

Gunter Lauckner  
Jörn Krimmling

# Raum- und Gebäudeautomation für Architekten und Ingenieure

Grundlagen – Orientierungshilfen – Beispiele

**EBOOK INSIDE**

 Springer Vieweg

---

# Raum- und Gebäudeautomation für Architekten und Ingenieure

---

Gunter Lauckner • Jörn Krimmling

# Raum- und Gebäudeautomation für Architekten und Ingenieure

Grundlagen – Orientierungshilfen –  
Beispiele

Gunter Lauckner  
Fakultät Elektrotechnik  
Hochschule für Technik und  
Wirtschaft Dresden  
Dresden, Deutschland

Jörn Krimmling  
Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur  
Hochschule für Technik und  
Wirtschaft Dresden  
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-658-30142-2      ISBN 978-3-658-30143-9 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-30143-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

# Vorwort

Das Thema Gebäudeautomation ist aus dem heutigen Planungs- und Bauprozess nicht mehr wegzudenken. Alle Beteiligten müssen sich damit auseinandersetzen, da einerseits bei komplexen Gebäuden ein effizienter Betrieb der technischen Anlagen ohne umfassende Automatisierung kaum möglich erscheint und andererseits viele Bauherren die große Vielfalt der am Markt unter dem Überbegriff Smart Home angebotenen Systeme selbst nutzen wollen.

Raum- und Gebäudeautomation ist ein interdisziplinäres Thema, da sich auch Nichtspezialisten damit befassen müssen. Hier setzt das Buch an: es will Architekten, Bauingenieuren, Energieberatern und anderen Einblick und Orientierungshilfe in einem sehr speziellen Technikbereich geben.

Das vorliegende Buch ist eine interdisziplinäre Gemeinschaftsarbeit von zwei Autoren auf den Gebieten der Gebäudeautomation und der TGA-Fachplanung. Somit war schon für den Entstehungsprozess des Buches ein Spannungsfeld allgegenwärtig, das auch im heutigen Planungs- und Bauprozess durch die Gebäudeautomation hervorgerufen wird.

Wir danken der Cheflektorin des Lektorats Bauwesen des Springer Vieweg Verlages Frau Karina Danulat für die Anregung und Motivation, das vorliegende Buch zu schreiben.

Die Autoren wünschen sich, dass es viele interessierte Leser finden wird. Sie denken, dass es sowohl dem Praktiker hilft, als auch Studenten des Bauwesens, also künftigen Architekten und Bauingenieuren.

Dresden, Deutschland  
März 2020

Gunter Lauckner  
Jörn Krimmling

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Herausforderung Digitalisierung</b> .....	1
<b>2 Grundlagen der Gebäudeautomation</b> .....	5
2.1 Begriff und Ziele .....	5
2.2 Struktur und Aufgaben .....	7
2.3 Behaglichkeit im Raum .....	9
2.3.1 Übersicht .....	9
2.3.2 Thermische Behaglichkeit .....	10
2.3.3 Visuelle Behaglichkeit .....	11
2.3.4 Luftqualität .....	12
2.4 Energetische Bewertung .....	14
2.4.1 Gebäude .....	14
2.4.2 Wärme- und Kälteerzeuger .....	16
2.4.3 Pumpen und Ventilatoren .....	17
2.4.4 Gebäudeautomation .....	18
2.5 Grundprinzipien .....	18
2.5.1 Dynamisches System und Prozess .....	18
2.5.2 Steuerung und Regelung .....	20
2.6 Aufgaben und Bauglieder des Regelkreises .....	25
2.6.1 Aufgaben der Regelung in der technischen Gebäudeausrüstung ..	25
2.6.2 Graphische Darstellungen von Regelkreisen .....	26
2.6.3 Signale in Automatisierungssystemen .....	34
2.6.4 Regelstrecken .....	40
2.6.5 Regler .....	48
2.6.6 Messeinrichtungen .....	71
2.6.7 Stelleinrichtungen .....	81
Literatur .....	93
<b>3 Wohngebäude</b> .....	95
3.1 Herausforderungen .....	95
3.2 Das System der Heizung .....	96
3.3 Systeme der Warmwasserbereitung .....	102

---

3.4	Systeme der Lüftung	105
3.5	Regelungsaufgaben	106
3.5.1	Raumtemperatur	106
3.5.2	Heizkreise	110
3.5.3	Wärmeerzeuger	111
3.5.4	Warmwasserbereitung	115
3.5.5	Lüftung	117
3.6	Bewertung der Energieeffizienz	117
3.6.1	Regelung der Raumtemperatur	117
3.6.2	Regelung der Wärmeerzeuger	123
3.6.3	Einfluss der Gebäudeautomation	123
	Literatur	126
<b>4</b>	<b>Unterrichtsgebäude</b>	<b>127</b>
4.1	Herausforderungen	127
4.1.1	Unterrichtsgebäude	127
4.1.2	Sporthallen	128
4.2	Anlagentechnische Schwerpunkte	129
4.2.1	Heizung	129
4.2.2	Systeme der Lüftung	130
4.2.3	Beleuchtung	137
4.3	Steuer- und Regelungsaufgaben	138
4.3.1	Heizung	138
4.3.2	Lüftung	139
4.3.3	Beleuchtung	139
4.4	Bewertung der Energieeffizienz	141
	Literatur	143
<b>5</b>	<b>Bürogebäude</b>	<b>145</b>
5.1	Herausforderungen	145
5.2	Aufgaben von Klimaanlage	146
5.3	Anlagentechnische Schwerpunkte	146
5.3.1	Wärmeerzeuger	146
5.3.2	Kälteerzeuger	147
5.3.3	Grundsysteme von Klimaanlage	154
5.3.4	Kombinationen der Grundsysteme	158
5.3.5	Beleuchtung	164
5.4	Steuer- und Regelungsaufgaben	168
5.4.1	Im Raum	168
5.4.2	Zentrale Anlagen	169
5.4.3	Gebäudeleittechnik	169
5.5	Bewertung der Energieeffizienz	171
	Literatur	173

<b>6 Die Regelung von Heizungsanlagen</b> .....	175
6.1 Zu den Anfängen der Temperaturregelung .....	175
6.2 Regelung der Raumtemperatur .....	178
6.2.1 Einzelraumregelung .....	178
6.2.2 Einzelraumregelung nach Stundenplan in Schulen .....	191
6.2.3 Zonenregelung .....	199
6.3 Regelung der Wärmeerzeuger .....	201
6.3.1 Kesselregelung .....	201
6.3.2 Regelung der Warmwasserbereitung .....	210
6.3.3 Wärmepumpen .....	215
6.3.4 Blockheizkraftwerke .....	219
6.3.5 Fernwärmestationen .....	221
6.3.6 Folgeschaltungen von Wärmeerzeugern .....	222
Literatur .....	226
<b>7 Die Regelung von Lüftungs- und Klimaanlage</b> .....	227
7.1 Lüftungsanlagen in Schulen .....	227
7.1.1 Manuelle Fensterlüftung mit Hilfe von Lüftungsimpeln .....	227
7.1.2 Automatisch öffnende und schließende Fenster .....	230
7.1.3 Zentrale maschinelle Lüftungsanlagen .....	236
7.1.4 Dezentrale Lüftungsanlagen .....	242
7.1.5 Hybride Lüftungsanlagen .....	245
7.2 Klimaanlage in Bürogebäuden .....	247
7.2.1 Nur-Luft-Anlagen .....	247
7.2.2 Luft-Wasser-Anlagen .....	254
7.2.3 Luft-Kältemittel-Anlagen .....	265
7.3 Kälteerzeuger .....	266
Literatur .....	269
<b>8 Beleuchtungssteuerung</b> .....	271
8.1 Strategien .....	271
8.1.1 Messung lichttechnischer Größen .....	272
8.1.2 Messung und Regelung der Leuchtdichte .....	273
8.1.3 Steuerung von Kunstlicht in Abhängigkeit der Anwesenheit .....	275
8.1.4 Steuerung von Verschattungssystemen .....	276
8.2 Lichtmanagement .....	278
8.2.1 Lichtszenarien .....	278
8.2.2 Energieeinsparung .....	280
8.2.3 Notbeleuchtung .....	280
Literatur .....	282

---

<b>9 Smart Home und Gebäudeleittechnik</b> .....	283
9.1 Bussysteme .....	284
9.2 Wohngebäude .....	291
9.2.1 Komplettsysteme .....	291
9.2.2 Smart Home .....	292
9.3 Nichtwohngebäude .....	304
9.3.1 Gebäudeleittechnik .....	304
9.3.2 Lastmanagement .....	309
9.3.3 ZigBee-Messnetz für Sakralbauten .....	313
9.3.4 Gebäudesimulation .....	316
Literatur .....	320
<b>Glossar wichtiger Begriffe</b> .....	323
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	331



Unser Leben wird digital. Stimmt diese These tatsächlich? Es scheint so, dass viele Menschen ohne Smartphone und Internet nicht mehr auskommen können und meist in digitaler Form mit der sie umgebenden Welt kommunizieren. Einkäufe werden über das Internet getätigt und per Online-Banking bezahlt. Buchungsvorgänge für Bahn und Bus werden automatisiert, bei sportlichen Aktivitäten werden mit hochempfindlichen Sensoren Kreislauf und Stoffwechsel überwacht. Mit einer Vielzahl von „digitalen“ Geschäftsmodellen werden Waren und Dienstleistungen angeboten.

Dieser Entwicklungsprozess, ganz gleich wie er beurteilt wird, betrifft natürlich auch die Gebäude. Schon heute kann man mit verschiedenen Geräten oder Anlagen im Gebäude digital kommunizieren. Das Smartphone hat sich vom einfachen Telefon bis zum zentralen Bediengerät im und um das Haus hin entwickelt. Für verschiedene Bedienfunktionen, wie z. B. für den Fernsehapparat, das Garagentor und für die Außenjalousien, ist nur noch ein Endgerät zur Steuerung erforderlich. Mit dem Smartphone können Sollwerte für die Heizung vorgegeben, die Sicherheit des Hauses aus der Ferne überwacht, das Warensortiment des Kühlschranks abgefragt und die Mischarmatur der Badewanne angewählt werden. Selbst einzelne Leuchten können in der Leuchtfarbe verändert, gedimmt und in Abhängigkeit von Zeitplänen oder der Anwesenheit geschaltet werden. Zur Orientierung und Hilfe für ältere Menschen gibt es den Hausnotruf als ein erfolgreiches Assistenzsystem, das zum Pflege- oder Rettungsdienst führt und über Notruftasten oder Bedienterminals in der Wohnung ausgelöst werden kann.

Der Markt bietet inzwischen eine große Produktpalette im so genannten „Smart Home“-Bereich an. Das Interesse dafür wird bei Gebäudeeigentümern und Bauherren auch durch die teilweise unrealistisch hohen Prognosen für die Energieeinsparung geschürt. Insgesamt entstehen neue, sehr große Herausforderungen für alle an der Planung und am Bau beteiligten Akteure.

Digitalisiert das auch den Menschen? Gehorcht dieser nur den Abfolgen von Zahlenkombinationen, Bits und Bytes? Mensch, Natur und die insgesamt umgebende Welt sind analog. Die biologischen und physikalischen Vorgänge entwickeln sich kontinuierlich und stetig. Temperatur, Wind und Druck verändern sich stufenlos und nehmen beliebige Zwischenwerte an. Das betrifft auch Abläufe an und in technischen Geräten und Maschinen. Die der Natur zugrunde liegenden Prozesse sind rückgekoppelte Vorgänge. Wie noch gezeigt wird, handelt es sich um Regelungsvorgänge. Diese Regelungsvorgänge kennt man beim Menschen und allgemein in der Natur. Der Mensch hat eine näherungsweise konstante Körpertemperatur, einen konstanten Blutdruck und einen geregelten Blutzuckerspiegel. Die Lichtintensität im Auge wird mittels Pupillenmuskel der umgebenden Helligkeit angepasst. Dieses Naturphänomen der Regulation haben sich Ingenieure für technische Anwendungen zunutze gemacht. Die praktische Realisierung von Regelungen und Steuerungen in der Heizungs- und Lüftungstechnik erfordert teilweise einen hohen Aufwand. Das Anliegen dieses Buches besteht u. a. auch darin, Verständnis für diese Vorgänge zu wecken.

In der Gebäudetechnik, wie auch allgemein in der Technik, werden die Erfassung und die Weiterverarbeitung analoger Werte für Temperaturen, Feuchten oder Geschwindigkeiten in den Anlagen mit digitalen Mitteln umgesetzt. Digitale Steuer- und Regelungen gibt es dafür schon lange. Auch die Übertragung der Daten über Kommunikationsnetze zu zentralen PCs und Leitrechnern mit dem Ziel der Überwachung und Steuerung der Technik in ganzen Liegenschaften ist keine neue Erfindung.

Neu ist aber die Entwicklung einer Vielzahl von Kommunikationsmethoden, Übertragungstechniken und Funksystemen. Seit längerer Zeit gibt es Bemühungen, dass Geräte unterschiedlicher Hersteller untereinander Daten austauschen und zusammenarbeiten können, was auch als Interoperabilität bezeichnet wird. Damit vollzieht sich ein Wandel von individuellen Einzelanwendungen hin zu fernsteuerbaren kooperierenden Geräten und Installationen. Moderne Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung, wie z. B. Solaranlagen und Wärmepumpen sollen mit Fußbodenheizungen und Lüftungsanlagen effektiv zusammenarbeiten, das Energieangebot optimal ausnutzen und nutzerfreundlich gesteuert werden können. Das erfordert eine geschickte Koordination komplexer Ausrüstungen.

Prinzipien der Gebäudeautomation in hoch komplexen Gebäuden, wie z. B. in Bürogebäuden, kommen zunehmend auch im Wohngebäude vor. Es wird schnell deutlich, dass die Aufgabenstellungen über viele Gewerke übergreifend sind. Damit wird ein hoher Anspruch an die Planung gestellt, aber auch ein hoher Spezialisierungsgrad bei der technischen Umsetzung verlangt. Der Trend führt zur umfassenden und ausschließlichen Digitalisierung sowohl beim Prozess des Bauens (BIM – Building Information Modeling), der Nutzung und Bewirtschaftung (CAFM – Computer Aided Facility Management) sowie der Beherrschung der technischen Systeme im Gebäude (Smart Home). Die Digitalisierung wird zum Phänomen im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Zwischen den einzelnen Phasen des Lebenszyklus ergeben sich Schnittstellen, an denen digitale Daten entstehen, die dann aufbereitet und an andere Abläufe übergeben werden müssen.

Natürlich stellt sich die Frage, ob dieser hohe Technisierungsgrad wirklich erforderlich ist. Man spricht von „High-Tec-Gebäuden“. Ist nicht ein weitgehender Verzicht auf Technik eine sinnvolle Alternative? Das Ergebnis eines solchen Ansatzes wären dann „Low-Tec-Gebäude“.

Diese Frage ist zwar erlaubt, aber die Antwort hängt von den gewünschten Nutzungsbedingungen, wie thermisches Raumklima, Luftqualität und visuelles Raumklima ab. Die oft sehr hohen Komforterwartungen der Bauherren und Nutzer führen eben dazu, dass Gebäude umfassend klimatisiert und damit in Folge auch umfassend automatisiert werden müssen. In den Wohngebäuden sind es die Nutzer, die sich für die am Markt angebotenen Produkte und die sich damit ergebenden vielfältigen Möglichkeiten interessieren.

Dieser Situation stehen Architekten, an die sich dieses Buch in erster Linie richtet, beim Entwurf neuer und zu modernisierender Gebäude gegenüber. Natürlich wird angesichts der zunehmenden Spezialisierung und Arbeitsteilung auch beim Bauen niemand erwarten, dass Architekten all diese digitalen Systeme bis ins kleinste Detail kennen und planen. Aber als führende Akteure, die den Planungs- und Bauprozess steuern, sollten Architekten wissen, dass die Gestaltung des Gebäudes, die Art der Nutzung und die Steuerung der technischen Anlagen eng miteinander zusammenhängen.

Das vorliegende Buch soll helfen

- Grundbegriffe und Grundfunktionen zu verstehen,
- optimale Einsatzbereiche für die unterschiedlichen Systeme zu erkennen sowie
- die Spezialisten für die Gebäudeautomation effizient in den Planungs- und Bauprozess einzubinden.

Im Kap. 2 werden Grundlagen gelegt, indem die wichtigsten Begriffe erklärt werden. Hier geht es darum, was Steuerung und Regelung praktisch bedeuten und wie diese Systeme aufgebaut sind. Dieser Teil des Buches versteht sich beim Lesen der folgenden Kapitel auch als ein Nachschlagewerk, in das man immer wieder hineinschauen kann.

Die Kap. 3, 4 und 5 beschreiben die energietechnischen Systeme der wichtigsten Gebäudearten und leiten erforderliche Aufgaben der Steuerung und Regelung ab.

In den Kap. 6, 7, 8 und 9 wird erläutert, welche Systeme der Gebäudeautomation im Gebäude praktisch umgesetzt werden. Der Text enthält zahlreiche Praxisbeispiele mit Abbildungen.

Das Buch richtet sich an Architekten und Bauingenieure. Es ist darüber hinaus auch für die Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren der Technischen Gebäudeausrüstung, der Automatisierungstechnik, der Gebäudesystemtechnik und für Facility Manager geeignet.



## 2.1 Begriff und Ziele

Die Gebäudeautomation (GA) nimmt in den Lebenszyklen eines Gebäudes eine wichtige Rolle ein. Die mit dem Klimaschutz einhergehende fortschreitende Verschärfung der Wärmeschutz- und Energiesparverordnungen seit Beginn der 1990er-Jahre, der notwendige zuverlässige Betrieb komplexer Anlagen und die flexible Nutzung von Gebäuden erfordern Gewerke übergreifende Funktionen zur energieeffizienten Koordinierung von Anlagen der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA).

► **Gebäudeautomationssystem nach DIN EN ISO 16484-2** besteht aus allen Produkten und Dienstleistungen für die automatische Steuerung und Regelung (einschließlich Logikfunktionen), Überwachung, Optimierung, Betrieb sowie für manuelle Eingriffe und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Gebäudebetrieb [1].

Während früher autark arbeitende Einzelgeräte mit hohem personellen Aufwand eingestellt und betrieben wurden, können durch die Entwicklung moderner mikroelektronischer Komponenten und Kommunikationstechnologien völlig neue Aufgaben gelöst werden. Die Gebäudeautomation ist ursprünglich als Mess-, Steuer-, Regelungs- und Leittechnik für Klimaanlage entstanden. Seit den 1970er-Jahren werden Regler zur individuellen Klimatisierung für jeden Raum eingesetzt. Die rechnergestützte Prozessführung der gebäudetechnischen Anlagen wird als Gebäudeleittechnik (GLT) bezeichnet und findet ebenso seit dieser Zeit eine immer breitere Anwendung.

Die Gebäudeautomation kann man auch als eine Anwendung der Automatisierungstechnik auffassen. Die Automatisierungstechnik ist ein interdisziplinäres Teilgebiet der Ingenieurwissenschaften und in allen technischen Zweigen weit verbreitet. Der Begriff

Gebäudeautomatisierung hat sich über „building automation“ zur Gebäudeautomation gewandelt.

Die Bezeichnungen „Intelligentes Haus“ aus den 1990er-Jahren und „Smart Home“ sind gleichzusetzen und sprechen Funktionen an, die über die grundsätzlichen Aufgaben der Regelung technischer Anlagen hinausgehen. Zunehmend werden Aufgaben und Funktionen der klassischen Gebäudeautomation mit dem intelligenten Datenaustausch zwischen den technischen Komponenten im Gebäude, die nicht mehr nur die Heizungs- und Klimatechnik sondern z. B. auch Haushaltgeräte und Sicherheitstechnik betreffen, miteinander verknüpft.

### Ziele

Mit dem Betrieb automatisierter Geräte soll auf das Raumklima und letztendlich auf das Wohlbefinden des Menschen eingewirkt werden. Grundsätzliche Ziele konstruktiver Maßnahmen und des Betriebs der Gebäudetechnik sind [2]

- thermische Behaglichkeit, die u. a. durch Wärme- und Wasserdampfabgabe des Menschen, körperliche Aktivität, Raumlufttemperatur, relative Raumluftfeuchte, Luftströmung bedingt wird,
- Raumluftqualität, verbunden mit der zulässigen CO<sub>2</sub>-Konzentration, flüchtigen organischen Verbindungen und notwendigem Luftwechsel,
- an die Nutzung angepasste Belichtung und Beleuchtung,
- Schutz vor Überhitzung des Gebäudes durch unkontrollierte Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten,
- Schutz der Bausubstanz vor raumklimabedingten Schäden, u. a. Schutz vor Kondensat, Durchfeuchtung, Schimmelpilzbildung und Schädlingen,
- geringer Energieverbrauch, die Reduzierung der Wärme-, Kälte- und Elektroleistungen sowie die Minderung des Verbrauchs von Wärme, Kälteenergie, elektrischer Energie und Wasser sowie
- optimale Betriebsweise und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Diese umfangreichen Zielstellungen sind oftmals weniger klar fassbar und können mit den Mitteln der Gebäudeautomation meist erst im Kompromiss

selbsttätig und mit  
minimalem Bedienungsaufwand

erreicht werden. Die Anforderungen an die wirtschaftliche Betriebsführung erfordern einen sparsamen Umgang mit Endenergie. Die energetische Bewirtschaftung von Gebäuden hängt neben dem Nutzerverhalten und der Ausführung der Baukonstruktion von einer gewissenhaft abgestimmten Gebäude- und Automatisierungstechnik ab. Die Komponenten der Gebäudeautomation müssen die technischen Anlagen so steuern und führen, dass die oben genannten Forderungen erfüllt werden. Ein energieeffizienter Betrieb der Anlagen ist jedoch nur bei einem entsprechend hohen Automatisierungsgrad möglich.

## 2.2 Struktur und Aufgaben

### Struktur nach VDI 3814

Wegen der notwendigen Flexibilität in unterschiedlichen Anwendungen kann eine Systemstruktur nicht genau festgeschrieben werden. Nach VDI 3814, Blatt 1 [3] wird ein System der Gebäudeautomation gemäß Abb. 2.1 nach örtlich oder zentral lokalisierbaren Bereichen gegliedert:

- Anlagenautomation,
- Raumautomation,
- Gebäudeautomation-Management.

Die Gebäudeleittechnik ist ein wesentlicher Bestandteil der Gebäudeautomation. Die Managementebene wird i.Allg. auch als Gebäudeleittechnik bezeichnet, s. Abb. 2.1 und 2.2.

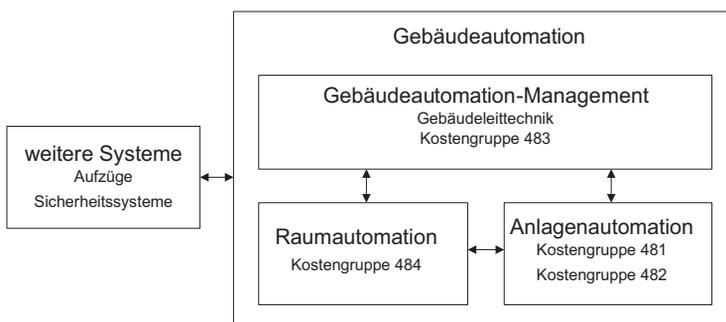
Die **Anlagenautomation** hat

- die Regelung, Steuerung, Prozessführung und Überwachung von Technikzentralen im Gebäude, u. a. Heizungsanlagen, Anlagen der Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik,

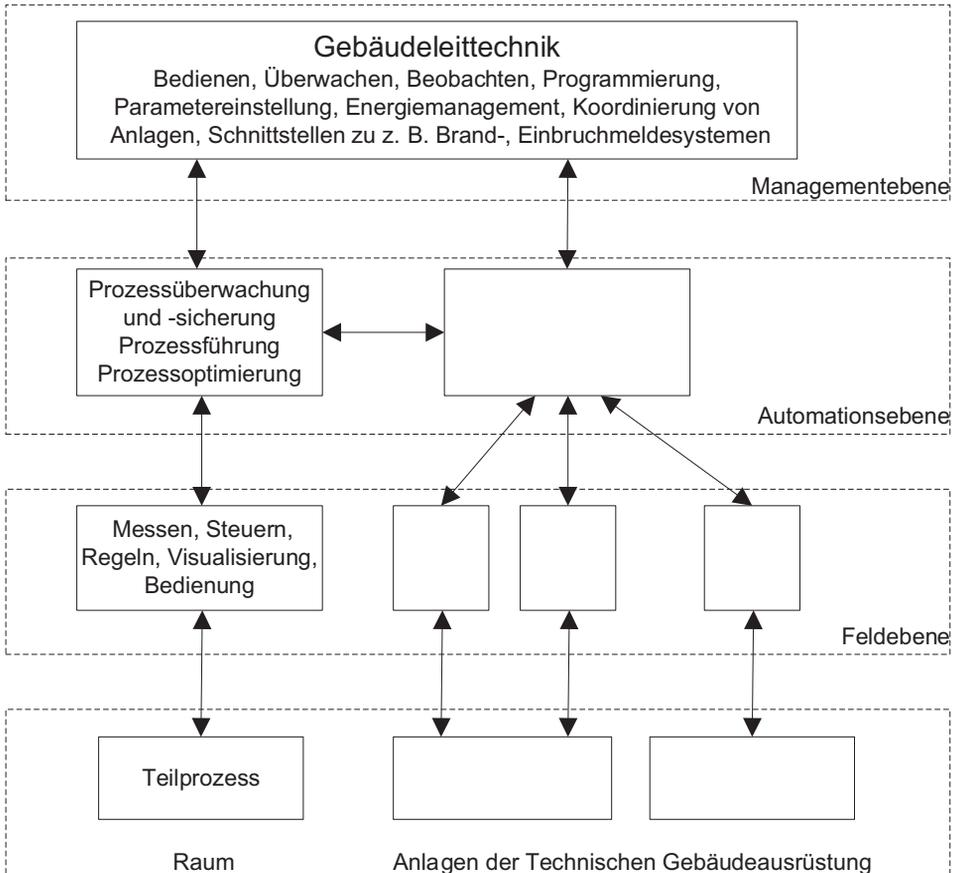
zur Aufgabe. Betriebsgrößen sollen konstant gehalten oder in gesetzmäßiger Weise verändert, technische Vorgänge optimiert und Sicherheitsanforderungen eingehalten werden.

Unter **Raumautomation** werden alle örtlich dezentralen Funktionen verstanden, die der Aufrechterhaltung eines lokalen Raumklimas dienen. Dazu gehören u. a.

- die Regelungen der Wärmeübergabe an den Raum, die Regelung der Raumluftqualität, die Steuerungen der Beleuchtung und Jalousien sowie auch die örtliche Anzeige und Bedienung der Geräte.



**Abb. 2.1** Struktur der Gebäudeautomation



**Abb. 2.2** Hierarchische Gliederung der Funktionen der Gebäudeautomation

Der Begriff Raum kann weiter gefasst sein. Ausgegangen wird von Segmenten als kleinste funktionale Einheit, die sich beispielsweise aus dem Rastersegment einer Fensterachse ergeben. Mehrere Segmente können zu einem Raum zusammengefasst werden. Mehrere Räume mit gleicher Nutzung oder in enger Nachbarschaft ergeben eine Gebäudezone. Die Hauptaufgabe ist die Erfüllung der Forderungen an das Raumklima.

Zwischen Anlagen- und Raumautomation sind Verknüpfungen erforderlich. Das betrifft z. B. die Anpassung der zentralen Wärmeerzeugung an den dezentralen Wärmebedarf in den Gebäudezonen. Dazu muss es einen Informationsverbund bzw. eine Kommunikation zwischen Räumen und Zonen mit den Technikzentralen geben.

Übergeordnete Funktionen werden auf der Managementebene der **Gebäudeleittechnik** realisiert, wie z. B.

- die anschauliche Visualisierung und Bedienung der technischen Anlagen,
- das Energiemanagement oder
- die Erfassung von Informationen zur Erstellung von Bilanzen.

Wegen der zunehmenden Dezentralisierung in der Gebäudeautomation und des flexiblen Informationsaustausches können Funktionen gleichermaßen in den Systemen der Raum- und Anlagenautomation realisiert sein. Die Norm beschreibt keine festgeschriebene Systemarchitektur. Die Gebäudeleittechnik ist ein eigener Systembaustein.

Automatisierungsfunktionen werden auch entsprechend ihrer Ziele und Aufgaben sowie der Reaktionszeiten der zu treffenden Entscheidungen hierarchisch in Ebenen nach Abb. 2.2 angeordnet [4]:

- Feldebene,
- Automationsebene,
- Managementebene (Gebäudeleittechnik).

In der **Feldebene** werden

- prozessnahe Funktionen der Mess-, Stell- und Regelungstechnik (MSR) abgearbeitet,

wobei auch örtlich verteilt Visualisierungs- und Bedienkomponenten vorhanden sein können. In der **Automationsebene** werden hauptsächlich

- Funktionen der Anlagenautomation realisiert, wie z. B. Prozessüberwachung und -sicherung sowie Optimierungsverfahren.

Die Ebene der **Gebäudeleittechnik** bietet

- übergeordneten Managementfunktionen (s. o.).

Elementare Aufgaben der Anzeige von Prozessgrößen oder deren Regelung in örtlichen MSR – Einrichtungen lassen sich durch übergeordnete höhere Prozessführungsfunktionen (Managementsysteme) der GLT so aufeinander abstimmen, dass die Betriebsweise der Gesamtheit der Anlagen optimiert und die Wirtschaftlichkeit verbessert wird. Die GLT erweitert damit die Einsatzmöglichkeiten und den Nutzen der technischen Anlagen erheblich und ist damit ein wichtiges Werkzeug für das technische Gebäudemanagement.

---

## 2.3 Behaglichkeit im Raum

### 2.3.1 Übersicht

Der gewünschte Nutzen der Energieversorgung eines Gebäudes besteht u. a. in der Bereitstellung definierter Raumklimazustände. Diese kann man in folgende Kategorien unterteilen:

- thermisches Raumklima,
- visuelles Raumklima.

Des Weiteren muss ein bestimmter Luftzustand gewährleistet werden, um den Personen im Raum den benötigten Sauerstoff bereitzuhalten bzw. um Schadstoff- und/oder Geruchslasten abzuführen.

Die Raumklima- bzw. Luftzustände können bei unterschiedlichem Qualitätsniveau hergestellt werden. Diese Kategorien werden in der Fachsprache als Behaglichkeit bzw. Luftqualität bezeichnet und man spricht von

- thermischer Behaglichkeit,
- visueller Behaglichkeit und
- Luftqualität.

Außerdem gibt es noch die olfaktorische und die akustische Behaglichkeit, auf welche an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden soll.

Die Herausforderung besteht darin, nicht das bestmögliche Raumklima sondern eine der Nutzung entsprechend angemessene Behaglichkeit bzw. Qualität bereitzustellen. Diese Herausforderung ergibt sich aufgrund der übergeordneten Zielstellung, den Gebäudeenergiebedarf zu minimieren. Idealerweise sollte es gelingen, das Gebäude mit genau der erforderlichen Technik auszustatten und diese dann so zu betreiben, dass genau die benötigte Raumklimaqualität bei minimalem Energieeinsatz erreicht wird. In komplexen Gebäuden ist für diese Aufgabe ein System der Gebäudeautomation unverzichtbar.

### 2.3.2 Thermische Behaglichkeit

Der Mensch fühlt sich in einer bestimmten Umgebung thermisch behaglich, wenn sein Körper keine oder nur sehr geringe thermoregulative Maßnahmen (z. B. aktive Körperbewegung oder Zittern) aufwenden muss. Das bedeutet, es ist ihm weder zu warm noch zu kalt.

Zur physikalischen Beschreibung des Phänomens „Behaglichkeit“ kann man von einer Energiebilanz um den menschlichen Körper ausgehen (vgl. z. B. [5]):

$$\dot{Q}_B = P_{M,eff} + \dot{Q}_{M,ges}. \quad (2.1)$$

$\dot{Q}_B$       Wärmeproduktion durch den Stoffwechsel  
 $P_{M,eff}$     an die Umgebung abgegebene Arbeitsleistung  
 $\dot{Q}_{M,ges}$     Wärmeabgabe an die Umgebung

Nach der DIN EN ISO 7730 ist Behaglichkeit gegeben, wenn die im Körper erzeugte Wärme gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist.

**Tab. 2.1** Qualitätsniveaus nach DIN EN ISO 7730

Qualitätsniveau	PPD	PMV
A	<6 %	$-0,2 < \text{PMV} < 0,2$
B	<11 %	$-0,5 < \text{PMV} < 0,5$
C	<15 %	$-0,7 < \text{PMV} < 0,7$

**Tab. 2.2** Sollwerte für die operative Raumtemperatur nach DIN EN ISO 7730 für Büros

Qualitätsniveau	Operative Temperatur im Sommer (Kühlungsperiode)	Operative Temperatur im Winter (Heizperiode)
A	24,5 °C +/- 1,0 K	22,0 °C +/- 1,0 K
B	24,5 °C +/- 1,5 K	22,0 °C +/- 2,0 K
C	24,5 °C +/- 2,5 K	22,0 °C +/- 3,0 K

Die Wärmeabgabe wird durch folgende globalen Faktoren beeinflusst:

- Lufttemperatur,
- Luftfeuchte,
- Luftgeschwindigkeit,
- mittlere Strahlungstemperatur der umgebenden Flächen,
- Bekleidung.

Ausgehend von Gl. 2.1 kann man die subjektive Klimabewertung einer Gruppe von Personen im Raum abschätzen. Dies geschieht mit dem so genannten PMV-Wert (PMV ... predicted Mean Vote = vorausgesagtes mittleres Votum), in welchen die genannten globalen Faktoren eingehen. Mit Hilfe des PMV-Wertes kann man den Prozentsatz voraussichtlich Unzufriedener (PPD ... Predicted Percentage of Dissatisfied) im Raum bestimmen [5].

In der DIN EN ISO 7730 werden drei Qualitätsniveaus für die thermische Behaglichkeit auf der Basis des PMV- bzw. PPD-Wertes definiert, siehe Tab. 2.1.

Für einen Büroraum kann man bei einer definierten Feuchte und Luftgeschwindigkeit Sollwerte für die operative Temperatur in den drei Qualitätsniveaus bestimmen, siehe Tab. 2.2.

Aus den Sollwerten der Tab. 2.2 ergeben sich Anforderungen an die Gestaltung der Gebäudetechnik (Klimaanlage ja oder nein) und dezidiert auch für die Regelungstechnik im Raum.

### 2.3.3 Visuelle Behaglichkeit

Für die visuelle Behaglichkeit existiert derzeit noch kein geschlossenes Formelsystem mit dem man die physikalischen Aspekte analog zur thermischen Behaglichkeit beschreiben kann. Hinweise zur Bewertung des visuellen Raumklimas findet man in den Bewertungssystemen für Nachhaltiges Bauen.

**Tab. 2.3** Beleuchtungsstärken nach DIN EN 12464-1

Sehaufgabe/Raumart	Beleuchtungsstärke in Lux
Schreiben	500
Konferenz- und Besprechungsräume	500
Empfangstheke	300
Archive	200

Der Steckbrief 3.1.5 des BNB-Systems [6] nennt folgende Faktoren:

- Tageslichtverfügbarkeit,
- Sichtverbindung nach außen,
- Blendfreiheit Tageslicht,
- Blendfreiheit Kunstlicht,
- Lichtverteilung,
- Farbwiedergabe.

Die DIN EN 12464-1 nennt folgende Einflussgrößen, welche bei der Beleuchtung von Arbeitsstätten zu beachten sind:

- Leuchtdichtevertellung,
- Beleuchtungsstärke,
- Lichtrichtung, räumliche Beleuchtung,
- Variabilität des Lichts,
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe des Lichts,
- Blendung,
- Flimmern.

Der energetisch bedeutsamste Parameter ist die Beleuchtungsstärke. Beispielhaft sind in DIN EN 12464-1 für verschiedene Raumarten bzw. Sehaufgaben die erforderlichen Beleuchtungsstärken angeführt (Tab. 2.3).

### 2.3.4 Luftqualität

Der Luftzustand eines Raumes, der zum Aufenthalt von Personen bestimmt ist, ist gekennzeichnet durch:

- den Sauerstoffgehalt (bzw. den CO<sub>2</sub>-Gehalt),
- Gerüche und ggf.
- Schadstoffkonzentrationen.

**Tab. 2.4** Personenbezogene Lüftungsraten nach DIN EN 15251

Qualitätsniveau	Lüftungsrate je Person in l/(s Pers)
I	10
II	7
III	4

**Tab. 2.5** Gebäudebezogene Lüftungsraten nach DIN EN 15251 (Werte in l/(s m<sup>2</sup>))

Qualitätsniveau	Sehr schadstoffarmes Gebäude	schadstoffarmes Gebäude	Nicht schadstoffarmes Gebäude
I	0,50	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,30	0,4	0,8

Daraus lässt sich die Forderung nach einem bestimmten Außenluftvolumenstrom ableiten, mit dessen Hilfe

- der physiologisch für die anwesenden Personen erforderliche Luftbedarf zugeführt,
- etwaige Geruchslasten und/oder
- Schadstoffe abgeführt werden können.

Auch in diesem Bereich gibt es kein geschlossenes Formelsystem zur Beschreibung unterschiedlicher Niveaustufen der Luftqualität, aber man kann sich an verschiedenen Regelwerken orientieren.

In der DIN EN 15251 werden 3 Qualitätsniveaus in Anlehnung an das Prinzip bei der thermischen Behaglichkeit definiert und für jedes Niveau werden Außenluftvolumenströme empfohlen. Es wird in personenabhängige Lüftungsraten unterschieden (Tab. 2.4) und in solche, mit denen Schadstoffemissionen des Gebäudes (Tab. 2.5) abgeführt werden sollen.

Mit Hilfe der Werte aus Tab. 2.4 und 2.5 kann der erforderliche Außenluftvolumenstrom bestimmt werden:

$$\dot{V}_a = N_{\text{Per}} \cdot \dot{v}_{\text{Per}} + A \cdot \dot{v}_A \quad (2.2)$$

- $N_{\text{Per}}$  Personenanzahl im Raum (Gebäude)  
 $\dot{v}_{\text{Per}}$  personenbezogene Lüftungsrate nach Tab. 2.4  
 $A$  Fläche des Raumes (Gebäudes)  
 $\dot{v}_A$  gebäudebezogene Lüftungsrate nach Tab. 2.5

### Beispiel

Für einen Büroraum für zwei Personen in einem schadstoffarmen Gebäude ist der Außenluftvolumenstrom für das Qualitätsniveau II zu bestimmen (Tab. 2.6): ◀

**Tab. 2.6** Ergebnisse des Beispiels

Fläche des Raumes	A	30 m <sup>2</sup>
Personenzahl	N <sub>Per</sub>	2
personenbezogene Lüftungsrate für Niveau II		7 l/(s·Per)
gebäudebezogene Lüftungsrate für Niveau II		0,7 l/(s · m <sup>2</sup> )
Außenluftvolumenstrom		35 l/s

Die VDI 6040-2 gibt für Schulen die anzustrebende CO<sub>2</sub>-Konzentration vor. Es soll der Wert von 1000 ppm (parts per million) nicht überschritten werden.

## 2.4 Energetische Bewertung

### 2.4.1 Gebäude

Die energetische Qualität von Gebäuden wird derzeit an Hand des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs<sup>1</sup> bewertet. Der nichterneuerbare Primärenergiebedarf  $Q_{P, ne}$  ergibt sich für alle zur Versorgung des Gebäudes erforderlichen Endenergieträger:

$$Q_{P, ne} = \sum_i (Q_{E, i} \cdot f_{P, ne, i}) \quad (2.3)$$

$Q_{E, i}$  Endenergieträger i

$f_{P, ne, i}$  Primärenergiefaktor für den nichterneuerbaren Anteil des Endenergieträgers i

Für öffentlich-rechtliche Nachweise (derzeit nach EnEV, künftig nach GEG<sup>2</sup>) werden nur folgende definierte Prozesse berücksichtigt:

- Wohngebäude
  - Heizung
  - Warmwasserbereitung
  - Lüftung
  - Kühlung
- Nichtwohngebäude
  - Heizung
  - Warmwasserbereitung
  - Lüftung
  - Kühlung
  - Beleuchtung (Es werden nur die mit dem Baukörper verbundenen Beleuchtungssysteme berücksichtigt.)

<sup>1</sup> Es kann sich entweder um den Primärenergiebedarf (berechnet) oder den Primärenergieverbrauch (gemessen) handeln. Vereinfachend wird in diesem Abschnitt immer vom „Energiebedarf“ gesprochen.

<sup>2</sup> Gebäudeenergiegesetz.

In der Regel wird der so bestimmte nichterneuerbare Primärenergiebedarf auf eine definierte Fläche bezogen:

- bei Wohngebäuden auf die Wohnfläche (Bestimmung nach EnEV),
- bei Nichtwohngebäuden auf die Nettoraumfläche (siehe DIN 277-1)

$$q_{P,ne} = \frac{Q_{P,ne}}{A_{Bez}}. \quad (2.4)$$

$A_{Bez}$  Energiebezugsfläche

Für den flächenspezifischen Wert des nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs  $q_{P, ne}$  wird die Einheit kWh/(m<sup>2</sup>a) verwendet.

Die Bewertung der energetischen Qualität ist schwierig, da es keine wissenschaftlich begründete Vergleichsskala gibt. Die im Anhang der bisherigen Energieeinsparverordnung angegebenen Effizienzklassen sollten nicht verwendet werden, da sie sich auf die gesamte, benötigte Endenergie beziehen. Der summarische Endenergiewert des Gebäudes ist ohne sinnvolle Aussage, da bei dieser Verfahrensweise Energiearten mit unterschiedlichem Arbeitsvermögen (und unterschiedlichem nichterneuerbaren Primärenergieaufwand zu deren Bereitstellung) addiert werden. Auch wirtschaftlich hat die Kennzahl „gesamter Endenergiebedarf (oder -verbrauch)“ keine Aussage, da unterschiedliche Endenergieträger mit unterschiedlichen Preisen am Markt gehandelt werden.

Es gibt eine weitere Schwierigkeit bei der Einschätzung der energetischen Qualität von Gebäuden, welche insbesondere bei Nichtwohngebäuden auftritt. So kann man beispielsweise bei Bürogebäuden zwei Arten unterscheiden:

- Bürogebäude, welche nur beheizt und über die Fenster gelüftet werden, sowie
- Bürogebäude, welche auch gekühlt und ggf. zusätzlich maschinell gelüftet werden.

Der nichterneuerbare Primärenergiebedarf der Gebäude der ersten Art ist in der Regel deutlich geringer als jener der Gebäude der zweiten Art. Das bedeutet, die Bewertung der energetischen Qualität muss den bereitgestellten Nutzen mit berücksichtigen. Dies könnte etwa in Form eines Effizienzkriteriums geschehen, bei welchem der Nutzen ins Verhältnis zum energetischen Aufwand gestellt wird. Dies gestaltet sich in der Praxis aber schwierig.

Der Nutzen der Gebäudeenergieversorgung besteht hauptsächlich in der Bereitstellung definierter Raumklimazustände in Form

- des thermischen Raumklimas und
- des visuellen Raumklimas.

Außerdem muss ein bestimmter Luftzustand, d. h. die Versorgung mit Sauerstoff gewährleistet werden, was im Falle der maschinellen Lüftung ebenfalls einen energetischen Aufwand verursacht.

Das thermische und das visuelle Raumklima können mit unterschiedlicher Qualität bereitgestellt werden. Demzufolge muss auch die Qualität des jeweiligen Raumklimas als PPD messbar sein, s. Abschn. 2.3.2.

## 2.4.2 Wärme- und Kälteerzeuger

Bei Wärme- und Kälteerzeugern verwendet man das Effizienzkriterium des Jahresnutzungsgrades bzw. der Jahresarbeitszahl. Der Jahresnutzungsgrad  $\eta_{a, \text{Kessel}}$  ist für Kesselanlagen wie folgt definiert:

$$\eta_{a, \text{Kessel}} = \frac{Q_{\text{WE},h}}{Q_{\text{BS}}} \quad (2.5)$$

$Q_{\text{WE},h}$  jährliche Erzeugernutzwärmeabgabe  
 $Q_{\text{BS}}$  zugeführte jährliche Brennstoffenergie

Bei Wärmepumpen wird die Jahresarbeitszahl  $\beta_{a, \text{WP}}$  verwendet:

$$\beta_{a, \text{WP}} = \frac{Q_{\text{WE},h}}{Q_{\text{Antr}}} \quad (2.6)$$

$Q_{\text{WE},h}$  jährliche Erzeugernutzwärmeabgabe  
 $Q_{\text{Antr}}$  zugeführte jährliche Antriebsenergie am Verdichter

Für Kälteerzeuger wird ebenfalls die Jahresarbeitszahl  $\beta_{a, \text{KE}}$  definiert:

$$\beta_{a, \text{KE}} = \frac{Q_{\text{KE},k}}{Q_{\text{Antr}}} \quad (2.7)$$

$Q_{\text{KE},k}$  jährliche Erzeugernutzkälteabgabe  
 $Q_{\text{Antr}}$  zugeführte jährliche Antriebsenergie am Verdichter

Die Jahresarbeitszahl von Kälteerzeugern wird oft auch als COP (coefficient of performance) bezeichnet, wobei nicht in jedem Fall klar ist, ob die Jahresarbeitszahl oder die Leistungszahl gemeint ist.

Der Wirkungsgrad von Kesselanlagen bzw. die Leistungszahl bei Wärmepumpen und Kälteerzeugern ist als Effizienzkriterium im Zusammenhang mit der Energieeffizienz von Gebäuden nicht geeignet, da er eine Aussage zu einem Zeitpunkt trifft. Hier muss aber ein Zeitraum, in der Regel ein Jahr beurteilt werden.

### 2.4.3 Pumpen und Ventilatoren

Pumpen und Ventilatoren sind Energiewandler, bei welchen elektrische Energie in Strömungsenergie umgewandelt wird. Auch hier kann man den Jahresnutzungsgrad und den Wirkungsgrad unterscheiden. Allerdings gibt es in der Praxis kaum Erfahrungswerte für Jahresnutzungsgrade, so dass oft mit Wirkungsgraden hantiert wird.

Bei einer Pumpe ist der Wirkungsgrad bei einer definierten Drehzahl das Verhältnis der Leistung, die dem Medium aufgeprägt wird, zur zugeführten elektrischen Leistung des Motors in diesem Betriebszustand:

$$\bar{\eta}_{\text{pu}} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}}{P_{\text{el}}} \quad (2.8)$$

$\Delta p \cdot \dot{V}$  dem Medium aufgeprägte Leistung (Produkt aus Druckdifferenz und Volumenstrom, wird auch als hydraulische Leistung bezeichnet)  
 $P_{\text{el}}$  elektrische Leistung des Motors

Ein Jahresnutzungsgrad lässt sich nicht ohne Weiteres rechnerisch ermitteln, da der Wirkungsgrad sich bei sich änderndem Volumenstrom ebenfalls verändert. Die Hersteller geben demzufolge Kennlinienfelder an.

Bei Ventilatoren wird anstelle des Wirkungsgrades in der Klimatechnik die spezifische Ventilatorleistung SFP (specific fan power) verwendet:

$$\text{SFP} = \frac{P}{\dot{V}} \quad (2.9)$$

$P$  elektrische Leistung zum Antrieb des Ventilators in W  
 $\dot{V}$  geförderter Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{s}$

Die spezifische Ventilatorleistung SFP hat die Einheit  $\text{Ws}/\text{m}^3$ .

Es gibt sieben Klassen entsprechend der Tab. 2.7. Die spezifische Ventilatorleistung sagt aus, wieviel Energie pro zu fördernden Luftvolumenstrom aufgewendet wird. Beispielsweise wird in der derzeit geltenden Energieeinsparverordnung gefordert, dass in Lüftungsanlagen mit mehr als  $4000 \text{ m}^3/\text{h}$  nur solche Ventilatoren neu eingebaut werden dürfen, die maximal der Klasse SFP-4 zuzuordnen sind.

**Tab. 2.7** Klassen der spezifischen Ventilatorleistung

Klasse	spezifische Ventilatorleistung in $\text{Ws}/\text{m}^3$
SFP-1	< 500
SFP-2	500 ... 750
SFP-3	750 ... 1250
SFP-4	1250 ... 2000
SFP-5	2000 ... 3000
SFP-6	3000 ... 4500
SFP-7	> 4500

## 2.4.4 Gebäudeautomation

Auch Systeme der Gebäudeautomation können energetisch bewertet werden. Dabei wird analysiert, wie unterschiedlich Steuer- und Regelungssysteme zur Energieeinsparung im Gebäude beitragen.

Die Bewertungsansätze für die Gebäudeautomation sind im Vergleich zur Bewertung der o. g. Systeme sehr komplex und erfordern demzufolge aufwendige Methoden wie beispielsweise die thermische Gebäudesimulation. Auch können Verallgemeinerungen viel schwerer abgeleitet werden.

Ungeachtet dessen werden in die Bewertungstools, die in der Praxis beispielsweise im EnEV-Verfahren angewendet werden, entsprechende Ansätze für die Gebäudeautomation integriert.

---

## 2.5 Grundprinzipien

### 2.5.1 Dynamisches System und Prozess

Die klimatischen Vorgänge im Gebäude, also die zeitlichen Änderungen von Temperatur und Feuchte im Raum, sind nicht statischer sondern dynamischer Natur. Das soll am Beispiel der Wärmeabgabe des Heizkörpers und der Temperaturänderung erläutert werden.

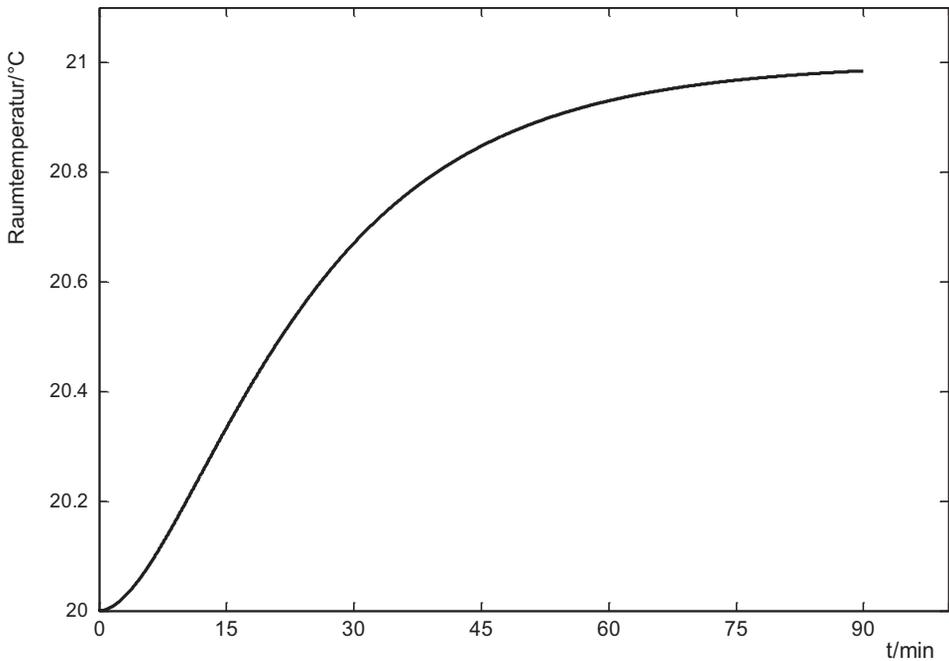
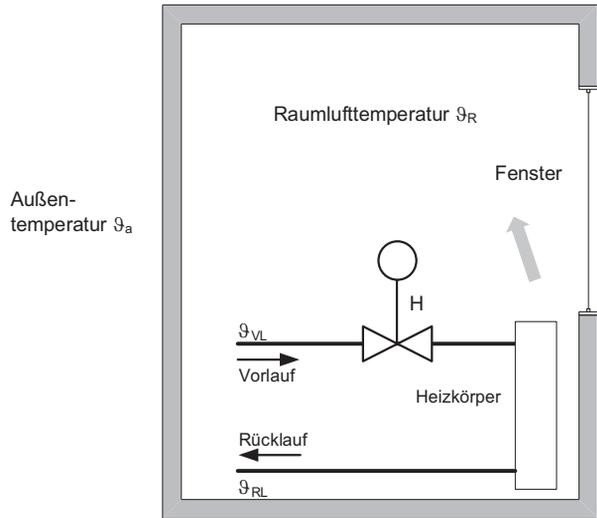
---

#### Beispiel

An einem von Warmwasser durchströmten Heizkörper im Raum nach Abb. 2.3 wird der Hub  $H$  des Ventils erhöht, also das Ventil etwas geöffnet, so dass der Volumenstrom des Heizwassers mit der Vorlauftemperatur  $\vartheta_{VL}$  vergrößert und die Rücklauftemperatur  $\vartheta_{RL}$  erhöht werden. Der Heizkörper erwärmt sich langsam und gibt konvektive Wärme und Strahlungswärme an die Raumluft ab. Der Wärmestrom an die Raumluft erhöht die Raumlufttemperatur  $\vartheta_R$  nach der Simulation in Abb. 2.4 so lange, bis sich wieder ein stationärer (konstanter) Zustand eingestellt hat. Die Änderungen vollziehen sich nicht etwa sofort sprungförmig, sondern gehorchen einer Dynamik (Trägheit), die durch den Volumenstrom von Wasser, den Massen der Heizfläche, Luft und Wand bestimmt werden. Die Eingangsgröße ist der Hub  $H$  im Vorlauf, die Ausgangsgröße die Raumlufttemperatur  $\vartheta_R$ . Dieser Vorgang ist, wie hier gezeigt, auch nach einer Stunde noch nicht abgeschlossen.

Das gilt auch dann, wenn ein Regler vorhanden ist, der das Stellventil betätigt, um eine gewünschte Raumlufttemperatur zu erhalten. Die Temperatur wird also nicht eingestellt, sondern ergibt sich durch ständige Änderungen, die vom Regler überwacht und beeinflusst werden. Dynamische Vorgänge sind kennzeichnend für technische Anlagen, wie auch für Wärmeerzeuger oder Lüftungsanlagen. ◀

**Abb. 2.3** Änderung der Raumlufttemperatur nach Änderung des Ventilhubes



**Abb. 2.4** Verhalten der Raumlufttemperatur nach Änderung des Ventilhubes

Man unterscheidet die zwei Begriffe System und Prozess. Die Systeme sind im vorliegenden Fall z. B. Ventil, Heizkörper, Wand und Raumluft (Teilsysteme) der Prozess sind die dynamischen Änderungen der physikalischen Variablen.

<b>Dynamisches System</b>	<b>Das technische dynamische System ist ein Bau- oder Anlagenteil (Heizkörper, Heizungspumpe, Wärmeübertrager), bei dem mit unabhängigen Eingangsgrößen (Ventilstellung, Pumpendrehzahl, Klappenstellung) davon abhängige Ausgangsgrößen (Temperatur, Druck, Volumenstrom) zeitlich verändert werden.</b>
<b>Prozess</b>	<b>Der technische dynamische Prozess ist die zeitliche Veränderung der inneren (Oberflächentemperatur, Heizwasserstrom) und äußeren messbaren physikalischen Variablen (Raumtemperatur, -feuchte) in Abhängigkeit der Eingangsgrößen.</b>

## 2.5.2 Steuerung und Regelung

Die Regelungstechnik ist eines der wichtigsten Teilgebiete der Automatisierungstechnik, liefert die theoretischen Grundlagen für die Beschreibung und den Entwurf rückgekoppelter Systeme sowie die vielfältigen Möglichkeiten deren Realisierung in der technischen Umsetzung. Allgemein wird zwischen Steuerung und Regelung unterschieden. Bei der Steuerung gibt es nur die Wirkung der Änderung einer oder mehrerer Eingangsgrößen auf die Ausgangsgrößen in einer Richtung ohne eine Rückkopplung. Bei der Regelung wirken die sich verändernden Ausgangsgrößen über eine Rückkopplung auf die Eingangsgrößen zurück.

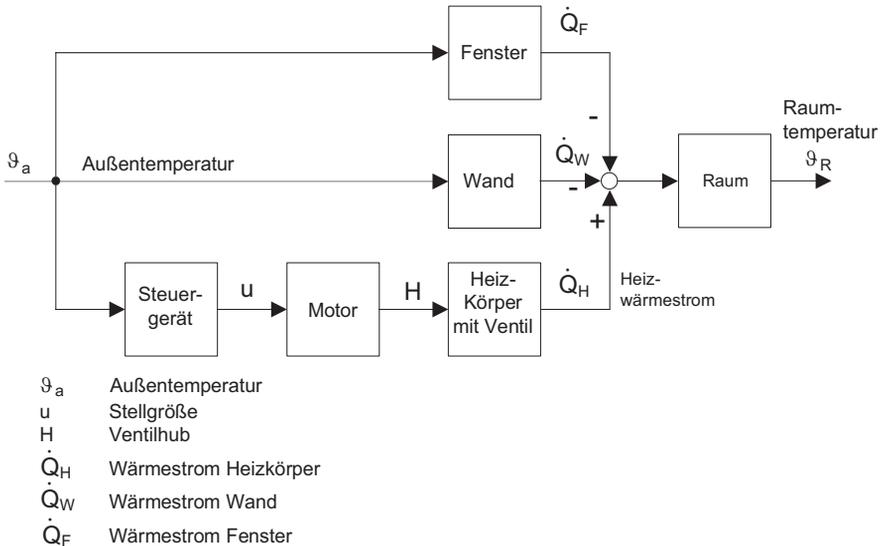
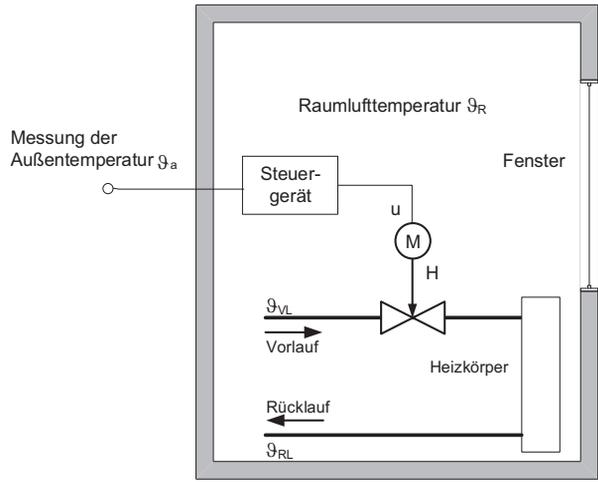
### Steuerung

Am Beispiel der Raumtemperatur  $\vartheta_R$  kann der Unterschied gut beschrieben werden. Das Gerätebild nach Abb. 2.3 wird mit einem Stellmotor am Stellventil ergänzt, wie in Abb. 2.5 dargestellt. Die Differenz  $\vartheta_R - \vartheta_a$  mit  $\vartheta_a$  als Außentemperatur bewirkt durch das Fenster und die Wand Wärmeströme  $\dot{Q}_F$  (Fenster) und  $\dot{Q}_W$  (Wand), d. h. die Wärmeverluste  $\dot{Q}_{\text{Verl}}$  des Raumes nach Abb. 3.11 ohne Berücksichtigung der Lüftungswärmeverluste. Durch den Heizkörper wird der Wärmestrom  $\dot{Q}_H$  zugeführt. In der Bilanz stellt sich die Raumtemperatur  $\vartheta_R$  ein. Mittels Temperatursteuerung kann man nun der Außentemperatur  $\vartheta_a$  einen festen Stellhub  $H$  des Ventils in einem Steuergerät zuordnen. Störungen sind die inneren und äußeren Gewinne durch Anwesenheit von Nutzern und Sonneneinstrahlung.

In dem Signalfussbild Abb. 2.6 wird die Verkettung der Signale und deren Verlauf gezeigt. Das Steuergerät erzeugt die Stellgröße  $u$  in das System, der Motor erzeugt den Ventilhub  $H$ , der Heizkörper gibt einen Wärmestrom an die Raumluft ab.

Das Schema in Abb. 2.7 zeigt die allgemeine Struktur der Steuerung. Die Anordnung wirkt nur in eine Richtung. Jedes einzelne Teilsystem reagiert mit Zeitverzögerungen, wie oben beschrieben. Wirken mehrere solche Trägheiten hintereinander, so wird der Gesamtprozess immer langsamer. Das technische System, dessen Ausgangsgröße verändert werden soll, ist hier das System Heizkörper-Wärmeabgabe-Raum-Raumtemperatur. Im Fall der Steuerung ist für das technische System auch der Begriff der Steuerstrecke gebräuchlich.

**Abb. 2.5** Steuerung der Raumtemperatur



**Abb. 2.6** Signalflussbild für die Steuerung der Raumtemperatur



**Abb. 2.7** Allgemeines vereinfachtes Signalflussbild der Steuerung

Die Außentemperatur wirkt als Eingangsgröße. Auf weitere Störungen durch Energiegewinne aufgrund anwesender Personen und Sonne sowie durch Lüftungsvorgänge wird nicht reagiert. Da diese Anordnung einen offenen Wirkungsablauf oder eine Steuerkette darstellt, ergeben sich durchaus Vorteile, wie

- das Verfahren und der Signalverlauf sind einfach sowie
- die Steuerkette kann nicht instabil werden, sofern die zu steuernden Objekte, also Heizkörper mit Ventil, Antrieb und Raumtemperatur, stabil sind.

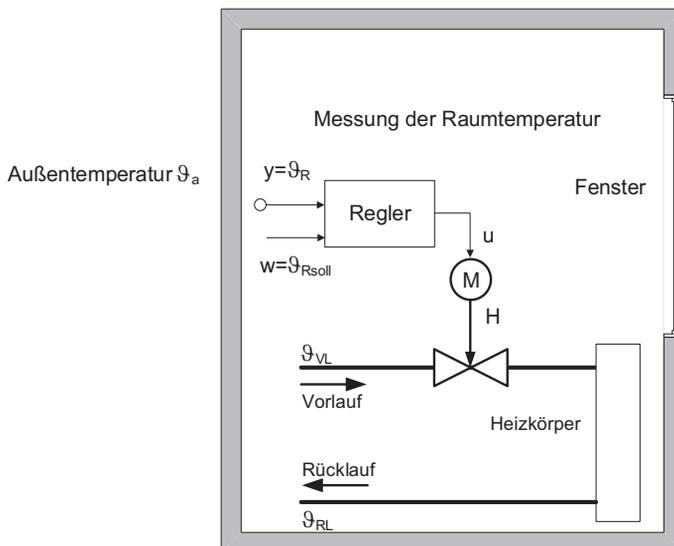
Die Nachteile werden schnell ersichtlich,

- die Schaltung kann nur den Störgrößen entgegenwirken, für die sie ausgelegt wurde und
- andere Störeinflüsse können sich ungehindert auswirken.

**Steuerung nach DIN 19 226 [7]** Die Steuerung ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Eingangsgrößen (Stellgrößen) die Ausgangsgrößen zielgerichtet beeinflussen.

### Regelung

Die Regelung in Abb. 2.8 vermeidet die Nachteile der Steuerung. Die Raumtemperatur  $\vartheta_R$  wird an einem geeigneten Ort gemessen und zu einem elektrischen Signal  $\vartheta_R'$  nach



**Abb. 2.8** Regelung der Raumtemperatur