

Dynamische Gebäudesimulation am Beispiel des Solar Decathlon Gebäudes der HS Rosenheim

Dr. Harald Krause
Professor
HS Rosenheim
Rosenheim, Deutschland

Johannes Maderspacher
SDE Team HS Rosenheim

Christoph Morbitzer
Dr.
EQUA Solutions AG



Dynamische Gebäudesimulation am Beispiel des Solar Decathlon Gebäudes der HS Rosenheim

1. Einführung

Planungsansätze zur Minimierung des Energieverbrauchs von Gebäuden bei gleichzeitiger Erhaltung oder gar Verbesserung von Komfortbedingungen haben sich in den letzten Jahren mehrmals grundlegend verändert.

Gut veranschaulichen lässt sich diese Entwicklung an energiebezogenen Bauvorschriften. In den 70er Jahren versuchte man mit der Wärmeschutzverordnung eine Verminderung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden über Anforderungen an Bauteile (U-Werte) zu erreichen. Für die Nachweise gemäß Energieeinsparverordnung im Wohn- und Nichtwohnbau wurde mit der Normenreihe DIN V 18599 [1] eine sehr komplexe zum Teil iterative Berechnungsmethoden entwickelt, die den Energieverbrauch für Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Beleuchtung eines Gebäudes berücksichtigt. Dabei muss immer wieder darauf hingewiesen werden, dass diese Normenreihe ausschließlich für den öffentlich rechtlichen Nachweis unter genormten Randbedingungen gedacht ist und nicht für die Projektierung eines Gebäudes.

Gleichzeitig werden Simulationsprogramme immer mehr als potentielle Planungswerkzeuge identifiziert und fangen an in der Industrie eine breite Anwendung zu finden. Allerdings ist der Unterschied zwischen wie in der DIN 18599 und dynamischer Gebäudesimulation oft immer noch nicht richtig verstanden.

Im vorliegenden Beitrag sollen die Möglichkeiten der dynamischen Gebäudesimulation an Hand der energetischen Projektierung des Rosenheimer Hauses zum Solar Decathlon Europe 2010 [2] erläutert werden.

2. Grundlagen der Gebäudesimulation

2.1. Unterscheidung stationäre und instationäre Bilanzverfahren

Stationäre oder „quasistationäre“ Verfahren beruhen auf analytischen Lösungsansätzen, denen meist eine stationäre Näherung von eigentlich instationären Vorgängen zu Grunde liegt. Mit diesen Ansätzen werden meist auf der Basis von Monatsmittelwerten Energiebilanzen erstellt. Diese Methode kann zu zwei Problemen führen:

- Ergebnisse können mit Ungenauigkeiten behaftet sein, falls die stationäre Näherung nicht geeignet ist. Diese Ungenauigkeiten zu erkennen oder abzuschätzen ist schwierig bis unmöglich.
- Für die stationäre Betrachtung werden zwangsläufig Näherungen bzw. Standardisierungen nötig. Optimierungs- oder Variantenrechnungen führen im Bereich der Gebäudehülle und auch der Anlagentechnik führen aufgrund dieser Standardisierung zu teilweise falschen Lösungsansätzen. Auch ist ein Abgleich der berechneten Werte mit Messwerten sehr schwer möglich.

Bei dynamischer Gebäudesimulation werden die im Gebäude stattfindenden physikalischen Prozesse abgebildet und in sehr kurzen Zeitschritten (oft wenige Minuten) berechnet. Wärmeströme durch Bauteile werden in stationären Verfahren auf Basis des U-Wertes ermittelt. Instationäre Verfahren lösen dagegen in den entsprechenden Zeitschritten die Fourierrechnung für Wärmeleitung oder behandeln die Wärmestrahlung oder Konvektion nach geeigneten physikalischen Ansätzen.

Somit wird das Gebäude also als ein „Gesamtsystem“ aus verschiedenen, sich untereinander beeinflussenden Einzelkomponenten verstanden. Abbildung 1 veranschaulicht dies am Beispiel einer einzelnen Zone eines Simulationsmodells.

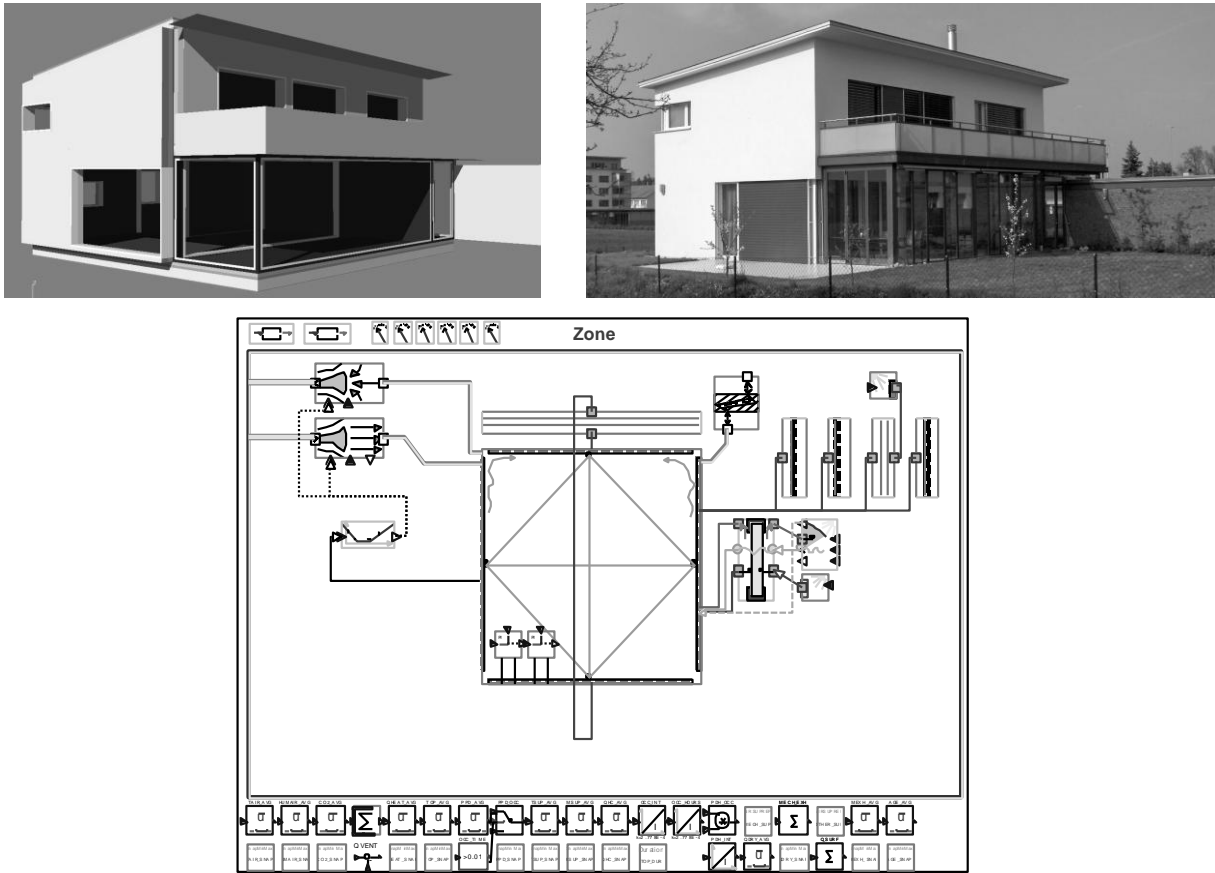


Abbildung 1: Die Schematische Darstellung einer Zone eines Simulationsmodells (links das Gesamtmodell und Foto des Gebäudes)

Die erzielbare Rechengenauigkeit wurde in einer Vielzahl von Validierungsstudien nachgewiesen und ist in Abbildung 2 verdeutlicht.

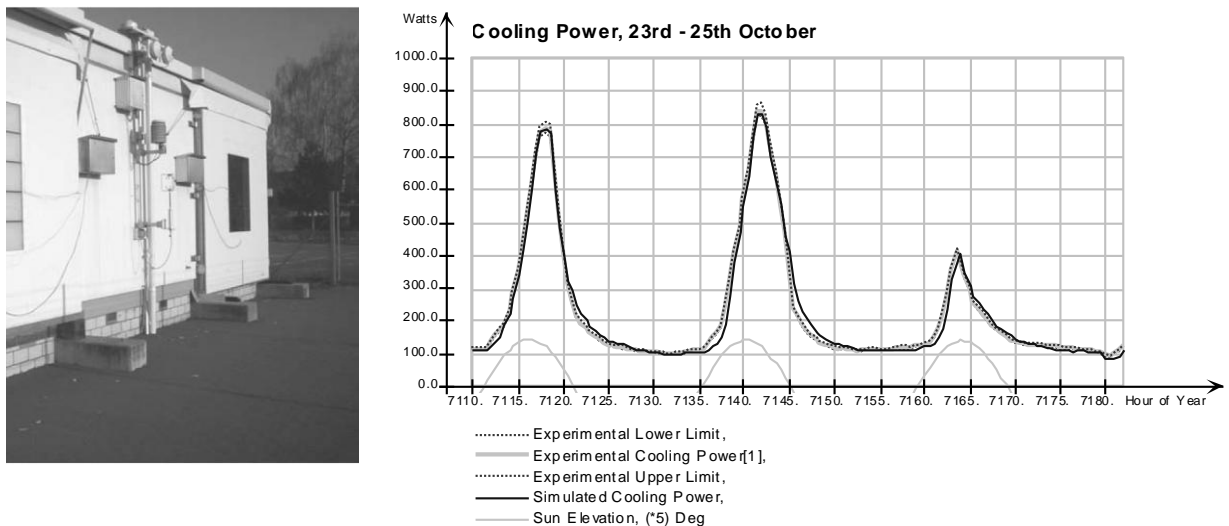


Abbildung 2: Vergleich zwischen Simulation und Messung des Kühlbedarfs in einer Testzelle

2.2. Anforderungen an die Gebäudesimulation

Unklarheit herrscht häufig auch über den für das Erstellen eines Simulationsmodells benötigten Arbeitsaufwand. Für ein einfaches Modell werden prinzipiell kaum mehr Eingabeinformationen benötigt als für eine monatliche Berechnung - Daten wie Raumnutzung, Regelungswerte, Gebäudeabmessungen oder Baukonstruktionen werden ja für beide Rechenmethoden benötigt. Dynamische Simulationsprogramme sind aber häufig flexibel gehalten und erlauben dem Benutzer die Abbildung des Gebäudes in einem wesentlich genaueren Detaillierungsgrad. Beispiele hier sind eine detaillierte Abbildung der Fensterlüftung, komplexe Sonnenschutzsysteme, oder die detaillierte Abbildung und Untersuchung von unterschiedlichen lokalen Versorgungselementen. Anwender haben diese Möglichkeiten in der Vergangenheit oft „ausgeschöpft“ und das Gebäude so genau wie möglich statt so genau wie nötig beschrieben. Augenscheinlich ergaben sich dadurch Interessenkonflikte:

detailliert	vs.	einfach
genau	vs.	schnell
flexibel	vs.	Sicher

Durch die Entwicklung neuartiger Tools wurden allerdings Brücken geschlagen, die Gebäudesimulation jetzt auch dem weniger erfahrenen Anwender erschliesst. Dadurch bekommt Simulation jetzt auch im Baubereich den Stellenwert den sie in Industriezweigen wie der Fahrzeug- oder Schiffbau schon länger gefunden hat.

2.3. Moderne Simulationstools - Beispiel IDA Klima und Energie

Die sich im Verlauf der Planung, des Baus und des Betriebs eines Gebäudes stellenden Fragen nach dem Risiko für Diskomfort oder des Leistungs- und Energiebedarf sind sowohl in der Tiefe wie in der Breite variabel: Während sie zu Beginn sehr allgemein formuliert sind, werden sie im Verlauf der Zeit immer genauer und spezialisierter. Schade ist nun, wenn die dabei verwendeten Tools nur schlecht oder gar nicht aufeinander abgestimmt sind und dieselbe Information immer wieder von neuem zusammengetragen und eingegeben werden muss. So wird beispielsweise die Neigung, die Ausrichtung und die Fläche eines Daches für ganz verschiedene Planungsfragen benötigt: Anlagendimensionierung, Optimierung der Gebäudehülle, Tageslichtsimulationen, Abschätzung des sommerlichen Überhitzungsrisikos, Ertrags einer Solaranlage sind nur ein paar Beispiele.

Moderne Simulationsprogramme verwenden dasselbe Modell für die Untersuchung dieser unterschiedlichen Fragestellungen, allerdings mit Benutzeroberflächen, die den Anwender bei der Bearbeitung anleiten und den Arbeitsaufwand minimieren. Gleichzeitig sollten diese Programme aber bei Bedarf einen Detailzugriff auf das Modell zulassen, wenn dies für die Untersuchung eines bestimmten Sachverhaltes von Nöten ist. Ein Beispiel ist hierfür ist das Simulationsprogramm IDA Klima und Energie [3]: Mittels einfacher Eingabeassistenten kann das wesentliche und übliche mit minimalem Aufwand abgedeckt werden. Die Gebäudeinformationen können dabei wahlweise direkt eingegeben oder via ifc-Format von einem CAD-Programm importiert werden. Die mathematischen Modelle werden automatisch gebildet und für den Solver vorbereitet. Je nach Bedarf kann das Modell am einen oder anderen Ort genauer definiert werden, ohne dass auf spezialisierte Programme zurückgegriffen werden muss. Der Benutzer hat bei speziellen Fragen Einblick und Einfluss bis tief in die gleichungsbasierte Beschreibung der physikalischen Vorgänge.

2.4. Der Nutzen

Wird Simulation nach diesem Prinzip angewendet bieten sich dem Anwender unterschiedliche Möglichkeiten und Vorteile:

- Entwurfswerkzeug: Auswirkungen von Form und Systemwahl auf die Funktion eines Gebäudes
- Planungssicherheit: Voraussagen über Energieverbrauch und Komfort in geplanten Gebäuden
- Planungshilfe: Dimensionierung der Gebäudetechnik
- Planungsfreiheit: Entwicklung neuer Systeme
- Gutachten: Belegen oder Widerlegen von Aussagen
- Illustration: Anschauliche Darstellung der Funktionsweise von Gebäuden

Das folgende Beispiel verdeutlicht dies.

3. Simulationsrechnungen am SDE-Gebäude der Hochschule Rosenheim

Die Hochschule Rosenheim nimmt 2010 an dem internationalen Wettbewerb Solar Decathlon Europe teil [2]. Ziel dieses Wettbewerbes ist es, ein Plusenergiehaus zu planen und zu bauen. Der Begriff Plusenergiehaus wird im Sinne des Wettbewerbes als ein Gebäude definiert, dass über die Bilanzierung der Stromverbräuche und Gewinne in Zeitraum eines Jahres eine ausgeglichene oder positive Bilanz aufweist (Net-Zero buildings).

Ein Teil der Aufgabenstellung bestand darin, das Hauskonzept für unterschiedliche Klimazonen zu untersuchen. Im Folgenden werden diese Untersuchungen auszugsweise dargestellt. Das Gebäudekonzept soll dabei nicht verändert werden, jedoch besteht die Möglichkeit Baustoffe oder Komponenten der Gebäudetechnik zu optimieren oder zu wechseln. Als Untersuchungswerkzeug diente die Gebäudesimulationssoftware IDA Klima und Energie [3].

3.1. Randbedingungen und Klimaorte

Das Rosenheimer SDE-Gebäude (Abbildung 3) wurde nach dem Passivhauskonzept entworfen und geplant. Ziel ist es dabei, durch geeignete Maßnahmen den Energiebedarf für Heizung und Kühlung soweit zu minimieren, dass ein behagliches Raumklima ohne aufwendige Gebäudetechnik erreichbar ist. Zudem werden die Verbrauchswerte auf ein Minimum reduziert. Der Nutzenergiebedarf für Heizung und Kühlung soll unter 15 kWh/(m²a) liegen, was allerdings nicht für alle Klimata möglich war.

Weitere Kennzeichen des Gebäudes sind:

- U-Werte der opaken Bauteile ca. 0,1 W/(m²K)
- 3-Scheiben-Verglasung mit $U_g = 0,6$ W/(m²K)
- Heizen und Kühlen sowie Warmwasserbereitung über eine Wärmepumpe
- Heiz- Kühldecke
- Lüftungsanlage mit ca. 85% Wärmebereitstellungsgrad, Enthalpiewärmetauscher für Kuala Lumpur
- Außenliegender Sonnenschutz



Abbildung 3: Visualisierung des Rosenheimer Hauses. Die „Zacken“-Fassade als variabler Sonnenschutz ist eine Eigenentwicklung der HS Rosenheim

Das Gebäude wurde dazu zunächst mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) 2007 [4] energetisch vorprojektiert. Um die aufgrund des Entwurfes stark schwankenden dynamischen Lasten zu ermitteln, wurde die dynamische Simulation eingesetzt. Letztere wurde dann ebenfalls für die Ermittlung der Jahresenergiedaten verwendet. Einen Vergleich der Ergebnisse aus dem PHPP und der Simulation wird gesondert veröffentlicht [5].

Mit Rosenheim, Madrid (Ort des SDE Wettkampfes) und Kuala Lumpur wurden 3 deutlich unterschiedliche Klimata untersucht. Die Klimadaten wurden mit der software meteonorm erzeugt [6].

Rosenheim als Standort der Hochschule bietet ein Interkontinentales Klima. Dabei sind gemäßigte Temperaturen im Sommer und Winter anzusetzen. Im Sommer kann von Durchschnittstemperaturen von ca. 15°C, und im Winter mit Temperaturen von ca. 0°C ausgegangen werden.

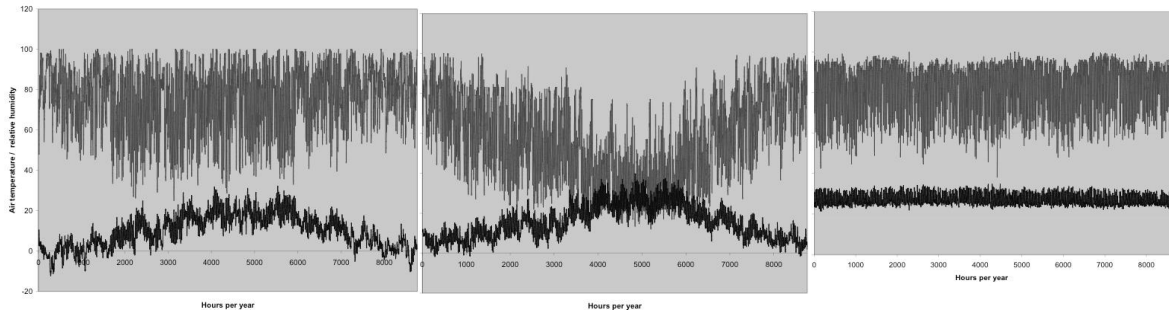


Abbildung 4: Temperaturen und rel. Feuchte in Rosenheim, Madrid und Kuala Lumpur

Als zweiter Standort wird Madrid betrachtet. In Madrid muss besonders in den Sommermonaten mit wenig Niederschlag und Durchschnittstemperaturen von 24 °C gerechnet werden. Auch in den Sommermonaten sind jedoch in der Nacht relativ kühle Temperaturen zu erwarten, so dass auch passive Kühlkonzepte denkbar sind.

Kuala Lumpur in Malaysia ist als tropisches Klima im Gegensatz zu den anderen Standorten betrachtet worden. Mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von ca. 27°C und einem jährlichen Niederschlag von 2419 mm, herrscht dort eine hohe Luftfeuchtigkeit. Für das Gebäude stellt diese Umgebung eine völlig andere Anforderung im Bereich der Automation und Klimatisierung dar.

Das Gebäude ist mit 2 Personen bewohnt. Sonstige Randbedingungen für den Verbrauch sind aus den Wettkampfbedingungen entnommen.

Unter allen Klimabedingungen sollen folgende Komfortgrenzen gem. DIN EN 15251 [7] eingehalten werden:

- Simulationszeitraum - 1.10 bis 31.3: Temperaturbereich für die Heizung von 20 C° - 25 C° (Klasse II)
- Simulationszeitraum - 1.4 - 30.9: Temperaturbereich für die Kühlung von 23 C° - 26 C° (Klasse II)
- Max. 60 % rel. Feuchte (Klasse II)
- Min.i 25 % rel. Feuchte (Klasse II)

3.2. Beispielhafte Simulationsergebnisse

Für den Standort Rosenheim wird exemplarisch der monatsweise Energiebedarf für Heizung und Geräte in Abbildung 5 dargestellt. Aus der Jahresbetrachtung ergibt sich ein Heizwärmebedarf von ca. 20 kWh/(m²a). Die Heizperiode reicht von November bis März. Die minimale Raumtemperatur beträgt 20°C.

Als weiteres Beispiel soll in Abbildung 6 eine Energiebilanz für einen Tag für den Standort Madrid dienen. Der außenliegende Sonnenschutz wird je Fassadenrichtung nach den Einstrahlwerten gesteuert. Für die internen Lasten und Geräte sind entsprechende Zeitprofile hinterlegt. Aus einer solchen Energiebilanz kann z.B. der Tagesverlauf der nötigen Kühlleistung ermittelt werden und gleichzeitig die jeweilige Größe der Wärmelasten analysiert werden. Somit ist eine gezielte Reduzierung der Kühlleistungen möglich.

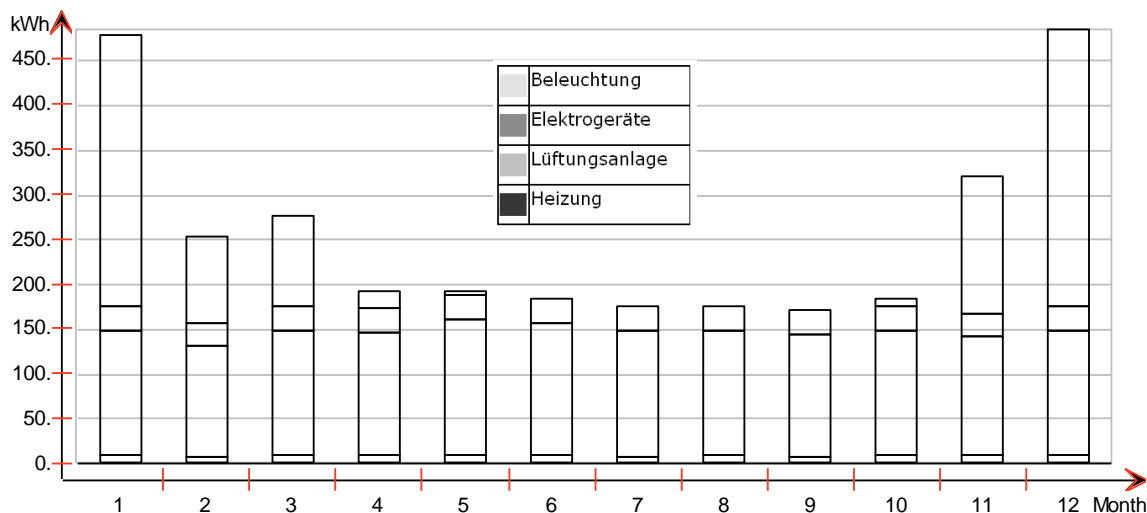


Abbildung 5: Monats-Energiebilanzen als Ergebnis der dynamischen Simulation für den Standort Rosenheim

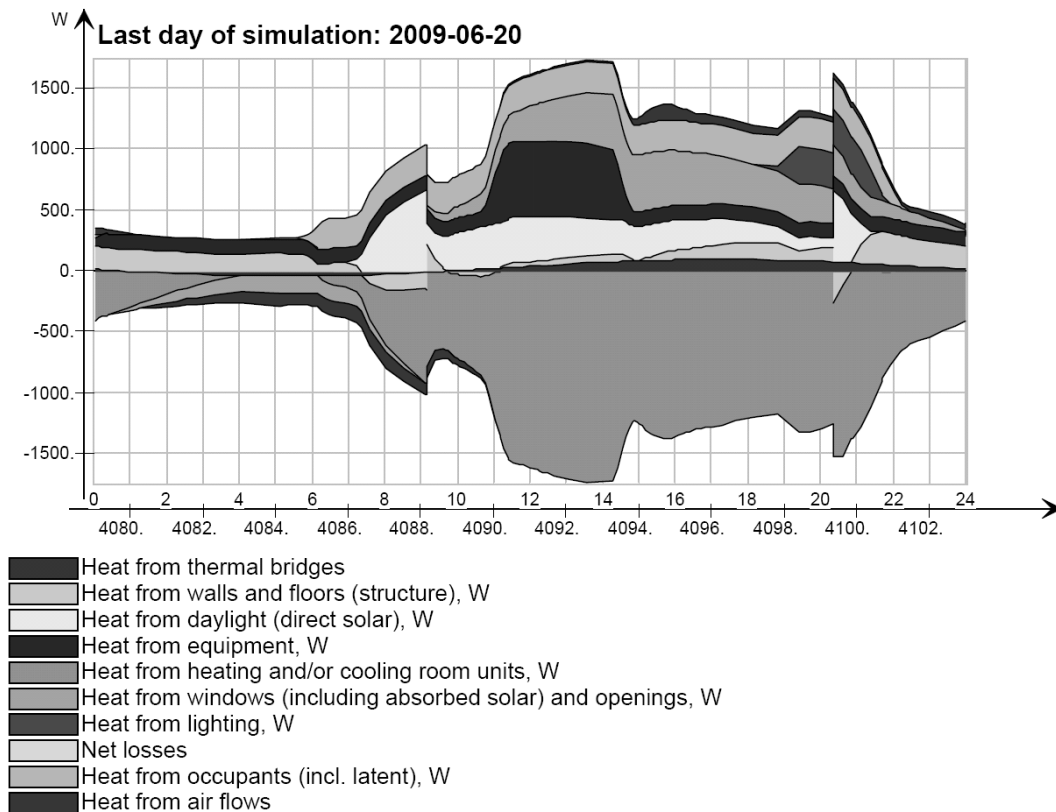


Abbildung 6: Zeitaufgelöste Energiebilanz für einen Sommertag in Madrid. Werte größer 0 stellen Lasten dar, Werte kleiner 0 sind Kühlleistungen, um die Raumtemperaturen im Behaglichkeitsband zu halten.

Als drittes Beispiel dient eine Darstellung des Raumklimas für den Standort Kuala Lumpur in Abbildung 7. Aufgrund des Außenklimas wird ganzjährig eine aktive Kühlung nötig. Zu klären ist dabei die Frage nach der Entfeuchtung der Außenluft, um die Raumluftfeuchte in einem behaglichen Maß zu halten. Im berechneten Beispiel wird die Außenluft in der Lüftungsanlage auf 16°C abgekühlt und damit je nach Taupunkttemperatur geringfügig entfeuchtet. Die Raumtemperatur wird zwischen 23°C und 25°C gehalten. Der Außenluftvolumenstrom beträgt im Wohnzimmer 60 m³/h. Die Raumluftfeuchte steigt bis auf 70%. Eine zusätzliche Entfeuchtung wäre in diesem Fall sinnvoll.

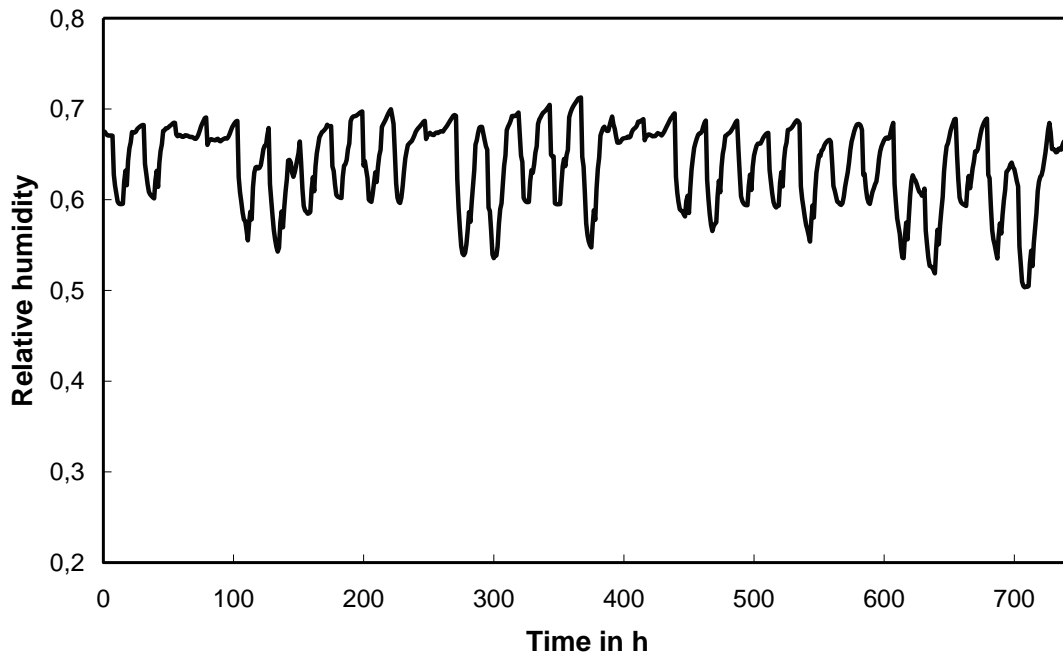


Abbildung 7: Raumluftheuchte im Januar für den Standort Kuala Lumpur ohne aktive Entfeuchtung

4. Zusammenfassung

Programme zur dynamischen Simulation von Gebäuden sind inzwischen als Planungstools allgemein akzeptiert. Besonders bei stark dynamischen Vorgängen wie z.B. der sommerlichen Kühlung, zeigen diese deutlichen Vorteile gegenüber stationären Verfahren. Der Zusatznutzen liegt außerdem z.B. in der Simulation des Raumklimas und Bewertung der thermischen Behaglichkeit.

Am Beispiel des Solar Decathlon Gebäudes der Hochschule Rosenheim wurden mit Hilfe von Gebäudesimulation die Jahresenergiebilanzen, Kühl- Heizlasten, Lüftungs- sowie Regelungsstrategien simuliert und optimiert.

-
- [1] Normenreihe DIN V 18599, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – , Beuth Verlag
 - [2] SDE Europe: www.sdeurope.org
 - [3] IDA ICE, Ver. 4, Equa Simulation AB
 - [4] PHPP 2007: Passivhaus Projektierungs Paket, W. Feist, R. Pfluger, B. Kaufmann, J. Schnieders, O. Kah, Passivhaus Institut, 2010
 - [5] J. Maderspacher, H. Krause, to be published
 - [6] meteonorm 6.1, www.meteotest.ch
 - [7] DIN EN 15251:2007, Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden, Beuth Verlag 2007