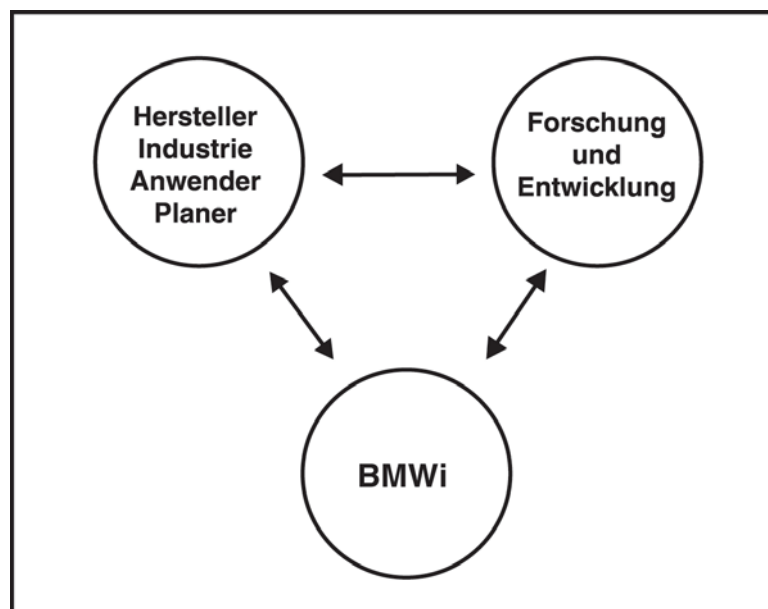


H. Schiller

SANIREV 2

Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen
Berechnungsverfahren für den Nutzenergiebedarf der thermischen Luftaufbereitung in raumluftechnischen Anlagen



Forschungsberichte

SANIREV 2

**Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen
Berechnungsverfahren für den Nutzenergiebedarf der thermischen Luftaufbereitung in raumluftechnischen Anlagen**

**Abschlussbericht des Verbundprojektes
Förderkennzeichen 032 9828D**

Herausgeber: FIA-Projekt – Forschungs-Informations-Austausch
unterstützt durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

im Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.
Danziger Straße 20
74321 Bietigheim-Bissingen
Tel.: 0 71 42/5 44 98
www.fgk.de

Projekt: schiller engineering
Dipl.-Ing. Heiko Schiller
Hamburg

Veröffentlicht im August 2006, Best. Nr.: 121.2
ISBN 3-938210-14-1

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

SANIREV 2

Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumlufotechnischen Anlagen

ABSCHLUSSBERICHT

**Teil: Berechnungsverfahren für den Nutzenergiebedarf der thermischen
Luftaufbereitung in raumlufotechnischen Anlagen**

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms

Förderkennzeichen: **032 98 28 D**

23.12.2005

schiller engineering
Dipl.-Ing. Heiko Schiller
Ulmenstr. 50b
22299 Hamburg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Kurzbeschreibung der Methodik	5
2.1	Bilanzierung von RLT-Systemen	5
2.2	Kennwertmethode – das Grundprinzip des Berechnungsverfahrens	7
3	Einfluss der Klimazonen in Deutschland auf den Energiebedarf	9
3.1	Allgemein	9
3.2	Testreferenzjahr-Wetterdaten	9
3.3	Einfluss des Anlagensystems auf die TRY-Auswahl	14
3.4	Zusammenfassung der meteorologischen Randbedingungen	17
4	Detailliertes Berechnungsverfahren: Grundlage der Kennwertmethode und Alternativverfahren	19
4.1	Allgemein	19
4.2	Lösungsverfahren und Zeitverhalten	20
4.3	Komponentenmodellierung	21
4.4	Sonderfall: Nasskühler	26
4.4.1	Detailliertes Berechnungsmodell	26
4.4.1.1	Luftseitiger Wärmeübergang	26
4.4.1.2	Wasserseitiger Wärmeübergang	27
4.4.1.3	Wärmeleitung und Wärmedurchgang	28
4.4.1.4	Abschnittsweise Berechnung nach der Zellenmethode	29
4.4.1.5	Beispielrechnung	33
4.4.2	Vereinfachtes Berechnungsmodell	36
4.4.3	Modellierung nach VDI 2067-21	38
4.4.4	Vergleich der Berechnungsmodelle	39
5	Modelle der RLT-Systeme	43
5.1	Variantenmatrix	43
5.1.1	Varianten signifikanter Anlagenschaltungen	43
5.1.2	Varianten signifikanter Regelstrategien	46
5.1.2.1	Temperaturregelung	46
5.1.2.2	Feuchteregelung	46
5.1.2.3	Regelung Energierückgewinnung	50
5.1.3	Zusammenfassung der Variantenmatrix	51
5.2	Randbedingungen der detaillierten Simulation	55
6	Energiekennwerte als Ergebnis der detaillierten Simulation	57
7	Berechnungsverfahren für den thermischen Energiebedarf	62

7.1	Umrechnung auf frei wählbare Zulufttemperaturen	62
7.1.1	Konstante Zulufttemperaturen	62
7.1.2	Gleitende Zulufttemperaturen	65
7.2	Umrechnung der Energiekennwerte auf abweichende Betriebszeiten	67
7.3	Jahresverfahren und Monatsverfahren	72
8	Übertragbarkeit der Energiekennwerte auf Variabel-Volumenstrom-Systeme	74
8.1	Allgemein	74
8.2	Einfluss der Wärmerückgewinnung	74
8.3	Witterungseinflüsse auf den Luftvolumenstrom	80
9	Berechnung des Energiebedarfs für die Luftförderung	81
9.1	Allgemein	81
9.2	Variabel-Volumenstrom-Anlagen	82
10	Anwendung der Methodik	90
10.1	Luftvolumenströme und Ventilatorenergiebedarf	90
10.2	Algorithmus für den Nutzenergiebedarf der thermischen Luftaufbereitung	91
10.3	Modellbildung bei speziellen Systemen	95
10.3.1	Lüftungsanlagen ohne Kühlfunktion	95
10.3.2	Lüftungsanlagen ohne Heiz- und Kühlfunktion	95
10.3.3	Konstant-Volumenstromanlagen mit Raumtemperaturregelung	96
10.3.4	Zweikanal-Anlagen	97
11	Anwendungsbeispiel	98
11.1	Ausgangsdaten	98
11.2	Beispiel 1: Konstantvolumenstromanlage mit Kühldecken	99
11.3	Beispiel 2: VVS-Anlage mit kühllastabhängiger Volumenstromregelung	100
11.4	Vergleich der Systemvarianten	101
12	Literatur	104
	Anhang: Tabellierte Energiekennwerte	106

1 Einleitung

Das Forschungsprojekt SANIREV 2 „Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen“ ist ein Verbundprojekt der Partner

- Technische Universität München
- Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart
- schiller engineering, Hamburg.

Die Projektpartner erarbeiteten die Bilanzierungsmethodik für den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Gebäudezonen (TU München) und für den Energiebedarf der künstlichen Beleuchtung (IBP Stuttgart). Der vorliegende Zwischenbericht betrifft den Arbeitsschwerpunkt „Energetische Kennwerte (Benchmarks) für raumluftechnische Anlagen“ und hat die Methodik zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die energetische Luftaufbereitung zum Inhalt. Nachdem die ursprüngliche Aufgabenstellung auf die Erarbeitung eines reinen Benchmarksystems abzielte, konnte im Laufe des Projektes ein geschlossenes Berechnungsverfahren aus den Benchmarks abgeleitet werden.

Die Arbeiten bauen auf Voruntersuchungen und neu entwickelten Berechnungsverfahren aus SANIREV 1 auf. Für die detaillierte Modellierung und Simulation einer großen Variantenvielfalt von RLT-Anlagen stehen komplexe Werkzeuge zur Verfügung. Für näherungsweise Bewertungen von RLT-Anlagen in der Vorentwurfsphase sind einfach handhabbare Werkzeuge sinnvoll, die bislang nicht existierten. Im Gebäudebestand ist die Problematik ähnlich, da oftmals die notwendigen technischen Daten für detaillierte Berechnungen nicht verfügbar sind. Diese Lücke zu schließen, war der Ansatz für die Arbeiten im Projekt SANIREV 2.

Aufgrund der EU-Richtlinie 2002/91/EG über die „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (EPBD) [1] sind die EU-Mitgliedstaaten aufgefordert, Bewertungsverfahren zu schaffen, in die „andere Faktoren von wachsender Bedeutung einbezogen werden, z. B. Heizungssysteme und Klimaanlage ..“. Die Umsetzung der EPBD hat in den Mitgliedstaaten bis 2006 zu erfolgen. Vor diesem Hintergrund haben die Arbeiten im Projekt SANIREV 2 stark an Bedeutung gewonnen. Die Ergebnisse aus SANIREV 2 haben Eingang in nationale und europäische Regelwerke zur EPBD gefunden. Sie bilden eine wesentliche Grundlage für die neue Berechnungsnorm zur Energieeinsparverordnung 2006, der Vornorm DIN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung“. Der vorliegende Bericht liefert die Grundlagen für den Teil 3 der Vornorm: „Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die energetische Luftaufbereitung“ [2]. Berücksichtigungen der vorliegenden Methodik finden sich in den Entwürfen EN 15241 „Lüftung von Gebäuden: Berechnungsverfahren für den Energieverlust aufgrund der Lüftung und Infiltration in Nichtwohngebäuden“ [17] sowie EN 15243 „Lüftung von Gebäuden: Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlage“ [18].

2 Kurzbeschreibung der Methodik

2.1 Bilanzierung von RLT-Systemen

Raumluftechnische Anlagen übernehmen Funktionen, die über das Temperieren (Heizen / Kühlen) von Räumen hinaus gehen. Sie dienen zur Lüfterneuerung und Schadstoffabfuhr, bei Bedarf auch zum Be- und Entfeuchten der Raumluft. Die Variantenvielfalt der Systeme ist groß – vereinzelt sind im Bestand sehr individuelle Sonderlösungen anzutreffen. Die vielen Systemlösungen resultieren aus der grundsätzlichen Schwierigkeit, sowohl die Außenluftzufuhr als auch die thermodynamische Raumluftkonditionierung raumweise individuell und mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu regeln. Es ist eher die Ausnahme, dass raumluftechnische Zentralgeräte direkt nach den im Raum anfallenden thermischen Lasten geregelt werden. Solche Anwendungen findet man beispielsweise in großen Sälen wie Theatern und Museen. Wesentlich häufiger sind Systeme anzutreffen, die zentral vorgesteuert werden und eine Vielzahl von Räumen grundversorgen. Die individuelle Spitzenlastregelung erfolgt dann dezentral. Beispiele dafür sind: Induktionsanlagen, Quellluftanlagen mit Kühldecken, Zweikanalanlagen. Die Bilanzierungsmethode trennt daher folgerichtig raumluftechnische Systeme in einen zonenunabhängigen Grundlastanteil und einen zonenabhängigen Spitzenlastanteil. Der Grundlastanteil (mechanisch erzeugter Mindestluftwechsel mit vorgesteuerter Temperatur) geht als Wärmequelle oder –senke in die Bilanz einer Zone ein. Dagegen ergibt sich der Spitzenlastanteil als Ergebnis der Zonenbilanzierung (Heiz- und Kühlbedarf der Zone). In der Praxis können bei der Raumkühlung folgende Grenzfälle auftreten. Es kann ausschließlich einen unregelmäßigen Grundluftwechsel mit konditionierter Luft geben, der zu einem unkontrollierten Schwingen der sommerlichen Raumlufthemperaturen führt. In diesem Fall ist der Kühlenergiebedarf von der Zonenbilanz völlig unabhängig. Es kann aber auch reine Raumkühlsysteme geben, die mit Fensterlüftung kombiniert werden. In diesem Fall folgt der Kühlenergiebedarf ausschließlich aus der Zonenbilanz. Grundsätzlich wird es durch diese Trennung möglich, für die meisten Systeme die thermische Luftaufbereitung raumlastunabhängig und somit losgelöst vom Gebäude zu bilanzieren.

Beim Projektpartner TU München wurde die Methodik zur Ermittlung der monatlichen Raumheiz- und Raumkühllasten [6] durch die Weiterentwicklung des Monatsbilanzverfahrens nach DIN EN 832 entwickelt. Der Nutzenergiebedarf für die Raumkühlung lässt sich danach aus den bisher bilanzierten „nicht nutzbaren Wärmegewinnen“ ableiten. Der Kälteeintrag durch ein Grundsystem, dessen Zuluftvolumenstrom oder Zulufttemperatur nicht stetig der Raumlast angepasst wird, kann als Wärmesenke in die Bilanzierung einfließen. Das Ergebnis würde dann dem Nutzenergiebedarf des Zusatzsystems zur Raumkühlung entsprechen (Modul II in Tabelle 2-1).

Eine Ausnahme stellen die Variabel-Volumenstrom-Systeme (VVS-Anlagen) bei kühllastabhängiger Regelung dar. Hier folgt der Luftvolumenstrom bei vorgesteuerter Zulufttemperatur direkt aus der Kühllast. VVS-Anlagen stellen im Regelfall auch einen (konstanten) Mindestluftwechsel sicher, der wiederum kühllastunabhängig ist. Die Berechnung von VVS-Anlagen sieht daher eine Kopplung der

beiden Bilanzmodelle von Gebäudezone und RLT-Zentrale vor (Modul III in Tabelle 2-1). Der Gesamtvolumenstrom setzt sich dann aus dem Mindestluftwechsel und dem kühllastabhängigen Spitzenanteil zusammen.

Modul I	<p>Grundsystem: Mindestlüftung oder Konstantvolumenstromanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ konstanter Volumenstrom ▪ konstante (evtl. gesteuerte) Zulufttemperatur <p>Ergebnis: Endenergiebedarf für Luftförderung und Nutzenergiebedarf für thermische Luftaufbereitung</p>
Modul II	<p>Zusatzsystem: Raumkühlung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ergebnis der Gebäudebilanzierung <p>Ergebnis: Nutzenergiebedarf für Raumkühlung und -heizung</p>
Modul III	<p>Zusatzsystem: Raumkühlung mit variablen Volumenströmen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ zusätzlicher variabler Volumenstromanteil als Ergebnis der Gebäudebilanzierung <p>Ergebnis: Endenergiebedarf für Luftförderung Nutzenergiebedarf für zusätzliche energetische Luftaufbereitung</p>

Tabelle 2-1: Merkmale der Berechnungsmodule

Die wesentlichen RLT-Systeme lassen sich durch die kombinierte Anwendung der Module nach Tabelle 2-2 modellieren. Dies ist von besonderer Bedeutung für die Gesamtmethodik, da im Bereich Raumlufttechnik der Energiebedarf hauptsächlich durch das System und erst sekundär durch die Komponenteneffizienz beeinflusst wird.

Anwendungsbeispiele	Modul I	Modul II	Modul III
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lüftungsanlagen mit WRG oder Heizfunktion ▪ Teilklimaanlagen mit konstantem Volumenstrom ▪ Vollklimaanlagen mit konstantem Volumenstrom ▪ Zweikanal-Klimaanlagen mit konstantem Volumenstrom 	X		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umluftkühlanlagen ▪ Fan-Coil-Anlagen ▪ Multi-Split-Anlagen 	X	X	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variabel-Volumenstrom-Anlagen 	X		X

Tabelle 2-2: Anwendungsmöglichkeiten der Berechnungsmodule

2.2 Kennwertmethode – das Grundprinzip des Berechnungsverfahrens

An die Methodik werden Forderungen nach Einfachheit, Transparenz und Eindeutigkeit gestellt. Handrechnung sollten möglich und die Normungsfähigkeit muss gegeben sein. Die Zahl der Eingangsdaten sollte sich an der Verfügbarkeit orientieren, sodass ein Einsatz in der Vorplanung und auch die Bewertung lückenhaft dokumentierter Bestandsanlagen möglich werden.

Bei vereinfachten expliziten Verfahren würde eine direkte Berechnung der Ergebnisse auf Basis von physikalischen Gesetzmäßigkeiten, Bilanzen oder deren Näherungen erfolgen. Um die obigen Anforderungen zu erfüllen, wären sehr grobe Näherungen und Vereinfachungen notwendig. Es bestünde die Gefahr, dadurch qualitative Systemunterschiede zu verwischen.

Die vorliegende implizite Methode stützt sich auf einen Kennwerte-Datensatz, der durch den einmaligen Einsatz eines Simulationsverfahrens für Klimaprozesse (SIMHX) und des Wetterdatensatzes (Testreferenzjahrzone 05) bestimmt worden ist. Das darauf aufbauende einfache Berechnungsverfahren nutzt überwiegend statistische Methoden, um bei freier Wahl ausgewählter Randbedingungen, Ergebnisse aus diesen Kennwerten abzuleiten. Bild 2-1 stellt den prinzipiellen Zusammenhang dar. Diese implizite Vorgehensweise ist durch verschiedene physikalische Aspekte gerechtfertigt:

- Der Einsatz von hocheffizienten Energierückgewinnungssystemen führt zu Unstetigkeiten in der Energiebedarfsberechnung, da letztlich nur die Extremwitterungen zu einem Energieeinsatz führen. Dem stünde die Verwendung von reduzierten Monatsmittelwerten für die Klimadaten bei einem expliziten Verfahren entgegen. Im Verfahren der VDI 2067 Blatt 21 [5] wird z. B. mit Repräsentanztemperaturen und –feuchten von Zonen innerhalb des h,x-Diagramms gearbeitet. Die Zonengrenzen werden durch die Rückwärmzahl beeinflusst. Ändert sich die Rückwärmzahl, müssen die Repräsentanzdaten aus den stündlichen Wetterdaten neu berechnet werden. Dies ist nur durch computergestützte Algorithmen zu leisten.
- Die Wechselwirkungen zwischen Lufttemperierung und Be- bzw. Entfeuchtung sind durch Verdunstungs- und Kondensationsprozesse sehr komplex. Es sind realistische Korrelationen zwischen Außentemperatur und Außenluftfeuchte notwendig, die bei starker Reduzierung der Wetterdaten (von 8760 Stundenwerten auf 12 Monatswerte) innerhalb eines expliziten Monatsverfahrens nicht abbildbar wären.

Die angestrebte Vereinfachung wird dadurch erreicht, dass die Eingangsdaten reduziert werden, die zugrunde liegenden Einmal-Berechnungen dagegen eine hohe Detaillierung aufweisen. Das Ziel einer fehlerresistenten, einfachen Handhabung kann erreicht werden. Eine feststehende und damit eingeschränkte Variantenvielfalt ist aber die nachteilige Einschränkung des Verfahrens.

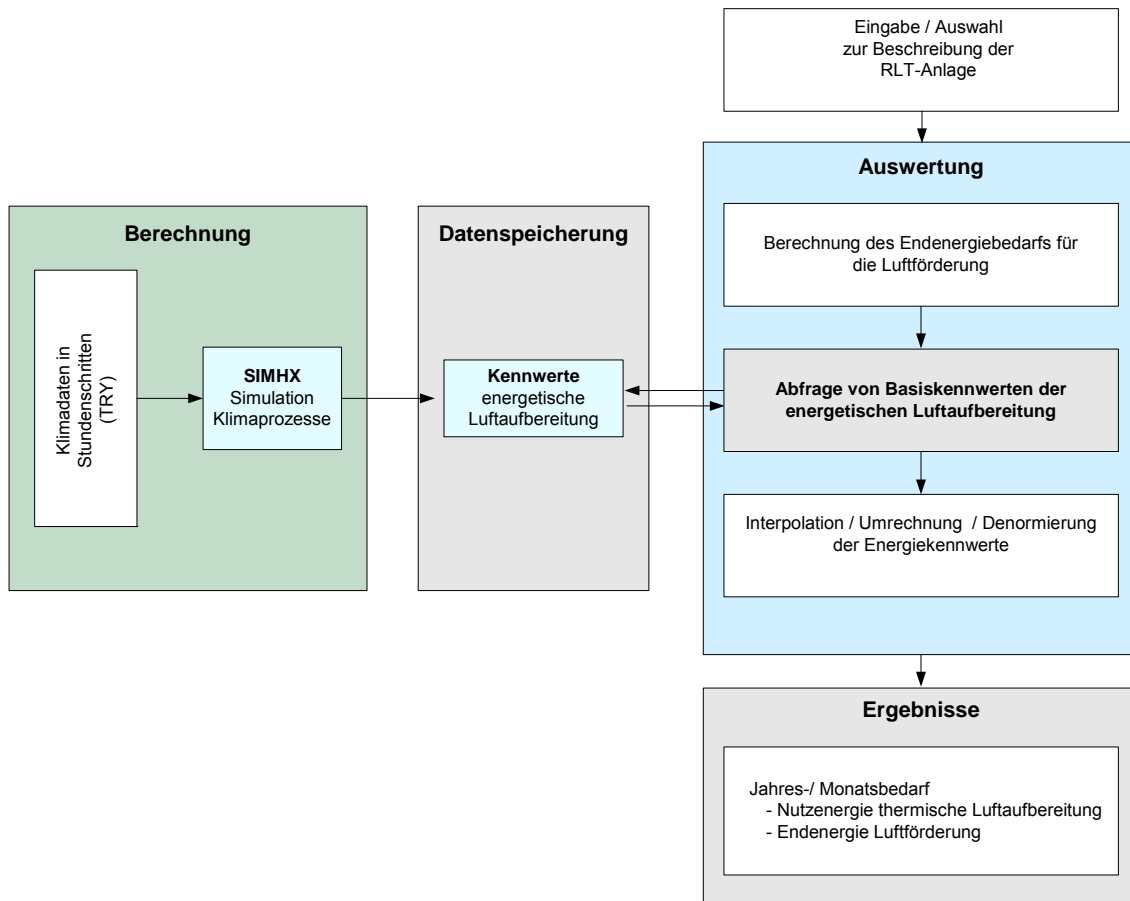


Bild 2-1: Vorgehensweise bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die thermische Luftaufbereitung