

Technische Universität Wien
Fakultät für Informatik
Institut für Software Technologie und Interaktive Systeme
Favoritenstr. 9-11/188
1040 Wien, Österreich

SS2009

Seminararbeit im Rahmen der
Ringvorlesung Nachhaltige Entwicklung und IKT

Nachhaltigkeit durch Gebäudeautomation

Sebastian Krinninger

31. August 2009

Betreut von Alexander Schatten

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Möglichkeiten der Gebäudeautomation beschrieben, zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen. Verschiedene Studien belegen, dass die Gebäudeautomation einen Beitrag zur Optimierung des Energieverbrauchs von Gebäuden leisten kann. Dies ist im Hinblick auf die Gefahren des Klimawandels und dem Ziel eines möglichst schonenden Umgangs mit Ressourcen von Bedeutung. Bestehende Lösungen der Gebäudeautomation zielen vor allem auf die Einsparung von Energie sowie die Vermeidung von Lastspitzen im Stromverbrauch ab. Zukünftige Entwicklungen gehen in die Richtung verteilter, intelligenter und integrativer Systeme, deren hohe Komplexität eine Herausforderung an die Regelungstechnik darstellt. Ein Hauptproblem der Technologie stellt ihre Verbreitung dar: Sie ist im Gegensatz zu ihrem Nutzen relativ gering. Es wird vorgeschlagen, den Faktor Mensch stärker in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu stellen, um die nicht-technischen Hürden für einen nachhaltigen Einsatz der Gebäudeautomation zu überwinden.

1 Einführung und Begriffsklärung

1.1 Einführung

Vor ca. 30 bis 40 Jahren wurde begonnen, elektronische Komponenten in Kraftfahrzeuge einzubauen [12]. Diese Entwicklung führte dazu, dass sich in modernen Autos eine Vielzahl von kleinen Computerchips und Sensoren befinden, die automatisch auf Ereignisse reagieren und aus Komfort- oder Sicherheitsgründen nicht mehr wegzudenken sind [15]. Scheibenwischer passen sich automatisch der Heftigkeit des Regens an, die Radiolautstärke reguliert sich entsprechend dem Fahrträrm, Einparkhilfen finden den besten Weg in eine Parklücke. Diese und andere Aufgaben werden durch intelligente bzw. adaptive elektronische Lösungen bewältigt. Sogar für das Sparen von Treibstoff werden entsprechende Systeme entwickelt [17]. Viele solcher Prozesse laufen im Hintergrund, eben automatisch, ab und werden von Autofahrer/innen mittlerweile als selbstverständlich angesehen.

In den Gebäuden, in denen wir uns tagtäglich befinden, ist die Präsenz der Automatisierungstechnik in der Regel noch nicht annähernd so stark [35]. Doch das Beispiel Auto legt nahe, dass sich dies in Zukunft ändern wird. Automatisch und intelligent gesteuerte Jalousien, Leuchten oder Heizungen werden dann keine Besonderheit mehr sein. Dabei ist naheliegend, dass diese Technologie helfen kann Ziele der Nachhaltigkeit, etwa durch das Einsparen von Energie, zu erreichen. Daher wird im Rahmen dieser Arbeit untersucht, inwiefern Methoden der Gebäudeautomation zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können.

Dazu werden zunächst die zentralen Begriffe der Gebäudeautomationstechnologie vorgestellt. Im nachfolgenden Verlauf der Arbeit wird das Thema hauptsächlich unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit betrachtet. So wird im zweiten Abschnitt auf die Potentiale, die in der Gebäudeautomation liegen, eingegangen. Danach folgt ein Überblick über den Stand der Technik sowie ein Ausblick auf aktuelle Forschung und zukünftige Entwicklungen. Abschließend werden Denkanstöße für weitere Möglichkeiten in der Gebäudeautomation im Hinblick auf Nachhaltigkeit gegeben sowie die wichtigsten Schlüsse zusammengefasst.

1.2 Begriffsklärung

Die *Gebäudeautomation* wird nach PALENSKY definiert als „jene Disziplin, bei der versucht wird, mit Hilfe der Informationstechnologie (IT) Prozesse in einem Gebäude zu optimieren“ [23]. In engem Zusammenhang dazu steht der Begriff des *intelligenten Gebäudes*, das sich nach CLEMENTS-CROOME dadurch auszeichnet, dass es sich an die Kurz- und Langzeitbedürfnisse der Menschen anpasst und mit sozialen und technologischen Veränderungen umgehen kann [9]. Gebäudeautomation kann also als eine von mehreren Technologien verstanden werden, mit der diese Intelligenz-Ziele erreicht werden können. Die moderne Gebäudeautomation umfasst die Aspekte Energieverbrauch,

Logistik, Sicherheit und Komfort, die ebenso auch durch andere Disziplinen wie die Architektur und die Bautechnik verfolgt werden [22]. Die Sicherheit kann laut PALENSKY insbesondere in die beiden Konzepte *security*, d. h. der Sicherheit vor Personen, und *safety*, der Sicherheit vor Außeneinflüssen wie dem Wetter, eingeteilt werden [22]. Als Beispiele für logistische Aspekte werden Instandhaltung und *Facility Management*¹ angeführt. Dabei können die Ziele der Gebäudeautomation, insbesondere Komfort und Energieverbrauch, auch im Gegensatz zueinander stehen.² Daraus resultiert, dass in der Gebäudeautomation eine isolierte Betrachtung der einzelnen Komponenten nicht immer zielführend ist.

Auf der Hardware-Seite eines Gebäudeautomationssystems befinden sich Sensoren, Aktoren und Controller, die durch ein Netzwerk, üblicherweise ein Feldbussystem, miteinander verbunden sind [23], man kann also von einem verteilten Embedded System sprechen [12]. Die drei großen Netzwerkstandards, die in europäischen bzw. internationalen Normen beschrieben werden und den speziellen Anforderungen der Gebäudeautomation entsprechen, heißen LonWorks³, KNX und BACnet⁴. Diese Standards werden, im Gegensatz zu herstellerabhängigen, proprietären Systemen als *offen* bezeichnet. Zusätzlich wurden in jüngster Vergangenheit auf die drahtlose Kommunikation optimierte Standards eingeführt. Als wichtigster Vertreter ist hier die ZigBee-Technologie zu nennen, welche im Hinblick auf selbstorganisierende ad-hoc Netzwerke mit geringem Stromverbrauch und niedrigen Datenraten entwickelt wurde [14]. Als weitere Aufgabe im Themenkomplex Gebäudeautomation wird meist auch die Unterstützung des Gebäudemangements gezählt. Hierzu zählen beispielsweise Tools, die der Gebäudeverwaltung bei der „zentralen Bedienung der Gebäudetechnik, [der] Koordinierung [von] Aufgaben und [der] Analyse [von] Messergebnissen“ [6] helfen.

Um das Ziel der Nachhaltigkeit zu erreichen, bietet sich der Energieverbrauch des Gebäudes als Ansatzpunkt an. Eine Senkung des Energieverbrauchs bedeutet Einsparungen im Verbrauch von Strom und verwendetem Heizmaterial, was im Bezug auf die Nachhaltigkeit einige Vorteile bietet: So werden Ressourcen, die verheizt werden oder für die Herstellung von Strom benötigt werden, gespart. Je nach Art der Energieerzeugung und des verwendeten Heizmaterials können auch schädliche Auswirkungen auf das Klima, wie der Ausstoß von CO₂, vermieden werden. In jedem Fall hat die Vermeidung von Energieaufwand den zusätzlichen Vorteil, dass die gesparte Energie anderweitig, eventuell sinnvoller, genutzt werden kann, und die Infrastruktur zur Erzeugung von Strom und Heizmaterial weniger gut ausgebaut sein muss. In den folgenden Abschnitten werden

¹Nach BRAUN kann Facility Management verstanden werden als „ein unternehmerischer Prozess, der durch die Integration von Planung, Kontrolle und Bewirtschaftung bei Gebäuden, Anlagen und Einrichtungen (facilities) [...] eine verbesserte Nutzungsflexibilität, Arbeitsproduktivität und Kapitalrentabilität zum Ziel hat“ [4]. Als ein wichtiges Hilfsmittel für die Entscheidungsfindung im Facility Management werden Gebäudeinformationssysteme mit zentraler Datenbank eingestuft.

²Allerdings wird von Versuchen berichtet, bei denen jene Gebäude, die als am komfortabelsten bewertet wurden, oft auch die energieeffizientesten waren [9]. Dies wird damit begründet, dass sich diese Gebäude durch besonders gutes Management auszeichnen.

³LON: Local Operating Network

⁴BACnet: Building Automation and Control Networks

wir uns daher näher mit den Möglichkeiten der Energieoptimierung durch die Gebäudeautomation beschäftigen. Ein zentrales Thema wird dabei klarerweise die Vermeidung von Energieverschwendung sein [6], aber auch andere Optimierungsmöglichkeiten das Energiemonitoring werden eine Rolle spielen.

2 Optimierungspotentiale

Nun werden zunächst einige Ergebnisse aus verschiedenen Studien vorgestellt, die die Potentiale der Gebäudeautomation bezüglich Energieeffizienz und Klimaschutz bewerten.

Eine 2007 von McKinsey&Company und dem BDI⁵ durchgeführte Studie untersuchte die Möglichkeiten der Reduzierung von Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020 [21]. Als Maßeinheit für die dort angeführten Vermeidungspotenziale werden Tonnen an CO₂ bzw. CO₂e angegeben, wobei die zweite Kennzahl – das sogenannte Kohlendioxid-Äquivalent – für andere Treibhausgase angibt, welche Menge an CO₂ die gleiche Treibhauswirkung hätte. In dieser Studie wurde unter anderem der Bereich Gebäude untersucht, für den ein Gesamtvermeidungspotential von 72 Mt CO₂e berechnet wurde. Zum Vergleich: Die jährliche Treibhausgasemission in Deutschland betrug 2004 1.025 Mt CO₂e und die Summe der in der Studie beschriebenen Reduzierungsmöglichkeiten beläuft sich auf 195 Mt CO₂e.

Techniken der Gebäudeautomation werden dabei als besonders wichtig für den tertiären Sektor, d. h. beispielsweise für öffentliche Gebäude und Büros, eingestuft. Der Beitrag, der durch die Verbesserung von Systemen zum Energiemonitoring und in der Regelungstechnik erreicht werden kann, wird mit 5 Mt CO₂e beziffert. Dies resultiert aus der Möglichkeit der Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden des tertiären Sektors um 20 % durch diese Techniken. Adaptive Beleuchtungssysteme werden als weiterer, vor allem für Bürogebäude interessanter, Ansatzpunkt genannt und mit einer Stromeinsparung für Licht von 60 % bzw. einer Verringerung des Treibhausgasausstoßes um 1.2 Mt CO₂e bewertet. Beide Maßnahmen werden insbesondere als für die Entscheidungsträger/innen wirtschaftlich bewertet. Dies gilt ebenso für den Großteil der anderen untersuchten Maßnahmen im Gebäudebereich, wie z. B. bauliche Veränderungen. Bei diesen bestehen aber teilweise lange Amortisationszeiten. Zusammenfassend wird in der McKinsey-Studie der Schluss gezogen, dass im Gebäudebereich Maßnahmen „zur Verbrauchsminderung und zur Steigerung der Energieeffizienz [...] den größten Beitrag zur Treibhausgasvermeidung [leisten]“ [21].

Weitere, speziell auf IKT⁶ bezogene, Untersuchungen wurden von ERDMANN ET AL durchgeführt [13]. In diesem Zusammenhang wurden die Möglichkeiten zur Erhöhung der

⁵BDI: Bundesverband der Deutschen Industrie

⁶IKT: Informations- und Kommunikationstechnologie

Nachhaltigkeit im Bezug auf das Facility Management analysiert. Unter Facility Management werden dabei Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs eines Gebäudes, die nicht baulicher Art sind, verstanden. Ein mögliches Einsatzgebiet für die IKT wird dabei als Hilfe zum Einsparen von Energie gesehen. So wird als Beispiel angeführt, dass das Heizen, welches ca. 30 % des gesamten Energieverbrauchs ausmacht, durch IKT vernünftiger gestaltet werden könnte. Es wird außerdem angeführt, dass im Monitoring-Bereich die IKT dabei helfen könnte, die Nutzer/innen über ihren Energieverbrauch zu informieren und ihre Verbrauchsmuster nachhaltiger zu gestalten. Ein großer Vorteil, der in diesem Vorgehen gesehen wird, ist, dass auf diese Weise der Rebound-Effekt verhindert werden könnte, d. h., dass der positive Einfluss der IKT nicht durch einen erhöhten Verbrauch wieder zunichte gemacht wird. Insgesamt wird der Einsatz von IKT im Gebäudesektor als förderlich in Bezug auf die Reduzierung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen bewertet. Als Vorteil von IKT-gestützten Maßnahmen im Gebäudesektor wird angegeben, dass diese – im Gegensatz zu baulichen Maßnahmen, die für sich genommen ein höheres Einsparpotential besitzen – prinzipiell in jedem Gebäude durchgeführt werden können, ohne dass eine Neubau oder eine Renovierung erforderlich ist. Beziffert wird der mögliche Einfluss des IKT-gestützten Facility Managements in der EU im Jahre 2020 zum einen mit einer Einsparung von 3.5 bis 6.5 % gemessen am Gesamtenergieverbrauch. Zum anderen wird angegeben, dass ohne IKT im Facility Management voraussichtlich 3.5 bis 7 % mehr Treibhausgas produziert werden würde.

In einer weiteren, im Auftrag von LonMark Deutschland durchgeführten Studie, wurden die Energieeinsparpotentiale verschiedener Automatisierungsmaßnahmen, von denen einige in Abschnitt 3 genauer vorgestellt werden, anhand von durch Normen festgelegten Richtwerten berechnet [1]. Bezüglich der Einsparpotentiale für ein typisches Bürogebäude kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass „das größte Einsparpotenzial in der Kombination verschiedener Funktionen liegt“ [1], was sich nach Angaben der Autoren mit der praktischen Erfahrung deckt. Dies bedeutet auch, dass sich eine „gewerkeübergreifenden Betrachtung der Raum- und Gebäudeautomation“ [1] als vorteilhaft erweist. Mit einer Kombination aus drei Automatisierungsmaßnahmen wurde eine Einsparung von knapp 50 % an Nutzenergie für Kälte und Beleuchtung für das Beispiel-Bürogebäude berechnet.

Aus diesen Studien können für den Bereich Gebäudeautomation zusammenfassend drei Schlussfolgerungen abgeleitet werden.

1. Nachhaltigkeit und Energieeffizienz stehen im Gebäudebereich in engem Zusammenhang zueinander.
2. Da sich die Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auch rein wirtschaftlich rechnen, lässt sich Nachhaltigkeit problemlos mit wirtschaftlicher Rason vereinen.
3. Hohe Potentiale zur Erhöhung der Energieeffizienz (und damit auch der Nachhaltigkeit) sind zweifellos vorhanden.

3 Stand der Technik

In diesem Abschnitt werden verschiedene, ausgewählte Funktionen der Gebäudeautomation vorgestellt, die einen Eindruck davon vermitteln sollen, inwiefern mit dem derzeitigen Stand der Technik der Energieverbrauch von Gebäuden nachhaltiger gestaltet werden kann.

Im Bereich der Raumautomation, bei der die „Energieröme an die Nutzungssituation eines Raumes“ [6] angepasst werden, kann zwischen Einsparmöglichkeiten im Bereich der Beleuchtungsenergie und der Heiz- und Kühlenergie unterschieden werden [6]. Im Folgenden wird eine Übersicht der wichtigsten vorgestellten Maßnahmen geben:⁷

- Konstantlichtregelung: „Anpassung der künstlichen Beleuchtung an das geforderte Helligkeitsniveau“ durch Helligkeitssensoren und dimmbare Beleuchtung
- Automatiklicht: „Anwesenheitsabhängige Lichtschaltung“, die „z. B. in Fluren und innenliegenden Gemeinschafts- und Sanitörräumen“ eingesetzt werden kann.
- Sonnenautomatik: Automatischer Blendschutz, bei dem die Jalousien in eine feste Position gebracht werden, wenn „eine zu hohe Sonneneinstrahlung auf die entsprechende Fassade wirkt“, und bei Tageszeiten ohne Blendgefahr wieder hochgefahren werden. Eine Erweiterung stellt die Lamellennachführung dar, bei der die Lamellen der Jalousie so dem aktuellen Sonnenstand angepasst werden, dass diffuses Licht in den Raum dringen kann, wodurch einerseits der Blendschutz noch gegeben ist und andererseits weniger künstliche Beleuchtung notwendig wird. Durch Steuerung des Blendschutzes in „Zeiten [...], in denen der Raum nicht genutzt wird“, lässt sich die Sonneneinstrahlung, welche den Raum aufheizt, gezielt zur Temperaturregelung nutzen. In diesem Fall spricht man von Thermoautomatik.
- Betriebsartenumschaltung über Zeitprogramm: „Räume [werden] nur während der [– über das Zeitprogramm gesteuerten –] geplanten Belegung aufgeheizt oder gekühlt“. In den übrigen Zeiten wird auf moderatere Betriebsmodi, in denen nicht so stark geheizt oder gekühlt wird, umgeschaltet. Diese Funktion kann auch um eine Präsenzerkennung erweitert werden: Erst wenn die Anwesenheit einer Person im Raum erkannt wurde, wird die Heizung oder Kühlung voll eingeschaltet um den „Komfort-Sollwert“ zu erreichen.
- Fensterüberwachung: Einstellung des Heiz- bzw. Kühlvorgangs beim Öffnen der Fenster zur Vermeidung direkter Energieverschwendung
- Freie Nachtkühlung: Nutzung „der kalten Nachtluft zum Herunterkühlen eines Raumes ohne nennenswerten Energieeinsatz“ durch Fenster, die sich automatisch öffnen können

⁷Alle in der folgenden Auflistung übernommenen wörtlichen Zitate entstammen der Arbeit von BÜCHEL und VOGELER [6].

Die Einsparpotentiale dieser Maßnahmen sind unterschiedlich und werden mit jeweils 5 bis 50 % beziffert. Es wird außerdem hervorgehoben, dass auf baulicher Seite Faktoren existieren, die diese Maßnahmen positiv beeinflussen, wie z. B. eine geringe Gebäudemasse oder eine gute Tageslichtversorgung.

Als Beispiel für die quantitative Ermittlung solcher Einsparpotentiale soll eine aktuelle Fallstudie dienen, in der ein adaptives Beleuchtungssystem unter Verwendung von BACnet präsentiert wird [26]. Für die Evaluation des Systems wurde eine Raumattrappe gebaut, die es ermöglicht den Lichteinfall durch die Fenster auf einer Seite des Raums zu simulieren. Die aktuelle Helligkeit wurde dem System durch im Raum verteilte Helligkeitssensoren übermittelt. Die im Raum angebrachten Neonlichter konnten durch das System an- und ausgeschaltet und auch gedimmt werden. Das System wurde so eingestellt, dass in den Bürozeiten von 7 bis 19 Uhr immer eine Mindesthelligkeit von 600 Lux sichergestellt wurde. Die in dieser Studie durchgeführten Ergebnisse zeigen, dass der Energieverbrauch für die Beleuchtung durch das System um bis zu 40 % gesenkt werden konnte. Eine weitere Beobachtung ist, dass die Performance des Systems stark von der Netzwerklast und den damit verbundenen Verzögerungszeiten abhängig war.

Eine andere Anwendung der Gebäudeautomation besteht in der Vermeidung bzw. Senkung von Lastspitzen, d. h. der Energieverbrauch eines Gebäudes soll möglichst konstant sein und möglichst wenige Ausreißer nach oben vorweisen [24]. Dieser Bereich der Gebäudeautomation lässt sich dem Energiemanagement zuordnen und spielt für das Demand Side Management, d. h. der Steuerung der Stromnachfrage auf der Abnehmerseite, eine wichtige Rolle [24, 27]. Aus ökologischer Sicht ist das Vermeiden von Spitzenlastzeiten besonders gewinnbringend, was sich durch die Situation auf der Anbieterseite erklären lässt. Hier kann der unnötige Ausbau entsprechender Infrastrukturen vermieden werden. Daneben werden die effizientere Auslastung bestehender Kraftwerke, die „Entlastung des Netzes“ und „geringere Netzverluste“ als ökologisch relevante Aspekte genannt [35]. Zudem werden für die Bewältigung von Spitzenlastzeiten oft Gasturbinenkraftwerke eingesetzt, da diese eine kurzfristige und zuverlässige Versorgung gewährleisten [20]. Gelingt es, den Stromverbrauch eines Großteils der Abnehmer/innen gleichmäßiger über den Tag zu verteilen, sodass der Einsatz solcher Kraftwerke minimiert wird, hat dies Vorteile im Bezug auf CO₂-Emissionen und den schonenden Umgang mit Ressourcen. Ein weiterer Vorteil der Vermeidung von Spitzenlaststrom wird in der Möglichkeit gesehen, alternative Energiequellen besser in das Versorgungssystem einbinden zu können [35]. Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Vermeidung von Spitzenlaststrom für Verbraucher/innen deshalb relevant, weil dieser verhältnismäßig teuer ist [35].

PALENSKY ET AL präsentieren ein System zur Vermeidung von Lastspitzen unter Verwendung des LonWorks-Bussystems [24]. Hierbei wird zwischen Strategien für Langzeit- und Kurzzeit-Power-Management unterschieden. Eine Langzeitstrategie besteht darin, dass die Geräte ihre durchzuführenden Aufgaben und den dafür benötigten Strombedarf bekanntgeben und ihnen dann für die Durchführung dieser Aufgaben feste, auf die anderen Geräte abgestimmte, Time Slots zugewiesen werden – z. B. könnte eine Waschmaschine angewiesen werden, nachts zu waschen, da hier die Stromaufnahme anderer

Geräte am geringsten ist. Falls ein Überschreiten des akzeptierten Maximalwerts für die Auslastung vorhergesagt wird, sollen kurzfristige Reaktionen dieser Entwicklung entgegensteuern. Hier könnten Geräte in einen anderen Betriebsmodus wechseln (z. B. Eco-Modus bei Geschirrspülern) oder auf eine andere Bezugsquelle des Stroms umsteigen (z. B. Wechsel in einen anderen Stromkreis). Das optimale Verteilen der zur Verfügung stehenden Stromressourcen kann als Scheduling-Problem aufgefasst und durch einen genetischen Algorithmus heuristisch gelöst werden [27].

Äußerst interessant erscheint in diesem Kontext ein drahtloses System zur Vermeidung von Lastspitzen, das von einem kanadischen Unternehmen entwickelt wurde und folgendermaßen vorgestellt wird [19]: Es wurde ein Controller entwickelt, „der mit den Steuereinheiten an Klima- und Heizungsanlagen verbunden wird“ [19] und das Nutzungsverhalten des Geräts, an welches er angeschlossen ist, lernen kann. An jedes zu regulierende Gerät wird einer dieser Controller angebracht. Die Controller können sich automatisch miteinander vernetzen und nutzen dabei die ZigBee-Technologie. Dadurch können die Controller das Nutzungsverhalten ihres Geräts an andere Controller kommunizieren, wodurch es möglich sein soll, die Einschaltzeiten auf sinnvolle Weise so zu verteilen, dass Lastspitzen möglichst vermieden werden. Als besonderer Vorteil dieser Lösung wird angegeben, dass nach der Installation der Controller kein Eingreifen in das System von außerhalb mehr notwendig sei. Es wurde angegeben, dass die Controller „Schwarmintelligenz“ [19] implementieren, was aber, bis auf die Tatsache der dezentralen Entscheidungsfindung, wenig Rückschluss auf die tatsächlich verwendeten, proprietären, Algorithmen zulässt.

4 Aktuelle Forschung und zukünftige Entwicklungen

Viele aktuelle Entwicklungen im Bereich der Gebäudeautomation zielen nicht explizit auf eine Verbesserung in puncto Nachhaltigkeit und Energieeffizienz. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass sich eine allgemeine Verbesserung dieser Technologie positiv auf das Ziel der Energieeffizienz auswirkt. Im Folgenden wollen wir auf einige aktuelle Entwicklungen eingehen, die in diesem Zusammenhang besonders wichtig erscheinen.

Ein klarer Trend, der hierbei ausgemacht werden kann, ist die wachsende Bedeutung der Künstlichen Intelligenz. WONG und SO [36] prognostizieren, dass verteilte Intelligenz eine wichtige Rolle spielen wird: Darunter wird verstanden, dass lokale Einzelsysteme weitgehend autonom agieren, aber die Fähigkeit haben mit anderen solchen Systemen zusammenzuarbeiten und Informationen auszutauschen. Das in Abschnitt 3 vorgestellte System zur Vermeidung von Lastspitzen erfüllt diese Kriterien beispielsweise bereits. Ein weiterer Schritt in diese Richtung besteht darin, intelligente Gebäude als Multi-Agenten-Systeme zu konzipieren [7, 32]. Dabei werden neben fest im Gebäude installierten Agenten auch mobile, tragbare Agenten, die beispielsweise in Armbanduhren, Mobiltelefonen und der Kleidung angebracht werden können, berücksichtigt [7]. Dahingegen stellt HAGRAS die Möglichkeiten von klassischen Methoden der Computational

Intelligence, d. h. Neuronale Netze, Fuzzy Systeme und Genetische Algorithmen, zur Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden heraus [18]. Als Beispielanwendungen hierfür werden unter anderem die Vorhersage des Energiebedarfs eines Gebäudes, eine Aufgabe des Maschinellen Lernens, sowie die Entwicklung von verbesserten Regelungsalgorithmen genannt.

Als eines der wichtigsten Kriterien für ein gut funktionierendes Gebäudeautomationssystem nennt PALENSKY die Skalierbarkeit [22]. So wird angegeben, dass sich in manchen Gebäuden Automationssysteme mit Tausenden von Netzwerkknoten befinden. Als mögliche zukünftige Entwicklung wird angegeben, dass sich sogenannter *Smart Dust* durchsetzen könnte, Sensoren minimaler Größe, die in Materialien wie Wandfarbe eingesetzt werden und drahtlose ad-hoc Sensornetzwerke bilden können.⁸ Als Schätzung wird angegeben, dass sich in Zukunft etwa eine Milliarde solcher Sensoren in einem Gebäude befinden könnten, woraus sich eine regelrechte Datenflut an Messwerten verschiedenartiger Sensoren ergibt. PRATL ET AL merken an, dass diese mit herkömmlichen Systemen nicht mehr bewältigbar sein werden [28]. Als Lösung für dieses Problem werden neuartige Konzepte zur Wahrnehmung sowie zur Szenarioerkennung und -bewertung vorgeschlagen, die ihren Ursprung in den Bereichen Psychoanalyse, Neurologie und Bionik haben. Dies wird auch als neuartiger Ansatz in der Künstlichen Intelligenz verstanden, der sich von klassischen Methoden, wie etwa Computational Intelligence und symbolischer KI, abwendet.

Eine zweite zu erwartende künftige Entwicklung besteht in der „Konvergenz mit anderen Netzen“ [23]. Hierzu gehört beispielsweise die „Verschmelzung der Gebäudetechnik mit Multimedianeitzwerken“ [12]. Dies bietet wiederum neue Möglichkeiten zur Energieoptimierung. So wäre es beispielsweise möglich, den Wetterbericht in die Steuerung der Heizung miteinfließen zu lassen [12]. Eine weitere Aufgabe besteht in der Integration von Gebäudeautomationssystemen und Systemen zum computerunterstützten Facility Management, welche von BOZÁNY untersucht wird [3]. Als Vorteile dieser Integration werden unter anderem die Möglichkeit zur Echtzeitdatenverarbeitung, also insbesondere Monitoring, sowie die Anbindung an Software für das Gebäudemanagement genannt. Vor allem die angesprochene Möglichkeit zum Betrieb eines Web-Servers für Monitoring- und Kontrollzwecke erscheint als besonders interessant, da dadurch der Energieverbrauch eines Gebäudes auch von der Ferne aus abrufbar ist und eventuell auch gesteuert werden kann. Als Probleme in diesem Bereich werden die hohe Herstellerabhängigkeit vieler Systeme sowie die kaum vorhandene Literatur zu diesem Thema angeführt.

Es wäre außerdem erstrebenswert, Verbindungen zwischen Automatisierungsnetzen, die eventuell verschiedenen Standards entsprechen, herstellen zu können. Als Lösung für dieses Problem werden von REINISCH ET AL Ontologien, eine Technik zur Wissensrepräsentation, die aus dem Bereich des Semantic Webs stammt, vorgeschlagen und für die Domäne Beleuchtung beispielhaft entwickelt [8]. Aus dieser Ontologie kann dann die

⁸Diese Art von Sensoren wurden erstmals von PISTER vorgeschlagen [34]. Nanotechnologische Konzepte für entsprechende siliziumbasierte Geräte in Sandkorngröße werden von SAILOR und LINK vorgestellt [31].

Konfiguration für das Gateway, der Hardware zur Verbindung heterogener Netze, automatisch erstellt werden. Dabei ist es interessant zu bemerken, dass bereits im Meilensteinartikel zum Thema Web die Vision bestand, Funktionen der Gebäudeautomation mit Hilfe des Semantic Webs zu beherrschen [2]. Aber auch die Erweiterung der etablierten Automationsstandards um Möglichkeiten zur drahtlosen Kommunikation ist ein aktuelles Thema. So wird beispielsweise die Verwendung von ZigBee als Data Link Layer für BACnet untersucht [25]. Eine interessante Anwendungsmöglichkeit der Vernetzung mehrerer Systeme erwähnt PALENSKY [22]: Mehrere geographisch nahe oder benachbarte Gebäude können gemeinsam Energieoptimierung betreiben, indem sie ihren Verbrauch so aufeinander abstimmen, dass ein gemeinsamer Versorger für ihren Bedarf ausreicht.

5 Denkanstöße

In Anbetracht dieser zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten werden im Folgenden einige Denkanstöße bezüglich der Verbreitung und dem Nutzen von Gebäudeautomationstechniken gegeben.

Zunächst einmal steht fest, dass der Wert der Gebäudeautomation für das Erreichen nachhaltiger Ziele von der möglichst weiten Verbreitung dieser Technologie abhängt. Beim Bau neuer Gebäude wird die Verwendung von Gebäudeautomationstechniken ohnehin bedacht: „[Man] kann es sich de-facto nicht mehr leisten, ein Gebäude ohne diese Technologie zu errichten“ [23]. Ein wichtiges Ziel für mehr Nachhaltigkeit im Hinblick auf Gebäudeautomationssysteme ist daher die Nachrüstung älterer Gebäude, aber auch der Einsatz in privaten Wohnungen, der von WONG und SO als zukünftiger Trend genannt wird [36]. Dabei wird die Drahtlostechnologie eine entscheidende Rolle spielen, da das Verlegen von Kabeln in bestehenden Gebäuden einen nicht zu unterschätzenden Kostenfaktor darstellt [29]. Aber auch eine möglichst einfache Installation und ein geringer Wartungsaufwand sind zweifelsohne wichtige Faktoren. ZigBee mit seinen auf diese Ziele ausgerichteten Konzepten scheint deshalb besonders zukunftssträftig zu sein.

Es wurde bereits verdeutlicht, dass prinzipiell ökonomische Gründe langfristig für den Einsatz von Gebäudeautomation sprechen. Durch politische Maßnahmen könnten die Motivation zur Nachrüstung älterer Gebäude aber auch zusätzlich gefördert werden. Hierzu gehört beispielsweise eine umfassende Informationspolitik, die die Problematik des Energieverbrauchs von Gebäuden stärker in das Zentrum der öffentlichen Wahrnehmung rückt. So sind viele Verwalter/innen und Eigentümer/innen von Gebäuden nicht ausreichend über den Energieverbrauch und eventuelle Einsparmöglichkeiten informiert [22]. Hinzu kommt der allgemein geringe Bekanntheitsgrad bei Endverbraucher/innen [35]. Weitere Markthemmnisse werden von SZUPPA und ASSAB beschrieben [33]: Eine geringe Akzeptanz ergibt sich daraus, dass die Technologie – auch von Expert/innen – momentan noch als „zu unausgereift“ [33] bewertet wird. Außerdem lässt sich ein Imageproblem erkennen: Die Funktionen der Gebäudeautomation werden von

vielen als „unnötiger Luxus“ [33] angesehen. Der hohe Preis entsprechender Komponenten wird als derzeit ebenfalls nicht zu vernachlässigender Faktor genannt.

Entsprechende Kampagnen, die nicht national begrenzt sein müssen, könnten helfen den Bekanntheitsgrad der Technologie als Maßnahme zur Effizienzsteigerung von Gebäuden soweit zu erhöhen, dass Bauherr/innen und auch Privateigentümer/innen über die Möglichkeiten der Gebäudeautomation ausreichend informiert sind. Bauliche Maßnahmen, wie z. B. das Anbringen von Isolierungen, sind oft mit einem erheblichen Aufwand verbunden und erscheinen daher, auch wenn sie aus ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll sind, oft nicht erstrebenswert. In solchen Fällen könnte eine Investition in Gebäudeautomationstechniken eine attraktive Alternative darstellen. Durch die Vergabe entsprechender staatlicher Förderungen könnte ein zusätzlicher Anreiz für den Einsatz von Gebäudeautomationssystemen geschaffen werden, insbesondere da gerade unter öffentlichen Gebäuden viele sind, die von der Gebäudeautomation profitieren könnten, so z. B. Schulen, die meist kommunal verwaltet werden. Forschungsförderungen könnten dabei helfen, die Entwicklung der Technologie noch gezielter in Richtung Nachhaltigkeit zu steuern. Auch von ERDMANN ET AL werden ähnliche Handlungsvorschläge, nämlich Promotion und Förderung, angegeben [13].

Zusätzlich könnten gesetzliche Maßnahmen einen Beitrag zur Verbreitung der Technologie leisten. So gibt es aus Gründen der Energieeffizienz ein Verbot von Glühbirnen zugunsten von Energiesparlampen in Australien sowie eine entsprechende EU-Richtlinie [30]. Dabei ist es schwer möglich, den Einsatz bestimmter Technologien gesetzlich festzulegen, dennoch kann die Gesetzgebung regulierend eingreifen. In der Energieeinsparverordnung (kurz EnEV) des deutschen Baurechts werden beispielsweise Richtlinien für obere Schranken des Energieverbrauchs festgelegt [10]. Hierzu werden sogenannte Energieausweise eingeführt, die Auskunft über den Energieverbrauch eines Gebäudes geben. Durch eine zunehmende Verschärfung dieser Richtlinien mit regelmäßigen Erneuerungen des Gesetzes wird Druck dahingehend ausgeübt, Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz einzusetzen. Auch in Österreich gibt es Regelungen zum Energieausweis: Dieser muss beispielsweise Käufer/-innen beim Kauf eines Gebäudes vorgelegt werden [5]. In beiden Ländern stellen die entsprechenden Regelungen die Umsetzung einer EG-Richtlinie dar. Außerdem können Regelwerke, wie z. B. Europäischen Normen, die Möglichkeiten der quantitativen Abschätzung energiesparender Maßnahmen bei der Planung verbessern [6].

Einen in der Literatur wenig untersuchten Ansatzpunkt für eine größere Verbreitung der Gebäudeautomation stellen psychologische und soziale Aspekte dar, die sich unter Einbeziehung der Benutzer/innen ergeben. Unter den *Benutzer/innen* werden im Folgenden die Benutzer/innen der Räume eines automatisierten Gebäudes verstanden.

Auch wenn das Ziel der Automation ist, dass die Benutzer/innen eben nicht selbst steuern müssen, wäre es wohl vorteilhaft, wenn trotz aller Optimierungen ein Eingreifen der Benutzer/innen auf einfache Weise möglich ist. Als Negativ-Beispiel wäre hier eine laute Lüftung zu nennen, die nicht abgestellt werden kann und deren Betrieb nach

den „Berechnungen“ des Systems gerade sinnvoll ist, aber unter Umständen eine laufende Präsentation stört. Ideal wäre es daher, wenn es möglich wäre, dem System durch entsprechende Control Panels die individuellen Wünsche und aktuellen Bedürfnisse mitzuteilen, die das System als Ausgangspunkt zur laufenden Optimierung nimmt. Eine solche Individualisierung würde die Zufriedenheit der Benutzer/innen erhöhen und somit die Akzeptanz steigern, was sich positiv auf den langfristigen Erfolg der Technologie auswirkt. Ein wirklich intelligentes System wäre zusätzlich dazu in der Lage, zu erkennen, dass es gegen die Bedürfnisse der Benutzerin oder des Benutzers gehandelt hat, und könnte sich flexibel auf die Situation einstellen. Im Idealfall könnte es sogar von dieser Situation auf zukünftige, ähnliche Situation zu schließen und die individuellen Bedürfnisse vorhersagen. Die Idee, das Verhalten der Benutzer/innen sowie Veränderungen in der Umgebung – auch über eine längere Zeitspanne – zu lernen, damit das System in der Lage ist besser zu planen, wird von HAGRAS aufgegriffen [18]. Hierfür werden Verfahren aus der Computational Intelligence vorgeschlagen.

Aber auch eine Kommunikation in die andere Richtung sollte als erstrebenswert erachtet werden: Das System soll den Benutzer/innen – und nicht nur den Systemadministrator/innen – immer wieder Auskunft über seinen aktuellen Zustand geben. Dazu könnte zum Beispiel gehören, dass das System Gründe für die Aktionen, die es durchführt, angibt, wodurch den Benutzer/innen diese leichter verständlich wären. Dabei ist so ein Finden von Gründen in vielen Fällen sicherlich keine triviale Aufgabe, da diese Art der Rückverfolgung in der KI immer noch ein schwieriges Problem darstellt.

Aber auch die Anzeige des Energieverbrauchs sowie der durch das System eingesparten Energie könnte motivierend auf die Benutzer/innen wirken. Denn es darf nicht vergessen werden, dass Menschen in der Regel bereit sind, zur Erfüllung gesellschaftlich akzeptierter Ziele, wie dem Schutz des Klimas, beizutragen. Dies belegt beispielsweise eine aktuelle Studie über das Umweltbewusstsein der Bevölkerung in Deutschland [11]. Diese Studie betont aber auch, dass zwischen der umweltbewussten Einstellung und dem tatsächliche Verhalten, z. B. beim Einkauf, teilweise eine starke Divergenz besteht. Geht man davon aus, dass es sich hierbei oft nicht um bewusste Entscheidungsprozesse handelt, könnten intelligente Monitoringssysteme die Benutzer/innen im Gebäudebereich in ihrem umweltbewussten Bestreben unterstützen, indem Informationen über das aktuelle Verbrauchsverhalten sowie konkrete Handlungsvorschläge gegeben werden. Die Benutzer/innen könnten durch solche Systeme auch in ihrem positivem Verhalten bestätigt werden. Einen Schritt in diese Richtung stellen sogenannte *Smart Meters* dar. Diese werden derzeit in verschiedenen europäischen Ländern flächendeckend installiert, um als intelligente Stromzähler den Benutzer/innen beim Einsparen von Energie zu helfen [35]. Sie sind jedoch auf den Stromverbrauch beschränkt und können beispielsweise nicht dabei helfen, Heizenergie zu reduzieren.

Ein weiteres denkbare Szenario wäre, dass Benutzer/innen das Sparen von Energie als eine Art Wettbewerb betrachten. Bei einer erfolgreichen Integration von Automationssystemen und Multimedianeetzen wäre es beispielsweise möglich, den persönlichen

Verbrauch auf einfache Weise in sozialen Online-Netzwerken bekanntzugeben und zu vergleichen.

Interaktionsmechanismen wie die eben dargestellten könnten zusätzlich verhindern, dass die Automationstechnik als autonom, anonym oder gar bedrohlich empfunden wird. Den Benutzer/innen kann dadurch vielmehr das Gefühl vermittelt werden, dass die Technik den Zweck hat, dem Menschen zu dienen, und ihm insbesondere dabei helfen kann, zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen. Für eine solche Interaktion zwischen den Benutzer/innen und dem Automationssystem spielt die Benutzerfreundlichkeit, für die psychologische Aspekte besonders relevant sind, natürlich eine bedeutende Rolle; hier kann unter Umständen von den Erfahrungen, die bezüglich Usability in herkömmlicher Software bereits gewonnen wurden, profitiert werden.⁹ Ausgefeilte Interfaces könnten außerdem dem Problem „Überfrachtung mit Technik“ [35], das insbesondere ältere Benutzer/innen betrifft [35], entgegenwirken. Dabei stellt sich natürlich die Frage, wie die hierfür benötigten Control Panels aussehen könnten. Beispielsweise könnten Handys mit entsprechender Software, die den mobilen Agenten zugeordnet werden können [7], diese Aufgabe erfüllen. Diese hätten außerdem den Vorteil, dass sie zur oben angesprochenen Individualisierung beitragen und eine unter Umständen schwierige Identifizierung von Personen durch andere Merkmale, wie z. B. in der Gesichtserkennung, ersparen könnten. Zumindest ist klar, dass es nicht im Sinne der Nachhaltigkeit wäre, eigene Control Panels als Hardware herzustellen. Viel besser wäre es bestehende Infrastruktur zu nutzen, was auch eines der Ziele der in Abschnitt 4 besprochenen Integrationsmechanismen ist.

Insgesamt sollen die hier aufgeführten Aspekte als Motivation dienen, die Benutzer/innen stärker in des Design der Systeme einzubinden, auch wenn dies unter Umständen eine große technische Herausforderung bedeutet, sowie die psychologischen und sozialen Auswirkungen des Lebens in einer automatisierten Umgebung zu erforschen.

6 Zusammenfassung

Wie eingangs festgestellt werden konnte, bestehen für die Gebäudeautomation große Chancen als Hilfsmittel für eine nachhaltige Entwicklung, da die entsprechenden Potentiale im Hinblick auf den Energieverbrauch von Gebäuden vorhanden sind und genutzt werden können. Einige Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wurden beispielhaft vorgestellt. Die Energieeinsparungen bestanden dabei hauptsächlich in der Reduktion des Energieverbrauchs sowie der Optimierung von Verbrauchsmustern. Es ist davon auszugehen, dass die technische Herausforderung in der Gebäudeautomation nicht in der Entwicklung von Einzellösungen besteht, sondern in der Entwicklung integrativer Systeme, die bis zur Vernetzung mehrerer Gebäude reichen. Ein wichtiger Grundstein hierfür

⁹FOLMER und BOSCH geben einen kurzen Überblick über den Begriff der Usability [16]: Beispielsweise werden in der ISO-Norm 9241-11 Kriterien zur Bewertung der Usability definiert. Es wird aber auch darauf verwiesen, dass die Usability in derzeitiger Software in der Regel immer noch als gering eingestuft werden muss.

wurde durch die Einführung herstellerunabhängiger Standards bereits gelegt. Die Anbindung an das computerunterstützte Gebäudemanagement und die tiefere Integration in das Gebäude werden eine ähnlich wichtige Rolle spielen. Darüberhinaus ergibt sich der Eindruck, dass Dezentralisierungstendenzen, insbesondere durch den Einsatz von drahtlosen Systemen, die Technologie in den nächsten Jahren bestimmen werden. Außerdem zeigt sich sehr deutlich, dass klassische Regelungstechniken in hochkomplexen modernen Systemen nicht mehr ausreichend sind und verteilte und intelligente Algorithmen, die klassischerweise Untersuchungsgegenstand der Informatik sind, eine immer größere Rolle spielen. Insgesamt lässt sich sagen, dass die Gebäudeautomation bereits erste Erfolge vorweisen kann, insbesondere im Hinblick auf die Unterstützung nachhaltiger Entwicklung. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der Gebäudeautomation um kein Allheilmittel handelt. Andere, z. B. bauliche, Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz müssen in Planungen ebenfalls beachtet werden. Es ist außerdem festzustellen, dass die alltägliche Durchdringung mit der Gebäudeautomationstechnologie, die in Bezug auf eine nachhaltige Entwicklung erstrebenswert erscheint, noch in weiter Ferne liegt. Dabei wurde herausgearbeitet, dass zum Erreichen dieses Ziels neben technischen auch eine Reihe nicht-technischer Hürden bewältigt werden müssen.

Literatur

- [1] BECKER, MARTIN und PETER KNOLL: *Kurzfassung zur Studie: Untersuchungen zu Energieeinsparpotenzialen durch Nutzung integrierter offener Gebäudeautomatationssysteme auf Basis der Analyse DIN V 18599 und prEN 15232*, Juni 2007.
- [2] BERNERS-LEE, TIM, JAMES HENDLER und ORA LASSILA: *The Semantic Web*. Scientific American Magazine, Mai 2001.
- [3] BOZÁNY, ANDRÁS: *Integration of Building Automation Systems and Facility Information Systems*. Hungarian Electronic Journal of Sciences, 2003.
- [4] BRAUN, HANS-PETER: *Facility Management*. Springer, 5. Auflage, Juli 2007.
- [5] BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH: *137. Bundesgesetz: Energieausweis-Vorlage-Gesetz – EAVG*, August 2006.
- [6] BÜCHEL, MANFRED und MICHAEL VOGELER: *Weißbuch Gebäudeautomation*, Oktober 2008. www.mc-cluster.de/fileadmin/user_upload/pdf/weissbuch.pdf.
- [7] CALLAGHAN, VIC, GRAHAM CLARKE, ANTHONY POUNDS-CORNISH und SUE SHARPLES: *Buildings as Intelligent Autonomous Systems: A Model for Integrating Personal and Building Agents*. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-6)*, Seiten 410–415. IOS Press, Juli 2000.

- [8] CHRISTIAN REINISCH, WOLFGANG GRANZER, FRITZ PRAUS und WOLFGANG KASTNER: *Integration of Heterogeneous Building Automation Systems using Ontologies*. In: *Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE*, Seiten 2736–2741, November 2008.
- [9] CLEMENTS-CROOME, DEREK J.: *What do we mean by Intelligent Buildings?* *Automation in construction*, 6(5–6):395–400, September 1997.
- [10] DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR: *Zusammenfassung Referentenentwurf zur Novellierung der Energieeinsparverordnung (Entwurf zur EnEV 2009)*, April 2008. http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/thema_EnEV/EnEV2009_dena-Zusammenfassung.pdf.
- [11] DEUTSCHES BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT: *Umweltbewusstsein in Deutschland 2008: Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*, Dezember 2008. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/3678.pdf>.
- [12] DIETRICH, DIETMAR, PETER PALENSKY, SANDRINE VON KLOT und DOROTHEE DIETRICH: *Das Digitale Gebäude – Netzwerke in der Gebäudeautomation*. *Gebäudeinstallation*, Seiten 8–10, April 2006.
- [13] ERDMANN, LORENZ, LORENZ HILTY, JAMES GOODMAN und PETER ARNFALK: *The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability*. Technischer Bericht EUR 21384 EN, Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), August 2004. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur21384en.pdf>.
- [14] ERGEN, SINEM COLERI: *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary*, September 2004. <http://www.sinemergen.com/zigbee.pdf>.
- [15] FIUTAK, MARTIN: *Elektronik im Auto gewinnt an Bedeutung*, Dezember 2006. Online: Stand 23. April 2009 http://www.zdnet.de/news/wirtschaft_investition_hardware_elektronik_im_auto_gewinnt_an_bedeutung_story-39001021-39150026-1.htm.
- [16] FOLMER, EELKE und JAN BOSCH: *Architecting for usability: A survey*. *Journal of Systems and Software*, 70(1–2):61–78, 2004.
- [17] GOPPELT, GERNOT: *Die Summe macht's – CO2 sparen mit kleinen elektronischen Helfern*, August 2007. Online: Stand 23. April 2009 <http://www.heise.de/autos/Die-Summe-macht-s-CO2-sparen-mit-kleinen-elektronischen-Helfern--/artikel/s/4306>.
- [18] HAGRAS, HANI: *Employing Computational Intelligence to Generate More Intelligent and Energy Efficient Living Spaces*. *International Journal of Automation and Computing*, 5(1):1–9, Januar 2008.

- [19] HAMILTON, TYLER: *Schwarmintelligenz trifft Energiemanagement*, Februar 2009. Online: Stand 01. April 2009 <http://www.heise.de/tr/Schwarmintelligenz-trifft-Energiemanagement--/artikel/127167>.
- [20] ISLAS, JORGE: *The Gas Turbine: A New Technological Paradigm in Electricity Generation*. *Technological Forecasting and Social Change*, 60(2):129–148, 1999.
- [21] MCKINSEY AND COMPANY, INC.: *Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland*, September 2007. http://www.bdi.eu/download_content/Publikation_Kosten_und_Potenziale_der_Vermeidung_von_Treibhausgasemissionen_in_Deutschland.pdf.
- [22] PALENSKY, PETER: *Current situation and future potential of intelligent building automation*. In: *Proceedings of the European Conference and Cooperation Exchange 2006. Sustainable Energy Systems for Buildings – Challenges and Chances*, November 2006.
- [23] PALENSKY, PETER: *Die Gebäudeautomation und ihre Standards*. TGA-Planung, Seiten 44–45, 2006.
- [24] PALENSKY, PETER, DIETMAR DIETRICH, RATKO POSTA und HEINRICH REITER: *Demand Side Management in private homes by using LonWorks*. In: *Factory Communication Systems, 1997. Proceedings. 1997 IEEE International Workshop on*, Seiten 341–347, Oktober 1997.
- [25] PARK, TAE JIN, YOU JIN CHON, DONG KYU PARK und SEUNG HO HONG: *BACnet over ZigBee, A new approach to wireless datalink channel for BACnet*. In: *Industrial Informatics, 2007 5th IEEE International Conference on*, Band 1, Seiten 33–38, Juni 2007.
- [26] PARK, TAE-JIN und SEUNG-HO HONG: *Experimental Case Study of a BACnet-Based Lighting Control System*. *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, 6(2):322–333, April 2009.
- [27] PENYA, YOSEBA K.: *Last-generation Applied Artificial Intelligence for Energy Management in Building Automation*. In: *Proceedings of the 5th IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications (FET 2003)*, Seiten 79–83, 2003.
- [28] PRATL, GERHARD, BRIGITTE LORENZ und DIETMAR DIETRICH: *The Artificial Recognition System (ARS): New Concepts for Building Automation*. In: *Proceedings of 6th IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Applications*, Seiten 48–55, November 2005.
- [29] REINISCH, CHRISTIAN, WOLFGANG KASTNER, GEORG NEUGSCHWANDTNER und WOLFGANG GRANZER: *Wireless Technologies in Home and Building Automation*. In: *Industrial Informatics, 2007 5th IEEE International Conference on*, Band 1, Seiten 93–98, Juni 2007.

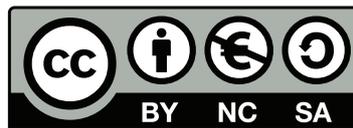
- [30] RICHARDSON, IRMTRAUD: *Aus für die Glühbirne soll kommen*, Juni 2008. Online: Stand 27. April 2009 <http://www.tagesschau.de/ausland/gluehbirne6.html>.
- [31] SAILOR, MICHAEL J. und JAMIE R. LINK: *Smart dust: nanostructured devices in a grain of sand*. Chemical Communications, 11:1375–1383, 2005.
- [32] SHARPLES, SUE, VIC CALLAGHAN und GRAHAM CLARKE: *A Multi-Agent Architecture For Intelligent Building Sensing and Control*. Sensor Review, 19(2):135–140, Mai 1999.
- [33] SZUPPA, STEPHAN und SAMAH ABU ASSAB: *Marktforschung für das „Intelligente Haus“*. BUS Systeme, 12(3):151–156, 2003.
- [34] WARNEKE, BRETT, MATT LAST, BRIAN LIEBOWITZ und KRISTOFER S. J. PISTER: *Smart Dust: Communicating with a Cubic-Millimeter Computer*. Computer, 34(1):44–51, 2001.
- [35] WIK-CONSULT, FRAUNHOFER ISI und FRAUNHOFER ISE: *Potenziale der Informations- und Kommunikations-Technologien zur Optimierung der Energieversorgung und des Energieverbrauchs (eEnergy)*, Dezember 2006. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=184714.html>.
- [36] WONG, A.C.W. und A.T.P. SO: *Building automation in the 21st century*. In: *Advances in Power System Control, Operation and Management, 1997. APSCOM-97. Fourth International Conference on (Conf. Publ. No. 450)*, Band 2, Seiten 819–824, November 1997.

Über dieses Dokument

Diese Arbeit ist ein Teil des Seminars zur Ringvorlesung *Nachhaltigkeit und IKT*¹⁰, die im Sommersemester 2009 an der TU Wien¹¹, Fakultät für Informatik¹² abgehalten wurde.

Diese Seminararbeit ist Teil einer Auswahl der eingereichten studentischen Seminararbeiten. Diese Arbeit, sowie eine Reihe anderer ausgewählter Arbeiten¹³ sind unter der *Attribution-Noncommercial-Share Alike* Creative Commons License¹⁴ veröffentlicht, und sollen einen Eindruck der Ringvorlesung aus studentischer Sicht für diejenigen, die nicht teilnehmen konnten, geben.

Die Ringvorlesung wurde von Alexander Schatten¹⁵ organisiert und betreut.



¹⁰<http://www.informatik.tuwien.ac.at/events/studium/archiv/161>

¹¹<http://www.tuwien.ac.at>

¹²<http://www.informatik.tuwien.ac.at>

¹³<http://bitbucket.org/sdit/sd-ict>

¹⁴<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

¹⁵<http://www.schatten.info>