

TOOLCHAIN ZUR BEWERTUNG VON REGELSTRATEGIEN IM GEBÄUDEBEREICH

F. Sanger¹, K. Klimke², und J. Jungwirth¹

¹Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München, München, Germany

²Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München, München, Germany

f.saenger@tum.de

KURZFASSUNG

Dieses Paper beschreibt die Entwicklung einer Toolchain zur Bewertung von Regelstrategien im Gebaubereich. Sie ermöglicht es, auf einfache Art und Weise eine Regelstrategie für ein Gebäudemodell zu erstellen. Diese wird dann in einer Co-Simulation auf das Gebäudemodell angewendet. Anschließend werden die Ergebnisse hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien bewertet.

Die LabVIEW-Bedienoberfläche bietet dem Nutzer vergleichsweise einfach die Möglichkeit ein Gebau auszuwählen und zu laden, die Parameter der Simulation festzulegen und eine Regelstrategie zu erstellen. Da in der Co-Simulation TRNSYS verwendet wird, können komplexe Gebau- und Anlagenmodelle implementiert werden. Durch den Export der Daten in eine CSV-Datei können diese mit gängigen Tools visualisiert und ausgewertet werden.

ABSTRACT

This paper describes the development of a tool chain to evaluate control strategies in the area of building automation. It allows creating a control strategy for a building model in a simple way. This control strategy is then applied to the building model in a co-simulation. Subsequently the results are evaluated based on different criteria.

The LabVIEW user interface offers the user the possibility to load a building model, to determine the parameters of the simulation and to create a control strategy in a simple manner. With TRNSYS being used in the co-simulation, complex building and plant models can be implemented. Exporting the data to a CSV file, allows further evaluation and visualization.

EINLEITUNG

Bei Neubauprojekten, aber auch bei Bestandsgebäuden steigen die Qualitätsanforderungen immer weiter an. Vor allem die Behaglichkeit im Gebau und die Energieeffizienz werden hier immer wichtiger. Im Zuge der Energiewende gewinnt außerdem die Integration erneuerbarer Energien maßgeblich an Bedeutung. Dazu werden auch Verbraucher wie Gebau zukünftig an einem intelligenten Stromnetz, dem „Smartgrid“,

teilnehmen und ihren Stromverbrauch z.B. abhängig von der aktuellen Erzeugung aus den Erneuerbaren dynamisch anpassen. Um all diesen Ansprüchen gerecht zu werden, steigen die Anforderungen an die Gebäudetechnik und insbesondere an deren Regelung.

Da sich Gebau in Nutzung, baulichen Eigenschaften und der verwendeten Gebäudetechnik zum Teil grundlegend unterscheiden, ist auch eine jeweils angepasste Regelung notwendig. Ein weiterer Einflussfaktor auf die anzuwendende Regelstrategie ist das wirtschaftliche Szenario (Use-Case), das im Betrieb zu Grunde gelegt wird. Ein Beispiel hierfür wäre die Maximierung des Eigenverbrauchs bei vorhandener dezentraler Erzeugung. Die Entwicklung einer passenden Regelung kann bereits vor der Realisierung des Gebäudes simulationsgestutzt durchgeführt werden. Hierfür benötigt man komplexe Gebau- und Anlagenmodelle, die mit geeigneten Tools erstellt, bearbeitet und simuliert werden. Die Entwicklung aufwändiger Regelstrategien ist mit Hilfe solcher Programme möglich, aber meist recht zeitintensiv und „benutzerunfreundlich“ und damit einem kleinen Kreis erfahrener Modellierer vorbehalten. Zudem ist es oft schwierig, die erstellten Strategien zu exportieren und später auf das reale Gebau anzuwenden.

Im Bereich der Gebau- und Anlagensimulation werden Co-Simulations-Tools häufig eingesetzt um den Detaillierungsgrad zu steigern (Ljubijankic, 2012) oder um Stärken verschiedener Tools zu kombinieren (Website zu Building Controls Virtual Test Bed). Meistens sind diese Werkzeuge Experten im Bereich der Gebäudesimulation vorbehalten. Im Gegensatz dazu wurde hier eine Toolchain mit Fokus auf Regelstrategien zur Integration von Gebäuden in ein zukünftiges „Smartgrid“ erstellt. Dadurch wird es auch Simulations-Laien ermöglicht auf einfache Art und Weise Regelstrategien zu entwickeln. Im Hintergrund wird die Simulation komplexer Gebäudemodelle durchgeführt, welche von Experten erstellt werden müssen. Der Nutzer kann ein Modell auswählen und in einer übersichtlichen Bedienoberfläche Parameter für die Simulation festlegen, eine Regelstrategie erstellen und die Co-Simulation starten. Nach Abschluss der Simulation kann er die Ergebnisse anhand verschiedener Use-Cases, wie zum Beispiel der Maximierung der

Eigenstromnutzung, bewerten und die Regelstrategie weiter optimieren. Die Regelstrategien sowie die Simulationsergebnisse können selektiv abgespeichert werden und später mit einer Tabellenkalkulation visualisiert und ausgewertet werden.

Im Rahmen dieses Papers wird zunächst auf die Auswahl der einzelnen Programme für die Toolchain eingegangen, ihre Funktionsweise sowie Möglichkeiten zur Erstellung und Bewertung von Regelstrategien erläutert und abschließend ein Beispiel vorgestellt.

AUSWAHL DER TOOLS

Gebäude- und Anlagensimulation

Essentieller Bestandteil der Toolchain ist ein geeignetes Programm zur gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation. Aufgrund der hohen Anzahl an derzeit verfügbaren Simulationstools wurde eine umfangreiche Recherche mit anschließendem Vergleich und Bewertung durchgeführt, um geeignete Programme für die Gebäude- und Anlagensimulation zu identifizieren.

Die Recherche führte zu einer Datenbank von 51 Tools, die zunächst der übergeordneten Kategorie „Gebäudesimulation“ zugeordnet werden konnten. Um die hohe Anzahl an Simulationsprogrammen weiter zu reduzieren, wurden verschiedene Bewertungskriterien definiert, z.B.:

- Art des Rechenverfahrens
- zeitliche Auflösung
- Erweiterbarkeit
- Schnittstelle Co-Simulation.

In Abbildung 1 ist die Auswertung der Tools nach dem Bewertungskriterium „Rechenverfahren“ dargestellt.

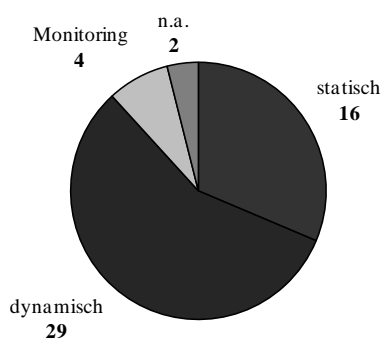


Abbildung 1: Bewertung der untersuchten Tools nach Rechenverfahren

Hieraus wird ersichtlich, dass der überwiegende Anteil der untersuchten Simulationstools einen dynamischen Rechenansatz aufweist, was als grundlegende Anforderung für die Umsetzung der Toolchain definiert wurde. Neben den insgesamt 29 dynamischen Simulationsprogrammen weisen 16 Tools einen statischen Rechenansatz auf, 4 Tools konnten der Kategorie „Monitoring“ zugeordnet

werden. Für 2 Tools war eine eindeutige Zuweisung des Rechenverfahrens aufgrund ungenügender Beschreibung nicht möglich.

Eine weitere wesentliche Anforderung an die gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation stellt eine hohe zeitliche Auflösung (Minute) dar. In Abbildung 2 ist die Bewertung der Tools nach dem Kriterium „zeitliche Auflösung“ ersichtlich.

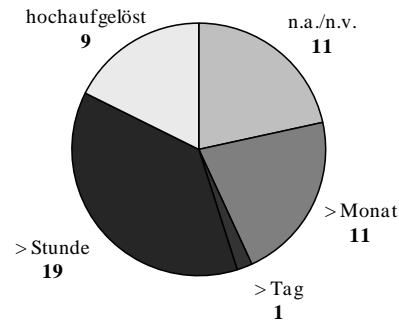


Abbildung 2: Bewertung der untersuchten Tools nach zeitlicher Auflösung

Es konnte festgestellt werden, dass der überwiegende Anteil der 51 untersuchten Tools einen minimalen Zeitschritt von 1 Stunde aufweist. Insbesondere die auf statischen Rechenverfahren basierenden Simulationstools rechnen zum Teil mit deutlich höheren Zeitschritten im Bereich von Tagen bzw. Monaten. Für 11 Tools konnte mangels fehlender Dokumentation keine fundierte Aussage zu der zeitlichen Auflösung getroffen werden. Insgesamt 9 Tools zeigen eine hohe zeitliche Auflösung im Minuten- oder Sekundenbereich bzw. basieren auf differential-algebraischen Gleichungssystemen (DAE-Systemen) mit variablen Schrittweiten.

Die aufgelisteten Anforderungen für den Einsatz in der Toolchain erfüllen grundsätzlich 5 der untersuchten Programme. Aufgrund der einfachen Erweiterbarkeit um neue gebäude- bzw. anlagentechnische Komponenten, dem bereits großen Modellumfang sowie positiver Erfahrung mit verfügbaren Schnittstellen wurde für die weitere Bearbeitung das Simulationstool TRNSYS (Website TRNSYS) gewählt.

Im Gegensatz zu anderen Tools steht für TRNSYS auch eine stabile Schnittstelle für Co-Simulationen zur Verfügung (Jungwirth, 2012; Fischer, 2012). Sie ermöglicht eine bidirektionale Kommunikation zu jedem Zeitschritt und dient auch der Synchronisation und Ablaufsteuerung der Co-Simulation.

Bedienoberfläche, Regelung und Ablaufsteuerung

Für die Bedienoberfläche, die übergeordnete Ablaufsteuerung sowie das Datenmanagement wurde die grafische Programmiersprache LabVIEW (Website LabVIEW) ausgewählt. LabVIEW bietet, neben der Möglichkeit eine ansprechende Bedienoberfläche zu erstellen, auch umfangreiche Werkzeuge um ein Datenmanagement und die

Ablaufsteuerung zu implementieren. Auch im Bereich der Regelung erfüllt LabVIEW alle Anforderungen. Durch eine Vielzahl vorhandener Schnittstellen kann die Toolchain auch in Zukunft einfach erweitert werden.

TOOLCHAIN

Implementierung und Programmablauf

Die Toolchain besteht aus einer Kopplung der beiden Programme LabVIEW und TRNSYS, deren jeweilige Vorteile genutzt werden. So wurde in LabVIEW die Bedienoberfläche, die Ablaufsteuerung, die Regelung, die Datenhaltung und die Datenexportfunktion implementiert. Die Simulation der Gebäude- und Anlagentechnik erfolgt hingegen in TRNSYS. Gleichzeitig ist die Bedienung auf nur einer Oberfläche möglich.

In Abbildung 4 werden die drei Hauptbestandteile der Toolchain dargestellt:

- User-Interface für Eingaben (LabVIEW)
- Co-Simulation (LabVIEW und TRNSYS)
- User-Interface für Auswertung und Datenexport (LabVIEW)

LabVIEW läuft während des gesamten Berechnungsprozesses im Hintergrund und regelt den Ablauf der Toolchain. Nach Abschluss der Simulation werden über LabVIEW sowohl die Daten wie auch alle Regelparameter gespeichert, um diese bei Bedarf in eine CSV-Datei zu exportieren.

TRNSYS kommt nur im Rahmen der Co-Simulation zum Einsatz und führt hier die Simulation des Gebäude- und Anlagenmodells durch. Die zur

Verfügung stehenden Modelle werden in einem speziellen Verzeichnis abgelegt und werden beim Start der Toolchain dynamisch geladen.

In der ersten Phase werden zunächst alle Parameter initialisiert, um Beeinflussungen durch vorherige Anwendungen der Toolchain auszuschließen. Der Nutzer wählt in der Maske *Grundeinstellungen* (Abbildung 3) ein Gebäudemodell sowie wichtige Parameter für die Simulation aus. Dies sind beispielsweise der Standort, der Zeitraum und der Zeitschritt der Simulation. Mit diesen Daten wird das TRNSYS Deck-File modifiziert und in ein separates Verzeichnis kopiert. Dieses Deck ist die zentrale Steuerdatei, die alle Informationen des jeweiligen Gebäude- und Anlagenmodells enthält. Hier sind beispielsweise die Parameter der einzelnen Module sowie deren Verknüpfung festgelegt. Außerdem sind hier Links zu externen Daten, wie zum Beispiel dem Wetterfile, hinterlegt.

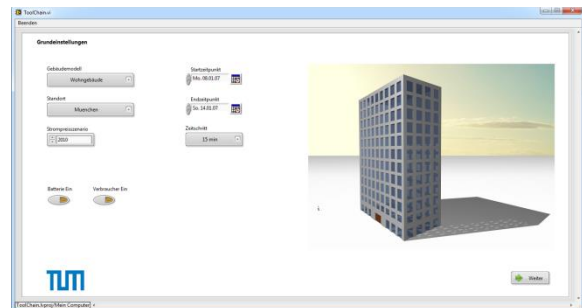


Abbildung 3: Eingabemaske für Grundeinstellungen

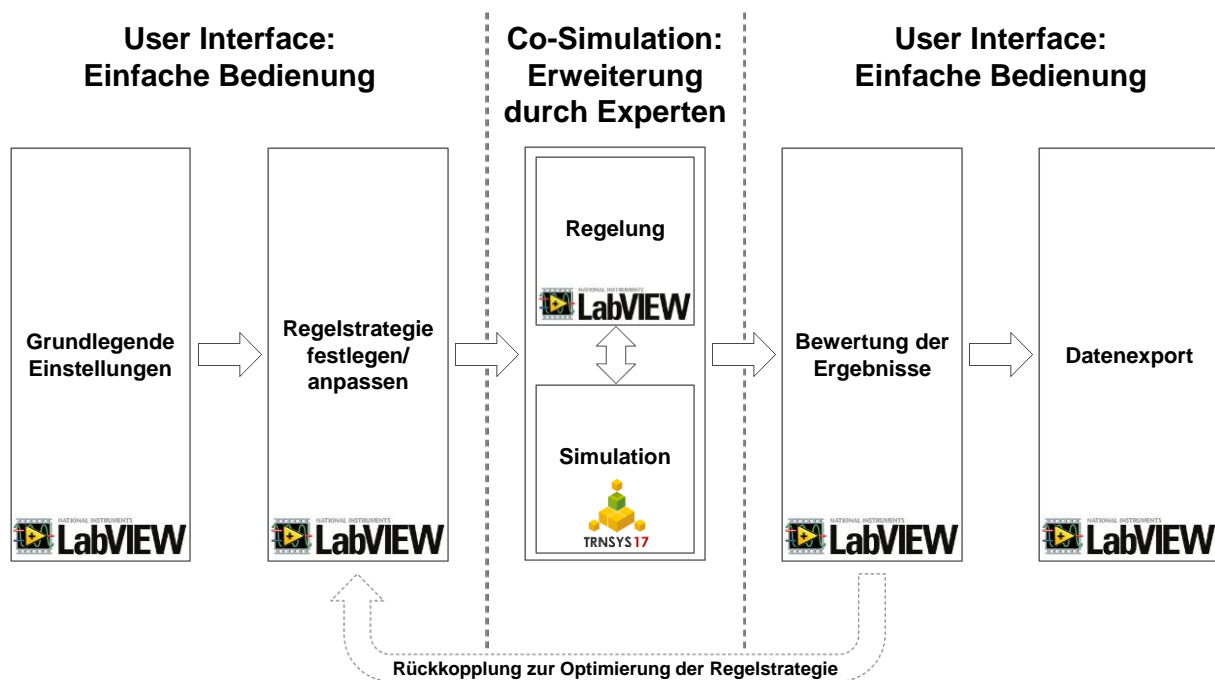


Abbildung 4: Ablaufdiagramm der Toolchain

Anschließend erfolgt die Eingabe der Regelparameter in der Maske *Regelstrategie festlegen*, siehe Abbildung 5. Die Besonderheit liegt hierbei auf der intuitiven Bedienbarkeit, die es ermöglicht, ausgehend von einfachen Regelbausteinen eine komplexe Regelstrategie zu entwerfen.

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, ist die Eingabemaske *Regelstrategie festlegen* zweigeteilt. Links können in unterschiedlichen Registerkarten neue Regelparameter angelegt werden. Nach einem Klick auf *Hinzufügen* wird diese dann in einem Cluster gespeichert und in der Liste auf der rechten Seite angezeigt. Jetzt besteht die Möglichkeit, einzelne Regelbausteine zu bearbeiten oder zu löschen. Zusätzlich ist es möglich, die gesamte Regelstrategie abzuspeichern oder zu laden.

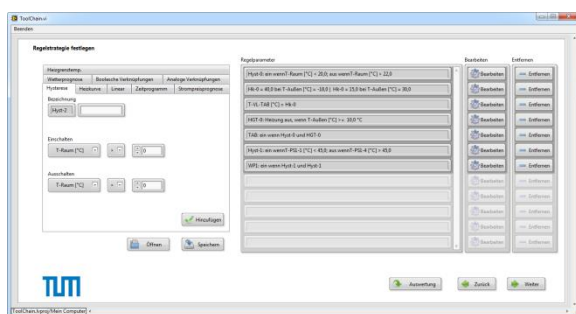


Abbildung 5: Eingabemaske für Regelstrategie festlegen

Mögliche Regelbausteine sind Hysterese, Heizkurve, lineare Zusammenhänge, Strompreis- und Wetterprognose sowie Heizgrenztemperatur. Durch sie wird je Regelbaustein eine neue Boolesche oder Numerische Variable erzeugt, die dann von einer oder mehreren Eingangsgrößen und dem jeweiligen Parameter abhängt. Die beiden Regelbausteine boolesche Verknüpfungen und numerische Verknüpfungen ermöglichen es, diese Variablen weiter zu kombinieren. Hier ist es möglich, weitere Variablen zu erstellen oder direkt einen Ausgang anzusteuern. Die Ein- und Ausgangswerte werden in Abhängigkeit des gewählten Simulationsmodells dynamisch geladen.

In der zweiten Phase wird die Co-Simulation ausgeführt. Hierfür wird TRNSYS von LabVIEW aus mit dem angepasstem Deck-File gestartet. In jedem Zeitschritt berechnet TRNSYS die Zustände des Gebäudes sowie der Anlagen und übergibt die Ergebnisse an LabVIEW. Hier wird die Regelung ausgeführt und die entsprechenden Regelgrößen, wie Schaltbefehle, Sollleistungen oder Vorlauftemperaturen an TRNSYS zurückgegeben. Daraufhin berechnet TRNSYS den nächsten Zeitschritt und der Ablauf beginnt von neuem. Während die Co-Simulation abläuft, werden in der Bedienoberfläche in Echtzeit Daten, z.B. Temperaturen oder Leistungsdaten der technischen Systeme, zur Visualisierung in Graphen angeboten.

Im letzten Schritt lädt LabVIEW nach Beendigung der Co-Simulation alle verfügbaren Daten und bietet diese zur weiteren Analyse an. Hier können Auswertungen bezüglich vordefinierter Use-Cases automatisch durchgeführt werden. In Abbildung 6 ist auf der linken Seite die Registerkarte ersichtlich, die zur Auswahl des gewünschten Use-Cases dient. Im rechten Teil der Eingabemaske werden nochmals alle Regelparameter angezeigt, um Rückschlüsse auf deren Einfluss ziehen zu können. Als vordefinierte Use-Cases stehen *Eigenverbrauchsoptimierung*, *Teilnahme an einem Strommarkt*, *Einhalten einer Prognose* und *Arbeits-/Leistungspreis* zur Verfügung.

Die Datenexportfunktion ermöglicht es, alle Daten sowie Einstellungen, Regelstrategien und Simulationsergebnisse zu speichern. Somit ist die Dokumentation der Regelstrategie sichergestellt und es kann zusätzlich mit einer gängigen Tabellenkalkulationssoftware eine individuelle Auswertung durchgeführt werden.

Von dieser Ansicht kann bei Bedarf zur Maske *Regelparameter festlegen* zurückgesprungen werden, um hier Anpassungen vorzunehmen. Somit kann in einem iterativen Prozess die Regelstrategie optimiert werden.

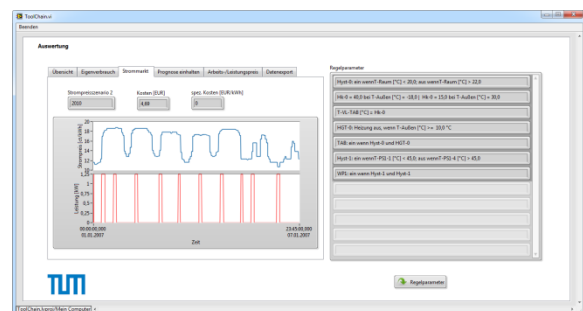


Abbildung 6: Eingabemaske für Auswertung

Erweiterbarkeit

Ein besonderer Vorteil der Toolchain ist ihre Erweiterbarkeit. Da die Schnittstellen klar definiert sind, können alle Einzelteile individuell angepasst und erweitert werden. Es ist somit einfach möglich neue Gebäudemodelle, Standorte oder weitere Regelungsparameter zu implementieren. Auch weitere Use-Cases können im Bereich der Auswertung hinzugefügt werden.

Für diese Erweiterungen ist jedoch Expertenwissen im jeweiligen Programm erforderlich. So müssen neue Gebäudemodelle in TRNSYS erstellt und validiert werden. Erweiterungen im Bereich der Regelung und Auswertung erfordert LabVIEW-Kenntnisse. Im Gegensatz dazu können Wetterfiles durch einfaches Kopieren von TM2-Dateien in den entsprechenden Ordner ergänzt werden. Bei jedem Programmstart wird der Ordnerinhalt gescannt und bei Veränderungen ein Update der Datenbank mit den hinterlegten Wetterinformationen ausgeführt.

SIMULATIONSERGEBNISSE

Gebäude- und Anlagenmodell

Das hier beispielhaft gewählte Gebäudemodell stellt eine Wohnungseinheit mit 65 m² Nutzfläche eines Mehrfamilienhauses dar. Als Standort wurde München gewählt. Sämtliche Bauteile (Wände, Fenster etc.) entsprechen dem Passivhausstandard (Website Passivhausstandard). Neben einer internen Wärmegrundlast werden die internen Gewinne von zwei Bewohnern und der Beleuchtung separat berücksichtigt.

Als Wärmeübergabesystem kommt eine Fußbodenheizung zum Einsatz. Die Heizwärme wird von einer Grundwasserwärmepumpe bereitgestellt. Zusätzlich steht ein Pufferspeicher mit 0,5 m³ zur Verfügung, der eine zeitliche Verschiebung der Betriebszeiten der Wärmepumpe ermöglicht. Zudem ist eine PV-Anlage abgebildet, deren erzeugte Energie entweder im Gebäude verbraucht werden kann oder ins Stromnetz eingespeist wird.

Der Simulationszeitraum erstreckt sich auf die Woche vom 08. bis 14. Januar mit einem Zeitschritt von 15 min.

Einfache Regelstrategie

In Tabelle 1 wird eine einfache Regelstrategie dargestellt, mit der die Raumtemperatur in der Wohnung zwischen 20°C und 22°C gehalten wird. Die thermische Beladung des Pufferspeichers erfolgt, wenn im oberen Bereich des Speichers 45°C unterschritten werden und wird beendet, wenn im unteren Bereich 45°C überschritten werden.

Tabelle 1: Einfache Regelstrategie

Hyst-0: ein wenn T-Raum [°C] < 20; aus wenn T-Raum [°C] > 22
HGT-0: Heizung aus, wenn T-Außen [°C] >= 10
FBH: ein wenn Hyst-0 und HGT-0
Hk-0 = 40 bei T-Außen [°C] = -18
Hk-0 = 15 bei T-Außen [°C] = 30
T-VL-FBH [°C] = Hk-0
Hyst-1: ein wenn T-PS1-1 [°C] < 45; aus wenn T-PS1-4 [°C] > 45
WP1: ein wenn Hyst-1 und Hyst-1

Über die Hysterese *Hyst-0* wird ein Schaltsignal erzeugt. Die Heizgrenztemperatur *HGT-0* begrenzt den Heizbetrieb auf Zeiten zu denen es kälter als 10°C ist. Die boolesche Verknüpfung *Hyst-0* und *HGT-0* wird an den Ausgang *FBH* übergeben. Damit wird die Fußbodenheizung in Abhängigkeit von *T-Raum* ein- und ausgeschaltet. *T-VL-FBH* gibt die Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung aus, die durch die Heizkurve *HK-0* festgelegt ist. Durch *Hyst-1* wird die Beladung des Pufferspeichers geregelt und die Wärmepumpe über *WP1* angesteuert.

Mit dieser Regelung ergeben sich die in Abbildung 7 gezeigten Verläufe für die elektrische Leistung der Wärmepumpe (blau) der PV-Erzeugung (rot) und die Residuallast (grün; die resultierende Netzlast aus

Verbrauch minus Erzeugung). In der dargestellten Auswertemaske für den Use-Case *Eigenverbrauch* zeigt sich, dass der Betrieb der PV-Anlage und der Wärmepumpe nur geringfügig korreliert. Der solare Deckungsgrad, das Verhältnis von Eigenerzeugung zu Verbrauch, beträgt lediglich 0,4%, der Eigenverbrauchsanteil ergibt sich zu 13,8%.

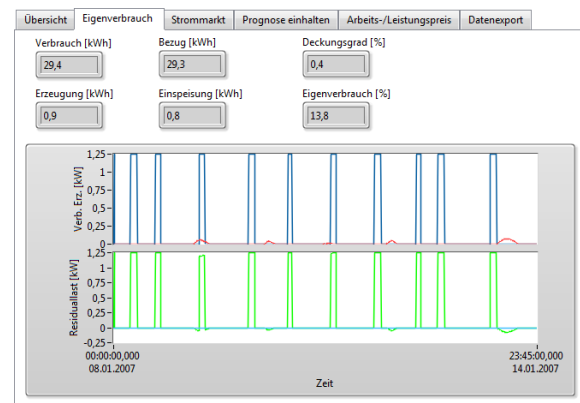


Abbildung 7: Auswerteregister Eigenverbrauch

Optimierte Regelstrategie

Um den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen, wird die Regelstrategie, wie in Tabelle 2 gezeigt, modifiziert und erweitert.

Tabelle 2: Optimierte Regelstrategie

Hyst-0: ein wenn T-Raum [°C] < 20; aus wenn T-Raum [°C] > 22
HGT-0: Heizung aus, wenn T-Außen [°C] >= 10
FBH: ein wenn Hyst-0 und HGT-0
Hk-0 = 40 bei T-Außen [°C] = -18
Hk-0 = 15 bei T-Außen [°C] = 30
T-VL-FBH [°C] = Hk-0
Hyst-1: ein wenn T-PS1-1 [°C] < 45; aus wenn T-PS1-4 [°C] > 45
Hyst-2: ein wenn T-PS1-1 [°C] < 35; aus wenn T-PS1-4 [°C] > 35
WProg-0: True, wenn Einstrahlung > 5% von [Min-Max]; Prognosezeitraum: 24 h
Boolesch-0: ein wenn WProg-0 und Hyst-1
WP1: ein wenn Boolesch-0 oder Hyst-2

Zunächst wurde der Ausgang *WP1* gelöscht und drei neue Regelparameter hinzugefügt. *Hyst-2* belädt den Speicher auf einem niedrigeren Temperaturniveau und greift, wenn keine Sonneneinstrahlung vorhanden ist. *WProg-0* wertet die solare Einstrahlung der nächsten 24 h aus und erzeugt ein „True-Signal“, wenn 5% des Maximalwertes der solaren Einstrahlung des Vorhersagezeitraums erreicht sind. Die Variable *Boolesch-0* wird „True“, wenn die Regelparameter *WProg-0* und *Hyst-1* „True“ sind, wodurch *Hyst-1* nur bei solarer Einstrahlung wirken kann. Der Ausgang *WP1* wird in Abhängigkeit der Regelparameter *Boolesch-0* oder *Hyst-1* geschaltet. Dadurch wird der Speicher bei solarer Einstrahlung auf einem höheren Temperaturniveau (45°C) geladen als in der übrigen Zeit (35°C).

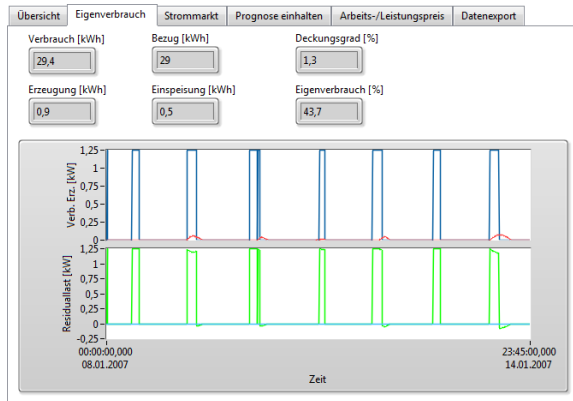


Abbildung 8: Auswerteregister Eigenverbrauch mit optimierter Regelstrategie

Wie die Auswertung in Abbildung 8 zeigt, fällt der Wärmepumpenbetrieb (blau) jetzt deutlich öfter in Zeiten mit PV-Erzeugung (rot). Dadurch kann der Eigennutzungsanteil auf 43,7% gesteigert werden wobei der solare Deckungsanteil steigt auf 1,3%.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Toolchain kann durch die Kombination einer Co-Simulation mit einer einfachen Benutzeroberfläche die Entwicklung von Regelstrategien im Gebäudebereich deutlich vereinfachen. Durch die Möglichkeit, detaillierte TRNSYS-Modelle einzusetzen, wird eine realitätsnahe Simulation von Gebäude und Anlagentechnik ermöglicht. Die LabVIEW Bedienoberfläche erlaubt es auch Nutzern mit wenig Simulationserfahrung Regelstrategien zu erstellen und zu testen. Durch die integrierte Auswertefunktion können die Ergebnisse schnell bewertet werden und die Regelparameter in einem iterativen Prozess je nach Anwendungsfall angepasst werden.

Der Einsatz der entwickelten Toolchain kann in Zukunft den Zeit- und damit auch Kostenaufwand für die Entwicklung geeigneter Regelstrategien deutlich senken. Zudem kann einem wesentlich breiteren Spektrum von Anwendern der Zugang zu detaillierten simulationsbasierten Entwicklungswerkzeugen ermöglicht werden. Dadurch kann den immer komplexeren Anforderungen, die seitens Planer, Betreiber oder Nutzer an Gebäude gestellt werden, bereits frühzeitig in der Planungsphase Rechnung getragen werden.

LITERATUR

- Fischer, M. 2012. Entwicklung von Regelstrategien zur Umsetzung eines Lastmanagements in Gebäuden, Diplomarbeit, TU München
- Jungwirth, J. 2012. Aufbau einer Hardware-in-the-Loop-Versuchsumgebung für Gebäudeautomationssysteme, Virtuelle Instrumente in der Praxis 2012, Begleitband zum 17. VIP-Kongress, VDE VERLAG GMBH, Berlin
- Offenbach 2012, ISBN 978-3-8007-3412-2

Ljubijankić M., Nytsch-Geusen C. 2012. 3D/1D Co-Simulation von Raumluftrömungen und einer Luftheizung am Beispiel eines thermischen Modellhauses. 4. deutsch-österreichische IBPSA Konferenz, September 2012, Berlin

Website zu Building Controls Virtual Test Bed: <http://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb> [13-08-2014]

Website zur Programmiersprache LabVIEW: <http://www.ni.com/labview/d/> [14-07-2014]

Website mit Informationen zum Passivhausstandard: <http://www.passiv.de/> [14-07-2014]

Website zur Simulationsumgebung TRNSYS: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/default.htm> [14-07-2014]