

Was bedeutet der Begriff "Kühllast" ?

- Aspekte der neuen VDI-Kühllastregeln -

Lothar Rouvel



Eines der wesentlichen Ziele der Überarbeitung und Weiterentwicklung der VDI-Kühllastregeln (VDI 2078) ist das Zusammenwirken zwischen dem thermischen Verhalten des Gebäudes und den TGA-Anlagen (einschließlich Sonnenschutz und Beleuchtung) realitätsnahe abzubilden. Die Art, Steuerung und Betriebsweise der Kälteabgabe der unterschiedlichen TGA-Anlagen sind in ihrer Wirkung zu berücksichtigen.

Dabei sollen auch die zulässigen Toleranz- und Schwankungsbereiche für die Raumtemperatur bis hin zur frei schwingenden Raumtemperatur (ohne Kühlung) einbezogen werden. Es ist nicht nur die Raumlufttemperatur, sondern auch die operative (empfundene) Temperatur in die Bewertung aufzunehmen. Grundsätzliche Regelungsstrategien sind in ihrer Auswirkung zu betrachten.

Die "Kühllast" bildet dabei als Bilanzgröße die Schnittstelle zwischen den beiden Bilanzbereichen "Gebäude" und "TGA" und berücksichtigt die Rückwirkungen zwischen den beiden Bilanzbereichen.

Aus diesen Überlegungen leitet sich fast automatisch die Frage ab:

Kann die „Kühllast“ eine Gebäudeeigenschaft sein,
wie es bisher häufig postuliert wurde?

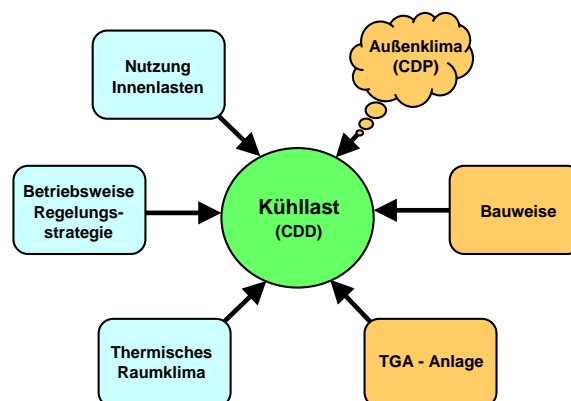


Bild 1: Einflussgrößen auf die Kühllast nach VDI 2078

Auf die Kühllast wirkt ein Bukett von Einflussgrößen ein, das sich in zwei Gruppen zusammenfassen lässt (siehe **Bild 1**):

- zum einen der „Hardware“-Bereich, bestehend aus:

- Bauweise, vor allem Art und Umfang der Verglasung, Himmelsrichtung, thermische Bauschwere
- Anlagen der TGA mit unterschiedlicher Art des Kälteeintrags in den Raum, wie RLT-Anlagen mit weitgehend konvektivem Kälteeintrag und Flächenkühlsystemen mit wesentlichem strahlenden Anteil, sowie Anlagen, deren verfügbare Kühlleistung z.B. von der sich einstellenden Raumtemperatur abhängt (z.B. Lüftungsanlagen mit vorgegebener Luftmenge und Zulufttemperatur sowie Flächenkühlsysteme). Aber auch Sonnenschutz und Beleuchtung sind in diesem Zusammenhang zu betrachten.

- das Außenklima, das im mitteleuropäischen Bereich bei den Extremwerten nicht „eingeschwungen“ ist. Daher wird in der VDI 2078 eine Cooling Design Period (CDP) mit dem Cooling Design Day (CDD) als letztem Tag definiert. Selbstverständlich kann auch für energetische Belange und für die Beurteilung des Sommerlichen Wärmeschutzes ein Testreferenzjahr (TRY) betrachtet werden.
- zum anderen der „Software“-Bereich, bestehend vor allem aus:
 - der Nutzung der Räume mit dem Zeitgang der Innenlasten und
 - den Anforderungen an das Raumklima, vor allem an die Raumlufttemperatur und die operative (empfundene) Temperatur sowie
 - Betriebsweise und Regelungsstrategien der TGA-Anlagen. Hierunter ist die tägliche Betriebszeit ebenso zu verstehen wie die Ausnutzung der zulässigen Toleranz- und Schwankungsbereiche für die Raumtemperatur, Vorsteuerung der verfügbaren Kühlleistung und Berücksichtigung des grundsätzlichen Reglerverhaltens - wie Proportional- oder 2-Punkt-Regelung -, das die Leistungscharakteristik der TGA-Anlagen wesentlich prägt.

Selbstverständlich ist darauf zu achten, dass die verschiedenen Einflüsse nur soweit und differenziert berücksichtigt werden sollen, wie sie in ihrer Wirkung auf die Kühllast relevant sind.

Die Ergebnisse sind häufig auch für Fachleute überraschend. In **Bild 2a** ist beispielhaft der Einfluss der Betriebsweise und der Regelungsstrategie für den Typraum M der VDI 2078 dargestellt. Dabei ist für alle betrachteten Varianten eine rein konvektive Kühllast vorausgesetzt. Die Regelung der Raumlufttemperatur erfolgt auf unterschiedliche Weise mit und ohne Schwankungsbereich für die Raumlufttemperatur. Aber in allen Fällen wird der Bereich zwischen 22°C und 26°C eingehalten.

Die Unterschiede bezüglich der erforderlichen maximalen Kühllast sind nicht einige Prozent, sondern eine Relation von bis zu **1 : 3**

Dagegen wirkt sich für den hier betrachteten Fall die Bauschwere nur vergleichsweise wenig aus (**Bild 2b**)

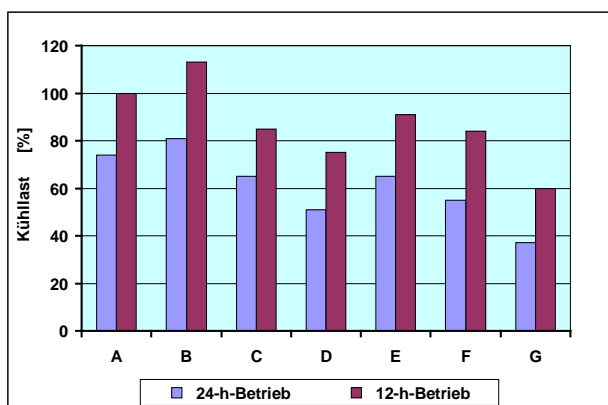


Bild 2a: Einfluss der Betriebsweise und der Regelungsstrategie bei Bauweise M

Kühllastzone 4 – Großstadt-Zentrum

Kühllast 100% konvektiv

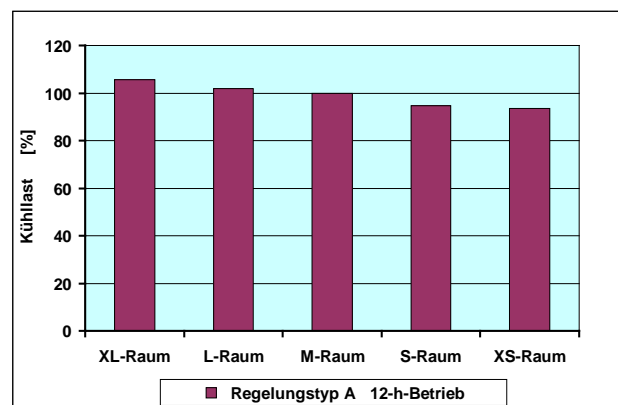


Bild 2b: Einfluss der Bauschwere bei 12h-Betrieb
Regelungsstrategie A:

$$g_{RL} = 22^{\circ}\text{C}$$

Kühllastzone 4 – Großstadt-Zentrum

Kühllast 100% konvektiv

Regelungsstrategie:

- A:** $\vartheta_{RL} = 22\text{ °C}$ konstant
- B:** $\vartheta_{RL} = 22 / 26\text{ °C}$ Knickpunkt bei $\vartheta_a = 26\text{ °C}$
- C:** $\vartheta_{RL} = 22\text{ °C} + 4\text{ K}$ (2-Punkt-Regelung)
- D:** $\vartheta_{RL} = 22\text{ °C} + 4\text{ K}$ (Proportional-Regelung)
- E:** $\vartheta_{RL} = 22 / 24\text{ °C} + 2\text{ K}$ Knickpunkt bei $\vartheta_a = 18\text{ °C}$ **(2 Punkt-Regelung)**
- F:** $\vartheta_{RL} = 22 / 24\text{ °C} + 2\text{ K}$ Knickpunkt bei $\vartheta_a = 18\text{ °C}$ **(Proportional-Regelung)**
- G:** durch Begrenzung von Q_{\max} auf $\vartheta_{RL} = 26\text{ °C}$ begrenzt

Wie noch gezeigt wird, verstärkt sich der Einfluss der Bauschwere mit zunehmendem Schwingenlassen der Raumtemperatur.

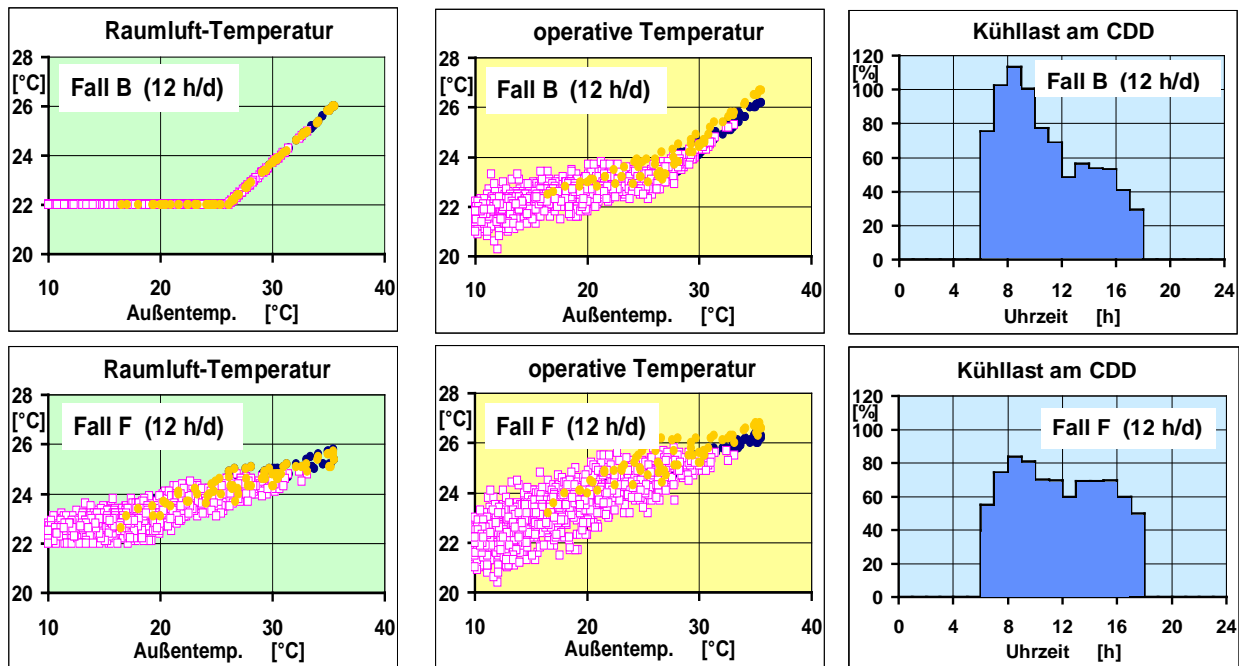


Bild 3: Rückwirkung der Nutzungsvorgabe auf Raumtemperatur und Kühllastgang
 Regelungsstrategie B und F (ohne und mit Schwankungsbereich für ϑ_{RL})
 Kühllastzone 4 – Großstadt-Zentrum
 Kühllast 100% konvektiv
 Bauschwere M
 12h-Betrieb

Die Rückwirkungen der Regelungsstrategie auf die Raumtemperatur (Lufttemperatur und operative Temperatur) sowie auf den Zeitgang der Kühllast sind für zwei Fälle (ohne und mit Schwankungsbereich für die Raumluf-Temperatur) in **Bild 3** aufgezeigt.

Selbst wenn der Sollwert der Raumluf-Temperatur exakt eingehalten wird (Fall B), gibt es einen Schwankungsbereich für die operative Temperatur – abhängig von den jeweiligen Lasten und deren Vorgeschichte. Der Zeitgang der Kühllast entspricht in beiden Fällen **nicht einmal** näherungsweise dem Zeitgang der inneren und äußeren Lasten im Raum.

Im Fall B (ohne Schwankungsbereich für die Raumlufttemperatur) ist eine ausgeprägte Spitze am Vormittag zu sehen, die verursacht ist durch den - niedrigen - Sollwert der Raumlufttemperatur von 22°C am Vormittag aufgrund der noch relativ kühlen Außentemperatur kombiniert mit der Notwendigkeit, den Raum morgens herunterzukühlen, da er am Vorabend und damit auch während der Betriebspause in der Nacht sehr warm war. Lässt man einen Schwankungsbereich für die Raumlufttemperatur von 2 K zu (Fall F), lässt sich die Leistungsspitze praktisch vollständig abbauen und es gibt einen nahezu ausgeglichenen Leistungsgang über den Tag.

Somit besteht auch die Möglichkeit, den Zeitgang der Kühllast an die besonderen Eigenschaften der jeweils ausgewählten TGA-Anlage aufeinander abzustimmen, ohne dabei unzulässige Rückwirkungen auf das Raumklima zu erhalten.

Der Einbezug der Regelungsstrategie bei der Ermittlung der Kühllast ermöglicht daher Optimierungsmöglichkeiten sowohl für die TGA-Anlagen, als auch für die Bauweise. Gerade bei dieser Option werden die Rückwirkungen zwischen den Bilanzbereichen „Gebäude“ und „TGA“ besonders evident.

Ein weiterer Komplex für die Einflüsse auf die Kühllast ist die Art der Abgabe der Kühlleistung der TGA-Anlage (siehe **Bild 4**)

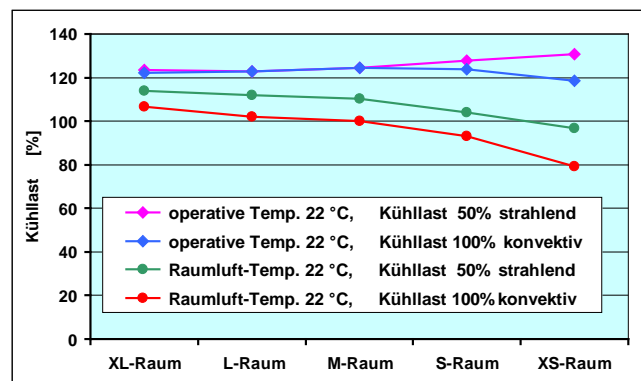


Bild 4: Einfluss der Regelung nach Raumlufttemperatur / operativer Temperatur sowie der Art der Kälteabgabe der TGA: konvektiv / strahlend
Kühllastzone 2
12h-Betrieb

Während Nur-Luft-Anlagen den Raum rein konvektiv über die mit Untertemperatur eingebrachte Zuluft kühlen, geben beispielsweise Kühldecken und Systeme der Bauteilkühlung etwa die Hälfte der Kühlleistung über Strahlung (langwellig) ab.

Systembedingt ist dabei die in den Raum zugeführte Kühlleistung – zeitlich gesehen – nicht identisch mit der im Raum zeitgleich wirksamen Kühlleistung. So wird i.d.R. am Morgen ein Teil der zugeführten Leistung in den Raum-Bauteilen gespeichert. Daher muss in diesem Zeitbereich mehr Leistung zugeführt werden als bei rein konvektiven Systemen. Am Abend wird dagegen der Raum noch gekühlt, wenn die Leistungszufuhr bereits abgeschaltet ist.

Dieser Effekt ist umso stärker wirksam, je thermisch schwerer der Raum ist.

Ähnliche Wirkung hat die Art des Sollwertes für die Regelung der Raumtemperatur. Üblicherweise wird nach der Raumlufttemperatur, d.h. nach einer rein konvektiven Größe, geregelt. Bei Regelung nach der operativen (empfundenen) Temperatur ist eine strahlende Komponente zu 50 % wirksam. Somit wird auch das „Langzeitgedächtnis“ des Raumes (Wärmekapazität) stärker wirksam. Dies führt i.d.R. zu höheren Kühllasten morgens und geringeren abends mit dem Effekt, dass die maximale Kühllast nahezu unabhängig von der thermischen Bauschwere wird.

Die Überlagerung beider Effekte in Bild 4 bewirkt einen Unterschied von knapp 20 Prozentpunkten bei leichter Bauweise auf fast 50 Prozentpunkte bei schwerer Bauweise, bezogen auf die sonstigen Randbedingungen für Bild 4.

Die Notwendigkeit, für das zur Auslegung einer TGA-Anlage zugrunde zu legende Außenklima nicht den eingeschwungenen Zustand zu wählen, zeigt deutlich **Bild 5**.

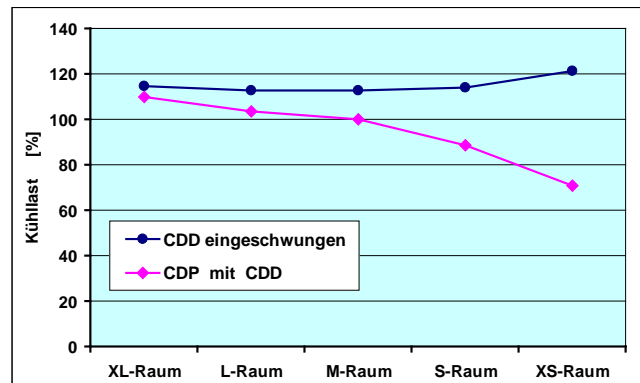


Bild 5: Einfluss der Cooling Design Period (CDD) bei unterschiedlicher Bauschwere
 Kühllastzone 4 – Großstadt-Zentrum
 Kühllast 100% konvektiv
 12h-Betrieb
 Regelungsstrategie F: mit Schwankungsbereich für g_{RL}

Erst durch die Betrachtung des aperiodischen Falles wirken sich die Vorteile einer thermisch schweren Bauweise aus. Denn im „eingeschwungenen“ Zustand sind die Kühllasten bzw. die Raumtemperaturen im Tagesmittel gleich, nur die Amplitude unterscheidet sich etwas. In der Realität bleibt aber ein Raum umso weiter vom eingeschwungenen Zustand entfernt, je größer seine thermische Trägheit ist. Im Extremfall merkt man in einem „Erdhaus“ kaum mehr die Auswirkungen der Jahreszeiten.

Wenn auch die „neue“ VDI 2078 weiterhin „VDI-Kühllastregeln“ genannt wird, sollen damit aber nicht nur Räume bzw. Gebäude mit Kühlung, sondern auch das Gros der Gebäude ohne Kühlung mit natürlicher Belüftung berechnet und bewertet werden können. Die „neue“ VDI 2078 ist mit dem Rechenkern nach VDI 6007-1 so ausgelegt, dass sie realitätsnah auch den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit einer Optimierung des sommerlichen Raumklimas durch bauliche Maßnahmen durchführen kann.

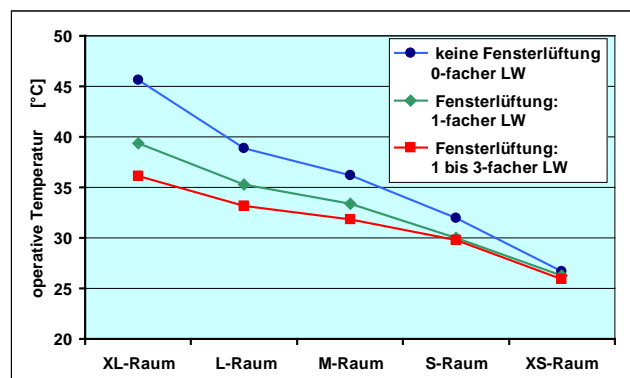


Bild 6: Einfluss der Bauschwere auf die Raumtemperatur
 Frei schwingende Raumtemperatur (ohne Kühlung)
 Kühllastzone 2

In **Bild 6** ist abhängig von der Bauschwere die erwartbare maximale Raumtemperatur (operative Temperatur) am Cooling Design Day (CDD) dargestellt.

Für diesen typischen Fall der frei schwingenden Raumtemperaturen wird der Einfluss der Bauschwere sehr deutlich. Aber es überlagert sich der Effekt der natürlichen Lüftung (Fensterlüftung). Denn die Fensterlüftung ist in diesem Fall eine Art „Raumkühlung“, die jedoch umso weniger Auswirkungen hat, je mehr die Bauschwere ein „Wegpendeln“ der Raumtemperaturen verhindert.

Werden anstelle der Außenklimadaten der Cooling Design Period (CDD) die Außenklimadaten eines Testreferenzjahres (TRY) verwendet, lässt sich die Häufigkeit des Überschreitens von Grenzwerten der Raumtemperatur (z.B. 26 °C) zur Bewertung des Sommerlichen Wärmeschutzes für ein TRY ermitteln.

Aus diesen punktuellen Darstellungen lässt sich folgern, dass sich die Definition der Kühllast gegenüber der „alten“ VDI 2078 geändert hat und auch geändert werden musste. Die neue Definition ist in **Bild 7** wiedergegeben.

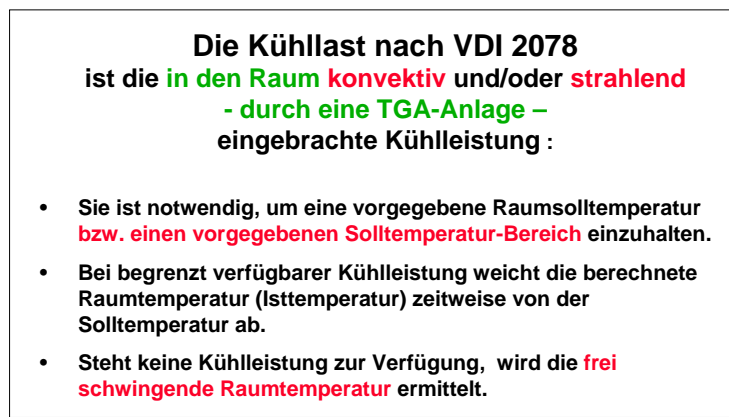


Bild 7: Der Begriff der „Kühllast“ in der VDI 2078

Entscheidende Punkte sind:

- Es wird nicht nur eine konvektive Kühllast betrachtet, die nur auf die Raumlufttemperatur wirkt. Denn daraus kann man nicht auf die durch die TGA-Anlage einzubringende Kühlleistung schließen. Allein eine Nur-Luft-Anlage, deren Leistungseintrag rein konvektiv ist, wäre damit zu bewerten.
- Es lassen sich Konfigurationen von Anlagen, die punktgenau die Raumsollwerte einhalten, bis hin zu Anlagen, die keinerlei Kühlung aufweisen (Fensterlüftung) mit allen Zwischenstufen berechnen.
- Durch die Definition und Berechnungsweise der Kühllast lassen sich Rückwirkungen zwischen den Bilanzbereichen „Gebäude“ und „TGA“ berücksichtigen.
- Es wird sowohl die Raumlufttemperatur als auch die operative (empfundene) Temperatur betrachtet und berechnet.
- Die Kühllast darf nicht mit der erforderlichen „Kälteleistung“ für eine RLT-Anlage verwechselt werden, wie dies irrtümlich in der Vergangenheit häufig vorkam.
- Die Kühllast wird zwar erheblich von den Eigenschaften des Gebäudes beeinflusst. Die Kühllast ist aber **keine Gebäude-Eigenschaft**.

veröffentlicht in der HLH:

Rouvel, L.: Was bedeutet der Begriff Kühllast ?
- Aspekte der neuen VDI-Kühllastregeln -
HLH Bd. 60 (2009) Nr. 9 - September S. 44/47

PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR ROUVEL

FACHGEBIET ENERGIETECHNIK UND -VERSORGUNG · THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION

SÄULINGSTRASSE 4
80686 MÜNCHEN

TEL.: 089-576804 FAX: 089-5706641
ROUVEL@GEBSIMU.DE WWW.GEBSIMU.DE

