

Autor

Martin Knorr ¹,
Jörn Krimmling ²,
André Preuß ³

1 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der
TU Dresden

2 Dozent an der Hochschule Zittau/
Görlitz (FH)

3 Geschäftsführer FWU Ingenieurbüro
GmbH, Dresden

NG=0.5, stochastisch						NG=0.5, geordnet					
Stunde	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Stunde	Mo	Di	Mi	Do	Fr
1	X	X	X	X	X	1	X	X	X	X	X
2						2	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	3	X	X	X	X	X
4						4	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	5	X	X	X	X	X
6						6					
7						7					
8	X	X	X	X	X	8					
9						9					
10	X	X	X	X	X	10					

Bild 1: Verschiedene Nutzungsmuster für einen Unterrichtsraum mit gleichem Nutzungsgrad

Einzelraumregelungssysteme an Schulen Mit dem Ziel von Energie- und Kosteneinsparungen

Mit Hilfe von Einzelraumregelungssystemen (ERS) kann der Heizenergieverbrauch von Gebäuden reduziert werden. Dies gelingt durch die separate Regelung der Temperatur für einzelne Räume entsprechend dem zeitlichen Nutzungsprofil. Der erreichbaren Energieeinsparung gegenüber der herkömmlichen Thermostatventilregelung steht ein höherer Investitionsbedarf entgegen.

Der Planer steht bei einem konkreten Projekt vor der Frage, ob im betreffenden Gebäude die durch das ERS erreichbaren Einsparungen groß genug sind, um den höheren Investitionsbedarf zu decken. In der Literatur schwanken die Angaben über mögliche Einsparungen zwischen 5 und 30 %. Meist sind diese Werte aber überlagert mit anderen Effekten, wie z.B. der zentralen Regelungsanlage, welche oft dem ERS angerechnet werden. Es bedarf somit eines Instrumentes, mit dessen Hilfe die erreichbaren Einsparungen für ein Gebäude im Voraus prognostiziert werden können. Die Ergebnisse werden als Eingangsgröße für eine betriebswirtschaftliche Bewertung mit Hilfe klassischer Investitionsbewertungsverfahren benötigt.

Ein solches Instrument wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen von PROINNO geförderten Forschungsprojektes [1] entwickelt. Ein Schwerpunkt des Projektes war die Untersuchung des Einsatzes von ERS in Schulgebäuden, weil zu vermuten war, dass ERS gerade in Gebäuden mit zeitlich stark strukturierter Nutzung (neben Schulen z. B. auch in Hotels, Lehrgebäuden an Hochschulen u.ä.) zu den größten Einspareffekten führen werden.

Untersuchungsmethodik

Das Forschungsprojekt wurde ausgehend von den Haupteinflussfaktoren auf die Energieverbrauchssenkung strukturiert. Folgende Einflussfaktoren wurden zunächst herausgestellt:

- die zeitliche Nutzungsstruktur, d.h. letztlich das Verhältnis von Nutzungszeiten zu Nichtnutzungszeiten bezogen auf den einzelnen Raum,
- die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle, d.h. der Dämmstandard,
- das Speichervermögen der Baukonstruktion, d.h. die Gebäudeschwere und
- die Baukörpergliederung.

Ausgehend von diesen Einflussfaktoren wurden konkrete Schulgebäude ausgewählt und als Grundlage für die Modellbildung entsprechend typisiert (Tabelle 1).

In Hinblick auf den vermuteten Haupteinflussfaktor, der zeitlichen Nutzungsstruktur, wurden im ersten Schritt die Stundenpläne verschiedener realer Schulen analysiert. Dabei konnten aus Sicht eines einzelnen Unterrichtsraumes zwei Arten von Nutzungsmustern unterschieden werden:

- zeitlich geordnetes Nutzungsmuster und
- zeitlich ungeordnetes Nutzungsmuster.

Das letztere unterscheidet sich vom geordneten Muster dadurch, dass sich für den Raum immer Nutzungszeiten mit Nichtnutzungszeiten abwechseln (Bild 1). Dabei stand die Frage, inwieweit die Temperaturabsenkung in einer kurzen Nichtnutzungszeit eines einzelnen Raumes beispielsweise für ein oder zwei Unterrichtsstunden bezogen auf das gesamte Gebäude zu einer signifikanten Energieeinsparung führen wird.

Modellbildung und Simulation

Aufgrund der guten Reproduzierbarkeit der Randbedingungen bietet sich die numerische Simulation von Gebäude und Anlage als Werkzeug zur Lösung der gestellten Aufgabe an. Für dieses Projekt wird die Software TRNSYS verwendet, dessen Standard-Bestandteile von verschiedenen Forschungsinstituten getestet und validiert wurden und daher zuverlässig einzusetzen sind.

Tabelle 1: Untersuchte Schultypen

	Schultyp „Kompakt“	Berufsschulzentrum	Schultyp „Dresden“
Unterrichtsräume	54,5 %	52,9 %	47,8 %
Vorbereitungsräume	7,1 %	8,6 %	19,2 %
WC	6,0 %	5,8 %	7,2 %
Flur	32,4 %	32,7 %	25,9 %
Summe	100,0 %	100,0 %	100,0 %

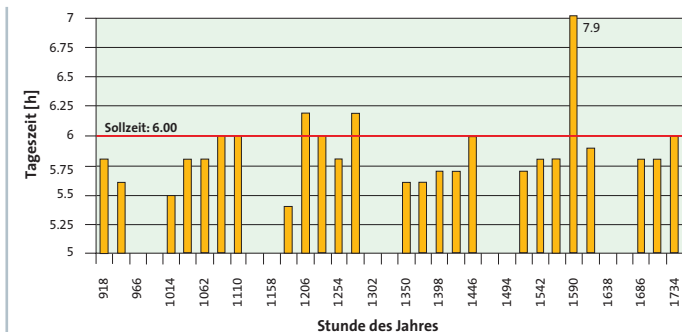


Bild 2: Zeitpunkt des Erreichens des Raumtemperatursollwertes bei Anwendung des Leimgruber-Verfahrens (ausgewählter Abschnitt)

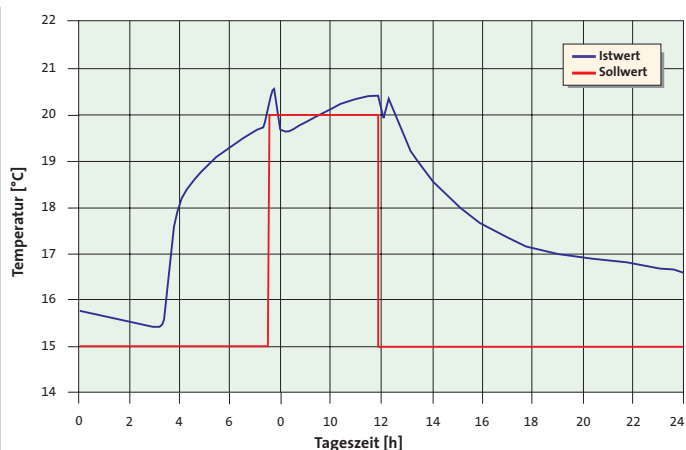


Bild 3: Verlauf der Raumtemperatur bei Anwendung des Leimgruber-Verfahrens an (an ausgewähltem Beispiel für einen Unterrichtsraum bei Regelung mit PI-Regler)

Das in TRNSYS implementierte mathematisch-physikalische Gebäudemodell stellt ein nichtgeometrisches Bilanzmodell mit einem definierten Zonenknoten dar, der die Wärmekapazität der gesamten Raumluft und des im Raum befindlichen Interieurs repräsentiert. An diesem Zonenknoten erfolgt die Aufstellung einer Energiebilanz, bei der alle im Raum auftretenden konvektiven Wärmestromanteile Berücksichtigung finden.

Gekoppelt ist der Zonenknoten an einen zweiten künstlichen Raumknoten, der die Strahlungseigenschaften der Hüllflächen berücksichtigt. Mit Hilfe eines Stern-Netzwerkes erfolgt die Approximation des langwelligeren Strahlungsaustausches zwischen den Oberflächen einer Zone und dem konvektiven Wärmestrom von den inneren Oberflächen an den Zonenknoten.

Das Gebäudemodell wurde am Institut für Thermodynamik und TGA der TU Dresden stark erweitert und verbessert. Es sind damit z. B. erheblich kleinere Schrittweiten im Vergleich zum Standard TRNSYS anwendbar. Im Rahmen eines Projektes [2] bei der IEA Task 22 erfolgte eine Programmvalidierung.

Aus Kostengründen werden oft nur die Unterrichtsräume mit Einzelraumregelsystemen ausgestattet, während die Temperatur in den verbleibenden Räumen mit Thermostatregelventilen geregelt wird. Es ergeben sich für die dezentrale Raumtemperaturregelung somit folgende Möglichkeiten:

- Ausstattung aller Räume mit Einzelraumregelung (PI-Regler),
- Ausstattung der Unterrichtsräume mit Einzelraumregelung und der Nebenräume mit Thermostatregelventilen (TRV),
- Ausstattung aller Räume mit TRV.

Für den intermittierenden Betrieb (d.h. Wechsel von Heizbetrieb und Absenkbetrieb) mit TRV werden folgende zwei Möglichkeiten näher betrachtet:

- Pumpenabschaltung (mit taktender Wiederschaltung bei Erreichen der Stütztemperatur) und
- Vorlauftemperaturabsenkung gegenüber der Heizkurve um 20 K.

Aus der Kombination dieser dezentralen und zentralen regelungstechnischen Maßnahmen erfolgt die Festlegung von sechs Varianten entsprechend Tabelle 2. Für diese Varianten wird der Jahresenergieaufwand auf der Grundlage eines in TRNSYS integrierten Modells einer Pumpenwarmwasserheizungsanlage berechnet. Der jeweilige energetische Aufwand wird zueinander ins Verhältnis gesetzt, und es folgt ein relatives Einsparpotential.

Um zum Nutzungsbeginn nach einer Temperaturabsenkung wieder behagliche Verhältnisse zu garantieren, ist die Ermittlung der Wiederanheizzeit erforderlich. Die Anheizzeiten werden mit dem Gradientenverfahren nach Leimgruber [3] berechnet. Dieses selbstlernende Verfahren verwendet von der Raum- und Außentemperatur abhängige Gradienten, die die notwendige Zeit zum Erreichen des Sollwertes bezogen auf die zu überwindende Raumtemperaturdifferenz angeben. Beispielhaft verdeutlicht Bild 2 die gute Eignung des Leimgruber-Verfahrens für den vorliegenden Anwendungsfall. In Bild 3 ist ein typischer Verlauf der Raumtemperatur für einen intermittierend beheizten Unterrichtsraum dargestellt.

Aufgrund der spezifischen Nutzungsprofile von Schulgebäuden stellen sich in den einzelnen Raumtypen (Unterrichtsraum, Vorbereitungsraum, Flur, WC) verschiedene Temperaturen ein. Somit ist zu erwarten, dass innere Wärmeströme den Heizenergieaufwand des Gesamtgebäudes beeinflussen. Sollen Anlagen mit Raumtemperaturregelung mit TRV intermittierend betrieben werden, kann dies nur durch geeignete zentrale Maßnahmen erfolgen. Aus diesen Gründen ist die gekoppelte Betrachtung mehrerer Räume zur Ermittlung des Energieeinsparpotenzials notwendig. In den Bildern 4 bis 6 sind die Geometrien der in der Simulation untersuchten Schultypen dargestellt. Man erkennt, dass das Hauptunterscheidungsmerkmal die Gliederung des Baukörpers bzw. das A/V-Verhältnis ist.

Die Beheizung der Räume erfolgt über massebehaftete Heizkörper einer Zweirohr-Pumpenwarmwasserheizungsanlage. Haupt- und Anbinde-

Tabelle 2: Untersuchte dezentrale und zentrale Regelungsvarianten

Variante	dezentrale Regelung		Sollwertvorgabe PI-Regler	zentrale Regelung
	Unterrichtsräume	Nebenräume		
1	PI-Regler ¹	PI-Regler	Zeitplan	
2	PI-Regler	TRV	Zeitplan	Pumpenabschaltung
3	PI-Regler	TRV	Zeitplan	Vorlauftemperaturabsenkung 20 K
4	TRV	TRV	–	Pumpenabschaltung
5	TRV	TRV	–	Vorlauftemperaturabsenkung 20 K
6	PI-Regler	PI-Regler	Fest	Ohne

Hinweis: PI-Regler entspricht Einzelraumregelung

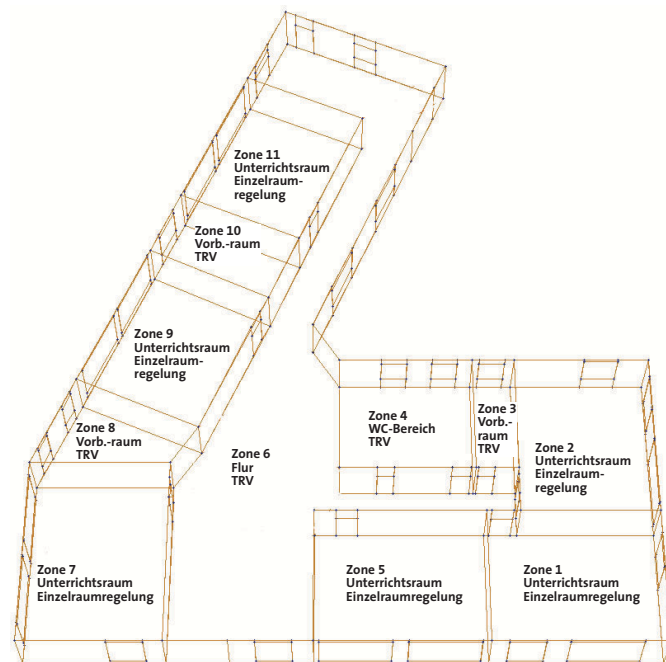


Bild 4: Grundriss für Schultyp „Berufsschulzentrum“ (BSZ)

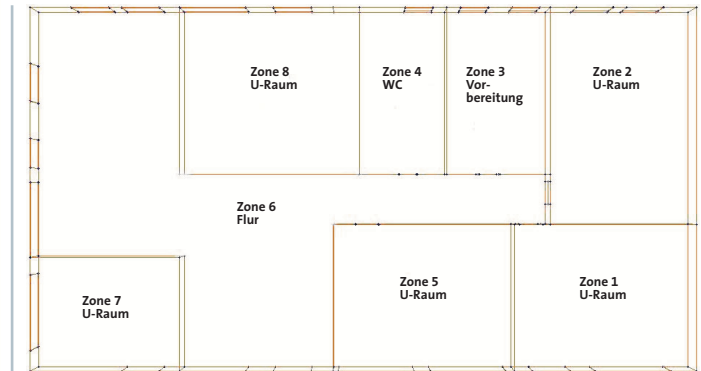


Bild 5: Grundriss für Schultyp „Kompakt“

leitungen werden mit einer Wärmedämmung versehen. Das Heizungsnetz ist hydraulisch für eine Ventilautorität von 50 % konzipiert. Die Heizkörper werden gemäß DIN 4701-3 [4] ausgelegt. Weiterhin gelten folgende Randbedingungen:

- Auslegungsheizmedientemperatur: 70/50 °C
- Heizkörperexponent: 1,3
- Strahlungsanteil: 30 %

In Schulgebäuden werden innere thermische Lasten hauptsächlich durch Personen, Geräte und Beleuchtung verursacht. Die Schweizer Richtlinie SWKI 95-3 [5] gibt dafür Profile für verschiedene Nutzungstypen an und bildet die Grundlage für die wie folgt angesetzten spezifischen inneren Lasten.

- | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| ■ Unterrichtsräume: | Nutzungszeit: | 19,2 W/m ² |
| | Nichtnutzungszeit: | 0 W/m ² |
| ■ Funktionsräume, WC, Flur: | | 0 W/m ² |

Aus den Vorgaben der DIN 4701-1,2 [6] sowie der SWKI 95-3 resultieren die unten angegebenen Werte für den Luftwechsel während der Nutzungszeit. Die Festlegung des Luftwechsels während der Nichtnutzungszeit ist Ergebnis einer Analyse der Luftvolumenströme infolge von Undichtigkeiten für den Gebäudetyp Berufsschulzentrum.

- | | | |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| ■ Unterrichtsräume: | Nutzungszeit: | 1,5 h ⁻¹ |
| | Nichtnutzungszeit: | 0,2 h ⁻¹ |
| ■ Funktionsräume: | Nutzungszeit: | 0,2 h ⁻¹ |
| | Nichtnutzungszeit: | 0,2 h ⁻¹ |
| ■ Flur: | Nutzungszeit: | 0,5 h ⁻¹ |
| | Nichtnutzungszeit: | 0,2 h ⁻¹ |

Der zentrale Betrieb einer Heizungsanlage muss so erfolgen, dass jeder in den einzelnen Räumen auftretende Bedarf gedeckt werden kann. Die sich daraus ergebende notwendige Betriebsdauer wird im Folgenden mit Hauptnutzungszeit bezeichnet. Die Nutzungszeit eines einzelnen Raumes ist dagegen meist geringer als die Hauptnutzungszeit.

Zur Charakterisierung der Nutzung eines Schulgebäudes müssen also folgende drei Parameter berücksichtigt werden:

- Nutzungsgrad NG_{HNZ} (genutzte Stunden/ maximal mögliche Stundenanzahl in HNZ),

- Hauptnutzungszeit HNZ,

- Anordnung der Stunden während der Hauptnutzungszeit.

Zur Vereinfachung erfolgt die Zusammenfassung von Hauptnutzungszeit und Nutzungsgrad in einen zeitbezogenen Nutzungsgrad:

$$NG = NG_{HNZ} \times \frac{HNZ}{24 \text{ h}}$$

Das Verhältnis von genutzten Stunden zu maximal möglichen Stunden während der Hauptnutzungszeit lässt sich sowohl im Bestand als auch bei neu zu planenden Schulgebäuden durch Analyse des Stundenplans einfach bestimmen. Die Anordnung der Stunden wird durch die Berechnung einer günstigen und einer ungünstigen Variante berücksichtigt (vgl. Bild 1).

Die Wand- und Fensterkonstruktionen für die Grundvariante mit Dämmstandard nach WSV095 und mittelschwerer Bauweise sind aus den Ausführungsunterlagen des Gebäudetyps „Berufsschulzentrum“ übernommen. Die Definition des Wärmeschutzniveaus nach WSV077 erfolgt auf der Grundlage typischer Baukonstruktionen. Die leichte Bauweise entspricht mit notwendigen Anpassungen der in der Richtlinie VDI 2078 [7] angegebenen Typkonstruktion.

Simulationsergebnisse

Für einen einzelnen Unterrichtsraum zeigt Bild 7 den Einfluss kurzzeitiger Absenkephasen auf das Energieeinsparpotential. Man erkennt, dass es während dieser kurzen Zeiträume aufgrund des geringen Temperaturabfalls nur zu einer niedrigen Energieeinsparnis kommt. Für die Untersuchung wird daher in den Unterrichtsräumen die Temperaturabsenkung erst ab zwei aufeinander folgenden Freistunden vorgenommen.

TRV sind Proportionalregler, die eine bleibende Regelabweichung aufweisen. Die Raumtemperaturregelung mit TRV führt daher dazu, dass sich während der Heizperiode im Mittel über dem Sollwert liegende Raumtemperaturen einstellen. Daraus resultiert ein höherer Heizwärmeaufwand gegenüber PI-Reglern, wie Bild 8 zeigt.

Beispielhaft verdeutlicht Bild 9, dass sich der Einfluss des bezogenen Nutzungsgrades auf das Einsparpotential durch lineare Regressionsgeraden gut beschreiben lässt. Man erkennt, dass sich die Differenz

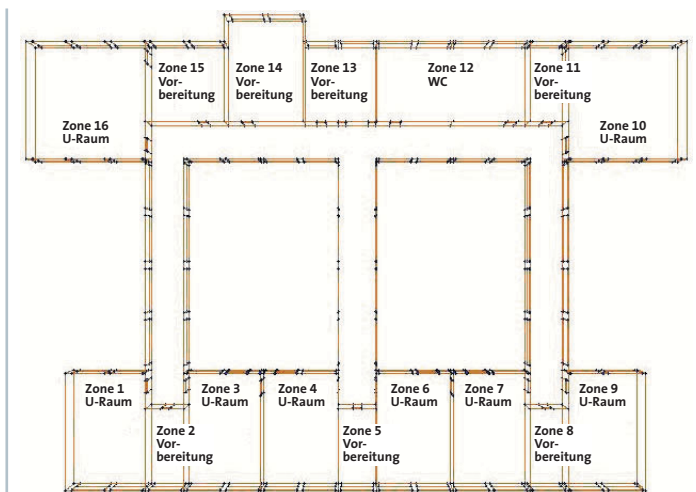


Bild 6: Grundriss für Schultyp „Dresden“

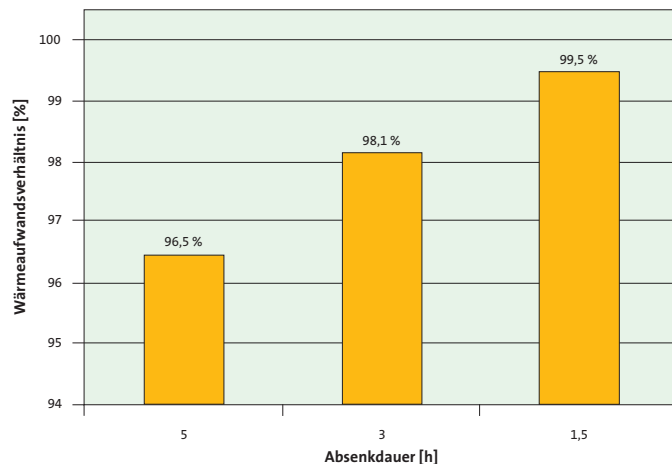


Bild 7: Quotient Wärmeaufwand mit Kurzzeitabsenkung/ ohne Kurzzeitabsenkung für einen Unterrichtsraum

zwischen ungeordneter und geordneter Stundenverteilung mit zunehmendem Nutzungsgrad verringert. Die für den bezogenen Nutzungsgrad von 1 angegebene Variante stellt einen Grenzfall dar und repräsentiert den durchgehenden Betrieb. Die Einsparungen für den durchgehenden Betrieb resultieren aus der bleibenden Regelabweichung bei der Regelung mit TRV (vgl. oben).

Als Maß zur Charakterisierung des Wärmeschutzes wird die spezifische Heizlast nach DIN 4701-1,2 verwendet. Man erkennt in Bild 10, dass für den Bezug von Variante 02 auf Variante 05 (vgl. Tabelle 2) mit zunehmender Heizlast das relative Einsparpotential sinkt und die Abhängigkeit wiederum durch eine Gerade approximiert werden kann. Zur Berücksichtigung des Einflusses der Bauschwere findet die wirksame Wärmespeicherfähigkeit nach der „10 cm-Regel“ entsprechend DIN 4108-6 [8] Verwendung. Dabei werden die Wärmekapazitäten aller Schichten von der Innenwandoberfläche beginnend bis zu einer Gesamtdicke von 10 cm aufsummiert. Tritt eine Schicht mit einer Wärmeleitfähigkeit kleiner 0,1 W/(m²K) und einem Wärmeleitwiderstand größer 0,25 m²K/W auf, erfolgt der Abbruch der Summierung. Leichte Gebäude kühlen aufgrund der geringeren Wärmespeicherfähigkeit schneller aus und der Einspareffekt im intermittierenden Betrieb steigt.

Tabelle 3: Kennwerte der untersuchten Beispielgebäude	Beispiel A	Beispiel B
	Berufsschulzentrum	Gymnasium
BGF	2500 m ²	8800 m ²
Anzahl Räume	46	210
Anzahl Räume mit ERS	20	67
Anzahl Räume mit TRV	26	143
Jahresenergiebedarf	167 100 kWh	1 460 000 kWh
Nutzungsgrad	0,16	0,22
Korrektur Heizlast	0,8 %	2,3 %
Bauschwere- Korrektur	0 %	0 %
Einsparung Heizenergie	14,5 %	12,3 %
Typ ERS	separates System	EIB-System
Zusätzliche Investition ERS	8200 €	22400 €

Aus den vorliegenden Simulationsergebnissen wird ein Verfahren zur Berechnung einer Gesamtaufwandszahl abgeleitet, die die Grundlage für eine anschließende Wirtschaftlichkeitsberechnung bildet. Ausgangspunkt bildet das Aufwandsverhältnis in Abhängigkeit der Nutzung. Die Wirkung des Wärmeschutzes und der Bauschwere wird dann in Form von Korrektursummanden wie folgt berücksichtigt:

$$e_{ges,i,j} = e_{N,i,j} + K_{H,i,j} + K_{S,i,j} \quad (1)$$

$e_{ges,i,j}$ Gesamtaufwandsverhältnis
 $e_{N,i,j}$ Aufwandsverhältnis in Abhängigkeit der Nutzung
 $K_{H,i,j}$ Korrektursummand für Heizlast
 $K_{S,i,j}$ Korrektursummand für Bauschwere mit den Indizes Variante i bezogen auf Variante j

Um den Wärmeschutz als Korrektur einzuführen, werden die Regressionsgeraden für den Parameter relative Heizlast so verschoben, dass für den den Untersuchungen zum Nutzungseinfluss zugrunde liegenden Wärmeschutz ein Korrekturwert von Null resultiert. Analog gilt für die Korrektur zur Bauschwere ein Summand von Null für die schwere Bauweise.

Beispielhaft zeigt Bild 11 das Rechenverfahren in Diagrammform und mit den jeweiligen Approximationsgleichungen.

Betriebswirtschaftliche Bewertung

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in einem Expertensystem zusammengefasst, mit dessen Hilfe die eingangs geschilderte Inves-

Tabelle 4: Aufteilung der Investitionskosten für die Beispielgebäude	Beispiel A	Beispiel B
	Neubau Berufs- schulzentrum	Sanierung Gymnasium
EIB-System:		
konstanter Kostenanteil	3850 €	4900 €
variable Kosten pro Raum	329 €	318 €
separates System:		
konstanter Kostenanteil	4180 €	6810 €
variable Kosten pro Raum	199 €	177 €
Kosten TRV pro Raum	52 €	57 €

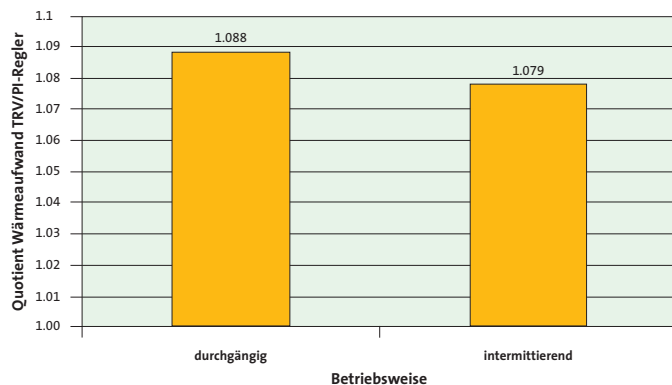


Bild 8: Wärmeaufwand TRV bezogen auf PI-Regler für einen Unterrichtsraum (intermittierender Betrieb mit TRV durch Pumpenabschaltung)

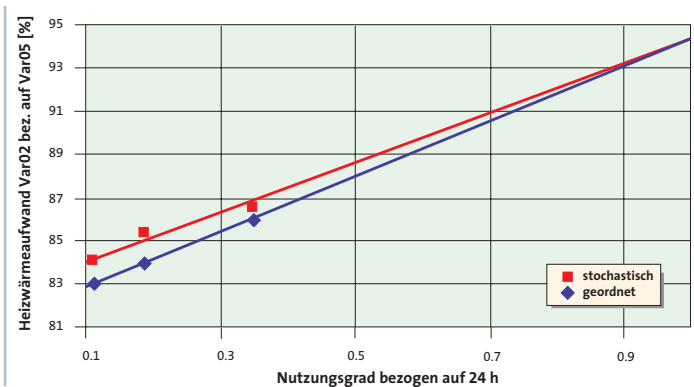


Bild 9: Quotient Jahresheizwärmeaufwand Variante 02/ Variante 05 bei verschiedenen Nutzungsgraden

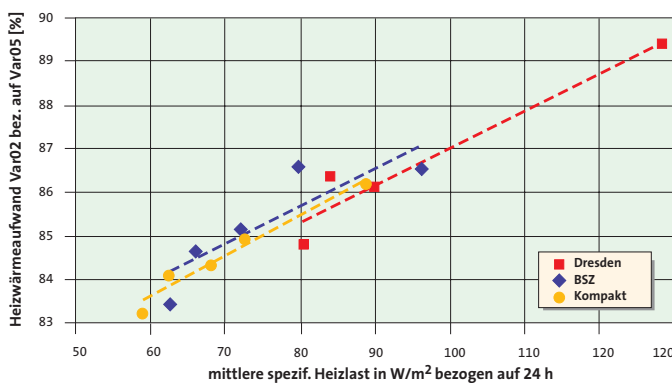


Bild 10: Quotient Jahresheizwärmeaufwand Variante 02/ Variante 05 bei verschiedenen Heizlasten

titionsentscheidung unterstützt werden kann. Der Rechenalgorithmus läuft entsprechend des in Bild 12 dargestellten Algorithmus ab. Das Verfahren wurde an zwei konkreten Beispielen erprobt. Bei den Objekten handelt es sich im Beispiel A um einen Neubau eines Berufsschulzentrums und im Beispiel B um die Sanierung eines vierzügigen Gymnasiums. Beispiel B repräsentiert dabei ein vorhandenes Gebäude, dessen Heizungsanlage komplett erneuert werden soll. Die ermittelten Eckdaten sind in Tabelle 3 angegeben.

Für die Realisierung der ERS wären im konkreten Fall zusätzliche Investitionen in Höhe von rd. 8000 bzw. 22000 € erforderlich. Die Mehrinvestitionen wurden mit Hilfe des Annuitätenverfahrens nach [9] bewertet, wobei auf die Betrachtung dynamischer Effekte verzichtet wurde.

$$A_N = A_{N,E} - (A_{N,K} + A_{N,V} + A_{N,B} + A_{N,S})$$

- A_N = Annuität der Jahresgesamtzahlungen
- $A_{N,E}$ = Annuität der Einzahlungen
- $A_{N,K}$ = Annuität der kapitalgebundenen Auszahlungen
- $A_{N,V}$ = Annuität der verbrauchsgebundenen Auszahlungen
- $A_{N,B}$ = Annuität der betriebsgebundenen Auszahlungen
- $A_{N,S}$ = Annuität der sonstigen Auszahlungen

$$A_{N,K} = I_o \times a + I_o \times f_{IS}$$

- I_o = Mehrinvestition für ERS
- a = Wiedergewinnungsfaktor
- f_{IS} = Faktor Instandsetzung

$$A_{N,V} = Q_a \times k$$

- Q_a = Jährlicher Heizenergiebedarf
- k = Heizenergiemischpreis

Die betriebsgebundenen Auszahlungen wurden entsprechend der Vorgaben des Verfahrens in Abhängigkeit der Investitionskosten bestimmt. Dazu wurden die Investitionskosten entsprechend der Tabelle 4 gesplittet.

$$A_{N,B} = I_{01} \times f_1 + I_{02} \times f_2$$

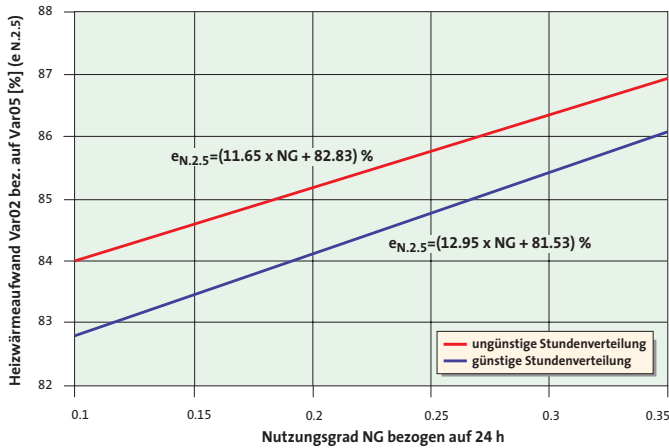
- I_{01} = Investitionskosten für konstante Kosten
- I_{02} = Investitionskosten pro Raum
- f_1 = Anzahl der Zentralen
- f_2 = Raumanzahl

Sonstige Auszahlungen wurden für alle Varianten als gleich angenommen und entsprechend im Vergleich nicht explizit berücksichtigt.

Ergebnis

Im Beispiel A Neubau Berufsschulzentrum beträgt die ermittelte Einsparung an Wärmeenergie 15 % entsprechend 24 200 kWh/a. Die Annuität der Gesamtzahlungen beträgt rd. 500 €/a. Im Beispiel B Sanierung vierzügiges Gymnasium mit Abendnutzung beträgt die ermittelte Einsparung an Wärmeenergie 12 % entsprechend 180 000 kWh/a. Die Annuität der Gesamtzahlungen beträgt hier rd. 5800 €/a. Insgesamt lässt sich damit die Erkenntnis ableiten, dass sich ERS tendenziell besser rechnen, je größer die Schule ist bzw. je größer die Anzahl der Unterrichtsräume ist. Eine komplette Ausrüstung aller Räume mit PI-Reglern rechnet sich aufgrund der nach wie vor hohen Investitionskosten für die Schulen nicht. Sinnvoll ist nur die Ausrüstung der Unterrichtsräume, alle übrigen Räume sollten mit herkömmlichen Thermostatventilen ausgerüstet werden.

Weiterhin sind der spezifische Wärmebedarf der Gebäude und damit deren Wärmedämmung von entscheidender Bedeutung für das wirtschaftliche Ergebnis. Besonders geeignet für den ERS-Einsatz erschei-

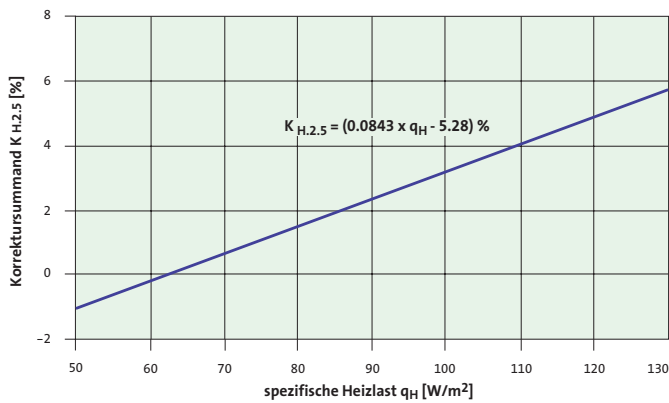


Beispiel:

$$\text{Vorgaben: } NG = \frac{289 \text{ UR}}{765 \text{ UR}} \times \frac{10 \text{ h}}{24 \text{ h}} = 0,16$$

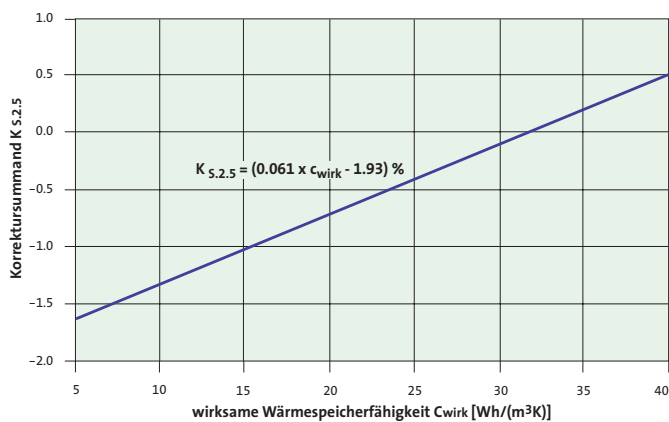
(UR... Unterrichtsstunden), ungünstige Stundenverteilung

es folgt: $e_{N,2.5} = 84,7 \%$



$$\text{Vorgaben: } q_{\text{spez}} = 72 \times \frac{W}{m^2}$$

es folgt: $K_{H,2.5} = 0,8 \%$



$$\text{Vorgaben: } c_{\text{wirk}} = 32 \times \frac{Wh}{m^3K}$$

es folgt: $K_{S,2.5} = 0,0 \%$

$$e_{\text{ges},2.5} = e_{N,2.5} + K_{H,2.5} + K_{S,2.5}$$

$$e_{\text{ges},2.5} = 84,7\% + 0,8\% + 0,0\% = 85,5\%$$

resultierende Einsparung:

$$a_{2.5} = 100\% - e_{\text{ges},2.5} = 100\% - 85,5\%$$

$$a_{2.5} = 14,5\%$$

nen somit denkmalgeschützte Altbauten ohne signifikante Möglichkeiten der Außenwanddämmung. Wesentlichen Einfluss auf die Höhe der erzielbaren Einsparung an Wärmeenergie besitzt die Stundenplanverteilung. Das heißt, eine kluge organisierte und effektive Raumnutzung ist eine wirksame Maßnahme zur Energieeinsparung – mit und ohne ERS. Es wurde festgestellt, dass die Absenkung der Raumtemperatur erst größer 2 h einen praktischen Nutzen bringt. Außerdem wurde deutlich, dass allein die verbesserte Regelgenauigkeit der PI-Regler gegenüber TRV in Abhängigkeit der Gebäudeeigenschaften und der Anlagenkonfiguration eine Einsparung von ca. 5 % für das Gesamtgebäude ermöglicht. Diese Tatsache wertet nach Meinung der Autoren generell den Aspekt der Regelgüte von Raumregelungen schon im Planungsprozess auf, was auch mit den Aussagen in [10] korrespondiert. Die im Rahmen des Projektes ermittelten Energieeinsparungen für Schulgebäude liegen zwischen 10 und 20 %, sind somit doch von beachtlicher Größenordnung. Da die Investition in eine ERS deutlich geringer als die Aufwendungen für einen kompletten Vollwärmeschutz liegen, bietet sich mit dem Einsatz von ERS eine wirtschaftlich interessante Alternative für die arg belasteten öffentlichen Haushalte. Für die Vorhersage genauer, projektspezifischer Werte in Abhängigkeit von bauphysikalischen, energetischen und nutzungsspezifischen Eingangsgrößen ist das entwickelte Expertensystem sehr gut geeignet.

Literatur

- [1] Knabe, G.; Knorr, M.; Krimmling, J.; Preuß, A.: Entwicklung eines Expertensystems zur energetischen Gebäuediagnose bei Einsatz eines Einzelraumregelsystems. Abschlussbericht. 2004. – Technische Universität Dresden, FWU Ingenieurbüro GmbH; gefördert durch Mittel des BMWA. Förderkennzeichen: KF 0015806KMH1
- [2] Richter, W.; Knabe, G.; u.a., C.F.: Building Energy Analysis Tools. IEA-SHC Task 22: Simulationsprogramme für NEH. Abschlussbericht. 2001 – Technische Universität Dresden; gefördert durch Mittel des BMBF. Förderkennzeichen 0329 70 6 B
- [3] Leimgruber, J.; Lipsky, P.; Reichlin, A.: Optimale Schaltzeiten in Heizungs- und Klimaanlage. In: Wärmetechnik 34 (1989), Nr. 2, S. 66–68
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN V 4701 - 3: Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden. 1989. – Beuth Verlag GmbH
- [5] Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima- Ingenieuren: Richtlinie 95-3: Jährlicher Energiebedarf von Lüftungstechnischen Anlagen. 1998
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN V 4701 - 1,2: Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden. 1995. – Beuth Verlag GmbH
- [7] Verein deutscher Ingenieure: VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI- Kühllastregeln). 1996. – Beuth Verlag GmbH
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN V 4108 - 6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. 2000. – Beuth Verlag GmbH
- [9] Verein deutscher Ingenieure: VDI 2067-1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung. 2000. – Beuth Verlag GmbH
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 4701-10. Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Februar 2001

Bild 11: Diagramm und Rechenverfahren für Variante 02/ Variante 05