

OPTIMIERUNG VON LINEAREN REGRESSIONSMODELLEN FÜR ENERGIESIGNATUREN AUF BASIS VON GEBÄUDESIMULATIONEN

Dirk Jacob, Sebastian Dietz, Christian Neumann, Sebastian Herkel
 Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany

KURZFASSUNG

Regelungen in Gebäuden werden oft nur bei der Inbetriebnahme, nach Umbauten oder bei Beschwerden von Nutzern eingestellt. Basierend auf Erfahrung und Intuition wird der Gebäudebetrieb meist manuell eingestellt oder geändert. Häufig führt dies zu einem energie-ineffizientem Gebäudebetrieb (Claridge et.al., 2002).

Dies kann durch systematische und standardisierte Methoden verbessert werden. Grundsätzlich sind geeignete Methoden bekannt, z.B. Continuous Commissioning (CC), Fault –Detection and –Diagnosis (FDD) und verschiedene Optimierungsalgorithmen. Es fehlen jedoch Konzepte zur systematischen Anwendung dieser Methoden für ganze Gebäude.

Zur Entwicklung einer standardisierten Betriebsoptimierung ganzer Gebäude einschließlich Ihrer Energieversorgungssysteme können Gebäudesimulationen eingesetzt werden, da hier die Randbedingungen kontrollierbar sind und größere

Stichproben erreicht werden. Notwendig dafür sind Gesamtgebäude-, Gesamtsystem- und Ganzjahres-simulationen sowie eine hohe Rechengeschwindigkeit, eine sehr hohe Modellierungsflexibilität und die Möglichkeit reale Fehler abzubilden.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes ModBen (<http://modben.org/>) wurden mit EnergyPlus 152 Variationen eines Bürogebäudes berechnet. Variiert wurden Konstruktions- und Betriebsmerkmale, wie z.B. Nachtabsenkung, Lüftung. Für die Heiz-, Kälte- und Stromenergiesignaturen wurden verschiedene multi-lineare Regressionsmodelle mit Change – Point (in der Statistik auch Break – Point) formuliert und manuell optimiert. In Abbildung 1 ist demonstriert, dass durch die Darstellung als Energiesignatur über der Außentemperatur die Abhängigkeit von der wichtigsten Einflußgröße direkt visuell beurteilt werden kann. Änderungen und Unterschiede in der Betriebsführung sowie die Güte der Regressionsmodelle sind gut erkennbar.

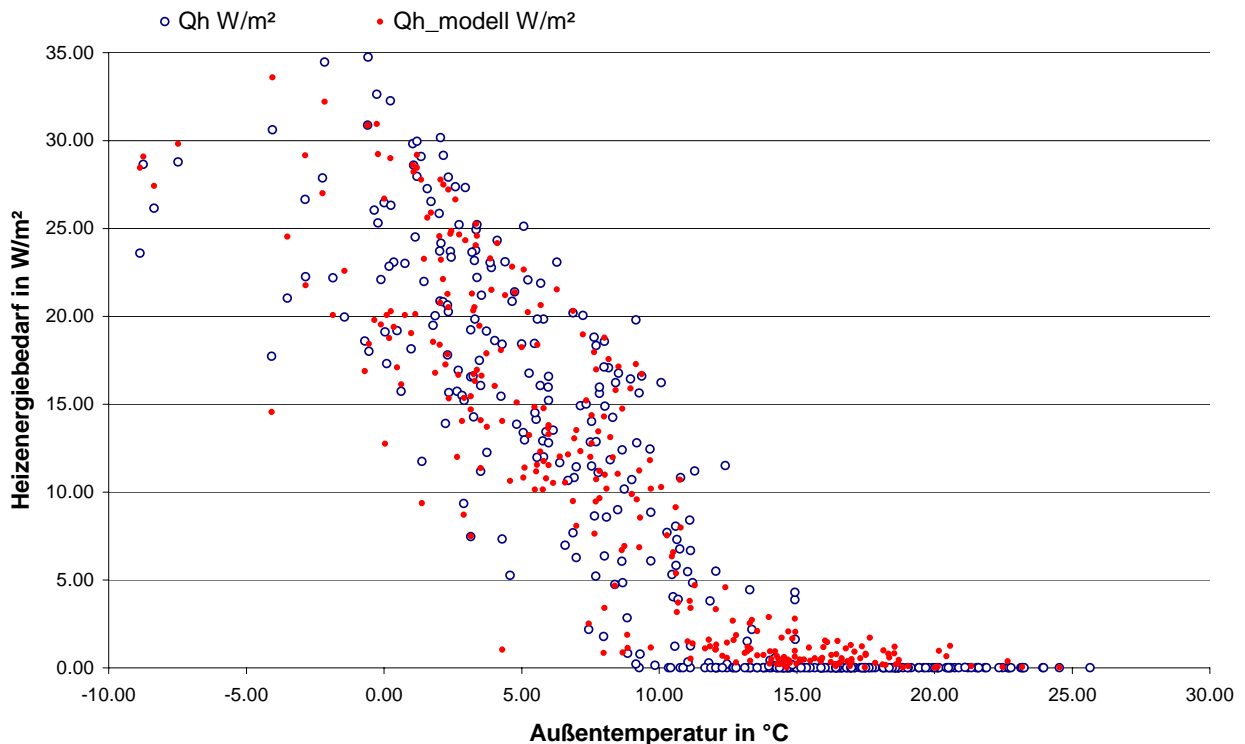


Abbildung 1 Energiesignatur des Heizenergiebedarfs: ○ Q_h Tagesdurchschnittswerte der EnergyPlus Gebäudesimulation, ● Multi-lineares Regressionsmodell mit Change-Point

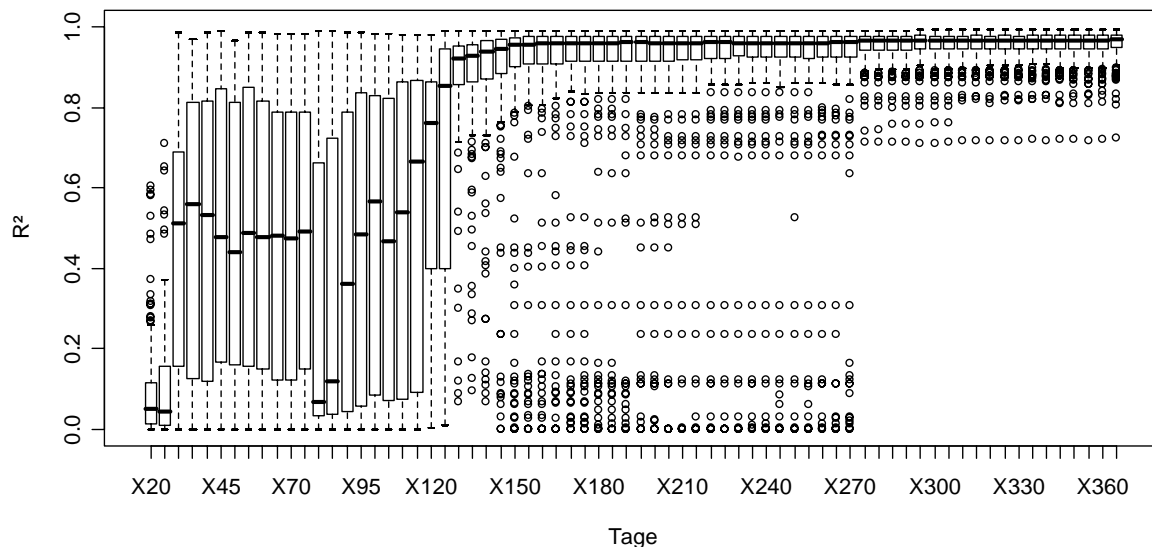


Abbildung 2 Boxplot für den Zusammenhang zwischen Trainingszeitraum der Regressionsmodelle in Tagen auf der Abszisse und dem Bestimmtheitsmaß R^2 der Vorhersage der Regressionsmodelle für den Jahreszeitraum

Die optimierten Regressionsmodelle weisen ein mittleres Bestimmtheitsmaß R^2 für alle 152 Varianten von 95 % bis 99 % auf. Durch die Berücksichtigung der Änderung der Innentemperatur (Differenz Innentemperatur zum vorherigem Zeitpunkt, diskrete Zeitableitung) als unabhängige Variable werden die Modelle wesentlich verbessert. Nach der Außentemperatur erklärt diese Variable häufig den zweithöchsten Anteil der Heizenergie-Varianz. Dies zeigt den zunehmenden Einfluss von Speichereffekten bei hochgedämmten Gebäuden.

Weiterhin wurde der Einfluss unterschiedlich umfangreicher Trainingsdaten auf die Modellgüte bzw. das Bestimmtheitsmaß R^2 untersucht. Bei vielen Varianten muss die Mindestlänge des Trainingsdatensatzes für die Regressionsmodelle der Heizenergie ca. 4 Monate betragen, um eine adäquate Ganzjahresvorhersage zu erreichen. Akzeptable Modelle für alle Varianten werden mit mindestens neun Monaten Trainingsdaten gefunden (Abb. 2).

In weiterführenden Betriebs- und Fehleranalysen kann auf diese Regressionmodelle zurückgegriffen werden, insbesondere ist damit die Berechnung von Energieeinsparungen durch Änderungen der Betriebsführung möglich (IPMVP 2001).

Im Rahmen dieser Studie hat sich gezeigt, das EnergyPlus in der derzeit verfügbaren Version nur die im nordamerikanischen Raum vorherrschenden Lüftungs- und Anlagensysteme abbilden kann. Damit ergeben sich Schwierigkeiten bei der Modellierung insbesondere von Lüftungssystemen zur reinen Frischluftzufuhr und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung mit Ablufttemperaturregelung.

ABSTRACT

Often building operation is only adjusted during initial commissioning, possibly leading to energy-inefficient operation. Simple Black-Box models can be used to indicate energy savings achieved by changes to the operation of the building.

Replacing real buildings by simulations is advantageous for systematic research. For this study a typical office building was modelled with EnergyPlus in 152 variations. Multi-Variable Linear Regression models with a change point were applied to the whole buildings heating, cooling and electricity consumption. By adapting the model a mean coefficient of determination R^2 above 95 % for daily, weekly and monthly values was achieved for all 152 variations. The quality dependency of the regression models on the time period used for training is also investigated.

LITERATUR

Claridge et.al., 2002 Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, Federal Energy Management Program, USA.

EnergyPlus 2007. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory/ US Department of Energy: EnergyPlus Manual.

IPMVP 2001. International Performance Measurement and Verification Protocol, Department of Energy, USA.