wassertemperatur bei Testbedingungen bei mittlerer Last, in °C
$\Phi_{gen,N,ls,0}$	Stillstandsverlust unter Testbedingungen, in W
$\Delta\theta_{gen,test,0}$	Temperaturdifferenz für Stillstandsverlust bei Testbedingungen, in K
$P_{aux,N}$	elektrische Leistung für Hilfsantriebe bei Nennleistung des Heizkessels, in W
$P_{aux,int}$	elektrische Leistung für Hilfsantriebe bei mittlerer Leistung des Heizkessels, in W
$P_{aux,0}$	elektrische Leistung für Hilfsantriebe bei Stillstand des Heizkessels, in W
$\theta_{gen,op,min}$	minimale Betriebstemperatur des Heizkessels, in °C

3.4.5 Luft-Wasser-Wärmepumpen

$\Phi_{H,gen,A-7/W35}$	Nenn-Wärmeleistung in kW bei Lufttemperatur -7°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\eta_{COP,A-7/W35}$	COP bei Lufttemperatur -7°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\Phi_{H,gen,A2/W35}$	Nenn-Wärmeleistung in kW bei Lufttemperatur 2°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\eta_{COP,A2/W35}$	COP bei Lufttemperatur 2°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\Phi_{H,gen,A7/W35}$	Nenn-Wärmeleistung in kW bei Lufttemperatur 7°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\eta_{COP,A7/W35}$	COP bei Lufttemperatur 7°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\eta_{COP,A7/W50}$	COP bei Lufttemperatur 7°C und Vorlauftemperatur 50°C
$\Delta\theta_{spr,N}$	Temperaturspreizung bei Testbedingungen, in K

3.4.6 Erdsonden-Wärmepumpen

$\Phi_{H,gen,B0/W35}$	Nenn-Wärmeleistung bei Soletemperatur 0°C und Vorlauftemperatur 35°C, in kW
$\eta_{COP,B0/W35}$	COP bei Soletemperatur 0°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\eta_{COP,B0/W50}$	COP bei Soletemperatur 0°C und Vorlauftemperatur 50°C
$\Delta\theta_{spr,N}$	Temperaturspreizung bei Testbedingungen, in K
n_{BHE}	Anzahl der Erdsonden
l_{BHE}	Länge der Erdsonden, in m
λ_G	Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs, in W/(m·K)
$P_{Pu,BHE}$	Antriebsleistung der Erdsondenpumpe, in W

3.4.7 Wasser-Wasser-Wärmepumpen

$\Phi_{H,gen,W10/W35}$	Nenn-Wärmeleistung bei Quellenwassertemperatur 10°C und Vorlauftemperatur 35°C, in kW
$\eta_{COP,W10/W35}$	COP bei Quellenwassertemperatur 10°C und Vorlauftemperatur 35°C
$\eta_{COP,W10/W50}$	COP bei Quellenwassertemperatur 10°C und Vorlauftemperatur 50°C
$\Delta\theta_{spr,N}$	Temperaturspreizung bei Testbedingungen, in K
$\theta_{W,sc}$	Temperatur der Wärmequelle, in °C (alternativ: stündliche Werte aus Datei)
$P_{Pu,sc}$	Antriebsleistung der Quellenwasserpumpe, in W

3.4.8 Solarkollektoren

Die relevanten Eingabeparameter sind dem Programm Polysun [8] zu entnehmen.

3.4.9 Weitere Erzeuger

$\eta_{th,0}$ bis $\eta_{th,100}$	thermischer Wirkungsgrad in 10%-Intervallen über den ganzen Lastbereich
$P_{el,chp,0}$ bis $P_{el,chp,100}$	elektrische Leistungsabgabe in 10%-Intervallen über den ganzen Lastbereich (bei WKK)

Anhang A (normativ) Vorgabewerte (Defaultwerte) für die Berechnung

A.1 Lüftung

Geforderter Luftvolumenstrom	$q_{V,SUP,req}$ bzw. $q_{V,ETA,req}$		SIA 2024
Lüftungseffektivität	ε_V		1
Dichtheitsklasse des Kanalsystems			A
Dichtheitsklasse des Lüftungsgeräts			L1
Flächenanteil innerhalb des konditionierten Bereichs	$f_{A,i}$	%	projektspezifisch
Flächenanteil ausserhalb des konditionierten Bereichs	$f_{A,e}$	%	0
Wärmedurchgangskoeffizienten der im konditionierten Bereich liegenden Aussenluftkanäle	U_{ODA}	W/(m ² ·K)	0,2
Wärmedurchgangskoeffizient der im konditionierten Bereich liegenden Zuluftkanäle	U_{SUP}	W/(m ² ·K)	0,5
Ventilator-Antriebsleistung bei Vollast, Zuluft	$p_{F,req,SUP}$	Wh/m ³	0,20
Ventilator-Antriebsleistung bei Vollast, Abluft	$p_{F,req,ETA}$	Wh/m ³	0,14
Regelung des Luftvolumenstroms			einstufig
Reduktionsfaktor des Volumenstroms bei zweistufigem Betrieb	$C_{ctr,PLR}$		0,66
Minimaler Reduktionsfaktor des Volumenstroms bei stufenlosem Betrieb	$C_{ctr,min}$		0,2
Art der Ventilatorregelung			Drehzahlregelung
Lage des Antriebsmotors			Motor im Luftvolumenstrom
Wahl des Vereisungsschutzes			Bypassschaltung
Bauform der Wärmerückgewinnung			Plattenwärmeübertrager
Rückwärmzahl bei einer Anströmgeschwindigkeit von 2 m/s	$\eta_{rec,\theta}$		0,75
Regelung der Zulufttemperatur			konstant
Regelung der Zuluftfeuchte			keine Befeuchtung
Rotations-WRG: Antriebsleistung des Motors bei max. Drehzahl	$P_{M,rot,max}$	W	120
Rotations-WRG: minimale Drehzahl in Prozent der maximalen	%		20
KVS-WRG: volumenstrombezogene Antriebsleistung der Umwälzpumpe bei max. Drehzahl	$p_{Pu,max}$	Wh/m ³	0,03
KVS-WRG: minimale Drehzahl der Pumpe in Prozent der maximalen		%	50
Wahl der Art des Befeuchters			Kontakt-/Rieselbefeuchter
Wahl der Regelung der Befeuchterpumpe			ungeregelt

A.2 Kühlung

Abweichung von der Soll-Raumtemperatur infolge der räumlichen Schwankung der Temperatur	$\Delta\theta_{vs}$	K	0					
Abweichung von der Soll-Raumtemperatur infolge der Regelungenauigkeit	$\Delta\theta_{ctr}$	K	-1,8					
Anzahl der Lüfter-/Gebläseeinheiten mit Hilfsantrieb für die Wärmeabfuhr im Raum	n_F		0					
Anzahl der Zusatzpumpen für die Wärmeabfuhr im Raum	n_{Pu}		0					
Elektrische Anschlussleistung des Regelungssystems	p_{ctr}	W	10					
Auslege-Vorlauftemperatur des Verteilsystems	θ_{su}	°C	13					
Auslege-Rücklauftemperatur des Verteilsystems	θ_{ret}	°C	16					
Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	ψ	W/(m·K)	0,2					
Stockwerkhöhe der Zone	h_{fl}	m	projektspezifisch					
Anzahl Stockwerke im Gebäude	n_{fl}		projektspezifisch					
Länge der Zone	l_L	m	projektspezifisch					
Breite der Zone	l_W	m	projektspezifisch					
Effizienzfaktor der Pumpe	f_{eff}		3					
Druckverlust pro Leitungslänge	$\Delta\rho_L$	kPa/m	0,1					
Zuschlagsfaktor für Einzelwiderstände	f_{sr}		0,3					
Regelung der Zirkulationspumpe			einstufig					
Wahl des Kälteerzeugungssystems			Kompressorkältemaschine					
Nenn-Wärmeaufnahmeleistung der Kältemaschine	$\Phi_{C,gen,N}$	kW	aus Lastberechnung					
Leistungszahlen der Kältemaschine	$\eta_{COP,C}$		PLR	Temperatur °C		$\eta_{COP,C}$		
				Kondensator-Eintritt	Verdampfer-Austritt			
				100%	32		10	5
				75%	25			5,8
				50%	18			7,1
25%	18	5,8						
Korrektur-Temperaturdifferenz	$\Delta\theta_{cor}$	K	25					
Wahl des Rückkühlsystems			luftgekühlter Kondensator					
Nennleistung der Rückkühlung	$\Phi_{rc,N}$	kW	aus Lastberechnung und $\eta_{COP,C}$					
Spezifischer elektrischer Leistungsbedarf des Rückkühlsystems (bei Hybridrückkühlern: ohne Sprühpumpe)	$p_{rc,el}$	kW/kW	0,063					
Aussenlufttemperatur, bei der die Nennleistung bestimmt wird	$\theta_{a,e,N}$	°C	SIA 2028, Auslegungsdaten					
Feuchtkugeltemperatur der Aussenluft, bei der die Nennleistung bestimmt wird	$\theta_{WB,e,N}$	°C	SIA 2028, Auslegungsdaten					
Spezifischer elektrischer Leistungsbedarf der Sprühpumpe	$p_{Pu,el}$	kW/kW	0,006					
Regelungsart des Sprühbetriebs			maximale Leistung					
Aussenlufttemperatur, bei deren Überschreitung die Sprühpumpe eingeschaltet wird	$\theta_{a,e,ctr,Pu}$	°C	22					
Temperaturdifferenz für Rückkühlkreis-Betrieb («Kühlgrenzabstand»)	$\Delta\theta_{a,ctr,rc}$	K	6					
Betriebsart des Kältesystems			reiner Rückkühlbetrieb					
Temperaturdifferenz, bei welcher sich der Free-cooling-Betrieb bzw. die Vorkühlung einschaltet	$\Delta\theta_{a,ctr,fc}$	K	4					

A.3 Heizung

Abweichung von der Soll-Raumtemperatur infolge der räumlichen Schwankung der Temperatur	$\Delta\theta_{vs}$	K	0
Abweichung von der Soll-Raumtemperatur infolge der Regelgenauigkeit	$\Delta\theta_{a,ctr}$	K	1,8
Anzahl der Lüfter-/Gebläseeinheiten mit Hilfsantrieb für die Wärmeabgabe im Raum	n_F		0
Anzahl der Zusatzpumpen für die Wärmeabgabe im Raum	n_{Pu}		0
Elektrische Anschlussleistung des Regelungssystems	p_{ctr}	W	10
Auslege-Vorlauftemperatur des Verteilsystems	θ_{su}	°C	13
Auslege-Rücklauftemperatur des Verteilsystems	θ_{ret}	°C	16
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	ψ	W/(m·K)	0,2
Stockwerkhöhe der Zone	h_{fl}	m	projektspezifisch
Anzahl Stockwerke im Gebäude	n_{fl}		projektspezifisch
Länge der Zone	l_L	m	projektspezifisch
Breite der Zone	l_W	m	projektspezifisch
Effizienzfaktor der Pumpe	f_{eff}		3
Druckverlust pro Leitungslänge	Δp_L	kPa/m	0,1
Zuschlagsfaktor für Einzelwiderstände	f_{sr}		0,3
Regelung der Zirkulationspumpe			einstufig
Wahl des Wärmeerzeugungssystems			Luft-Wasser-Wärmepumpe
Wahl des Brennstoffs			Gas, kondensierend
Nenn-Wärmeleistung des Heizkessels	$\Phi_{H,gen,N}$	kW	aus Lastberechnung
Kesselwirkungsgrad bei Nennlast	$\eta_{gen,N}$		0,93
Korrekturfaktor für den Kesselwirkungsgrad bei Vollast	$f_{cor,N}$		0,002
Mittlere Heizkessel-Wassertemperatur bei Testbedingungen unter Vollast	$\theta_{gen,test,N}$	°C	70
Wärmeleistung des Heizkessels bei mittlerer Last	$\Phi_{H,gen,int}$	kW	$0,3 \cdot \Phi_{H,gen,N}$
Kesselwirkungsgrad bei mittlerer Last	$\eta_{gen,int}$		0,96
Korrekturfaktor für den Kesselwirkungsgrad bei mittlerer Last	$f_{cor,int}$		0,002
Mittlere Heizkessel-Wassertemperatur bei Testbedingungen bei mittlerer Last	$\theta_{gen,test,int}$	°C	30
Stillstandsverlust unter Testbedingungen	$\Phi_{gen,ls,0}$	W	$\Phi_{H,gen} \cdot \frac{4,8}{100} \cdot \left(\frac{\Phi_{gen,N}}{1000}\right)^{-0,35}$
Temperaturdifferenz für Stillstandsverlust bei Testbedingungen	$\Delta\theta_{gen,test,0}$	K	50
Elektrische Leistung für Hilfsantriebe bei Nennleistung des Heizkessels	$P_{aux,N}$	W	$45 \cdot \left(\frac{\Phi_{gen,N}}{1000}\right)^{0,48}$
Elektrische Leistung für Hilfsantriebe bei mittlerer Leistung des Heizkessels	$P_{aux,int}$	W	$15 \cdot \left(\frac{\Phi_{gen,N}}{1000}\right)^{0,48}$
Elektrische Leistung für Hilfsantriebe bei Stillstand des Heizkessels	$P_{aux,0}$	W	15
Minimale Betriebstemperatur des Heizkessels	$\theta_{gen,op,min}$	°C	20
Nenn-Wärmeleistung A-7/W35	$\Phi_{H,gen,A-7/W35}$	kW	$0,75 \cdot \Phi_{H,gen,A2/W35}$
COP A-7/W35	$\eta_{COP,A-7/W35}$		2,7
Nenn-Wärmeleistung A2/W35	$\Phi_{H,gen,A2/W35}$	kW	aus Lastberechnung / WP-Testdaten

COP A2/W35	$\eta_{COP,A2/W35}$		3,4
Nenn-Wärmeleistung A7/W35	$\Phi_{H,gen,A7/W35}$	kW	$1,2 \cdot \Phi_{H,gen,A2/W35}$
COP A7/W35	$\eta_{COP,A7/W35}$		4,2
COP A7/W50	$\eta_{COP,A7/W50}$		3,1
Temperaturspreizung bei Testbedingungen	$\Delta\theta_{spr,N}$	K	10
Nenn-Wärmeleistung B0/W35	$\Phi_{H,gen,B0/W35}$	kW	aus Lastberechnung / WP-Testdaten
COP B0/W35	$\eta_{COP,B0/W35}$		4,5
COP B0/W50	$\eta_{COP,B0/W50}$		2,5
Temperaturspreizung bei Testbedingungen	$\Delta\theta_{spr,N}$	K	10
Anzahl der Erdsonden	n_{BHE}		projektspezifisch
Länge der Erdsonden	l_{BHE}	m	projektspezifisch
Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	λ_G	W/(m·K)	2,5
Antriebsleistung der Erdsondenpumpe	$P_{Pu,BHE}$	W	$0,04 \cdot \frac{\Phi_{gen,B0/W35}}{COP_{B0/W35}}$
Nenn-Wärmeleistung W10/W35	$\Phi_{H,gen,W10/W35}$	kW	aus Lastberechnung / WP-Testdaten
COP W10/W35	$\eta_{COP,W10/W35}$		5,5
COP W10/W50	$\eta_{COP,W10/W50}$		4,0
Temperaturspreizung bei Testbedingungen	$\Delta\theta_{spr,N}$	K	10
Temperatur der Wärmequelle	$\theta_{W,sc}$	°C	10
Antriebsleistung der Quellenwasserpumpe	$P_{Pu,sc}$	W	$0,06 \cdot \frac{\Phi_{gen,W10/W35}}{COP_{W10/W35}}$

Anhang B (informativ)

Publikationen

- [1] SN EN 15377, Heizungsanlagen in Gebäuden – Planung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlsystemen mit Wasser als Arbeitsmedium
- [2] Koschenz, M., und Lehmann, B., Thermoaktive Bauteilsysteme tabs, EMPA Dübendorf, Juli 2000
- [3] Tödtli J., et al., TABS Control – Steuerung und Regelung von thermoaktiven Bauteilsystemen, Faktor Verlag, Zürich, 2009
- [4] Programm EWS, Version 3.8, Berechnung von Erdwärmesonden. Arthur Huber, Huber Energietechnik AG, August 2007
- [5] WPesti, Version 3.0, Berechnungsprogramm zur Abschätzung der JAZ (Jahresarbeitszahl) von Wärmepumpen. www.minergie.ch
- [6] Rechenmethode WPesti: Modellbeschrieb. Arthur Huber, Huber Energietechnik AG, Mai 2006
- [7] Wärmepumpen-Testzentrum WPZ: Prüfergebnisse geprüfter Wärmepumpen. www.ntb.ch
- [8] Polysun 4. www.velasolaris.com

In der Kommission SIA 382 vertretene Organisationen

Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EnFK	Konferenz Kantonaler Energiefachstellen
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz
HES-SO	Haute école spécialisée de Suisse occidentale
HSLU	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
seco	Staatssekretariat für Wirtschaft
SIA KHE	Kommission für Haustechnik- und Energienormen des SIA
suissetec	Schweizerisch-Liechtensteinischer Gebäudetechnikverband
SWKI	Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Kommission SIA 382

		Vertreter von
Präsident	Hildebrand Kurt, Berikon	SIA KHE, HSLU
Mitglieder	Thomas Ammann, Zürich Roman Arpagaus, Bern Michel Bonvin, Sion Viktor Dorer, Dübendorf Thomas Frank, Dübendorf Christoph Gmür, Zürich Peter Hartmann, Effretikon Heinrich Huber, Muttenz Beat Kegel, Zürich Martin Lenzlinger, Zürich Andreas Matthaer, Erlenbach Martin Ménard, Zürich Christian Monn, Zürich Martin Neuenschwander, Liestal Urs Steinemann, Wollerau Frank Tillenkamp, Winterthur Michael Wagner, Luzern Gerhard Zweifel, Honau	Architekt KBOB HES-SO Empa Empa (Mitglied SIA) EnFK (Mitglied SIA) SIA KHE Minergie, FHNW Projektierung SIA KHE Projektierung, suissetec (Mitglied SIA) Projektierung, SIA KHE seco EnFK SIA KHE ZHAW Projektierung, SWKI SIA KHE, HSLU
Sachbearbeitung	Reto Gadola, Horw Martin Ménard, Zürich Gerhard Zweifel, Honau	

Genehmigung und Gültigkeit

Die Zentralkommission für Normen und Ordnungen des SIA hat das vorliegende Merkblatt SIA 2044 am 2. März 2010 genehmigt.

Es ist gültig ab 1. Januar 2011.

Copyright © 2010 by SIA Zurich

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