

RWTH-EBC 2019-001

Gebäudeautomationssysteme in der Praxis - Höhere Regelalgorithmen

T. Schild, M. Rademacher, M. Baranski, D. Müller

This document is a whitepaper containing the author's findings made by an online questionnaire. This document is published under Creative Commons BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Please cite this article as:

T. Schild, M. Rademacher, M. Baranski, D. Müller, *Gebäudeautomationssysteme in der Praxis - Höhere Regelalgorithmen*, Whitepaper
RWTH-EBC 2019-001, Aachen, 2019, <http://dx.doi.org/10.18154/RWTH-2019-00911>

Our open-source projects are available at <https://github.com/RWTH-EBC>

RWTH Aachen University
E.ON Energy Research Center
Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC)
Mathieustrasse 10, D-52074 Aachen

T +49 241 80-49760, F +49 241 80-49769,
post_ebc@eonerc.rwth-aachen.de, www.eonerc.rwth-aachen.de/ebc

GEBÄUDEAUTOMATIONSSYSTEME IN DER PRAXIS – HÖHERE REGELALGORITHMEN

Thomas Schild, Matti Rademacher, Marc Baranski, Dirk Müller

Dieser Bericht gibt die Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Online-Umfrage „Gebäudeautomationsysteme in der Praxis – Höhere Regelalgorithmen“ (09/2017) wieder. Diese vertieft die Untersuchung der ersten Online-Umfrage „Gebäudeautomationsysteme in der Praxis“ (11/2015) und richtet den Blick auf die Verwendung höherer Regelalgorithmen (HR) in der Praxis. Zwar belegen Forschungsergebnisse¹ seit vielen Jahren, dass HR hohes Energieeffizienzpotential aufweisen, jedoch bleibt eine breite Verwendung in der Praxis bis heute aus. Mit dieser Arbeit sollen etwaige Hemmnisse und die Rahmenbedingungen bei der Anwendung von HR identifiziert werden. Dabei fokussieren wir primär auf den Planungs- und Realisierungsprozess (P&R) von Gebäudeautomationsystemen (GA). Wie die erste Umfrage gezeigt hat, besteht insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität der Energiesysteme und dem hohen Entwicklungstempo durch die Digitalisierung bereits zunehmend der Bedarf die Methoden der Planungspraxis weiter zu entwickeln.. Aus den Umfrageergebnissen folgern wir, dass die HR die Komplexität der GA nochmals erhöhen werden. Daher sollte deren Handhabung in neuen P&R-Methoden konzeptionell vorgesehen werden.

Mit dieser Umfrage soll zunächst

- die Bekanntheit und Verbreitung höherer Regelalgorithmen gesteigert und
- Hemmnisse für die Implementierung von HR in der Gebäudetechnik untersucht werden.

Aufbauend darauf soll der P&R analysiert werden, indem

- der Stand der Technik erhoben,
- die Güte hinsichtlich Funktionalität und Energieeffizienz festgestellt,
- die Ursachen möglicher Ineffizienzen und
- der Forschungsbedarf für neue Planungsmethoden identifiziert wird.

¹ Experimental analysis of model predictive control for an energy efficient building heating system – Široký et al. (2010);

Advanced Control Methods – National Energy Technology Laboratory (2007);

A Linear Model Predictive Control for Advanced Building Energy Systems – Sangi et al. (2017);

Der Teilnehmerkreis besteht aus insgesamt **53 Personen**, die aus beruflichen Gründen als Hersteller, Planer, Errichter, Bauherr/Nutzer oder in der Forschung Erfahrung mit GA-Systemen haben. Die Gruppe der Bauherren und Nutzer stellt mit ca. 40 % den größten Anteil der Teilnehmer dar. Die Anteile der einzelnen Gruppen am Teilnehmerkreis ist in Abbildung 2 dargestellt.

Jeder Teilnehmer wurde in Abhängigkeit seiner Angaben durch die Umfragenteile geführt. Dadurch wird sichergestellt, dass jede Frage nur durch diejenigen Teilnehmer beantwortet wurde, denen die notwendige Qualifikation unterstellt werden kann. Dies dient der Qualitätssicherung der Umfrage, begründet aber variierende Grundgesamtheiten einzelner Themenfelder. Sofern dies in den einzelnen Abschnitten anders angegeben wird, ist von einer Grundgesamtheit von 53 Teilnehmern auszugehen.

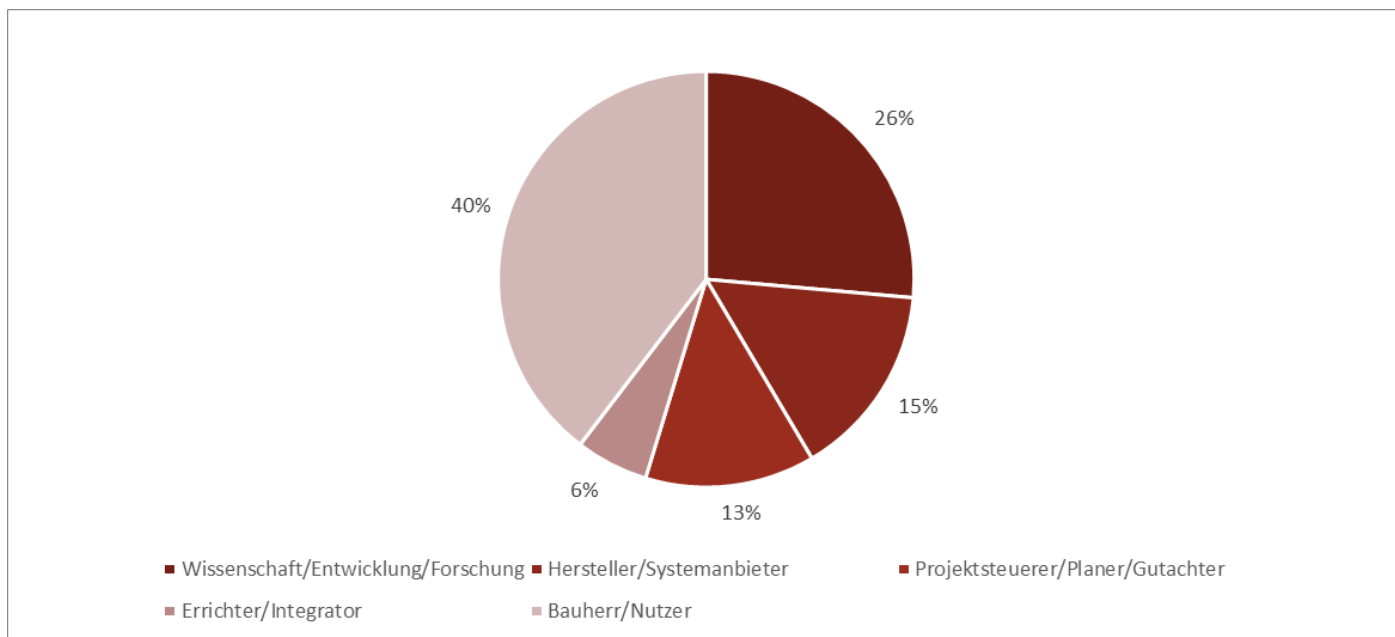


Abbildung 1 - Anteile der einzelnen Gruppen am Teilnehmerkreis der für diese Studie durchgeführten Umfrage unter Personen mit Berufserfahrung in der Gebäudeautomation

HÖHERE REGELALGORITHMEN

BEKANNTHEIT UND VERBREITUNG

Als Ausgangspunkt für die Umfrage wurden die Teilnehmer gefragt, ob und welche Methoden der HR ihnen bekannt seien. Dies ist bei einer Gruppe von 60 % der Fall. Hiervon haben 94 % ihre Kenntnisse aus Veröffentlichungen erlangt, 42 % beschäftigen sich im Rahmen Ihrer Arbeit mit HR und 18 % können bereits praktische Erfahrung mit HR aufweisen.

Abbildung 2 gibt eine detaillierte Übersicht über den Bekanntheitsgrad der abgefragten HR-Methoden und ein Meinungsbild, wie das Potential der jeweiligen Methode gesehen wird. Die positiven Antwortkategorien bauen aufeinander auf und spezifizieren lediglich den Grad der Bewertung. Am bekanntesten sind demnach *Model Predictive Control (MPC)* und *Fuzzy Logic Control (FLC)*, sowie *Gain Scheduling PID (GS)*. In diesen und im *Neuronal Network Control (NNC)* wird das höchste Potential gesehen. Dennoch ist zu erkennen, dass HR mit Ausnahme des MPC kaum weiterverfolgt werden, d. h. voraussichtlich auch in näherer Zukunft nicht in

die Praxis überführt werden. Die vermehrte Verwendung von MPC ist dabei vermutlich auf die verstärkte industrielle Anwendung² zurückzuführen.

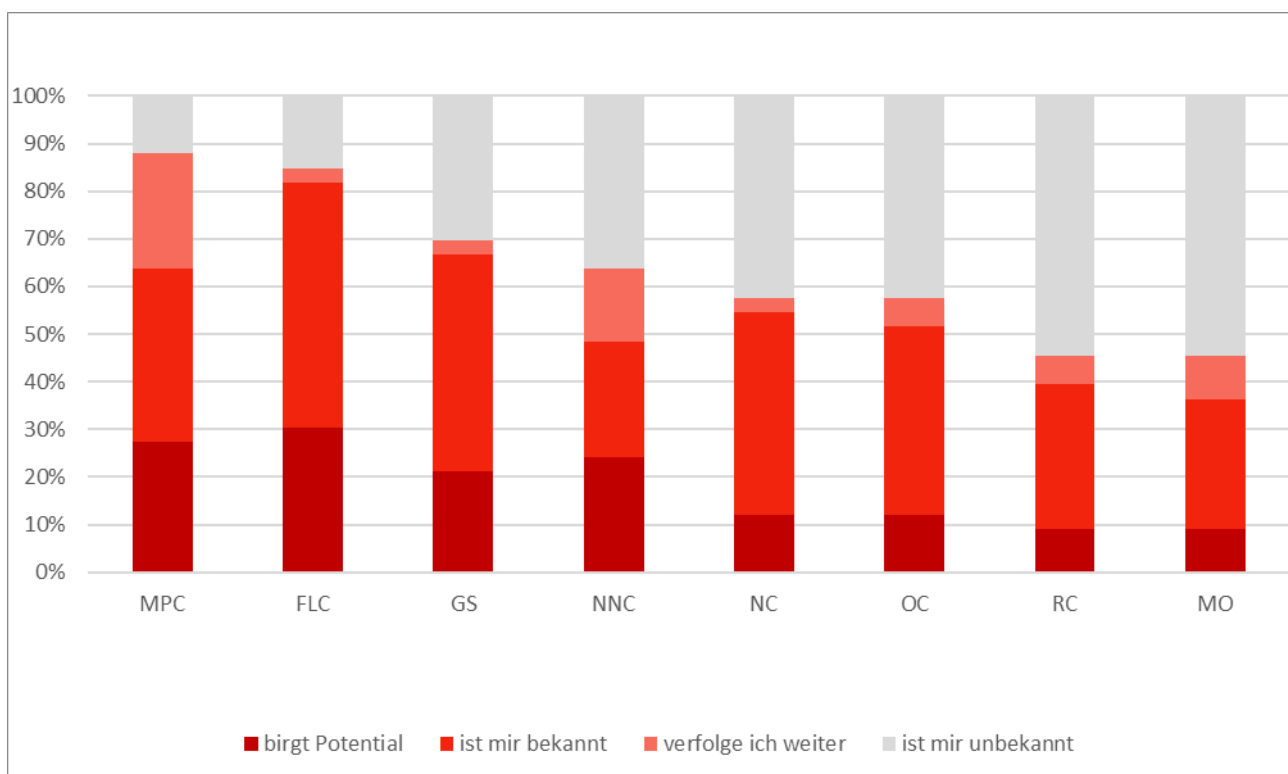


Abbildung 2 – Bekanntheit aller in der Umfrage dieser Studie abgefragten Methoden höherer Regelalgorithmen (Model Predictive Control (MPC); Fuzzy Logic Control (FLC); Gain Scheduling PID (GS); Neuronal Network Control (NNC); Nonlinear Control (NC); Optimal Control (OC); Robust Control (RC); Modellfreie Optimierungsalgorithmen (MO))

HEMMNISSE

Obwohl die Teilnehmer in HR nennenswertes Potential zur Verbesserung von Energieeffizienz, Funktionalität und Regelgüte sehen, gibt es dennoch Hürden zu deren Anwendung. Diese können technischer oder wirtschaftlicher Natur sein oder auf unzureichende Methoden für den Wissenstransfer aus der Forschung in die Praxis resultieren. Nach Meinung der Teilnehmer scheinen technische Gründe hierfür nicht zu bestehen: rund 80 % der Teilnehmer geben an, dass die GA grundsätzlich performant genug ist um HR im Kontext gebäudetechnischer Energiesysteme prozessieren und anwenden zu können. Wirtschaftliche Gründe werden in einem Unterangebot oder in zu geringer Nachfrage gesehen, die jedoch in unmittelbarer Wechselwirkung zueinander stehen. Um ein Produkt auf Basis der HR entwickeln zu können, ist insbesondere die Absatzperspektive in Form der Nachfrage von Bedeutung.

Rund 60 % der Teilnehmer geben an, dass diese nicht oder kaum vorhanden ist. Dies unterstreicht auch der geringe Bekanntheitsgrad der HR von nur 38 % in der Zielgruppe der Bauherren und Nutzern. Dies weist auf einen bis heute unzureichend ausgebildeten Markt für HR-Produkte hin. Die Gruppe derjenigen, die bereits heute ausreichende Nachfrage sehen besteht zu 50 % aus wissenschaftlich tätigen Teilnehmern. Hier wird deutlich, dass ein verstärkter Austausch zwischen allen Beteiligten erforderlich ist um HR im Sinne höherer Energieeffizienz verbreiten zu können.

² Modellbasierte prädiktive Regelung: Eine Einführung für Ingenieure – Dittmar et al. (2004);

Um HR in die Praxis überführen zu können, bedarf es nach Meinung der Teilnehmer geeigneter Methoden für deren Planung und Realisierung. Auf die Frage nach der Eignung heutiger Methoden für die Implementierung von HR geben 87 % der Teilnehmer an, dass der Stand der Technik des P&R hierfür ungeeignet ist

Verstärkend wirkt hier die hohe Entwicklungsgeschwindigkeit durch die Digitalisierung der Automatisierungstechnik und die damit zunehmende Interdisziplinarität und Komplexität. Neben der unzureichenden Nachfrage hemmen also auch der vergleichsweise langwierige Normungsprozess, der die Rechtsgrundlage für die Planung, die Realisierung und den Betrieb von Anlagen mit HR schaffen muss, sowie der Qualifizierungsprozess der Ingenieure den Wandel hin zu HR. In der Folge ist ein Festhalten an den bewährten, konventionellen Methoden zu erkennen.

PLANUNGS- UND REALISIERUNGSPROZESS

Aus den bisher präsentierten Ergebnissen lässt sich schließen, dass die Potentiale von HR selbst bei idealen Marktbedingungen mittelfristig kaum zu realisieren wären. Aus diesem Grund fokussiert sich dieser Abschnitt auf den P&R der GA. Zunächst erfolgt eine Erhebung des Standes der Technik der Systemumgebung, in die die HR eingebettet werden müssten. Der Fokus liegt dabei auf der Planung und Dokumentation der Steuerungsalgorithmen, sowie auf den Beschreibungsmitteln. Weiterhin wird der P&R entlang der Zeitachse auf Konsistenz überprüft.

STAND DER TECHNIK IN DER GA- BESCHREIBUNGSMITTEL

Um den aktuellen Stand erfassen zu können, wurden die Teilnehmer zunächst gefragt, ob sie in ihrer Tätigkeit selbst mit Steuerungen befasst sind. Dies trifft auf 66 % der Teilnehmer zu, von denen sich wiederum 64 % (also 43 % von der Grundgesamtheit) zutrauen, eine Steuerung eigenständig zu implementieren. Aufgrund des hohen Anteils an Personen, die praktische Erfahrung mit der Implementierung von Steuerungen haben, kann die Belastbarkeit der folgenden Ergebnisse angenommen werden.

Wie Abbildung 3 zeigt, stellen die Beschreibungsmittel der IEC-61131-3 erwartungsgemäß das bekannteste Beschreibungsmittel dar. 87 % der Teilnehmer ist mindestens eines dieser fünf Beschreibungsmittel bekannt. Dies ist auf die weite Verbreitung in der Prozess- und Anlagenautomatisierung zurückzuführen, wo in der Regel speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt werden. In der Gebäudeautomation ist dies in der Regel nicht der Fall. Hier finden überwiegend DDC (*direct digital control*) Anwendung, die zwar offene Kommunikationsschnittstellen unterstützen, aber häufig mit proprietären oder nicht standardisierten Konfigurationstools programmiert werden. Hierin finden sich üblicherweise Blockschaltbilder wieder, die auf Continuous Flow Charts (CFC) basieren. Dies bestätigt auch deren Platz unter den Top 6 der bekanntesten Beschreibungsmittel. Der Bekanntheitsgrad von rund 20 % weist jedoch auf eine untergeordnete Rolle dieses Beschreibungsmittels für die Automatisierungstechnik an sich hin.

Tatsächlich ist die Beschreibung von GA-Funktionen in zwei VDI-Richtlinienreihen verankert. Dies ist die VDI 3813 bezüglich der Funktionen der Raumautomation und die VDI 3814 bezüglich allgemeiner GA-Funktionen. Die Bestandteile der Dokumentation von Steuerungsalgorithmen sind die Datenpunktliste/GA-Funktionsliste, Automatisierungsschemen und Zustandsgraphen als grafisches Beschreibungsmittel. Gegenüber den in Abbildung 3 dargestellten Beschreibungsmitteln, die in formalisierter Form zur Verfügung stehen, existiert kein formalisiertes Beschreibungsmittel für die Gebäudeautomation. Daraus folgt, dass eine vollständige Beschreibung aus den Beschreibungsmitteln der VDI-Richtlinien sowie einer informellen Beschreibung, üblicher

Weise als *Funktionsbeschreibung* benannt, gegeben ist. Daran ist nachteilig, dass ein informell beschriebener Algorithmus Interpretationsbedürftig ist. Mit jedem Personen- oder Unternehmenswechsel gehen somit Zusammenhänge und Kausalitäten des ursprünglichen Algorithmus verloren.

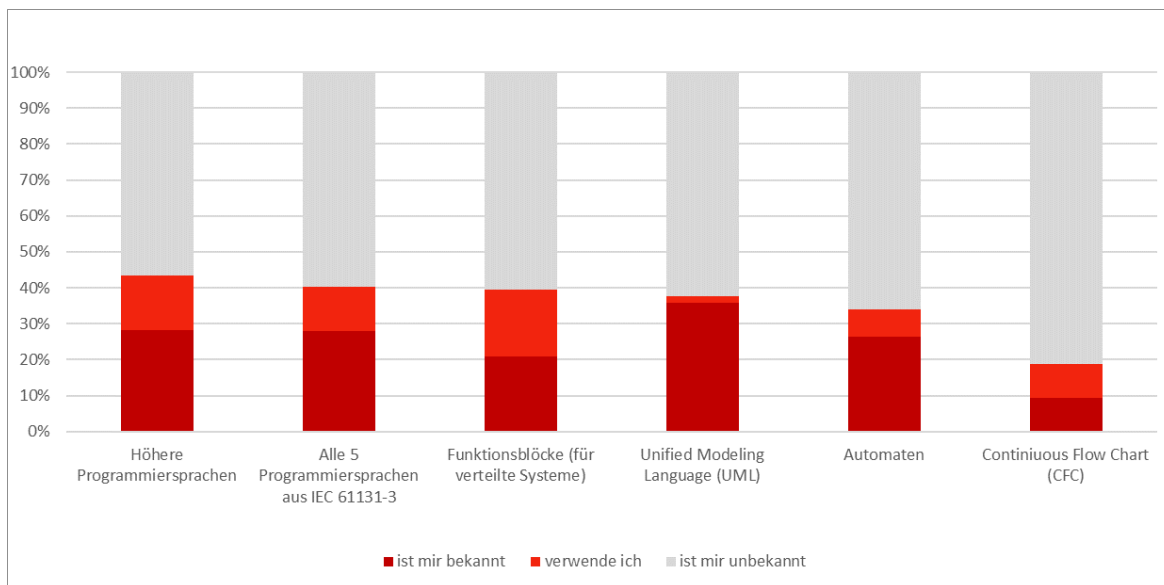


Abbildung 3 – Vergleich der 6 bekanntesten Beschreibungsmittel für Steuerungsalgorithmen

PROZESS DER STEUERUNGSENTWICKLUNG

Nachdem die Bekanntheit verschiedener Beschreibungsmittel und Regelmethode festgestellt ist, wird in diesem Abschnitt der Prozess der Steuerungsentwicklung in der *geübten Praxis* untersucht. Zunächst wurde gefragt, wodurch die Steuerungsentwicklung (SE) in der Praxis geprägt wird. Abbildung 5 und Abbildung 5 zeigen das Meinungsbild hierzu. Demnach werden in der Praxis keine standardisierten Methoden oder Normen angewendet. Vielmehr prägt die individuelle Erfahrung der Prozesseteiligen den Prozess der Steuerungsentwicklung. 76 % der Befragten geben an, dass die Fähigkeiten und Erfahrung des Systemintegrators entscheidend sind. Nur 20 % der Teilnehmer sprechen den entscheidenden Einfluss den Planern zu. Angesichts des geringen Formalisierungsgrades der Beschreibungsmittel ist hier eine Ursache für fehlerhaft realisierte Energiekonzepte zu finden.

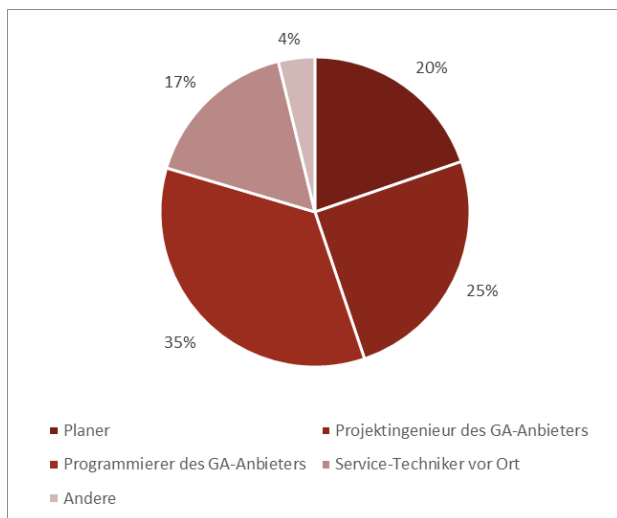


Abbildung 5 – Einfluss der Prozessbeteiligten auf das finale Steuerergebnis

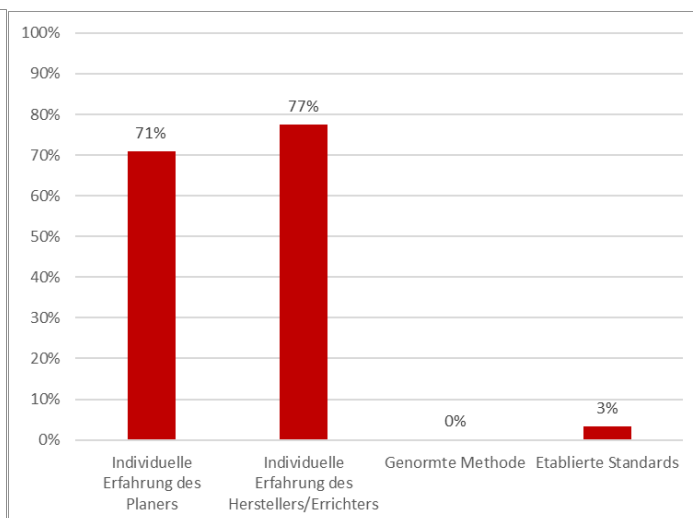


Abbildung 4 – Basis für die Steuerungsentwicklung in der gebäudetechnischen Praxis

EFFIZIENZ UND FUNKTIONALITÄT

Ziel des P&R ist die Errichtung gebäudetechnischer Systeme, die die (zum Teil gesetzlichen) Anforderungen hinsichtlich Funktionalität und Energieeffizienz erfüllen. Die Gebäudeautomation stellt dabei das integrierende Gewerk aller Funktionalitäten dar und ist ausschlaggebend für das präzise und damit effiziente Zusammenspiel aller Komponenten. Inwieweit die geübte Praxis des P&R, die in den vorstehenden Kapiteln dargestellt wurde, auf die Erreichung der Ziele Einfluss hat, wird nachfolgend untersucht.

In diesem Zusammenhang sollte durch die Teilnehmer abgeschätzt werden, in wie viel Prozent aller Bauvorhaben (Neubauten und Sanierungsvorhaben) die Planziele hinsichtlich Energieeffizienz und Funktionalität nach erfolgter Inbetriebnahme erreicht werden. Das Meinungsbild der 31 Teilnehmer zu diesem Fragenblock ist in Abbildung 6 dargestellt.

Dreiviertel der Teilnehmer geben an, dass die Planziele der Energieeffizienz in höchstens 70 % der Bauvorhaben erreicht werden. Die Hälfte sehen dies bereits nur noch bei maximal 50 % und ein Viertel bei höchstens 15 % aller Bauvorhaben. Im Mittel wird die geplante Energieeffizienz nach Meinung der Teilnehmer in 43 % aller Bauvorhaben erreicht. Hinsichtlich der Realisierung der vollen Funktionalität nach Inbetriebnahme ergeben sich ähnliche Resultate. Ein Viertel der Teilnehmer sehen diesen Wert bei höchstens 20 %, dreiviertel bei höchstens 80 %. Die Zielerreichung hinsichtlich der Funktionalität wird also unkritischer eingeschätzt.

Vor dem Hintergrund, dass die Ziele der Energiewende genau mit denjenigen Gebäuden erreicht werden muss, die entweder nach hohen Standards neu errichtet oder bereits saniert wurden, ist dieses Ergebnis durchaus kritisch. Um diese Erkenntnis präzisieren zu können wurde nachträglich darum gebeten, die Abweichung von den Planzielen zu quantifizieren. Die deutliche Mehrheit der Rückmeldungen hierzu liegen im Bereich zwischen 10 und 35 % der geplanten Energieeffizienz, d. h. das Spektrum der Energieeffizienz nach erfolgter Inbetriebnahme liegt zwischen 65 und 90 % der Planziele.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass insbesondere mit Blick auf die Energieeffizienz Verbesserungspotential besteht. Dieses Verbesserungspotential soll auf Basis der Erfahrung der Teilnehmer im nachfolgenden Kapitel identifiziert werden.

VERBESSERUNGSPOTENTIAL

Um das größte Verbesserungspotential entlang des P&R lokalisieren zu können, wurden die Teilnehmer gefragt, in welchem Bereich sie die größte Schwachstelle im aktuellen P&R sehen und ein entsprechendes Voting anzugeben. Abbildung 7 zeigt das Meinungsbild. Demnach wird das größte Verbesserungspotential eindeutig

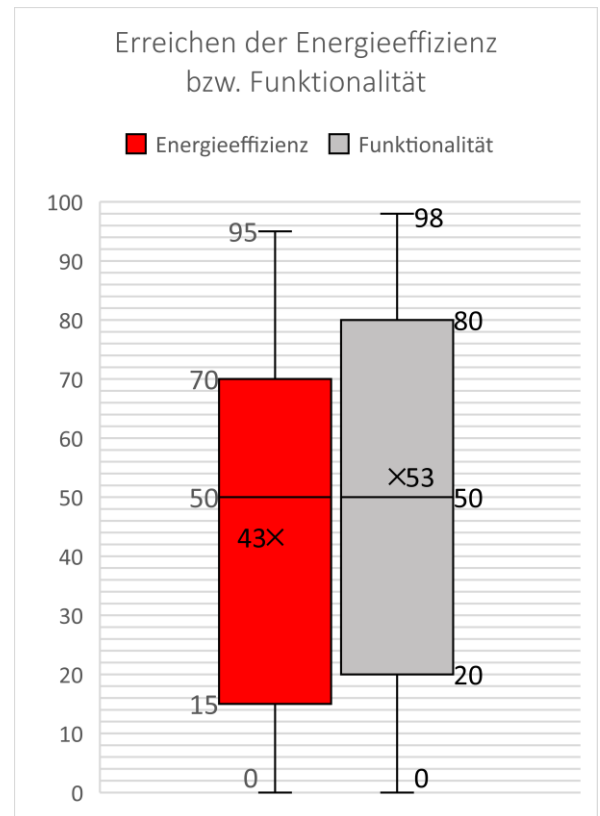


Abbildung 6 – Erreichen der Energieeffizienz bzw. vollen Funktionalität

in den Bereichen der Bedarfserhebung und der Planung gesehen. Die Bedarfserhebung ist zwar Teil des Planungsprozesses, unterscheidet sich jedoch von der eigentlichen Objektplanung hinsichtlich des hohen Einflusses durch Bauherren und Nutzer in Form der Anforderungen an das Gebäude. Für die Bereiche Ausführung und Beschreibung/Dokumentation ergibt sich ebenfalls ein vergleichbares Verbesserungspotential, welches jedoch deutlich unter dem vorgenannten liegt. Tendenziell wird hier das größere Verbesserungspotential im Bereich der Beschreibung und Dokumentation gesehen. Die Phase der Bauüberwachung, Inbetriebnahme und Abnahme sehen die wenigsten als kritisch im Hinblick auf die Zielerreichung an. Hier werden zwar die meisten Probleme festgestellt und größtenteils behoben, die Ursache wird jedoch in den zeitlich vorgelagerten Phasen gesehen.

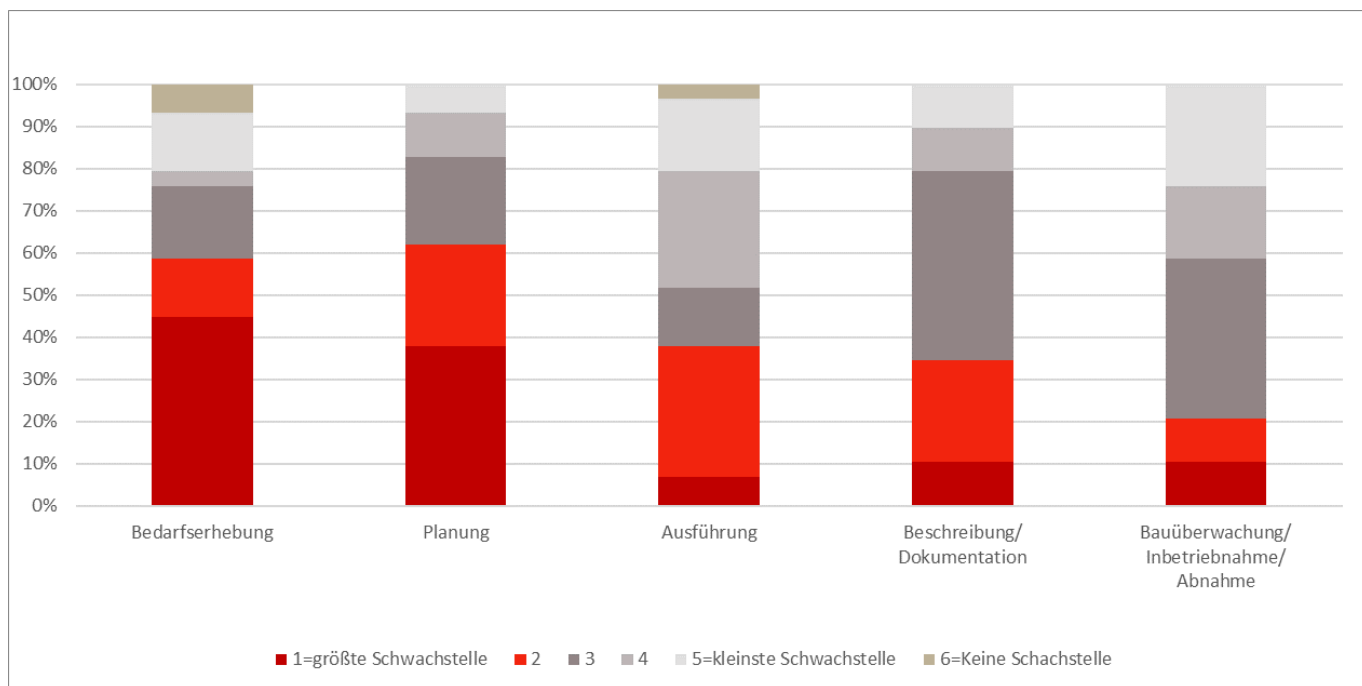


Abbildung 7 – Ranking der gewichteten Schwachstellen im P&R

FORSCHUNGSBEDARF

Auf Basis der Umfrageergebnisse lässt sich akuter Forschungsbedarf im Bereich der Planungsmethoden identifizieren. Zum einen lassen sich Unschärfen und Versäumnisse in frühen Planungsphasen im Verlauf des P&R kaum noch ausgleichen. Zum anderen verstärken der Zeit- und Kostendruck in der Planung und die zunehmende technische Komplexität der Gebäudetechnik sich gegenseitig. Die Planungsbeteiligten benötigen demnach neue Methoden, die die Planungseffektivität steigern und zugleich erlauben, die Planungsaufgabe im Hinblick auf Zeit, Kosten und Qualifikation auch für komplexere Systeme zu bewältigen. Weiterhin sind die Schnittstellenverluste zu minimieren.

Die Digitalisierung ist wesentlicher Treiber der technischen Komplexität und der Interdisziplinarität insbesondere auf dem Gebiet der GA. Die Applikation höherer Regelungsalgorithmen in gebäudetechnischen Energiesystemen sind das Ergebnis der wissenschaftlichen Verwertung steigender Rechnerkapazitäten in Gebäudeautomationssystemen. Nun bedarf es geeigneter Planungsmethoden und Hilfestellungen für die Planer, um diese performanten Algorithmen im Rahmen der GA auszuschöpfen und eine konsistente Realisierung der in der Planung entwickelten Steuerungsalgorithmen gewährleisten zu können. Die Anforderung an diese Methoden ist, dass sie

1. durch den Planer im verfügbaren Zeit- und Kostenrahmen (der Gesamtplanung) angewendbar sind,
2. häufige Planungsfehler systematisch vermeiden,
3. einen hohen Anteil der Steuerung generieren können (Stichworte: CAE-Tools, digitaler Zwilling, BIM)
4. dennoch die Effizienzpotentiale der individuellen Anlage in Verbindung mit dem Betriebskonzept wahren,
5. HR in gekapselter Form in die Steuerung einbinden können, ohne dass der Nutzer über besondere Tiefenkenntnisse über den HR selbst verfügen muss,
6. die simulationsgestützte Anlagenoptimierung verbessern.

FAZIT

Ziel der vorliegenden Umfrage war es auf Basis der ersten Studie den aktuellen Entwicklungsstand von höheren Regelalgorithmen in der Gebäudeautomation (GA) festzustellen. Hierbei sollten mögliche Hürden und Ineffizienzen hinsichtlich der Applikation von HR in GA-Systemen aufgedeckt und analysiert werden. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass der Wissenstransfer zwischen Forschung und Wirtschaft verstärkt werden muss, um die Anforderungen an die Forschungsinhalte und -ergebnisse zu identifizieren. Ein wirtschaftlich motivierter Transfer erfordert vermarktungsfähige Applikationen, gewinnbringende Geschäftsmodelle und eine ausreichende Nachfrage/-erwartung. Hierzu ist es erforderlich das Potential und den Nutzen von HR aufzuzeigen und über deren Verfügbarkeit zu informieren. Darüber hinaus sind Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Handhabung von höheren Regelalgorithmen entlang des Planungs- und Realisierungsprozesses sowie über die Betriebsdauer ermöglichen. Eine wesentliche Säule hierfür stellt ein standardisierter Prozess für die Steuerungsentwicklung und die konsequente Verwendung eines formalisierten Beschreibungsmittels für Steuerungsalgorithmen dar.

Nach Meinung des Autors können höhere Regelalgorithmen einen nennenswerten Beitrag zum Erreichen der Ziele der Energiewende leisten. Die Informationstechnologie und die Automatisierungstechnik bietet auch im Bereich der Gebäudeautomation alle technischen Voraussetzungen hierfür. Nun Bedarf es eines Entwicklungsprozesses in der Gebäudetechnik, zu dem alle Beteiligten im Sinne der Energiewende beitragen müssen. Die Gruppe der Bauherren und Nutzer ist gefragt nachzufragen, Lösungsansätze auch über den Standard hinaus entwickeln zu lassen; die Anwendung von HR kann als Low-Budget-Energieeffizienzmaßnahme durchaus zur Entspannung des Mieter-Vermieter-Dilemmas beitragen und für beide Seiten vorteilhaft sein. Systemanbieter/Hersteller von GA-Systemen sind gefragt neben der Entwicklung innovativer Konzepte auch den Markt aktiv zu entwickeln. Ausgetretene Pfade mit proprietären Systemen, Zugriffsbeschränkungen auf Betriebsdaten und Steuerungsalgorithmen müssen verlassen werden, um der kreativen und effizienzsteigernden Verwertung dieser Daten Tür und Tor zu öffnen. Hier ist auch der Planer gefragt, seine Prozesse gegenüber der Digitalisierung zu öffnen, sein Engineering weiterzuentwickeln und seine Qualifikationsstrukturen entsprechend anzupassen. Für all dies wird auch ein entsprechender Rechtsrahmen im Baurecht benötigt; diese Aufgabe liegt im Normungswesen, bei Verbänden und der Legislative. Zu guter Letzt ist die Wissenschaft gefragt neben der reinen Entwicklungsarbeit die Vorteilhaftigkeit der eigenen Entwicklungen zu publizieren, diese für die Praxis anwendbar zu machen und das Wissen über diese Errungenschaften zu verbreiten.



Ihr Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Schild, M.B.A

T +49 241 80 49809

F +49 241 80 49769

tschild@eonerc.rwth-aachen.de

<http://www.eonerc.rwth-aachen.de>

E.ON Energy Research Center

Mathieustraße 30

52074 Aachen

Germany