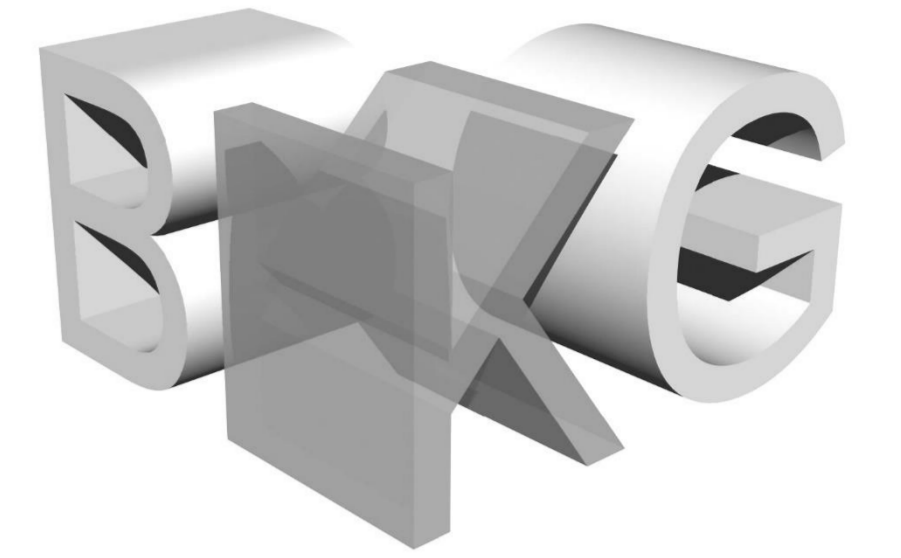


Konstruktives Gestalten und Baukonstruktion



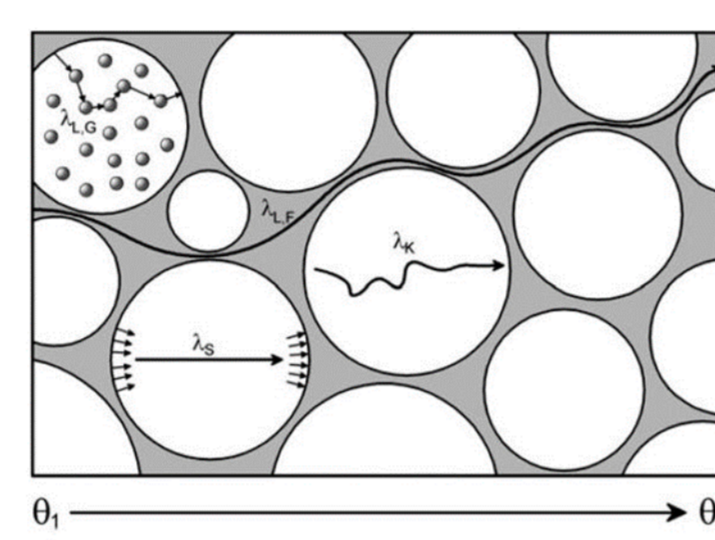
Abschlussarbeit – Ilka Pieper

Gekoppelter Wärme- und Feuchtetransport am Beispiel von Ziegelmauerwerk

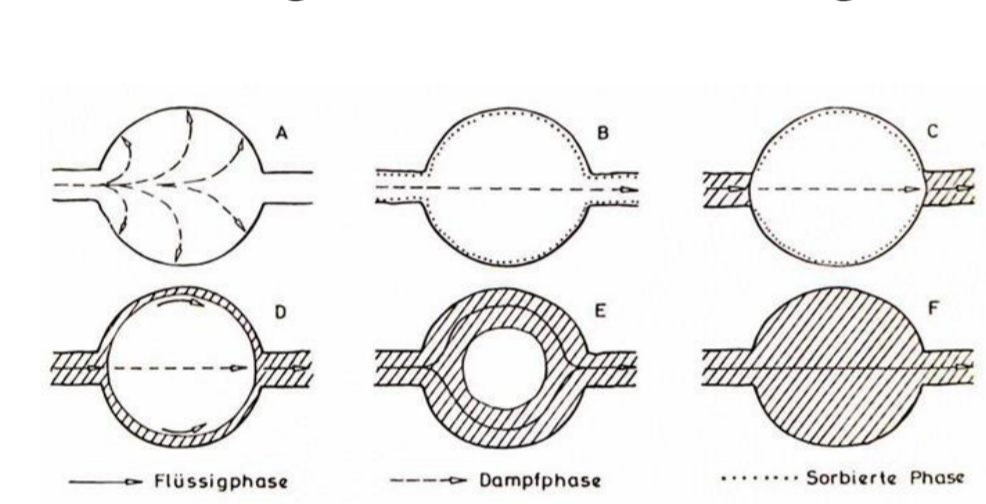
Grundlagen des Wärmetransports bei Ziegeln

Die effektive Wärmeleitfähigkeit des trockenen Ziegels setzt sich aus der Wärmeleitung des Feststoffs und der Luft, dem Strahlungsaustausch zwischen den Porenwänden und der Wärmekonvektion zusammen.

Aufgrund seiner porigen Struktur ist der Ziegel ein schwach hygroskopischer Stoff. Dies ermöglicht die Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Umgebung.



Die vier Wege des Wärmetransports in einem porösen Material



Fortschreitende Wassereintragsmechanik in Baustoffporen bei steigendem Wassergehalt

Durch Feuchtigkeit in den Poren des Werkstoffs kommen weitere Transportmechanismen wie die Wärmeleitung des Wassers, die Porendiffusion, die Kapillareintragsmechanik und die Oberflächen diffusion hinzu.

Zunächst laufen die Wärme- und Feuchtetransporte in Richtung der kälteren Bauteilseite ab.

Kommt es bei hohen Feuchtegehalten im Ziegel zu Wassereintragsmechanik an der kälteren Bauteilseite bewirkt die Kapillareintragsmechanik und die Oberflächen diffusion einen Feuchtetransport in Richtung der wärmeren Bauteilseite. Dieser Prozess ist temperaturunabhängig und tritt nur bei hohen Feuchtegehalten auf.

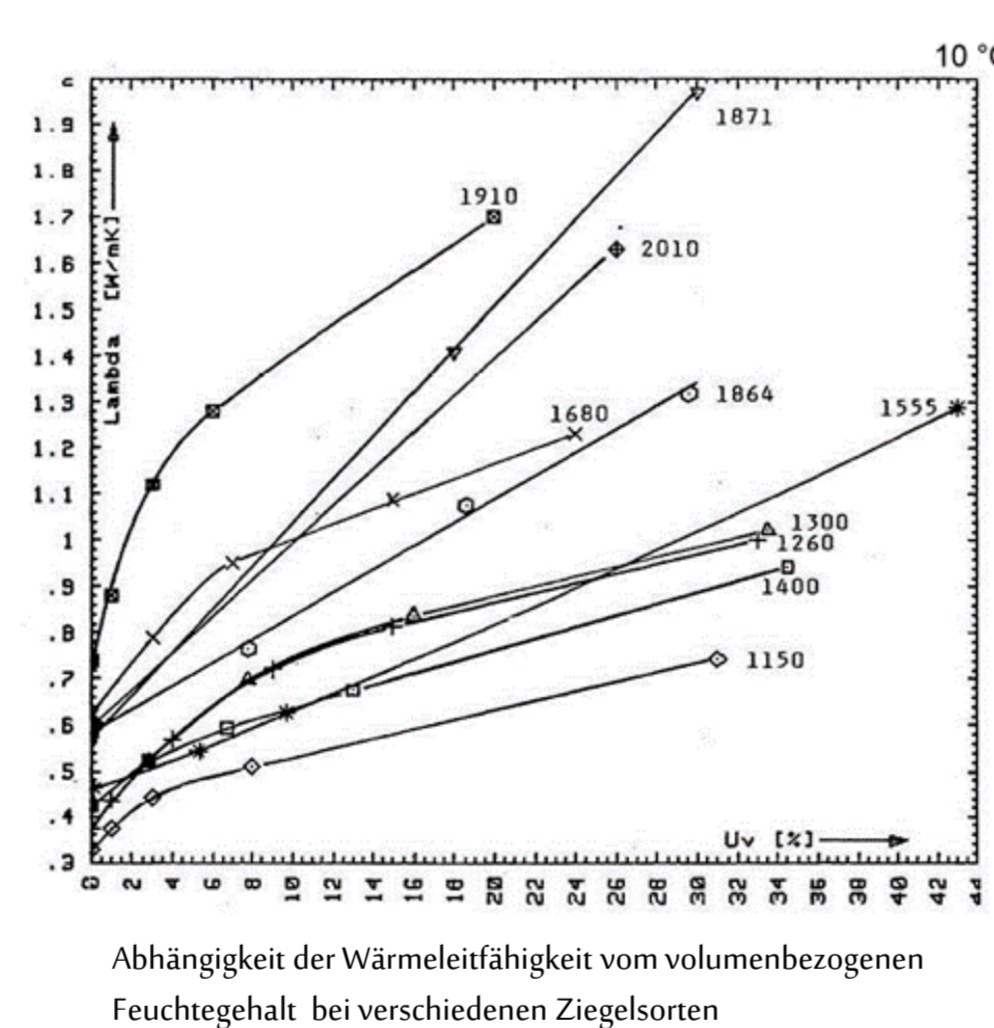
Der Feuchteanteil in Baustoffen wird in drei Bereiche unterteilt. Der für den Ziegel maßgebliche hygroskopische Feuchtebereich erstreckt sich bis zu einer relativen Feuchte von 95 %. Fließend beginnt der Kapillareintragsmechanikbereich, welcher bis zur freien Wassersättigung bei 100 % reicht. Ab einer relativen Feuchte von 100 % tritt der Übersättigungsbereich ein.

Feuchtigkeitseinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit über 0 °C

Die Wärmeleitfähigkeit und die wirkenden Transporteffekte hängen maßgeblich vom Feuchtegehalt und der Höhe der Temperatur ab. Bei gleichbleibender Temperatur steigt die Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Feuchte.

Wenn ausschließlich Wasserdampf in den Poren vorliegt ist die Wärmeleitfähigkeit geringer als im trockenen Zustand, da Wasserdampf schlechter leitet als Luft. Dies spielt hauptsächlich bei hohen, in der Praxis irrelevanten Temperaturen eine Rolle.

Die Darstellung zeigt beispielhaft den Verlauf der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Ziegelsorten bei zunehmender Feuchte. Die bei einer Temperatur von 10 °C dargestellten Ziegelsorten haben unterschiedliche Dichten. Nicht nur die Dichte sondern auch die Größe und Verteilung der Poren sind ausschlaggebend für die Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Feuchtegehalten. Die dadurch verursachten Streuungen sind an den Verläufen deutlich sichtbar.



Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom volumenbezogenen Feuchtegehalt bei verschiedenen Ziegelsorten

Feuchtigkeitseinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit unter 0 °C

Bei geringen Feuchtegehalten entsteht bei Temperaturen unter 0 °C zunächst Reif in den Poren. Mit zunehmender Dichte entstehen Eisbrücken und darauf folgend Eis. Mit wachsender Dichte des Reifs erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs. Wenn Reif vorliegt kann die Porendiffusion ablaufen, mit zunehmender Dichte nimmt diese ab. Feuchteausgleich durch Kapillareintragsmechanik findet nicht statt. Dadurch verlagert sich das Wasser auf in die kältere Bauteilseite. Entscheidend ist, zu welchem Zeitpunkt das Bauteil befeuchtet wird. Bei einer Befeuchtung nach dem Frosteintritt steigt die Wärmeleitfähigkeit zunächst langsam an, da sich der Reif zunächst bildet und verdichtet. Friert ein feuchtes Bauteil steigt die Wärmeleitfähigkeit sprunghaft an. Die Höhe des Anstiegs hängt maßgeblich von dem Feuchtegehalt und der Feuchteverteilung im Bauteil ab.

Die Relevanz in der Praxis hängt von den am Standort des Bauwerks herrschenden Klimabedingungen ab. In Gebieten mit kurzen Frostperioden ist der Einfluss auf die Wärmeverluste nicht maßgeblich.

Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit am Beispiel von Ziegelmauerwerk

Das Ziegelmauerwerk ist ein inhomogenes Materialgemisch. Mauerwerke haben keine einheitlichen Ziegelmaße und Mörtelschichtdicken. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit kann mit Hilfe des vereinfachten Verfahrens für bekannte Mauerwerkzusammensetzungen ermittelt werden.

Wenn das vereinfachte Verfahren nicht angewendet werden kann, müssen mittels Prüfverfahren zunächst für den Ziegel und den Mörtel die Trockenwerte ermittelt werden. Die berechneten Trockenwerte sollten mit einer Messung auf Plausibilität geprüft werden. Bei Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit werden die Trockenwerte von Ziegel und Mörtel mit ihren anteiligen Flächen verrechnet.

Differenzialgleichungen der gekoppelten Wärme- und Feuchtetransporte

Simulationsprogramme wie beispielsweise WUFI Pro ermöglichen die genaue Ermittlung und Darstellung der Wärme- und Feuchtetransporte. Im Gegensatz zum bisher verwendeten Glaserverfahren können auch komplizierte Konstruktionen genau berechnet werden.

Es werden dabei zwei Differenzialgleichungen genutzt. Eine Formel beinhaltet den Wärmetransport und die andere den Feuchtetransport im betrachteten Bauteil. In beiden Gleichungen werden im linken Teil die Speichertherme und im rechten Teil der Formel die Transporttherme eingesetzt. Um ein möglichst genaues Ergebnis zu erhalten ist es wichtig, dass die eingegebenen Daten sehr genau sind. Dafür ist es nötig Klimadaten über einen ausreichenden Zeitraum in angemessenen Abständen zu sammeln und in das Programm einzugeben. Ebenso ist das Raumklima einzubeziehen.