

Tagungsband zum Sommerkolloquium Bauphysik

14. Juni 2024

Seminarreihe des Studiengangs Bauphysik an der HFT-Stuttgart mit Themenschwerpunkten zur angewandten Bauphysik und Energieeffizienz

INHALT

Dipl. Ing (FH) Andreas Ruff - Hochschule für Technik Stuttgart

Lärmsensoren für Dauermessungen im Außenraum und daraus resultierende Innenpegel

M.Eng. Muriel Lauschke - Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

*Die Zusammenführung von Energieeffizienz und Ökobilanzierung:
Neue Herausforderungen und Lösungsansätze für Energieberatende*

Dr. Jochen Manara - ZAE Bayern

Wärmedämmstoffe im Baubereich: Überblick und aktuelle Entwicklungen

Sommerkolloquium Bauphysik 2024

Lärmsensoren für Dauermessungen im Außenraum und daraus resultierende Innenpegel

Dipl. Ing (FH) Andreas Ruff
Hochschule für Technik Stuttgart

An der HFT Stuttgart wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts, bei dem alternative, stadträumliche Szenarien für ein innerstädtisches Quartier in Stuttgart dargestellt werden sollten, die Außenlärmsituation vor Ort über einen längeren Zeitraum mit einem Eigenbau-Messgerät, einem so genannten Lärmsensor, erfasst.

Die so ermittelten Außenlärmdaten wurden anschließend verwendet, um mit typischen Schalldämm-Maßen von Fassadenkonstruktionen die Innenraumpegel zu berechnen.

Lärmsensoren - Teil 1: Einsatz bei der Umgestaltung von Quartieren

Andreas Ruff, Martin Schneider, Andreas Drechsler, Berndt Zeitler

Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart, E-Mail: andreas.ruff@hft-stuttgart.de

Einleitung

An der Hochschule für Technik Stuttgart wurde ein interdisziplinäres Forschungsprojekt - Streetmoves4iCity [1] - zur Darstellung von alternativen stadträumlichen Szenarien für ein innerstädtisches Quartier in Stuttgart durchgeführt. Dabei wurde von einem veränderten Mobilitätsverhalten mit dem Ziel der Reduzierung des Verkehrsaufkommens im Raum Stuttgart ausgegangen. Es wurden verschiedene Aspekte bei der Umgestaltung des Quartiers, vor allem auch Maßnahmen zur Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs (MIV), untersucht. Da die Fragestellungen nicht von einer Forschungsdisziplin allein behandelt werden konnten, wurden an dem Projekt die Fachgebiete Stadtplanung, Vermessungstechnik, Wirtschaftspsychologie und Akustik beteiligt.

Von der Stadtplanung wurden Konzepte und Pläne zur Umgestaltung des Quartiers erarbeitet. Zusätzlich zu den stadtplanerischen Aktivitäten sollte den Menschen im Quartier mittels Virtual-Reality (VR) und Augmented-Reality (AR), aber auch durch Realexperimente die Möglichkeiten der Umgestaltung des Gebiets visuell aufgezeigt werden. Dazu wurden vom Fachbereich Vermessungstechnik verschiedene VR- und AR-Modelle erstellt, die über eine entsprechende Hardware für interessierte Personen „erlebbar“ sind. Vom Fachbereich Wirtschaftspsychologie wurden Befragungen der Menschen, welche die Zukunftsszenarien über die AR- und VR-Anwendungen erlebten, durchgeführt.

Im Bereich Akustik wurde die im Projektquartier vorhandene Außenlärm-Situation untersucht. Dazu wurden einerseits an unterschiedlichen Orten im Projektquartier mit einer akustischen Kamera und einem mobil einsetzbaren Messgerät für gehörrichtige Aufnahmen die Schalldruckpegel im Außenraum mitsamt räumlicher Darstellung ermittelt. Andererseits wurde die Außenlärmsituation auch über einen längeren Zeitraum von insgesamt rund zwei Monaten mit einem Eigenbau-Messgerät, einem so genannten Lärmsensor, erfasst. Zusätzlich erfolgten in Kooperation mit dem Fachbereich Wirtschaftspsychologie auch schalltechnische Befragungen. Hinzu kamen Berechnungen von Innenraumpegeln unter besonderer Berücksichtigung der tieffrequenten Schalldämmung von Fassaden, z.B. von Wänden mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS).

Untersuchtes Quartier

Als Projektquartier wurde ein Gebiet im Bereich der Leonhardskirche in Stuttgart, die so genannte Leonhardsvorstadt, untersucht (siehe Abbildung 1). Direkt gegenüber der Kirche befindet sich das Züblin-Parkhaus, das in den nächsten Jahren zu Wohnraum umgestaltet werden soll. Dies soll entweder durch einen (Teil-)Abriss des Parkhauses oder durch die direkte Integration von Wohnraum in die vorhandene Parkhaus-Struktur erfolgen. Die technischen und wirtschaftlich sinnvollen Möglichkeiten der Nachnutzung der

Parkhausstruktur werden aktuell noch geprüft. Bislang steht nur fest, dass das rund 7800 m² große Grundstück mit einer Baufläche von ca. 6400 m² zu Wohnraum umgestaltet werden soll, entlang des Grundstücks soll - als Übergang zur benachbarten Bebauung - eine ausgedehnte Grünachse als Erholungsraum entstehen. Insgesamt sind für die Zukunft in dem gesamten Gebiet einige weitere städtebauliche Umgestaltungsmaßnahmen geplant, so soll beispielsweise die in der Nähe des Parkhausareals befindliche Feuerwache 1 zeitnah durch einen Neubau (geplante Fertigstellung: 2027) ersetzt werden. Eine mehrspurige Hauptverkehrsstraße (ca. 60.000 Kfz/Tag) direkt hinter der Leonhardskirche verursacht einen relativ hohen Verkehrsräuschpegel im untersuchten Stadtgebiet, was zu einer Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität im Gebiet führt.



Abbildung 1: Luftbild-Ausschnitt des untersuchten Stadtgebiets in Stuttgart mit Leonhardskirche und Züblin-Parkhaus im markierten Bereich (Quelle: Studio Malta, www.zukunft-leonhardsvorstadt.de).

Schalltechnische Bestandsaufnahme

Zu Beginn erfolgte eine messtechnische Bestandsaufnahme der Außenlärm-Situation im Quartier. Dazu wurden bei einer Begehung mit den Projektbeteiligten sowohl Messungen mit einem Schallpegelmesser (XL 2) durchgeführt als auch Aufnahmen mit einer akustischen Kamera (SoundCam) erstellt. Die Visualisierung der Lärmquellen - insbesondere des rollenden Verkehrs - mittels akustischer Kamera diente auch zur Einbeziehung und Sensibilisierung der anderen Forschungsdisziplinen für den Bereich Akustik. In Abbildung 2 ist die Aufnahme von vorbeifahrenden Fahrzeugen mittels akustischer Kamera beispielhaft dargestellt. An einigen Orten, an denen Aufnahmen mit der akustischen Kamera erstellt wurden, erfolgten zusätzlich auch gehörrichtige Aufnahmen des Außenlärmpegels mit einem tragbaren Messgerät (SQuadriga II). Die spätere Wiedergabe dieser Aufnahmen mittels Kopfhörer entspricht ziemlich gut dem tatsächlichen Höreindruck vor Ort und kann beispielsweise für Hörversuche verwendet werden.

Die zuvor genannten Messungen und Aufnahmen stellen natürlich immer nur eine Momentaufnahme der Außenlärm-

situation dar. Um auch die zeitlichen Schwankungen des Lärmspektrums zu erfassen, sollten Langzeitmessungen im Quartier erfolgen. Deren Ergebnisse sollten anschließend Berechnungen von Innenpegeln in Abhängigkeit von verschiedenen Fassadenkonstruktionen ermöglichen.

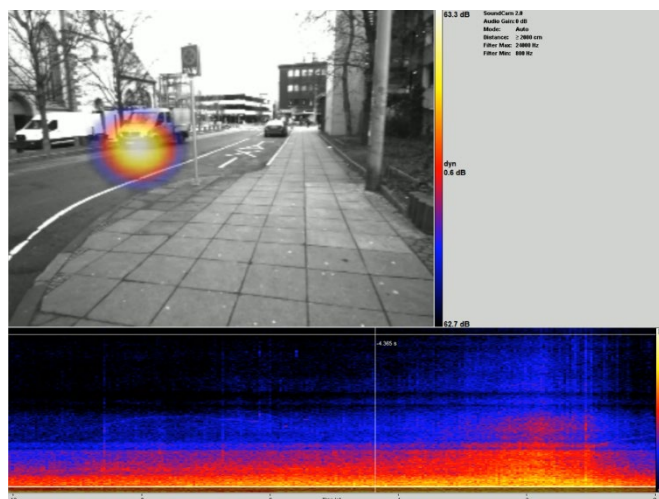


Abbildung 2: Aufnahme von vorbeifahrenden Fahrzeugen mittels akustischer Kamera.

Lärmsensoren

Zur Erfassung des Außenlärmpegels im Projektgebiet über einen längeren Zeitraum wurde schließlich ein so genannter Lärmsensor (siehe Abbildung 3) verwendet. Die Lärmsensoren entstanden im Rahmen eines Citizen-Science-Projekts, bei dem die HFT Stuttgart beratend und mit verschiedenen Vergleichsmessungen zur Sicherstellung der messtechnischen Qualität der Sensoren beteiligt war. Dabei war das Ziel, möglichst einfache, kostengünstige (< 100 €) und zuverlässige Sensoren auf der Basis von MEMS-Mikrofonen für die Erfassung von Außengeräuschen zu entwickeln. Die Initiative hatte zuvor bereits erfolgreich Feinstaubsensoren aus relativ preisgünstigen Komponenten entwickelt und deren Messdaten auf einer Internet-Plattform öffentlich verfügbar gemacht.

Ein ähnliches Vorgehen wurde für die Lärmsensoren angestrebt, dabei wurden die Sensoren kontinuierlich weiterentwickelt. So konnten beispielsweise die ersten Versionen nur Einzahlwerte erfassen, während die aktuellen Sensoren auch frequenzabhängige Werte im Bereich von

20 Hz bis 20 kHz ermitteln können. Zusätzlich wurden beispielsweise auch die Wetterfestigkeit der Mikrofone und die Dauerhaftigkeit der Komponenten schrittweise verbessert. Im Verlauf der Sensor-Entwicklung wurden durch die HFT Stuttgart einige Vergleichsmessungen im reflexionsarmen Raum mit einem Klasse 1 Messgerät zur Sicherstellung der Messqualität der Sensoren durchgeführt.

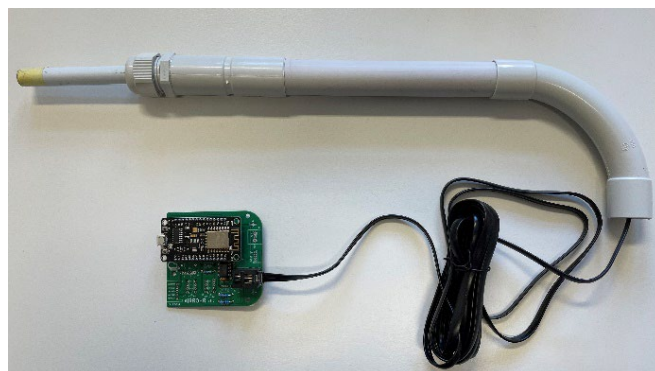


Abbildung 3: Lärmsensor mit Steuerungsplatine.

Insgesamt konnte durch die Auswahl geeigneter Bauteile sowie durch Software-Anpassungen des Lärmsensors eine gute Übereinstimmung mit dem Vergleichs-Messgerät erreicht werden (siehe Abbildung 4).

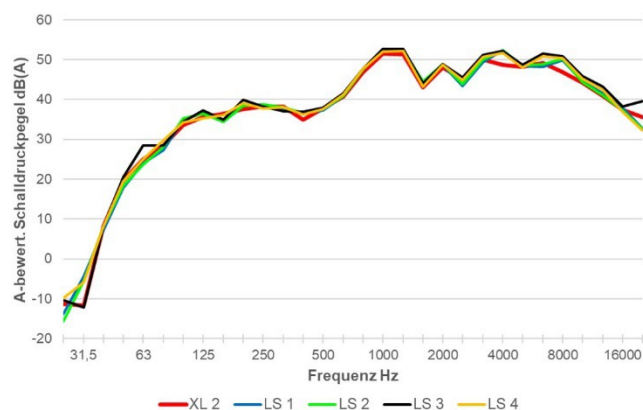


Abbildung 4: Vergleichsmessung von vier Lärmsensoren (LS) mit einem Klasse 1 Messgerät (XL 2) im reflexionsarmen Raum bei Anregung mit rosa Rauschen.

Im Rahmen von mehreren Workshops an der HFT Stuttgart wurden von Studierenden und anderen interessierten Personen einige Chargen von Lärmsensoren gebaut und anschließend (zum Teil) deutschlandweit verteilt und in Betrieb genommen. Durch die fachliche Begleitung und die Messwert-Analyse der für verschiedene Messkampagnen, z.B. [2], eingesetzten Lärmsensoren konnten evtl. fehlerhafte Sensor-Exemplare identifiziert und aus dem Verkehr gezogen werden.

Zusätzlich ist auf der Homepage „sensor.community“ [3] auch eine Bauanleitung für den Selbstbau eines Lärmsensors verfügbar. Darüber hinaus werden dort auch Hinweise zur richtigen Installation der Sensoren an der Fassade sowie zur Einbindung in das Sensor-Netzwerk gegeben. Üblicherweise werden die Lärmsensoren an einer Hausfassade oder an einem Balkongeländer angebracht, eine (Außen-)Steckdose dient zur Stromversorgung und die Messdatenübertragung an das Sensor-Netzwerk erfolgt über das (i.d.R. meist vorhandene) heimische WLAN-Netz.

Einsatz des Lärmsensors im Projektquartier

Für das Forschungsprojekt wurde ein Lärmsensor an der Fassade des Züblin-Parkhauses (gegenüber der Leonhardskirche) angebracht (siehe Abbildung 5). Da im Parkhaus kein Stromanschluss und kein ausreichend starkes WLAN-Signal zur Verfügung standen, mussten hierfür Alternativen gefunden und erprobt werden. Die Anbindung ans Internet erfolgte schließlich mit einem mobilen WLAN-Router, die Stromversorgung von Sensor und Router mit zwei größeren Powerbank-Akkus (mit einer Kapazität von je 50.000 mAh). Damit war ein autarker Betrieb von rund vier Tagen möglich. Für diese Komponenten und die Steuerungsplatine des Lärmsensors war zusätzlich noch ein Wetterschutz erforderlich. Da das Parkhaus öffentlich zugänglich ist, sollte der Lärmsensor auch möglichst geschützt vor Vandalismus angebracht werden. Unter anderem aus diesem Grund wurde auch eine Stromversorgung über Solarpaneele nicht realisiert. Schließlich wurden alle Komponenten in einen wasserdichten Transportkoffer als Schutzgehäuse, aus dem nur der vordere Teil des Mikrofons herauschaute, eingebaut. Das Mikrofon wurde mit einem Schaumstoff-Windschirm versehen. Der Lärmsensor-Koffer wurde an die Parkhaus-Brüstung montiert (siehe Abbildung 6) und mit einer Kette vor Verlust gesichert.



Abbildung 5: Fassade des Parkhauses mit Position des Lärmsensors (roter Punkt).

Messergebnisse des eingesetzten Lärmsensors

Die Einzahl-Messwerte L_{Aeq} , L_{Amax} und L_{Amin} der ins Sensor-Netzwerk eingebundenen aktiven Lärmsensoren werden standardmäßig mit einem recht langen Zeitintervall von 145 s auf Internet-Plattformen, z.B. „sensor.community“ [3] und „laerm.citysensor“ [4], nahezu in Echtzeit online gestellt. In Abbildung 7 ist beispielhaft die Karten-Darstellung von einem Lärmsensor mit den Zeitverläufen der drei Messwerte von der Homepage „sensor.community“ dargestellt.

Der Lärmsensor an der Parkhausfassade wurde über zwei längere Zeiträume von jeweils etwa ein Monat Dauer rund um die Uhr betrieben.



Abbildung 6: Lärmsensor im Schutzgehäuse mit mobilem WLAN-Router und Stromversorgung über zwei Powerbank-Akkus an der Parkhaus-Brüstung.

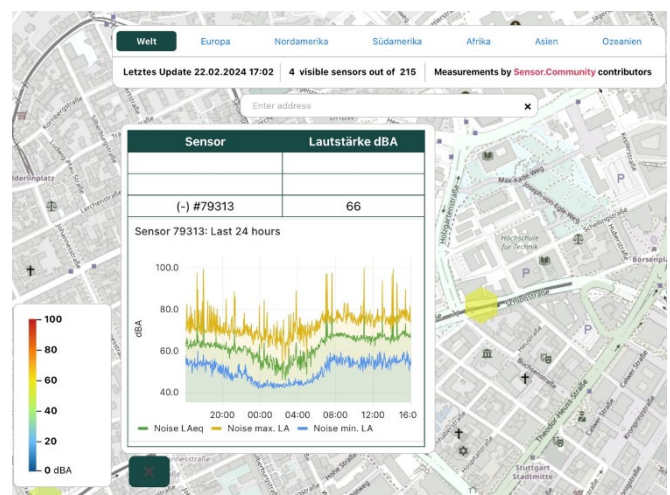


Abbildung 7: Karten-Darstellung von der Homepage „sensor.community“ mit Einzahl-Messwerten von einem Lärmsensor.

Bei der Konfiguration der Lärmsensoren ist es auch möglich, die frequenzabhängigen Werte von 20 Hz bis 20 kHz in gewünschten kürzeren Zeitintervallen - im vorliegenden Fall in Intervallen von 5 s - an eine Influx-Datenbank zu senden. In Abbildung 8 sind beispielhaft die in der Influx-Datenbank gespeicherten Messwerte von einem Tag (08.08.2023) als Pegel-Zeit-Verlauf der Einzahlwerte L_{Aeq} , L_{Amax} und L_{Amin} sowie als Spektrogramm dargestellt. Diese Datenbank ist derzeit noch nicht öffentlich zugänglich. Zur internen Speicherung der frequenzabhängigen Daten des Lärmsensors im Projektquartier wurde sie jedoch verwendet. Die Spitzenwerte des Beispiel-Tages sind vor allem um 12.00 Uhr und 19.00 Uhr erkennbar, insbesondere auch im Spektrogramm. Diese Spitzenpegel werden vom Glockengeläut der gegenüberliegenden Leonhardskirche verursacht und sind dementsprechend auch an den anderen Tagen erkennbar. Bei manchen anderen vollen Stunden sind ebenfalls deutliche Spitzen durch das Glockenläuten vorhanden, allerdings etwas weniger ausgeprägt. Weitere Spitzen sind häufig vorbeifahrenden Feuerwehrfahrzeugen der in der Nähe befindlichen Feuerwache zuzuordnen.

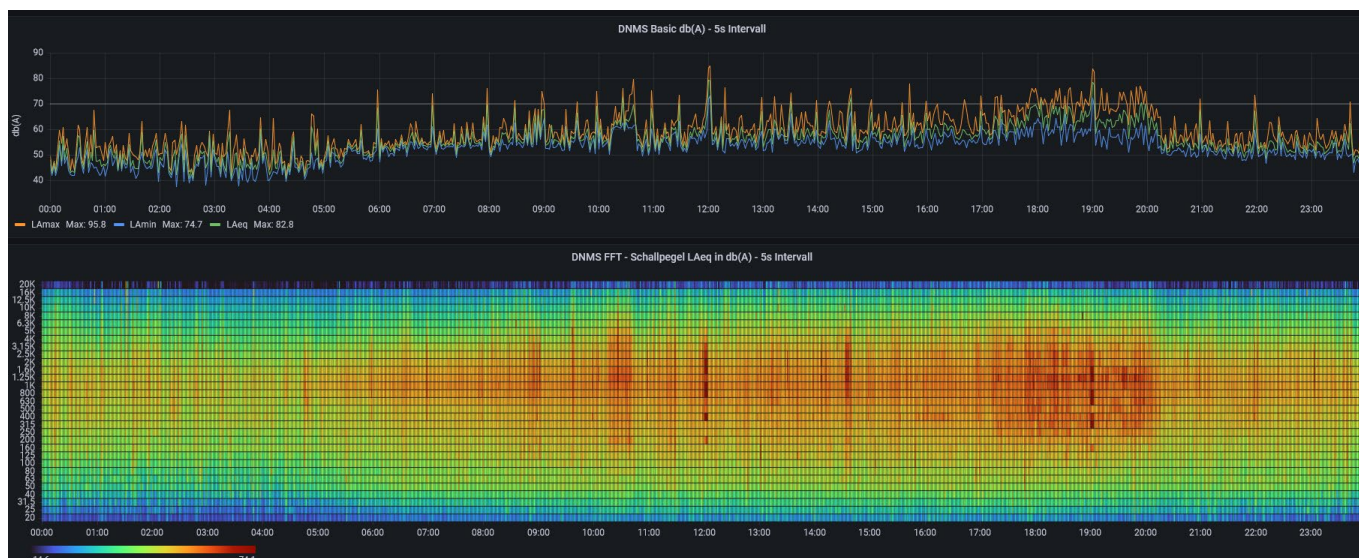


Abbildung 8: Messwerte von einem Tag - 08.08.2023 - die A-bewerteten Einzählwerte (L_{Aeq} , L_{Amax} und L_{Amin}) sind oben dargestellt, darunter ist das entsprechende Spektrogramm abgebildet.

Alle Messtage des Lärmsensor-Erfassungszeitraums konnten über die Influx-Datenbank in der gleichen Art und Weise dargestellt werden. Für einige ausgewählte Messtage wurden die frequenzabhängigen Messwerte von 20 Hz bis 20 kHz exportiert und für weitere Auswertungen aufbereitet. Aus den Messdaten wurden unterschiedliche Außenlärm-Größen - L_{AFmax} , L_{Am} , L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} sowie L_{DEN} - bestimmt, um daraus die zu erwartenden Innenpegel in Abhängigkeit von der Schalldämmung der Fassade zu berechnen. Im Beitrag von M. Schneider [5] wird dies detailliert beschrieben.

Projektbegleitende Veranstaltungen

Bei verschiedenen Veranstaltungen, z.B. der Urban Future Conference im Juni 2023 und dem IBA-Festival im Juli 2023, bei denen Beteiligte von allen Forschungsdisziplinen vor Ort anwesend waren, wurde der (Fach-)Öffentlichkeit das Projekt vorgestellt und unter anderem auch die Möglichkeiten von „Soundwalks“ nach [6] für die Quartiers- und Stadtplanung erläutert. Dazu wurden entsprechende Fragebögen für die teilnehmenden Personen erstellt, um die gegenwärtige „Sound“-Situation vor Ort zu analysieren. Da die Befragungen stationär an einem Ort (vor dem Parkhaus) stattfanden, wurden die „Soundwalks“ eher als „Sound Perception“ für diesen Ort betrachtet. Die Befragungen erfolgten teilweise in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Wirtschaftspsychologie. Zusätzlich wurden mittels Aufnahmen mit der akustischen Kamera verschiedene Lärmquellen vor Ort, insbesondere der rollende motorisierte Verkehr, visualisiert, so dass sich mit den interessierten Personen eine gute Gesprächsgrundlage ergab. Ergänzend dazu wurden in einigen Fällen auch die Möglichkeiten von gehörrichtigen Aufnahmen von Außenlärmereignissen vorgestellt.

Zusammenfassung

Mit den relativ kostengünstigen Lärmsensoren können Außen- bzw. Verkehrsgeräusche einfach und mit guter Genauigkeit auch über längere Zeiträume messtechnisch ermittelt werden. Über die entsprechenden Internet-Plattformen sind die gemessenen Einzählwerte der Lärm-

sensoren öffentlich verfügbar. Für bestimmte Anwendungen, wie z.B. das im Beitrag beschriebene Forschungsprojekt, kann auch eine frequenzabhängige Messung mit Speicherung in kürzeren Zeitintervallen erfolgen. Diese Messdaten stehen derzeit noch nicht öffentlich zur Verfügung, sie können jedoch für projektinterne Auswertungen, wie z.B. die Berechnung von zu erwartenden Innenpegeln verwendet werden.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Forschungsvorhaben an der HFT Stuttgart wurde durch das Programm „Forschung an Fachhochschulen - Starke Fachhochschulen - Impuls für die Region (FH-Impuls)“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 13FH91071A gefördert.

Besonderer Dank für die Unterstützung bei technischen Fragen zu den Lärmsensoren gilt den beiden Hauptentwicklern Helmut Bitter und Ewald Thoma.

Literatur

- [1] Streetmoves4iCity: Teilprojekt von iCity - Intelligente Stadt - an der Hochschule für Technik Stuttgart, Laufzeit bis 30.06.2024
- [2] Aktionsplan Pilotprojekt Holzminden - Vorschläge für Maßnahmen zur Minderung von Motorradlärm, Deutsche Umwelthilfe, 01-2024
- [3] Homepage, URL: <https://sensor.community/de/>
- [4] Homepage, URL: <https://laerm.citysensor.de/>
- [5] Schneider, M., Ruff, A., Drechsler, A., Zeitler, B.: Lärmsensoren - Teil 2: Berechnung von Innenpegeln aus Dauermessungen, DAGA 2024
- [6] DIN ISO/TS 12913-2: Akustik - Soundscape -Teil 2: Anforderungen an die Datenerhebung und die Dokumentation, 11-2020

Lärmsensoren – Teil2: Berechnung von Innenpegeln aus Dauermessungen

Martin Schneider, Andreas Ruff, Andreas Drechsler, Berndt Zeitler

Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart, E-Mail: martin.schneider@hft-stuttgart.de

Einleitung

Die bauakustischen Anforderungen an den Schallschutz gegen Straßenverkehrslärm / Außenlärm werden in Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel gestellt. Aus diesem A-bewertete und über den Tag bzw. die Nacht gemittelte Wert kann mittels dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß R'_w ein Zielwert für den Schalldruckpegel im Innenraum ermittelt werden. Zukünftig sollen normativ mittels den Spektrum-Anpassungswerten C und C_{tr} unterschiedliche Auslärmspektren besser berücksichtigt werden.

In diesem Beitrag werden kontinuierliche Außenlärmkarten verwendet, um mit typischen Schalldämm-Maßen der Außenbauteile die Innenraumpegel zu berechnen. Die frequenzabhängigen Messdaten stammen von einem im Rahmen eines Citizen-Sciences-Vorhaben gebauten Lärmsensor, der in 5 s Intervallen diese Messdaten online stellt. In den Untersuchungen wird neben dem spektralen vor allem auch der zeitliche Aspekt des sich verändernden Außenlärms im innerstädtischen Bereich betrachtet und mit dem normativen Vorgehen verglichen.

Im Beitrag von A. Ruff [1] werden die Hintergründe zur Erarbeitung des Lärmsensors im Rahmen des Citizen-Sciences-Vorhabens [2] beschrieben. Dort sind Einzelheiten zur Messgenauigkeit, zum Alterungsverhalten, der Abgleich mit einem Klasse 1 Messgerät, etc. genannt. In diesem Beitrag werden die an zwei Messstellen mit Lärmsensoren ermittelten Außenlärmpegel (sowie teilweise auch Innenpegel) verwendet um den spektralen und zeitlichen Verlauf von innerstädtischen Verkehrslärmpegeln zu charakterisieren.

Messorte Lärmsensor

In diesem Beitrag werden die ermittelten Pegel der beiden Lärmsensoren betrachtet. Dabei handelt es sich einmal um ein Messort, der im Rahmen eines HFT-Projektes (Streetmoves4iCity) für eine mögliche Umgestaltung eines Quartiers in Betracht gezogen wurde (Abbildung 1: Züblin-Parkhaus). Dieses Vorhaben soll alternative stadträumliche Szenarien für ein innerstädtisches Quartier in Stuttgart vorstellen. Dabei wird von einem neuen Mobilitätsverhalten ausgegangen mit den daraus resultierenden Veränderungen für den Stadtraum. Die Szenarien werden hinsichtlich ihrer Erlebbarkeit vergleichend evaluiert. Hintergrund dieser Untersuchung ist das in der Metropolregion Stuttgart steigende Verkehrsaufkommen. Bei diesem Messort ergeben sich einerseits ein kontinuierlicher Pegel aufgrund der nahegelegenen 6-spurige Hauptverkehrsstraße (Hauptstättter Straße ca. 60T Kfz/Tag) in ca. 50 m Entfernung. Andererseits werden Spitzenpegel von fast 90 dB(A) beim Betrieb der Kirchenglocken der gegenüberliegenden Leonhardskirche um 12 Uhr und um 19 Uhr sowie bei Einsatzfahrten der Feuerwehrfahrzeuge mit Martinshorn aus der nahegelegenen Feuerwache gemessen.



Abbildung 1: Messort 1 mit Lärmsensor am Parkhaus

Der zweite Messort befindet sich vor einem von der HFT Stuttgart als Bürogebäude genutzten Bau an der Schlossstraße (siehe Abbildung 2 direkt vor dem Fenster). Hier werden mit zwei Lärmsensoren sowohl Außen- als auch Innenpegel parallel gemessen. Bei der Schlossstraße handelt es sich um eine Hauptverkehrsstraße mit 2 Fahrspuren je Richtung getrennt durch Straßenbahnverkehr (tagsüber in ca. 10 min Takt). Eine Ampel in unmittelbarer Nähe sorgt einerseits für moderate Geschwindigkeiten andererseits aber für erhöhte Pegel beim Anfahren, im Besonderen von LKWs. Die Messung der Innenpegel erfolgt in einem Besprechungsraum, der nur zeitweise genutzt wird.



Abbildung 2: Anbringung des Lärmsensors (roter Kreis) vor Besprechungsraum der HFT mit Straßensituation.



Abbildung 3: Am 05. und 06.02.2024 gemessene Außenpegel (Bild oben) und Pegel im Innenraum (Bild unten). Die A-bewertete Schalldruckpegel (Max. Min und Leq Werte) sind jeweils oben dargestellt, das zugehörige Spektrogramm dieser Werte ist darunter (Bitte unterschiedliche Skalierung beachten).

In Abbildung 3 sind beispielhaft für 24 Stunden die Ergebnisse der Messungen mit den Lärmsensoren für die Messsituation 2 dargestellt. Im oberen Bild ist das Außen-geräusch aufgrund des Straßen- und Straßenbahnverkehrs mit einer deutlichen Absenkung in der Zeit von 0:00 Uhr bis 5:00 Uhr zu erkennen. Der Mittelungspegel liegt im Tagzeitraum bei $L_{A,eq} = 65$ dB im Nachtzeitraum bei ca. $L_{A,eq} = 55$ dB. Die einzelnen Spitzen mit Maximalpegeln bis 85 dB sind vermutlich auf Warnsignale von vorbeifahrenden Rettungsfahrzeugen zurückzuführen. Im Spektrogramm ist zu erkennen, dass die wesentlichen spektralen Anteile des Straßenverkehrs (A-bewertet) hier im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 4 kHz liegen.

Im unteren Bild von Abbildung 3 sind die Innenpegel dargestellt. Zeiten mit relativ hohen Pegeln (z.B. vor 10 Uhr, gegen 12:30 Uhr, 16:20 Uhr, ...) ergeben sich durch die zeitweilige Nutzung des Raumes als Besprechungsraum. Im Nachtzeitraum fallen dann die Raumpegel auf $L_{A,eq} = 30 - 35$ dB. Hier werden die Pegel durch einen Server, der im

Vorraum des Besprechungsraumes steht, bestimmt. Dieses Grundgeräusch wird durch einen, vor allem nachts zu erkennenden, kontinuierlichen Pegel mit einem Maximum in der 630 Hz Terz gekennzeichnet. Spektral ergeben sich die höchsten A-bewerteten Pegel im Innenraum aufgrund der Übertragung aus dem Außenraum im Frequenzbereich zwischen 125 Hz und 250 Hz sowie zwischen 800 Hz und 2kHz. Der tieffrequente Anteil ist dabei vermutlich auf die geringe Schalldämmung des Fensters (zweifach Fenster mit einer Vakuumisolierglasscheibe) in diesem Frequenzbereich zurückzuführen, der mittel und hochfrequente Anteil dagegen auf das Anregespektrum des Außenlärms.

Auswertungen zum Messort Züblin Parkhaus

Aufgrund von Überlegungen, das Parkhaus in ein Wohnquartier zu überführen können aus den am Messort 1 gemessenen Außenpegeln mit den normativ gesetzlich vorgeschriebenen erforderlichen Schalldämm-Maßen der

Außenbauteile die zu erwartenden Innenpegel berechnet werden.

Mit den am 27.07.2023 mit dem Lärmsensor gemessenen Außenlärm-spektren kann der maßgeblichen Außenlärmpegel von $L_a = 67,8$ dB bestimmt werden. Mit den Vorgaben nach DIN 4109-1 [3] für Wohnräume (erf. $R'_w = L_a - 30$ dB) ergibt sich ein erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß von erf. $R'_w \geq 38$ dB. Dabei wurde ein hypothetischer Wohnraum angenommen mit einer die Fassade mit 10 m^2 Fassadenfläche, einer Raumbreite von $3,125 \text{ m}$ ($K_{AL} = 0$ dB) und einer äquivalenten Absorptionsfläche von $A = 10 \text{ m}^2$.

Für die Fassade wurde nun eine massive Außenwand sowie eine Mehrscheiben-Isolierverglasung herangezogen, deren bewertetes Schalldämm-Maß diese Anforderung gerade so erfüllt. Der sich aus dem maßgeblichen Außenlärmpegel L_a und dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß der Fassade ergebende Innenpegel liegt dementsprechend bei $L_i = 29,8$ dB. Mit den spektral und zeitlich ermittelten Außenlärmpegeln und den Terzwerten des Schalldämm-Maßes der Fassade kann nun auch frequenzabhängig z.B. über den Tagzeitraum, der Innenpegel bestimmt werden. Die Messwerte des Schalldämm-Maßes des Fensters und der Wandkonstruktion im Frequenzbereich von $50 \text{ Hz} - 5 \text{ kHz}$ wurden auf den mit dem Lärmsensor gemessenen Frequenzbereich von $20 \text{ Hz} - 20 \text{ kHz}$ extrapoliert. In nachfolgender Abbildung 4 ist der A-bewertete ermittelte Außenlärmpegel sowie das Schalldämm-Maß der Fassade dargestellt.

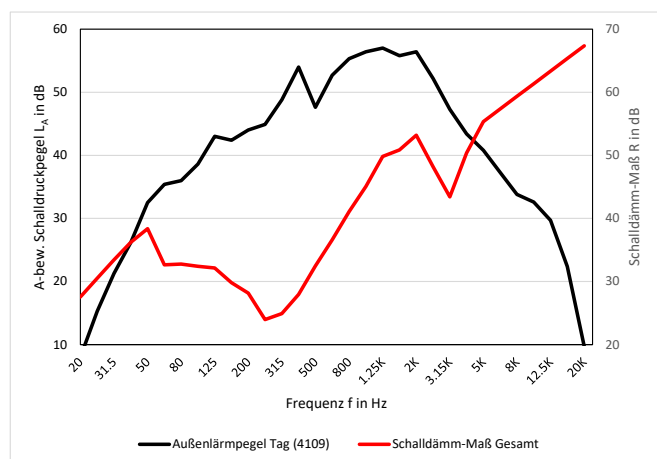


Abbildung 4: über den Tagzeitraum gemittelter A-bewerteter Außenlärmpegel (schwarz, linke Achse) und Schalldämm-Maß der Fassade (rot, rechte Achse)

In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass die größten Differenzen zwischen Außenlärm und Schalldämm-Maß, diese entsprechen den zu erwartenden Innenpegeln, im Frequenzbereich von 160 Hz bis 1 kHz auftreten. Aus dem maßgeblichen Außenlärmpegel und der Anforderung an das Schalldämm-Maß ist ein A-bewerteter Innenpegel von im Mittel $L_i = 27$ dB zu erwarten. Die tatsächliche Schwankung des A-bewerteten Innenpegels aufgrund der zeitlichen und spektralen Unterschiede im Außenlärm ist in nachfolgender Abbildung 5 dargestellt. Hier zeigt sich, dass im Nachtzeitraum die A-bewerteten Innenpegel meist zwischen $L_i = 10$ dB und 20 dB schwanken, während tagsüber Pegel von 20 dB bis 30 dB zu erkennen sind. Gleichzeitig erkennt

man, dass aufgrund einzelner Spitzen beim Außenlärm tags aber auch nachts deutlich höhere Pegel auftreten können.

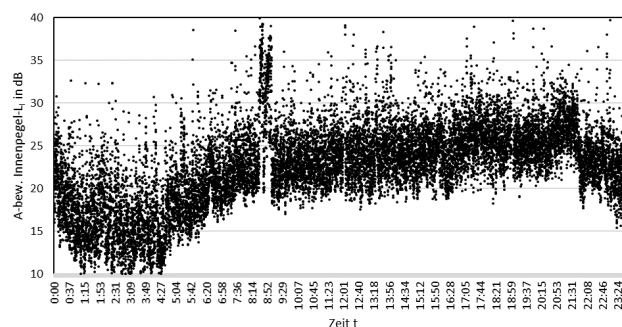


Abbildung 5: A-bewerteter Innenpegel über einen Tag berechnet aus gemessenen Außenlärm-spektren und frequenzabhängigem Schalldämm-Maß der Fassade

Die sich aus Abbildung 5 ergebende Verteilung des A-bewerteten Innenpegels ist in Abbildung 6 getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum als Histogramm dargestellt.

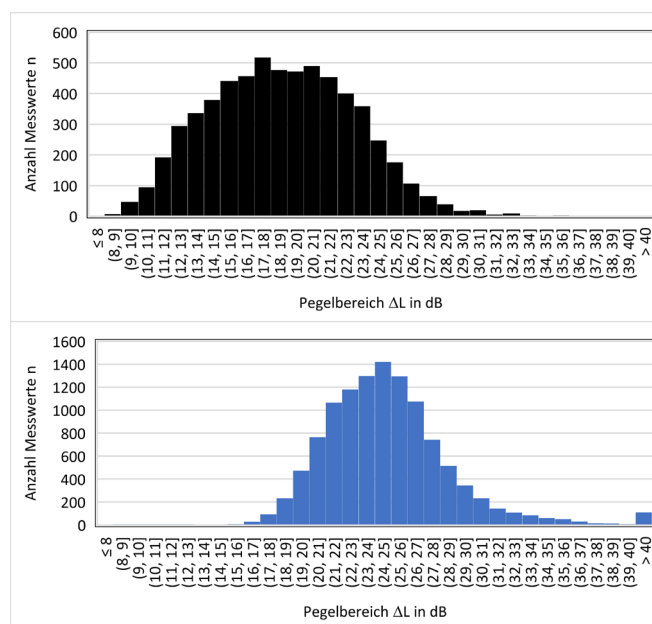


Abbildung 6: Histogramme des A-bewerteten Innenpegels für den Nachtzeitraum 22 Uhr bis 6 Uhr (oben) und für den Tagzeitraum 6 Uhr - 22 Uhr (unten)

Wie zu erwarten ergeben sich einer Gaussverteilung ähnliche Verläufe. Für den Nachtzeitraum von 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr liegt dabei der am häufigsten auftretende Pegel bei 17 dB und für den Tagzeitraum bei 24 dB. Tagsüber treten dabei jedoch relativ häufig A-bewertete Innenpegel deutlich über 30 dB auf.

Aufgrund der Vorgabe von DIN 4109-1 kann im untersuchten Fall mit einem über den Tagesverlauf energetisch gemittelten A-bewerteten Innenpegel von $L_i = 27$ dB gerechnet werden. Aus den spektral und zeitabhängig berechneten Innenpegeln ergibt sich ein Wert von $L_i = 28,4$ dB aus dem zeitlich gemittelten Außenlärm und dem frequenzabhängigen Schalldämm-Maß der Fassade würde sich ein Innenpegel von $L_i = 29,9$ dB ergeben.

Auswertungen zum Messort Schlossstraße

An diesem Messort wurde, wie in Abbildung 2 gezeigt, der Außen- und Innenpegel parallel gemessen. Das Schalldämm-Maß der Fassade (Fenster und massives Mauerwerk mit $m' > 400 \text{ kg/m}^2$) wird durch die Verglasung (Zweifach-Fenster mit einer Vakuumisolierglasscheibe) bestimmt. Bei hohen Außenlärmpegeln kann aus den gemessenen Pegeldifferenzen auf die Schalldämmung der Fassade bzw. der Fenster geschlossen werden. Im nachfolgender Abbildung 7 sind für den Zeitraum 8:30 Uhr bis 11:30 Uhr die A-bewerteten Außen- und Innenpegel sowie die aus den dazugehörigen Spektren ermittelten bewerteten Schalldämm-Maße dargestellt.

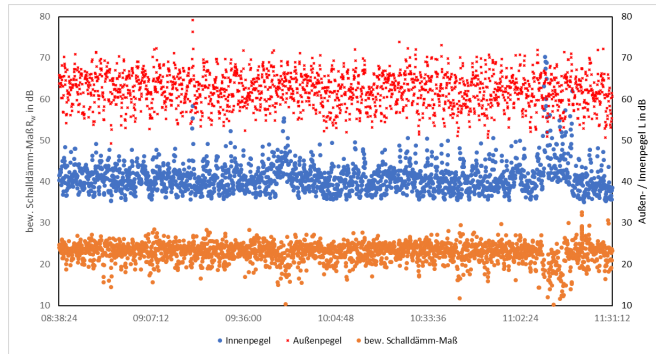


Abbildung 7: gemessene A-bewertete Außen- und Innenpegel in der Schlossstraße und aus diesen Messungen ermittelten scheinbare bewertete Schalldämm-Maße

Bei relativ hohen Grundgeräuschen im Innenraum (zusätzliche Nutzung des Raumes ab 11:10 Uhr zu einer Besprechung) und geringem Außenlärm sind die berechneten bewerteten Schalldämm-Maße natürlich nicht zu verwenden. Bei höheren Außengeräuschen ergeben sich bewertete Schalldämm-Maße von $R_w = 25$ bis 30 dB . Diese sind für unterschiedliche Messzeiten in nachfolgender Abbildung 8 dargestellt.

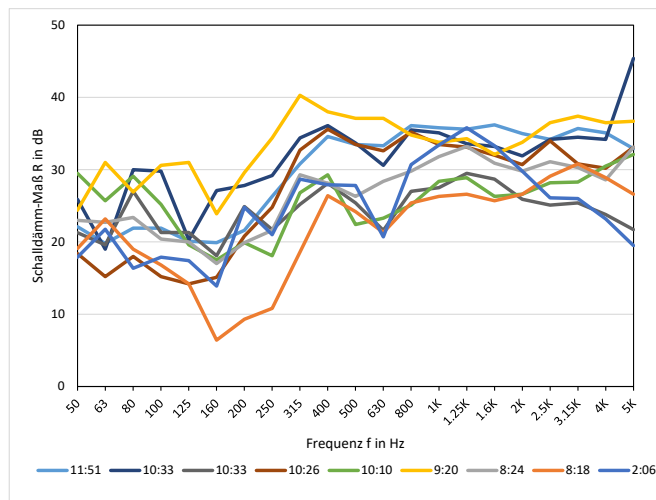


Abbildung 8: Verlauf des Schalldämm-Maßes über der Frequenz, ermittelt aus den gemessenen Außenlärm- und Innenlärmspektren zu unterschiedlichen Zeiten.

Aufgrund des hohen Grundgeräusches im Besprechungsraum, unter anderem durch einen im Vorraum stehenden Server, ergibt sich oberhalb von 500 Hz nicht der erwartete Anstieg des Schalldämm-Maßes. Die insgesamt geringe Schalldämmung ist vermutlich auf den im Rahmen einer

denkmalgerechten Sanierung durchgeführten Austausch der Fensterscheiben zurückzuführen. In Verbindung mit den vorhandenen (alten) Fensterrahmen (Holzrahmen mit einer nachträglich eingebauten umlaufenden Dichtung) wird eine geringe Schalldämmung bei höheren Frequenzen vermutet.

Zusammenfassung

Mithilfe der Datenerfassung und Speicherung des zeitlich sich ändernden spektralen Außenlärms durch die Lärmsensoren ist es möglich mit frequenzabhängigen Schalldämm-Maßen den zeitlichen und spektralen Verlauf von Innenpegeln zu berechnen. Die ermittelten Pegel können mit vereinfachten Berechnungen nach Norm oder den gesetzlichen Vorgaben verglichen werden. Insgesamt zeigt sich dabei eine relativ gute Übereinstimmung zwischen der detaillierten Berechnung der über den Tagesverlauf gemittelten Innenpegel (über spektrale zeitlich sich verändernde Außenpegel und frequenzabhängige Schalldämm-Maße) und der vereinfachten Berechnung aufgrund von gemittelten Außenlärmpegeln und bewerteten Schalldämm-Maßen mit Abweichungen von wenigen dB.

Für die untersuchten typischen innerstädtischen Verkehrssituationen hat sich gezeigt, dass die Innenpegel bei dieser Fassadenkonstruktion meist durch den mittleren Frequenzbereich dominiert werden und deshalb keine Erweiterung des Frequenzbereichs zu tiefen oder hohen Frequenzen erforderlich scheint.

Wie zu erwarten ergibt sich eine Streuung der berechneten bzw. der gemessenen Innenpegel. Hierbei liegen einzelne Innenpegel deutlich über den angestrebten Werten. Die immer wieder diskutierte Maximalpegelbetrachtung könnte im Besonderen bei der Berücksichtigung der Störwirkung in Schlafräumen helfen.

Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wurde Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Forschung an Fachhochschulen - Starke Fachhochschulen – Impuls für die Region (FH-Impuls) unter dem Förderkennzeichen 13FH9I071A gefördert

Literatur

- [1] Ruff et al. Lärmsensoren – Teil1: Fortschritte der Akustik - DAGA 2024, Hannover
- [2] <https://sensor.community/de/Homepage>
- [3] DIN 4109-1 Schallschutz im Hochbau Teil 1: Mindestanforderungen

Sommerkolloquium Bauphysik 2024

Die Zusammenführung von Energieeffizienz und Ökobilanzierung: Neue Herausforderungen und Lösungsansätze für Energiebera- tende

M.Eng. Muriel Lauschke

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Vor dem Hintergrund der Erreichung der Klimaziele und der damit verbundenen Reduktion von im Gebäudesektor verursachten CO₂-Emissionen müssen Energieberatende seit Mitte des Jahres 2023 im Rahmen der „Bundesförderung effizienter Gebäude“ (BEG) zusätzlich zu der bisher etablierten energetischen Bewertung auch eine vereinfachte Ökobilanz durchführen. Dies führt zu neuen Aufgaben und Prozessen für Energieberatende, die sie teilweise vor Herausforderungen stellen.

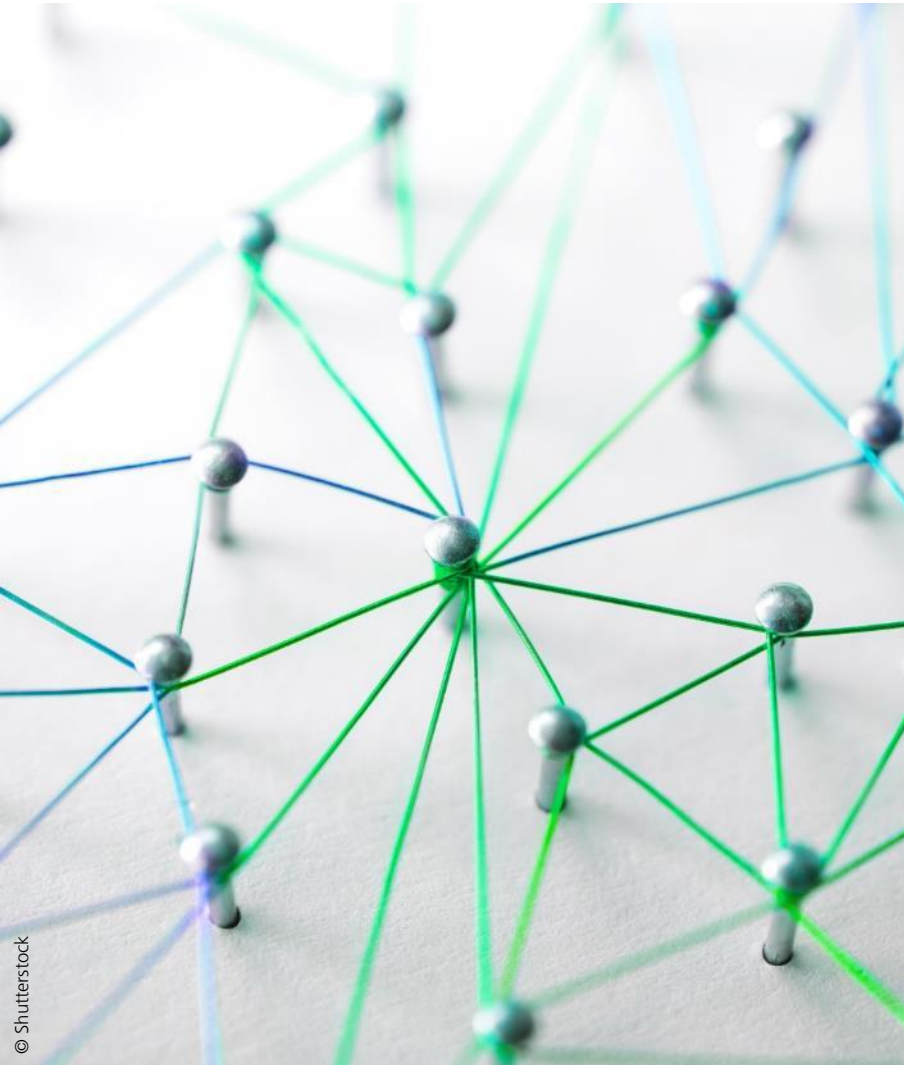
In diesem Vortrag werden die regulatorischen und methodischen Grundlagen erläutert, auf denen basierend die Herausforderungen entstehen, um anschließend daran anknüpfende Lösungs- und Forschungsansätze zu präsentieren.

Die Zusammenführung von Energieeffizienz und Ökobilanzierung:

Neue Herausforderungen und Lösungsansätze für Energieberatende

Sommerkolloquium 2024 – Hochschule für Technik Stuttgart, 14.06.2024
Muriel Lauschke

Agenda



01 Einführung

02 Regulatorische
Rahmenbedingungen &
methodische Grundlagen

03 Fachliche
Herausforderungen für
Energieberatende

04 Lösungsansätze &
aktuelle
Forschungsprojekte

Kompetenzen des Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Akustik © Fraunhofer IBP ▪ Bauakustik ▪ Raumakustik ▪ Techn. Schallschutz und Fahrzeugakustik ▪ Human Centered Acoustic Design und User Research ▪ Musikalische und Photoakustik	Energieeffizienz und Raumklima © Fraunhofer IBP ▪ Gebäude, Quartier, Stadt ▪ Evaluierung und Demonstration ▪ Gebäudesystemlösungen ▪ Lichttechnik und passive Solarsysteme ▪ Flug- und Fahrzeugklimatisierung ▪ Planungswerkzeuge ▪ Therm. Behaglichkeit, Modelle, Simulation	Ganzheitliche Bilanzierung © Shutterstock ▪ Energie und Mobilität ▪ Werkstoffe und Produktsysteme ▪ Nachhaltiges Bauen ▪ Nachhaltige Luftfahrt ▪ Data-Science enhanced Product Stewardship	Hygrothermik © iStock ▪ Hygrothermische Material- und Systemprüfung ▪ Klimasimulation und Freilanduntersuchung ▪ Hygrothermische Systemanalysen ▪ Markttechnische Umsetzung ▪ Stadtbauphysikalische Modellierung	Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling © Shutterstock ▪ Baustoffe ▪ Mineral. Rohstoffe und Stoffkreisläufe ▪ Prüfung und Analyse ▪ Aufbereitungsverfahren ▪ Nachhaltige Bindemittel	Umwelt, Hygiene und Sensorik © Fraunhofer IBP ▪ Emissionen ▪ Sensorik ▪ Material und Schadensfälle ▪ Ökologie und Mikrobiologie ▪ Verbrennungs- und Umweltschutztechnik ▪ Hygiene
--	---	---	--	--	---

Einführung – Schnittstelle Energie- und Ökobilanzierung



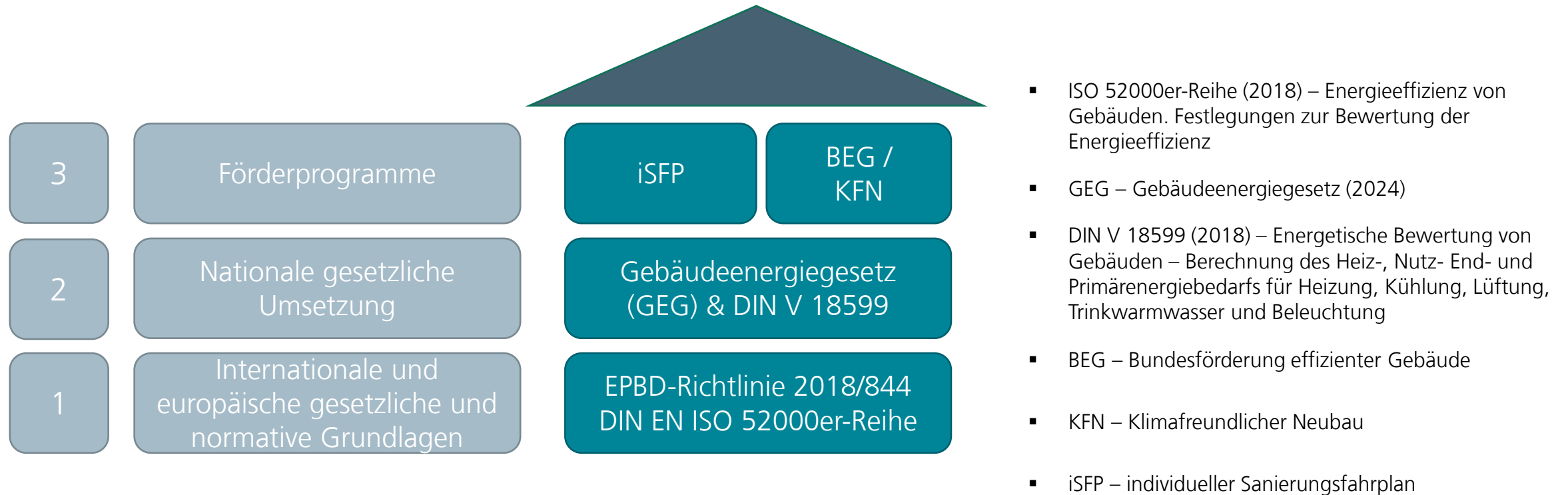
- Bisher war Energiebilanzierung in Planung etabliert durch den Energieausweis und Förderprogramme, die die Betriebsphase des Gebäudes bewertet
- Hinsichtlich der Erreichung der Klimaziele gewinnt die Betrachtung der CO₂-Emissionen für den gesamten Lebenszyklus an Bedeutung
 - > seit Mitte 2023 teil der Bundesförderung effizienter Gebäude (BEG)
- Energieberatende haben bisher die BEG-Förderungen erstellt und müssen somit nun auch eine vereinfachte Ökobilanz erstellen
 - > dadurch entstehen neue Prozesse und Herausforderungen

In Anlehnung an Öko-Zentrum NRW (<https://www.nachhaltigesbauen.de/hintergrund/instrumente-und-kompetenzen/>)

02 Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

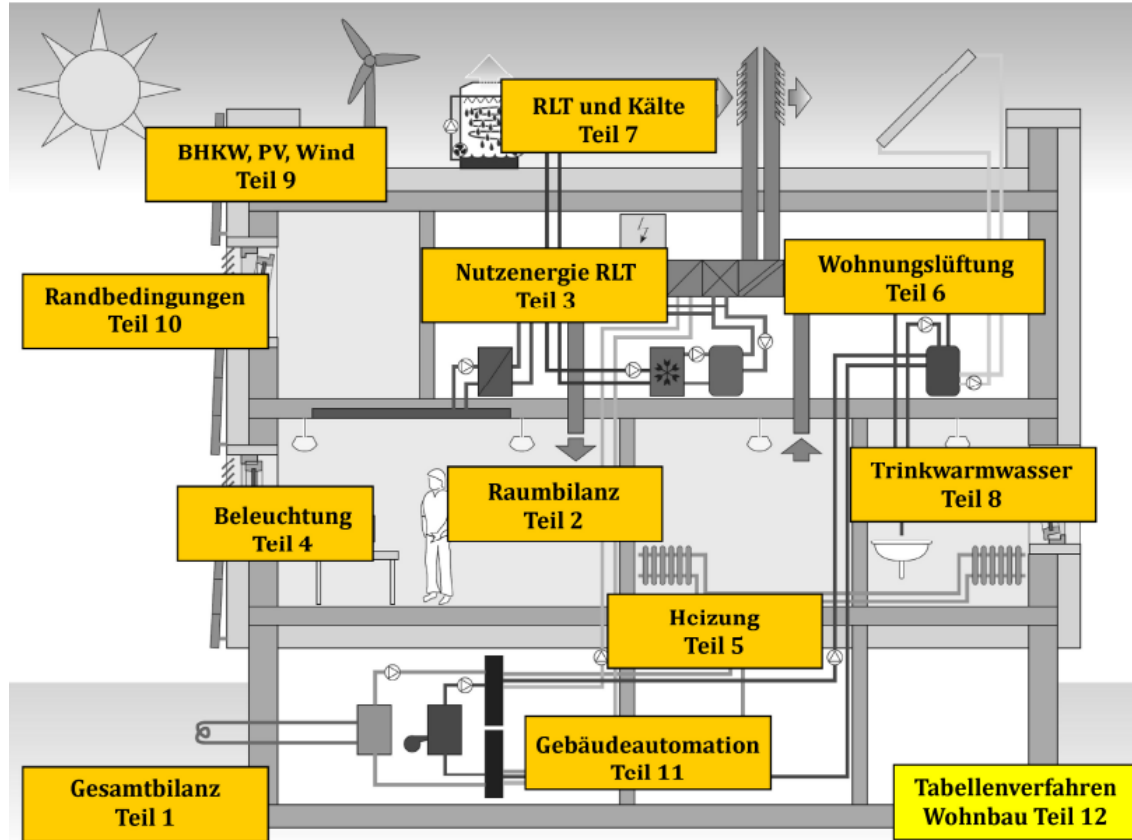
Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

EPBD und nationale Umsetzung

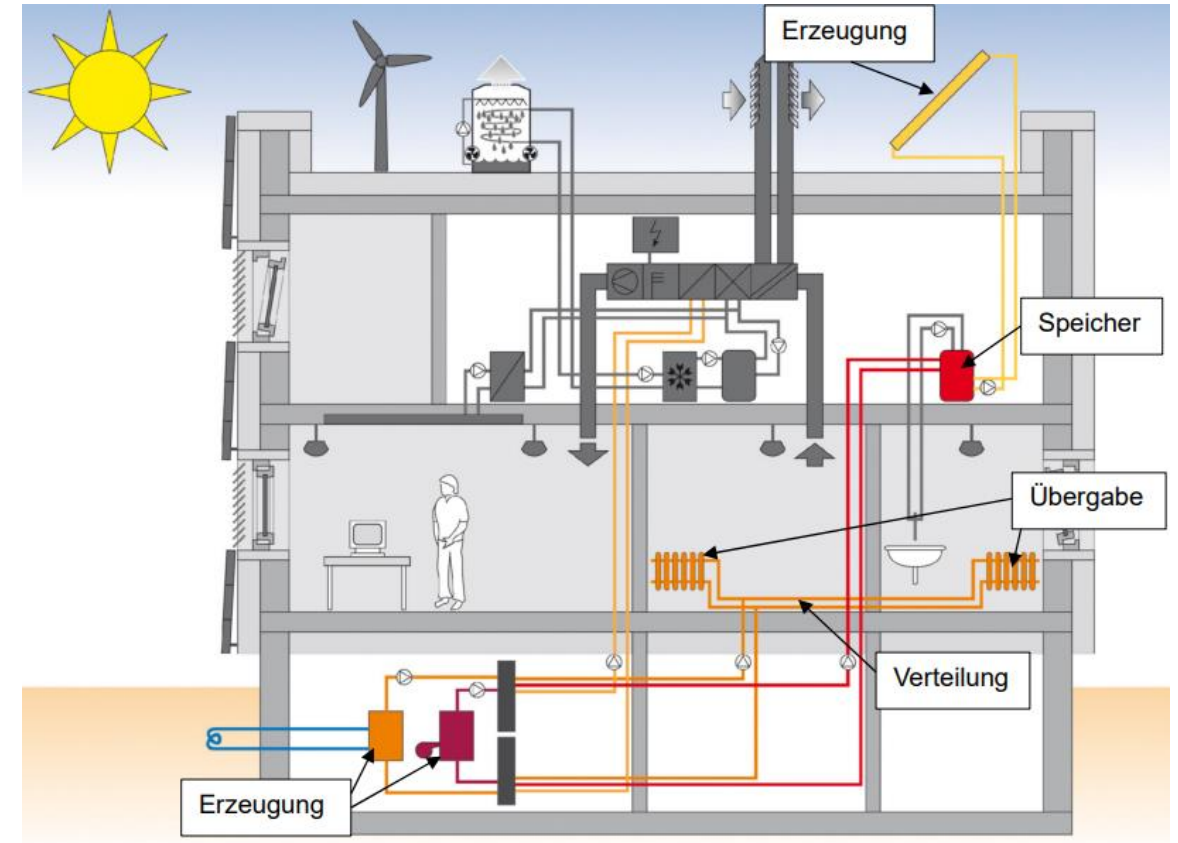


Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Funktionsweise DIN V 18599



DIN V 18599 (2018)



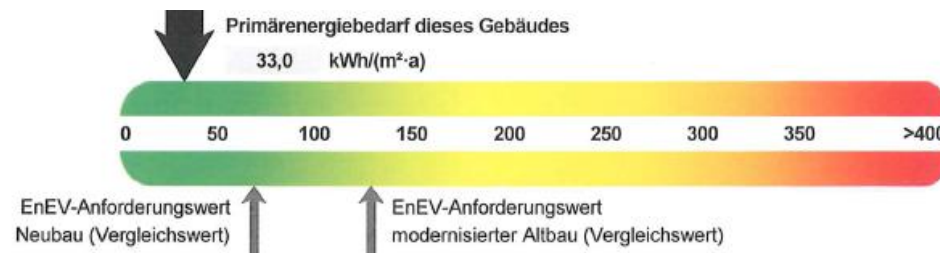
DIN V 18599 (2018)

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Funktionsweise DIN V 18599

Zielgröße Primärenergie - Energieeffizienz durch Vergleich mit Anforderungswert

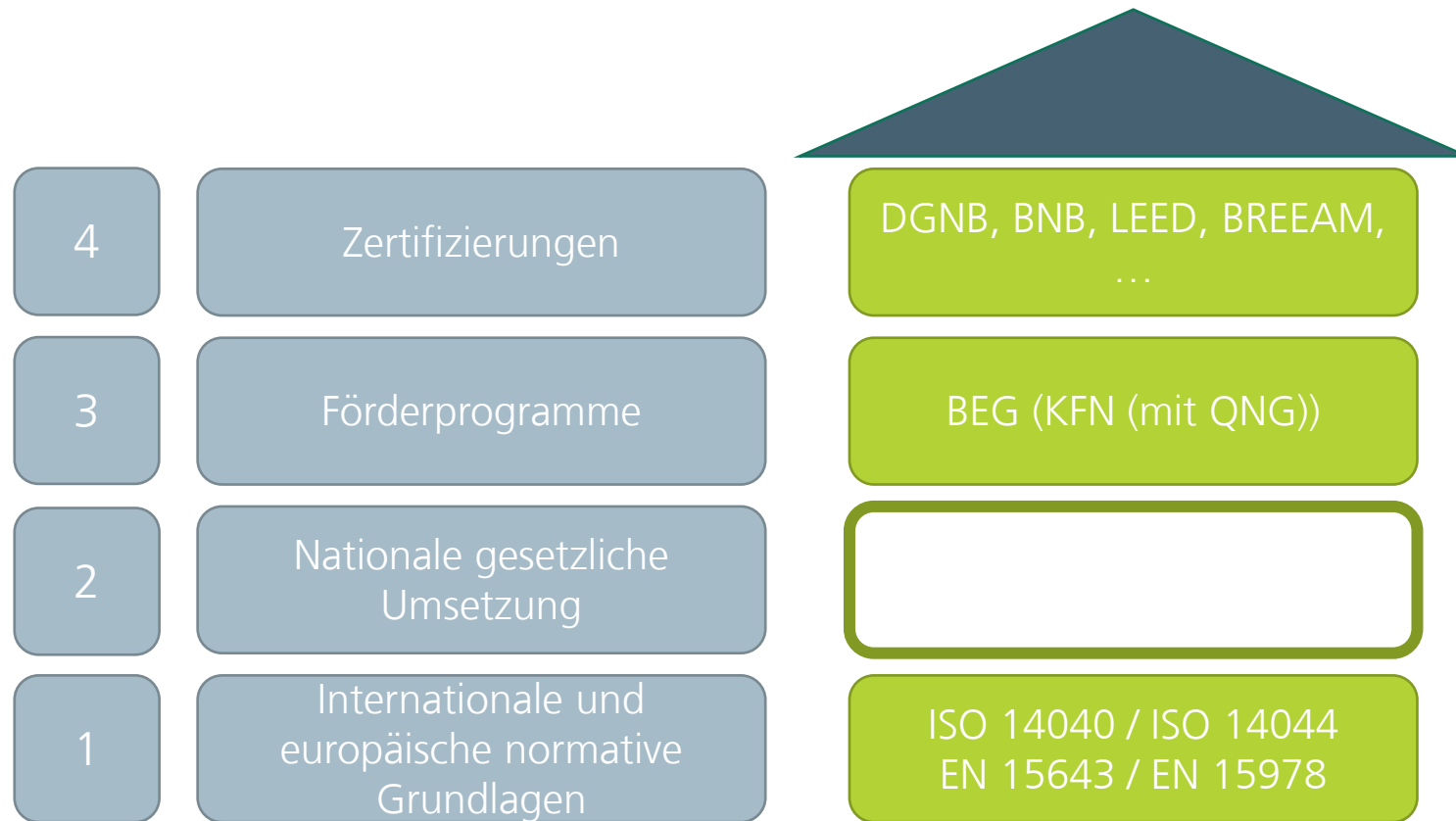
- Es wird ein **Referenzgebäude** mit der gleichen Geometrie, den gleich Nutzungsarten (und deren Anteile), gleicher Ausrichtung sowie Referenz-U-Werten und Referenz-Anlagentechnik berechnet, mit welchem die Primärenergie des IST-Gebäudes verglichen wird
- **Nichtwohngebäude** sind sehr divers hinsichtlich der Nutzung und Konditionierung (Länge der Skala im Energieausweis dynamisch). Es wird hier prozentuales Verhältnis (IST- zu Referenzgebäude) bewertet und es werden keine Klassen im Energieausweis ausgegeben
- Bei **Wohngebäuden** liegen hier zusätzlich statische Werte zur informativen Klasseneinteilung vor (Skala bis max. 250 kWh/m²a), da Wohngebäude einigermaßen homogen hinsichtlich Nutzung und Konditionierung sind



Auszug Energieausweis Nichtwohngebäude

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)

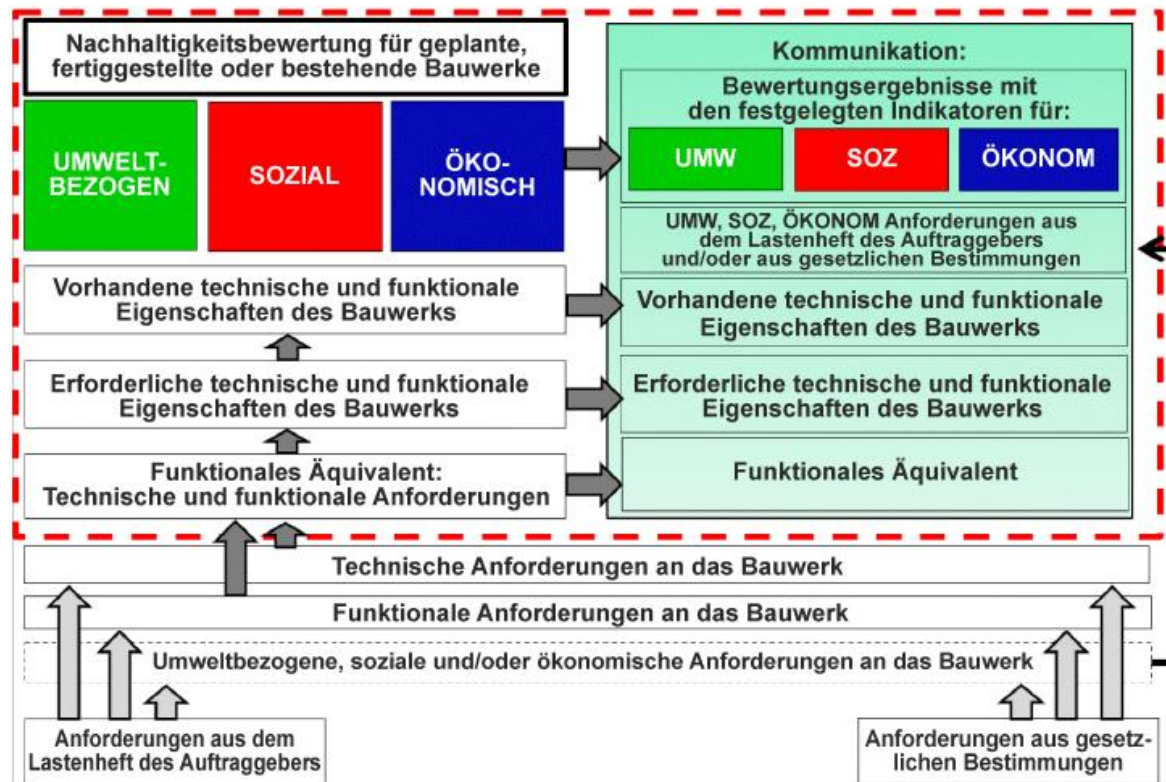


- ISO 14040 (2021) – Umweltmanagement – Ökobilanz. Grundsätze und Rahmenbedingungen
- ISO 14044 (2021) – Umweltmanagement – Ökobilanz. Anforderungen und Anleitungen
- EN 15643 (2021) – Nachhaltigkeit von Bauwerken. Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken
- EN 15978 (2011) – Nachhaltigkeit von Bauwerken. Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Bewertungsmethode
- BEG – Bundesförderung effizienter Gebäude
- KFN – Klimafreundlicher Neubau
- QNG – Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)

Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken - DIN EN 15643

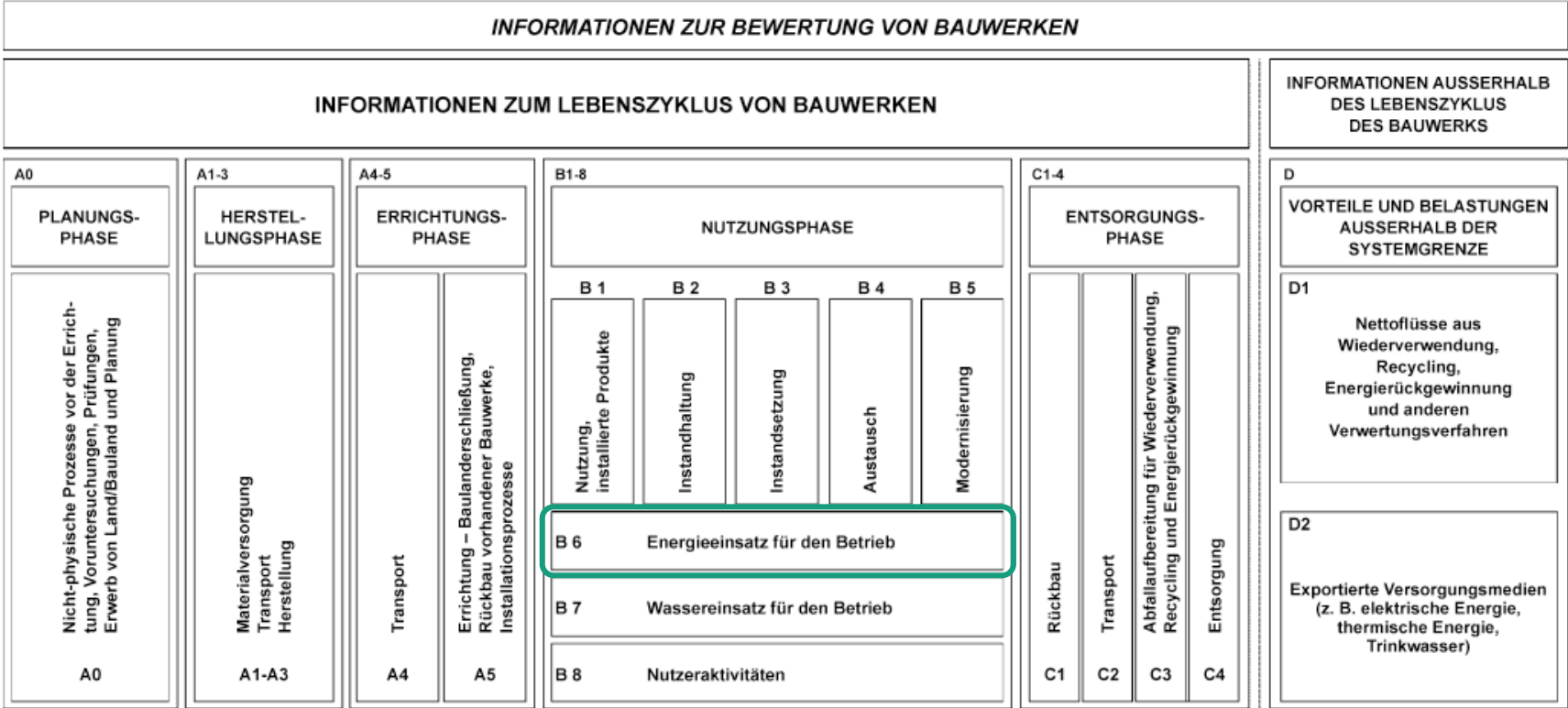


DIN EN 15643

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)

Lebenszyklusphasen (Module), die für Nachhaltigkeits-Bewertung eines Bauwerks gem. DIN EN 15643 angewendet werden



DIN EN 15643

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)



Klimafreundlicher Neubau und Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

- Seit Mitte 2023 obligatorisch für alle Förderanträge von Neubauten im Rahmen der Bundesförderung effizienter Gebäude (BEG)
- Energieberatende, die bereits bisher als etablierte Gruppe die Förderanträge erstellt haben, müssen nun auch eine (vereinfachte) LCA anwenden
- Zwei Förderstufen:
 - Stufe 1) Effizienzhaus mit LCA-Berechnung (ohne QNG-Zertifizierung)
 - Stufe 2) Effizienzhaus mit QNG-Zertifizierung
- Unterschiede in Fördersummen:
 - Stufe 1): Wohngebäude bis zu 100.000€ pro Wohneinheit // Nichtwohngebäude: 2.000€/m², max. 10 Mio. € pro Vorhaben
 - Stufe 2): Wohngebäude bis zu 150.000€ pro Wohneinheit // Nichtwohngebäude: 3.000€/m², max. 15 Mio. € pro Vorhaben

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)



Betrachtete Lebenszyklusphasen (Module) gemäß QNG

Lebenszyklusphasen	Herstellung			Errichtung	Betrieb und Nutzung							Rückbau, Abfallbehandlung und Entsorgung			Vorteile & Belastungen außerhalb Systemgrenze									
Modulgruppen	A 1-3			A 4-5		B 1-7							C 1-4			D								
	Rohstoffbeschaffung			Transport	Produktion	Transport	Errichtung / Einbau		Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung/Reparaturen		Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb		Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung		Entsorgung	Recyclingpotenzial Effekte exportierter Energie	
Module	A1	A2	A3				A5	B1			B2	B3			B4	B5				B6	B7		C1	C2

Tabelle 2: Darstellung der Lebenszyklusphasen gemäß DIN EN 15643: 2021-12

Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude, Anhang 3.1.1 (2023)

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)



Auszug der Datengrundlage „Rechenwerte“ für LCA nach QNG > Auszug aus ÖKOBAUDAT-Versionen

Teil A: Tabelle 1.1. Rechenwerte für Bauprodukte												
CODE	Datensatzbezeichner	Technische Angaben			Indikatorenwerte							
		Deklarie rte Einheit	Gewicht		PENRT – Primary Energy Non- Renewable Total				GWP – Global Warming Potential			
					PENRT A1-A3	PENRT C3	PENRT C4	PENRT D1	GWP A1-A3	GWP C3	GWP C4	GWP D1
				Rohdichte (kg/m³)					kg CO2- Äquival.	kg CO2- Äquival.	kg CO2- Äquival.	kg CO2- Äquival.
		kg			MJ	MJ	MJ	MJ				
1 Mineralische Materialien,												
1.1	Kies 2/32	kg	1	1850	0.03811957	0.111681	0	-0.027409	0.00285398	0.006726	0	-0.00205
1.2	Kies 2/32 getrocknet	kg	1	1850	0.54252315	0.121834	0	-0.027409	0.03325947	0.007337	0	-0.00205
1.3	Sand 0/2	kg	1	1350	0.03811957	0.111681	0	-0.027409	0.00285398	0.006726	0	-0.00205
1.4	Sand 0/2 getrocknet	kg	1	1350	0.54252315	0.121834	0	-0.027409	0.03325947	0.007337	0	-0.00205
1.5	Brechsand 0/2	kg	1	1320	0.18885965	0.111681	0	-0.027409	0.01469496	0.006726	0	-0.00205
1.6	Brechsand 0/2 (getrocknet)	kg	1	1350	0.51429231	0.111681	0	-0.027409	0.03427347	0.006726	0	-0.00205
1.7	Schotter 16/32	kg	1	1400	0.18885965	0.111681	0	-0.027409	0.01469496	0.006726	0	-0.00205
1.8	Schotter 16/32 (getrocknet)	kg	1	1400	0.51429231	0.111681	0	-0.027409	0.03427347	0.006726	0	-0.00205
1.9	Splitt 2/15	kg	1	1500	0.18885965	0.111681	0	-0.027409	0.01469496	0.006726	0	-0.00205
1.10	Splitt 2/15 (getrocknet)	kg	1	1300	0.51429231	0.111681	0	-0.027409	0.03427347	0.006726	0	-0.00205

Auszug aus Rechenwerttabelle für QNG (2023)

Je nach Zertifizierung weitere Indikatoren wie

- Ozonabbaupotenzial
- Eutrophierungspotenzial
- Versauerungspotenzial
- Frischwasserverbrauch
- etc.

Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

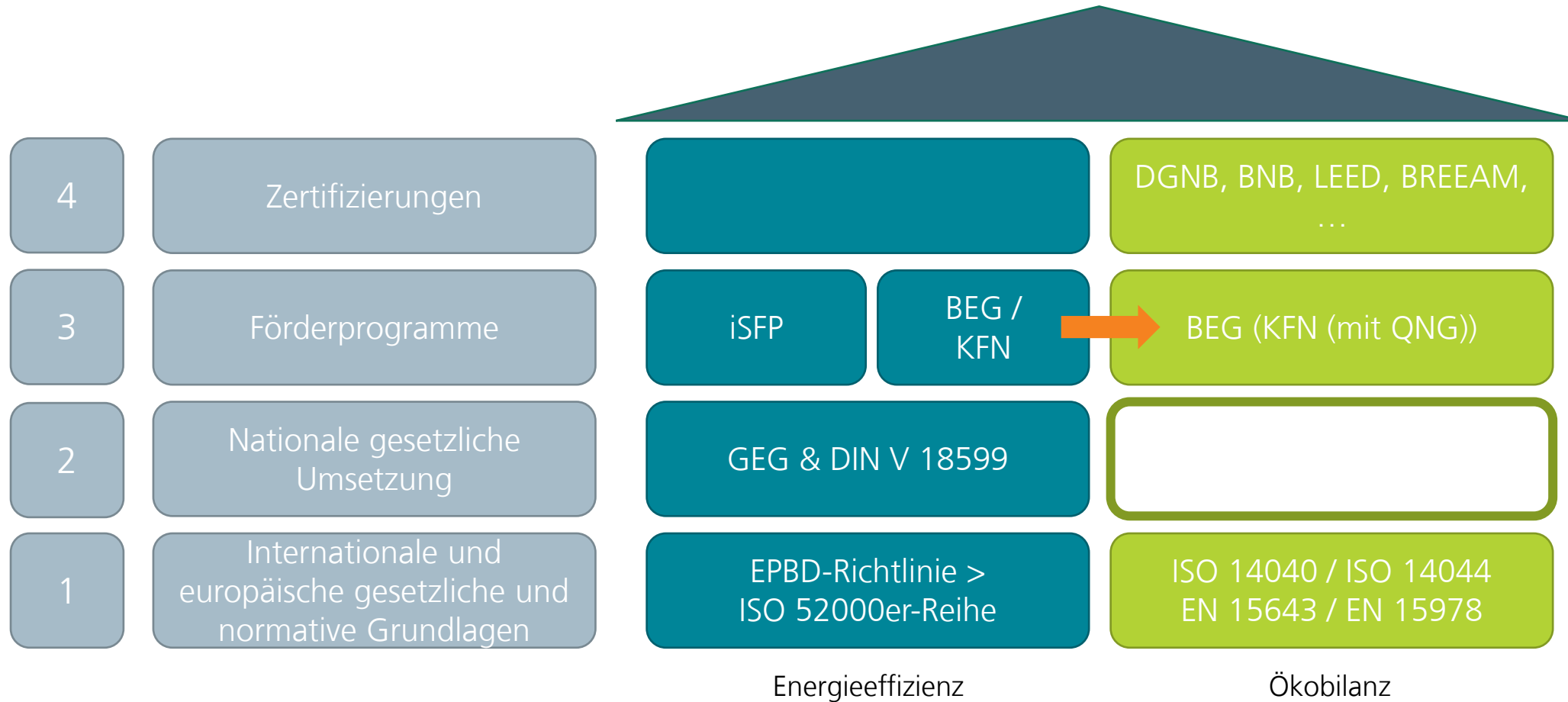
Ökobilanzierung – Life cycle assessment (LCA)

Zertifizierungen in Deutschland



Regulatorische Rahmenbedingungen und Grundlagen

Zusammenspiel energetische Bewertung und LCA in Förderungen



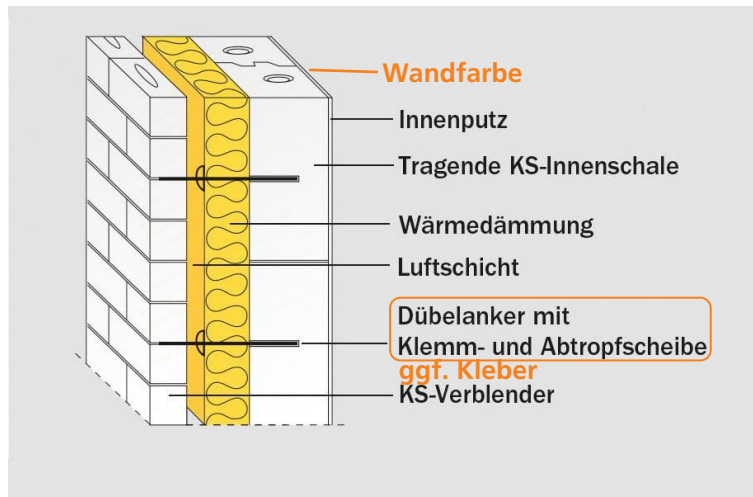
03 Fachliche Herausforderungen für Energieberatende

Fachliche Herausforderungen für Energieberatende

Bauteilerfassung

Zeitaufwändige Bauteilerfassung

- Bisher wurde nur die Gebäudehülle erfasst, nun sind auch alle Innenwände und -decken erforderlich
- Bisher wurden nur die wärmetechnisch relevanten Schichten erfasst, nun müssen auch Schichten wie Wandfarbe, Bodenbeläge, Kleber, etc. erfasst und erfragt werden



<https://www.baunetzwissen.de/mauerwerk/fachwissen/wand/zweischalige-wand-mit-luftschicht-und-waermedaemmung-162782>



<https://raumdesign-lotze.de/portfolio/aus-alt-wird-neu-moderne-betontreppe/>



<https://www.schaumstofflager.de/schaumstoff-blog/schallschutz-bei-aufzugsanlagen/>

Fachliche Herausforderungen für Energieberatende

Unterschiedliche Detaillierungsgrade hinsichtlich der Anlagentechnik

10 Haustechnik Großkomponenten	
10.1	Gas-Brennwertgerät < 20 kW (Wandgerät)
10.2	Gas-Brennwertgerät 120-400 kW (Standgerät)
10.3	Gas-Brennwertgerät 20-120 kW (Standgerät)
10.4	Gas-Niedertemperaturgerät 20-120 kW (Standgerät)
10.5	Hackschnitzelkessel < 20 kW
10.6	Hackschnitzelkessel 120 - 400 kW
10.7	Hackschnitzelkessel 20 - 120 kW
10.8	Öl-Brennwertgerät < 20 kW (Wandgerät)
10.9	Öl-Brennwertgerät 120-400 kW (Standgerät)
10.10	Öl-Brennwertgerät 20-120 kW (Standgerät)
10.11	Öl-Niedertemperaturgerät 20-120 kW (Standgerät)
10.12	Pelletkessel < 20 kW
10.13	Pelletkessel 20-120 kW
10.23	Solaranlage Flachkollektor
10.24	Solaranlage Vakuumröhrenkollektor
10.25	Stromwärmepumpe (Luft-Wasser) 10 kW
10.26	Stromwärmepumpe (Luft-Wasser) 14kW
10.27	Stromwärmepumpe (Luft-Wasser) 7kW
10.28	Stromwärmepumpe (Sole-Wasser, Erdkollektor) 10 kW
10.29	Stromwärmepumpe (Sole-Wasser, Erdkollektor) 20 kW
10.30	Stromwärmepumpe (Sole-Wasser, Erdkollektor) 70 kW
10.31	Stromwärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 10 kW
10.32	Stromwärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 20 kW
10.33	Stromwärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 70 kW
10.34	Stromwärmepumpe (Wasser-Wasser) 10 kW
10.35	Stromwärmepumpe (Wasser-Wasser) 20 kW
10.36	Stromwärmepumpe (Wasser-Wasser) 70 kW
10.37	Gaswärmepumpe (Luft) 20-70 kW
10.38	Übergabestation Fernwärme

Auszug aus Rechenwerttabelle für QNG (2023)

Anlagentechnik

- In der DIN V 18599 wird Anlagentechnik sehr umfassend dargestellt, um die energetische Bewertung durchzuführen (einzelne Normenteile je Gewerk)
- Es mangelt noch an Datensätzen für die LCA: z.B. Luft-Wasser-Wärmepumpe mit max. 14 kW Leistung vorhanden > Zuordnung oftmals schwierig
- Es werden nur die Erzeuger „genauer“ mit Datensätzen betrachtet, für die anderen TGA-Komponenten wie Verteilleitungen, Übergaben oder Speicher ist nur ein pauschaler Sockelbetrag (abhängig von der Nettogrundfläche und dem Verhältnis Primärenergiebedarf des IST-Gebäudes zu dem des Referenzgebäudes)

Fachliche Herausforderungen für Energieberatende

Unterschiedliche Ansätze der energetischen Bewertung

Zusätzliche Strombedarfe

- Videoüberwachte Fläche
- Bewertung von Schwachstromanlagen
- Nutzerstrom

Unterschiedliche Ansätze in der Bewertung des PV-Ertrags

- Berücksichtigung Batterie vs. keine Berücksichtigung der Batterie
- Lokale Klima-Randbedingungen vs. Referenzklima
- Berechnung Peakleistung über Dachaufsichtsfläche vs. Berechnung über direkte Eingabe von Peakleistung oder Fläche des PV-Moduls unter Berücksichtigung weiterer Spezifikationen der PV-Anlage

Fachliche Herausforderungen für Energieberatende

Unterschiedliche Ansätze der energetischen Bewertung

Unterschiedliche Bewertung der Nutzungsprofile für den Anforderungswert von NWG

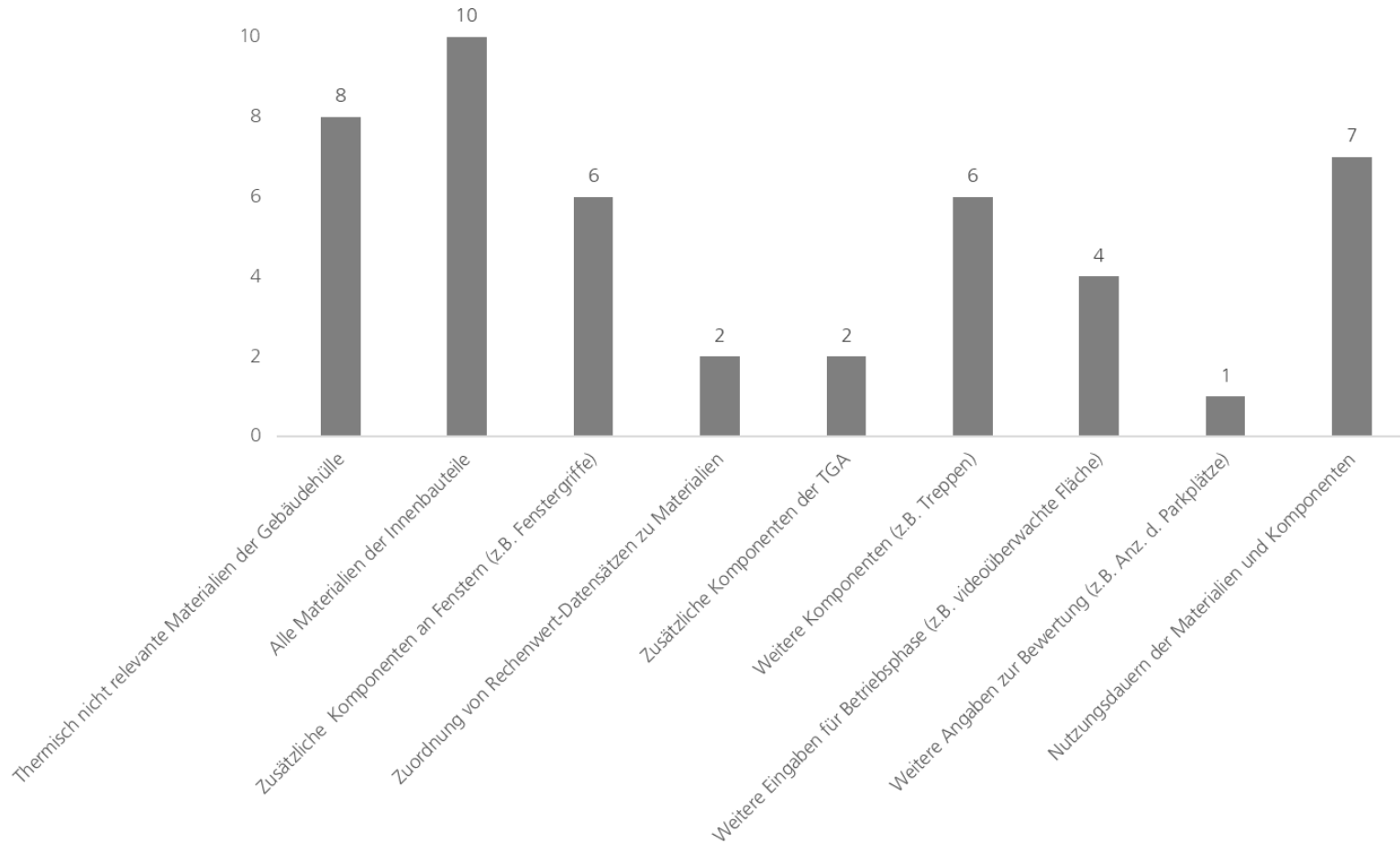
	01 Einzelbüro	02 Gruppenbüro	03 Großraumbüro	04 Sitzung	08 Klassenzimmer	09 Hörsaal	12 Kantine	13 Restaurant	14 Küche	15 Küche Lager, Vorbereit.	16 WC, Sanitär	17 sonstige Aufenthaltsräume	18 Nebenflächen	19 Verkehrsfläche	20 Lager, Technik	21 Rechenzentrum	27 Ausstellung	28 Bibliothek Lesesaal	29 Bibliothek, Freihand	30 Bibliothek Magazin	31 Sporthalle	35 Fitnessraum
Wärme	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Beleuchtung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kälte						x										x						x
Lüftung	50% mech. Luftwechsel	50% mech. Luftwechsel	50% mech. Luftwechsel	x	50% mech. Luftwechsel	x	x	x	x	x	x					x					x	x
Entfeuchten																						
Befeuchten																						

Tabelle 12: Modifizierte Profile für Nutzungszonen Nichtwohngebäude

Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude, Anhang 3.2.1.2 (2023)

Fachliche Herausforderungen für Energieberater

Übersicht, was am aufwändigsten wahrgenommen wird



Qualitative Umfrage Ende 2023; Wie viele von 10 Planern empfinden den Zusatzaufwand als besonders aufwändig

04 Lösungsansätze & aktuelle Forschungsprojekte

Lösungsansätze

Verständnis und Synergien schaffen

- Methodische Lücken bearbeiten
- Synergien und gemeinsames Verständnis schaffen
- Softwaretools verbessern
- Verwendung digitaler Modelle
- Schulungen

Unsere Softwareprodukte

Alles aus einer Software

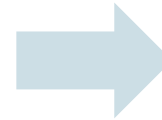
Energieberater-Software

IBP:18599

Fraunhofer IBP



LCA-
Modul



Förderantrag Stufe 1

- + Bauteileingabe nur einmal erforderlich
- + Qualitätsgesicherte Datenverwendung
- + Berechnung des Energiebedarfs im Betrieb qualitätsgesichert an LCA (mit erläuterten Unterschieden)
- + Gewohnte Software-Umgebung

Unsere Softwareprodukte

Zwei separate Softwareprodukte

Energieberater-Software

IBP:18599

Fraunhofer IBP



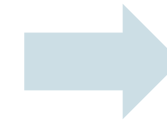
LCA-Software

GENERIS®

Fraunhofer IBP



- + Durch eine Schnittstelle soll auch hier die Datenübertragung qualitätsgesichert stattfinden
- + Bauteile können wiederverwendet werden, müssen in LCA-Software aber angereichert werden
- + Expertisen beider Bereiche werden ausgeschöpft



Aktuell in Entwicklung für
Zertifizierung und
Förderantrag Stufe 2

Aktuelle Forschungsprojekte

Unsere Softwareprodukte

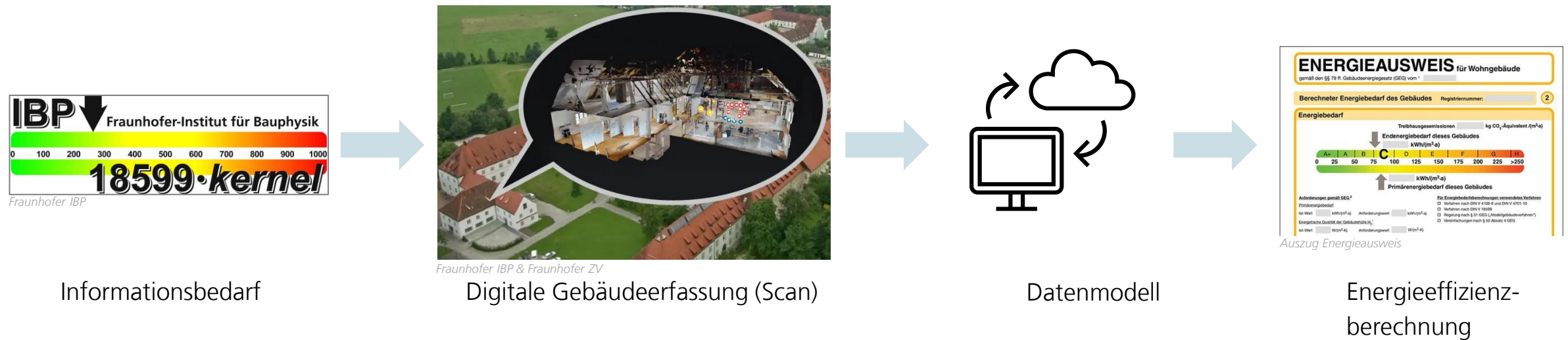
Fortlaufende Anpassungen der Software an gesetzliche Rahmenbedingungen

- Validierungen der Software in Gütegemeinschaften Gebäudebilanzierungen e.V.
- Validierung von Neuauflagen der DIN V 18599 und QNG innerhalb dieser Gütegemeinschaft
- Entwicklung von Prüfschnittstellen und Datenaustauschformaten
 - Qualitätsgesicherte Datenein- und -ausgabe
 - Prüflogiken entwickeln

Aktuelle Forschungsprojekte

ReadE (ESG-Readiness-Network)

Digitaler durchgängiger Fluss

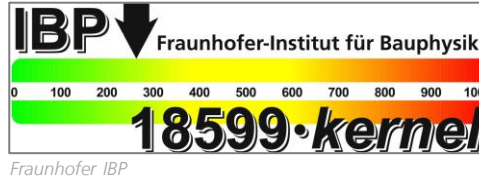


Das Projekt ist im Rahmen der EU-Taxonomie eingebettet, sodass aufbauend auf der Energieeffizienz-Bewertung noch eine Buchstabenklassifizierung als Bewertung der Immobilien erfolgt. Diese Klassen müssen Banken für Immobilien in ihren Portfolien angeben, die einen Kredit oder eine Hypothek besichern.

Aktuelle Forschungsprojekte

ReadE (ESG-Readiness-Network)

Datenbedarf > Reduktionspotenziale?



- Untersuchung der Mindestparametrierung
- Anreicherung mit Standardwerten und Werten aus weiteren Normen sowie Fachberichten zu typischen Systemen (Baualters-abhängig)
- Reduktion bei der Bauteileingabe und starke Reduktion bei der Anlagentechnik
- Vorparametrierter Rechenkern `ibp18599kernelSimplified`

Aktuelle Forschungsprojekte

Digitales Datenmodell



Fraunhofer IBP & Fraunhofer ZV

Scan

- Punktwolken-Modell > Geometrie
- Scan-Methoden zur Erkennung von U-Werten, ggf. Rückschluss auf Materialitäten

Anreicherung

- BIM-Modell > Geometrie + Alphanumerische Informationen
- Anschluss zur LCA, Betrieb (FM), etc. möglich

➤ Weitere Forschungsprojekte:

- BIM für Bundesbauten
- ACCORD – Digitale Genehmigungsverfahren inkl. Compliance Check

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt

M.Eng. Muriel Lauschke
Abteilung Energieeffizienz und Raumklima
Gruppe Planungswerkzeuge
Tel. +49 711 970-3370
muriel.lauschke@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ibp.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Sommerkolloquium Bauphysik 2024

Wärmedämmstoffe im Baubereich: Überblick und aktuelle Entwicklungen

Dr. Jochen Manara
ZAE Bayern

Für den Gebäudebereich stehen verschiedene Wärmedämmstoffe zur Verfügung. Dieser Vortrag soll einen Überblick über die eingesetzten Materialien und deren Eigenschaften verschaffen.

Neben dem Stand der Technik werden auch aktuelle Entwicklungen vorgestellt.

Wärmedämmstoffe im Baubereich: Überblick und aktuelle Entwicklungen

Dr. Jochen Manara

Wärmedämmstoffe

- Wärmetransportmechanismen
- Dämmstoffgruppen
- Eigenschaften

Aktuelle Entwicklungen

- Optimierung von Vakuumisulationspaneelen
- Aerogele
- Multilagenisolationen

Wärmedurchgangskoeffizient U einer homogenen Wand bestehend aus einer Schicht:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_a} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad \text{mit} \quad \lambda = \Lambda \cdot d$$

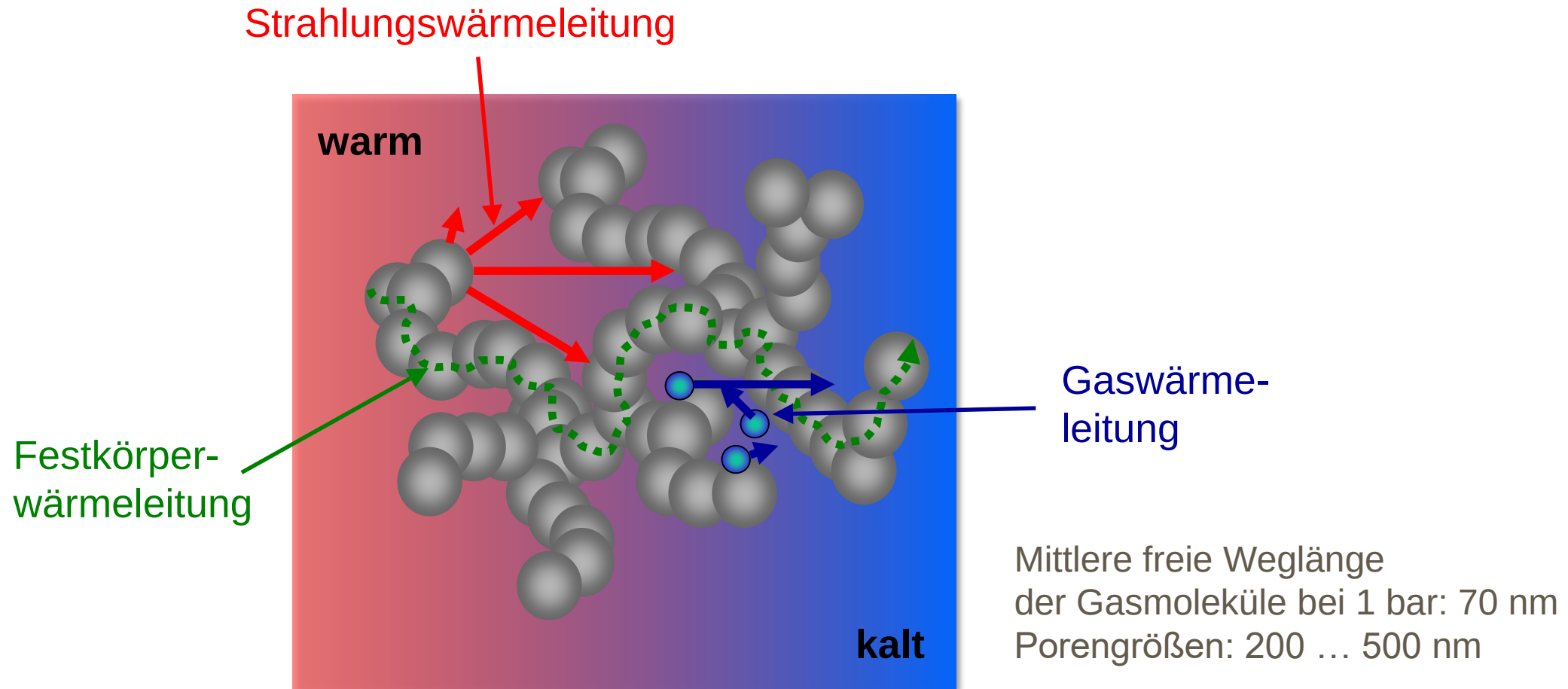
- α_i und α_a : Wärmeübergangskoeffizienten innen und außen
- Λ : Wärmedurchlasskoeffizient
- λ : Wärmeleitfähigkeit
- d : Schichtdicke

Mechanismen der Wärmeleitung

$$\lambda = \lambda_{\text{Festkörper}} + \lambda_{\text{Gas}} + \lambda_{\text{Strahlung}} + \lambda_{\text{Kopplung}}$$

λ :	Wärmeleitfähigkeit
$\lambda_{\text{Festkörper}}$:	Festkörperwärmeleitung
λ_{Gas} :	Gaswärmeleitung
$\lambda_{\text{Strahlung}}$:	Strahlungswärmestrahlung
$\lambda_{\text{Kopplungsterme}}$:	Kopplungsterme

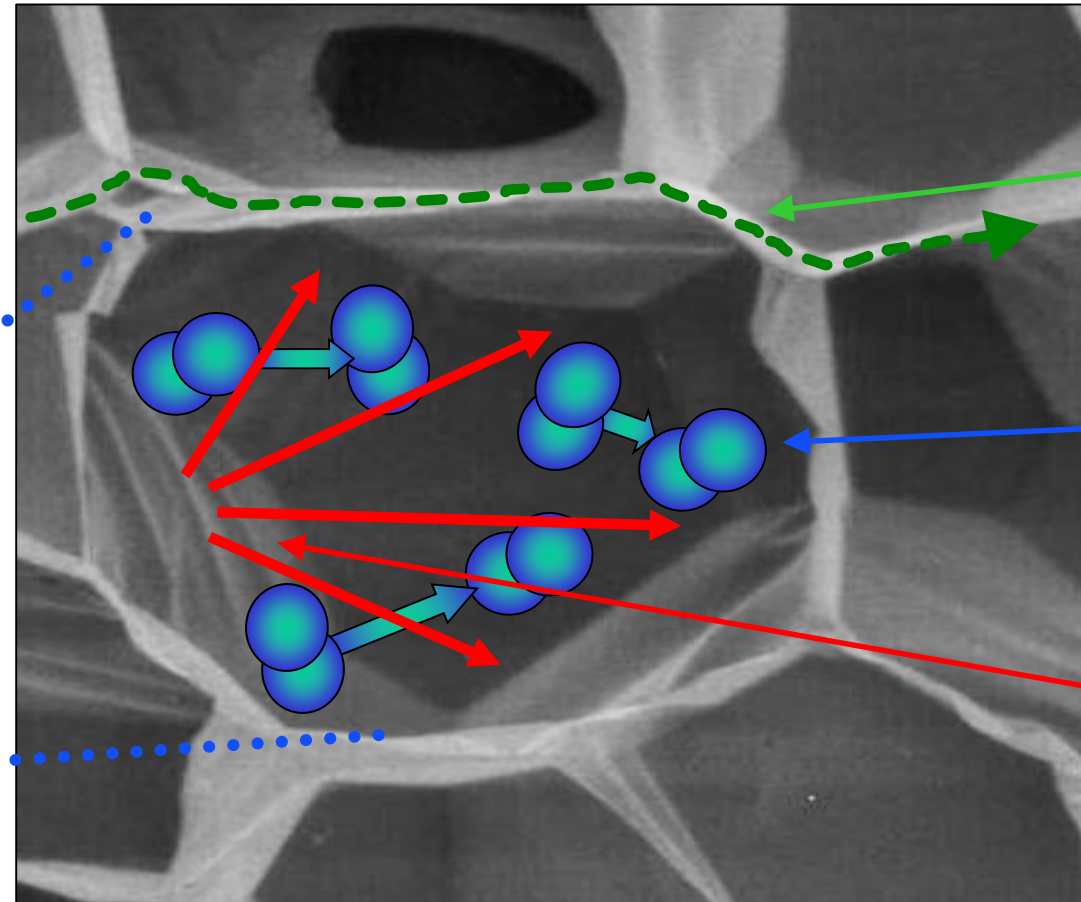
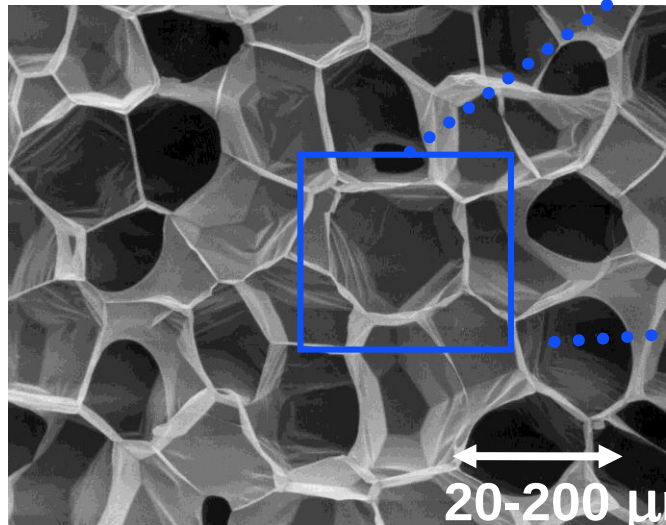
Wärmeleitung in Aerogelen



$$\lambda = \lambda_{\text{Festkörper}} + \lambda_{\text{Gas}} + \lambda_{\text{Strahlung}} + \lambda_{\text{Kopplung}}$$

Wärmeleitung in Schäumen

Mittlere freie Weglänge
der Gasmoleküle bei 1 bar: 70 nm
Zellgrößen: 20 ... 200 μm

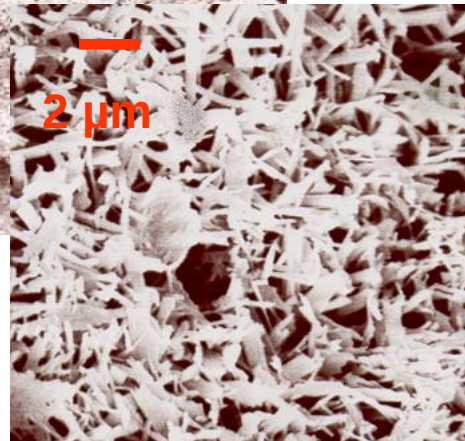
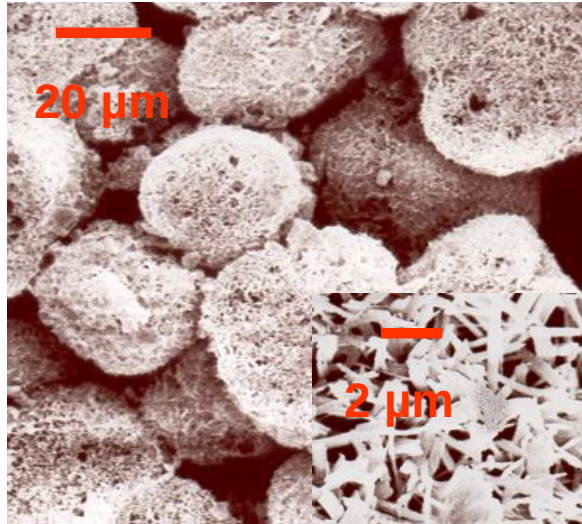


Festkörper-
wärmeleitung

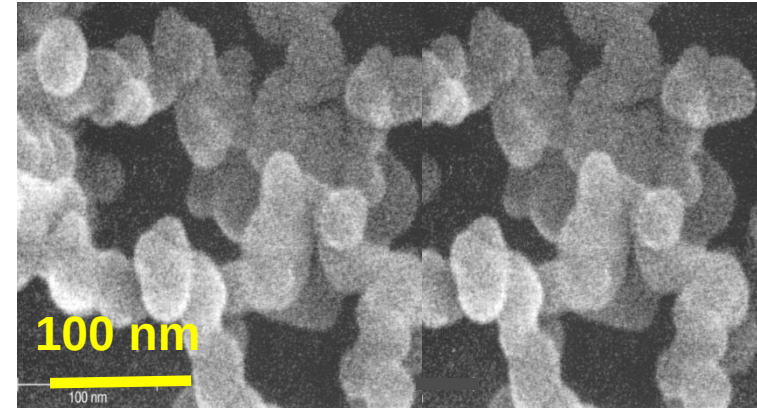
Gaswärme-
leitung

Strahlungs-
wärmeleitung

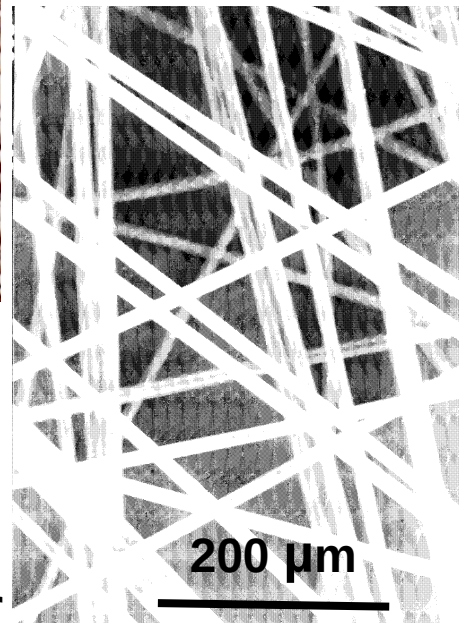
$$\lambda = \lambda_{\text{Festkörper}} + \lambda_{\text{Gas}} + \lambda_{\text{Strahlung}} + \lambda_{\text{Kopplung}}$$



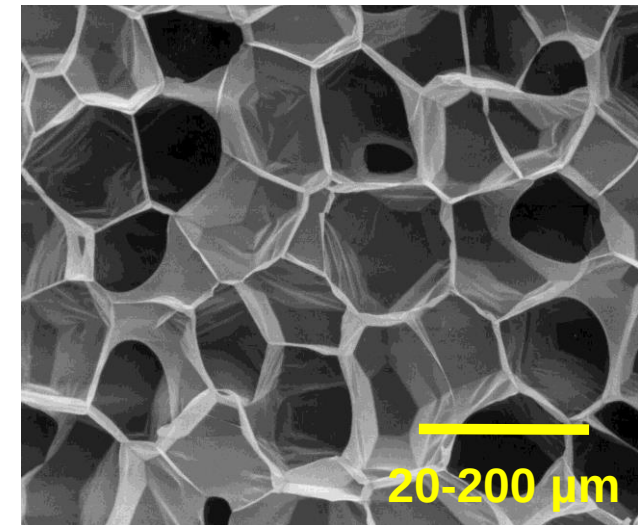
Typisches CaSiO_3 -Gefüge



Pyrogene
Kieselsäure



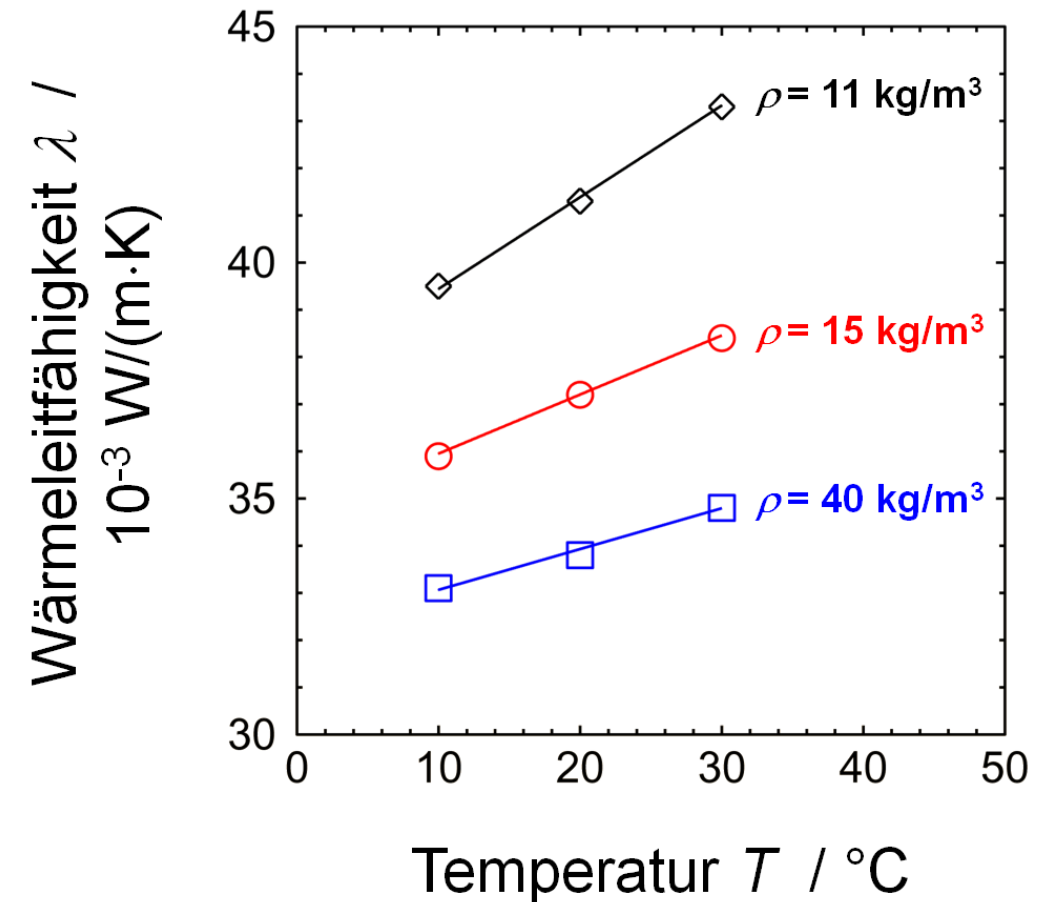
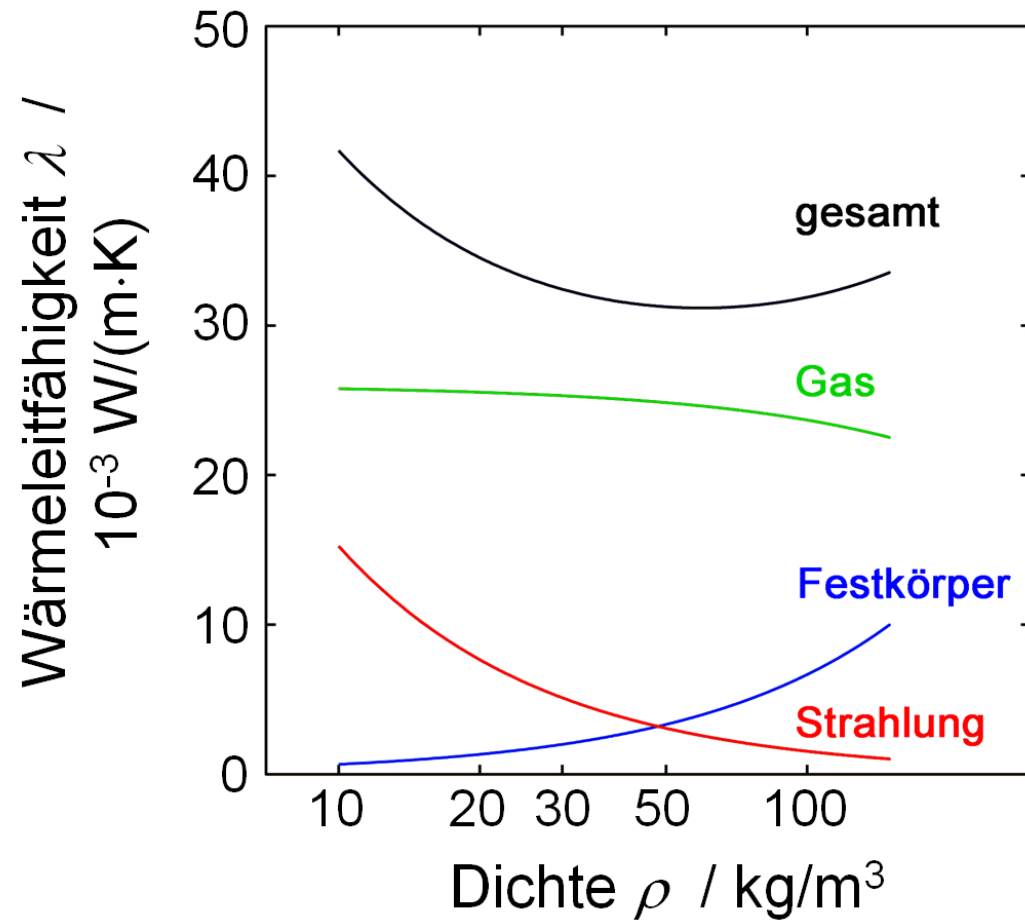
Spinglasfaser

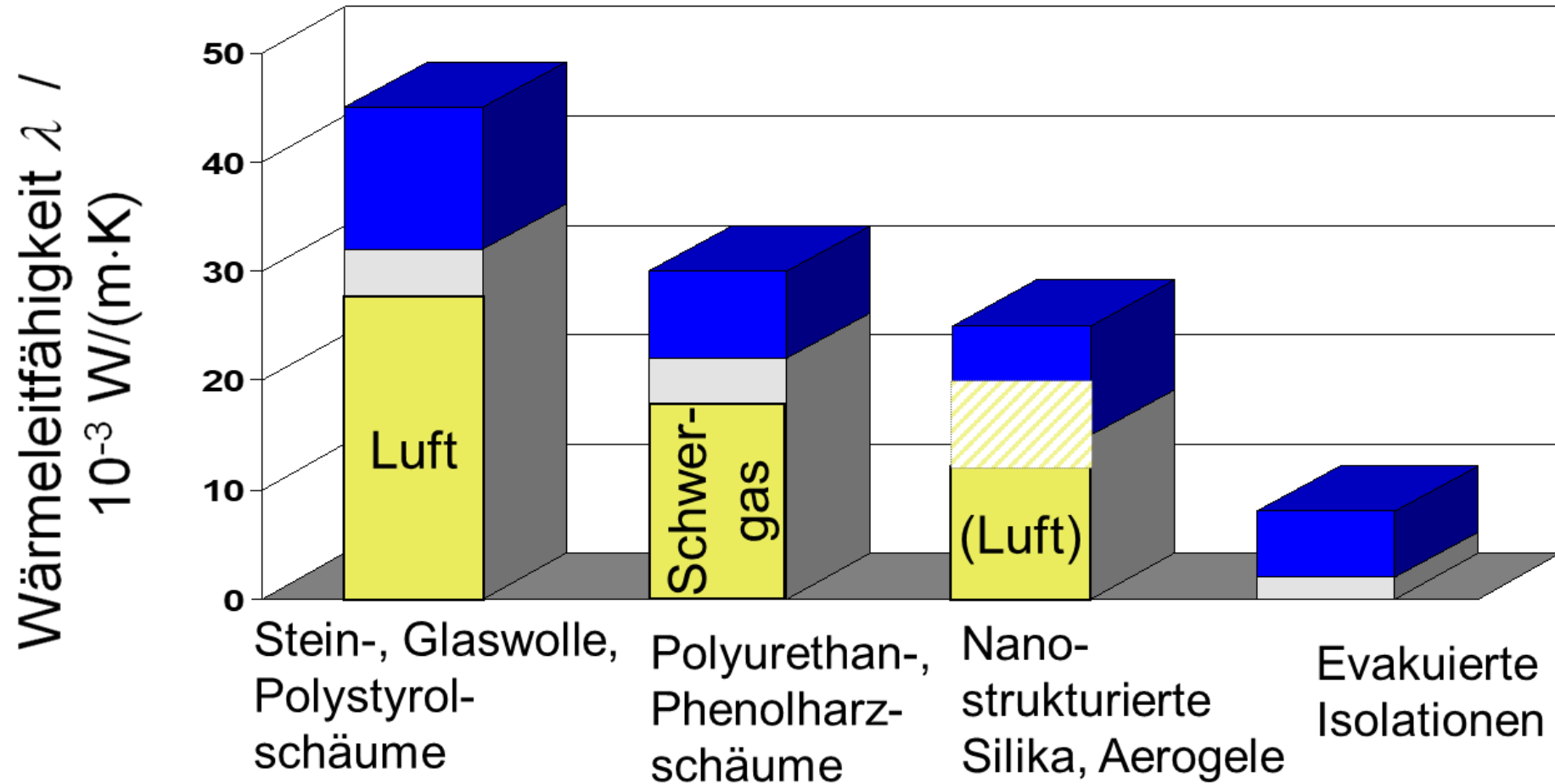


PU-Schaum

Wärmetransportmechanismen

Typische Wärmeleitfähigkeit von Schäumen





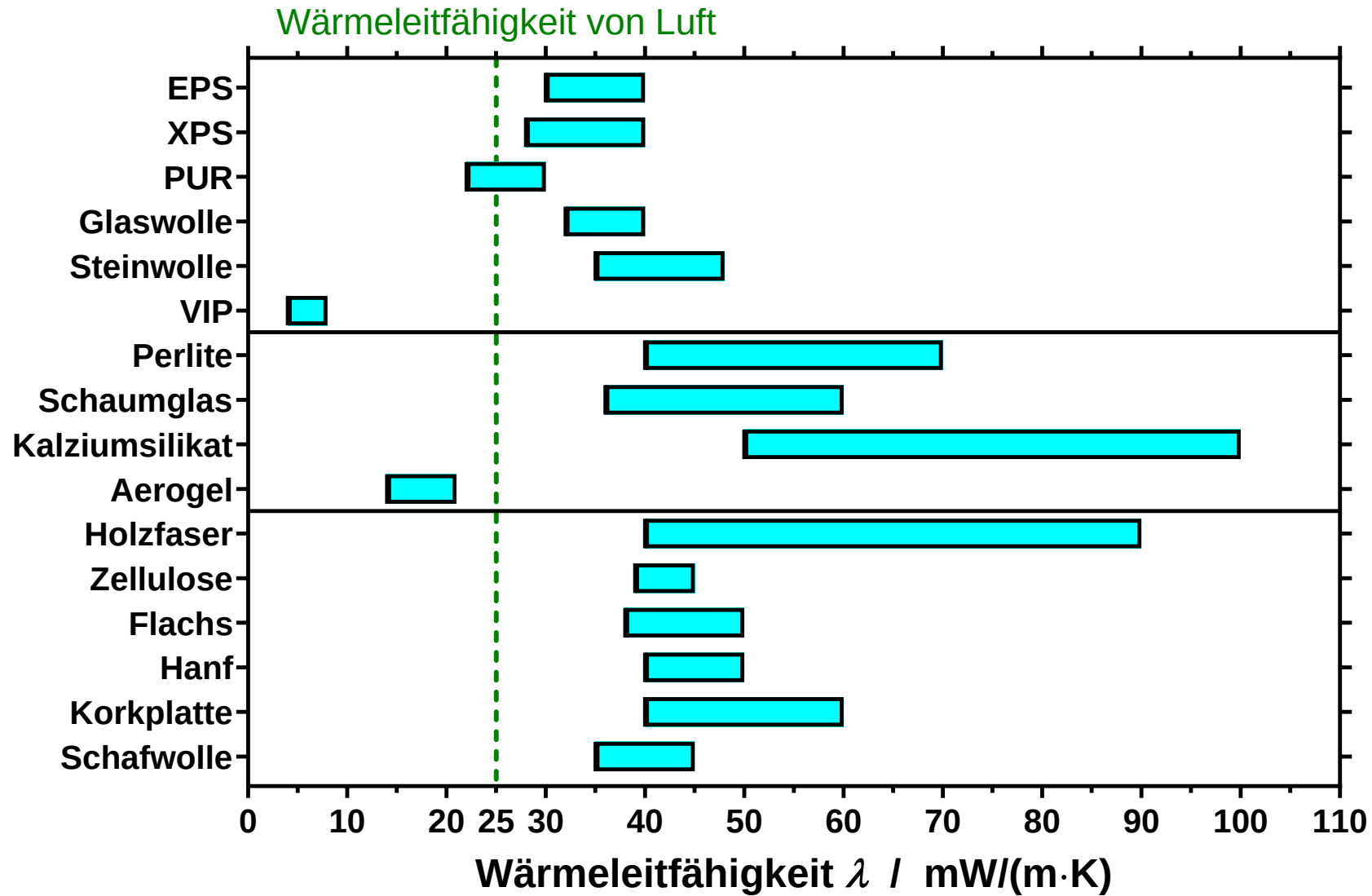
organisch		anorganisch	
natürliche Rohstoffe	synthetische Rohstoffe	natürliche Rohstoffe	synthetische Rohstoffe
Holzfaser	EPS (expandiertes PS)	Perlite	Mineralfaser
Zellulose	XPS (extrudiertes PS)	Blähton	Blähglas
Flachs	PUR (Polyurethan)	Naturbims	Mineralschaum
Hanf	organische Schäume		Glasschaum
Stroh	Polyesterfasern		Kalziumsilikat
Schafwolle	MLI (Multilagenisolation)		VIP (Vakuumpaneele)
Kork	organische Aerogele		Silica-Aerogele

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Wärmekapazität	Dampfdiffusionswiderstand	Baustoffklasse
	λ / mW/(m·K)	ρ / kg/m ³	c_p / J/(kg·K)	μ	-
EPS	30 - 40	15 - 30	1200 - 1500	20 - 100	B1, B2
XPS	28 - 40	25 - 50	1300 - 1700	80 - 300	B1, B2
PUR	22 - 30	30 - 100	1400 - 1500	30 - 200	B1, B2
Glaswolle	32 - 40	15 - 150	840 - 1000	1 - 2	A1, A2
Steinwolle	35 - 48	30 - 220	600 - 840	1 - 2	A1, A2, B1
VIP	4 - 8	150 - 210	800 - 1000	∞	B2

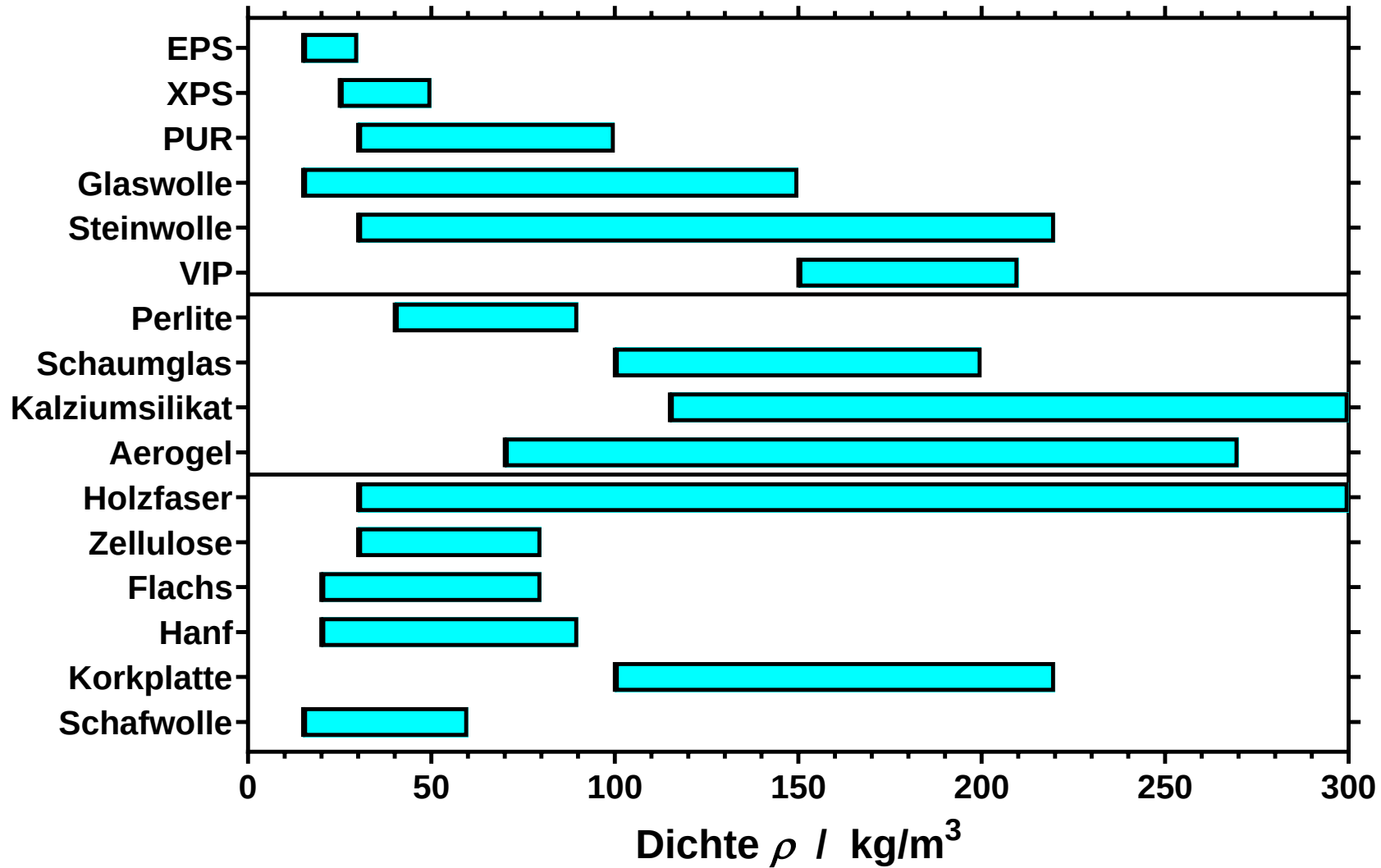
Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Dampf-diffusions-widerstand	Baustoff-klasse
	λ / mW/(m·K)	ρ / kg/m ³	μ	-
Perlite	40 - 70	40 - 90	3	A1, A2
Schaumglas	36 - 60	100 - 200	∞	A1
Kalziumsilikat	50 - 100	115 - 300	3 - 20	A1, A2
Aerogel	14 - 21	70 - 230	5 - 11	A1, A2, B1

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Dampf-diffusions-widerstand	Baustoff-klasse
	λ / mW/(m·K)	ρ / kg/m ³	μ	-
Holzfaser	40 - 90	30 - 300	2 - 5	B1, B2
Zellulose	39 - 45	30 - 80	1 - 2	B1, B2
Flachs	38 - 50	20 - 80	1 - 2	B2
Hanf	40 - 50	20 - 90	1 - 2	B2
Korkplatte	40 - 60	100 - 220	5 - 10	B2
Schafwolle	35 - 45	15 - 60	1 - 2	B2

Eigenschaften von Dämmstoffen

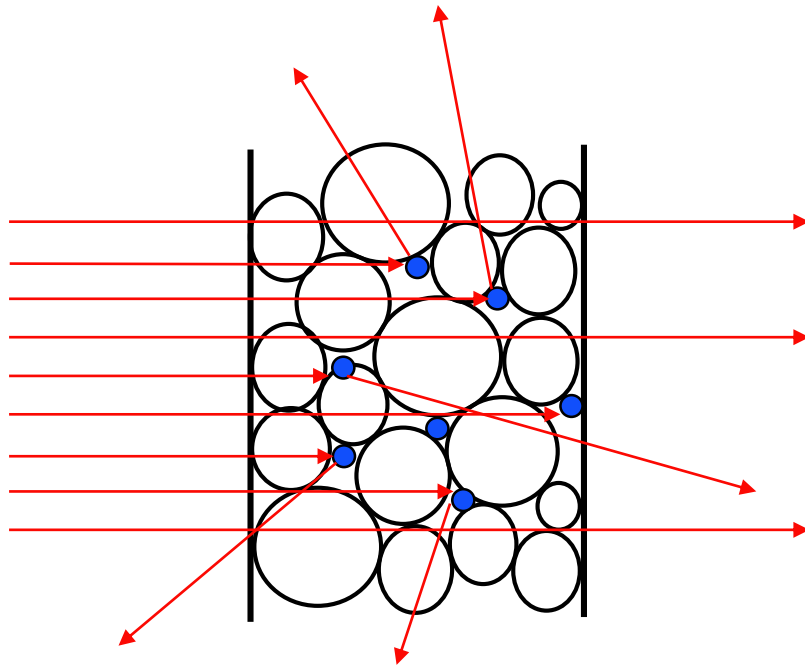


Eigenschaften von Dämmstoffen



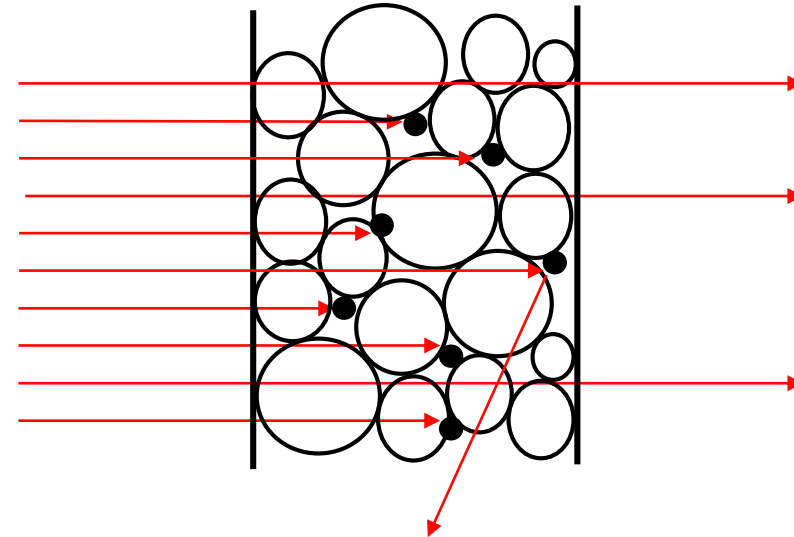
Verminderung der Strahlungswärmeleitung

Streuung



z.B. TiO_2 , Al

Absorption



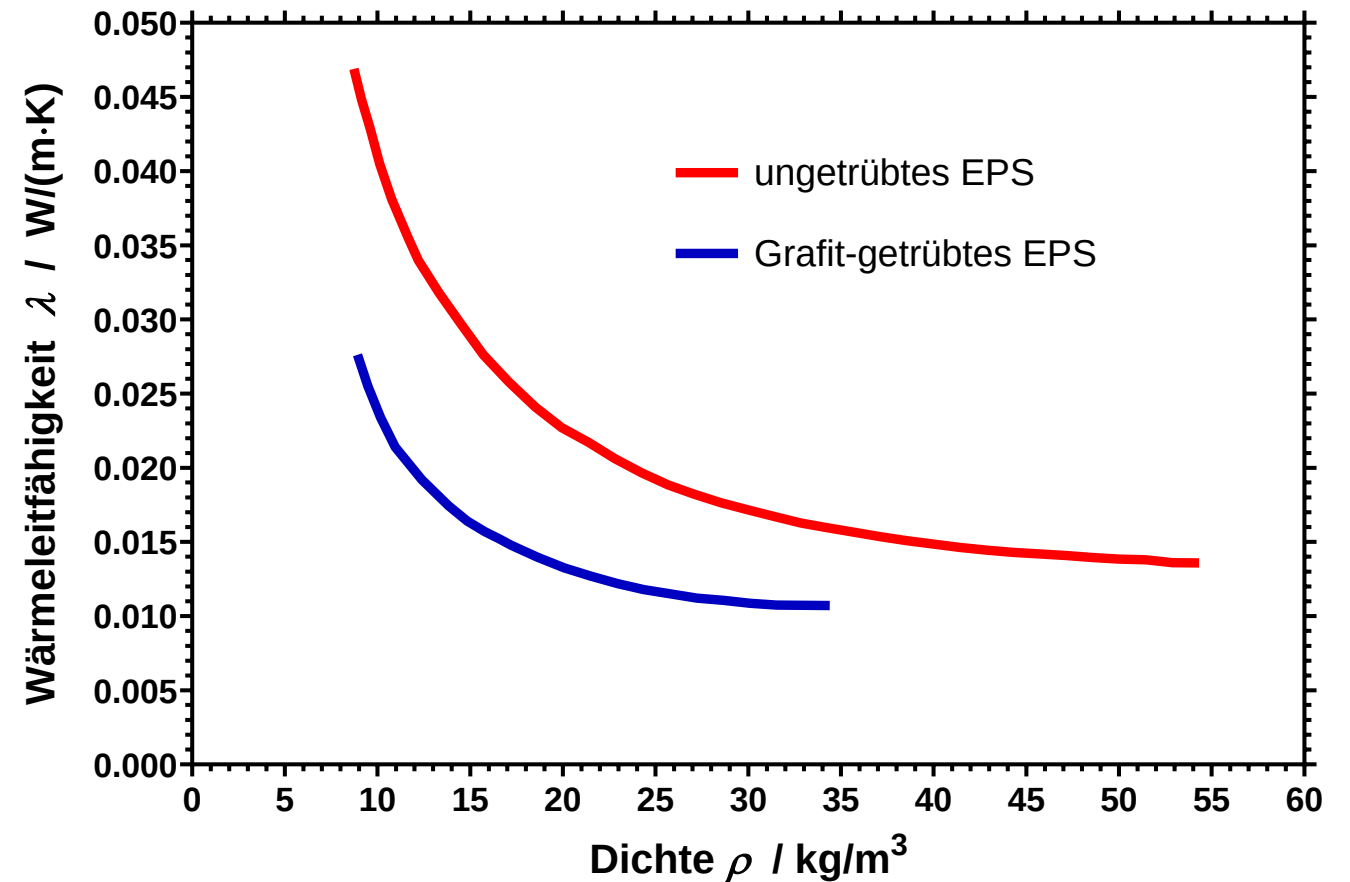
z.B. Ruß, Graphit

Verminderung der Strahlungswärmeleitung

Infrarot-Trübungsmittel



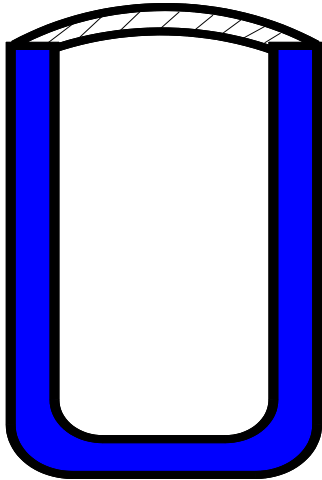
Wärmeleitfähigkeit von expandiertem Polystyrol (EPS)



Verminderung der Gaswärmeleitung

Vakuumdämmung

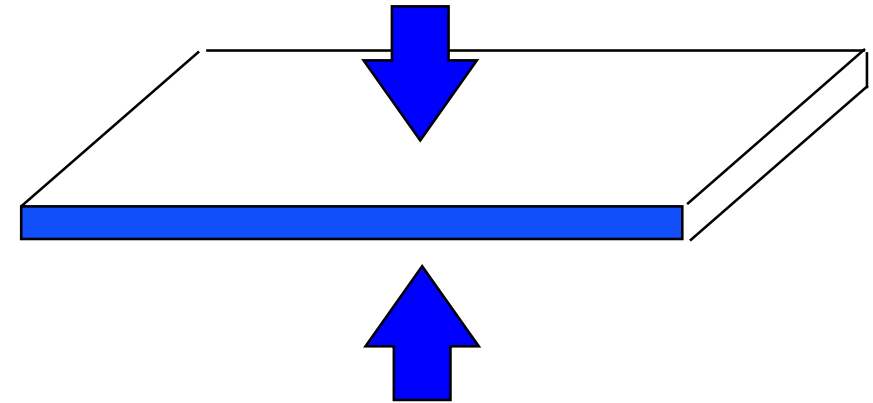
Thermoskanne



Vakuum und verspiegelte Wände

$$\lambda = 10^{-4} \text{ bis } 0,005 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

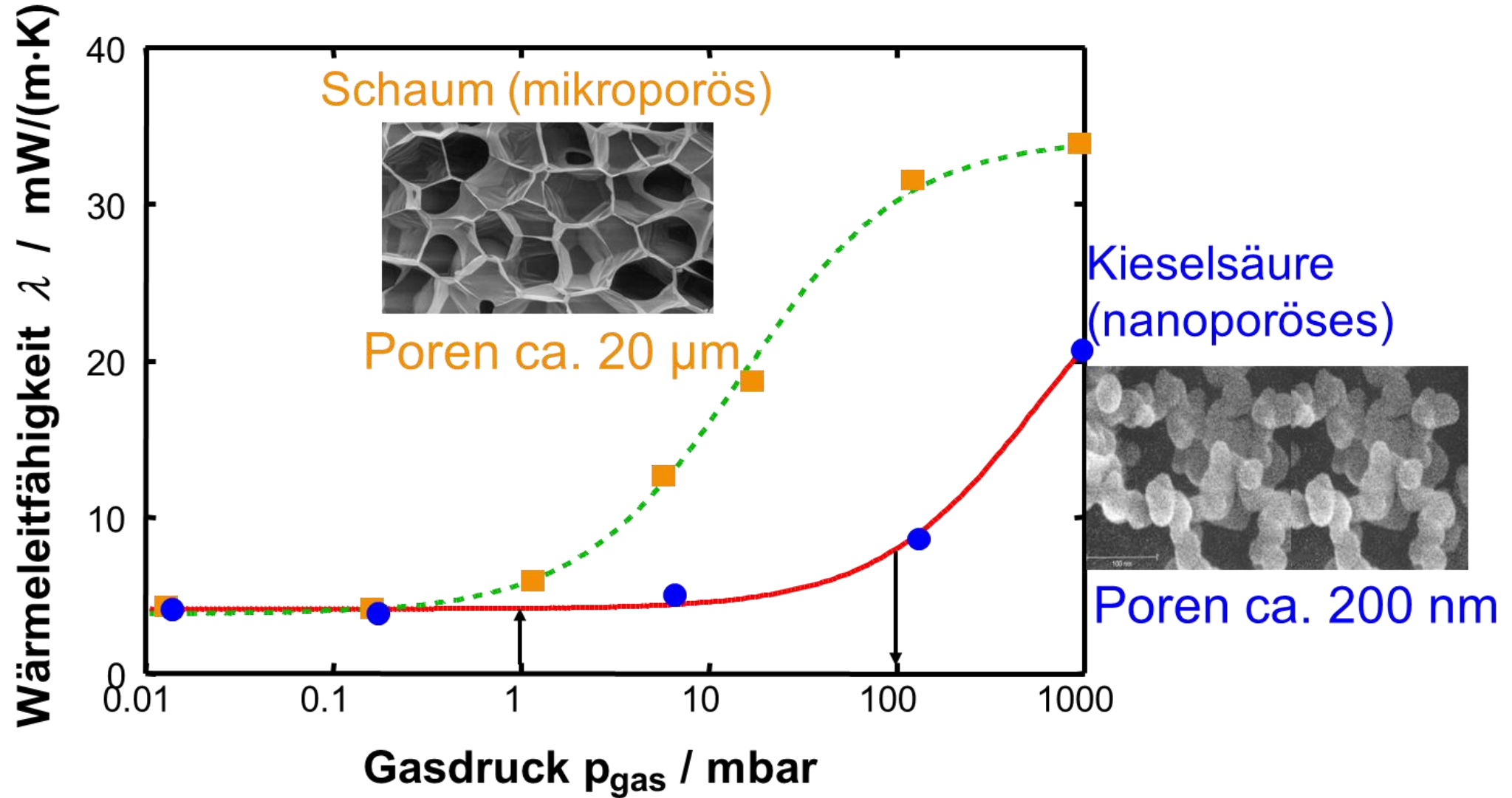
Vakuumisolationspaneel (VIP)



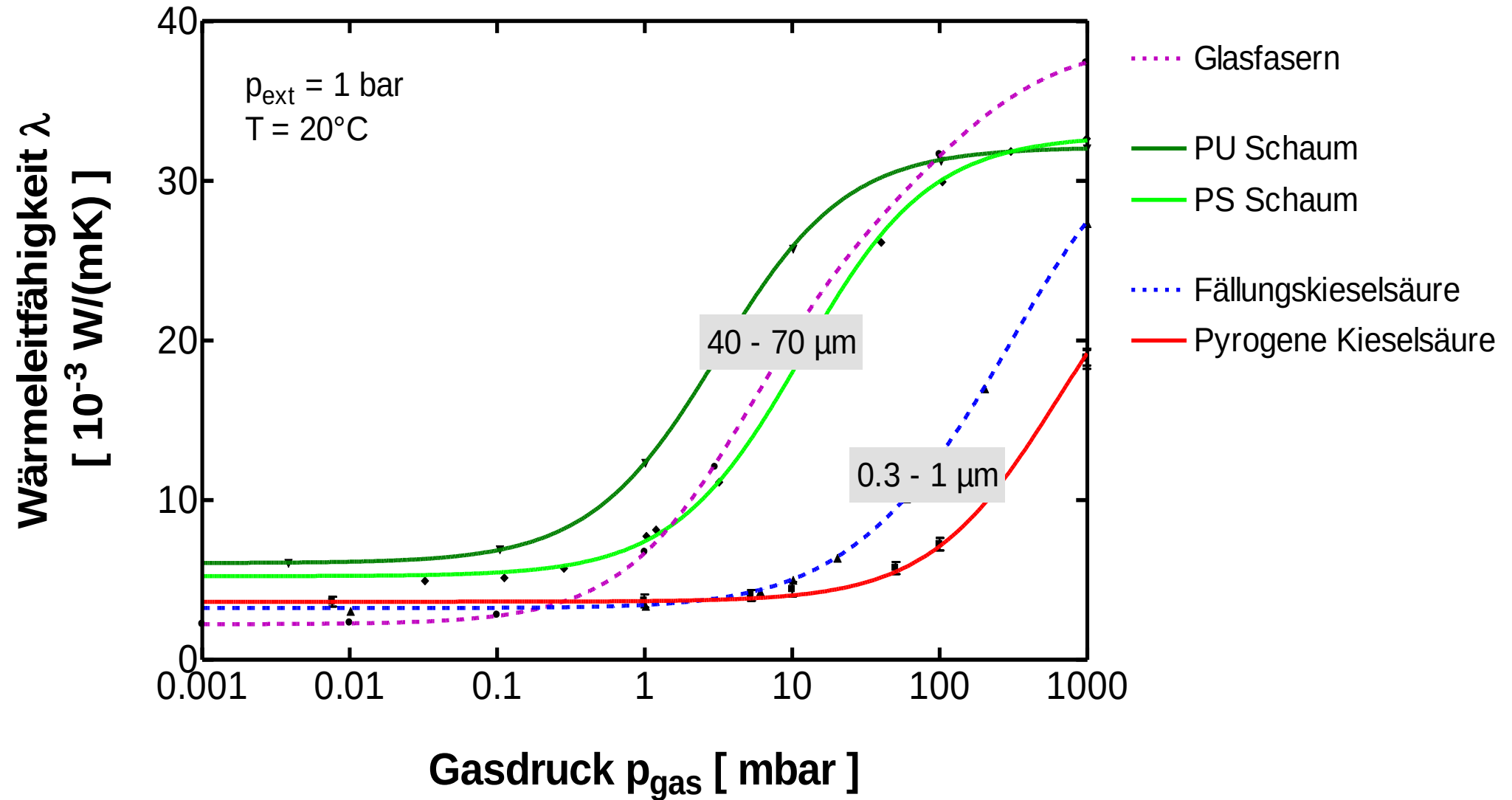
druckbelastbarer Dämmstoff

$$\lambda = 0,002 \text{ bis } 0,008 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Verminderung der Gaswärmeleitung

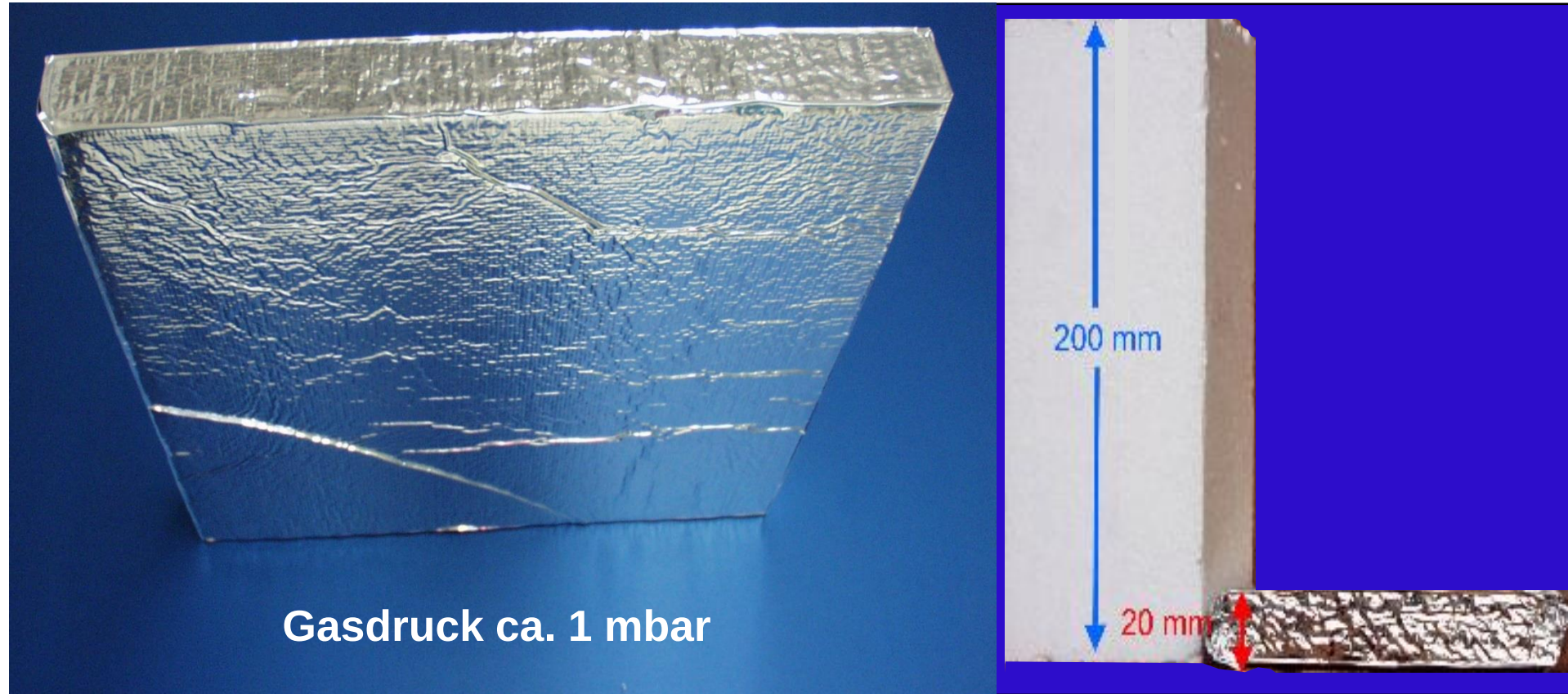


Verminderung der Gaswärmeleitung



Verminderung der Gaswärmeleitung

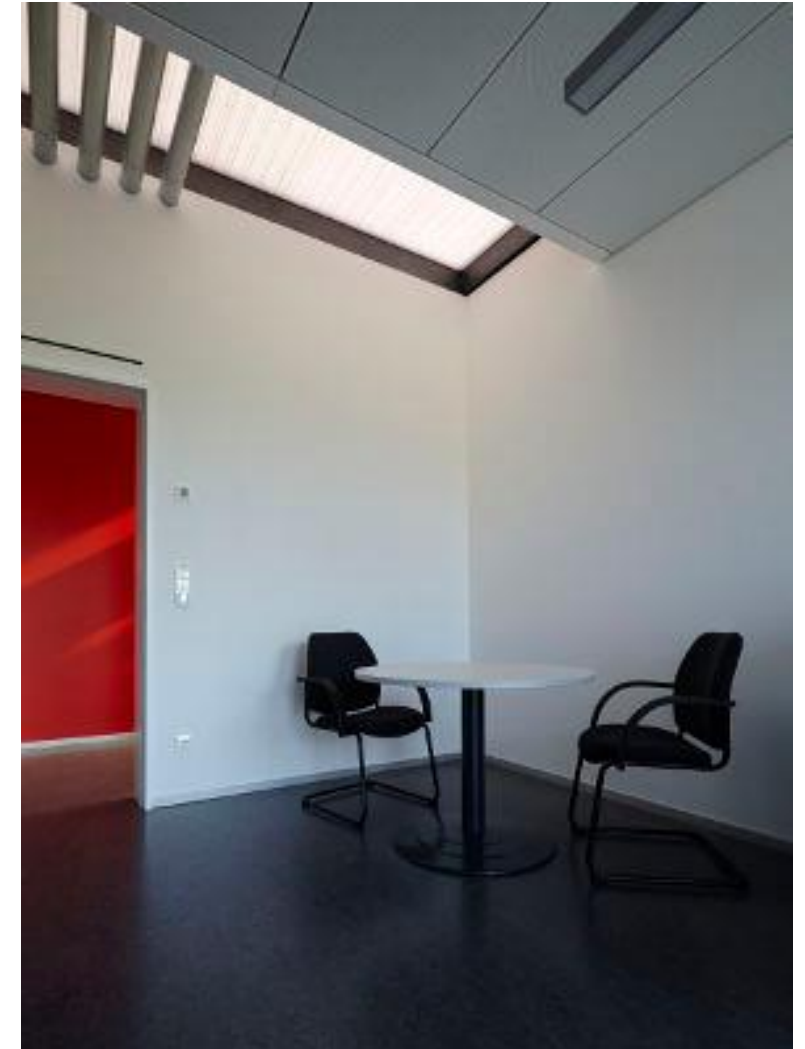
Vakuumisulationspaneel (VIP)



bei Druckanstiegsraten von 2 mbar/Jahr → Lebensdauer ca. 50 Jahre

Nanoporöse Dämmstoffe

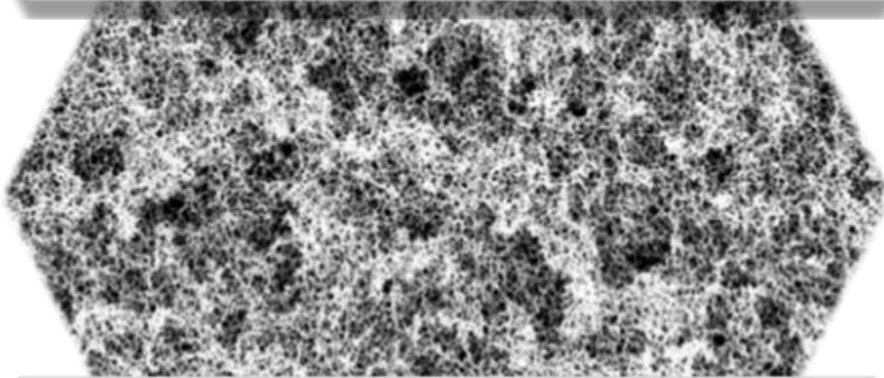
Aerogel



Nanoschäume

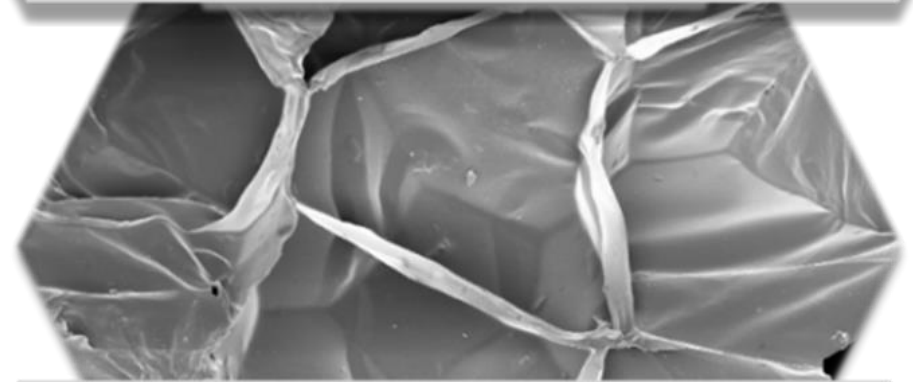
gleiche Vergrößerung

Nanoschaum



Zelldurchmesser ca. $0,1 \mu\text{m}$
Offenzellige Struktur

konventioneller Schaum



Zelldurchmesser $\geq 20 \mu\text{m}$
Geschlossenzellige Struktur

© Sumteq

Multilagenisolation (MLI)



Wärmetransportmechanismen

- Festkörperwärmeleitung
- Gaswärmeleitung
- Strahlungswärmeleitung

Optimierung von Dämmstoffen

- evakuierte Dämmungen (VIPs)
- nanoporöse Materialien (Aerogele, Nanoschäume, etc.)
- Infrarot-reflektierende Folienisolationen (MLIs))

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dr. Jochen Manara

Center for Applied Energy Research e.V.
Magdalene-Schoch-Straße 3
97074 Würzburg

T + 49 (0) 931 70564-346

F + 49 (0) 931 70564-600

jochen.manara@cae-zeroarbon.de

www.cae-zeroarbon.de