

## DEKLARIERTE WÄRMELEITFÄHIGKEIT VON DÄMMSTOFFEN – EIN PFERDEFUSS BEI DER QUALITÄTSSICHERUNG

---

H. Bangerter, berat. Ing. usic/sia, Kloten

Die wichtigste Eigenschaft eines Wärmedämmstoffs ist dessen Wärmeleitfähigkeit. Zwecks rationeller Energieverwendung in Bauten findet dieser Kennwert breiten Niederschlag in zahlreichen SIA – Normen. Für die Hersteller solcher Baustoffe ist die entsprechende Festlegung für „ihr Material“ von grosser geschäftspolitischer Bedeutung. Das technische Bemühen um möglichst tiefe Wärmeleitzahlen – unter Einhaltung aller weiteren Produkterfordernungen – ist mit erheblichen finanziellen Anstrengungen verbunden. Die aktuelle Vornorm SIA 279, Ausgabe 2000 „Wärmedämmstoffe“ regelt die Prüfung, Deklaration und Überwachung der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen.

### CHARAKTERISIERUNG EINER EIGENSCHAFT

Es gibt mindestens zwei prinzipielle Methoden, eine bestimmte Eigenschaft eines Produktes zu charakterisieren. Bei der Druckfestigkeit von Beton beispielsweise wird nach Norm SIA 162 ff – andere Charakterisierungen sind allerdings in Vorbereitung – eine bestimmte Qualität gewissermassen vom Schreibtisch aus **benannt**: Ein Beton B35/25 gilt demnach als solcher, wenn – aufgrund von Stichproben – für die Gesamtproduktion auf einen Mittelwert der Druckfestigkeit von  $35 \text{ N/mm}^2$ , und auf eine 2.275 % - ige Unterschreitungshäufigkeit des Fraktilwertes  $25 \text{ N/mm}^2$  geschlossen werden kann. Die Qualitätskontrolle besteht in der Folge darin, die Produktion mittels Stichproben kleineren Umfangs nach statistischen Regeln an dieser **benannten** Qualität zu messen. Ähnliches findet - ausserhalb normativer Regelungen – grundsätzlich auch immer zwischen Besteller und Lieferant einer Ware statt. Wenn beispielsweise 100'000 Präzisionsbolzen mit verlangten 50 mm Soll - Durchmesser zu produzieren sind, braucht es zwischen Besteller und Produzent mindestens je eine technische und kommerzielle Vereinbarung: Während durch die Mass -Toleranzen – z.B.  $49.5 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 50.5 \text{ mm}$  – das technisch Mögliche definiert ist, wird mit der Festlegung der erlaubten Unter – resp. Überschreitungshäufigkeiten der Toleranzwerte – z.B.  $\leq 1.5\%$  – der vom Kunden „kommerziell“ gerade noch akzeptierbare Ausschussanteil der Lieferung definiert. Auch in diesem Fall wird also eine Qualität „vom Schreibtisch aus“ **benannt**.

Die zweite Methode der Charakterisierung einer Eigenschaft besteht darin, dass das tatsächliche Verhalten des Produktes **beschrieben** (aufgezeichnet) wird. Dies geschieht dadurch, dass aus einer möglichst grossen Prüfserie auf die – stillschweigend angenommene – gauss'sche Normalverteilung der Gesamtproduktion (aus einheitlicher Rezeptur und Herstellungsart) geschlossen wird. Auch hierbei gelangen bestimmte statistische Methoden zur Anwendung, wobei die gesuchten Fraktilwerte einer Gesamtproduktion immer nur für ein definiertes Vertrauensniveau (Zuverlässigkeit der Aussage, z.B. mit 90% Wahrheitsgehalt) beziffert werden können.

Siehe dazu auch: [www.baudaten.com/verlagsdienste/qualitaet/index.html](http://www.baudaten.com/verlagsdienste/qualitaet/index.html)

## DEKLARIERUNG DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT

Gemäss Vornorm SIA 279 kommt für die Deklaration der Wärmeleitfähigkeit die geschilderte „zweite Methode“ zur Anwendung. Dabei wird, ausgehend von einer freiwillig festgelegten Anzahl von Wärmeleitmessungen mit Ergebnissen  $\lambda_r$ , nach dem Ansatz  $\lambda_{es} = \lambda_{rm} + k \cdot s_\lambda$  der sogenannte Schätzwert  $\lambda_{es}$  ermittelt. Von diesem ausgehend ist alsdann mit  $\lambda_D = \lambda_{es} \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a$  der gesuchte Deklarationswert  $\lambda_D$  bestimmt. Der Wert  $\lambda_D$  beziffert damit jene Wärmeleitfähigkeit, welche – vermutlich, d.h. mit 90% Wahrheitsgehalt – unter Berücksichtigung der Alterung ( $\lambda_{es} \cdot F_a$ ) von 90 % der Produktion unterschritten wird.

Die verschiedenen Koeffizienten bedeuten im Einzelnen folgendes:

- $\lambda_{rm}$  = arithmetischer Mittelwert aus  $n$  – Messungen für  $\lambda_r$
- $s_\lambda$  = empirische Standardabweichung aus  $n$  – Messungen für  $\lambda_r$
- $F_T, F_m, F_a$  = Umrechnungsfaktoren bezüglich Temperatur, Feuchtegehalt und Alterung. Relevant ist in der Regel nur  $F_a$ , wobei hierfür Zuschlagswerte in der Bandbreite von 5% bis 30% je nach Materialbasis einzurechnen sind.

Der Koeffizient  $k$  schliesslich ist eine variable Grösse in Abhängigkeit der verfügbaren Datenmenge ( $n$  – Prüfwerte), um vom zufälligen Mittelwert und der empirischen Standardabweichung der Stichprobe auf den gesuchten 90% - Fraktilwert der Gesamtproduktion (Schätzwert  $\lambda_{es}$ ) schliessen zu können. Würde die Stichprobenzahl

$n = \infty$  betragen, käme als Koeffizient  $k = 1.28$  zur Verwendung, denn aus unendlich vielen Messdaten berechnet sich die 90% - Fraktile für die Gesamtpopulation „ohne Verzerrung“ aus einem Abstand zum Mittelwert von  $(1.28 \cdot \text{Standardabweichung})$ . Die  $k$  - Werte sind in der fraglichen SIA – Norm tabelliert und liegen für endliche Messungen „ $n$ “ stets oberhalb des Wertes 1.28.

## **PRINZIPIEN DER QUALITÄTSSICHERUNG**

Der Sinn einer Qualitätskontrolle (Konformitätsnachweis, Fremdüberwachung, Eigenüberwachung) besteht grundsätzlich darin, einen geforderten, bzw. deklarierten Wert einer Materialeigenschaft zu gewährleisten. Dies erfolgt dadurch, dass nach dem Zufallsprinzip gezogene Kontrollergebnisse nach bestimmten Verfahren mit der Referenzqualität verglichen werden müssen. In Falle von „benannter Qualität“ mittels statistischer Eckwerte (Beton B35/25), ist die Referenzqualität unmittelbar bestimmt. Bei „beschriebener Qualität“ (Wärmeleitfähigkeit 90/90) hängt der massgebende Grenzwert zur Einhaltung der statistischen Bedingung (90/90) vom jeweiligen Material ab. In diesem zweiten Fall muss also eine (kleine) Anzahl von Kontrollwerten zu einer Referenzqualität in Beziehung gebracht werden, die selber aus einer (möglichst grossen) Anzahl von Prüfwerten des betreffenden Materials entstanden ist. Es muss hier glaubhaft dargelegt werden, dass die wenigen zufälligen Kontrollwerte aus laufender Produktion der „seinerzeit“ erhobenen Referenzverteilung entsprechen und der Deklarationswert  $\lambda_D$  demzufolge weiterhin mit mindestens 90% Häufigkeit unterschritten wird. Mit andern Worten: Dem Kunden muss bestätigt werden können, dass das erworbene Material – von welchem er die Unterschreitung des Deklarationswertes  $\lambda_D$  mit 90% - iger Häufigkeit (bei 90% - iger Gewissheit) erwarten darf – tatsächlich dieser Qualität entspricht. Wie sieht nun aber die entsprechende Qualitätssicherung nach Vornorm SIA 279 aus?

Zitat Anhang A1.3:

*Die Deklaration ist durch eine jährliche Überwachungsprüfung einer akkreditierten Prüfstelle zu bestätigen. Diese beinhaltet die Kontrolle der Eigenüberwachung, eine Probenahme und eine Messung der Wärmeleitfähigkeit.*

Zitat Anhang A1.4:

*Das Produkt gilt als konform, falls der Nennwert bei einer Einzelmessung nicht überschritten wird. Andernfalls gilt das Produkt als konform, falls der Mittelwert aus drei Messwerten, bestimmt aus der ersten Messung und aus zwei weiteren Messungen, den Nennwert nicht überschreitet. Dabei darf kein Messwert den Nennwert um mehr als 5% übersteigen.*

Zum Verständnis der folgenden Kritik sei nochmals daran erinnert, dass in obiger Bestimmung mit dem „Nennwert“ (unter welchem laut A.1.3 beispielsweise die eine Messung pro Jahr liegen soll) der deklarierte Wert  $\lambda_D = \lambda_{es} \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a$ , im Allgemeinen also „Schätzwert 90/90 mal Alterszuschlag“, verstanden wird.

## **KRITIK**

Abgesehen davon, dass eine Stichprobe (Kontrolle) statistisch immer aus mehreren Einzelwerten gebildet ist, sind die Bedingungen nach A.1.3 und A.1.4 aus folgenden Gründen ungenügend.

Wird aus der laufenden Produktion lediglich eine Kontrollmessung gezogen, ist – nachdem die ganze Qualitätsstatistik widerspruchslös von einer gauss'schen Normalverteilung ausgeht – zu erwarten, dass sich dieser Messwert (statistisch) höchst wahrscheinlich wesentlich näher beim (unbekannten) Mittelwert, als am oberen Rand des Verteilungsspektrums befinden dürfte. Nimmt man dieser Einsicht folgend zur Vereinfachung an, dieser Einzelwert (Kontrollwert) entspreche etwa gerade dem Mittelwert aus laufender Produktion, bedeutet dies, dass die „seinerzeit deklarierte Qualität“ ohne Sanktion massiv verschlechtert werden könnte (aktueller Mittelwert der laufenden Produktion ungefähr gleich 90/90 – Fraktilwert der deklarierten Produktion)! Zwar ist die Prüfung nach SIA 279 selbst bei dieser Verschlechterung der Produktion „nach dem Buchstaben“ (Prüfwert  $\leq$  Nennwert) noch bestanden. Die aus der Begriffsdefinition abgeleiteten Erwartungen an das Produkt (Lambdawert zu 90% besser als Deklaration  $\lambda_D$ ) sind aber durch eine derartige Kontrolle in keiner Weise gewährleistet. Der Nachweis der Konformität bedeutet, dass ein vorliegendes Erzeugnis seiner Produktebeschreibung entspricht. Und der wesentlichste Aspekt der Dämmstoffbeschreibung erfolgt ja gerade über die Definition des Deklarationswertes  $\lambda_D$ . Wenn aber die Bedingung „aktueller Prüfwert ~

Nennwert“ gelten darf und zutrifft, ist zu erwarten, dass der aktuelle 90/90 – Fraktilwert entsprechend weit über dem deklarierten Wert  $\lambda_D$  liegt.

## **FAZIT**

Die Qualitätssicherung nach Vornorm SIA 279 liefert kein brauchbares Ergebnis. Um Konformität der laufenden Produktion mit der deklarierten Qualität nachweisen zu können, muss im Rahmen der Kontrolle eine Stichprobe aus mehreren Einzelwerten erhoben werden. Mittels dieser Stichprobe kann – beispielsweise über das statistische  $x_{\text{quer}}/R$  – Verfahren – ein Vergleich zur jener Materialcharakteristik gezogen werden, die als Grundlage zur Festlegung (Beschreibung) der deklarierten Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_D$  des betreffenden Materials gedient hat.

Adresse des Verfassers:

H. Bangerter, berat. Ing. usic/sia

Weder + Bangerter AG, Ingenieure und Fachverlag

Schaffhauserstrasse 126, 8302 Kloten

3.10.01 / Ba.