

Prädiktive Gebäudeautomation

Prof. Elmar Bollin, Hochschule Offenburg, Forschungsgruppe NET
Dipl.-Ing. Thomas Feldmann, Hochschule Offenburg, Forschungsgruppe NET

Predictive Building Automation

Predictive building automation is used for night ventilation systems in summer to reduce power consumption of the ventilators and in thermal activated structural elements. First monitoring results show high potentials for energy savings and room comfort. Predictive control can be executed directly by the automation devices with new algorithms using weather prognosis data provided via web services.

predictive control; night ventilation; thermal activated structural elements;

1. Neuartige prädiktive Methoden der Gebäuderegulung und –steuerung

Aufgabe einer auf Nachhaltigkeit zielenden Gebäudeautomation muss es sein so wenig wie möglich fossile Energieträger zu nutzen und Nutzenergie so effizient wie möglich einzusetzen. Im Bereich der thermischen Energienutzung im Gebäude bedeutet das zum Beispiel, unnötige Überhitzungen von Räumen zu vermeiden oder thermisch aktivierbare Bauteilsysteme TABS so zu temperieren, dass sie mit dem jeweiligen Außenklima korrelieren. Für den Betrieb von Gebäuden und Anlage werden heute umfassende und differenzierte Wetterprognosedaten u.a. in von Webservices angeboten. Prädiktive Gebäudeautomation nutzt diese Prognosedaten um ein Gebäude vorausschauend auf die Wetterbedingungen der nächsten Tage einzustellen. So kann z.B. bei der nächtlichen freien Kühlung eines Gebäudes genau diejenige Menge an kühler Nachtluft dem Gebäude zugeführt werden, die für den optimalen Raumkomfort des nächsten Tages erforderlich ist. Prädiktive Gebäudeautomation zielt ferner darauf ab, thermisch aktivierte Bauteilsysteme TABS vorausschauend so zu beladen bzw. zu entladen, dass sie mit einem minimalen Zusatzenergiebedarf bei moderaten Betriebstemperaturen auskommen und die Potentiale des bauteilintegrierten Energie-Verteilsystems umfassend ausgenutzt werden kann. Das Regelverhalten der massiven Bauteile ist geprägt durch hohe Zeitkonstanten beim Be- und Entladen der thermischen Masse, was eine schnelle Anpassung der Raumtemperaturen an die jeweiligen Außendingungen erheblich erschwert. Deshalb ist der Einsatz von Wetterprognosen gerade bei der Steuerung von TABS hilfreich.

2. Gebäudeautomation: Schlüssel zu einem effizienten Gebäudebetrieb

Im Bereich der Nicht-Wohngebäude sprich Verwaltungsgebäude, Geschäftsgebäude, Krankenhäuser, Flughäfen, um nur einige zu nennen, hat sich seit vielen Jahren die digitale Gebäudeautomation GA bestens bewährt. Im Bereich der öffentlichen Gebäude speziell der Schulgebäude wird sie heute vermehrt eingesetzt und selbst im Wohnungsbau in Mehrfamilienhäusern hält die digitale GA heute Einzug.

Die digitale Technologie bringt damit zusätzliche Optionen für den Gebäudebetrieb mit, die für den Gebäudebetreiber und den Facility- Manager von großem Vorteil sind: Digitale Regel- und Steuergeräte sind kommunikativ und zum großen Teil frei-programmierbar. Dies bedeutet zum einen, dass heute in der Regel alle Automationsgeräte im Gebäude mit einander vernetzt sind (Automationsverbund) und damit eine übersichtliche Betriebsüberwachung ermöglichen. Zum andern ermöglicht es Daten aus dem Gebäudebetrieb aus der Ferne, also remote, abzufragen (Monitoring) und zu Bewerten (Benchmarking). Damit befinden sich die Gebäude nicht mehr einem energetischen Blindflug, sondern können im Rahmen eines Gebäudemanagements oder Energiemanagement kontinuierlich beobachtet, analysiert und optimiert werden. Modifikationen von Steuerungen und Steuerparametern sind ständig möglich, so dass der Betrieb fortlaufend optimal an geänderte Nutzungsbedingungen, Wetterlagen, Tarifbedingungen anpassbar ist.

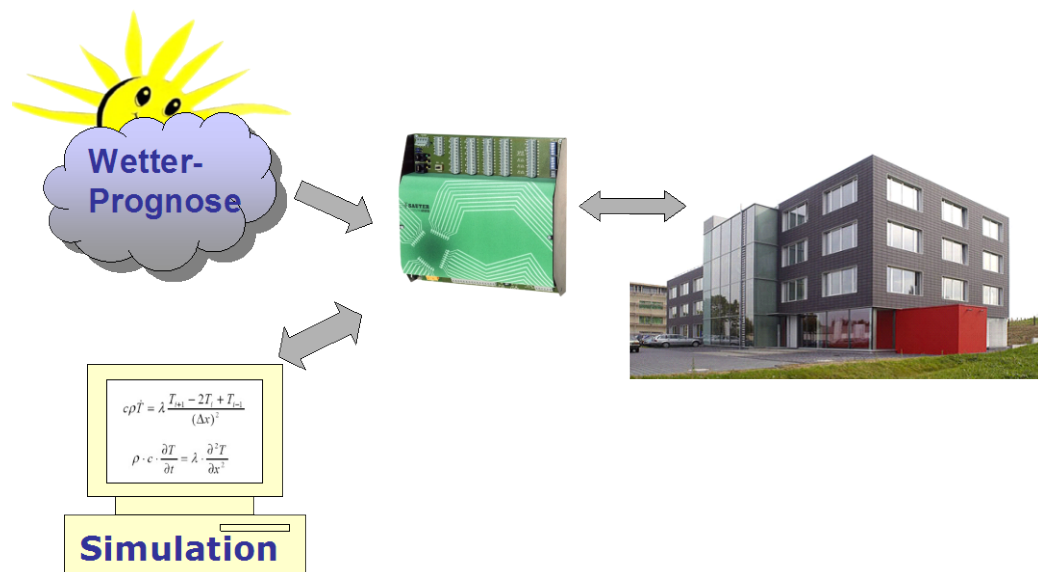


Bild 1: Konzept der prädiktiven Gebäudeautomation mit direktem Zugriff der vor Ort vorhandenen Automationsgeräte auf Wetterdaten aus dem Internet

3. Erweiterte Möglichkeiten mit prädiktiver Gebäudeautomation

Die Anpassung von Steuerung und Regelung an die jeweiligen Betriebsbedingungen kann dabei vollautomatisiert erfolgen. Mittels Datenservern können nicht nur automatisierte Bewertungen und Vergleichszahlen online erstellt und per Webservices den Betreibern zur Verfügung gestellt werden. Durch automatisierten Einbezug weiterer nützlicher Datenquellen wie Wetterdaten können vorausschauende Steuer- und Regeleingriffe in den Gebäudebetrieb vorgenommen werden. Anders formuliert: Das Gebäude kann frühzeitig optimal auf den kommende Tag mit den kommenden Klimabedingungen eingestellt werden.

Dies hat auch Vorteile für einen nachhaltigen, energieeffizienten Gebäudebetrieb. So steht zum Beispiel im Sommer, wenn das Gebäude tagsüber gekühlt werden muss um Übertemperaturen im Raum zu vermeiden, bei Nacht ausreichend kühle Außentemperatur zur Verfügung, um die Gebäudemasse auszukühlen. Dies

geschieht bereits heute mit Hilfe der Gebäudeautomation im Rahmen der so genannten freien Kühlung. Frage ist nur: Wie viel Kälte wird benötigt und wie kann unnötiger Ventilatorbetrieb bei Nacht vermieden werden.

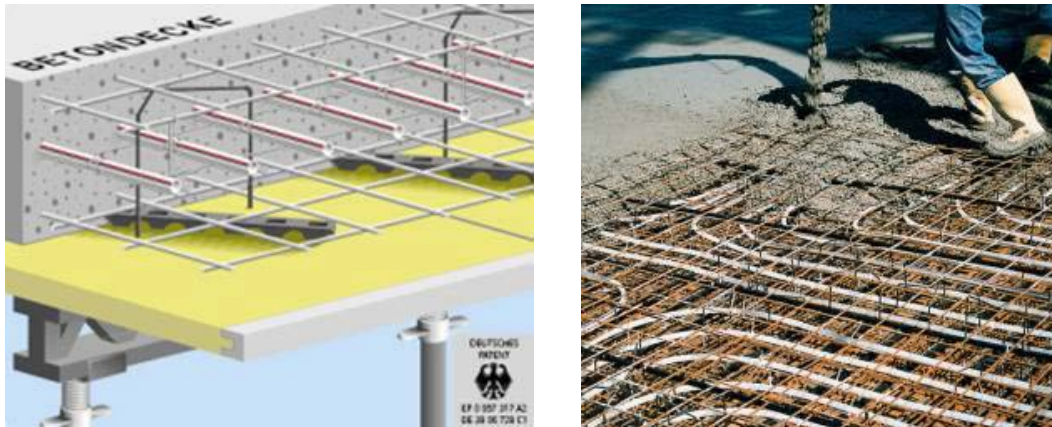


Bild 2: Thermische Bauteilaktivierung durch Integration wasserführender Rohrsysteme in Deckenelemente.

Ein weiteres Beispiel für einen sinnvollen Einsatz prädiktiver Automation ist die in zahlreichen neuen Gebäuden vorhandene thermische Bauteilaktivierung. Mit Hilfe von wasserführenden Rohrleitungssystemen kann Kälte und Wärme bei moderaten Temperaturen in die Fußböden und Decken geführt werden und so thermische Lasten aus den Räumen abgeführt werden (siehe hierzu Bild 2). Da dies bei moderaten mit Betriebstemperaturen nahe der Raumtemperatur, also zwischen 18 und 26 °C, geschieht, können dafür vermehrt regenerative Energiequellen genutzt werden wie



Bild 3: Ansicht des untersuchten sic Gebäudes in Freiburg.

z.B. Wärme oder Kälte aus dem Erdreich oder Wärme von Sonnenkollektoren. Gelingt es die thermische Gebäudemasse optimal der jeweiligen Nutzung und den Klimabedingungen anzupassen, können enorme Mengen an fossiler Energie eingespart, Emissionen vermieden und die Behaglichkeit in den Räumen verbessert werden. Ganz nach dem Motto: Energiesparen und Wohlfühlen. Letztlich bedeutet es auch eine optimale Ausnutzung einer Zusatzinvestition TABS mit Hilfe innovativer Betriebsweisen vorzunehmen.

4. Vorausschauende nächtliche freie Kühlung auf Basis von Wetterprognose

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit Solarbau:Monitor war die Hochschule Offenburg mit der wissenschaftlich-technischen Begleitung eines Bauvorhabens, dem Solar Info Center sic in Freiburg, beauftragt. Neben einem ausführlichen Monitoring des Gebäudebetriebs, verbunden mit einem Benchmarking zum Vergleich mit ähnlichen Niedrigenergiegebäuden war hier die Aufgabe, mit Hilfe der Gebäudeautomation weitere Energieeinsparpotentiale zu erschließen.

Nach einer Detailanalyse der ausgeführten Gebäudeautomation für Heizung, Lüftung und Tageslichtnutzung entwickelte sich für den Bereich der nächtlichen Kühlung eine Projektidee für eine prädiktive Steuerung. Diese hatte zum Ziel den Betrieb der Ventilatoren im Sommer bei Nacht auf das notwendige Minimum zu reduzieren und zugleich das regenerative Potential der nächtlichen freien Kühlung möglichst optimal für die Raumklimatisierung zu nutzen. Klagen der Nachbarn des Gebäudes über nächtliche Ventilatorgeräusche sollten ebenfalls entsprochen werden.

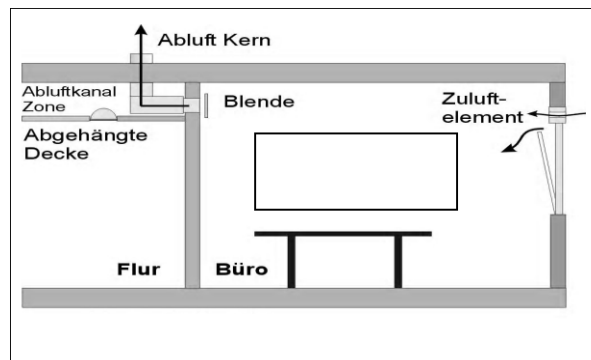


Bild 4: Schematische Darstellung der Funktionsweise des dezentralen Abluftsystems im sic Freiburg.

Für die Umsetzung wurde zunächst in Anlehnung an Bild 1 für den idB Server an der Hochschule Offenburg ein Zugang zum vorhandenen Gebäudeautomationsystems GA- System im sic geschaffen. Mit Hilfe der OPC Server Technologie konnten die für den Betrieb der Nachlüftung in der GA auflaufenden relevanten Daten an der Hochschule Offenburg erfasst und ausgewertet werden. Der OPC Server ermöglicht ferner eine bidirektionale Kommunikation mit dem GA- System, so dass auch Steuereingriffe vorgenommen werden konnten.

Im sic ist für die einzelnen Räume ein zentrales Abluftsystem installiert. Bild 4 zeigt schematisch die Funktionsweise des Abluftsystems im sic Freiburg. Für die freie Kühlung im Sommer wird nachts mit maximaler Ventilatorleistung kühle Außenluft durch den Raum gespült. Das Lüftungskonzept basiert dabei auf Zuluftöffnungen über den jeweiligen Fenstern und einer zentralen Luftabsaugung.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde von der Forschungsgruppe NET ein Steueralgorithmus entwickelt und realisiert, der auf Basis eines Expertensystems mit Fuzzy Control Algorithmen eine so genannte Lüftungsintensität für den nächtlichen Betrieb errechnet. Die Berechnung geschieht dabei automatisch anhand der jeweiligen Raumtemperatur um Mitternacht sowie mit Hilfe eines per ftp-Download bereitgestellten Prognosewertes der maximalen Außentemperatur des nächsten Tages. Auf Basis dieser Berechnung wird dann die Intensität der nächtlichen freien

Kühlung, das heißt die Dauer des Ventilatorbetriebs und der erforderliche Luftvolumenstrom ermittelt und automatisch gefahren.

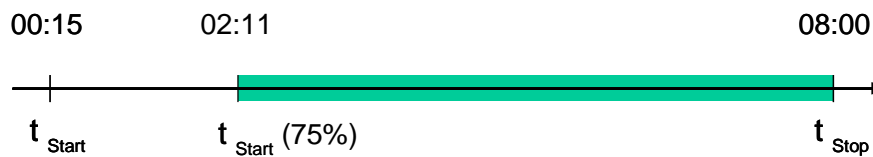


Bild 5: Darstellung der so genannten Lüftungsintensität, mit der die freie Kühlung je nach Raumtemperatur und prognostizierter Außentemperatur variabel betrieben werden kann.

Für die Validierung des Forschungsprojektes wurde ein Gebäudeteil mit insgesamt 10 Zonen des Gebäudes ausgewählt und mit dem modifizierten, prädiktiven Steueralgorithmus über einen Sommer hinweg betrieben. So lagen nach dem Ende der Sommerperiode 2006 belastbare Vergleichsdaten zu Behaglichkeit und Energieeinsparung durch den modifizierten Betrieb der nächtlichen freien Kühlung vor. Wie die Messwerte zeigten, wiesen die Räume in den Vergleichszonen vergleichbare behagliche Temperaturen auf. Allerdings konnte diese Behaglichkeit im Falle der prädiktiven Steuerung durch den reduzierten Ventilatorbetrieb mit einer Stromenergieeinsparung von 38% erreicht werden. An vielen Tagen im Sommer 2006 konnte sogar ganz auf die nächtliche Kühlung verzichtet werden, weil der kommende Tag wie vorhergesagt keine hohen Außentemperaturen mit sich brachte.



Bild 6: Gebäudeteile des sic in Freiburg und Markierung der ausgewählten Zone für den Testbetrieb mit prädiktiver Steuerung.

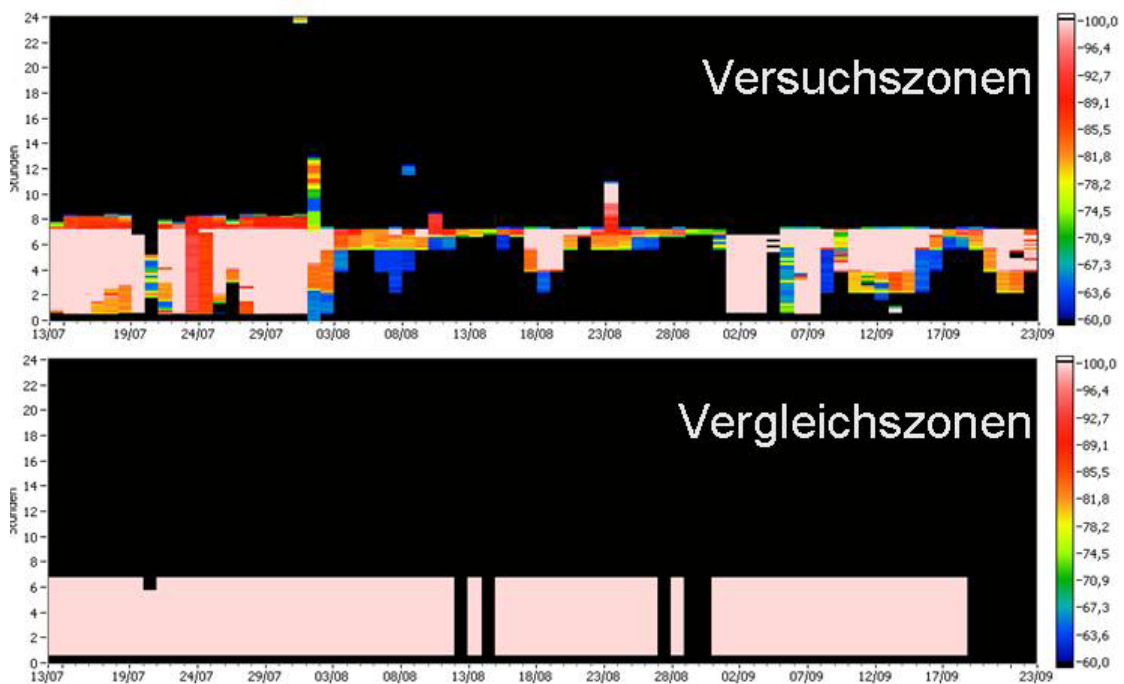


Bild 7: Carpetplot des Lüfterbetriebs im Vergleich der Zonen. Deutlich ist die Variabilität des nächtlichen Lüfterbetriebs in der Versuchszone zu erkennen, während die Vergleichszone in dieser Zeit in der Regel mit maximaler Ventilatorleistung betrieben wurde, obwohl die Außentemperaturen des nächsten Tages dies nicht erfordert hätten.

Dies hat den Eigentümer des sic dazu bewogen den prädiktiven Algorithmus für alle Zonen des Gebäudes zu übernehmen. Dieser ist jetzt Bestandteil der vorhandenen Gebäudeautomation und die Abfrage der Wetterprognose-Daten wird selbständig vom GA- System durchgeführt. Die Kosten für die prädiktive Steuerung entsprechen den Kosten für die Abänderung der GA Programmierung sowie minimalen Gebühren für den Wetteranbieter. Ergebnis des Vorhabens mit prädiktiver Gebäudeautomation: Eine nachhaltige und wirtschaftliche Maßnahme für einen effizienten Gebäudebetrieb.

5. Thermische Bauteilaktivierung mit prädiktiver Steuerung



Bild 8: Der Büroneubau der Elektror GmbH in Ostfildern bei Stuttgart verfügt über eine thermische Bauteilaktivierung mit prädiktiver Steuerung.

Im Rahmen des Forschungsverbundvorhabens Simulationsgestützte Automation für die nachhaltige sommerliche Klimatisierung von Gebäuden im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF konnte erstmalig im Sommer 2009 gezeigt werden, dass beim Betrieb der thermisch aktivierbaren Betondecken im Bürogebäude der Elektror GmbH in Ostfildern mit prädiktiven Steueralgorithmen hervorragende Ergebnisse erzielt werden können.

Wie auch im sic Gebäude wurde zunächst die Basis für ein durchgängiges Datenhandling geschaffen. Im Falle des Elektror Gebäudes in Ostfildern konnte mit Hilfe der Gebäudeleittechnik B-CON auf LabVIEW Basis der Fa. ICONAG eine volle Durchgängigkeit zum Server der Hochschule Offenburg hergestellt werden. Auf LabVIEW- Basis wurden zunächst die Steueralgorithmen unter Einbeziehung von Wetterprognosen in Offenburg entwickelt und getestet. Anschließend wurden sie auf die Gebäudeautomation bei der Elektror GmbH übertragen, wo sie heute mit Hilfe eines Webservices selbständig Wetterprognosen aus dem Internet abrufen können.

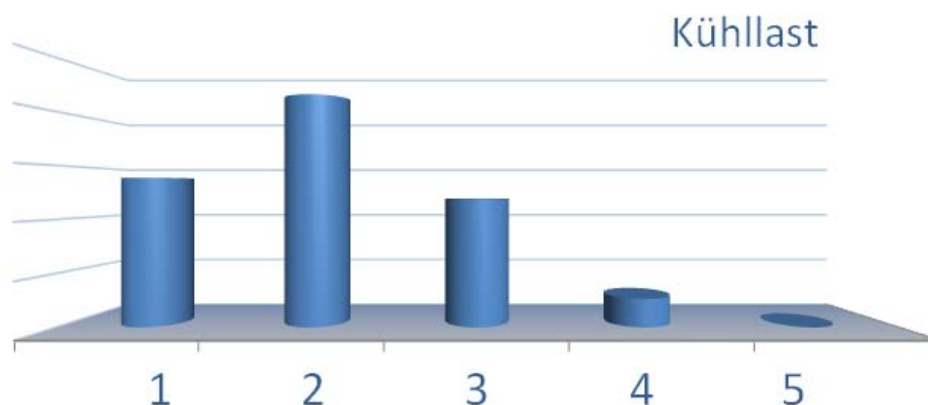


Bild 9: Vorhersage der Kühllast über fünf Folgetage. Die Vorhersage kann nach Vorliegen neuer Prognose-Daten ständig angepasst werden.

Mit Hilfe prognostizierter Daten für die Außentemperatur, die solare Einstrahlung sowie die Windgeschwindigkeit am Standort Ostfildern wurde auf dem Leitreechner bei Elektror fortlaufend eine Fünftagesprognose für die Kühllast berechnet. Auf Basis dieser Vorausrechnung wurden dann die Pulsweiten für den Betrieb der Umwälzpumpe der

Bauteilaktivierung vorgegeben, wobei immer mit einer konstanten Temperatur von 18 °C und konstantem Volumenstrom in die Bauteile gefahren wird.

Für den September 2009 sind in Bild 11 die Verläufe der Raumtemperaturen im 4. und 2. OG des Bürogebäudes bei Betrieb mit prädiktiv gesteuerter Bauteilaktivierung zu sehen. Das Verfahren ermöglicht es auf die jeweiligen kommenden Wetterbedingungen einzugehen und die thermische Gebäudemasse vorausschauend so zu temperieren, dass sich ein optimales Raumklima einstellt. Durch die Betriebsweise auf Basis der Pulsweitenmodulation des Pumpensteuersignals können die Potentiale des TABS bei Betrieb mit optimalen Temperaturen und maximalem Durchsatz voll ausgeschöpft werden. Ineffektives dauerhaftes Durchströmen der Bauteile bei mittleren Temperaturen verbunden mit hohen Betriebskosten lassen sich so vermeiden.

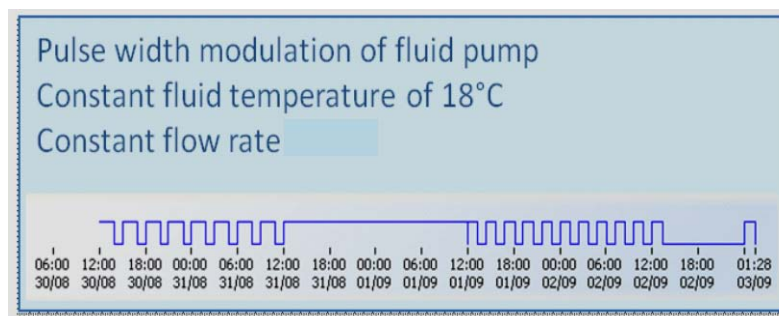


Bild 10: Pumpenbetrieb auf Basis einer Pulsweitenmodulation als Funktion der prognostizierten Kühllast.

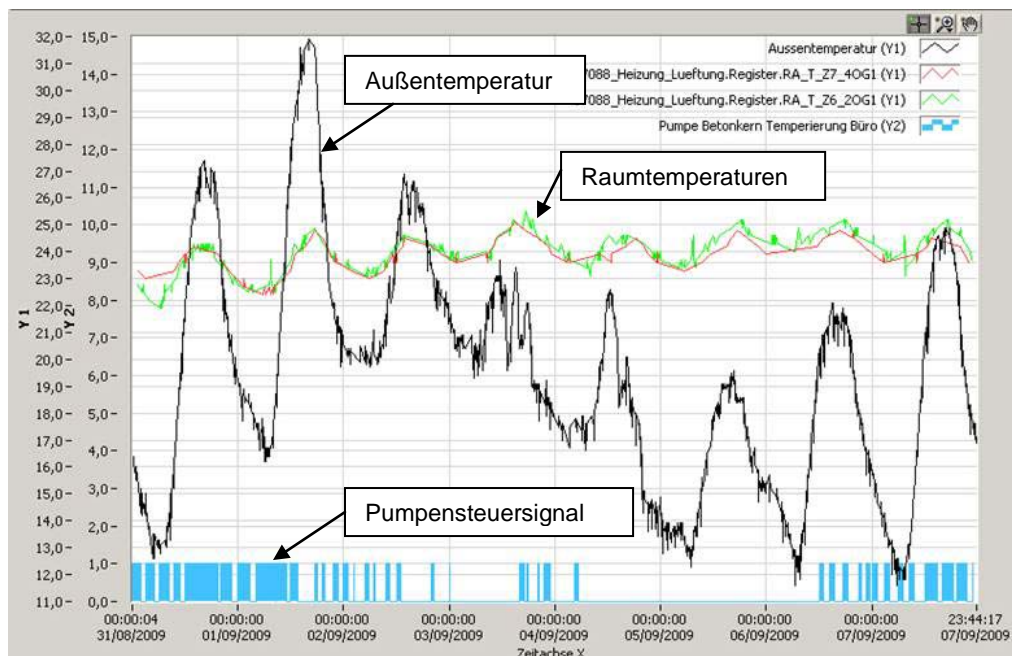


Bild 11: Verlauf der Raumtemperaturen, der Außentemperatur und des Pumpenbetriebs in der Bauteilaktivierung über 8 Tage im Sommer 2009. Deutlich ist zu sehen wie sich die Pulsweite an die geänderte Außentemperatur anpasst und die Raumtemperaturen dadurch über den gesamten Zeitraum im Bereich 22 °C bis 25 °C gehalten werden können.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Prädiktive Gebäudeautomation eröffnet neue sinnvolle Möglichkeit beim nachhaltigen Betrieb von Gebäuden. Durch vorausschauendes Steuern und Regeln können die Möglichkeiten vorhandener Gebäudetechnik besser ausgenutzt und regenerative Energiequellen vermehrt eingesetzt werden. Digitale Gebäudeautomation mit zusätzlichen Optionen für den Webzugang und erweiterten Werkzeugen sind in der Lage selbsttätig und in Zukunft selbstlernend die Aufgabe der prädiktiven Steuerung zu übernehmen.

In Zukunft wird es möglich sein, unterstützt von Messungen vor Ort, individuelle Wetterprognosen zu erstellen, per Langwellenfunksignal in die Automation von Gebäuden einzuspeisen und für den nachhaltigen Gebäudebetrieb zu nutzen. Diese Daten lassen sich dann nicht nur für die hier vorgestellte nächtliche freie Kühlung und die Steuerung von TABS nutzen, sondern können auch für Speicherladevorgänge in Verbindung mit regenerativer und rationeller Energienutzung eingesetzt werden. Hier bestehen noch erheblich Einsatzpotentiale.

Weiterführende Literatur:

Elmar Bollin (Hrsg.)

Automation regenerativer Wärme- und Kälteversorgung in Gebäuden, Verlag Teubner und Vieweg, Wiesbaden 2009