

**Ein behagliches Raumklima im Winter bei möglichst niedrigen Heizkosten ist heute bereits selbstverständlich. Aber wie sieht es mit der Behaglichkeit im Sommer aus, wenn draußen Temperaturen von 40°C herrschen?**

Will man seine Wohnung im Sommer ohne Klimaanlage auf möglichst behaglichen Temperaturen halten, gibt es nur einen Weg: die Kälte der Nacht auszunutzen. Die Idee: Die Hitze des Tages soll von wärmespeichernden Materialien "aufgefangen" werden. Dadurch wird die Temperaturwelle, die von der äußeren zur inneren Oberfläche läuft, verzögert und abgeschwächt. Nachts soll die gespeicherte Wärme wieder an die dann kühlere Außenluft abgegeben werden. Ziel ist es, die Temperaturschwankungen auf der inneren Oberfläche möglichst gering zu halten und das Maximum der Innentemperatur in der zweiten Nachthälfte zu erreichen, also mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. 10-12 Stunden.

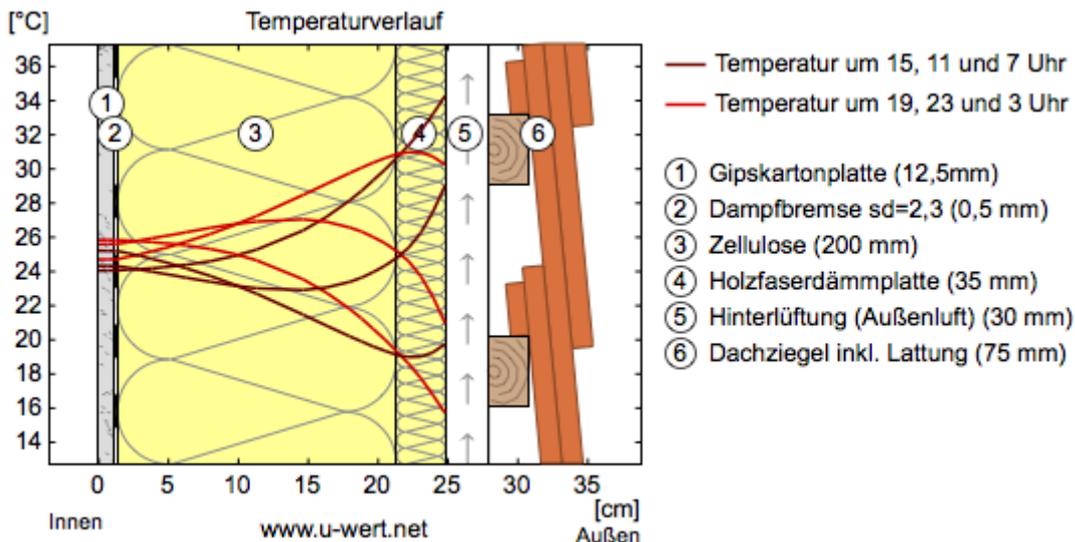


Abbildung 1: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Im Vergleich zum Wärmeschutz kommt hier also ein weiterer Faktor ins Spiel: die Zeit. Nun ist es nicht mehr ausreichend, mit konstanten Temperaturen zu rechnen. Statt dessen muss die tageszeitliche Schwankung und die Speicherfähigkeit der Baustoffe berücksichtigt werden. Dazu führt der U-Wert-Rechner auf [u-wert.net](http://u-wert.net) eine Simulation durch, bei der der Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils über 24 Stunden (plus 72 Stunden Einschwingzeit) in 10 Minuten Schritten simuliert wird.

Dafür wird eine periodisch schwankende Temperatur der Außenluft angenommen, z.B. sinusförmig zwischen 15°C und 35°C. Das Ergebnis der Simulation ist der zeitliche Temperaturverlauf auf der inneren und äußeren Oberfläche des Bauteils. Der Vergleich dieser beiden Temperaturverläufe gibt Aufschluss über die Verringerung der Temperaturschwankung auf der Innenseite sowie die zeitliche Verzögerung:



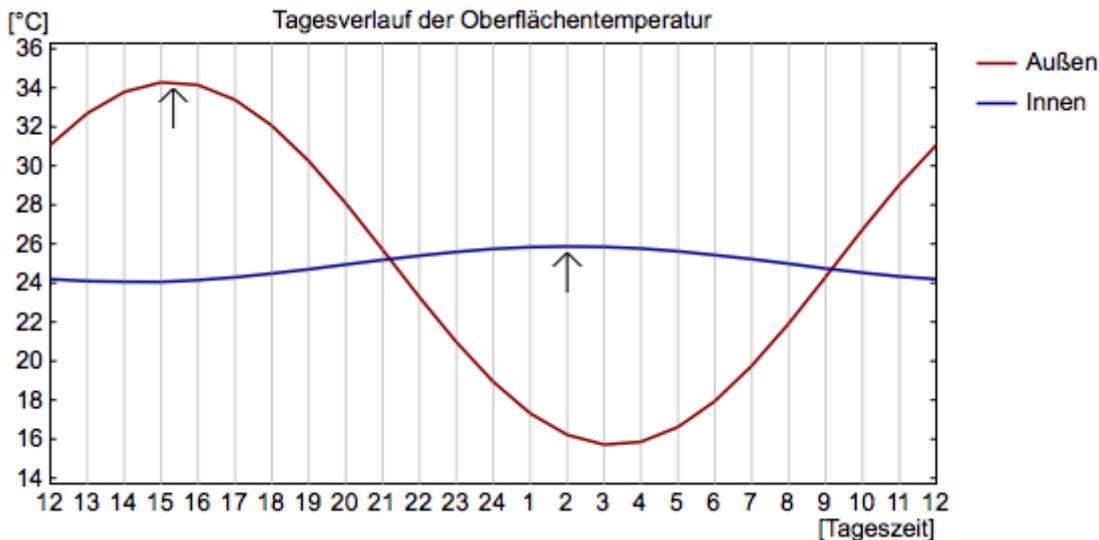


Abbildung 2: Temperatur der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche während eines Sommertages. Die Pfeile markieren die Zeitpunkte, bei denen die Temperaturen ihre Höchstwerte erreichen. Der horizontale Abstand in Stunden der beiden Pfeile bezeichnet man als Phasenverschiebung.

Um den Effekt des Bauteils in möglichst einfache Zahlen zu fassen, berechnet der U-Wert-Rechner die Temperaturamplitudendämpfung sowie die Phasenverschiebung:

Die **Temperaturamplitudendämpfung** beschreibt, wie stark die Temperatur der inneren Oberfläche im Vergleich zur äußeren Oberfläche schwankt. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die äußere Oberfläche 10 mal stärkere Temperaturschwankungen aufweist, als die innere, z.B. 15°C bis 35°C außen und 24°C bis 26°C innen ( $20^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{C} = 10$ ). Dieser Wert sollte möglichst groß sein, gute Werte liegen bei 20 und höher. Der Kehrwert der Temperaturamplitudendämpfung ( $1/\text{Temperaturamplitudendämpfung}$ ) wird als **Temperaturamplitudenverhältnis (TAV)** bezeichnet.

Die zeitliche Verzögerung der Temperaturwelle wird durch die **Phasenverschiebung** beschrieben: Das ist die Zeit in Stunden zwischen der maximalen Temperatur auf der äußeren und inneren Oberfläche. Ein Wert von 12 Stunden bedeutet hier, dass die maximale Innentemperatur 12 Stunden nach dem Maximum der äußeren Oberflächentemperatur erreicht wird. Eine Phasenverschiebung von 10-12 Stunden ist deshalb ideal, so dass das Temperaturmaximum der inneren Oberfläche in der zweiten Nachthälfte erreicht wird. Zu diesem Zeitpunkt kann der Wärmeeintrag normalerweise durch Lüften ausgeglichen werden.

### Tipps für die Planung

Um einen optimalen Hitzeschutz zu erreichen, ist eine gezielte Kombination aus dämmenden und wärmespeichernden Schichten notwendig. Faustregel: Wärmespeicher nach innen, Wärmedämmung nach außen:

- je weiter innen speicherfähige Masse angeordnet wird, umso höher ist deren Beitrag zum Hitzeschutz
- deshalb sollten vor allem die innersten Schichten eine möglichst hohe Speicherfähigkeit besitzen, d.h. eine möglichst hohe Masse haben
- Dämmstoff auf der Innenseite verbessert den Hitzeschutz praktisch nicht
- Holz und Holzfaserverplatten bieten ein hohes Speichervermögen. Auf der Außenseite als Unterdeckplatte angeordnet ist die Verbesserung des Hitzeschutzes allerdings 2-3 Mal geringer, als auf der Innenseite.

Warum dies so ist, leuchtet schnell ein: Hat die heiße Außenluft direkten Kontakt zur Speichermasse, ist der Energieeintrag und damit die Erwärmung der Speichermasse besonders hoch. Durch die thermische Entkopplung, d.h. durch eine Dämmschicht zwischen Wärme-

speicher und Außenluft, wird der Energieeintrag in die relevanten Schichten deutlich reduziert.

### Fazit

Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung sind als vergleichbare Qualitätsmerkmale für die Beurteilung des Hitzeschutzes eines Bauteils unentbehrlich. Allerdings darf man nicht erwarten, dass die berechneten Innentemperaturen den tatsächlichen Temperaturen entsprechen. In der Praxis spielen nämlich weitere Faktoren eine wichtige Rolle: Z.B. zusätzliche Wärmespeicher (Innenwände, Fußböden, usw.). Lüftung während der kühleren Abend-/Nachtstunden und die **direkte Sonneneinstrahlung**: Der Wärmeeintrag durch direkte Sonneneinstrahlung ist ca. 200 – 1000 Mal größer, als der Wärmeeintrag durch eine gedämmte Wand. Geeignete, außen liegende Verschattungseinrichtungen sind deshalb unentbehrlich. **Solange die Sonne ungehindert durch Quadratmeter große Fenster in den Raum scheint, spielt die Temperaturamplitudendämpfung praktisch keine Rolle.**

Für die Beurteilung des sommerlichen **Hitzeschutzes** werden die Temperaturänderungen innerhalb des Bauteils im Verlauf eines heißen Sommertages simuliert (Beispielwerte):  
Beispielwerte:

<b>Phasenverschiebung:</b>	<b>12.5 h</b>	Zeitpunkt der maximalen Innentemperatur:	4:00 Uhr
<b>Amplitudendämpfung:</b>	<b>29.3</b>	Temperaturdifferenz auf äußerer Oberfläche:	18.7 °C
TAV:	0.034	Temperaturdifferenz auf innerer Oberfläche:	0.6 °C
Wärmespeicherfähigkeit:	77 kJ/m <sup>2</sup> K	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	46 kJ/m <sup>2</sup> K

### Was bedeuten diese Begriffe?

Die **Temperaturdifferenz** auf den Oberflächen ist die Differenz zwischen maximaler und minimaler Temperatur innerhalb eines Tages.

Die **Phasenverschiebung** bezeichnet die Zeitdifferenz, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht, siehe Abbildung ganz unten zur Illustration. Dies sollte möglichst in der zweiten Nachthälfte geschehen, idealerweise also nach 10-12 h.

Die **Amplitudendämpfung** beschreibt, wie sehr die Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil abgeschwächt wird. Dieser Wert sollte möglichst groß sein, gute Werte liegen oberhalb von 10.

Das **TAV** ist das Temperaturamplitudenverhältnis, d. h. Temperaturdifferenz auf der inneren Oberfläche geteilt durch Temperaturdifferenz auf der äußeren Oberfläche.

Die **Wärmespeicherfähigkeit** gibt die Energiemenge an, die notwendig ist, um die Temperatur des Bauteils um 1°C zu erhöhen.

Die **Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten** berücksichtigt nur die Temperaturänderung der Raumluft und ist damit die Antwort auf die Frage: *Wieviel Wärmeenergie nimmt das Bauteil auf, wenn die Innentemperatur um 1°C erhöht und die Außentemperatur beibehalten wird?* Ein großer Wert bedeutet langsames Aufheizen - vor allem im Winter mit der Heizung, aber auch im Sommer durch direkte(!) Sonneneinstrahlung durch Glasflächen. Andererseits verzögert ein hoher Wert auch das Auskühlen, z.B. wenn die Heizung ausgeschaltet wird oder ausfällt.

Zum Vergleich: Baracke: ca. 10kJ/m<sup>2</sup>K; 24cm Vollziegel: ca. 200kJ/m<sup>2</sup>K; 60cm Granit: ca. 500kJ/m<sup>2</sup>K.