

# Simulation als Mittel zur Reduzierung des Jahresenergiebedarfs und -verbrauchs von Gebäuden

Von Dipl.-Ing. (FH) Guido von Thun, Nürnberg



Die in den DIN-Normen und VDI-Richtlinien angegebenen Verfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs für Heizung (DIN 4701) und Kühlung (VDI 2078) sind den Klassen der stationären und quasistationären mathematischen Berechnungsmethoden zuzuordnen, die davon ausgehen, daß alle innerhalb oder außerhalb eines Gebäudes auftretenden Temperaturen und Wärmeströme zeitlich konstant sind bzw. periodisch um einen zeitlich konstanten Mittelwert schwanken. Die darauf aufbauenden Verfahren zur Ermittlung des jährlichen Energiebedarfs und -verbrauchs sowie der jährlichen Gesamtkosten gehen von Summenhäufigkeiten und von mittleren Wirkungsgraden aus. Alle diese Verfahren wurden als Handrechenverfahren entworfen.

Die vom Staat geforderten „notwendigen Energiesparmaßnahmen“ (Energieeinsparungsgesetz) und die vom Bauherrn gewünschten „wirtschaftlichen Energiesparmaßnahmen“ stellen immer höhere Anforderungen an den planenden Ingenieur und machen die Anwendung umfassender, möglichst präziser Programmsysteme für den gesamten Aufgabenbereich der Energiebedarfs-, der Energieverbrauchs- und der Gesamtkostenermittlung unentbehrlich.

Der Verfasser stellt ein in den USA entwickeltes, auf allgemein anerkannten Methoden basierendes Programmsystem (BLAST = Building Loads Analysis & System Thermodynamics Program) vor, das auf der Basis gemessener Wetterdaten oder eines Test-Referenzjahres und unter Verwendung einer dynamischen mathematischen Berechnungsmethode die Ermittlung von Auslegungsdaten sowie der jährlichen Gesamtkosten gestattet.

## Berechnungsgrundlagen

### Lastberechnung

Die Heizlast eines Raumes ist der Energiestrom, der zu einem bestimmten Zeitpunkt durch unbeeinflussbare Wärmeübertragungsvorgänge diesem Raum entzogen wird und zur Erhaltung eines erwünschten Temperaturniveaus durch Heizgeräte gleichzeitig wieder zugeführt werden muß. Entsprechend ist die Kühllast eines Raumes der Energiestrom, der zu einem bestimmten Zeitpunkt durch unbeeinflussbare Wärmeübertragungsvorgänge diesem Raum zugeführt wird und zur Erhaltung eines erwünschten Temperaturniveaus durch Kühlgeräte gleichzeitig wieder entzogen werden muß.

Zur Berechnung der Heiz- und Kühl-lasten eines Raumes ist die sehr rechenintensive Lösung eines Systems von Energiebilanzgleichungen erforderlich. Das vorliegende Programmsystem BLAST führt stündlich eine vollständige Bilanzierung aller Strahlungs-, Konvektions- und Wärmeleitungseinflüsse für die Oberflächen aller betrachteten Räume und für die Raumluft durch. In dieser Energiebilanz werden zum Beispiel die Lasten durch Wärmetransmission, durch langwellige und kurzwellige Strahlung, durch interne Wärmequellen und durch Luftwechsel sowie die zur Erhaltung einer bestimmten Raumtemperatur vorgegebenen Temperaturregelnungsstrategien berücksichtigt.

Das schwierige Problem der instationären Wärmeleitung in ein- und mehrschichtigen Wand-, Decken- oder Fußbodenkonstruktionen wird mit Hilfe der „Thermal-Response-Faktor“-Methode gelöst. Diese erlaubt eine sehr präzise Simulation instationärer Wärmeleitungsvorgänge bei relativ geringem Rechenaufwand zum Beispiel im Vergleich zu einem Finiten-Differenzen-Verfahren.

Folgende wesentliche Charakteristika zeichnen die Lastberechnung von BLAST aus [1]:

- Berechnung der Fremd- oder Eigenverschattung von Außenwänden und Fenstern
- Berechnung des Strahlungseinflusses durch Einfach- und Mehrfachverglasungen
- Berücksichtigung der kurzwelligen und langwelligen Strahlungsabsorption auf inneren und äußeren Bauteiloberflächen
- Verwendung von Absorptionszahlen für die Berechnung des langwelligen inneren und äußeren Strahlungsaustausches als Bestandteil der Energiebilanz von Bauteiloberflächen
- Berücksichtigung der Oberflächenrauigkeit und stündlichen Veränderung der Windgeschwindigkeit auf den äußeren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten
- Berechnung des inneren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft- und innerer Oberflächentemperatur
- Berücksichtigung von Temperaturdifferenzen zwischen unbeheizten Nachbarräumen, wie zum Beispiel Dach- oder Kellerräumen, durch vollständige Simulation dieser Räume
- Berechnung des Wärmeflusses zwischen Räumen unterschiedlicher Temperatur mit Hilfe von Näherungsmethoden
- Möglichkeit zur Vorgabe individueller Strategien zur Regelung der Raumtemperatur (tageszeit- und wochentagabhängig)
- Näherungsweise Aufteilung der gesamten Wärmeabgabe durch Personen, Beleuchtung und Geräte in latente Wärmeabgabe und Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion
- Simulation der Wärmeabgabe von witterungsabhängig geregelten Raumheizgeräten durch Strahlung und Konvektion
- Berechnung der natürlichen Raumlüftung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, der Temperatur und der Tageszeit
- Berücksichtigung der Trocken- und Feuchtkugeltemperatur, der Bewölkung, der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, des barometrischen Druckes, der direkten Sonnenstrahlung, der diffusen Himmelsstrahlung sowie der Art des Niederschlages als klimatische Parameter.

Neben den Heiz- und Kühllasten werden für den weiteren Berechnungsablauf auch die Lasten zum Be- und Entfeuchten von Räumen ermittelt.

### Systemsimulation

Auf der Basis der Lastberechnungen für die einzelnen Räume des Gebäudes werden bei der Systemsimulation unter Verwendung der grundlegenden Wärme-

und Massenbilanzprinzipien die notwendigen Heiz- und Kühlwassermengen sowie der Bedarf an elektrischer Energie für die Beleuchtung und Luftförderung ermittelt.

Die wesentlichen, mit BLAST analysierbaren Raumlufttechnischen Anlagen in beliebiger Komponentenkonfiguration sind [1]:

- Anlagen mit zusätzlicher Luftaufbereitung
- Ein- und Zweikanalklimaanlagen
- Zonenanlagen
- Zwei- und Vierleiteranlagen

Beliebige Wärmerückgewinnungsarten können bei den meisten Systemsimulationen Berücksichtigung finden.

### Zentralanlagensimulation

Aufbauend auf den Ergebnissen der Systemsimulation können beliebige thermodynamisch realisierbare Zentralanlagen simuliert werden, die aus den im folgenden aufgeführten Komponenten konfigurierbar sind [1]:

- Kesselanlagen
- Kompressionskälteanlagen
- Absorptionskälteanlagen
- Wärmepumpen
- Solarkollektoren und Speichersysteme
- Kühltürme
- Blockheizkraftwerke
- Wärmerückgewinnung bei Blockheizkraftwerken
- Fernwärmanlagen
- Abwärme aus technischen Prozessen

Für jede Zentralanlage liefert das Simulationsprogramm die folgenden monatlichen und jährlichen Verbrauchsdaten:

- Heizenergie
- Elektrische Energie
- Kühlenergie
- Rückgewonnene Energie
- Nicht genutzte rückgewinnbare Energie
- Zur Kühlung genutzte Wärmeenergie
- Zur Kühlung genutzte elektrische Energie
- Brennstoffverbrauch
- Elektrischer Energieverbrauch
- Gesamtenergieverbrauch
- Mittlerer Wirkungsgrad der Zentralanlage

Daneben lassen sich mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung die jährlichen Gesamtkosten für die gesamte Nutzungsdauer der Zentralanlage ermitteln.

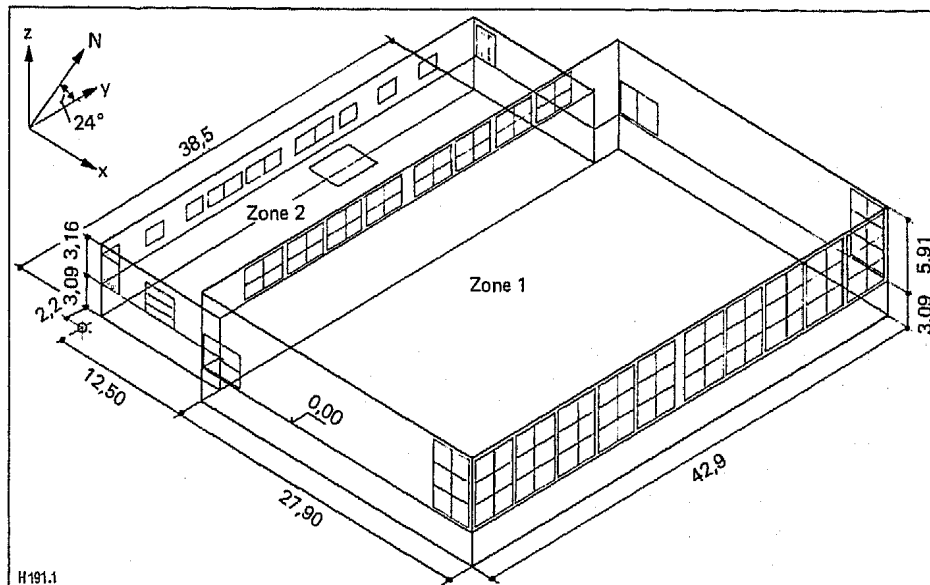


Bild 1: Berechnungsmodell der Sporthalle (Doppelturnhalle)

### Beispielrechnungen

Die folgenden vergleichenden Beispielrechnungen sollen verdeutlichen, welche Energieeinsparungsmöglichkeiten bei einem konventionell geplanten Gebäude im allgemeinen bestehen und wie man unter Zuhilfenahme eines hochwertigen Planungsinstrumentes (BLAST) Sicherheit in der Abschätzung der wahrscheinlichen Energieeinsparung durch bestimmte Maßnahmen gewinnt.

### Berechnungsgrundlagen und Randbedingungen

Die Berechnungen wurden für eine Sporthalle (Doppelturnhalle) mit Neben-

gebäude durchgeführt (Bild 1 und Tabelle 1). Neben einer baulichen Basisversion (BV 0) wurden zwei weitere bauliche Alternativen (BV 1 und BV 2) betrachtet. Die erste Alternative (BV 1) sieht den Austausch des Zweischeiben-Sonnenschutzglases gegen ein Dreischeiben-Normalglas und einen zusätzlichen Sonnenschutz vor.

Dieser Sonnenschutz soll in Form eines über die gesamte Breite der Sporthalle reichenden 3,2 m überstehenden Vordachs ausgeführt sein. Die zweite Alternative (BV 2) sieht eine Veränderung der Gebäudeorientierung ohne zusätzliche bauliche Maßnahme vor. Die Sporthalle soll dabei um 90° im Uhrzeigersinn

Tabelle 1: Beschreibung der Bauteilkonstruktionen

Bauteil	Konstruktion	
Außenwand	0,115 m	Vormauerwerk aus Kalksandstein
	0,040 m	Hinterlüftung
	0,080 m	Mineralwolle
	0,250 m	Beton
Dach	0,200 m	Kiesschüttung
	0,140 m	Hörschdach
Fenster	Zweischeiben-Sonnenschutzglas Aluminiumrahmen	
Dachfenster	Doppelschaliges Kunststoff-Oberlicht	
Innenwand 1	0,360 m	Ziegelmauerwerk
Innenwand 2	0,240 m	Ziegelmauerwerk
Kellerfußboden	0,150 m	Beton
	0,060 m	Hartschaum
	0,040 m	Estrich
Kellerwand	0,060 m	Hartschaum
	0,150 m	Beton

## Simulation als Mittel zur Reduzierung des Jahresenergiebedarfs und -verbrauchs von Gebäuden

gedreht werden, so daß die 230 m<sup>2</sup> große Fensterfront einen Azimut von 204° (von Norden aus gemessen) hat.

Zur Vereinfachung der Berechnungen wurde, ohne die Speicherfähigkeit der Innenwände zu vernachlässigen, das Gebäude in

- Zone 1 „Turnhalle“
- Zone 2 „Nebengebäude“

Für die drei unterschiedlichen baulichen Konzepte (BV 0, BV 1 und BV 2) wurden jeweils drei unterschiedliche anlagentechnische Konzepte (AV 0, AV 1 und AV 2) durchgerechnet. Die Basisversion (AV 0) stellt hierbei eine ölbefeuerte Einkesselanlage von 500 kW zur Dekkung des gesamten Wärmebedarfs dar.

Der ersten Alternative (AV 1) liegt eine bivalent betriebene Heizanlage mit Sonnenkollektoren, Wärmepumpe und einem ölbefeuerten Spitzenheizkessel zugrunde. Die zweite Alternative (AV 2) sieht eine ölbefeuerte Mehrkesselanlage zur Untersuchung des Einflusses von Teillastzuständen vor.

Die folgenden Randbedingungen gelten für sämtliche Rechnungen:

- Standort: Hahn/Hunsrück.  
Wetterdaten aus dem Jahr 1967 [2]  
Drei Auslegungstage
- Klarer Wintertag
  - Klarer Sommertag
  - Bedeckter Herbsttag

Feste Belegungszeiten der Sporthalle für Wochentage, Samstage sowie Sonn- und Feiertage.

Den Belegungszeiten entsprechende Ein- und Ausschaltzeiten für Beleuchtung und elektrische Geräte.

Den Belegungszeiten entsprechende Regelung der Raumtemperaturen mit Nacht- und Wochenendabsenkung

- (Zone 1: 18 °C/10 °C,
- Zone 2: 22 °C/17 °C).

Verfügbarkeit von Heizwärme während des gesamten Jahres.

Beheizung der Zone 1 durch eine Warmluftheizung

Beheizung der Zone 2 durch statische Heizflächen mit witterungsabhängig geregelter Vorlauftemperatur und eine zusätzliche Luftheizung

Berechnung der Jahresbetriebskosten unter Berücksichtigung von Wartungs- und Inspektionskosten

Annahme der Energiepreise mit 0,65 DM/l für Heizöl und 0,139 DM/kWh für elektrische Energie

Festlegen des Betrachtungszeitraumes auf 25 Jahre mit einer gleichmäßigen jährlichen Preissteigerung von 80%

### Diskussion der Ergebnisse

#### Temperatur- und Heizlastverläufe

##### Herbsttag (Bild 2 und 3)

Bei der baulichen Basisversion BV 0 (Bild 2) ist am Morgen in der 8. Stunde deutlich ein rapider Temperaturanstieg zu erkennen, der durch das Einschalten der Heizung zu diesem Zeitpunkt bedingt ist. Ab 10 Uhr vormittags kommt die durch das Ostfenster einfallende Sonnenstrahlung zur Wirkung und führt zu einer Erhöhung der Raumtemperatur bis etwa 13 Uhr. Danach fällt die Raumtemperatur wieder bis auf den konstanten Sollwert von 19 °C ab, der bis zum Einsetzen der Nachtabsenkung gehalten wird.

Bei der ersten baulichen Alternative BV 1 (Bild 2) kann ebenfalls ein kurzzeitiger Anstieg der Raumtemperatur um 8 Uhr morgens beobachtet werden. Jedoch bereits eine Stunde nach dem Erreichen der Solltemperatur kommt die einfallende Sonnenstrahlung sehr viel stärker zur Wirkung und läßt die Raumtempera-

tur entsprechend höher ansteigen. Nach dem Abklingen der Raumtemperatur im Laufe des Nachmittags führt die abendliche Sporthallenbelegung sowie die eingeschaltete Beleuchtung nochmals zu einer kurzzeitigen Erhöhung. Bei der zweiten baulichen Alternative BV 2 (Bild 2) setzt der Anstieg der Raumtemperatur etwas später ein, erreicht aber im Tagesmittel ein höheres Niveau mit einer gleichmäßigen Verteilung über den gesamten Tag.

Betrachtet man die entsprechenden Heizlastverläufe (Bild 3) für den Herbsttag, so werden die diskutierten Raumtemperaturverläufe bestätigt. Für die bauliche Basisversion BV 0 ist eine hohe Heizlast zum Aufheizen der Zone 1 am Morgen sowie eine geringere Heizlast zum Halten der Solltemperatur in den späten Nachmittags- und frühen Abendstunden notwendig. Bei den beiden baulichen Alternativen BV 1 und BV 2 fallen hingegen nur geringe Heizlasten zum morgendlichen Aufheizen an.

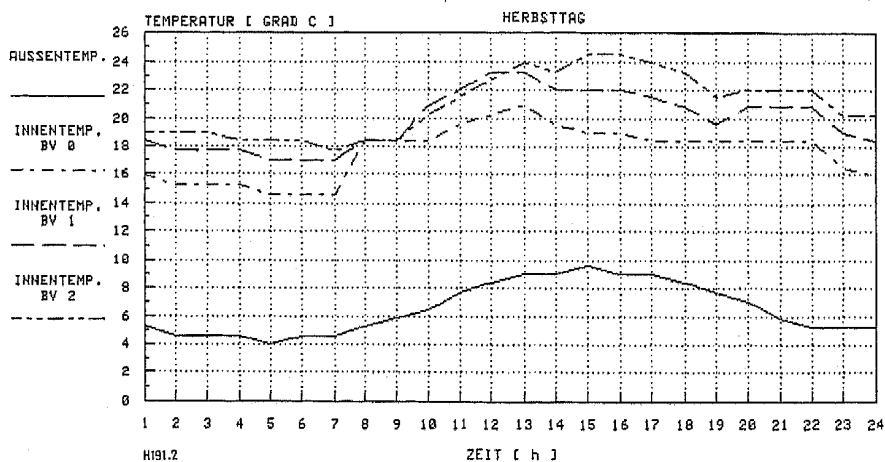


Bild 2: Temperaturverlauf an einem Herbsttag

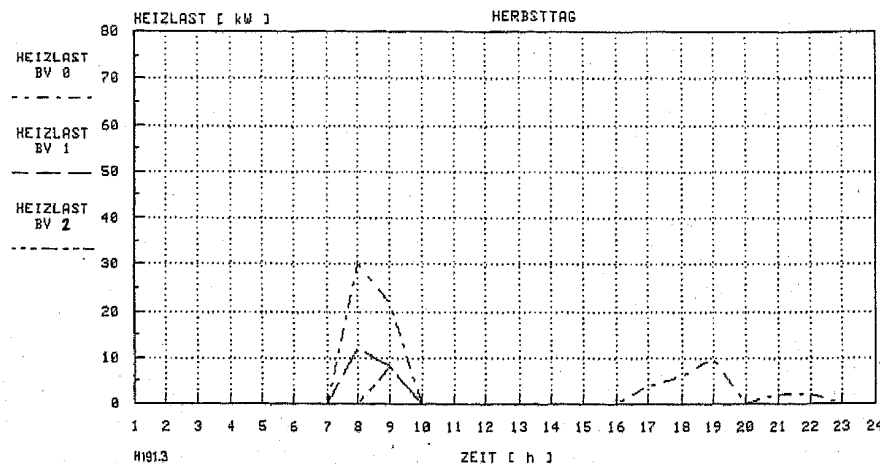


Bild 3: Heizlastverlauf an einem Herbsttag



### Wintertag (Bild 4 und 5)

Im Falle der baulichen Basisversion BV 0 (Bild 4) erkennt man das Aufheizen der Zone 1 in der neunten Stunde und das Halten der Solltemperatur der Raumluft bis zum Zeitpunkt des Abschaltens der Heizung. Aus dem entsprechenden Heizlastverlauf nach Bild 5 läßt sich deutlich die Auswirkung der Sonneneinstrahlung auf die Heizlast ablesen, die um 14 Uhr ein relatives Minimum besitzt. Gleichzeitig bewirkt das schnelle Auskühlen des Gebäudes schon eine Stunde nach dem Abschalten der Heizung wieder eine langsame Zunahme der Heizleistung. Danach ist in gleichem Maße, wie die gespeicherte Restwärme im Gebäude abnimmt, eine stetige Erhöhung der Heizleistung zur Einhaltung der unteren Solltemperatur der Raumluft notwendig.

Einen ähnlichen charakteristischen Verlauf lassen die Darstellungen der Raumlufttemperatur und Heizlast für die erste bauliche Alternative BV 1 (Bild 4 und 5) erkennen. Da jedoch infolge der nicht beschichteten Fensterscheiben ein wesentlich höherer Strahlungsanteil in das Bauwerk eindringt und in den Wänden gespeichert werden kann, zeigt diese Version einen langsameren Abfall der Raumlufttemperatur nach dem Abschalten der Heizung und führt zu insgesamt geringeren Heizlasten. Auch hier hat der Heizlastverlauf wieder um 14 Uhr infolge der Sonneneinstrahlung ein relatives Minimum.

Die Simulation der zweiten baulichen Alternative BV 2 zeigt trotz eines vierstündigen Abschaltens in den frühen Nachmittagsstunden (Bild 5) eine Überheizung der Zone 1 infolge der Sonneneinstrahlung, was zu einem Überschwingen der Raumlufttemperatur während dieser Abschaltzeiten führt. Nach Eintreten der Nachtabsenkung ist das Abklingverhalten der Raumlufttemperatur von Zone 1 in diesem Fall auch viel flacher als bei den beiden anderen Versionen, was auf die in den Wänden gespeicherte Wärme zurückzuführen ist.

Beim Betrachten der Raumlufttemperatur und der Heizlastverläufe für den Wintertag kann festgestellt werden, daß die Südorientierung einer Fensterfront einen nicht zu unterschätzenden Energieeinsparungseffekt mit sich bringt. Erwähnt sei noch, daß bei dem Wintertag bewußt auf die Darstellung des Außenlufttemperaturverlaufes verzichtet wurde, um so im Temperaturbereich von +10 °C bis +25 °C eine bessere Temperaturspreizung zu erhalten. Deshalb sei

hier noch gesagt, daß die Außenlufttemperatur zwischen -18 °C um 2 Uhr morgens und -14 °C um 14 Uhr nachmittags schwankt.

### Sommertag (Bild 6)

Die Raumlufttemperaturverläufe der baulichen Basisversion BV 0 sowie der ersten baulichen Alternative BV 1

(Bild 6) weisen für den Sommertag keine charakteristischen Unterschiede auf. Sie unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Höhe der Raumlufttemperatur. Der rapide Temperaturanstieg am Morgen ist beiden Varianten gemein, da durch die Ostorientierung der Fensterfront die direkte Sonnenstrahlung na-

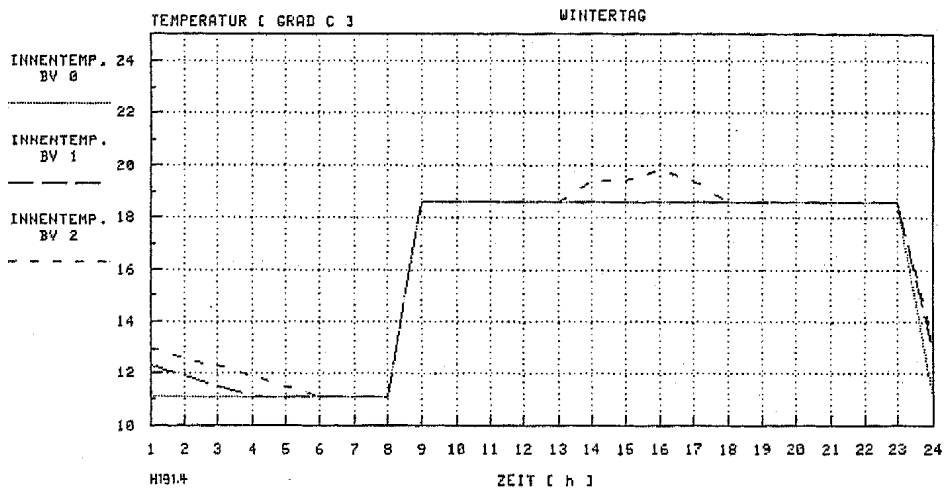


Bild 4: Temperaturverlauf an einem Wintertag

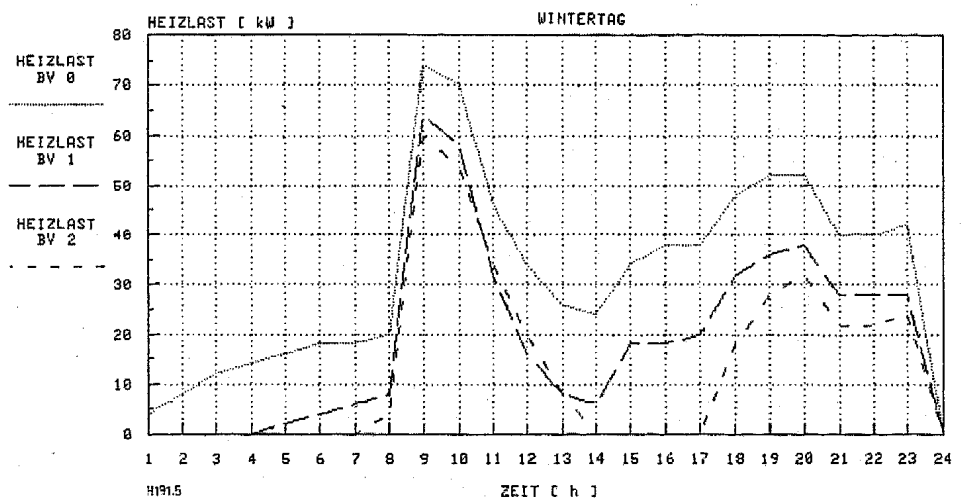


Bild 5: Heizlastverlauf an einem Wintertag

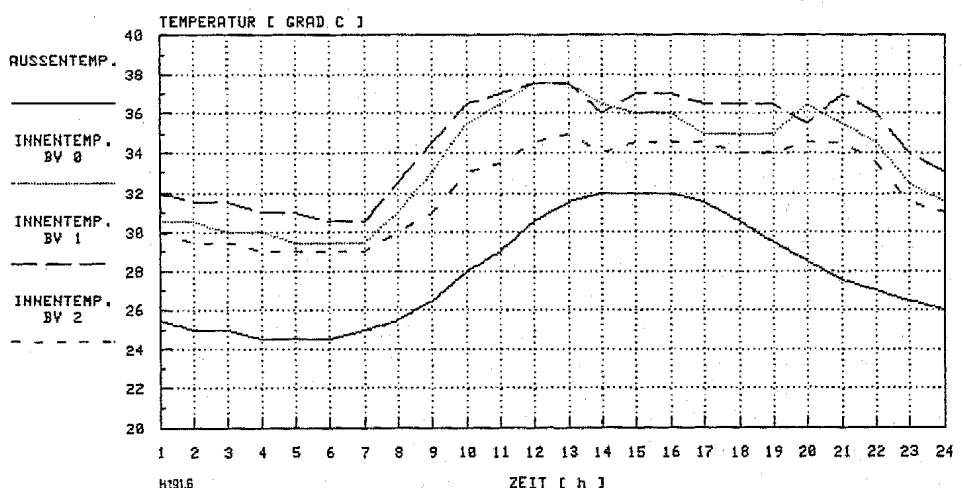


Bild 6: Temperaturverlauf an einem Sommertag

## Simulation als Mittel zur Reduzierung des Jahresenergiebedarfs und -verbrauchs von Gebäuden

hezu senkrecht auf die Fensterscheiben trifft.

Infolge dieses steilen Einfalls der Sonneneinstrahlung kann in den Morgenstunden auch das Sonnenschutzglas der baulichen Basisversion keine nennenswerten Strahlungsreduktion gegenüber dem Dreischeiben-Normalglas der ersten baulichen Alternative erbringen. Erst mit den veränderten Strahlungsverhältnissen am Nachmittag kommen die Reduktionseffekte des Sonnenschutzglases wirklich zum Tragen und bewirken bei der Version BV 0 eine Reduktion der Raumlufttemperatur von etwa 2 K gegenüber der Version BV 1. Der abermalige Anstieg der Raumlufttemperatur in den Abendstunden ist durch die schmale Westfensterreihe und die abendliche Personenbelegung zu erklären. Insgesamt kann gesagt werden, daß das beschattende Vordach eine ähnliche Wirkung wie die Beschichtung der Fensterscheibe hat.

Anders sieht es bei der zweiten baulichen Alternative BV 2 (Bild 6) aus. Diese unterscheidet sich dadurch schon grundsätzlich von den übrigen Versionen, daß sie während des ganzen Tages zu geringeren Raumlufttemperaturen führt. Der Anstieg am Morgen ist auch sehr viel geringer als bei den anderen beiden Versionen. Betrachtet man die Ergebnisse der Verschattungsrechnung, so wird dieses Ergebnis deutlich. In der Zeit von 6.30 Uhr bis 13.30 Uhr ist keine nennenswerte Fläche der Fensterscheibe besonnt. Lediglich in der Zeit von 14.30 Uhr bis 19.30 Uhr können Direktstrahlungseinflüsse auf maximal 27% der Fensterfläche beobachtet werden. Da jedoch der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung zu dieser Zeit zwischen 60° und 72° liegt, wird ein großer Teil infolge Reflexion überhaupt nicht im Raum wirksam.

Offensichtlich bringt Dreischeiben-Normalglas mit Südorientierung und Vordach sowohl in bezug auf den Heizenergiebedarf als auch auf den Raumtemperaturverlauf wesentliche Vorteile. Zudem treten keine zusätzlichen Kosten auf, da Dreischeiben-Normalglas in der Regel preiswerter als beschichtetes Sonnenschutzglas ist.

Bei den vorangegangenen Betrachtungen wurde lediglich die Zone 1 der Sporthalle diskutiert, da die Zone 2 wegen ihrer vergleichsweise kleinen Fensterflächen und des zweischalig ausgeführten Außenmauerwerks kaum sichtbare Unterschiede aufweist.

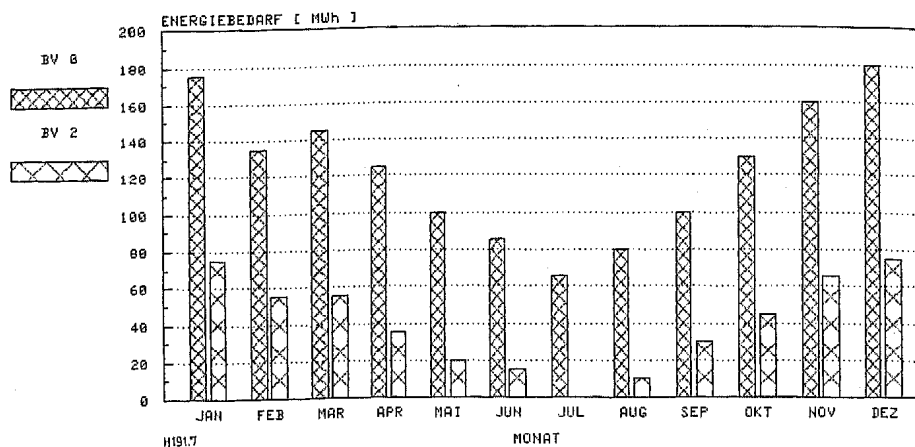


Bild 7: Energiebedarf

### Jahresenergiebedarf

Vergleicht man abschließend die Version BV 0 mit der Version BV 2, dann ergibt sich für die Version BV 2 eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste der Zone 1 von 55,3 MWh auf 35,6 MWh. Dies entspricht einer Einsparung von 36%.

Neben der allen Versionen zugrunde liegenden Warmluftheizung wurde für die bauliche Basisversion und die zweite bauliche Alternative eine „Sparheizung“ simuliert. Bei der letzteren erfolgt in beiden Zonen die Deckung der Grundlast durch statische Heizflächen (zum Beispiel Fußbodenheizung in Zone 1). Die Volumenströme wurden halbiert und die Mischlufttemperatur um 4°K erniedrigt. Dafür wurde ein rekuperativer Wärmeaustauscher eingebaut.

Die Ergebnisse sind in Bild 7 für die Basisversion und die Energiesparversion dargestellt. Der Jahresbedarf an Heizwärme würde sich dabei von 919 MWh auf 469 MWh reduzieren, also um 51% des Heizenergie-Nettobedarfes der Basisversion. Zusätzlich wäre eine Senkung des Bedarfs an elektrischer Antriebsenergie für Pumpen und Ventilatoren von 34,03 MWh um 14,87 MWh auf 19,16 MWh möglich.

### Jahresenergieverbrauch und Jahresenergiekosten

Da bei der für die Auslegung der Heizzentralen angewandten Berechnungsmethode die Teillastzustände berücksichtigt werden, lassen sich auch Wirkungsgrad einbußen zum Beispiel durch kurze Einschaltzeiten bei Ölkesseln ermitteln. Eine Optimierung zum Beispiel von Mehrkesselanlagen bedarf jedoch eines erheblichen Rechenaufwandes. Die im

Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Rechengänge stellen daher nicht die optimale Lösung dar, lassen aber erkennen, welche Möglichkeiten gegeben sind.

Für die anlagentechnische Basisversion AV 0 mit einem Wärmeerzeuger von 500 kW ergeben sich Jahresgesamtennergiekosten (Brennstoff und elektrische Energie einschließlich Beleuchtung) von 106 800 DM/a bei einem Wirkungsgrad von 55%, bezogen auf den Gesamtprimärenergieeinsatz (unter Berücksichtigung des Kraftwerkswirkungsgrades von 32%). Da die maximal auftretende Leistungsbedarfsspitze nur 282,9 kW beträgt, wurde ebenfalls eine Berechnung für eine Mehrkesselanlage (Version AV 2) mit einem 210 kW und zwei 110 kW Wärmeerzeugern durchgeführt, wobei einer nur zur Deckung der Wärmeverluste nach DIN 4701 dient. Dabei wurde angenommen, daß der optimale Betriebspunkt bei 87% der Kesselennennleistung liegt. Die Jahresgesamtennergiekosten betragen hiernach 92 700 DM/a bei einem Wirkungsgrad von 62% bezogen auf den Gesamtprimärenergieeinsatz. Davon fallen 18% der Kosten für den elektrischen Strom an.

Für die Energiesparversion (Kombination der Versionen BV 2 mit AV 2) ergibt sich bei Jahresgesamtennergiekosten von 51 100 DM/a ein Wirkungsgrad von

Tabelle 2: Bereitgestellte Energiemengen für verschiedene Versionskombinationen

Versionskombination	Heizöl MWh	Elektrische Energie MWh	Verhältnis
BV 0 + AV 0	119	1488	12,5 : 1
BV 0 + AB 2	119	1262	10,6 : 1
BV 2 + AV 2	80	654	8,2 : 1

59%, bezogen auf den Gesamtprimärenergieeinsatz. Dieser geringe Wirkungsgrad läßt sich dadurch erklären, daß 24% der Gesamtkosten für elektrische Energie aufgewendet werden müssen. Die jährlich bereitzustellenden Energiemengen für die vorstehend betrachteten Varianten sind in der *Tabelle 2* zusammengestellt.

Für eine bivalent betriebene Heizanlage (Version AV 1) betragen die Jahresgesamtenenergiekosten bei der Energiesparversion 45 400 DM/a, wobei sich ein Wirkungsgrad von 70% einstellt. Bei den geringen jährlichen Einsparungen von 5700 DM/a ist diese Version jedoch nicht zu rechtfertigen, auch wenn sie energetisch gesehen zweifellos die günstigste Version wäre. Besser gestaltet sich dieses Verhältnis unter Zugrundelegung der baulichen Basisversion BV 0, da hier die jährlichen Einsparungen 12 400 DM/a betragen und eine Anlage mit der in diesem Fall notwendigen 1,5fachen Leistung nicht den 2,2fachen Anschaffungswert hat.

#### Rechtsprechung

## Bindung an unzureichendes Angebot

Aufgrund einer beschränkten Ausschreibung waren fünf Angebote mit folgenden Endsummen abgegeben worden: 63 000,- DM, 95 000,- DM, 101 000,- DM, 133 000,- DM und 185 000,- DM. Daraufhin erhielt der Bieter mit dem niedrigsten Angebot den Zuschlag. Er war dann aber zur Ausführung des Auftrages nicht mehr bereit. Daraufhin entzog der Auftraggeber dem Billigstbietenden den Auftrag, gab ihn an den zweitgünstigsten Bieter und verlangte vom günstigsten Bieter Schadensersatz in Höhe von 32 000,- DM.

Der auf Schadensersatz in Anspruch genommene billigste Bieter meinte nun, dies widerspreche Treu und Glauben. Nach § 25 VOB/B wären Angebote auszuschließen, deren Preise in offenbarem Mißverhältnis zur Leistung stehen. Das sei eine Schutzgrenze, die auch im Interesse des Bieters zu beachten sei, der ein besonders niedriges Angebot abgegeben habe. Ein Mißverhältnis zwischen Leistung und Preis liege vor, wenn sein Angebot rund 30% unter der Schätzung des Auftraggebers und rund 33% unter dem nächsthöheren Angebot gelegen habe. Der Auftraggeber hätte daher das Ange-

## Zusammenfassung

Bereits an diesen überschlägigen Beispielrechnungen erkennt man, daß sich durch eine entsprechend präzise Berechnung erhebliche Energieeinsparungsmöglichkeiten und eine beträchtliche Reduktion der Kosten nachweisen lassen. Angesichts der Ungewißheit in bezug auf die zukünftige Preisentwicklung und Verfügbarkeit von Primärenergie sollten derartige Betrachtungen daher fester Bestandteil der technischen Gebäudeplanung werden, zumal man durch die Verwendung hochwertiger Simulationsprogramme zu einer erheblich größeren Sicherheit in der Abschätzung der Auswirkung bestimmter Maßnahmen gelangt.

Erfahrungen an ausgeführten Anlagen im Ausland haben gezeigt, daß die Ergebnisse einen relativen Fehler von maximal  $\pm 8\%$  aufweisen. Dieser Fehler hängt natürlich sehr stark von dem zur Verfügung gestellten Datenmaterial ab.

Relativ zu einer mehr oder weniger fehlerbehafteten Basisversion lassen sich jedoch wiederum beliebige Varianten mit hohem Präzisionsgrad diskutieren.

In verschiedenen ausländischen Staaten (zum Beispiel USA und Kanada) schreibt man diese Art der Energieoptimierung für Gebäude und Anlagen ab einer bestimmten Größe bereits vor. Es ist eine sehr kosteneffektive Lösung, um Bauwerke und Versorgungssysteme energiebewußt zu entwerfen, zu planen und zu erstellen. Die Verantwortung für die Zukunft gebietet uns jedoch, diese Möglichkeit schnellstens anzuwenden, zur Standardmethode zu erklären und einzuführen.

## Schrifttum

- [1] Control Data. The Building Loads Analysis & System Thermodynamics Program (BLAST). Users Manual, Vol. 1, Juni 1979. Erhältlich bei: CDC, Stresemannallee 30, 6000 Frankfurt 70.
- [2] Air Weather Service. USAF, SOLMET - Wetterdaten Hahn/Hunsrück 1967 (nicht öffentlich).

[H 191]

bot ausscheiden oder sich jedenfalls vor Erteilung des Zuschlages vergewissern müssen, ob die Leistung dennoch mit dem angebotenen Preis kostendeckend erbracht werden könne.

Dieser Auffassung ist der Bundesgerichtshof im Urteil vom 4. 10. 1979 - VII ZR 11/79 - entgegengetreten. Danach dient § 25 VOB/A vor allem dem Schutz des Auftraggebers. Das gilt auch, soweit es darum geht, ein Angebot auszuschalten, dessen Preise auffallend niedrig sind. Erfahrungsgemäß ist nämlich mit der Vergabe eines Auftrags an einen Anbieter, der zu nicht mehr kostendeckenden Preisen anbietet, die Gefahr verbunden, daß er den Auftrag nicht ordnungsgemäß zu Ende führen wird, weil sein Betrieb in wirtschaftliche Schwierigkeiten gerät. Dagegen ist es nicht der Zweck der Bestimmung, einen Anbieter vor seinem eigenen zu niedrigen Angebot und damit vor sich selbst zu schützen. Das Risiko einer Fehlkalkulation trifft vielmehr grundsätzlich den Anbieter. Es spricht nichts dafür, daß der dem Schutz des Auftraggebers dienende § 25 VOB/A auch das wirtschaftliche Interesse des Anbieters auf Erzielung eines angemessenen Preises mit einem Schutzbereich umfaßt. Der Anbieter kann sich daher nicht darauf berufen, daß sein Angebot hätte ausgeschlossen werden müssen.

Anders kann es nur sein, wenn den Auftraggeber ein Verschulden bei Vertragsverhandlungen trifft. Ein solcher Anspruch beruht auf dem Erfordernis des Vertrauensschutzes. Wenn jemand Bauleistungen ausschreibt und ein Bauhandwerker ein Angebot abgibt, besteht für beide nach Treu und Glauben unter Berücksichtigung der Verkehrssitte die Rechtspflicht zu redlichem Verhalten. Deshalb muß ein Auftraggeber, der einen Kalkulationsirrtum des Anbieters tatsächlich vor Vertragsschluß erkennt, den Anbieter darauf hinweisen. Tut er das nicht, kann er den Auftragnehmer nach Treu und Glauben nicht an dem Vertrag festhalten. Daran fehlt es aber, wenn der Auftraggeber weder den angeblichen Kalkulationsirrtum des Anbieters noch ein etwaiges Mißverhältnis zwischen Preis und Leistung erkannt hat. Daß der Auftraggeber ein derartiges Mißverhältnis hätte erkennen können, genügt regelmäßig nicht.

Dr. O. [H 152]