



**Fraunhofer** Institut  
Bauphysik

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle  
für Prüfung, Überwachung und  
Zertifizierung  
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile  
und Bauarten  
Forschung, Entwicklung, Demonstra-  
tion und Beratung auf den Gebieten  
der Bauphysik

Institutsleitung  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP Kurzbericht ES-K 12-01/2008

# **Energetische Bewertung thermisch aktivierter Bauteile** – dynamisch thermische Simulation, messtechnische Validation, vereinfachte Bewertungsansätze

Der Forschungsbericht wurde im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

Aktenzeichen Z6-10.08.18.7 - 06.17 / II 2 - F20-06-009

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Projektleitung: Dipl.-Ing. Christoph Kempkes  
Bearbeitung: Dipl.-Ing. Katrin Schalk  
Dr.-Ing. Clemens Felsmann (ITG Dresden)  
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz (ITG Dresden)  
Dr.-Ing. Michael Günther (Uponor)

Kassel im Dezember 2008

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ziel der Forschungsaufgabe</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Forschungsaufgabe</b>	<b>3</b>
2.1	Validierung mittels Messwerten	3
2.2	Rechnerische Untersuchungen	3
2.3	Unterschiede zwischen den Simulationswerkzeugen	4
2.4	Vorgehensweise bei der Bestimmung der Übergabeverluste	4
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>6</b>
3.1	Heizen	7
3.2	Kühlen	8
3.2.1	Grenzwertbetrachtung	8
3.2.2	Zielwertbetrachtung	9
3.3	TABS mit idealem Zusatzsystem	9
3.4	Fazit	10

# 1 Ziel der Forschungsaufgabe

Die Normenreihe DIN V 18599 bewertet den Energiebedarf eines Gebäudes. Bei der Berechnung werden die Übergabeverluste miteinbezogen. Für den Heizfall existieren für zahlreiche Systeme, unterschiedliche Regler und Einbausituationen Kennwerte, um die Übergabeverluste zu berücksichtigen.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, mit Hilfe thermischer Simulationswerkzeuge Wärmeübergabeverluste für thermisch aktivierte Bauteile in Anlehnung an die DIN V 18599 zu bestimmen. Es sollten vereinfachte Bewertungsansätze für die Normenreihe erarbeitet werden.

Für den Heizfall kann auf die etablierte Vorgehensweise zurückgegriffen werden. Wird diese jedoch auf den Kühlfall übertragen ergeben sich für die TABS sehr hohe Übergabeverluste Vorgehensweise (Zielwertbetrachtung). Daher wird unter Berücksichtigung der Anforderungen des Nutzers an den Komfort eine weitere Vorgehensweise (Zielwertbetrachtung) erprobt, die es ermöglichen soll, TABS im Kühlfall mit weiteren Übergabesystemen zu vergleichen.

## 2 Durchführung der Forschungsaufgabe

### 2.1 Validierung mittels Messwerten

Im Vorfeld der eigentlichen Untersuchungen wurden mittels vorhandener Messdaten für ein Beispielgebäude mit TABS umfangreiche Untersuchungen zur Validierung der verwendeten Raum- bzw. TABS-Modelle durchgeführt. Die Messwerte können mit Hilfe beider Tools in gewissen Grenzen nachempfunden werden. Auftretende Abweichungen und deren mögliche Erklärung sind dokumentiert. Für eine exakte Validierung der Modelle sind die Messwerte nicht ausreichend. Qualitative Effekte lassen sich jedoch hinreichend genau abbilden. Zudem haben die verwendeten Modelle zusätzlich ein externes Validationsverfahren durchlaufen und werden daher als geeignet angesehen, die vorliegenden Untersuchungen durchzuführen.

### 2.2 Rechnerische Untersuchungen

Die Variantenuntersuchungen wurden parallel mit zwei Software Tools durchgeführt. Beim Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) kam IDA-ICE zum Einsatz, der Projektbeteiligte, das Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden (ITG), nutzte TRNSYS.

#### **Modellbildung**

Gegenstand der rechnerischen Untersuchungen sind zwei Büroräume mit knapp 20 m<sup>2</sup> Grundfläche und einem Fensterflächenanteil von 50%. Sie sind über einen Flur miteinander verbunden. Ein Raum ist nach Osten, der andere nach Westen ausgerichtet. Die Nutzungszeiten und -randbedingungen ergeben sich aus der DIN V 18599-10. Ausgehend von einem Referenzfall wurden zahl-

reiche Varianten untersucht, um den Einfluss von Regelung, Wärmeschutzniveau, Lüftung, Bauweise, interner Gewinne und Komfortanforderungen auf das Betriebsverhalten der TABS bewerten zu können. Um die Ergebnisse der verschiedenen Varianten vergleichbar zu gestalten, wurden jeweils die Einschalttemperaturen von Heizung bzw. Kühlung angepasst.

### **2.3 Unterschiede zwischen den Simulationswerkzeugen**

Es bestand zu Beginn der Untersuchungen das Anliegen, die zu verwendenden Simulationsprogramme gegeneinander abzugleichen. Wie jedoch ein Vergleich der Ergebnisse beider Simulationsprogramme anhand eines Referenzfalls vor Beginn der Untersuchungen gezeigt hat, traten nicht unerhebliche Unterschiede zwischen den beiden Simulationswerkzeugen auf. Es wurden sehr viele Untersuchungen (stationär und dynamisch) durchgeführt, um die Ursachen dieser Unterschiede zu erörtern. Einige Anpassungen der Randbedingungen wurden vorgenommen.

Ungeachtet der im Abschlussbericht ausführlich dokumentierten Unterschiede und Differenzen zwischen den Simulationsprogrammen wird davon ausgegangen, dass die Auswirkungen auf die zu berechnenden Aufwandszahlen bzw. Nutzungsgrade vernachlässigbar sein werden. Diese werden durch Relation der Ergebnisse zweier Simulationsvarianten untereinander gebildet und stellen keine absoluten Größen dar.

### **2.4 Vorgehensweise bei der Bestimmung der Übergabeverluste**

#### **Heizfall**

Die Grundlegende Annahme für die Bestimmung der Übergabeverluste lautet: Der Nutzer stellt sein Heiz- bzw. Kühlsystem immer so ein, dass während der Nutzungszeit keine Unterschreitung (Heizfall) der festgelegten Grenztemperatur zugelassen wird.

Im Simulationsmodell wird der Referenzwärmebedarf mit einem idealisierten Anlagenmodell berechnet, bei dem die benötigte Heizleistung verlust- und verzögerungsfrei, d.h. ohne zusätzlichen energetischen Aufwand zur Verfügung gestellt wird. Der Referenzwärmebedarf entspricht in seiner Definition dem Nutzwärmebedarf nach DIN V 18599.

Wird das System in der Simulation nun so betrieben, dass die vorgegebene Grenztemperatur niemals unterschritten wird ergibt sich der dynamisch errechnete Wärmebedarf als Summe des Nutzwärmebedarfs und der Wärmeübergabeverluste für das Heizsystem. Bild 2-1 verdeutlicht dies in der linken Grafik über die Temperaturverläufe des idealen Systems und der Temperatur unter Einsatz der TABS.

#### **Kühlfall**

Zunächst wird die grundlegende Annahme auf den Kühlfall übertragen: Der Nutzer stellt sein Kühlsystem stets so ein, dass die geforderte Temperatur nie-

mals überschritten wird. Analog zur Vorgehensweise im Heizfall weist die Simulation mit dem idealen Kühlsystem die minimal benötigte Leistung zur Einhaltung dieser Anforderung aus. Wird auf diesen Referenzbedarf der Bedarf unter Einsatz des TABS bezogen, ergibt sich die Aufwandszahl.

Die Temperaturschwankungen der Raumtemperatur sind im Vergleich zur Heizperiode während der Kühlperiode deutlich höher. Das Bild 2-1 veranschaulicht dies.

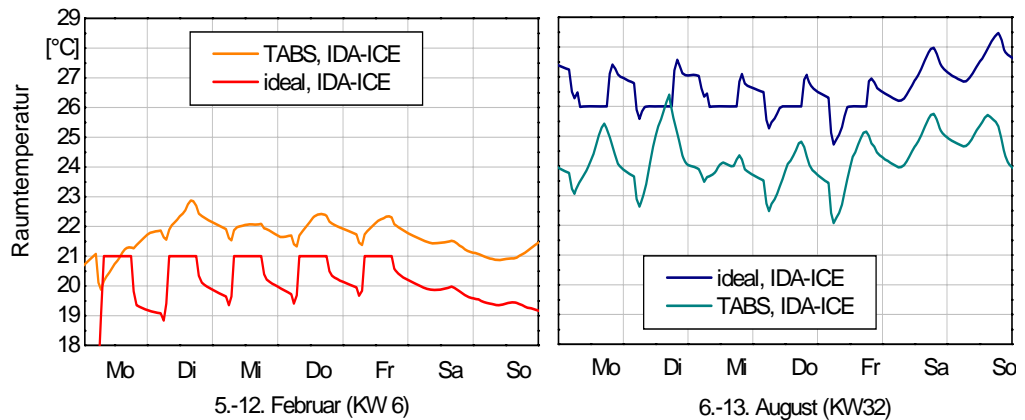


Bild 2-1: Wochengang der Raumtemperaturen des idealen und TAB Systems im Heizfall (links) und im Kühlfall (rechts), IDA-ICE, Westbüro, stündliche Mittelwerte.

### Komfortanforderung im Heiz- und Kühlfall

Durch die Darstellung der Temperaturverläufe beider aufeinanderbezogenen Systeme (Bild 2-1: jeweils „ideal“ und „TABS“) wird deutlich, dass die mittlere Temperatur im TAB-Betrieb im Heizfall deutlich über der des idealen Systems liegt, im Kühlfall deutlich darunter. Bild 2-2 verdeutlicht dies.

Besteht der gewünschte Nutzerkomfort nun darin, die vorgegebenen Grenzwerte möglichst nicht zu unter- bzw. überschreiten wird die Anforderung erfüllt. Lautet die Anforderung hingegen, die mittleren Abweichungen zwischen den Temperaturen des Betriebs- und Idealfalls sollen möglichst gering sein, erfüllt dieser Betriebszustand die Anforderungen nicht. Dies würde bedeuten, den Temperaturverlauf im Heizfall zu senken und im Kühlfall anzuheben, um im Mittel vergleichbare Temperaturen zu erhalten.

Das Bild 2-2 zeigt für eine Sommerwoche den selben Temperaturverlauf im TAB-Betrieb, das ideale System hält jedoch eine Temperatur von 24,5 °C während der Nutzungszeit ein. So liegen die beiden Temperaturkurven deutlich näher beieinander. 24,5°C entspricht dem Zielwert aller Kategorien für den Kühlfall aller Komfortbereiche I bis III nach DIN EN 15251.

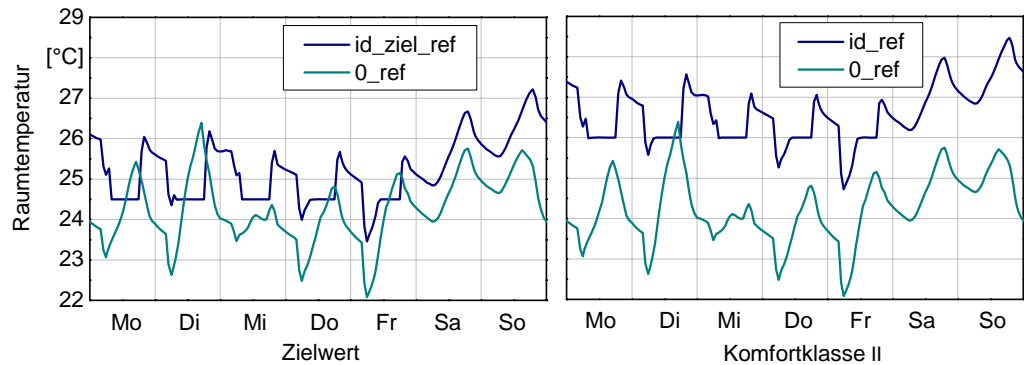


Bild 2-2: Temperaturverlauf einer Sommerwoche (IDA-ICE, Büro West), die untere Kurve repräsentiert jeweils den Betriebsfall des TABS, die obere Kurve entspricht links dem Zielwert von maximal 24,5°C während der Nutzungszeit, rechts dem oberen Grenzwert des Komfortbereichs II von maximal 26°C während der Nutzungszeit, eingehalten durch den idealen Kühler, zugehörige Aufwandszahl links: 1,27, rechts: 1,93.

Für den Kühlfall ergibt sich so für das Büro West in IDA-ICE eine Aufwandszahl von 1,93 (zugehöriger Temperaturverlauf rechts in Bild 2-2) bezogen auf den oberen Grenzwert von 26°C, wird derselbe Bedarf unter Einsatz des TABS auf den Zielwert von 24,5°C bezogen sinkt die Aufwandszahl\_ziel auf 1,27. Bei einigen Systemkonfigurationen ergibt sich eine Aufwandszahl\_ziel kleiner eins. Dies ist möglich, da die Temperatur über die Soll-Temperatur schwankt und nicht (im Kühlfall) darunter bleibt.

Nun kann man grundsätzlich zwischen Heiz- und Kühlfall unterscheiden. Gebäude ohne Heizung gibt es für gewöhnlich nicht, Gebäude ohne Kühlung hingegen schon. Es ist daher nicht zwingend erforderlich, die bisherige Vorgehensweise zur Bestimmung der Übergabeverluste im Heizfall auf den Kühlfall zu übertragen.

Die Festlegungen für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens sind:

- Im Heizfall gilt die Anforderung 21 °C nie zu unterschreiten (**Grenzwertbetrachtung**).
- Im Kühlfall werden die Variantenuntersuchungen parallel mit beiden Bezugsgrößen durchgeführt: **Grenzwertbetrachtung** mit 26 °C (Komfortkategorie II) als Grenzwert für den TAB-Betrieb und das ideale System und **Zielwertbetrachtung** mit 24,5 °C als Anforderung an das ideale System, die Temperaturen im TAB-Betrieb dürfen weiterhin bis zum Grenzwert ansteigen.

### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Hinblick auf eine Übernahme der vorab ausführlich beschriebenen Ergebnisse in das normative Verfahren zur energetischen Bewertung von Gebäuden (DIN V 18599) ist zu beachten, dass einerseits eine sachgerechte Bewertung der Systeme gewahrt bleibt, die alle wesentlichen Einflussgrößen in die Bewertung

einbezieht, andererseits aber eine einfache und übersichtliche, mit ingenieurmäßigem Sachverstand zu absolvierende Handhabung des Verfahrens möglich ist. Nach Abwägung der beiden Argumentationslinien wird ein relativ einfaches Bewertungsverfahren empfohlen.

### 3.1 Heizen

Die Variationen der inneren Wärmegewinne, des Wärmeschutzes und des Sonnenschutzes führen insbesondere zu dem Ergebnis, dass die Aufwandszahl mit sinkendem Nutzwärmebedarf und damit dem Belastungsgrad des Systems steigt.

Das Bestreben mittels der vorliegenden Untersuchungsergebnisse zu einfachen Bewertungsansätzen zu kommen, führt im Heizfall dazu, die im Hinblick auf das bestehende Bewertungsverfahren der DIN V 18599-5 zu ermittelnden Gesamtnutzungsgrade  $\eta_{h,ce}$  zunächst lediglich hinsichtlich der Vorlauftemperaturregelung zu unterscheiden. Es wird eine Mittelwertbildung zwischen den Ergebnissen von IDA-ICE und TRNSYS, zwischen den Büroräumen Ost und West über ausgewählte Varianten vorgenommen.

Der Mittelwert der Aufwandszahl von 1,37 entspricht einem Nutzungsgrad von 0,73. Dieser passt von der Größenordnung gut zu dem Nutzungsgrad von 0,74, der sich bei der Einordnung in die bereits bestehende Tabelle für Flächenheizungen in der DIN V 18599 ergibt. Die Konsistenz der Kenngrößen ist damit gegeben. Für TABS, die mit konstanter Vorlauftemperatur betrieben werden, wurden Aufwandszahlen berechnet, die ca. 4 % größer sind. Für den Gesamtnutzungsgrad ergibt sich somit ein Wert von 0,70. Tabelle 3-1 zeigt die aus den Untersuchungen resultierenden Gesamtnutzungsgrade für TABS.

Folgende Ergänzung des Abschnitts 6.1.2 für DIN V 18599 wird, nach bereits erfolgter Vorstellung im Normenausschuss, in den Teil 100 der DIN V 18599 aufgenommen:

Tabelle 3-1: Nutzungsgrade für bauteilintegrierte Heizflächen (TABS);  
Raumhöhen  $\leq 4$  m.

Einflussgrößen		$\eta_{h,ce}$
Regelung	konstante Vorlauftemperatur	0,70
	zentral geregelte Vorlauftemperatur	0,73

Wird das TABS lediglich als Grundlastsystem eingesetzt, so sind TABS und Zusatzsystem (z. B. Heizkörper, Luftheizung, o.ä.) jeweils entsprechend ihrer energetischen Deckungsanteile zu bewerten.

Der in anfänglichen Untersuchungen zur Wärmeübergabe ermittelte Zusammenhang zwischen Belastung und Aufwandszahl konnten auch im Rahmen der hier durchgeführten Studien bestätigt werden. Da aber weder in den bereits vorhandenen Bewertungsverfahren der DIN V 18599 noch innerhalb der euro-

päischen Normen derartige Ansätze zu finden sind, wurde auf eine Berücksichtigung dieser Abhängigkeiten im Heizfall zunächst verzichtet.

Bei zukünftigen Fortschreibungen der Norm ist eine weitere Differenzierung der energetischen Bewertung der Wärmeübergabe anzustreben. Dabei sollte auch geprüft werden, ob die gegenwärtige Darstellung der Verluste in Form belastungsunabhängiger Nutzungsgrade beibehalten werden sollte.

## 3.2 Kühlen

Auch im Kühlfall bestätigt sich der Zusammenhang zwischen Regelung und Aufwandszahl. Allerdings gibt es unterschiedliche Verhältnisse zwischen den Simulationstools. Bei IDA-ICE ist der Aufwand bei konstanter Temperatur 9 %, bei TRNSYS 1 % größer. Bei grober Mittelung ergibt sich auch hier eine Verschlechterung um 4 %. Dieser Zusammenhang gilt sowohl für die **Grenzwert-** als auch die **Zielwertbetrachtung**.

### 3.2.1 Grenzwertbetrachtung

Der deutlichste Zusammenhang besteht im Kühlfall bei der Grenzwertbetrachtung zwischen Nutzkältebedarf bzw. Belastungsgrad des Systems und dem Aufwand für die Kälteübergabe, Bild 3-1 zeigt den Gesamtnutzungsgrad als Kehrwert der Aufwandszahl in Abhängigkeit des Nutzkältebedarfs.

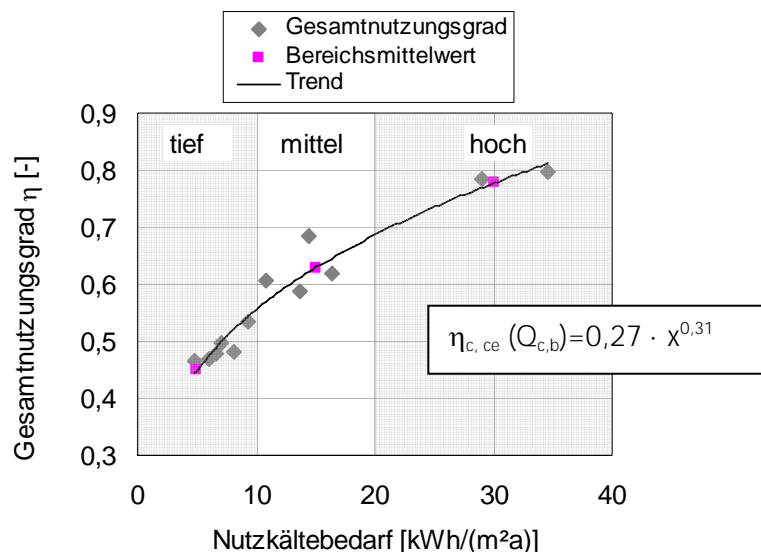


Bild 3-1: Gesamtnutzungsgrad ausgewählter Varianten mit zentraler Vorlauftemperaturregelung für den Kühlfall Büro Ost und West gemittelt sowie IDA-ICE und TRNSYS gemittelt, die daraus resultierende Trendlinie und die Mittelwerte der Bereiche tief, mittel, hoch des Nutzkältebedarfs.

Näherungsweise könnte dieser Zusammenhang entweder durch die Unterteilung in drei Bereiche berücksichtigt werden. Oder die Abhängigkeit wird direkt über den funktionalen Zusammenhang, wie in Bild 3-1 dargestellt, in die Bewertung miteinbezogen. Die Gleichung für die Trendlinie gilt für den hier untersuchten Definitionsbereich von 0 bis 40 kWh/(m²a).



Die Nutzungsgrade der Systeme mit konstanter Vorlauftemperatur können um 4 % kleiner ausgewiesen werden.

### 3.2.2 Zielwertbetrachtung

Die Ergebnisse der Zielwertbetrachtung führen definitionsgemäß zu geringeren Aufwandzahlen, bzw. höheren Nutzungsgraden. Der bei der Grenzwertbetrachtung maßgebliche Zusammenhang zwischen Bedarf und Aufwand ist hier nicht signifikant.

Hinsichtlich der untersuchten Varianten ergeben sich ähnliche qualitative Zusammenhänge zwischen Ziel- und Grenzwertbetrachtung bei der Regelung, inneren Last, Höhe der Vorlauftemperatur, Bauweise, Lüftung, Betriebszeiten und der Einbautiefe.

Es ist denkbar ein Vorgehen auszuarbeiten, welches die Aufwandzahlen, bzw. Nutzungsgrade abhängig vom Komfortanspruch ausweist. Werden die Aufwandzahlen\_ziel über ausgewählte Varianten über Ost und West sowie IDA-ICE und TRNSYS gemittelt ergibt sich ein Wert von 1,12. Dieser bezieht sich auf die Komfortanforderung nach Kategorie II. Der Aufwand steigt von Kategorie II zu I um 21 % und sinkt zu Kategorie III um 28 %. Werden diese Verhältnisse auf den Mittelwert von 1,12 übertragen ergeben sich die in Tabelle 3-2 dargestellten Größen.

Tabelle 3-2: Aufwandzahlen, bzw. Nutzungsgrade des jeweiligen Komfortanspruchs. Der Wert der Kategorie II ist ein Mittelwert ausgewählter Berechnungsergebnisse.

Komfortkategorie	I	II	III
Aufwandzahl	1,36	1,12	0,81
Gesamtnutzungsgrad $\eta_{c,ce}$	0,74	0,89	1,23

Bei dem geringsten Komfortanspruch wird ein Nutzungsgrad größer 1 ausgewiesen. Dies würde innerhalb der Normensystematik zu einer negativen Kälteabgabe der Übergabe für das Kühlsystem  $Q_{c,ce}$  und damit zu einer Reduktion des Nutzkältebedarfs führen.

### 3.3 TABS mit idealem Zusatzsystem

In der Praxis werden TABS auch als Grundlastsystem in Kombination mit schneller regelbaren Systemen (z. B. Luftheizung, Heizkörper) eingesetzt. In der Berechnung wird daher zusätzlich zum TABS ein ideales, rein konvektives Zusatzsystem modelliert. Mit unbegrenzter Leistung wird der Temperaturgrenzwert nun exakt eingehalten. Diese Untersuchungen wurden lediglich für die Grenzwertbetrachtung durchgeführt. Je nach Betriebszeit des TABS ergeben sich für dieses unterschiedliche Deckungsraten.

Sowohl im Heiz-, wie auch im Kühlfall sinken die Aufwandzahlen erheblich mit kleinerer Deckungsrate des TABS. In Bild 3-2 sind die Ergebnisse für den Kühlfall graphisch dargestellt. Wie dieser Zusammenhang normativ berücksichtigt werden kann sollte noch geprüft werden.

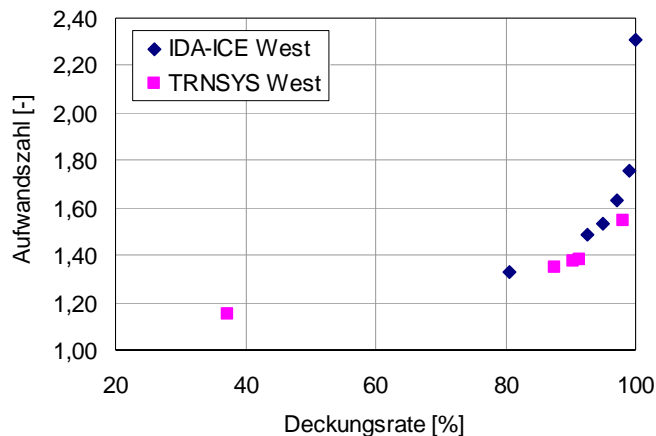


Bild 3-2: Aufwandszahl im **Kühlfall**, Büro West, bei unterschiedlichen Deckungsraten.

### 3.4 Fazit

Als Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen ergeben sich für die TABS vergleichsweise hohe Aufwandszahlen. Dies lässt sich mit dem bekannten trägeren Regelverhalten begründen und ist daher plausibel. Bei der Bewertung des Gesamtsystems im Rahmen der DIN V 18599 gleicht sich dieser Umstand häufig durch einen günstigen Primärenergiefaktor aufgrund möglichen Einsatzes regenerativer Energien aus. Es können in der Praxis mit einem einfachen TABS sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall behagliche Temperaturverhältnisse erreicht werden. Wichtig ist, dass innerhalb eines Gesamtkonzepts die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt sind.

Für das thermisch aktivierte Bauteilsystem ist die für den Heizfall etablierte und hier auf den Kühlfall übertragene Vorgehensweise (ein festgelegter Grenzwert wird niemals überschritten) eher ungünstig. Das Schema der DIN V 18599 sieht eine Bewertung des eingesetzten Übergabesystems erstmals auch im Kühlfall vor. Die dazu benötigten Kenngrößen sollten idealerweise systemübergreifend konsistent und unter vergleichbaren Randbedingungen ermittelt worden sein.

Der Zusammenhang zwischen Aufwandszahl und Nutzenergiebedarf ist sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall dominierend. Demzufolge führen die Ergebnisauswertungen der Varianten welche sich insbesondere hinsichtlich des Nutzenergiebedarfes unterscheiden im Wesentlichen zu diesem Zusammenhang. In der aktuellen Bewertungssystematik spielt die Bedarfsabhängigkeit jedoch derzeit keine Rolle. Im Kühlfall ist dieser Einfluss nach den vorliegenden Untersuchungen deutlich größer als im Heizfall, so dass zumindest dort ein solcher Einfluss berücksichtigt werden sollte.

Die beiden unterschiedlichen und unvereinbaren Vorgehensweisen für die Bestimmung der Kälteübergabe (Grenz- und Zielwertbetrachtung) sind mit allen Verantwortlichen der Normungsteile abzustimmen und deren Einsetzbarkeit zu überprüfen.