

Gebäudeautomation als ein Schlüsselement für die drei Nachhaltigkeitsstrategien

Benjamin Ströbele

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Kurzfassung

Ein wesentliches Ziel des nachhaltigen Bauens liegt in der Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs. Für einen schonenden Umgang mit fossilen Energieträgern können die Strategien Konsistenz, Effizienz und Suffizienz verfolgt werden. Hierfür müssen geeignete Elemente für die Betrachtungseinheit Gebäude gefunden werden. Die Nutzenpotentiale der Elemente Gebäudehülle, HLK-Anlagen und Nutzerverhalten werden dargestellt und der Fokus wird auf die Gebäudeautomation gerichtet. Eine gewerkeübergreifende Gebäudeautomation kann neben den HLK-Anlagen und der Beleuchtungsregelung auch die elektrische Energieverteilung für die übrigen Verbraucher umfassen. Die Nutzenpotentiale bestehen in der Möglichkeit eines bedarfsgeführten Betriebs von HLK-Anlagen und in der hohen Regelgenauigkeit zur Einhaltung von raumklimatischen Sollwerten. Darüber hinaus kann durch das Potential der Lastverschiebung der elektrischen Verbraucher ein Beitrag für die Stabilität eines zukünftigen Stromnetzes mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen geleistet werden.

Keywords: Gebäudeautomation, Nachhaltigkeit

1. Ausgangslage und Zielsetzung

In Verbindung mit dem Konzept des nachhaltigen Bauens und der damit verbundenen integralen Betrachtung der ökologischen, ökonomischen, soziokulturellen und funktionalen Qualität, sowie der technischen Qualität und der Prozessqualität werden eine Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs zur Verringerung von Umweltauswirkungen und zur Verbesserung der Gesamtwirtschaftlichkeit von Gebäuden als Ziel formuliert (BMVBS 2011). Das damit verbundene Erfordernis in der Form eines sparsamen und schonenden Umgangs mit fossilen Energieträgern begründet sich zum einen durch deren Endlichkeit im Kontext des Sicherstellens einer zukünftigen Energieversorgung und zum anderen durch die mit der Bereitstellung und Nutzung verbundenen Umweltauswirkungen.

Mit den (in Linz 2004) aufgeführten Strategien Konsistenz, Effizienz und Suffizienz kann ein sparsamer und schonender Umgang mit fossilen Energieträgern erreicht werden. Sie werden in Abschn. 2, in Bezug auf die in diesem Beitrag gewählte Betrachtungseinheit Gebäude, erläutert. Um diese Strategien verfolgen zu können, müssen geeignete Elemente für die Betrachtungseinheit gefunden werden. Ergänzend zu den Nutzenpotentialen der Elemente Gebäudehülle, HLK-Anlagen (Heizung, Lüftung, Klimatechnik) und Nutzerverhalten, welche in Abschn. 3 dargestellt werden, soll der Fokus auf die Nutzenpotentiale des Elements Gebäudeautomation gerichtet werden. Diese werden in Bezug auf die drei Strategien in den Abschnitten 4, 5 und 6 dargestellt.

2. Strategien

Als das primäre Ziel in Bezug auf die Nutzung von fossilen Energieträgern kann nicht deren Rationierung (Suffizienz) oder Rationalisierung (Effizienz) sondern deren Substitution durch die Strategie Konsistenz gesehen werden (Huber, 2000). Diese Strategie verfolgt den Gedanken eines vollständig geschlossenen Stoff-Kreislaufes um die Umwelt als Entnahme- und Aufnahmemedium zu entlasten. Unter der Annahme, dass die dafür notwendigen technologischen Voraussetzungen für die Nutzung von erneuerbaren Energien auch in der Zukunft nicht in ihrer Vollständigkeit bestehen werden, darf die Konsistenz aber nicht als die umfassende, alleinige Lösung gesehen werden. Dies begründet sich zum einen dadurch, dass Technologien wie photovoltaische Anlagen nicht grundlastfähig sind und somit durch komplementär arbeitende Mittellastkraftwerke ergänzt werden müssen (Wirth & Burger, 2012). Der zweite Grund liegt darin, dass neben der Nutzungsphase der Technologien der gesamte Lebenszyklus in Bezug auf die Umweltauswirkungen betrachtet werden muss. Dieser umfasst auch die Umweltauswirkungen, welche durch die Herstellung und Verwertung der Technologien entstehen. Auf Basis der genannten Gründe besteht die Notwendigkeit, ergänzend zur Strategie Konsistenz, die beiden Strategien Effizienz und Suffizienz zu verfolgen.

Die Effizienz beschreibt allgemein das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand, wobei im Kontext dieses Beitrags keine monetäre, sondern eine materielle Zielsetzung im Sinne einer höheren Ressourcenproduktivität, als das Verhältnis von Output zu den dafür beim Prozessmodul eingesetzten fossilen Energieträgern als Ressourcen, fokussiert wird. Mit der Suffizienz als dritte Strategie soll verhindert werden, dass eine Einsparung auf Basis der Effizienz durch einen Mehrverbrauch kompensiert wird. Hier stellt sich die Frage nach dem „richtigen Maß“,

also einem bedarfsgerechten Verbrauch. Beispielsweise ist eine in Bezug auf die thermische Behaglichkeit von Büronutzern geeignete und somit auch notwendige Höhe der operativen Raumtemperatur festzulegen, unabhängig davon wie effizient die Nutzenergie bereitgestellt werden kann.

Gegenstand des folgenden Abschnitts ist das Aufzeigen der Nutzenpotentiale bestehender Elemente für die Betrachtungseinheit Gebäude, um die drei Strategien zur Schonung fossiler Energieträger verfolgen zu können.

3. Elemente

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) leistet durch ihre Vorgaben in Bezug auf die Begrenzung des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar für die Nutzungsphase eines Gebäudes, einen Beitrag hin zu einem sparsamen Umgang mit fossilen Energieträgern. Die beiden Elemente, welche in Bezug auf die Einhaltung der Vorgaben im Fokus stehen, sind die Gebäudehülle und die HLK-Anlagen. Mit diesen Elementen können die drei Strategien aber nur eingeschränkt verfolgt werden.

Mit einer Änderung der thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle kann erreicht werden, dass der gleiche Nutzen, z. B. eine bestimmte operative Raumtemperatur in den Räumen zu halten, mit einem geringeren Energiebezug erreicht werden kann. Somit kann die Strategie Effizienz mit dem Element Gebäudehülle für das Gebäude als Betrachtungseinheit, verfolgt werden. Der Nutzen (der Wert für die operative Raumtemperatur, bzw. das gewünschte Intervall) bleibt gleich und der energetische Aufwand verringert sich. Dies gilt auch für das Element HLK-Anlagen, durch deren Auswahl und Einsatz die Verluste innerhalb des Gebäudes in Bezug auf Erzeugung, Speicherung und Verteilung der Energie reduziert werden können. Darüber hinaus können mit einer geeigneten Anlagentechnik erneuerbare Energieträger für die Strategie Konsistenz genutzt werden. Mit dem Nutzerverhalten, als weiteres Element, kann die Strategie Suffizienz für das Gebäude verfolgt werden, falls das notwendige Bewusstsein und die dafür erforderliche Aufklärung gegeben sind. Eine Einschränkung auf das „notwendige Maß“ kann beispielsweise in Bezug auf die operative Raumtemperatur oder die Beleuchtungsstärke auf den Arbeitsflächen erfolgen. Aufgrund der sonst fehlenden Regelgenauigkeit kann das Nutzenpotential einer solchen Einschränkung jedoch nur durch eine automatisierte (Einzelraum-)Regelung erschlossen werden.

Ergänzend zu den vorab genannten Elementen können mit der gewerkeübergreifenden Gebäudeautomation und den damit einhergehenden Regelfunktionen in Verbindung mit der Möglichkeit der Kommunikation zwischen den HLK-Anlagen und der Beleuchtungsregelung sowie der elektrischen Energieverteilung der übrigen Verbraucher alle drei Strategien verfolgt werden. Das Potential dieses Elements wurde in Bezug auf die Energieeinsparverordnung bereits dahingehend erkannt, als dass ein zusätzlicher Teil 11 (DIN 18599-11) für die Bilanzierung des Energiebedarfs von Gebäuden erstellt worden ist. Dieser Teil orientiert sich an der Vorgehensweise nach (DIN 15232) und bietet eine Möglichkeit zur Abschätzung der Auswirkungen einer Gebäudeautomation und des technischen Gebäudemanagements auf den Energiebedarf eines Gebäudes. Das Einsparpotential ist hier durch einen an die Nutzung angepassten Gebäude- und Anlagenbetrieb gegeben (z. B. durch eine automatische Regelung mit intermittierendem Betrieb der Heizungspumpe). Durch die in Verbindung mit der Gebäudeautomation verbundenen Regelfunktionen können die aus Verteilung und Erzeugung entstehenden Verluste auf ein Minimum reduziert werden.

Die Auswahl der Gebäudeautomation ist Bestandteil des Energie- und Informationsmanagements, welche zwei Leistungsbereiche des technischen Gebäudemanagements sind (DIN 32736). Deren Einordnung in das Facility Management, welches alle Lebenszyklusphasen umfasst, wird in Abb. 1 dargestellt. Das Gebäudemanagement ist hier ein Teilbereich des Facility Managements, welches lediglich die Leistungen während der Nutzungsphase von Gebäuden umfasst.

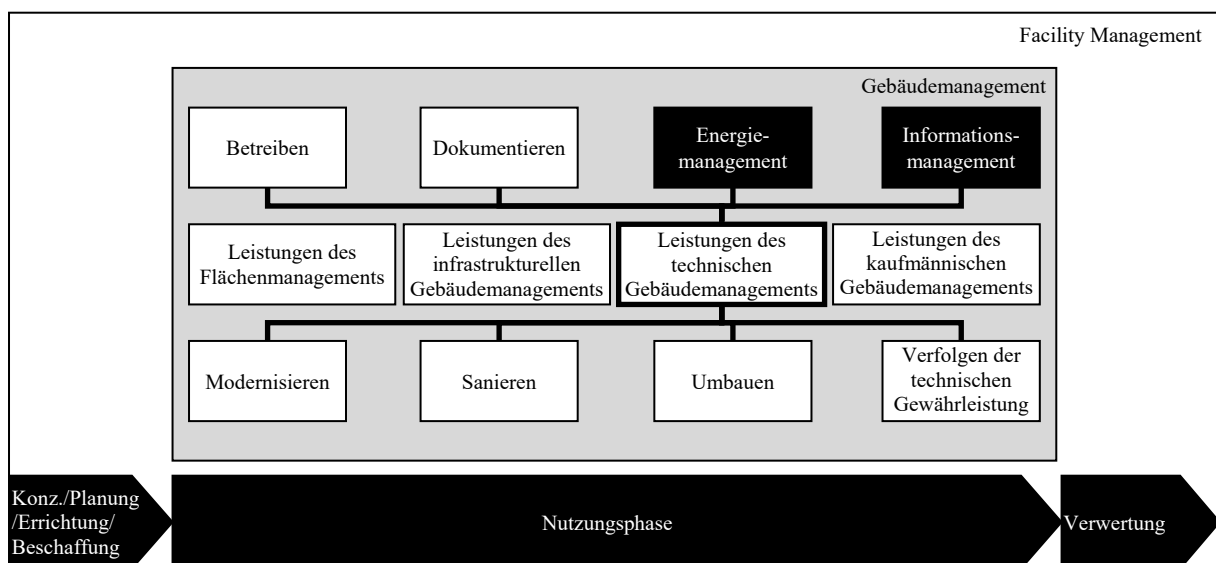


Abb. 1: Einordnung des Energie- und Informationsmanagements in das Facility Management nach (DIN 32736) und (GEFMA 2004)

Nach (DIN 16484-2) wird mit der Gebäudeautomation allgemein die automatische Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung für das wirtschaftliche und energieeffiziente Betreiben der technischen Gebäudeausrüstung ermöglicht. Neben diesem Verweis auf die Strategie Effizienz bestehen mit der Gebäudeautomation weitere Nutzenpotentiale für die Betrachtungseinheit Gebäude in Bezug auf Suffizienz und Konsistenz. Diese werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

4. Nutzenpotentiale der Gebäudeautomation für die Strategie Effizienz

Zur Abschätzung der Auswirkungen einer Gebäudeautomation und den Maßnahmen des technischen Gebäudemanagements auf den Energiebedarf von Gebäuden werden in (DIN 15232) Orientierungswerte angegeben. Auf Basis von Vorberechnungen für unterschiedliche Gebäudetypen wurden vier unterschiedliche GA-Effizienzfaktoren abgeleitet. Mittels dieser Faktoren erfolgt eine Bewertung der thermischen Energie für die Raumheizung, -kühlung und Trinkwassererwärmung und der Elektroenergie für Beleuchtung und Hilfsenergie. Klasse C entspricht einer Standard-Gebäudeautomation und wird als Referenz angesetzt. Als Beispiel werden die GA-Effizienzfaktoren für den Gebäudetyp Büro in Tab. 1 angegeben.

Tab. 1: GA-Effizienzfaktoren für den Gebäudetyp Büro aus (DIN 15232)

Energieform und Art der Konditionierung	GA-Effizienzfaktoren			
	D	C	B	A
thermische Energie für ...				
Raumheizung	1,44	1	0,79	0,70
Raumkühlung	1,57	1	0,80	0,57
Trinkwassererwärmung	1,11	1	0,90	0,80
elektrische Energie für ...				
Beleuchtung	1,1	1	0,85	0,72
elektrische Energie Hilfsenergie	1,15	1	0,86	0,72

Klasse A umfasst eine hoch energieeffiziente Gebäudeautomation. Das Einsparpotential an thermischer Energie für Raumheizung wird hier mit 30 % beziffert. Diese Einsparung wird nach (DIN 15232) durch einen bedarfsgeführten Betrieb von HLK-Anlagen (z. B. durch eine Regelung in Abhängigkeit vom Belegungsgrad), sowie durch integrierte Funktionen für ein gewerkeübergreifendes Zusammenwirken von HLK-Anlagen und sonstiger Gebäudetechnik (z. B. Außenjalousie im Winter hochfahren, wenn keine Belegung im Raum gegeben ist) erreicht.

5. Nutzenpotentiale der Gebäudeautomation für die Strategie Suffizienz

In engem Zusammenhang zum effizienten Betreiben der Gebäudeausrüstung steht die Strategie Suffizienz. Hier beruht das Potential zur Schonung von fossilen Energieträgern in der Begrenzung der Anforderungen an die raumklimatische Konditionierung. Diese Begrenzung soll jedoch innerhalb von definierten Behaglichkeitsfeldern liegen. Die für die thermische Behaglichkeit, in Abhängigkeit zu den Oberflächentemperaturen stehende, erforderliche operative Innentemperatur ist nicht punktuell verortet sondern umfasst einen bestimmten Bereich. Dieser Bereich steht in Abhängigkeit zum Maß an Erwartungen an das Raumklima. In der DIN 15251 werden zugehörige Kriterien definiert, für welche ein vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen durch den PPD-Index (PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied) angegeben wird. In Bezug auf die in Tab. 2 definierten Kategorien werden in Tab. 3 Bereiche für die Auslegungswerte für die operative Innentemperatur für maschinell geheizte und gekühlte Gebäude angegeben.

Tab. 2: Kategorien für die Auslegung maschinell geheizter und gekühlter Gebäude aus (DIN 15251)

Kategorie	Beschreibung	PPD
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen	< 6
II	normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude	< 10
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden	< 15
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden.	> 15

Tab. 3: Auslegungswerte für die operative Innenraumtemperatur für maschinell geheizte und gekühlte Wohngebäude und Einzelbüros aus (DIN 15251)

Gebäude- bzw. Raumtyp (Energieumsatz ~ 1,2 met)	Kategorie	operative Innenraumtemperatur [°C]	
		Mindestwerte für die Heizperiode (Bekleidungswiderstand ~ 1,0 clo)	Höchstwerte für die Kühlperiode (Bekleidungswiderstand ~ 0,5 clo)
Wohngebäude	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Einzelbüro	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0

Für die Heiz- und Kühlperiode kann eine Einschränkung der Raumtemperatur in Bezug auf die in Tab. 3 gesetzten Grenzen erfolgen (je nachdem welches Maß an Erwartungen für die Räume gewählt wird). Um die operative Innenraumtemperatur innerhalb dieser Grenzen zu halten und im Idealfall die Mindest- und Höchstwerte möglichst genau einzuhalten, besteht die Anforderung an eine hohe Regelgenauigkeit. Es kann angenommen werden, dass diese Regelgenauigkeit durch das Nutzerverhalten nicht erreicht werden kann. Hierfür wird eine automatisierte Einzelraumregelung notwendig. Erst dadurch kann das Potential für eine reduzierte Inanspruchnahme von fossilen Energieträgern durch eine vorher festgelegte Einschränkung auf das „richtige Maß“, erschlossen werden. Als Beispiel kann die Regelung von thermoaktiven Bauteilsystemen genannt werden. Aufgrund der Trägheit des Systems kann durch eine prädiktive Regelung unter Einbeziehung von Wetterprognosen die Regelgenauigkeit erhöht werden. Die Daten der Wetterprognose können die Außentemperatur, die solare Einstrahlung sowie die Windgeschwindigkeit umfassen. Auf Basis dieser Daten kann der Betrieb der Umwälzpumpe für die thermoaktiven Bauteilsysteme geregelt werden. Ergebnisse einer entsprechenden Regelung finden sich in Bollin & Feldmann (2010).

6. Nutzenpotentiale der Gebäudeautomation für die Strategie Konsistenz

Die Gebäudeautomation in Verbindung mit der Gebäudeleittechnik ermöglicht die zeitnahe und hochaufgelöste Darstellung der Energieströme. Neben dem Erfordernis für das Energie- und Informationsmanagement eines Gebäudes sind sie eine maßgebliche Voraussetzung um einen Beitrag für die Systemstabilität eines Smart Grids, als ein „intelligentes“ Stromnetz mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen, zu leisten. Dies begründet sich durch die zahlreichen dezentralen Energiequellen und -senken mit unregelmäßigem In- und Output in Verbindung mit dem schwankenden Energieangebot durch erneuerbare Energien, woraus die Notwendigkeit der Modellierung einer komplexen, unsicheren und sich schnell verändernden Umgebung resultiert.

Für die Systemstabilität eines Stromnetzes mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen ist die Lastverschiebung neben dem Speichern von erneuerbaren Energien der zweite wesentliche Punkt. Dadurch kann ein Ungleichgewicht zwischen der Energienachfrage und dem Angebot durch erneuerbare Energien ausgeglichen werden. Einen Überblick über die verschiedenen Technologien mit einem Lastverschiebungspotential im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen liefert Tab. 4.

Abseits der Industrie verteilt sich das Lastverschiebungspotential im Sektor Haushalte auf eine Vielzahl von elektrischen Verbrauchern mit einer relativ geringen Leistung. Die Erschließung dieses Potentials erfordert als ersten grundlegenden Punkt die Bildung von finanziellen Anreizen durch zeit- und lastabhängige Tarife nach § 40 Abs. 5 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG 2013). Der zweite wesentliche Punkt besteht durch die in § 21c geforderten Smart Meter. Sie ermöglichen die notwendige Lastgangmessung und das Empfangen von Preissignalen der zeit- und lastabhängigen Tarife.

Tab. 4: Technologien mit einem Lastverschiebungspotential im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleitungen aus (Lanz 2011)

Technologie	Stromverbrauch 2007 Deutschland [GWh/a]	Verschiebezeitraum [h]	bisheriger Lastverlauf
Kühlschränke, Kühltheken und Gefriertruhen	4.000	0,5 – 2	kontinuierlich
Kühlhäuser	1.000	3 – 6	kontinuierlich
Klimatisierung	3.500	1	saisonal schwankend (Sommer)
Belüftung	14.000	1	ganzjährig gleichmäßig, tagsüber verstärkt
Wasserversorgung	4.200	20 – 24	kontinuierlich
Stromheizung	8.000	12 – 24	saisonal schwankend (Heizperiode im Winter)
elektrische Warmwassererzeugung	14.000	4 – 12	ganzjährig gleichmäßig, tagsüber verstärkt

Als dritter Punkt muss eine Vernetzung der elektrischen Verbraucher durch eine Gebäudeautomation bestehen. Durch eine Auskoppelung von Daten aus dem Smart Meter an die Gebäudeautomation, welche nach Nestle et al. (2008) als Sekundärkommunikation bezeichnet wird, kann eine automatisierte und nach den Erfordernissen der Energieversorgung angepasste Schaltung der elektrischen Verbraucher erfolgen. Eine technische Umsetzung für ein automatisches Last- und Erzeugungsmanagement wird in Ringelstein et al. (2008) vorgestellt. Durch ein bidirektionales Energiemanagement-Interface kann ein Ausgleich fluktuierender Einspeisung aus photovoltaischen Anlagen und Windkraftanlagen innerhalb des Stromnetzes erfolgen und somit die benötigte Energie von komplementär arbeitenden Kraftwerken reduziert werden.

7. Zusammenfassung

Das Facility Management umfasst alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes. Ergänzend zur Auswahl und Planung der Elemente Gebäudehülle und HLK-Anlagen muss für das Energie- und Informationsmanagement eine geeignete Gebäudeautomation gewählt werden. Durch

dieses Schlüsselement können die Strategien Effizienz, Suffizienz und Konsistenz für einen schonenden und sparsamen Umgang mit fossilen Energieträgern verfolgt werden. Die Nutzenpotentiale bestehen, in Bezug auf die Automatisierung der HLK-Anlagen, in der Reduzierung von Verlusten in der Form nicht genutzter Energie und in der hohen Regelgenauigkeit zur Einhaltung raumklimatischer Sollwerte.

Neben den HLK-Anlagen und der Beleuchtungsregelung umfasst eine gewerkeübergreifende Gebäudeautomation auch die elektrische Energieverteilung für die übrigen elektrischen Verbraucher. Durch die Bündelung dieser Verbraucher kann das Lastverschiebungspotential erschlossen werden und die Gebäudeautomation leistet durch ihren Beitrag zur Systemstabilität des Smart Grids neben der Effizienz und Suffizienz auch im Hinblick auf die Konsistenz als dritte Strategie einen Beitrag hin zu zukunftsfähigen und vor allem zukunftsverträglichen Gebäuden.

Literaturverzeichnis

- Bollin, E., Feldmann, T. (2010): Prädiktive Gebäudeautomation. In: Tagungsband Facility Management Frankfurt am Main 09.-11.03.2010. Berlin, Deutschland: VDE Verlag.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – BMVBS (Hrsg.) (2011): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin, Deutschland: Selbstverlag.
- DIN EN 15251:2012-12: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 16484-2:2004-10: Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 2: Hardware. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- DIN V 18599-11:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 11: Gebäudeautomation. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- DIN 32736:2000-08: Gebäudemanagement – Begriffe und Leistungen. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- E DIN EN 15232:2011-06: Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- Energiewirtschaftsgesetz – EnWG vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 31. Mai 2013 (BGBl. I S. 1388) geändert worden ist.
- German Facility Management Association – GEFMA (Hrsg.) (2004): GEFMA-Richtlinie 100 Teil 1 Grundlagen. Bonn, Deutschland.
- Huber, J. (2000): Industrielle Ökologie – Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung. In: Kreibich, R., Simonis, U.E. (Hrsg.): Global Change. Berlin, Deutschland: Arno Spitz Verlag. 109–126.
- Lanz, M., Fricke, B., Anthrakidis, A. et al. (2011): CO₂-Emissionsminderung durch Ausbau, informationstechnische Vernetzung und Netzoptimierung von Anlagen dezentraler, fluktuierender und erneuerbarer Energienutzung in Deutschland. Hrsg.: Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Deutschland.

- Linz, M. (2004): Weder Mangel noch Übermaß – Über Suffizienz und gutes Leben. Hrsg.: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. Wuppertal, Deutschland.
- Nestle, D., Bendel, C., Ringelstein, J. et al. (2008): Dezentrales Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – Was kann die Gebäudeautomation beitragen?. In: Energieeffizientes und solares Bauen. Jahrestagung des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien 29.-30. September 2008 Berlin. Hrsg.: Forschungsverbund Erneuerbare Energien FVEE. Berlin, Deutschland.
- Ringelstein, J., Bendel, C., Nestle, D. (2008): Netz- und marktkonformes bidirektionales Energiemanagement für Lasten und dezentrale Erzeuger im Niederspannungsnetz. In: 10. Symposium Energieinnovation 13.-15.2.2008. Graz, Österreich.
- Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung – EnEV (2009). Nichtamtliche Lesefassung einschließlich der Maßgaben des Bundesrates, denen die Bundesregierung am 18. März 2009 zugestimmt hat.
- Wirth, H. & Burger, B. (2012): Photovoltaik in Deutschland – Missverständnisse in der öffentlichen Diskussion. In: Fraunhofer ISE Presse Lunch 2. Februar 2012. Berlin, Deutschland.

Danksagung des Autors

Der Autor dieses Beitrages bedankt sich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf und bei Herrn Dipl.-Wi.-Ing. Matthias Unholzer für die fachliche Unterstützung sowie für wertvolle Ratschläge und konstruktive Kritik.