

Energiebedarf der Gebäudeautomation

Philipp Kräuchi¹, Christoph Dahinden¹, Dominic Jurt¹, Volker Wouters¹, Urs-Peter Menti¹ und Olivier Steiger¹

¹ Hochschule Luzern – Technik und Architektur, CH-6048 Horw, www.hslu.ch

philipp.kraeuchi@hslu.ch, christoph.dahinden@hslu.ch, dominic.jurt@hslu.ch,
volker.wouters@hslu.ch, urs-peter.menti@hslu.ch, olivier.steiger@hslu.ch

Zusammenfassung

Bei energetischen Betrachtungen zur Gebäudetechnik wurde bisher meist davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch der Gebäudeautomations-Geräte vernachlässigbar klein ist im Vergleich zur erzeugten Wärmeenergie oder zum Stromverbrauch von Kühlgeräten, Ventilatoren, Pumpen und der Beleuchtung. Die Analysen zeigten, dass diese Ansicht zu revidieren ist: Bei durchschnittlich energieeffizienten Gebäuden beläuft sich der jährliche Stromverbrauch der Gebäudeautomation (GA), welche Raumautomation und primärseitige Gebäudeautomation umfasst, auf ein- bis zweistellige Prozentzahlen des jährlichen Endenergiebedarfs der Haustechnik (HLK und Beleuchtung). Für die untersuchten Gebäude beträgt der jährliche Stromverbrauch zwischen 6 % und 12 % des nach SIA 2024 quantifizierten Energiebedarfs für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung eines Gebäudes. Im Vergleich mit einem Minergie-P-Haus mit 25 kWh/m², ohne Beleuchtung und eingeschlossen die Wassererwärmung, sind es 16 % bis 36 %. Absolut ergaben sich für die Raumautomation jährliche spezifische Stromverbrauchswerte von 2 bis 5 kWh/m² (ohne primärseitige Gebäudeautomation).

Die Effizienz der eingesetzten GA-Komponenten beeinflusst den GA-Verbrauch weit stärker als die durch Effizienzklassen nach SIA 386.110 dokumentierten Funktionalitäten der Gebäudeautomation.

Abstract

Building automation has generally been considered as a negligible part of the electricity consumption compared to the heating energy consumption or the electricity consumption of cooling devices, ventilators, pumps and lighting. The analysis showed that this statement has to be revised: the annual electricity consumption of building automation (room automation and primary building automation) amounts to a single or double digit percentage in respect of the annual final energy demand of building equipment and appliances (HVAC and lighting). In terms of absolute numbers, the specific annual electricity consumption for room automation resulted in 2 to 5 kWh/m² (without considering the primary building automation).

The analysis showed that the functionality of building automation and the electricity consumption of the automation equipment are barely correlated; the specific product choice and the design of the system are much more relevant for the electricity consumption of the system.

1. Ausgangslage

Die Spurguppe Gebäudeautomation der SIA Kommission für Gebäudetechnik und Energie (SIA KGE) hat zwischen Herbst 2009 und Herbst 2010 18 Projektideen entwickelt, mit 34 interessierten Personen diskutiert und von ihnen einzeln bewerten lassen. In [1] sind die Ergebnisse dieser Diskussion und der Bewertung dokumentiert. Die Projektidee „Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation“ wurde als wichtig bewertet, von Herstellerseite gar als sehr wichtig. Im Jahre 2011 wurde dann zu dieser Projektidee eine Vorstudie durchgeführt [2]. Darin wurde unter anderem vorhandenes Wissen zusammengetragen, wobei sich unter den gefundenen Publikationen der Bericht von Grieder et. al als die umfassendste erwies [3]. Die Ergebnisse der Vorstudie und des erwähnten BFE Berichts bildeten die Startbasis des Projektes „Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation“. Zwischenzeitlich ist das Thema vermehrt Gegenstand von Untersuchungen geworden (z.B. [4]).

Die SIA Norm 386.110 (SN EN 15232) [5] definiert die GA-Effizienzklassen D bis A. Mit „Effizienz“ ist in dieser Norm nicht ein geringer Eigenverbrauch der GA angesprochen, sondern ein effizienter Betrieb der Gebäudetechnischen Anlagen (ohne auf den Stromverbrauch der GA einzugehen).

2. Vorgehen

Die Untersuchungen basieren auf zwei sich komplementär ergänzenden Ansätzen: erstens der Ausmessung von GA-Komponenten im Labor und zweitens der Analyse von realisierten GA-Lösungen (Objektanalysen). Im vorliegenden Konferenzbeitrag werden ausschliesslich die Objektanalysen dargestellt.

2.1 Objektanalysen

Bei den analysierten Objekten handelt es sich um sechs neuere, hochautomatisierte Gebäude und ein fiktives Bürogebäude. Eine umfassende Darstellung des Projekts, einschliesslich der analysierten Objekte, der vollständigen Annahmen bei der Analyse sowie weiterer Resultate, ist in [6] gegeben. Nachfolgend sind die wichtigsten Punkte zum Vorgehen zusammengefasst.

Um die Objektanalysen systematisch vornehmen zu können, wurde zu Beginn des Projektes eine Analysemethode entwickelt. Sie erlaubt, den Eigenenergieverbrauch der GA verlässlich abschätzen zu können. Anwendbar ist die Methodik sowohl für geplante als auch realisierte GA-Lösungen. Die Methodik wäre manuell aufwendig anzuwenden; sie bedingt ein Tool, welches die Berechnungsschritte automatisiert (Kapitel 2.3). Ein solches Tool wurde als projektinternes Excel-Tool entwickelt. So konnten alle Objektanalysen standardisiert und reproduzierbar vorgenommen werden.

Im Falle der realen Gebäude wurden auf der Basis von Elektroschemas die verwendeten Komponenten identifiziert, ihre Anzahl bestimmt sowie der Speisungsbaum herausgelesen. Im Falle des fiktiven Gebäudes wurden diese Informationen aus der konkreten Planung von vier unterschiedlichen Gebäudeautomationssystemen gewonnen.

Die Daten zu den einzelnen GA-Komponenten wurden aus Datenblättern zusammengestellt. Wo vorhanden, wurden die im Labor gemessenen Daten verwendet.

Für realitätsnahe Objektanalysen fehlten vorerst verlässliche Daten zu den Laufzeiten von haustechnischen Raumgeräten. Dazu wurde eine entsprechende Studie innerhalb dieses Projektes durchgeführt [7].

2.2 Systemgrenze

Zur Gebäudeautomation (Raumautomation und primärseitige Gebäudeautomation) wurden hier diejenigen Komponenten gezählt, welche einen Prozess im Gebäude automatisieren, d.h. typischerweise einen Fluss (Wasser, Luft, Licht) oder einen Energiewandler regeln (wie z.B. einen Ventilator oder eine Leuchte). Der eigentliche Energiefluss im Energiewandler liegt ausserhalb der GA. Zum Beispiel wurden bei der Lüftung die Ventilatoren nicht zur Gebäudeautomation gezählt, hingegen die Ansteuerung der Ventilatoren sowie der Betrieb der Lüftungsklappen-Stellantriebe mitgezählt. Analog wurde bei der Beleuchtung der Verbrauch der Lampen selber nicht

miteinbezogen, ein Beleuchtungsaktor hingegen miteinbezogen. Bei den Vorschaltgeräten wurde lediglich die Standby-Leistungsaufnahme der GA angelastet. Beim Gewerk „Beschattung“ wurden die Storenantriebe mitberücksichtigt. Weiter zum System gezählt wurden alle Speisungen, Steuerungs- und Regelungs-Einheiten, Sensoren und Aktoren, welche für die Gebäudeautomation benötigt werden.

In der Analyse, welche als Basis für die Schätzung des primärseitigen Verbrauchs diente, waren Brandschutzklappen und deren Ansteuerung mitberücksichtigt, hingegen nicht die Brandmelde-Anlage und deren Rauchmelder.

2.3 Berechnungstool

Grundidee

Eines der wesentlichen Ziele des Berechnungsverfahrens war es, die Eigenleistungsaufnahme der Speisegeräte realitätsnah quantifizieren zu können. Dies wird erreicht, indem von den Endverbrauchern ausgehend das gesamte Automationssystem durchschritten wird bis zum 230-V-Netzanschluss. Dabei werden für jede Komponente separat die Eingangs- und Ausgangsströme betrachtet (Input/Output-Ansatz). Alle komponentenbezogenen Eigenleistungsaufnahmen zusammen ergeben die Eigenleistungsaufnahme des Systems.

Konkret werden jeder Komponente eine Zeitkomponente, eine Standby-Leistungsaufnahme, eine Betriebs-Leistungsaufnahme, ein Wirkungsgrad sowie ein Output zugeordnet. Der Output ist die von der Komponente an weitere Komponenten weitergereichte elektrische Leistung.

Baum

Betrachtet man die Speisungssituation, bilden die Komponenten einen Baum. Die Speisung einer Komponente ist deren „Elternkomponente“. Der Baum ergibt sich ausgehend von den untersten Komponenten über die „Eltern“-Komponenten und deren „Eltern“-Komponenten, etc. (beliebige Anzahl an Hierarchieebenen). Beispielsweise kann ein Temperaturfühler von einem I/O-Modul gespeist sein, welches seinerseits durch einen Raumcontroller gespeist wird, und dieser schliesslich über ein Speisegerät am 230-V-Anschluss. Die Baumhierarchie ist in der Eingabetabelle (Tabelle 1) enthalten in Form der Spalte „Komponente“ und der beiden Spalten „Speisung“ zu Beginn der Rubriken „Hauptspeisung“ und „Signal“. Der Baum wird vom Tool daraus bei der Berechnung im Hintergrund generiert und optional auch visualisiert (Abbildung 1). Zur Datenkontrolle lassen sich die meisten Eingabe- und Ausgabedaten im Baum ebenfalls ausgeben, in der Abbildung ist lediglich der Komponententname ausgegeben.

1	2	3	4	
T1_Steuertransformator 230V/24VAC	A1_Raumautomationsstation	L1_Stehleuchte (Signal)		
		L2_LED-Bänder-Kernzone (Signal)		
	A01_Speisungsmodul	A02_Jalousien-Modul	M1_Jalousiemotor (Signal)	
		A03_Triac-Modul	Y1_Heizventil_Stellantrieb thermisch	
		A04_Digitaleingangs-Modul	Y2_Kühlventil_Stellantrieb thermisch	
			S1_Jalousie-Taster	
		A05_Messwertmodul	S2_Beleuchtung-Taster	
	F1_Kondensationswächter			
	Y3_VAV-Kompaktregler			
	T2_Spannungsversorgung	P1_Raumbediengerät		
B1_Raumfühler				
B2_Präsenzmelder				
Y3_VAV-Kompaktregler (Signal)				
M1_Jalousiemotor				
L1_Stehleuchte				
L2_LED-Bänder-Kernzone				
Server				

Abbildung 1: Topologie in Baumdarstellung. Der Baum ist von links nach rechts zu lesen; die linke Spalte beinhaltet jene Komponenten, welche mit 230 V AC gespeist werden. Der gezeigte Baum deckt sich mit der in Tabelle 1 gegebenen Baumhierarchie, siehe Spalten „Komponente“ und „Speisung“. Er gilt für Objekt 1. Alle aufgeführten Komponenten wurden vollständig oder zumindest teilweise der GA angerechnet.

Eingaben

Es wurde bei der Konzeption des Berechnungs-Verfahrens darauf geachtet, den Umfang der Eingabedaten möglichst klein zu halten. Für ein beliebig grosses Gebäude kann das ganze GA-System in einer einzigen Tabelle abgebildet werden, wie beispielhaft in Tabelle 1 gezeigt. Wird eine Gewerks-spezifische Analyse gewünscht, ist lediglich noch die Zuordnung der Komponenten zu den Gewerken zu ergänzen, wo diese nicht automatisch möglich ist (endständige Komponenten).

Obj_1_Eingaben			Hauptspeisung						Signal				
Fläche [m ²] 416													
Komponente	Komponentenart	Anzahl	Speisung	EEV-off [W]	EEV-on-fix [W]	Anteil-on	Nominalleistung [W]	Wirkungsgrad	Speisung	EEV-off [W]	EEV-on-fix [W]	Anteil-on	
T1_Steuertransformator 230V/24VAC	Speisungen	1.00	230V Speisung	0.00	12.40	1.0000	250.00	0.89					
T2_Spannungsversorgung	Speisungen	4.00	230V Speisung	0.00	2.40	1.0000	15.00	0.72					
A1_Raumautomationsstation	Controller	4.00	T1_Steuertransformator 230V/24VAC	0.00	4.10	1.0000							
A01_Speisungsmodul	Energietransfer	4.00	T1_Steuertransformator 230V/24VAC	0.00	0.40	1.0000	30.00	0.75					
A02_Jalousien-Modul	I/O	13.00	A01_Speisungsmodul	0.00	0.60	1.0000							
A03_Triac-Modul	I/O	4.00	A01_Speisungsmodul	0.00	0.24	1.0000	1.00	0.75					
A04_Digitaleingangs-Modul	I/O	4.00	A01_Speisungsmodul	0.00	0.60	1.0000	1.40	0.70					
A05_Messwertmodul	I/O	1.00	A01_Speisungsmodul	0.00	0.84	1.0000	1.50	0.60					
M1_Jalousiemotor	Antrieb Storen	25.00	230V Speisung	0.00	115.00	0.0030			A02_Jalousien-Modul	0.00	0.19	0.0030	
Y1_Heizventil_Stellantrieb thermisch	Antrieb Ventil	12.00	A03_Triac-Modul	0.00	2.70	0.1500							
Y2_Kühlventil_Stellantrieb thermisch	Antrieb Ventil	12.00	A03_Triac-Modul	0.00	2.70	0.0900							
S1_Jalousie-Taster	Bedienung	16.00	A04_Digitaleingangs-Modul	0.00	0.04	0.0001							
S2_Beleuchtung-Taster	Bedienung	12.00	A04_Digitaleingangs-Modul	0.00	0.04	0.0001							
F1_Kondensationswächter	Sensor Kondensation	12.00	T1_Steuertransformator 230V/24VAC	0.00	0.10	1.0000							
B3_Aussenhelligkeit	Sensor Helligkeit	1.00	A05_Messwertmodul	0.00	0.15	1.0000							
B4_Sonnenstrahlung	Sensor Strahlung	0.00	A05_Messwertmodul	0.00	1.00	1.0000							
P1_Raumbediengerät	Bedienung	12.00	T2_Spannungsversorgung	0.00	0.30	1.0000							
B1_Raumfühler	Sensor Temperatur	12.00	T2_Spannungsversorgung	0.00	0.36	1.0000							
B2_Präsenzmelder	Sensor Präsenz	12.00	T2_Spannungsversorgung	0.00	0.24	1.0000							
Y3_VAV-Kompaktregler	Antrieb Klappen	24.00	T1_Steuertransformator 230V/24VAC	0.50	2.50	0.0040			T2_Spannungsversorgung	0.00	0.15	1.0000	
L1_Stehleuchte	Vorschaltgerät	21.00	230V Speisung	0.00	0.00	0.2600			A1_Raumautomationsstation	0.00	0.03	1.0000	
L2_LED-Bänder-Kernzone	Vorschaltgerät	48.00	230V Speisung	0.00	0.00	0.2600			A1_Raumautomationsstation	0.00	0.03	1.0000	
Server	Systemgeräte	0.21	230V Speisung	0.00	80.00	1.0000							

Tabelle 1: Vollständige Eingabedaten zur Analyse der gesamten Raumautomation des Objektes 1. Auf die Rubriken „Hauptspeisung“ und „Signal“ wird im gleichnamigen Unterkapitel auf der nächsten Seite eingegangen.

Jede Komponente hat das gleiche Set von Eingabegrössen zur Verfügung (Tabelle 2).

Grösse [Einheit]	Beschreibung
EEV-off [W]	Eigenleistungsaufnahme der Komponente im Standby
EEV-on-fix [W]	Eigenleistungsaufnahme der Komponente in Betrieb, ohne leistungsabhängigen Verlust.
Wirkungsgrad [-]	Wirkungsgrad bei Nominalleistung. Er ist hier wie üblich definiert (Verhältnis Ausgangsleistung/Eingangsleistung). Das heisst, der leistungsunabhängige Verlust ist darin bereits enthalten. Ohne Wirkungsgrad-Angabe resultiert kein leistungsabhängiger Verlust, d.h. ein Wirkungsgrad von 100 % würde angenommen.
Nominalleistung [W]	Output-Nominalleistung; wird verwendet, um daraus einen Hilfs-Wirkungsgrad sowie im Falle eines Speisungsgerätes die Auslastung zu berechnen. Der Hilfs-Wirkungsgrad beinhaltet lediglich den leistungsabhängigen Verlust; d.h. der leistungsunabhängige Verlust „EEV-on-fix“ ist darin nicht enthalten.
Anteil-on [-]	Zeitanteil, während dem die Komponente in Betrieb ist (1: Komponente immer in Betrieb; 0: Komponente immer ausgeschaltet).

Tabelle 2: Eingabegrössen im Berechnungs-Verfahren

Zuordnung zu Gewerken

Ist eine Gewerkspezifische-Auswertung gewünscht, wird eine Zuordnung jeder Komponente zu einem oder mehreren Gewerken benötigt (Tabelle 3). Im Falle von endständigen Komponenten (Endverbrauchern) erfolgt die Zuordnung zwingend manuell über die Angabe eines prozentualen Anteils. Bei nicht-endständigen Komponenten wird der Gewerks-bezogene Verbrauch anhand der

berechneten Grösse „Input“ aller angehängten Endverbraucher (und deren Gewerks-Zuordnung) automatisch zugeteilt. Optional kann die Berechnung auch für nicht–endständige Komponenten nach manueller Zuordnung erfolgen.

Obj_1_Eingaben	Zuordnung							
	Eingegebene Werte [-]				Verwendete Werte (automatisch) [-]			
Komponente	Heizung & Kühlung	Lüftung	Licht	Beschattung	Heizung & Kühlung	Lüftung	Licht	Beschattung
T1_Steuertransformator 230V/24VAC	0.25	0.25	0.25	0.25	0.31334	0.27664	0.11122	0.29881
T2_Spannungsversorgung	0.33	0.33	0.34		0.50000	0.36667	0.13333	0.00000
A1_Raumautomationsstation	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25000	0.25000	0.25000	0.25000
A01_Speisungsmodul	0.33		0.33	0.34	0.45748	0.00000	0.07406	0.46846
A02_Jalousie-Modul				1.00				1.00000
A03_Triac-Modul	1.00				1.00000	0.00000	0.00000	0.00000
A04_Digitaleingangs-Modul	0.33		0.33	0.34	0.00000	0.00000	0.42857	0.57143
A05_Messwertmodul			0.50	0.50	0.00000	0.00000	0.50000	0.50000
M1_Jalousiemotor				1.00				1.00000
Y1_Heizventil_Stellantrieb thermisch	1.00				1.00000			
Y2_Kühlventil_Stellantrieb thermisch	1.00				1.00000			
S1_Jalousie-Taster				1.00				1.00000
S2_Beleuchtung-Taster			1.00				1.00000	
F1_Kondensationswächter	1.00				1.00000			
B3_Aussenhelligkeit			0.50	0.50			0.50000	0.50000
B4_Sonnenstrahlung			0.50	0.50			0.50000	0.50000
P1_Raumbediengerät	0.50	0.50			0.50000	0.50000		
B1_Raumfühler	0.50	0.50			0.50000	0.50000		
B2_Präsenzmelder	0.50		0.50		0.50000		0.50000	
Y3_VAV-Kompaktregler		1.00				1.00000		
L1_Stehleuchte			1.00				1.00000	
L2_LED-Bänder-Kernzone			1.00				1.00000	
Server	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25000	0.25000	0.25000	0.25000

Tabelle 3: Gewerks-Zuordnung (Objekt 1)

Hauptspeisung und Signal

Das Verfahren betrachtet jede Komponente als Teilsystem mit zwei Inputs (Hauptspeisung und Signal) und einem Output. Über jede Komponente (Teilsystem) wird eine Bilanzierung gemacht; die Bilanz der Inputs (positiv gezählt) und des Outputs (negativ gezählt) ergibt die Eigenleistungsaufnahme der Komponente. Mindestens der Hauptspeisungs-Input muss bei jeder Komponente vorhanden sein.

Im Speisungsbaum (Abbildung 1) erscheinen Komponenten zweifach, welche beide Speisungsarten (Hauptspeisung, Signal) aufweisen: dabei ist die Komponente ein erstes Mal nur mit ihren eigentlichen Namen aufgeführt (Hauptspeisung) und ein zweites Mal mit dem Namenszusatz „(Signal)“.

Ausgaben

Resultate der Objektanalysen sind der spezifische Eigenenergieverbrauch (Eigenenergieverbrauch pro Quadratmeter Energiebezugsfläche), jeweils gewerkspezifisch (Gewerke „Heizung & Kühlung“, „Lüftung“, „Beleuchtung“ und „Beschattung“) sowie nach frei wählbaren Kategorien. Zudem sind alle Teilresultate umfassend greifbar (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Obj_1_Ergebnisse		Summe [W]			Hauptspannung							Signal						
		130.78	125.09	5.68	[W]; [-] bei Wirkungsgrad							[W]; [-] bei Wirkungsgrad						
Komponente	Anzahl	EEV gesamt, alle Geräte [W]	EEV Hauptspannung, alle Geräte [W]	EEV Signal, alle Geräte [W]	EEV total (Durchschnitt)	EEV-fix (Durchschnitt)	EEV-on-fix	EEV-off	EEV-on-var (Durchschnitt)	Nominalleistung	Wirkungsgrad	Input (Durchschnitt)	Output (Durchschnitt)	EEV total (Durchschnitt)	EEV-fix (Durchschnitt)	EEV-on-fix	EEV-off	Input (Durchschnitt)
T1_Steuertransformator 230V/24VAC	1	16.90	16.90		16.90	12.40	12.40	0.00	4.50	250.00	0.931	77.66	60.76					
T2_Spannungsversorgung	4	12.90	12.90		3.22	2.40	2.40	0.00	0.82	15.00	0.814	6.82	3.60					
A1_Raumautomationsstation	4	16.40	16.40		4.10	4.10	4.10	0.00				4.62	0.52					
A01_Speisungsmodul	4	8.22	8.22		2.05	0.40	0.40	0.00	1.65	30.00	0.758	7.23	5.17					
A02_Jalousien-Modul	13	7.80	7.80		0.60	0.60	0.60	0.00				0.60	0.00					
A03_Triac-Modul	4	1.69	1.69		0.42	0.24	0.24	0.00	0.18	1.00	0.915	2.37	1.94					
A04_Digitaleingangs-Modul	4	2.40	2.40		0.60	0.60	0.60	0.00	0.00	1.40	1.000	0.60	0.00					
A05_Messwertmodul	1	0.86	0.86		0.86	0.84	0.84	0.00	0.02	1.50	0.904	1.01	0.15					
M1_Jalousiemotor	25	8.64	8.63	0.01	0.35	0.35	115.00	0.00				0.35	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
Y1_Heizventil_Stellantrieb thermisch	12	4.86	4.86		0.41	0.41	2.70	0.00				0.41	0.00					
Y2_Kühlventil_Stellantrieb thermisch	12	2.92	2.92		0.24	0.24	2.70	0.00				0.24	0.00					
S1_Jalousie-Taster	16	0.00	0.00		0.00	0.00	0.04	0.00				0.00	0.00					
S2_Beleuchtung-Taster	12	0.00	0.00		0.00	0.00	0.04	0.00				0.00	0.00					
F1_Kondensationswächter	12	1.20	1.20		0.10	0.10	0.10	0.00				0.10	0.00					
B3_Aussenhelligkeit	1	0.15	0.15		0.15	0.15	0.15	0.00				0.15	0.00					
B4_Sonnenstrahlung	0	0.00	0.00		1.00	1.00	1.00	0.00				1.00	0.00					
P1_Raumbediengerät	12	3.60	3.60		0.30	0.30	0.30	0.00				0.30	0.00					
B1_Raumfühler	12	4.32	4.32		0.36	0.36	0.36	0.00				0.36	0.00					
B2_Präsenzmelder	12	2.88	2.88		0.24	0.24	0.24	0.00				0.24	0.00					
Y3_VAV-Kompaktregler	24	15.79	12.19	3.60	0.51	0.51	2.50	0.50				0.51	0.00	0.15	0.15	0.15	0.00	0.15
L1_Stehleuchte	21	0.63	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.03
L2_LED-Bänder-Kernzone	48	1.44	0.00	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.03
Server	0	17.20	17.20		80.00	80.00	80.00	0.00				80.00	0.00					

Tabelle 4: Ergebnisse pro Komponente (Objekt 1). Die Wirkungsgradangabe stellt hier den berechneten Hilfs-Wirkungsgrad dar, siehe dazu die Beschreibung zur Grösse „Nominalleistung“ in Tabelle 2

Obj_1_Ergebnisse		EEV [W]						
Kategorien		Heizung & Kühlung	Lüftung	Licht	Beschattung	Teilsomme	Speisungen	Summe
Komponentenart								
Antrieb Klappen		0.00	15.79	0.00	0.00	15.79	6.61	22.41
Antrieb Storen		0.00	0.00	0.00	8.64	8.64		8.64
Antrieb Ventil		7.78	0.00	0.00	0.00	7.78		7.78
Bedienung		1.80	1.80	0.00	0.00	3.60	3.22	6.82
Controller		4.10	4.10	4.10	4.10	16.40	5.14	21.54
Energietransfer		3.76	0.00	0.61	3.85	8.22	8.04	16.25
I/O		1.69	0.00	1.46	9.60	12.74		12.74
Sensor Helligkeit		0.00	0.00	0.08	0.08	0.15		0.15
Sensor Kondensation		1.20	0.00	0.00	0.00	1.20	0.33	1.53
Sensor Präsenz		1.44	0.00	1.44	0.00	2.88	2.58	5.46
Sensor Strahlung		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
Sensor Temperatur		2.16	2.16	0.00	0.00	4.32	3.87	8.19
Vorschaltgerät		0.00	0.00	2.07	0.00	2.07		2.07
Systemgeräte		4.30	4.30	4.30	4.30	17.20		17.20
Teilsomme		28.22	28.15	14.05	30.56	100.99	29.79	130.78
Speisungen		11.74	9.40	3.60	5.05	29.79		
Summe		39.96	37.55	17.65	35.61	130.78		

Tabelle 5: Ergebnisse pro Gewerk und Komponentenart (Objekt 1)

Als Indiz für eine korrekte Dimensionierung der Speisungsgeräte wird eine mittlere Auslastung der Speisungen berechnet (Tabelle 6). Auslastungen unter 50 % sind ein Indiz für zu grosszügig dimensionierte Speisungen.

Obj_1_Ergebnisse		
Zusammenfassung - 'Stammbaumköpfe'		
	Input (Durchschnitt) [W]	Auslastung [%]
230V Speisungen		
T1_Steuertransformator 230V/24VAC	77.66	24.30
T2_Spannungsversorgung	27.30	24.00
M1_Jalousiemotor	8.63	
L1_Stehleuchte	0.00	
L2_LED-Bänder-Kernzone	0.00	
Server	17.20	
Gesamtenergiebedarf Gebäudeautomat	130.78	

Tabelle 6: Auslastung der Speisungen (Objekt 1).

3. Resultate

3.1 Stromverbrauch der Raumautomation

Die analysierten Gebäude sind fünf Schulhäuser (Objekte 1 bis 5), ein Bürogebäude (Objekt 6) sowie ein fiktives Bürogebäude mit vier Gebäudeautomationssystemen (Objekt 7: GAS 1 bis 4). Alle diese Gebäudeautomationssysteme sind funktional hochstehend und miteinander identisch.

In Abbildung 2 und Abbildung 3 wird der jährliche Raumautomations-Stromverbrauch der verschiedenen analysierten Objekte miteinander verglichen. Dabei wird der Stromverbrauch auf die Gewerke „Heizung & Kühlung“, „Lüftung“, „Beleuchtung“ und „Beschattung“ aufgeschlüsselt. Die beiden Abbildungen unterscheiden sich dahingehend, dass in der ersten Abbildung die Speisungen zusammen mit den weiteren Komponenten zusammengefasst sind, während in der zweiten Abbildung die Speisungen separat ausgewiesen werden.

Bei zwei Objekten (Objekte 3 und 5) sind keine Daten für die Gewerke „Beleuchtung“ und „Beschattung“ vorhanden: bei Objekt 3 gibt es keine automatisierte Beschattung und bei Objekt 5 waren uns keine Elektroschemas zur Beschattung zugänglich.

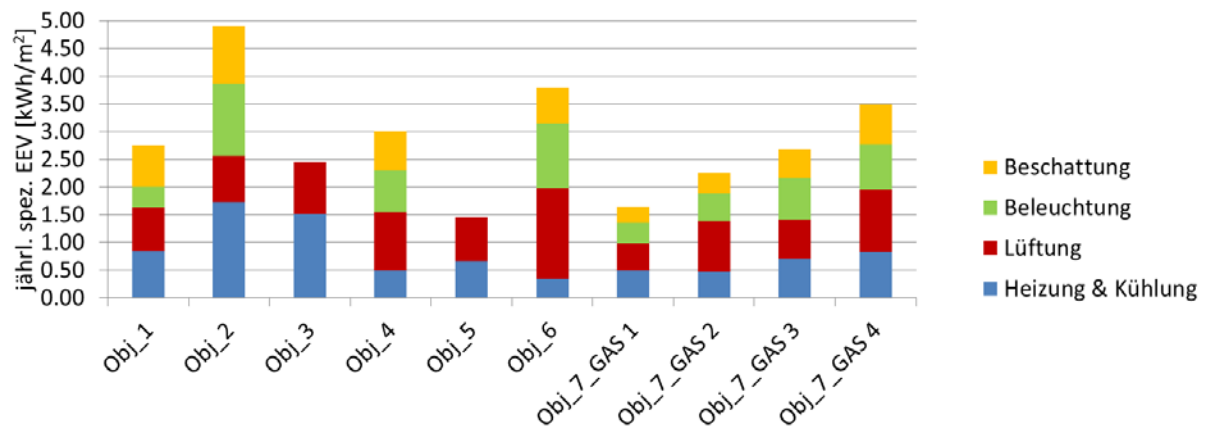


Abbildung 2: Stromverbrauch der Raumautomation nach Gewerk, inklusive Speisungen, jährlich

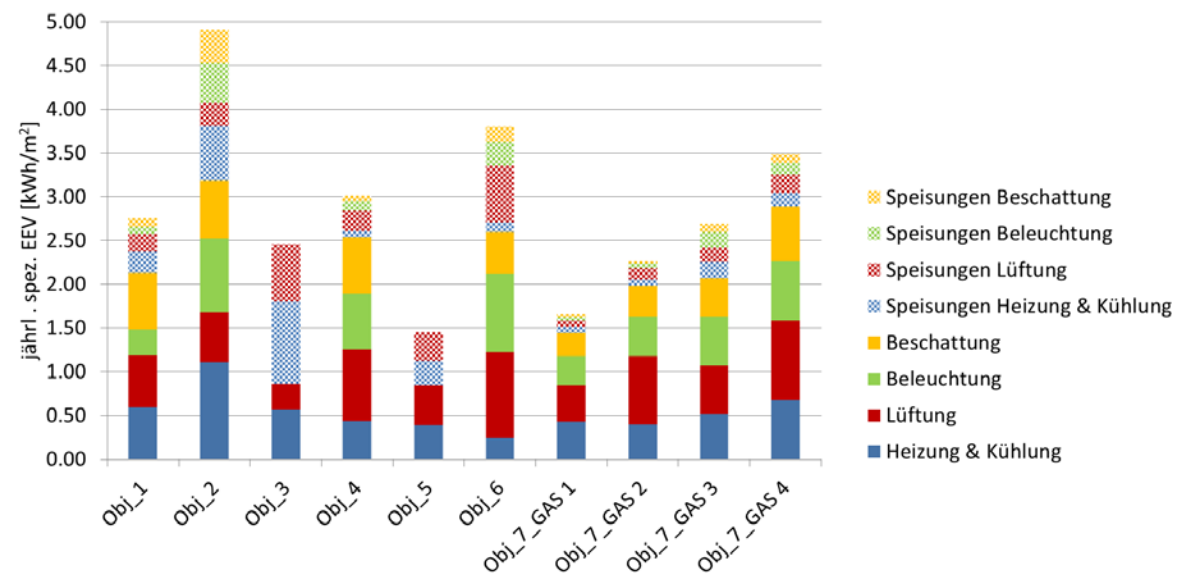


Abbildung 3: Stromverbrauch der Raumautomation nach Gewerk, Speisungen separat, jährlich

Die vier realisierten Gebäude, die Daten zu allen Gewerken aufweisen (Objekte 1, 2, 4 und 6), zeigen einen jährlichen Raumautomations-Stromverbrauch von knapp 3 kWh/m² (Objekt 1) bis zu knapp 5 kWh/m² (Objekt 2). Nach Gewerk betrachtet, zeigt Objekt 2 ebenfalls die höchsten absoluten Werte in drei Gewerken (Heizung & Kühlung, Beleuchtung, Beschattung).

Objekt 1 zeigt für die Beleuchtung einen geringeren Anteil (relativ und absolut). Es ist das einzige Objekt, bei dem die Vorschaltgeräte nur beim Betrieb der Leuchten unter Spannung sind.

3.2 Beziehung zwischen GA-Effizienzklasse und Raumautomations-Stromverbrauch

Am Objekt 1 wurde im Rahmen einer Masterarbeit [8] untersucht, ob die GA-Effizienzklasse nach [5] und der Raumautomations-Stromverbrauch in Beziehung zueinander stehen bei Verwendung von Produkten desselben Herstellers. Es wurden fünf verschiedene GA-Lösungen gerechnet mit GA-Effizienzklasse C bis A. Für diese GA-Lösungen resultierte ein jährlicher Stromverbrauch zwischen 2.58 kWh/m² und 3.34 kWh/m² für die Raumautomation (d.h. ohne Einbezug der primärseitigen GA), der höchste Wert liegt um 29.5 % über dem niedrigsten Wert. Der niedrigste Wert hatte eine GA-Lösung mit GA-Effizienzklasse C, der höchste Wert wurde für eine GA-Lösung mit GA-Effizienzklasse A ermittelt. Eine Beziehung „steigender Raumautomations-Stromverbrauch mit besserer GA-Klasse“ war in der Regel gegeben, mit einer Ausnahme: Die GA-Lösung mit GA-Effizienzklasse B zeigte einen tieferen Wert als eine der beiden GA-Lösungen mit GA-Effizienzklasse C.

3.3 Stromverbrauch gesamte Automation

Der Eigenenergieverbrauch der gesamten Gebäudeautomation ergibt sich aus der Summe des Stromverbrauchs der Raumautomation und des Stromverbrauchs der primärseitigen Gebäudeautomation (Abbildung 4). Der Stromverbrauch der Raumautomation ist für alle Objekte berechnet, während der Stromverbrauch der primärseitigen Gebäudeautomation lediglich für das Objekt 1 vollständig berechnet wurde und es sich bei den Werten für die übrigen Objekte um Abschätzungen handelt. Deshalb sind die Gesamtwerte mit Vorsicht zu nehmen (mit Ausnahme von Objekt 1).

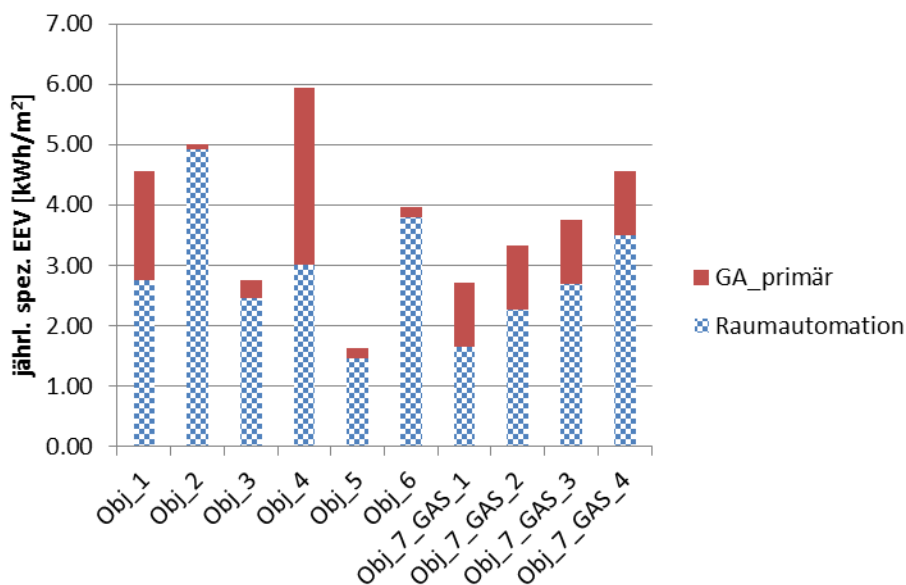


Abbildung 4: Stromverbrauch der gesamten Automation

Aufgrund der Annahmen ergibt sich ein umso grösserer spezifischer Stromverbrauch für die primärseitige GA je kleiner die von der Primäranlage versorgte Fläche ist. Entsprechend ergaben sich für die Objekte mit der kleinsten versorgten Fläche (Objekte 1 und 4) die grössten Werte für die primärseitige GA.

4. Diskussion

Um die erhaltenen Werte bedeutungsmässig einordnen zu können, wurde zwei Vergleichswerte des flächenspezifischen Energiebedarfs herangezogen: 1) nach SIA 2024:2006 und 2) nach Anforderung Minergie-P.

Hinsichtlich beider Bezugsgrössen (SIA 2024, Minergie-P) kann, wie nachfolgend gezeigt, die Aussage gezogen werden, dass bei energetischen Betrachtungen der Gebäudetechnik der Stromverbrauch der Gebäudeautomations-Geräte nicht vernachlässigbar ist.

4.1 Einschätzung des GA-Energiebedarfs anhand Werten aus Merkblatt SIA 2024

Der Vergleichswert nach SIA 2024:2006 wurde für die analysierten Objekte folgendermassen hochgerechnet: Die im SIA Merkblatt gegebenen spezifischen Werte (Tabelle 7) wurden mit der geschätzten Flächenaufteilung der Kategorien verrechnet (Tabelle 8); die erhaltenen Werte sind in der Tabelle 9 wiedergegeben. In der linken Hälfte dieser Tabelle ist der jährliche spezifische Energiebedarf als Endenergie angegeben, in der rechten Tabellenhälfte als gewichtete Energiekennzahl. Der Flächenbezug beider Grössen ist die Energiebezugsfläche.

Zur Bestimmung der Endenergie (Heizöl, Elektrizität) wurde vereinfachend die Endenergie mit der Nutzenergie (Wärme, Kälte, Elektrizität) gleichgesetzt. Die Werte in der SIA 2024 beziehen sich auf die Nutzenergie.

Zur Bestimmung der gewichteten Energiekennzahl wurden die Endenergiewerte (welche gleich den Nutzenergiewerten angenommen wurden, siehe oben) mittels der Minergie-Gewichtungsfaktoren für Heizöl und Elektrizität gewichtet (Gewichtungsfaktor Heizöl: 1.0; Gewichtungsfaktor Elektrizität: 2.0). Der Kältebedarf nach SIA 2024 wurde ungewichtet eingerechnet. Dies entspricht einer Jahresarbeitszahl der Kältemaschine von 2.0 sowie einem Gewichtungsfaktor Elektrizität von 2.0.

SIA	Bezeichnung		Beleuchtung	Lüftung	Kühlung	Befeuchtung	Heizung
			E'Li	E'V	Qc	QH	Qh
Nr.			kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2
3.1	Einzel-, Gruppenbüro	Standardwert	23.98	2.54	0.00	0.00	16.69
3.2	Grossraumbüro	Standardwert	29.07	5.68	5.44	0.00	5.47
3.3	Sitzungszimmer	Standardwert	13.02	2.49	0.00	0.00	23.09
3.4	Schalterhalle, Empfang	Standardwert	12.08	2.44	0.00	0.00	9.48
4.1	Schulzimmer	Standardwert	21.47	6.77	0.00	0.00	18.39
4.2	Lehrerzimmer	Standardwert	17.11	3.02	0.00	0.00	24.20
12.1	Verkehrsfläche	Standardwert	10.63	1.95	0.00	0.00	30.58
12.2	Nebenräume	Standardwert	14.77	0.40	0.00	0.00	12.51
12.4	WC	Standardwert	30.46	3.21	0.00	0.00	19.01

Tabelle 7: Jährlicher spezifischer Energiebedarf aus SIA 2024:2006

Objektnr.	Einzel-, Gruppenbüro	Grossraumbüro	Sitzungszimmer	Schalterhalle, Empfang	Schulzimmer	Lehrerzimmer	Verkehrsfläche	Nebenräume	WC
	[-]								
1	0.10	0.55	0.10	0.04		0.15	0.03	0.03	
2	0.10	0.55	0.10	0.04		0.15	0.03	0.03	
3	0.10	0.55	0.10	0.04		0.15	0.03	0.03	
4	0.10	0.55	0.10	0.04		0.15	0.03	0.03	
5	0.10	0.55	0.10	0.04		0.15	0.03	0.03	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.20	0.15	0.05	0.05
7	0.29	0.29	0.09	0.05			0.17	0.04	0.07

Tabelle 8: Flächenaufteilung für die analysierten Objekte

Objektnr.	Heizung & Kühlung	Lüftung	Beleuchtung	Summe	Heizung & Kühlung	Lüftung	Beleuchtung	Summe
	Endenergie jährlich [kWh/m ²]				Energiekennzahl gewichtet [kWh/m ²]			
1	15.89	4.13	23.12	43.14	15.89	8.25	46.25	70.39
2	15.89	4.13	23.12	43.14	15.89	8.25	46.25	70.39
3	15.89	4.13	23.12	43.14	15.89	8.25	46.25	70.39
4	15.89	4.13	23.12	43.14	15.89	8.25	46.25	70.39
5	15.89	4.13	23.12	43.14	15.89	8.25	46.25	70.39
6	21.12	4.80	19.09	45.01	21.12	9.60	38.17	68.89
7	17.57	3.32	21.83	42.71	17.57	6.63	43.66	67.86

Tabelle 9: Spez. Energiebedarf für die Objekte nach SIA 2024

Abbildung 5 setzt die für die Raumautomation ermittelten Werte in Bezug zum jährlichen Energiebedarf nach SIA 2014 für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung. Die Verhältnisse belaufen sich auf 3 % bis 9 %.

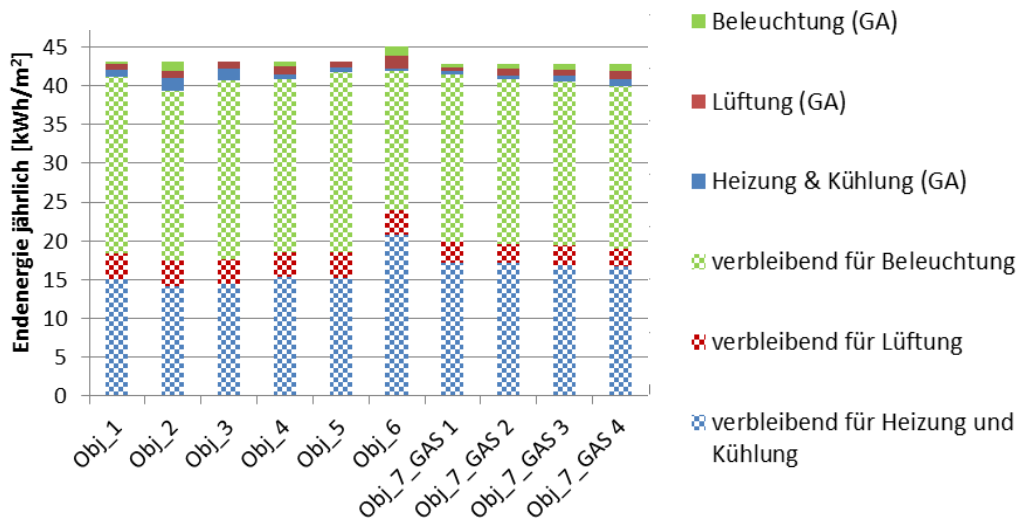


Abbildung 5: Anteil GA Raumautomation, absolut im Vergleich zur Endenergie. Die gesamte Balkenhöhe entspricht der errechneten Endenergie. Wird von der errechneten Gewerks-spezifischen Endenergie der Wert für die GA des entsprechenden Gewerks abgezogen, verbleibt die punktiert gezeigte Endenergie, welche für die Gebäudetechnischen Anlagen (ohne GA) des Gewerks zur Verfügung steht.

4.2 Einschätzung des GA-Energiebedarfs anhand Minergie-P Anforderung

Im Vergleich zum Anforderungswert für Minergie-P und wenn die Primärautomation mitberücksichtigt wird, resultieren Verhältnisse von 16 % bis 36 % (Beleuchtung ist nicht enthalten), siehe Abbildung 6.

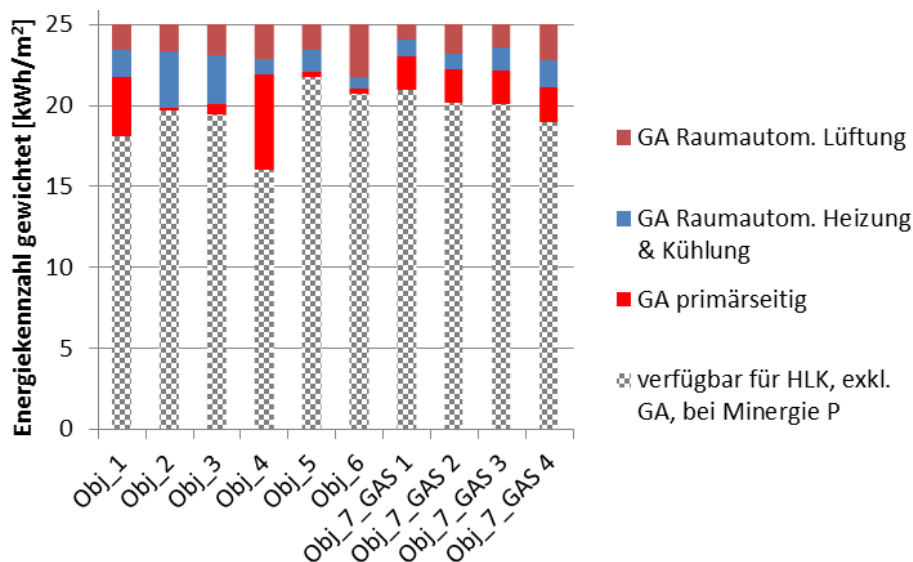


Abbildung 6: Anteil GA Raumautomation und primärseitig, absolut im Vergleich zu Minergie-P. Wird vom Energiebedarf, welcher als Anforderung für Minergie-P der Gebäudekategorie „Verwaltung“ festgelegt ist (25 kWh/m^2) der pro Objekt für die gesamte GA ermittelte Wert abgezogen (Elektrizität mit Faktor 2 gewichtet), verbleibt die punktierte gezeigte gewichtete Energiekennzahl, welche den Gebäudetechnischen Anlagen (ohne GA) zur Verfügung steht.

4.3 Zusammenfassung

Die in den obigen Kapiteln 4.1 und 4.2 beschriebenen Verhältnisse sind in Abbildung 7 zusammengefasst (1. und 4. Säule). Weiter werden dort auch die Verhältnisse wiedergegeben, für a) die Vergleichsbasis SIA 2014 und inklusive Primärautomaiton (2. Säule) sowie b) für die Vergleichsbasis Minergie-P und nur Raumautomation (3. Säule).

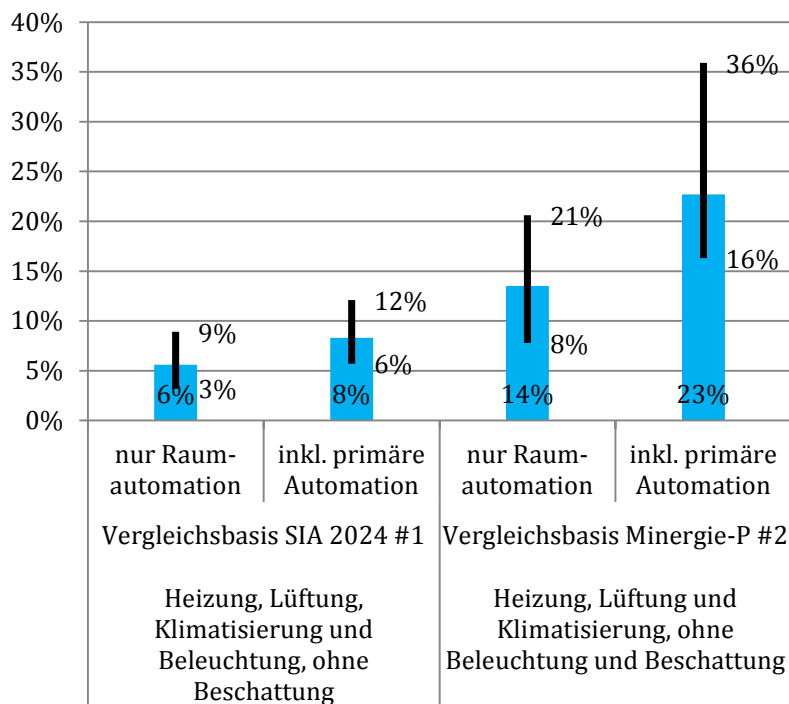


Abbildung 7: Verhältnis Eigenverbrauch der GA zur Bezugsgrösse „Energiebedarf Gewerke“

*1 Bezugsbasis sind die analysierten Objekte mit einem nach Flächenanteilen hochgerechneten Energiebedarf von 43 bis 45 kWh/m². Berücksichtigt im GA-Eigenverbrauch wie auch im „Energiebedarf Gewerke“ sind HLK und Beleuchtung.

*2 Bezugsbasis ist die Anforderung für Minergie-P der Gebäudekategorie «Verwaltung», entsprechend einem Bedarf von 25 kWh/m². Berücksichtigt im GA-Eigenverbrauch wie auch im „Energiebedarf Gewerke“ sind Raumheizung, Wassererwärmung, Lüftung und Klimatisierung. Elektrizität ist mit Faktor 2 gewichtet.

Datenbasis: 4 reale Objekte und 4 Variantenstudien, alle mit umfassender Raumautomation. Die Objekte 3 und 5 sind weggelassen, da dort keine Daten zu allen Gewerken ermittelt werden konnten.

Die in Abbildung 7 gezeigten Werte für das Verhältnis „EEV GA“ zu „Energiebedarf Gewerke“ sind mit Vorsicht zu interpretieren. Hohe Werte für dieses Verhältnis bedeuten nicht unbedingt, dass sich die entsprechenden GA-Funktionen nicht lohnen, da der „Energiebedarf Gewerke“ die Wirkung eines gewissen (wenn auch nicht genaue definierten) Einsatzes von GA-Funktionen voraussetzt. Der „Energiebedarf Gewerke“ ist in starkem Masse abhängig von den eingesetzten GA-Funktionen. Diese Abhängigkeit war allerdings bereits zum Vorherein ausgeklammert aus den Untersuchungen, um diese klar fokussiert zu halten. Die gleiche Anmerkung wie zur Tabelle gilt selbstverständlich für deren zugrundeliegenden Detailergebnisse (Abbildung 5, Abbildung 6).

In absoluten Werten wurde für die analysierten Objekten ein jährlicher Stromverbrauch für die gesamte GA (Raumautomation und primärseitige GA) im Bereich von unter 3 bis 6 kWh/m² berechnet (nur Raumautomation: unter 2 bis 5 kWh/m²; für die Automation der Primäranlagen schätzungsweise 0.1 bis 2.9 kWh/m²), siehe Abbildung 4 in Kapitel 3.3.

Einen hohen Anteil am Stromverbrauch der Raumautomation machten immer die Speisungen aus (Anteile von 12 % bis 65 %), siehe Abbildung 3 in Kapitel 3.1.

Weiter zeigte sich, dass zwischen der GA-Effizienzklasse nach [5] und dem Raumautomations-Stromverbrauch keine klare Beziehung besteht. Die konkrete System-, Topologie- und Produktwahl ist entscheidender. Für die analysierten hochautomatisierten Objekte

unterschied sich der jährliche Raumautomations-Stromverbrauch um fast das Dreifache (1.7 kWh/m² für Objekt 2, 4.9 kWh/m² für Objekt 7, Variante GAS 1).

Demgegenüber dürften bei gleicher Topologie und Produkten desselben Herstellers eher kleine Unterschiede bestehen zwischen GA-Lösungen der Basis-GA-Effizienzklasse (C) und solchen einer hohen GA-Effizienzklasse (A oder B). Exemplarisch wurde dies für Objekt 1 untersucht anhand von 5 verschiedenen GA-Varianten, wobei der höchste jährliche Raumautomations-Stromverbrauch rund 30 % über dem niedrigsten lag (Kapitel 3.2).

5. Fazit und Ausblick

Bei energetischen Betrachtungen zur Gebäudetechnik wurde bisher meist davon ausgegangen, dass der Stromverbrauch der Gebäudeautomations-Geräte vernachlässigbar klein ist im Vergleich zum Wärmebedarf des Gebäudes oder zum Stromverbrauch von Kühlgeräten, Ventilatoren, Pumpen und der Beleuchtung. Die Analysen zeigten, dass diese Ansicht zu revidieren ist. Entsprechend wird empfohlen, diesen zukünftig bei Energiebetrachtungen der Gebäudetechnik mit zu berücksichtigen. Er bleibt zurzeit sowohl beim Energienachweis nach SIA 380/1:2009 wie auch für die Minergie Zertifizierung weitgehend unberücksichtigt. Um Missverständnisse zu vermeiden: Der energetische Nutzen einer fachgerechten Gebäudeautomation wird von den Autoren bekräftigt. Für eine angebrachte GA Funktionalität stellt sich vielmehr die Frage, wie diese Gebäudeautomation an sich möglichst gut und energieeffizient zu gestalten ist. Dazu wurden einige Empfehlungen an Planer und Hersteller im Projektbericht festgehalten [6].

Das im Projekt entwickelte Tool, hat sich für die projektinterne Berechnung bewährt. Es kann als gute Vorlage dienen, für ein auf die Zielgruppe der GA-Planer optimiertes Berechnungstool des GA-Stromverbrauchs.

Literatur/Referenzen

- [1] Tödtli, J., «Bericht der SIA KHE Spurgruppe Gebäudeautomation, Teil 3 Beurteilung der Projektideen durch interessierte Partner,» 2011.
- [2] Tödtli, J., «SIA KGE Spurgruppe GA, „Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation, Schlussbericht über die erste Etappe“ (SIA internes Dokument),» 2011.
- [3] Grieder, T., Senn, T., Gehrig, M., «Neueste Entwicklungen im Bereich intelligentes Wohnen und des damit verbundenen Stromverbrauchs,» BFE, 2008.
- [4] Tønnesen, J., Novakovic, V., «Towards LCA of building automation and control systems in zero emission buildings – measurements of auxiliary energy to operate a KNX bus-system,» *Proceedings CISBAT*, 2013.
- [5] Norm SIA 386.110:2012 (SN EN 15232:2012), «Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [6] Kräuchi, P., Jurt, D., Dahinden, C., «Projekt "Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation" (EEV-GA), Ergebnisbericht,» Bundesamt für Energie, Bern, 2016, <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen/>.
- [7] Hegetschweiler, W., «Jahreslaufzeiten von Stellantrieben haustechnischer Raumgeräte,» HSLU, Horw, 2014.
- [8] Imhasly, R., «Analyse des Objektes Concordia Luzern bezüglich dem Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation (Masterarbeit EN Bau),» EN Bau, 2014.
- [9] «Gebäudeautomation – Energiebedarf nicht vernachlässigbar,» Flyer zu den Ergebnissen des Projekts "Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation", Faktor Verlag, Zürich, 2016, http://www.faktor-forschung.ch/energieverbrauch_ga.html.