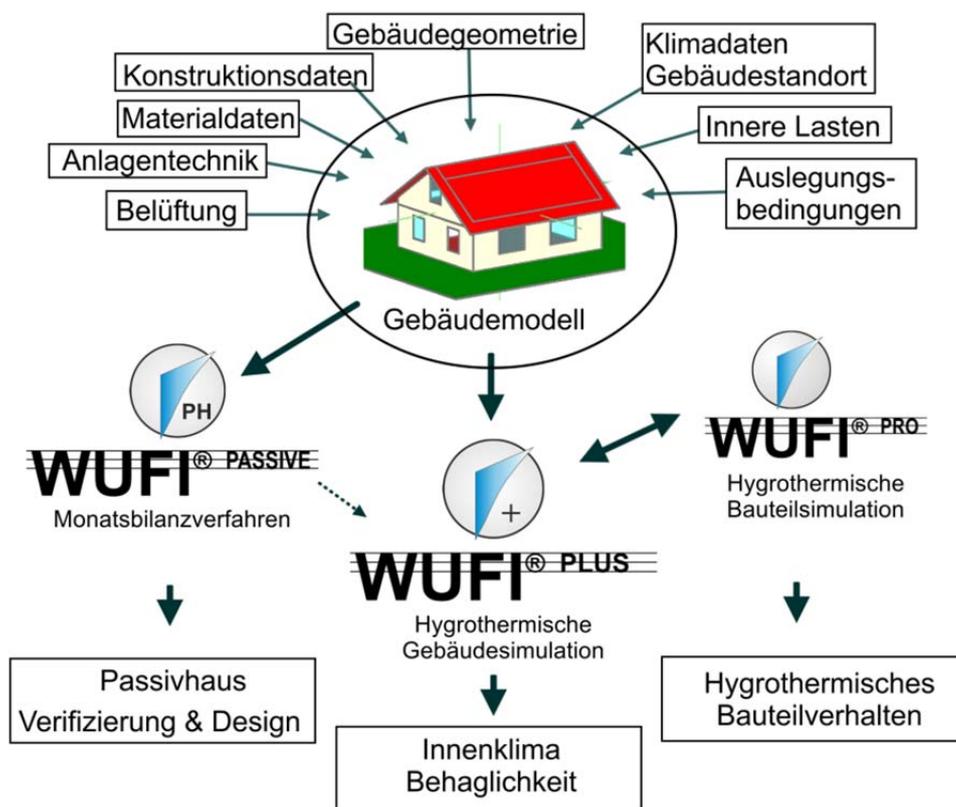


# Planungs-Tool für Passivhäuser - Monatsbilanzverfahren und hygrothermische Simulation



**Florian Antretter**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

**Katrin Klingenberg**

Passive House Institute US (PHIUS), USA

**Matthias Pazold**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

**Prof. Dr. rer. nat. Harald Krause**

Hochschule Rosenheim

**Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm**

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. (FIW)

**Dr.-Ing. Hartwig Künzel**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)



# Planungs-Tool für Passivhäuser - Monatsbilanzverfahren und hygrothermische Simulation

Florian Antretter\*, Katrin Klingenberg\*, Matthias Pazold\*, Dr. rer. nat. Harald Krause\*  
Dr.-Ing. Andreas Holm\*, Dr.-Ing. Hartwig Künzel\*

## KURZFASSUNG

Eine energieeffiziente Entwicklung und Sanierung des Gebäudebestands wird als eine Schlüsselkomponente für eine erfolgreiche Energiewende in Deutschland angesehen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind zuverlässige Baukonzepte notwendig. Ein etablierter Ansatz ist das Passivhaus Konzept. Bei dessen Anwendung sollen kosteneffiziente, dauerhafte, komfortable und nachhaltige Konstruktionen entstehen.

Die Praxis zeigt, dass sowohl in Deutschland als auch bei der Übertragung der Prinzipien in andere Klimazonen Herausforderungen entstehen können, die neuer Lösungen bedürfen. Vor allem die detaillierte Komfortbewertung, die Berücksichtigung von Kühlung und Entfeuchtung sowie die hygrothermische Beurteilung von Bauteilen ist mit dem bestehenden Monatsbilanzverfahren nicht oder nur beschränkt möglich.

Der vorliegende Artikel beschreibt die historische Entwicklung des Passivhaus Konzepts, daraus resultierende Herausforderungen und in einem nächsten Schritt die Kombination des Monatsbilanzverfahrens zum Passivhausdesign mit einem dynamischen Gebäudesimulationsmodell, um verbesserte Lösungen entwickeln zu können. Die zu Grunde liegende Methodik des stationären Ansatzes und der dynamischen hygrothermischen Simulation wird beschrieben. Daraus erschließt sich die Herangehensweise zur Kopplung beider Methoden. Gemeinsam nutzbare Eingaben, wie z. B. die Gebäudegeometrie, Bauteilaufbauten oder die technische Gebäudeausrüstung werden nur einmal festgelegt. Weitere Informationen, z. B. Sollwerteneinstellungen, innere Lasten, Lüftung oder Verschattung, können aus dem stationären Ansatz in die dynamische Berechnung übernommen werden. Hier ist es aber oft sinnvoll, zeitlich feiner aufgelöste Profile für eine detailliertere Beurteilung einzugeben.

An einem Anwendungsbeispiel wird die Umsetzung gezeigt und es wird erläutert, welche Ergebnisse sich durch die neu entwickelte Software erzielen lassen. Die Vorteile der Kombination eines schnellen stationären Ansatzes mit einer dynamischen hygrothermischen Simulation, beide Berechnungen basierend auf ein und demselben Gebäudemodell, werden hervorgehoben. Somit ergibt sich auch ein Schluss über mögliche Anwendungsgebiete und -grenzen der neu entwickelten Software.

## Historische Entwicklung und aktuelle Zielsetzung

Gebäude verursachen einen beträchtlichen Teil des weltweiten Energieverbrauchs. In Deutschland wurde 2011 rund 31 % der Primärenergie für die Konditionierung von Gebäuden und Warmwasserbereitstellung eingesetzt [BMW, 2013]. Dieser Energiebedarf kann durch eine Verbesserung der Gebäudehülle und durch eine Berücksichtigung der Wechselwirkung von technischer Gebäudeausrüstung und Gebäude verringert werden. Um dies berechenbar zu machen, werden in der Praxis häufig vereinfachende Monatsbilanzverfahren eingesetzt. Speziell das Energiekonzept zum Design und zur Zertifizierung von Passivhäusern bietet eine umfassende Methodik, um die Beeinflussung der Gebäudehülle und die daraus resultierende Auslegung der Gebäudetechniksysteme abzubilden.

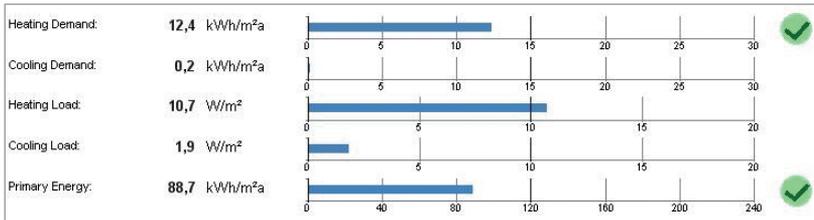
Das Passivhaus Konzept ist ein quantitatives, funktionell definiertes Energiekonzept für Gebäude. Die zu Grunde liegenden Prinzipien wurden in den USA in den 70er Jahren als Konsequenz der Ölkrise entwickelt [Shurcliff, 1982, Shurcliff, 1988]. Schon damals wurde diese Art des energieeffizienten Gebäudedesigns als ausgereift beschrieben, mit dem Hinweis, dass weitere Entwicklungen in Fenstertechnologie, bei Dampfbremsen und bei kompakten Anlagentechniksystemen zu erwarten sind.

Die Grundlagen der Energiebilanzierung wurden Mitte der achtziger in der Schweiz veröffentlicht. Anfang der 90er Jahre führte Wolfgang Feist in Europa die Forschung und Entwicklung fort [Feist, 1992]. Seine Forschungen förderten die notwendigen Verbesserungen an Passivhaus Komponenten, die Shurcliff vorhergesagt hatte. Der entwickelte Standard wurde schnell in ganz Europa erfolgreich und wird von vielen als der führende Standard für energieeffizientes Gebäudedesign weltweit betrachtet.

Allerdings wurde eine der originalen Definitionen von Shurcliff, nämlich „prevention of moisture migration into cold regions within the wall, and other regions where much condensation could occur“ [Shurcliff, 1986], also die Sicherstellung, dass feuchtebedingte Probleme verhindert werden, in den späteren europäischen Definitionen nicht direkt übernommen. Die Notwendigkeit eines ausgefeilten hygro-

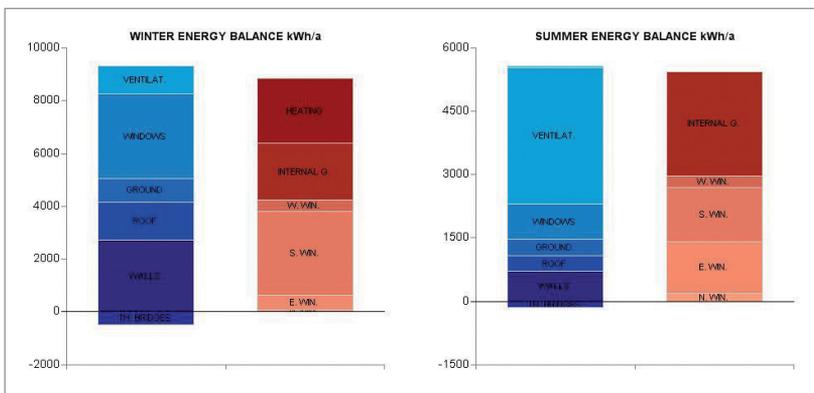
\* Siehe Autorenliste auf Seite 13

notwendigen Eingaben für ein Passivhaus gemacht, wird das Monatsbilanzverfahren durchgeführt. Der Nutzer erhält sofort die Rückmeldung, ob der Passivhausstandard erreicht wird, siehe Bild 3.



**Bild 3:** Wesentliche Ergebnisse der Energiebilanz nach kompletter Eingabe eines Passivhauses (Bildschirmabbild aus WUFI® Passive)

Weiterführend wird unter vielem anderem in einem Report eine Zusammenstellung sämtlicher Ergebnisse in Bezug auf die Energiebilanz für die Heizperiode und für die Kühlperiode dargestellt (Bild 4).



**Bild 4:** Jahresbilanzen für die Heiz- und Kühlperiode, berechnet mit Monatsbilanzverfahren (Bildschirmabbild aus WUFI® Passive)

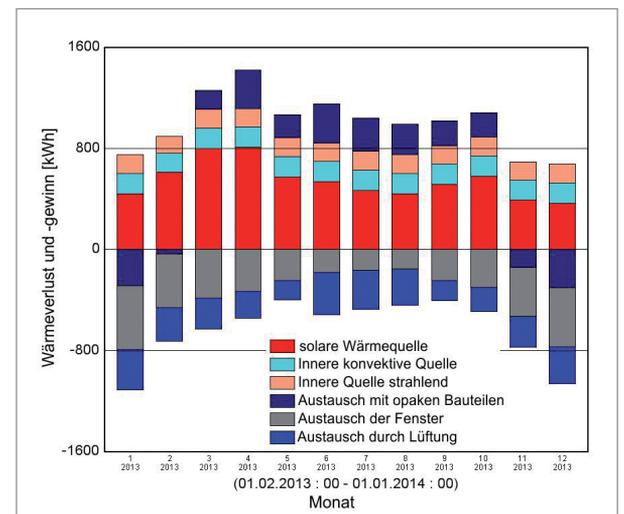
### Ergebnisse dynamische Simulation

Die dynamische Simulation ermöglicht dem Anwender einen detaillierteren Einblick in die zeitabhängige Interaktion zwischen Gebäudehülle und Innenraumklima. Die stündliche Wärmebilanz wurde für das Innenklima ausgestellt und iterativ gelöst. Fehlende Wärme wurde durch die ideale Anlagentechnik bereitgestellt, um die Soll-Innenraumtemperatur von 20 °C nicht zu unterschreiten. Somit stellt diese Wärme den Heizwärmebedarf dar. Eine Kühlung wurde nicht hinzugefügt, wodurch die obere Temperaturgrenze nicht auf Grund von Kühlleistung beschränkt wurde.

Als Ausgabegrafik stellt WUFI® Passive neben den stündlichen Werten der Wärmegewinne und -verluste diese auch aufsummiert über je einen Monat dar, wie in Bild 5 gezeigt. Im Sommer ist ein temporärer Sonnenschutz eingegeben, der die solare Einstrahlung von den Südfenstern auf 30 % verringert und sich somit deutlich auf die solaren Wärmegewinne auswirkt. Mit der dynamischen Simulation ist es

möglich, diesen von der Einstrahlung abhängig einzugeben. Bei der Simulation wurde der Sonnenschutz nur dann aktiviert, wenn ohne ihn die obere Solltemperaturgrenze überschritten worden wäre. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die solaren Wärmegewinne im Monatsbilanzverfahren keine direkte Auswirkung auf die Wärmetransmission der Bauteile hat. Bei der dynamischen Simulation wird die eintreffende Wärmestrahlung zu einem Teil auf die Innenoberflächen der Bauteile verteilt und führt dort zu höheren Oberflächentemperaturen, welche sich wiederum auf die Transmissionswärmeverluste auswirken.

Die instationäre Gebäudesimulation unterscheidet nicht zwischen Heiz- und Kühlperiode. Die Zeiträume, in denen das Gebäude beheizt oder gekühlt werden muss, damit Soll-Innenraumklimabedingungen erfüllt werden, ergeben sich aus der Simulation. Ein direkter Vergleich mit den Wärmebilanzen des Monatsverfahrens (Bild 4) ist deshalb nur bedingt, nach weiterer Auswertung möglich. In [Schöner, 2012] ist beschrieben, dass bei Eliminierung instationärer Effekte und Angleichung der Vergleichszeiträume eine hohe Übereinstimmung erzielt wird.



**Bild 5:** Monatssummen der einzelnen Wärmegewinne und -verluste

Die stündliche hygrothermische Simulation erfordert detailliertere Materialeigenschaften und des Weiteren stündliche Werte des Außenklimas. Ohne weitere Detaillierung der Eingaben, wie z. B. Zeitprofile der inneren Wärmegewinne und einem nicht konstanten sondern angetriebenen Luftaustausch wurde ein jährlicher Wärmebedarf von 3250 kWh/a ermittelt.

Neben den stündlichen Wärmeströmen stehen dem Anwender eine Vielzahl von weiteren stündlichen Simulationsergebnissen zur weiteren Auswertung zur Verfügung, unter anderem die Raumtemperatur und -feuchte, in Bild 6 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die sommerliche Übertemperaturgrenze überschritten wird.

Mit der hygrothermischen Simulation ist es ebenfalls möglich, Aussagen über den Wassergehalt in kritischen Bau-