

**Zur Anlaufrechnung  
bei der Kühllastberechnung nach dem  
EDV-Verfahren der VDI 2078**

**CSE Nadler  
Dipl.-Ing. Norbert Nadler  
Arnstädter Str. 7, 16515 Oranienburg  
Tel. : (03301) 579 39-0  
Fax : (03301) 579 39-1  
[www.cse-nadler.de](http://www.cse-nadler.de)**

**Oranienburg, den 31. Mai 2006**

**Im EDV-Verfahren der VDI 2078 [1] werden die Begriffe Anlauf- und Einschwingrechnung verwendet. Diese etwas undeutlich beschriebenen Definitionen führen immer wieder zu Rückfragen und Verständnisschwierigkeiten. In diesem Beitrag soll das Grundprinzip des EDV-Verfahrens anhand eines einfachen Modells und die damit verbundenen Anforderungen an die Durchführung der Rechnung verdeutlicht werden.**

**Das EDV-Verfahren ist grundsätzlich für beliebige Belastungsverläufe geeignet. In der VDI 2078 werden jedoch nur Tagesgänge der Außenklimadaten angegeben, die beim EDV-Verfahren maximal 14 Tage andauern sollen. Es handelt sich hierbei um ein zeitlich begrenztes Tagesgangverfahren, welches sich durch eine Abhängigkeit vom gewählten Startwert auszeichnet. Diese Abhängigkeit wird im folgenden Beitrag näher untersucht.**

## **Einführung**

Bereits seit der Erstausgabe der deutschen Kühllastregeln im Jahr 1972 erfolgte die Berechnung eindimensional und instationär. Durch den instationären Beitrag ist die Komponente „Zeit“ in die Betrachtung eingeflossen. Im Gegensatz zur Heizlastberechnung, in der von einem unendlich lang anhaltenden Beharrungszustand ausgegangen wird (stationäre Berechnung), werden bei der Kühllastberechnung zeitliche Änderungen der Belastung berücksichtigt. Damit wird ein Stück mehr die Berechnung an die Realität näher angepasst. Die zeitlichen Änderungen wirken sich je nach Wärmespeicherfähigkeit der Raumumfassungskonstruktion gedämpft und zeitlich verschoben auf die Kühllast aus. Die einzelnen Belastungen, wie z.B. die Sonnenstrahlung oder die Wärmeabgabe der Geräte und Maschinen im Raum, erfahren dadurch eine Minderung in ihrer Auswirkung auf die Kühllast. Die Minderung ist umso höher, je größer die Bauschwere und damit die Wärmespeicherfähigkeit ist. Bei einer stationären Berechnungsmethode bleibt die Wärmespeicherung völlig unberücksichtigt.

Bis zur Ausgabe 1977 der VDI 2078 wurden nur rein periodische Belastungen betrachtet, die unendlich oft wiederkehren. Die Problematik der Anlaufrechnung besteht bei dieser sog. quasi-stationären Methode nicht. Die 24 Ergebnisse eines Tages stellen den eingeschwungenen Zustand dar, der sich nicht mehr verändert und in einer Einschwingrechnung mit sich wiederholenden Tagesgängen des Außenklimas ermittelt wird. Das Kurzverfahren der aktuellen VDI 2078 stellt ebenfalls den rein periodischen Fall dar.

Durch Erkenntnisse in der Meteorologie wurde bekannt, dass eine Schönwetterperiode nur max. 14 Tage andauert. Auch durch die Zerlegung eines **Test-Reference-Years** (TRYs) in seine spektralen Komponenten, lässt sich ein deutliches Abheben der Amplitude bei der 14-Tage-Periode nachweisen.

Neben weiteren Erfordernissen einer realen Betriebsweise, z.B. die tägliche Abschaltung der RLT-Anlage, wurde mit der Ausgabe des Gründruckes zur aktuell gültigen VDI 2078 im Jahr 1990 ein neues Rechenverfahren vorgestellt.

Die Besonderheiten dieses sog. EDV-Verfahrens zur Kühllastberechnung soll anhand eines stark vereinfachten Modells erklärt werden.

## Grundprinzip des EDV-Verfahrens

Die einzelnen Belastungsarten (Sonnenstrahlung, Außentemperatur, usw.) werden in der VDI 2078 nach Aktionsgrößen eingeteilt. Für jede Aktionsgröße existiert ein Übertragungsmodell, welche die Aktion in eine Reaktion (Teil-Kühllast) rechnerisch überführt. Die Summation der Teil-Kühllasten ergibt die Kühllast des Raumes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Für die Dimensionierung der Komponenten einer RLT-Anlage müssen jedoch alle 24 Kühllastergebnisse eines Tages berechnet werden. Durch eine zeitgleiche Überlagerung der Kühllast-Tagesgänge verschiedener Räume wird der maximale Wert ermittelt, der für die Auslegung der Zentrale oder des Kanalnetzes maßgeblich ist.

Ein Übertragungsmodell kann allgemein die rechnerische Abbildung einer Wand bzw. eines Fensters oder eines Raumes sein. Im stationären Fall, bzw. für den Fall, dass eine Wand keine Wärmespeicherfähigkeit besitzt, wäre das Übertragungsmodell für die Aktion „Außentemperatur  $T_A$ “ durch  $+U \cdot A$  und für die Aktion „Innentemperatur  $T_I$ “ durch  $-U \cdot A$  beschrieben.  $U$  stellt hierbei den Wärmedurchgangskoeffizienten und  $A$  die Fläche dar. Die Addition der Teil-Kühllasten, z.B. für die Stunde 13, ergäbe dann  $U \cdot A \cdot (T_{A13} - 22) - U \cdot A \cdot (T_{I13} - 22)$ . Die Bezugstemperatur von  $22\text{ °C}$  ist willkürlich gewählt und hat keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Aufgrund der langwelligen Strahlungsankopplung der inneren Oberflächen der Wände und Fenster untereinander ist jedoch als rechnerische Abbildung die eines vollständigen Raumes auf jeden Fall vorzuziehen.

Ziel der VDI-Richtlinie ist die Bereitstellung von Algorithmen, mit denen das instationäre Verhalten eines Raumes bei Vorgabe beliebiger Belastungsverläufe berechnet werden kann. Um dies zu bewerkstelligen werden zunächst einige Typ-Räume mit einem hochwertigen thermischen Gebäude-Simulationsprogramm berechnet. Die Typ-Räume unterscheiden sich in ihrer Wärmespeicherfähigkeit. Das Simulationsprogramm berechnet für diese Räume und für jede Aktionsgröße die Reaktion auf einen Sprung der Aktionsgröße von 0 auf 1. Die jeweils anderen Aktionsgrößen bleiben dabei auf konstant 0 bzw. auf  $22\text{ °C}$ .

Das Ergebnis nennt man die Übergangsfunktion der Teil-Kühllast und es beinhaltet sowohl das Anfangsverhalten zum Zeitpunkt  $t = 0$  (Durchgriff), das stationäre Endverhalten zum Zeitpunkt  $t = \infty$  und das dynamische Verhalten im Zeitraum zwischen  $t = 0$  und  $t = \infty$ .

Um allein das dynamische Verhalten zu separieren, wird die Übergangsfunktion auf den Durchgriff und den stationären Endwert normiert. Damit verlaufen alle Übergangsfunktionen im Teil-Kühllastbereich von 0 bis 1 W. Anschließend werden die Übergangsfunktionen durch eine mathematische Anpassungsfunktion approximiert. Als besonders anpassungsfähig erwiesen sich hierbei die in der Systemtheorie und Nachrichtentechnik bekannten rekursiven Filter. Bei einem rekursiven Filter werden sowohl die zurückliegenden Aktionswerte als auch die zurückliegenden Reaktionswerte gewichtet aufaddiert.

$$y_k = \sum_{m=0}^{N_a-1} a_m u_{k-m} + \sum_{n=1}^{N_b} b_n y_{k-n} = a_0 u_k + a_1 u_{k-1} + a_2 u_{k-2} + \dots + b_1 y_{k-1} + b_2 y_{k-2} + \dots \quad (1)$$

$y_k, y_{k-1}, y_{k-2}, \dots$	Reaktionswerte (Teil-Kühllast) zum Zeitpunkt $k \Delta t$ und die $N_b$ zurückliegenden Reaktionswerte
$u_k, u_{k-1}, u_{k-2}, \dots$	Aktionswerte zum Zeitpunkt $k \Delta t$ (z.B. als Mittelwert der letzten Stunde) und die $N_a-1$ zurückliegenden Aktionswerte
$\Delta t$	Zeitschrittweite, in der <i>VDI 2078 [1]</i> $\Delta t = 1$ Stunde
$k$	Laufzähler für die diskreten äquidistanten Zeitschritte
$N_a$	Anzahl der a-Filterkoeffizienten
$N_b$	Anzahl der b-Filterkoeffizienten (Filterordnung)

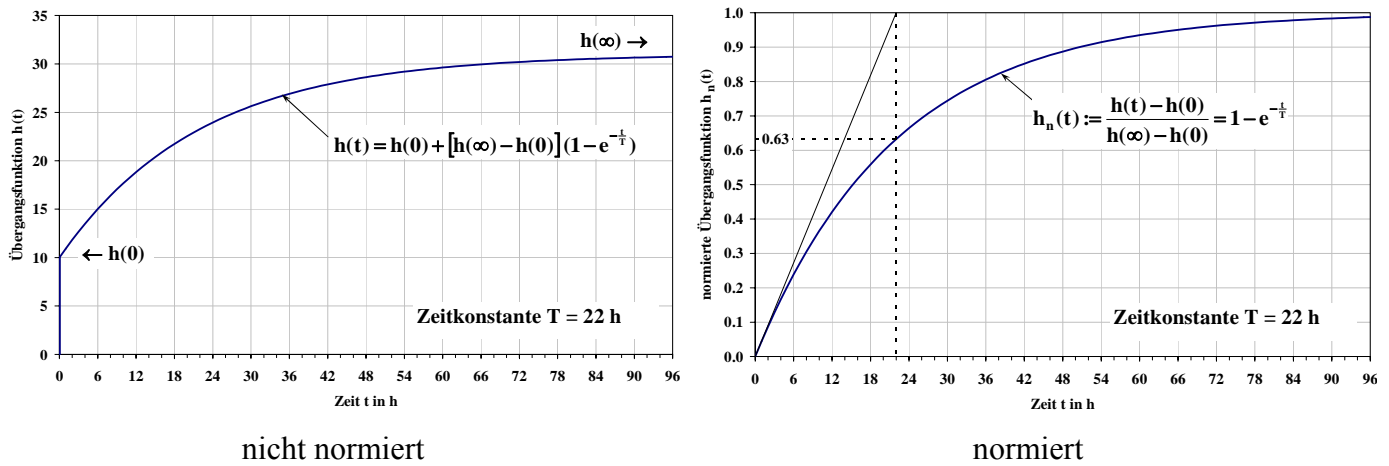
Die a- und b-Koeffizienten ergeben sich aus der Approximation der Übergangsfunktion. In der *VDI 2078 [1]* wurden die normierten Filterkoeffizienten (dort als Gewichtungsfaktoren bezeichnet) für alle Aktionen einheitlich mit  $N_a = 4$  und  $N_b = 2$  angegeben. In der korrigierten Fassung [2] variiert die Anzahl der Koeffizienten um eine höhere Genauigkeit zu erreichen. Die Maximalwerte betragen hier  $N_a = 7$  und  $N_b = 4$ . Für die Durchführung der Berechnung bedeutet das eine Rückwärtsbetrachtung der Reaktionswerte von max. 4 Stunden. Im Fall einer Abweichung der Ist-Raumlufttemperatur vom Sollwert, z.B. bei der Berechnung der sich einstellenden Raumlufttemperatur ohne Anlagenleistung, können sich nach [2] max. die letzten 5 Stunden auf das Ergebnis zur Stunde  $k$  auswirken. Zu Beginn der Rechnung ( $k = 1$ ) sollten daher geeignete Startwerte vorliegen, die in einer sog. Anlaufrechnung ermittelt werden können.

Mit der Tabelle für die Filterkoeffizienten ist das dynamische Verhalten der Typ-Räume bereitgestellt. Der Anwender ordnet seinem zu berechnenden Raum (Real-Raum) ein Typ-Raum zu und denormiert die zugehörigen a-Koeffizienten mit den Stationärwerten und Durchgriff des Real-Raumes. Die Zuordnung des Typ-Raumes erfolgt nur hinsichtlich der Dynamik und ist vergleichbar mit der Auswahl einer Zeitkonstante. Diese Vorgehensweise findet sich auch in der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 und in der EnEV-Berechnung nach der DIN V 4108-6 wieder.

## Ein einfaches Modell

Anhand eines einfachen Übertragungsmodells (Speicherglied 1. Ordnung) soll das obige Grundprinzip beispielhaft erläutert werden. Speicherglieder 1. Ordnung treten z.B. dann auf, wenn die Wärmeleitfähigkeit der Bauteile sehr hoch ist. Der Vorteil dieses Modells ist, dass die Übergangsfunktion und die a- und b-Filterkoeffizienten analytisch bestimmbar sind. D.h., ein Simulationsprogramm und eine Approximation werden nicht benötigt.

*Bild 1* verdeutlicht den Vorgang der Normierung anhand eines Beispiels mit Durchgriff. Ein sofort wirkender Anteil (Durchgriff) ist immer dann vorhanden, wenn nicht speichernde Elemente im Modell wirksam sind. Bei Räumen kann dies z.B. die als nicht speicherfähig angenommene Raumluft sein. In [1] werden außerdem die Fenster als nicht speicherfähig gerechnet.



**Bild 1:** Normierung der Übergangsfunktion  $h(t)$  für ein Speicherglied 1. Ordnung mit Durchgriff  $h(0)$

Die normierte Übergangsfunktion wird nur noch durch die Zeitkonstante  $T$  beschrieben. Eine Zeitkonstante ist definiert durch

$$T = \frac{\text{Wärmespeicherkennwert}}{\text{Wärmeverlustkennwert}} \quad \text{z.B.: } T = \frac{m c}{\alpha_a A} \quad (2)$$

Im Falle eines Speichergliedes 1. Ordnung gibt die Zeitkonstante an, wann 63 % des stationären Endwertes erreicht sind. Die Ermittlung der Zeitkonstante kann hier auch grafisch durch Anlegen einer Tangente erfolgen (s. *Bild 1*).

Entsprechend *Glg. 1* ist das rekursive Filter des Speichergliedes 1. Ordnung durch

$$N_a = N_b = 1 ; a_0 = 1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}} ; \text{denormiert: } A_0 = [h(\infty) - h(0)] a_0 ; b_1 = e^{-\frac{\Delta t}{T}} \quad (3)$$

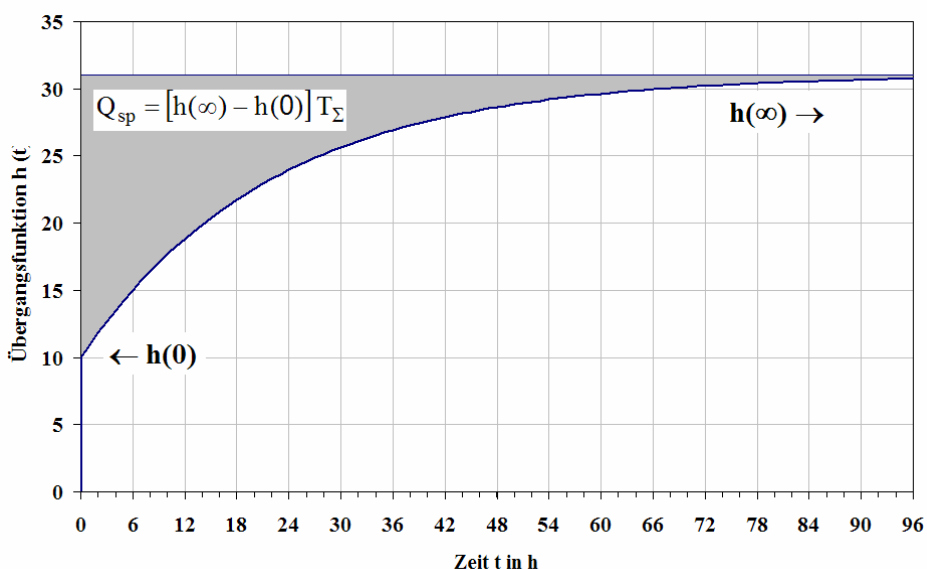
$$y_k = A_0 u_k + b_1 y_{k-1}$$

gegeben.

## Summenzeitkonstante

Tatsächlich wird ein Raum nur durch Speicherglieder höherer Ordnung mit entsprechend vielen Zeitkonstanten genügend genau abgebildet. Aber auch für diese Modelle lässt sich eine Zeitkonstante, die sog. Summenzeitkonstante berechnen. Mit der Summenzeitkonstante kann die insgesamt gespeicherte Wärmemenge (markierte Fläche in *Bild 2*) bei einer sprunghaft veränderten Aktionsgröße ermittelt werden.

Die Summenzeitkonstante ist die Summe aller Zeitkonstanten im Übertragungsmodell und lässt sich analytisch aus dem Frequenzgang errechnen. Für das Speicherglied 1. Ordnung gilt  $T = T_\Sigma$ .



**Bild 2:** Zur Definition der Summenzeitkonstante  $T_Z$

*Tabelle 1* stellt die interessierenden Kennwerte der nach [2] veränderten Typ-Räume zusammen. Die Summenzeitkonstanten liegen im Bereich 4,2 bis 35,7 h. Raumtyp M unterscheidet sich im Wesentlichen von Raumtyp L nur durch die schwerere Außenwand. Die Summenzeitkonstanten der einzelnen Aktionsgrößen für einen bestimmten Raum können sich um bis zu 21,5 h unterscheiden (s. Raumtyp S). Bei der Zuordnung einer Bauschwere zu einem Raumtyp sollte daher auch die absolute Höhe der Belastungsart ( $u_k$ -Werte) sowie die Höhe des Denormierungsfaktors  $h(\infty)-h(0)$  beachtet werden. Einen sehr dominanten Einfluss hat die Aktion TL „Raumlufttemperatur“. Durch den hohen Denormierungsfaktor steht die gespeicherte Wärmemenge im Verhältnis zu den anderen Aktionsgrößen außer Konkurrenz (s. *Tabelle 1*). Daher werden die Speichereffekte besonders bei veränderlichen Raumlufttemperaturen –z.B. bei „frei schwingender Raumlufttemperatur“– aktiviert.

**Tabelle 1:** Stationäre und dynamische Kennwerte der Typ-Räume nach [2] mit nicht-adiabater Innentür IT und Rückwand (Innenwand) IW zum Flur sowie speicherfähigem Fenster

Aktion	Stationärwerte in W/K bzw. -	Summenzeitkonstante in h	gespeicherte Wärmemenge in Wh	Aktion	Stationärwerte in W/K bzw. -	Summenzeitkonstante in h	gespeicherte Wärmemenge in Wh
<b>Raumtyp XL</b>	Durchgriff TL: -197,2 W/K			<b>Raumtyp M</b>	Durchgriff TL: -197,2 W/K		
QS	0,89	5,7	5	QS	0,84	10,4	9
TL	-23,37	5,2	912	TL	-32,59	10,0	1.646
FE	13,81	4,2	58	FE	13,38	6,9	93
AW	1,96	4,8	9	AW	1,90	15,3	29
IT	3,45	5,5	19	IT	3,37	8,5	29
IW	4,14	4,4	18	IW	13,92	12,0	167
<b>Raumtyp L</b>	Durchgriff TL: -197,2 W/K			<b>Raumtyp S</b>	Durchgriff TL: -197,2 W/K		
QS	0,84	11,4	10	QS	0,85	21,6	18
TL	-32,59	10,9	1.788	TL	-30,87	20,9	3.472
FE	13,38	7,8	105	FE	13,46	14,2	191
AW	1,90	8,8	17	AW	1,93	35,7	69
IT	3,37	9,1	31	IT	4,10	15,8	65
IW	13,92	12,7	177	IW	11,36	27,5	312

Mit der *Glg. (3)* in Zusammenhang mit der *Tabelle 1* liegt nun ein einfaches Modell vor, mit dem Erkenntnisse und Abschätzungen in grober Näherung möglich sind.

## Einfluss des Startwertes

Anhand des obigen einfachen Modells, welches für eine einzelne Aktionsgröße steht, soll der Einfluss des Startwertes auf das Endergebnis abgeschätzt werden. Wird *Glg. (3)* mehrfach für  $k = 1, 2, 3, \dots$  usw. rekursiv eingesetzt, dann erhält man die Folge

$$y_k = A_0 \left( u_k + \sum_{i=1}^{k-1} b_1^i u_{k-i} \right) + b_1^k y_0 \quad (4)$$

Für  $k = 1$  ist der Beitrag unter dem Summenzeichen Null. Eine Differenz im Ergebnis für die Teil-Kühllast  $\Delta y_k$  wirkt sich bezogen auf den Unterschied im gewählten Startwert  $\Delta y_0$  wie folgt aus

$$\frac{\Delta y_k}{\Delta y_0} = b_1^k = e^{-\frac{k \Delta t}{T}} \quad (5)$$

Der Gleichung ist zu entnehmen, dass die Wichtung des Startwertes  $y_0$  mit zunehmender Zeit abnimmt. Im eingeschwungenen Zustand wird  $k \Delta t$  sehr groß, der Faktor geht gegen Null und der Startwert hat keinen Einfluss mehr. Je höher die Zeitkonstante ist, desto stärker wird der Startwert gewichtet. Dennoch steuert die maximale Zeitkonstante in *Tabelle 1* nach Ablauf von 14 Tagen nur noch einen geringen Anteil zum Endergebnis bei.

Beispiel: Zeitkonstante  $T = 35,7$  h,  $k \Delta t = 14$  Tage  $\times 24$  h  $= 336$  h  $\rightarrow \frac{\Delta y_k}{\Delta y_0} = e^{-\frac{336}{35,7}} = 8,2 \cdot 10^{-5}$

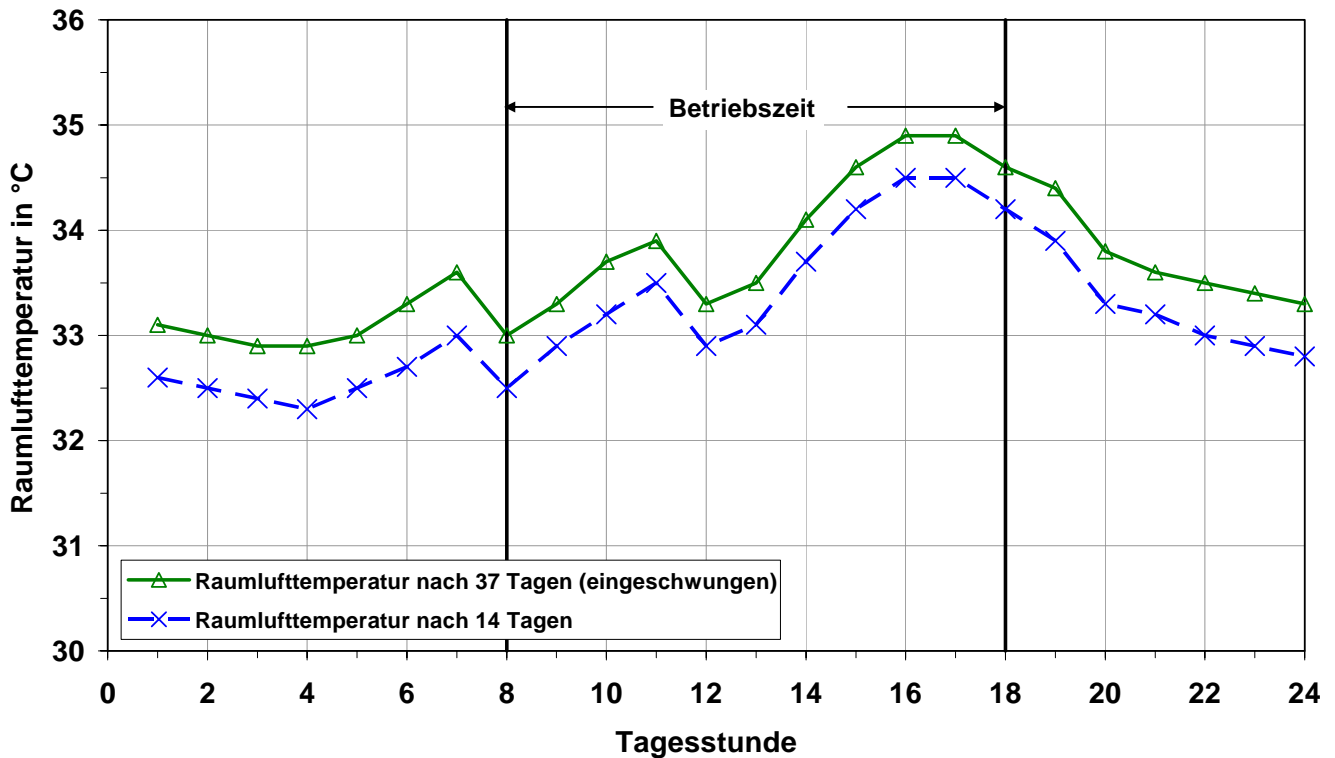
D.h., auf eine Anlaufrechnung kann für alle Typ-Räume verzichtet werden. Es genügt daher, alle Aktions- und Reaktionswerte in *Glg. (1)* bzw. *(3)* für  $k < 1$  auf Null bzw. auf Bezugstemperatur zu setzen.

Eine Ausnahme bildet die Aktion TL, wenn durch Minderleistung der Anlage der Ist-Wert vom Soll-Wert abweicht, z.B. beim unterbrochenen Betrieb (Nachtabstaltung) oder bei der frei schwingenden Raumlufthtemperatur mit ausgeschalteter RLT-Anlage. Dieser Fall unterscheidet sich von den aufgeprägten Soll-Wertänderungen der Raumlufthtemperatur, bei der die Anlage weiterhin in Betrieb ist.

Eine analytische Behandlung des nicht durchgehenden Anlagenbetriebes mit *Glg. (3)* ist zu aufwendig, da über die Berechnung der sich einstellenden Ist-Raumlufthtemperatur alle anderen Aktionsgrößen mitwirken (vgl. *VDI 2078 [1, Glg. 7.24 und 7.19]*). Ein Ausweg findet sich in der Festlegung der Raumlufthtemperatur statt der Kühllast als Reaktionsgröße (Alternativmodell). Auch hierfür lassen sich Frequenzgänge berechnen, aus denen sich die Summenzeitkonstante ergibt. Für die Typ-Räume XL...S und den verschiedenen Aktionsgrößen ergeben sich dabei Summenzeitkonstanten von 40 bis 150 h. Unterschiede im Startwert werden für diesen Sonderfall nach 14 Tagen mit maximal ca. 11 % gewichtet und sind daher nicht vernachlässigbar.

Beispiel: Zeitkonstante  $T = 150 \text{ h}$ ,  $k \Delta t = 14 \text{ Tage} \times 24 \text{ h} = 336 \text{ h} \rightarrow \frac{\Delta y_k}{\Delta y_0} = e^{-\frac{336}{150}} = 0,106$

Beispielrechnungen bestätigen dieses Ergebnis. *Bild 3* zeigt ein Beispiel für den Extremfall Raumtyp S mit Anlagenleistung Null. Der eingeschwungene Zustand der Raumlufttemperatur ist erst nach mehr als 14 Tagen erreicht. Die Unterschiede betragen jedoch nur ca. 0,5 K.



**Bild 3:** Beispiel für den Einschwingvorgang der Raumlufttemperatur  
 Raumtyp S  
 Raumabmessungen 5 x 3,5 x 3 m  
 Betriebszeit 7 – 18 Uhr  
 Personen 3  
 weitere innere Lasten keine  
 Außenluftwechsel 1-fach, während der Betriebszeit  
 Anlagenbetrieb ausgeschaltet

## Anlaufrechnung

Da der Abbruch der Berechnung vor dem Erreichen des eingeschwungenen Zustandes vom gewählten Startwert beeinflusst werden kann, gibt die VDI 2078 einige Hinweise zum Erhalt realistischer Startwerte für die Reaktionswerte. Vor dem eigentlichen Einschwingvorgang mit Abbruch nach 14 Tagen unter Verwendung der extremen Klimadaten aus der VDI 2078 (Schönwetterperiode) wird eine Anlaufrechnung mit abgemilderten Klimadaten und Belastungen empfohlen. Als Startwerte für die Anlaufrechnung empfiehlt die VDI 2078

- bei den Temperaturaktionen die stationären Teil-Kühllasten, berechnet mit den 24-h-Mittelwerten der Soll-Raumlufttemperatur bzw. der Außenlufttemperatur bzw. der kombinierten Außentemperatur,



- einzusetzen und bei den restlichen Aktionen (aufgeprägte konvektive Belastungen und Wärmepotentiale sowie die innere Strahlung) die Teil-Kühllast auf Null zu setzen,
- oder vereinfachend alle Teil-Kühllasten auf Null zu setzen.

Als Klimadaten sollen Außenlufttemperaturen für trübe Tage aus der DIN 4710 verwendet werden. Die Sonnenstrahlung ist durch Nullsetzen auszuschalten. Außerdem sind keine konvektiven inneren Lasten in Ansatz zu bringen. Der Einschwingvorgang für die Anlaufrechnung ist ebenfalls nach 14 Tagen abzuberechnen.

Ob diese Annahmen zu realistischen Startwerten für die Schönwetterperiode führen, dürfte sehr fraglich sein. Zu Bedenken ist auch, dass für die Aktionen „aufgeprägte Strahlung“ und „konvektive innere Lasten“ eine Zuschaltung erst zu Beginn der Schönwetterperiode erfolgt. D.h., die Startwerte für diese Aktionen sind zu Null angenommen. Im Alternativmodell „Reaktion ist Raumlufttemperatur“ mit seinen hohen Zeitkonstanten wurde oben nachgewiesen, dass damit ein nicht unerheblicher Einfluss des Startwertes verbleibt.

## Zusammenfassung

Mit dem EDV-Verfahren der VDI 2078 ist es möglich, auch nicht periodische instationäre Vorgänge zu berechnen. Man könnte daher vom bisherigen Tagesgangverfahren abrücken und die Erkenntnis umsetzen, dass Schönwetterperioden nur maximal 14 Tage andauern. Die in der VDI 2078 zur Verfügung gestellten Klimadaten umfassen jedoch nur Tagesgänge der Außenlufttemperatur und Sonnenstrahlung. Somit kam man überein, ein Tagesgangverfahren mit Wiederholungsbegrenzung einzuführen.

In diesem Beitrag wurde anhand eines vereinfachten Übertragungsmodells nachgewiesen, dass für den durchgehenden Anlagenbetrieb keine Bedenken gegen eine 14-malige Wiederholung der Außenklima-Tagesgänge bestehen. Da die Startwerte nach 14 Tagen Einschwingrechnung einen vernachlässigbaren Einfluss haben, können sie auch allesamt auf Null gesetzt werden.

Für den unterbrochenen Anlagenbetrieb sind jedoch wesentlich höhere Zeitkonstanten wirksam. Man gewinnt diese Zeitkonstanten aus einem Alternativmodell zum EDV-Verfahren der VDI 2078, bei dem die Reaktionsgröße nicht die Kühllast, sondern die Raumlufttemperatur ist. Die hohen Zeitkonstanten verstärken nach *Glg. (5)* die Wichtigkeit des Startwertes nach  $k \Delta t$  Stunden. Folglich wäre nur für diesen Fall eine Anlaufrechnung mit abgemilderten Klimadaten zum Erhalt realistischer Startwerte für die Schönwetterperiode notwendig.

Die VDI 2078 bietet für die Anlaufrechnung Festlegungen bezüglich des Außenklimas und der inneren Belastungen an, die sehr zweifelhaft sind. Insbesondere könnte die Annahme der Abwesenheit von innerer Strahlungs- und konvektiver Belastung die Anlaufrechnung ad absurdum führen. Unverständlich ist auch, warum die Anlaufrechnung nach 14 Tagen abzuberechnen ist. Da es sich hierbei um ein „normales“ Klima handeln soll, wäre doch der startwertunabhängige eingeschwingene Zustand vorzuziehen.

Der unterbrochene Anlagenbetrieb stellt den Regelfall dar, für den jedoch eine realistische Anlaufrechnung aufgrund mangelnder Klimadaten nicht möglich ist. Die Problematik verschärft sich, wenn neben der Nachtabschaltung noch eine Wochenendabschaltung berücksichtigt werden soll. Dieser Betrieb ist sehr realistisch und würde wahrscheinlich dazu führen, dass montags ein Kühllastmaximum auftritt, welches höher ist als an den übrigen Tagen. Für die Einschwingrechnung erhöht sich allerdings die Periodenlänge mit veränderlichen Randbedingungen auf eine Woche. Nach zweimaligem Durchlauf müsste dann abgebrochen werden, um das 14-Tage-Kriterium einzuhalten. Spätestens hier dürfte das Tagesgangverfahren mit Wiederholungsbegrenzung nicht mehr geeignet sein.

Es wird daher vorgeschlagen, bis zur Festlegung auf geeignete Klimadaten sowohl für die Schönwetterperiode als auch für die Anlaufrechnung ausschließlich bis zum eingeschwungenen Zustand zu rechnen. Die VDI 2078 selbst beinhaltet eine solche Aussage im Kapitel 7.12, Absatz 4, Satz 1.

Ein Kühllastprogramm sollte die Möglichkeit bieten, sowohl den eingeschwungenen Zustand, als auch den Zustand nach einer vorgebbaren Anzahl von Tagen zu berechnen. Sollte sich ein Unterschied zwischen einer 14-tägigen Berechnung und dem eingeschwungenen Zustand ergeben, wäre der Anwender zumindest gewarnt. Auf die Darstellung des Einschwingvorganges der Raumlufttemperatur, wie sie in der VDI 2078 in Bild 11 bis 13 und 15 enthalten sind, sollte aufgrund der mangelhaften Anlaufrechnung im Programm verzichtet werden.

Einen Ausweg aus der gesamten Problematik wäre durch die Verwendung von Test-Referenz-Jahren für extreme Witterungsverhältnisse gegeben. In [3] sind Klimadatensätze für drei real aufgetretene heiße Sommermonate enthalten. Die angekündigte Ergänzung dieser Arbeit wird praktisch verwertbare TRY's mit einem extremen Winter- und Sommerhalbjahr enthalten.

## Literatur

- [1] **VDI 2078 Ausgabe Juli 1996** : Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln).
- [2] **Nadler, Norbert:**  
Korrekturvorschläge zum EDV-Verfahren der VDI 2078.  
Teil 1a: Algorithmen: **HLH Bd. 54 (2003) Nr. 8, S. 59-66**  
Teil 1b: Algorithmen: **HLH Bd. 54 (2003) Nr. 9, S. 62-66**  
Teil 2a: Vergleichsrechnungen: **HLH Bd. 54 (2003) Nr. 10, S. 83-90**  
Teil 2b: Vergleichsrechnungen: **HLH Bd. 54 (2003) Nr. 11, S. 75-78**
- [3] **Christoffer, Jürgen; Deutschländer, Thomas; Webs, Monika:**  
Test-Referenz-Jahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse (TRY).  
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 2004