



1 Motivation

Im konstruktiven Brandschutz wird Stahl häufig über den Verlust seiner Festigkeit beschrieben. Das greift zu kurz.

Denn mechanisch betrachtet unterscheidet sich das Verhalten vieler Baustoffe im Brandfall weniger stark, als oft angenommen wird, insbesondere im Vergleich zwischen Stahl und Beton.

Die eigentliche Frage ist daher nicht nur, wie stark ein Material bei Temperaturabnahme seiner Kennwerte verliert, sondern wie schnell sich diese Zustände im Bauteil überhaupt einstellen. Ein oft unterschätzter Faktor dabei ist die Wärmeleitung. Sie bestimmt, wie schnell sich ein Bauteil erwärmt und damit letztlich auch das Tragverhalten im Brandfall.

Genau hier liegt der Schwerpunkt der aktuellen Betrachtung. Sie vergleicht die thermischen und mechanischen Materialkennwerte von Stahl und Holz für Bauteiltemperaturen zwischen 20°C und 1200°C.

2 Materialvergleich zwischen Stahl und Holz im Brandfall

2.1 Thermische Materialkennwerte

2.1.1 Emissivität

Die Emissivität ist in [1] für Baustahl festgelegt zu $\varepsilon_m = 0,7$. Für Holz gilt $\varepsilon_m = 0,8$ gemäß [1].

2.1.2 Wärmeausdehnungskoeffizient α

Nach [2] dehnt sich Holz im Brandfall nicht aus. Es wird vermutet, dass damit der Abbrand und das Schwinden aufgrund entweichender Feuchtigkeit im Brandfall berücksichtigt wird. Abweichend hiervon gibt Kordina [3] eine thermische Dehnung gemäß zwischen $\alpha = (0,3 \leq \alpha_t \leq 0,6) \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ an.

Das entspricht immer ca. 25% bzw. 50% des Werts von Baustahl (Wärmeausdehnungskoeffizient $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ bei Raumtemperatur). Untersuchungen in [4] zeigen, dass die Ausdehnung des Holzes auch die Feuerwiderstandsdauer beeinflussen kann.

2.1.3 Wärmeleitfähigkeit λ

Abbildung 1 vergleicht die temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit von Baustahl gemäß [1] und Holz nach [2]. Es wird deutlich, dass Holz sich viel langsamer er-

wärmt als gut leitende Bauteile aus Stahl.

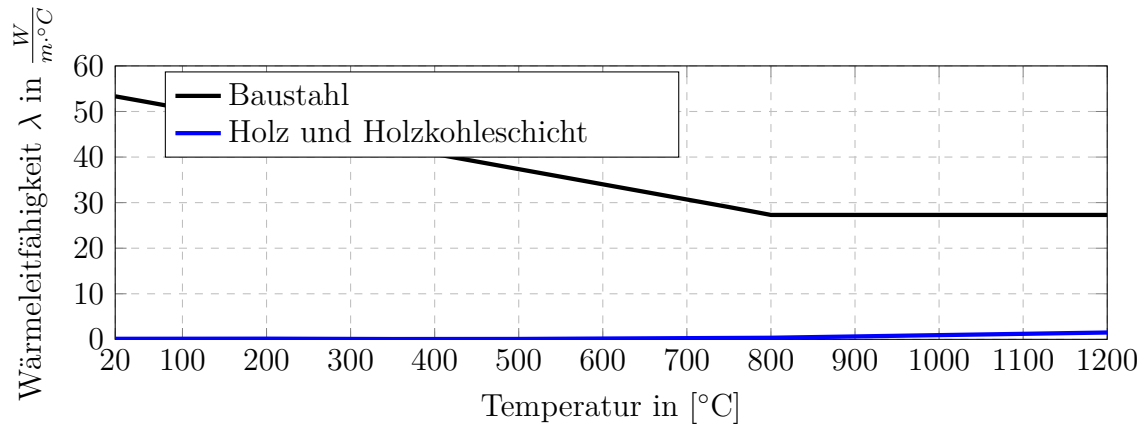


Abbildung 1: Temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit von Baustahl nach [1].

2.1.4 Spezifische Wärmekapazität c_p

Die spezifische Wärmekapazität c_p ist ein Maß dafür, wie gut ein Stoff thermische Energie speichern kann und wie viel Energie benötigt wird, um eine bestimmte Menge eines Stoffes um eine bestimmte Temperatur zu erhöhen. Abbildung 2 vergleicht die spezifische Wärmekapazität von Stahl und Holz.

Bei Holz erhöht sich im Bereich von 100°C bis 120°C die Wärmekapazität, weil bei dieser Temperatur Energie für das verdampfende Wasser aufgewandt wird.

Stahl weist eine Spitze bei der sog. „Curie-Temperatur“ von etwa 735°C auf. Bei dieser Temperatur wandelt sich die kristalline Struktur des Baustahls zu Austenit, was ebenfalls Energie erfordert und die Erwärmung des Baustahls verzögert.

2.1.5 Dichte ρ

Wie in Abbildung 3 zu sehen, ist die Dichte von Baustahl nach [1] konstant. Als Vergleich wird in der Abbildung ein Nadelholz herangezogen mit einer Dichte $\rho = 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und Anfangsfeuchte von 12%. Die Anfangsfeuchte verdunstet zwischen 100°C und 120°C . Durch den zunehmenden Abbrand verliert Holz ab 200°C kontinuierlich seine Dichte.

2.1.6 Speicherkapazität $\rho \cdot c_p$

Die Speicherkapazität bildet sich aus dem Produkt der Dichte ρ und der spezifischen Wärmekapazität c_p . Die Dichte von Holz variiert, weil das Wasser verdunstet

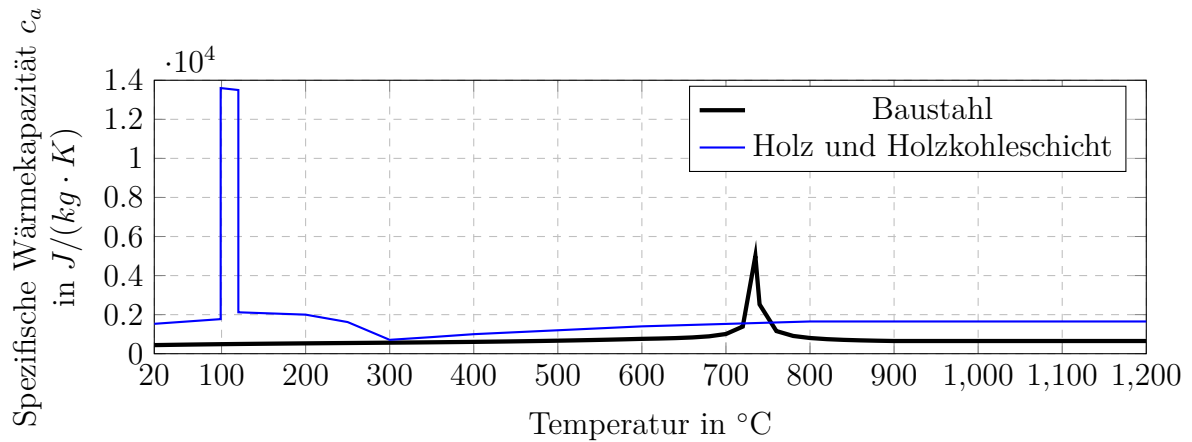


Abbildung 2: Temperaturabhängige spezifische Wärmekapazität von Baustahl nach [1] und Holz nach [2].

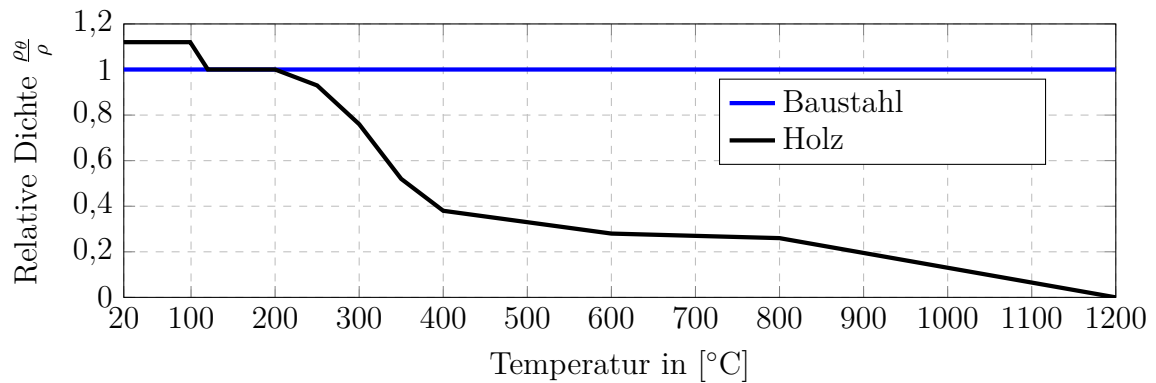


Abbildung 3: Vergleich der relativen Dichte von Baustahl und Holz mit $\rho = 350 \frac{kg}{m^3}$ und Anfangsfeuchte von 12%.

und das Holz verbrennt. Die Dichte von Baustahl darf nach [1] als konstant angenommen werden mit $\rho = 7850 \frac{kg}{m^3}$.

Abbildung 4 vergleicht die Speicherkapazität von Holz und Baustahl. Abgesehen vom Temperaturbereich zwischen $100^{\circ}C$ und $120^{\circ}C$ ist die Speicherkapazität des Baustahls deutlich höher als die des Holzes.

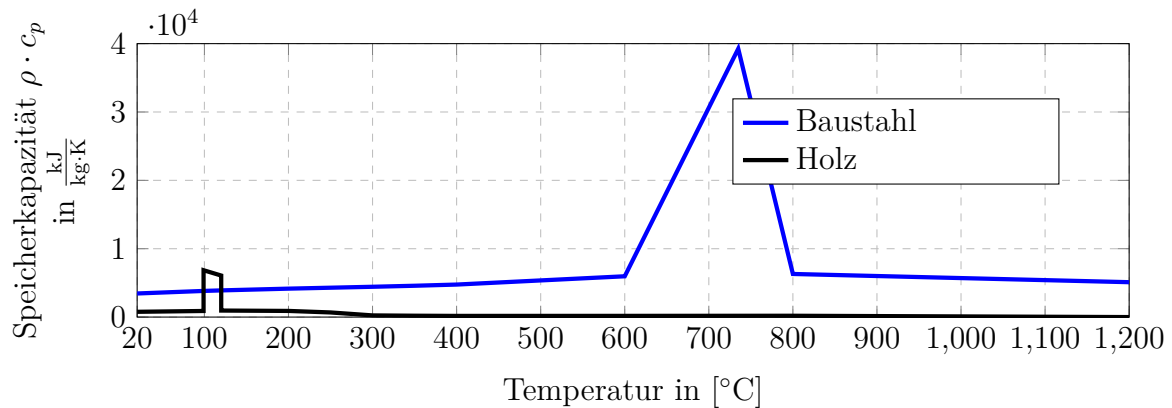


Abbildung 4: Vergleich der Speicherkapazität $\rho \cdot c_p$ in $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ von Baustahl und Holz (Holz mit $\rho = 350 \frac{kg}{m^3}$ und Anfangsfeuchte von 12%).

In den vorliegenden Untersuchungen werden die thermischen Materialkennwerte gemäß den aktuellen Normen verwendet. In zukünftiger Forschung könnte es interessant sein, die Auswirkungen einer möglichen Längsdehnung von Holz im Brandfall zu untersuchen.

2.2 Mechanische Materialkennwerte

2.2.1 Festigkeit und Elastizitätsmodul

Abbildung 5 vergleicht die Reduktionsfaktoren für den Elastizitätsmodul sowie die Festigkeit von brandbeanspruchtem Baustahl und Nadelholz. Für Baustahl sind diese Werte in [1] geregelt und für Nadelholz in [2], Anhang B. Für Holz als orthotropes Material gelten unterschiedliche Werte für Druck-, Zug- und Schubbeanspruchung. Für diesen Vergleich wurden die Werte für die Druckbeanspruchung herangezogen, da sie für die Beurteilung der Stabilitätsgefährdung am wichtigsten sind.

Aus Abbildung 5 wird deutlich, dass die Tragfähigkeit von Nadelholz bereits bei Querschnittstemperaturen von mehr als 300°C ausgeschöpft ist. Diese Temperatur ist auch als Abbrandgrenze definiert.

Baustahl verliert seine Festigkeit erst ab Temperaturen über 400°C. Der Elastizitätsmodul sinkt hingegen bereits ab 100°C, was Stabilitätsprobleme begünstigt.

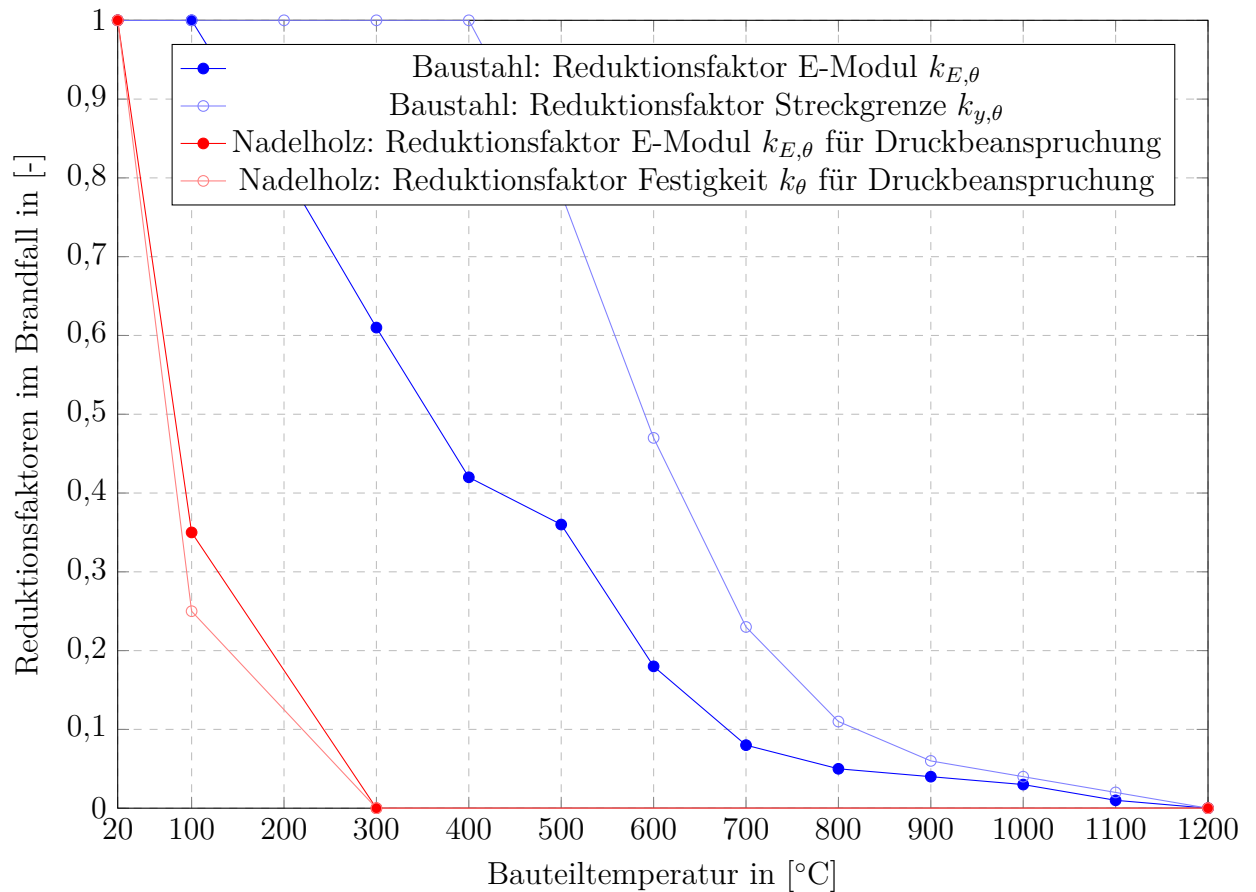


Abbildung 5: Reduktionsfaktoren die Streckgrenze $k_{y,\theta}$ und für den E-Modul $k_{E,\theta}$ von brandbeanspruchtem Baustahl sowie Reduktionsfaktoren für die Streckgrenze k_θ und den E-Modul $k_{E,\theta}$ von Nadelholz (jeweils für Druckbeanspruchung) gemäß [2].



Der wesentliche Vorteil von Holz gegenüber Baustahl liegt in seiner geringen Wärmeleitfähigkeit sowie seiner (zumindest nach Norm) vernachlässigbaren Wärmeausdehnung. Bei den weiteren thermischen Materialkennwerten schneidet der Baustahl besser ab, wie z. B. der Dichte und der Speicherkapazität.

Meine Seminare

Diese und andere Fragestellungen behandle ich in meinen Seminaren. Wenn Sie interessiert sind, schauen Sie gerne auf meine Website www.brandseminar.de oder klicken Sie auf die nachstehenden Links.

Weitere Informationen zu Seminaren:

- [Inhouse Seminare](#)
- [Nächstes offenes Seminar am 03.03.2027 in Essen, Haus der Technik](#)