



# GRUNDLAGEN, TECHNOLOGIEN UND NORMENÜBERBLICK FÜR DIE GEBÄUDEAUTOMATION

---

Ergänzung zum Vorlesungsskript „Gebäudeautomation“  
von Prof. Dr. Michael Krödel

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>1. Grundlagen der Gebäudeautomation</b>	<b>1</b>
1.1. Netzwerktechnik . . . . .	1
1.1.1. Netzwerktopologien . . . . .	1
1.1.1.1. Bus . . . . .	2
1.1.1.2. Stern . . . . .	2
1.1.1.3. Masche . . . . .	3
1.1.2. Zugriffsverfahren . . . . .	3
1.1.2.1. Master/Slave . . . . .	3
1.1.2.2. CSMA . . . . .	3
1.1.3. Übertragungstechnik . . . . .	4
1.1.3.1. Analoge Signale . . . . .	4
1.1.3.2. Digitale Signale . . . . .	4
1.1.4. OSI Referenzmodell . . . . .	5
1.1.4.1. Schichten . . . . .	6
1.1.4.2. Dienst . . . . .	7
1.1.4.3. Protokoll . . . . .	7
1.2. Steuer- und Regelungstechnik . . . . .	8
1.2.1. Steuern . . . . .	8
1.2.2. Regeln . . . . .	9
1.2.3. Nicht stetige Regler . . . . .	12
1.2.3.1. Zwei-Punkt Regelung . . . . .	12
1.2.3.2. Drei-Punkt Regelung . . . . .	12
1.2.4. Stetige Regler . . . . .	13
1.2.4.1. P-Regler . . . . .	13
1.2.4.2. PD-Regler . . . . .	13
1.2.4.3. PI-Regler . . . . .	13
1.2.4.4. PID-Regler . . . . .	14
<b>2. Gebäudeautomation im Überblick</b>	<b>15</b>
2.1. Die Automationspyramide . . . . .	16
2.1.1. Feldebene . . . . .	16
2.1.2. Automationsebene . . . . .	17

2.1.3.	Leitebene . . . . .	17
2.2.	Definitionen . . . . .	18
2.2.1.	Dezentrale und Zentrale Systeme . . . . .	18
2.2.2.	Systeminterne und Systemneutrale DDC . . . . .	18
2.3.	Systeme und Protokolle in der Gebäudeautomation . . . . .	19
2.3.1.	Heimsysteme . . . . .	19
2.3.1.1.	RWE Smarthome . . . . .	19
2.3.1.2.	HomeMatic . . . . .	20
2.3.2.	Dezentrale Systeme . . . . .	21
2.3.2.1.	KNX . . . . .	21
2.3.2.2.	LON . . . . .	22
2.3.2.3.	LCN . . . . .	24
2.3.3.	Zentrale Systeme . . . . .	25
2.3.3.1.	Systemintern . . . . .	25
2.3.3.2.	Systemneutral . . . . .	26
2.3.3.3.	BACnet als Protokoll für die zentrale Gebäudeautomation . . . . .	26
2.3.4.	Subsysteme/-protokolle . . . . .	28
2.3.4.1.	EnOcean . . . . .	28
2.3.4.2.	DALI . . . . .	29
2.3.4.3.	SMI . . . . .	30
2.3.4.4.	MP-Bus . . . . .	31
2.3.4.5.	RS 232/485 . . . . .	32
2.3.4.6.	Modbus . . . . .	33
2.3.4.7.	M-Bus . . . . .	33
<b>3.</b>	<b>Normen und Richtlinien in der Gebäudeautomation</b>	<b>34</b>
3.1.	International . . . . .	34
3.1.1.	DIN EN ISO 16 484 . . . . .	34
3.2.	Europäisch . . . . .	36
3.2.1.	DIN EN 15 232 . . . . .	36
3.3.	National . . . . .	39
3.3.1.	VDI 3813 . . . . .	39
	Blatt 1. Grundlagen der Raumautomation . . . . .	39
	1.1. Schalenmodell . . . . .	40
	1.2. Unterschied Raumautomation/Gebäudeautomation . . . . .	41
	1.3. Raumnutzungsarten . . . . .	41
	Blatt 2. Raumautomationsfunktionen . . . . .	42
	2.1. RA-Funktionen . . . . .	42
	2.1.a. Sensorfunktionen . . . . .	42
	2.1.b. Aktorfunktionen . . . . .	43
	2.1.c. Kommunikative E/A Funktionen . . . . .	43

2.1.d.	Bedien- /Anwendungsfunktionen (lokal) . . . . .	43
2.1.e.	Anwendungsfunktionen . . . . .	44
2.1.f.	Management- und Bedienfunktionen (zentral) . . . . .	61
2.2.	Arbeitsmittel für die Planung der Raumautomation . . . . .	63
2.3.	Auswirkungen auf die Energieeffizienz . . . . .	63
3.3.2.	VDI 3814 . . . . .	64
	Blatt 1. Systemgrundlagen . . . . .	64
	1.1. GA-Funktionen . . . . .	64
	1.1.a. Ein- und Ausgabeinformationen . . . . .	64
	1.1.b. Verarbeitungsfunktionen . . . . .	65
	1.1.c. Management- und Bedienfunktionen . . . . .	67
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>68</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>70</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>71</b>

# Abkürzungsverzeichnis

<b>ASHRAE</b>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
<b>BACnet</b>	Building Automation and Control Network
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>CSMA</b>	Carrier Sense Multiple Access
<b>CSMA-CA</b>	Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance
<b>CSMA-CD</b>	Carrier Sense Multiple Access - Collision Detection
<b>CSMA-CR</b>	Carrier Sense Multiple Access - Collision Resolution
<b>DALI</b>	Digital Addressable Lighting Interface
<b>DDC</b>	Direct Digital Control
<b>EIA</b>	Electronic Industries Alliance
<b>EIBA</b>	European Installation Bus Association
<b>EVG</b>	Elektronisches-Vorschalt-Gerät
<b>FTT</b>	Free-Topology-Transceiver
<b>GLT</b>	Gebäudeleittechnik
<b>HLK</b>	Heizung Lüftung Kühlung
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>KNX</b>	Konnex
<b>LCN</b>	Local Control Network
<b>LON</b>	Local Operating Network
<b>LPT</b>	Link-Power-Transceiver
<b>LWL</b>	Lichtwellenleiter
<b>M-Bus</b>	Metering Bus
<b>MP-Bus</b>	Multi Point Bus

<b>OSI-Model</b>	Open Systems Interconnection Reference Model
<b>PL</b>	Power Line
<b>RS</b>	Radio Sector
<b>SMI</b>	Standard Motor Interface
<b>SNVT</b>	Standard Network Variable Types
<b>SPS</b>	Speicherprogrammierbare Steuerung
<b>TGA</b>	Technische-Gebäude-Ausrüstung
<b>TP</b>	Twisted Pair

# 1. Grundlagen der Gebäudeautomation

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den Grundlagen der Themenbereiche Netzwerktechnik, Steuerungs- und Regelungstechnik. Diese sind notwendig um komplexe Zusammenhänge und Problemstellungen in der Gebäudeautomation verstehen zu können. Im Folgenden werden einzelne Begriffe dazu erläutert:

## 1.1. Netzwerktechnik

Ein Netzwerk wird als ein Zusammenschluss einzelner Personen oder Geräte bezeichnet. Ziel eines Netzwerkes ist der Austausch von Informationen um gemeinsam eine Aufgabe zu erfüllen oder ein bestimmtes Thema zu verfolgen. Netzwerke findet man in den verschiedensten Formen und Strukturen, in der Technik spricht man auch oder meist von Topologien. Die verwendeten Quellen in diesem Abschnitt sind: [32, 27]

### 1.1.1. Netzwerktopologien

Eine Topologie bezeichnet in einem EDV-Netzwerk die Art der Vernetzung von einzelnen Teilnehmern untereinander. Die Auswahl der richtigen Topologie spielt eine entscheidende Rolle wenn es um die Ausfallsicherheit und die Übertragungsgeschwindigkeit von Daten geht. Nur wenn bei einer Unterbrechung eines Übertragungsweges ein alternativer Weg zur Verfügung steht ist ein Ausfall des kompletten Netzwerkes zu verhindern. Ein weiterer Punkt bei der Entscheidung für eine Topologie ist die Geschwindigkeit mit der in einem Netzwerk Daten verschickt werden sollen. Hat das System viele Vernetzungen und Verzweigungen kann das zu einer Herabsetzung der Leistungsfähigkeit führen. Im nachfolgenden Text wird auf drei verschiedene Arten von Topologien eingegangen.

### 1.1.1.1. Bus

Die Bustopologie kann auch als Strangtopologie bezeichnet werden, alle Teilnehmer sind an einem zentralen Medienstrang angeschlossen. Sie werden mittels einer T-Verbindung in das Übertragungskabel eingeschleift. Der Bus ist eine weit verbreitete Topologie, da er viele Vorteile mit sich bringt. Der Verkabelungsaufwand lässt sich auf ein Minimum reduzieren, hierdurch wird Material, Geld und Platz gespart. Darüber hinaus werden die Brandlasten im Gebäude erheblich gesenkt. Fällt ein einzelnes Gerät aus führt dies nicht zu einem Ausfall des gesamten Systems, wie es bei einer Daisy Chain Topologie der Fall wäre. Bei diesen werden Kalbeistränge, durch die Geräte mit einander verbunden und stellen somit das Bindeglied der Kommunikation dar. Fällt ein Gerät in der Linie aus ist eine Datenübertragung an dieser Stelle nicht mehr möglich. Eine Erweiterung des Busnetzwerkes ist durch geringen Aufwand zu realisieren. Es muss lediglich eine Kopplung zwischen den Hauptsträngen erfolgen, ohne dass aktive Netzwerkkomponenten zwingend erforderlich sind. Problem des Busses ist jedoch genau die einzelne zentrale Hauptleitung, wird diese an nur einer Stelle beschädigt ist kein alternativer Übertragungsweg vorhanden und die gesamte Kommunikation ist unterbrochen. Um eine reibungslose Kommunikation sicherzustellen, kann immer nur ein Busteilnehmer zum selben Zeitpunkt seine Daten auf den Bus geben. Im anderen Fall kommt es zu Kollisionen der Daten, welche danach nicht mehr beschädigungsfrei an den Empfänger zugestellt werden können. Zur Gewährleistung einer kollisionsfreien Datenübertragung bestehen verschiedene Möglichkeiten die nachfolgend erläutert werden.

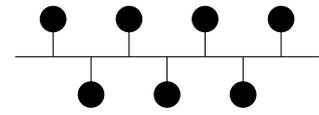


Abbildung 1.1: Bus

### 1.1.1.2. Stern

Eine Sterntopologie wird charakterisiert durch ein zentrales Gerät, an welches sämtliche anderen Teilnehmer mit einer Zweipunktverbindung angeschlossen sind. Die zentrale Stelle benötigt hierbei keine besondere Steuerintelligenz wird aber in EVD-Netzwerken meist als ein spezialisiertes Gerät, wie beispielsweise einem Switch ausgeführt. Bei der Unterbrechung einer einzelnen Verbindung kann das restliche Netzwerk über die Zentrale immer noch weitergeführt werden und bewirkt nicht einen gesamten Ausfall. Fällt hingegen das zentrale Gerät aus ist im gesamten Netz der Datenaustausch gestört. Aus diesem Grund wird das Knotengerät meist gedoppelt, um eine Redundanz zu schaffen. Aufbau und Struktur der Topologie ermöglichen bei einem Defekt eine einfache und schnelle Fehleranalyse. Die direkte Verkabelung mit jedem Gerät lässt eine sehr hohe Übertragungsrate im System zu, verlangt aber einen erhöhten Kabelaufwand. Bietet das zentrale Gerät ausreichende Anschlussmöglichkeiten ist eine Erweiterung des Netzwerkes ohne zusätzliche Koppler einfach möglich. Die Sterntopologie ist eine der am meisten verbreiteten Strukturen in der Netzwerktechnik, da sie leicht zu installieren ist, eine hohe Datenübertragung ermöglicht und mit einem redundanten Knotengerät eine sehr gute Ausfallsicherheit gewährleistet.

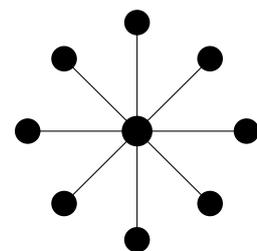


Abbildung 1.2: Stern

### 1.1.1.3. Masche

In einer Masche sind alle Teilnehmer mit mindestens einem oder mehreren Teilnehmern direkt verbunden. Ist jedes Gerät mit allen anderen Geräten verbunden spricht man von einem vollvermaschten Netzwerk. Die Masche ist die Sicherste aller Netzwerktopologien, da mehrere Verbindungen abbrechen können ohne das ein Datenpaket nicht mehr zugestellt werden kann. Nachteil der großen Übertragungssicherheit ist ein extrem hoher Kabelaufwand. Dieser führt nicht nur dazu, dass das System unübersichtlich wird, sondern ist auch mit horrenden Kosten und Brandlasten verbunden. Eine Fehlersuche kann daher sehr Aufwendig sein. Aus diesen Gründen spielt die Masche in heutigen Anwendungen eine untergeordnete Rolle. In der Praxis sind die meisten Netzwerke aus einer Kombination der drei beschriebenen Topologien zusammengesetzt. So können die Vorteile ideal kombiniert werden.

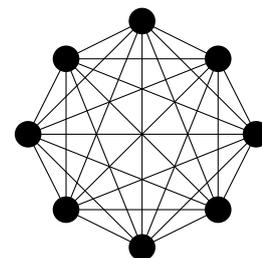


Abbildung 1.3: Masche

### 1.1.2. Zugriffsverfahren

Über das Zugriffsverfahren werden in einem Netzwerk die Reihenfolge und Regeln der Kommunikation festgelegt. Es wird definiert, wann welcher Teilnehmer seine Daten auf das Übertragungsmedium geben darf und wann nicht. Im Grundlegenden existieren drei verschiedenen Zugriffsverfahren, im nachfolgenden Abschnitt werden die zwei am meist verbreiteten Verfahren erläutert.

#### 1.1.2.1. Master/Slave

Master/Slave ist ein hierarchisches Verfahren im Zugriff auf ein gemeinsames Medium. Hierbei beherrscht ein Master alle anderen Teilnehmer eines Netzwerkes, die sogenannten Slaves. Er bestimmt wann welcher Teilnehmer seine Daten senden darf. Dies erfolgt meist über eine explizierte Abfrage der Daten des jeweiligen Slaves. Ansonsten haben die Teilnehmer ein passives Verhalten und antworten nur auf eine Anforderung. Ein Nachteil dabei ist, dass Slaves untereinander nicht kommunizieren können. Alle Informationen müssen zuerst über den Master verarbeitet und weitergegeben werden. Dies benötigt eine hohe Rechenleistung des Masters. Ist diese nicht vorhanden, kann das zu einer Verlangsamung des gesamten Systems führen. Das Verfahren wird oft bei Sterntopologien verwendet. Hier fungiert der zentrale Teilnehmer als Master um alle an ihn angeschlossenen Teilnehmer als Slaves abzufragen. Die Kommunikation einer Bustopologie kann auch über Master/Slave geregelt werden. Bevorzugt wird allerdings das zweite Zugriffsverfahren

#### 1.1.2.2. CSMA

CSMA (Carrier Sense Multiple Access) bezeichnet ein dezentrales und asynchrones Verfahren zum Erlangen von Zugriffsrechten auf ein Medium. Alle Teilnehmer in einem Netzwerk sind gleich-

berechtigt Daten zu versenden. Wie der Zugriff auf das Medium umgesetzt wird lässt sich in drei verschiedenen Methoden unterscheiden. Zunächst überprüfen jedoch alle drei Verfahren ob das Medium derzeit belegt oder frei für neue Daten ist. Das Verfahren CSMA/CA (Collision Avoidance) vermeidet Kollisionen, in dem es nach der Erkennung einer freien Leitung eine zufällig gewählte Zeit abwartet und erst danach die Übertragung der Daten startet. CSMA/CD (Collision Detection) erkennt Kollisionen und versucht diese durch Abbruch der Übertragung zu lösen. Die dritte Methode, CSMA/CR (Collision Resolution) löst erkannte Kollisionen durch eine Prioritätenprüfung bei gleichzeitig gestarteten Übertragungen. Alle drei Verfahren zusammen genommen ist CSMA das am weitverbreitetste Zugriffsverfahren in der Netzwerktechnik. Vorteil gegenüber dem Master/Slave Verfahren ist, dass jeder Netzwerkteilnehmer ohne eine höhere Instanz mit jedem anderen kommunizieren kann.

### 1.1.3. Übertragungstechnik

Die Form in der Daten in einem Medium übertragen werden hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Es stehen die Analogtechnik und die Binär- oder Digitaltechnik zur Verfügung um Informationen vom Sender zum Empfänger zu übertragen. Prinzipiell können beide Arten der Übertragung in sämtlichen Medien angewandt werden. Mithilfe von Umsetzern können analoge und digitale Signale vom einem in das andere umgewandelt werden.

#### 1.1.3.1. Analoge Signale

Ein analoges Signal kennzeichnet sich dadurch aus, dass es zwischen einem Maximum und einem Minimum stufenlos jeden Wert annehmen kann. Durch eine kontinuierliche Sendung der Werte entsteht das typisch wellenförmige Signal. Bevorzugt werden analoge Signale mit elektrischer Spannung oder Stromstärke erzeugt. Dabei entspricht jeder Amplitudenausschlag einem bestimmten Wert. Bei langen Übertragungswegen kann es passieren, dass die Stärke des gesendeten Signals abflacht und so nicht mehr dem ursprünglichen Werten entspricht, es kommt zu einem Rauschen. Analoge oder stetige Signale werden vor allem in der Steuer- und Regelungstechnik verwendet um zeitkontinuierliche Systeme zu regeln. In anderen Bereichen wird die analoge Technik immer mehr durch digitale Signale ersetzt. Grund hierfür ist eine weitaus bessere Übertragungsqualität.

#### 1.1.3.2. Digitale Signale

Die Digitaltechnik arbeitet im Gegensatz zur Analogen mit diskreten Signalen. Die Signale können nur eine begrenzte Anzahl an Werten annehmen im Normalfall 0 und 1. Aus diesen beiden Werten wird alle Information gebildet. Das heißt jeder einzelne Buchstabe und jede einzelne Ziffer zwischen null und neun hat ihre eigene Kombination aus Nullen und Einsen. Die Kombinationen aus 0 und 1 werden zu Paketen mit acht Stellen zusammengefasst. Dem sogenannten 8-Bit Schlüssel, so ergeben sich 256 verschiedene Zeichen. Ein Paket aus 8 Bit wird auch als ein Byte bezeichnet. Reicht die Anzahl der Zeichen nicht mehr aus wird der nächst größere Schlüssel verwendet, der 16-Bit Schlüssel. Zum nächst höheren Schlüssel wird die Anzahl der Bit jeweils ver-

doppelt, so folgt auf dem 16-Bit Schlüssel der 32-Bit Schlüssel usw. Heutzutage kann die benötigte Anzahl an Zeichen bis zum 128-Bit Schlüssel reichen. Mithilfe der digitalen Technik lassen sich Informationen über weite Strecken verlustfrei transportieren. Flacht das Signal ab, kann zwischen den Werten 0 und 1 immer noch unterschieden werden. Da sich nur Kanten des übertragenen Werts 1 abrunden aber der Ausschlag nie ganz verloren geht. Sollte allerdings ein Bit aus einem Grund komplett verloren gehen, ist das Byte nicht mehr vollständig und damit unbrauchbar. Die Digitale Technik wird vor allem in der Datenverarbeitung angewandt.

#### 1.1.4. OSI Referenzmodell

Das OSI-Modell wurde 1983 von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) standardisiert. Es dient als Designgrundlage für die Kommunikation in Rechnernetzwerken. Grund der Entwicklung waren wiederholt auftretende Probleme bei der nicht trivialen Verständigung von Hosts innerhalb eines Rechnernetzwerkes. Als Host wird ein Gerät in einem Netzwerk bezeichnet, das eine bestimmten Dienst im ihm erfüllt. Dies kann entweder ein Computer, ein Drucker oder auch nur ein Switch sein. Das Model ist in sieben aufeinander aufbauende Ebenen unterteilt, siehe **Abbildung 1.4**. Hierbei übernimmt jede Ebene, auch Schicht oder Layer genannt, eine Teilaufgabe der Kommunikation. Die Abstraktion der zu erfüllenden Funktion nimmt mit der Höhe der Schicht stetig zu. Jede zu erfüllende Funktion einer Schicht muss nach bestimmten Regeln erfolgen. Nur so kann gewährleistet werden, dass ein anderer Host auf Höhe derselben Schicht die Information verstehen und weiterverarbeiten kann. Diese Regeln werden als Protokoll bezeichnet und sind im OSI-Modell beschrieben. Von Schicht zu Schicht setzt jeder Layer einen Dienst um. Als Dienst wird das Ergebnis bezeichnet, welches ein Layer bei der Erfüllung seiner Aufgabe an die nächste Schicht weitergibt.

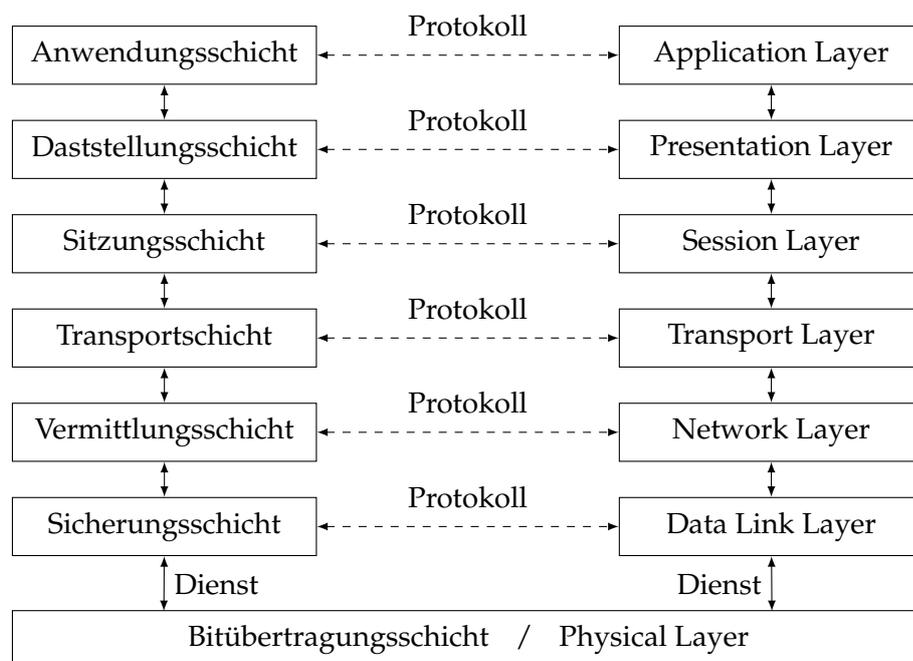


Abbildung 1.4: OSI-Modell

#### 1.1.4.1. Schichten

Das Model ist in sieben verschiedene Schichten eingeteilt von der Bitübertragungsschicht bis zur Anwendungsschicht. Jede Schicht erfüllt eine Aufgabe:

**Schicht 1 – Bitübertragungsschicht (Physical Layer):** Die erste Ebene erfüllt die grundlegende Datenübertragung. Es werden die einzelnen digitalen Bits übermittelt, hierbei ist es egal welches Medium zur Übertragung herangezogen wird. Dies kann eine Kupferleitung, ein Lichtwellenleiter, das Stromnetz oder die Luft für eine Funkübertragung sein. Hardwarekomponenten auf Höhe der ersten Schicht sind Repeater oder Hubs.

**Schicht 2 – Sicherungsschicht (Data Link Layer):** Hauptaufgabe der zweiten Schicht ist es eine zuverlässige und weitestgehend fehlerfreie Datenübertragung sicherzustellen. Hierzu wird zunächst eine feste Hardwareadresse eingeführt. Darüber hinaus verpackt die Sicherungsschicht die einzelnen Bits in Pakete und versieht diese mit Prüfsummen. Somit können alle Pakete vom Empfänger auf Vollständigkeit überprüft werden. Die beschädigten oder unvollständigen Paketen werden verworfen. Die zweite Schicht ist allerdings nicht in der Lage solch verworfene Pakete erneut anzufordern. Bis zum zweiten Layer überträgt ein Switch die Daten vom einen Kabel zum andern.

**Schicht 3 – Vermittlungsschicht (Network Layer):** Da Sender und Empfänger nicht immer direkt miteinander verbunden sind sondern Daten über Knotenstellen weitergeleitet werden müssen werden zu den festen Hardwareadressen logische Adressen eingeführt. Diese dienen dazu eine Datenflut über das gesamte Netzwerk zu verhindern. In dem Daten nur noch an solche Kabelstränge weitergeleitet werden, auf dem sich die betreffende logische Adresse befindet. Das adressenorientierte weiterleiten von Datenpaketen wird als Routing bezeichnet. Daher werden Geräte die mit der Funktion der dritten Schicht ausgestattet sind als Router bezeichnet.

**Schicht 4 – Transportschicht (Transport Layer):** In der vierten Schicht werden Dokumente in einzelne Segmente unterteilt und einzeln verschickt. Der Empfänger setzt die einzelnen Segmente wieder zu einer gesamten Datei zusammen und gibt diese nach oben weiter. Hierzu bietet der vierte Layer den Anwenderschichten 5 bis 7 fünf verschiedene Dienstklassen zur Verarbeitung an. Diese reichen vom einfachsten Dienst bis zum komfortabelsten mit Fehlerbehebungsverfahren.

**Schicht 5 – Sitzungsschicht (Session Layer):** Die EDV bezeichnet eine Sitzung als eine stehende Verbindung zwischen einem Anwendungsprogramm mit einem Server. Die Sitzung wird durch einen Login eingeleitet und einen Logout beendet. Um nach einem Abbruch einer Transportverbindung, die Übertragung nicht vom Anfang an erneut Starten zu müssen, werden in der Sitzungsschicht Fixpunkte gesetzt. An diesen Check Points kann eine Sitzung wiederhergestellt und synchronisiert werden und damit am zuletzt gesetzten Fixpunkt weitergeführt werden.

**Schicht 6 – Darstellungsschicht (Presentation Layer):** Aufgabe der Darstellungsschicht ist die Umsetzung systemspezifischer Daten in eine unabhängige Form. Hierzu zählt mitunter auch eine End- und Verschlüsseln von Daten. Die sechste Schicht sorgt dafür, dass Daten die aus der Anwendungsschicht eines Systems gesendet werden von einem anderen System gelesen und verstanden werden können.

**Schicht 7 – Anwendungsschicht (Application Layer):** Der Application Layer ist die höchste der sieben Ebenen. Auf der siebten Schicht laufen alle Anwendungen ab. Sie bietet diesen einen Zugriff auf das Netzwerk. Geräte auf der Höhe der drei Anwenderschichten werden als Gateways bezeichnet und erfüllen den Zweck der Übersetzung von verschiedenen Anwendungsprogrammen.

#### 1.1.4.2. Dienst

Als Dienst wird in der Informatik eine technische, autarke Einheit bezeichnet. Diese Einheit hat es zur Aufgabe eine Reihe von Funktionen zu bündeln und über eine definierte Schnittstelle nach außen zu geben. Im OSI-Referenzmodell beschreibt der Dienst die Weiterverarbeitung der Daten für die nächste Schicht. Somit wird alles, was in den einzelnen Schichten beschrieben wurde als der vollbrachte Dienst bezeichnet.

#### 1.1.4.3. Protokoll

Die Reihenfolgen und Regeln nach welchen die Aufgaben in einer Schicht abgearbeitet werden sind in einem Protokoll geregelt. Das Protokoll für die jeweilige Schicht muss bei jedem Host gleich sein. Es ist im übertragenen Sinn die Sprache, mit der auf einer der Schichten gesprochen wird. Ist diese unterschiedlich oder weicht sie an einer Stelle von einander ab können die Daten nicht verstanden und weiterverarbeitet werden. Dabei ist ein Protokoll meist in der Lage alle Schichten des OSI-Modells, von eins bis sieben zu bedienen.

## 1.2. Steuer- und Regelungstechnik

Bei jeder von Menschenhand nicht selbst ausgeführter Handlung, welche auf ein Gerät oder Anlage übertragen ist, spricht man von Automation. Dies kann ein um 20-62 n. Chr. von einem griechischen Erfinder entwickelter Weihwasserautomat sein, der beim Einwurf einer Münze eine kleine Menge Weihwasser ausgibt oder aber eine moderne Beleuchtungsanlage, die in Abhängigkeit der Außenhelligkeit und Präsenz das Licht in die Richtige Beleuchtungsstärke bringt. Die Grundlage für all diese Prozesse ist die Steuer- und Regelungstechnik. Mit ihr lassen sich nicht nur streng technische Problemstellungen sondern auch nichttechnisch - dynamische Systeme beschreiben. Die Aufgabenstellungen an eine Steuerung oder Regelung sind im Grundprinzip immer dieselben: das Verarbeiten von Eingangsgrößen in eine oder mehrere Ausgangsgrößen. Die Entscheidung ob ein System gesteuert oder geregelt werden muss, bezieht sich im Regelfall nach der benötigten Genauigkeit der Ausgangsgröße. Beide Techniken werden in der DIN 19226 Regelungstechnik und Steuerungstechnik Teil 1 bis 6 beschrieben. Mittlerweile ist die DIN 19226 durch die Norm DIN IEC 60050-351 ersetzt worden. Die verwendeten Quellen in diesem Abschnitt sind: [28, 29, 27]

### 1.2.1. Steuern

*„Das Steuern – die Steuerung – ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeit beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsablauf über das einzelne Übertragungsglied oder die Steuerkette“.*<sup>1</sup>

Betrachtet man einen Raum mit einem Radiator, der in Abhängigkeit der Außentemperatur auf einem bestimmten Temperaturniveau gehalten werden soll, kann die Definition gut veranschaulicht werden. Das System ist in dieser Veranschaulichung der Raum mit allen umschließenden Bauteilen und Einrichtungsgegenständen, in dem der Vorgang Heizen realisiert werden soll. Die eingehende Information zum Heizen ist die Außentemperatur. Die Steuerung errechnet mithilfe der Wärmedurchgangskoeffizienten die thermischen Verluste über alle Bauteile nach außen und gibt dem entsprechend eine Stellgröße an das Radiatorventil. Um den Verlusten entgegen zu wirken. Falls zu den „eigentümlichen Gesetzmäßigkeit“ also dem Transmissionswärmeverlust über die Außenbauteile, an anderer Stelle zusätzlich Energie verloren geht, wie zum Beispiel bei Konvektion durch ein offenes Fenster, kann die Steuerung dem nicht entgegenwirken. Hier spricht man von einem offenen Wirkungsablauf der durch Störgrößen beeinflusst werden kann ohne dem Rechnung zu tragen. Weitere Störgrößen können auch interne Wärmelasten in Form von Personen oder Beleuchtung sein.

Bei einer Steuerung wird häufig auch von einer Steuerstrecke gesprochen, siehe **Abbildung 1.5**. Welche sich aus dem Steuerglied und der Steuerstrecke zusammensetzt. Das Steuerglied setzt die Eingangsgröße in eine Stellgröße um. Die Stellgröße beeinflusst die Strecke und führt zu einer Reaktion. In verschiedenen Anwendungen können auch mehrere Steuereinheiten hintereinander geschaltet sein um ein gewünschtes Ergebnis zu erlangen. Typische Beispiele in der

<sup>1</sup>DIN 19226 Teil 1 [1]

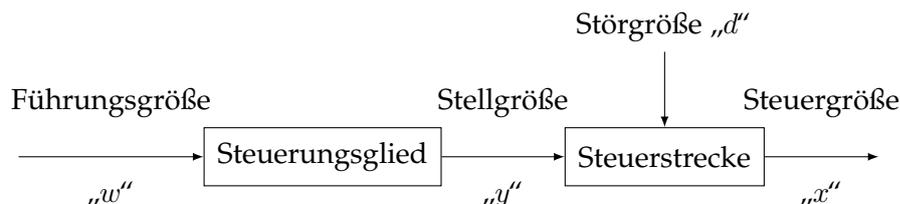


Abbildung 1.5: Steuerkette

Gebäudeautomation für eine Steuerung sind zum Beispiel Beleuchtungsanlagen welche über eine Infrarot-Bewegungsmelder ein und ausgeschaltet werden oder auch Lüftungsanlagen, welche über ein Zeitprogramm ein- und abgeschaltet werden. [28]

### 1.2.2. Regeln

*„Das Regeln – die Regelung – ist ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (Regelgröße), fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis, statt.“<sup>2</sup>*

Bei der Regelung wird als Grundlage die Steuerung genutzt und durch eine Rückführung der Ausgangsgröße an die Regeleinrichtung erweitert. Man spricht von einem Regelkreis, siehe **Abbildung 1.6**. Die zurückgeführten Werte werden als Regelgröße bezeichnet. Diese wird mit der Führungsgröße verglichen, welche den zu erreichenden Wert darstellt. Das Delta der beiden Größen wird als Regeldifferenz bezeichnet und bestimmt das Handlungsverhalten des Regelglieds. Die Ausgabeinformation des Reglers wird wieder als Stellgröße bezeichnet und beeinflusst in diesem Fall die Regelstrecke. Das Verhalten der Regelstrecke wird wieder zurückgeführt. Der Kreislauf stellt somit einen iterativen Prozess dar, der sich immer wieder auf seine Richtigkeit hin überprüft. So kann auch auf Störeinflüsse reagiert werden.

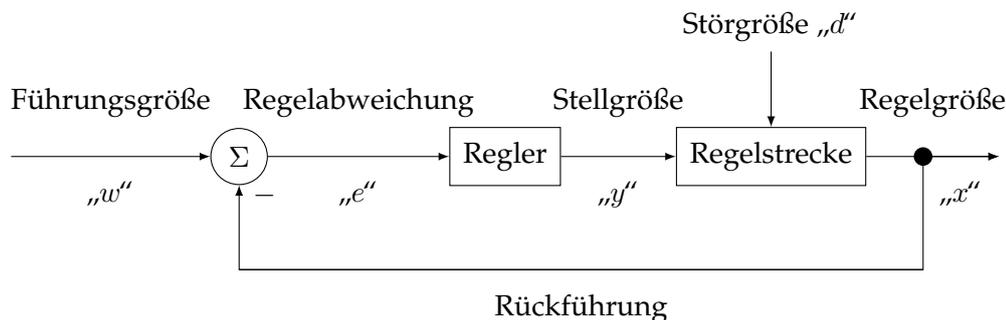


Abbildung 1.6: Regelkreis

In Anwendung auf das vorher angeführte Beispiel der Raumtemperaturregelung heißt dass: Zusätzlich zur Außentemperatur benötigt die Regeleinrichtung eine Rückmeldung der aktuellen

<sup>2</sup>DIN 19226 Teil 1 [1]

Raumtemperatur, folglich einen Temperaturfühler. Des Weiteren ist ein Zielgröße notwendig. In der Umsetzung in die Praxis sind Temperaturfühler, Regler und Sollwerteingabe in einem Thermostat zusammengefasst. So gelingt es die vorgegebene Temperatur exakt einzustellen und auch bei auftretenden Störeinflüssen wie einem geöffneten Fenster oder internen Lasten den Raum auf einem gleich bleibenden Temperaturniveau zu halten.

Um ein System möglichst effektiv regeln zu können, muss jeweils eine passende Regelstrategie entwickelt werden. Diese hängt maßgeblich von der Regelstrecke, also dem Verhalten des Systems auf die einwirkende Größe ab. Setzt man die Regelstrecke einer Sprungfunktion aus, einem einheitlichen Eingangssignal, ergibt sich die sogenannte Sprungantwort. Diese beschreibt das Verhalten des Systems bezogen auf eine Zustandsänderung der Eingangsgröße. Sprungantworten lassen sich in fünf verschiedene Grundtypen unterscheiden. Durch Kombination dieser Typen lassen sich alle weiteren Formen von Sprungantworten abbilden. Die vier Arten setzen sich aus P-, T-,  $PT_1$ -, I- und einem D-Glied zusammen.

**P-Glied:** Mit dem Proportionalglied lässt sich das direkte proportionale Verhalten der Regelstrecke auf die Sprungfunktion ausdrücken. Das System reagiert sofort, ohne eine nennenswerte Verzögerung auf eine Zustandsänderung von außen und nimmt einen im Verhältnis gleichen Wert der einwirkenden Größe an.

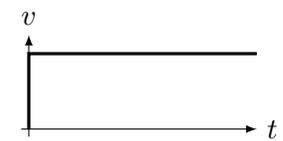


Abbildung 1.7: P-Glied

**T-Glied:** Ein Totzeitglied beschreibt die zeitliche Verzögerung, bis eine Regelstrecke auf das Eingangssignal der Sprungfunktion reagiert. Dabei ist zu beachten, dass eine Totzeit keine Verzögerungszeit ist. Verzögerungszeiten entstehen durch die Trägheit eines Systems, das T-Glied stellt jedoch keine Trägheit dar sondern eine bestimmte Leerlaufzeit bis ein Ereignis eintritt. Bei idealen Totzeitgliedern entspricht das Eingangssignal dem Ausgangssignal. Beispiel für ein ideales Totzeitglied ist ein Förderband, auf das Material gelegt wird und nach einer festen Zeit auf der anderen Seite ankommt.

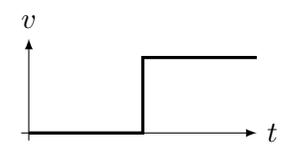


Abbildung 1.8: T-Glied

**$PT_1$ -Glied:** Eine Trägheit im System oder eine Dämpfung lässt sich durch das Proportionalglied mit einer Verzögerung 1. Ordnung beschreiben. Das Ausgangssignal gleicht sich dabei proportional über die Zeit einer waagrechten Tangente an. Dieses Verhalten weist zum Beispiel eine Fußbodenheizung auf, der Estrich erwärmt sich stetig und nähert sich langsam der zugeführten Temperatur an, bis er diese erreicht.

Abbildung 1.9:  $PT_1$ -Glied

**I-Glied:** Die Sprungantwort zeigt das Integral des Eingangssignals über die Zeit an. Hierbei kann die Ausgangsgröße bis ins Unendliche steigen. Ein einfaches Anschauungsmodell hierfür ist ein Behälter der mit einer Flüssigkeit gefüllt wird. Solange der Zufluss nicht unterbrochen wird steigt der Füllstand immer weiter, theoretisch bis ins Unendliche.



Abbildung 1.10: I-Glied

**D-Glied:** Das Differenzierglied wird nur theoretisch betrachtet, im realen System geht ein D-Glied immer mit einer Verzögerung einher. Das Ausgangssignal entspricht dem Differenzquotienten der Eingangsgröße und stellt somit die Ableitung der Sprungfunktion dar. Wird ein konstantes Eingangssignal gesendet ergibt die Sprungantwort den Wert Null, da keine Steigung in der Funktion enthalten ist.



Abbildung 1.11: D-Glied

Nach Feststellung der Regelstreckenart wird ein passender Regler gewählt. Grundsätzlich können Regler in zwei Gruppen eingeteilt werden. In stetige und nicht stetige Regler.

### 1.2.3. Nicht stetige Regler

Unter nicht stetigen Regler werden all jene Regler zusammengefasst, deren Ausgangssignal nur eine bestimmte Anzahl an Werten annehmen kann. Hierzu zählen der Zwei-Punkt Regler und der Drei-Punkt Regler.

#### 1.2.3.1. Zwei-Punkt Regelung

Ein typischer Vertreter, der nicht stetigen Regelung ist der Zweipunktregler. Das Ausgangssignal kann, wie im Namen beschrieben, nur zwei verschiedene Werte annehmen. Im Allgemeinen werden Schaltsignale von 0 und 1 ausgegeben, um binäre Geräte wie eine Umwälzpumpe ein und aus schalten zu können. Um ein ständiges Schalten der Pumpe bei sich ändernden Temperaturen zu vermeiden wird dem Regler eine Hysterese beigefügt. Die Hysterese bewirkt eine Schalttoleranz ober- und unterhalb des Sollwerts. Ist der Sollwert bei 25°C definiert, gibt der Regler beispielsweise erst ab einer Temperatur von 27°C einen Ausschaltbefehl und lässt andersherum, die Temperatur auf einen Wert von 23°C absinken, bevor ein Einschaltbefehl gesendet wird.

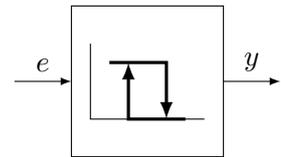


Abbildung 1.12: 2-P. Regler

#### 1.2.3.2. Drei-Punkt Regelung

Das Ausgangssignal des Dreipunktreglers kann bis zu drei Signale ausgeben. Einen Wert ober- und unterhalb von Null, sowie den Wert Null selbst. Diese Eigenschaft wird verwendet um Pro/Contra Entscheidungen in einem System abzubilden. Die Umsetzung dieser drei Signale ist bei elektrischen Wechselstrommotoren sehr einfach möglich, daher ist die Dreipunktregelung bei der Antriebstechnik sehr weit verbreitet. Auf den Motor wirkt ein positives Stellsignal zu einer Linksdrehung, ein negatives Signal zu einer Rechtsdrehung. Empfängt der Antrieb kein Signal, also den Wert Null, so bleibt er in seiner Neutralstellung. Ein Anwendungsfall in der Praxis sind konstante Volumenstromregler, die einen Luftkanal komplett anschließen, eine Mindestluftwechsel und einen höheren Volumenstrom verwirklichen sollen.

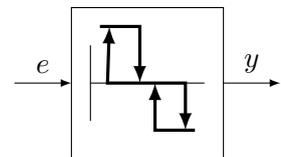


Abbildung 1.13: 3-P. Regler

### 1.2.4. Stetige Regler

Ein stetiger Regler gibt ein analoges Signal an den jeweiligen Verbraucher aus. Das Signal kann in einem vorgegebenen Bereich jeden Wert annehmen und ermöglicht so ein exaktes Einstellen der benötigten Stellgröße. Betrachtet man einen Wasserhahn wird dies anschaulicher. Die Durchflussmenge kann nach Belieben zwischen vollem Strahl und Wasser aus eingestellt werden. Die typischen Vertreter der stetigen Regelung sind P-, PD-, PI- und PID-Regler.

#### 1.2.4.1. P-Regler

Der Proportional-Regler ist der einfachste stetige Regler. Sein Ausgangswert ist abhängig von der eingehenden Regeldifferenz „ $e$ “ und einem Verstärkungsfaktor. Der Regler bewirkt ausschließlich eine sofortige proportionale Erhöhung der eingehenden Regeldifferenz. Daher eignet sich der Regler vor allem für Regelstrecken mit einer Integralen Sprungantwort. Zur Klassifizierung von P-Reglern wird ein proportionaler Übertragungsbeiwert  $K_{PR}$  angegeben.

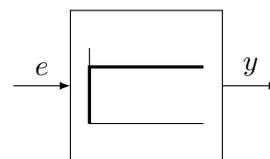


Abbildung 1.14: P-Regler

#### 1.2.4.2. PD-Regler

Ein Proportional-Differenzial-Regler ist um einen differenzialen Anteil erweitert, dieser reagiert sofort proportional zur Änderungsgeschwindigkeit der Regelabweichung. Das hat zur Folge, dass bei größeren auftretenden Regeldifferenzen die Stellgröße für eine kurze Zeit extrem verstellt wird um ein übermäßiges Verstellen des P-Anteils zu verhindern. Man spricht von einer Dämpfung auf den Regelkreis um das Verhalten des reinen P-Reglers zu verbessern. Die Regelabweichungen werden zwar so vermindert, es ist jedoch nicht möglich diese exakt abzustellen. Eingestellt werden kann der Regler über die Parameter  $K_{PR}$  und  $T_v$ . Letzterer beschreibt die Vorhaltezeit die den Differenzialanteil des Reglers klassifiziert.

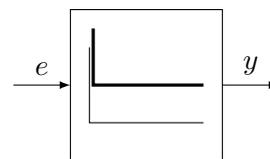


Abbildung 1.15: PD-Regler

#### 1.2.4.3. PI-Regler

Der Proportional-Integral-Regler ist ein mehrfachwirkender Regler, zusammengesetzt aus einem proportionalen und einem integralen Teil. Durch den I-Anteil wird die Stellgröße solange verstellt bis eine Regeldifferenz komplett egalisiert ist. Die Verstärkung des P-Anteils wird genutzt um Differenzen schneller ausgleichen zu können. Der Regler verbindet so die Vorteile der beiden einzelnen Regeltypen. Das Ausgangssignal entsteht durch Überlagerung der beiden Einzelfunktionen. Einzusetzen ist der PI-Regler für alle gängigen Regelstrecken. Die Anpassung

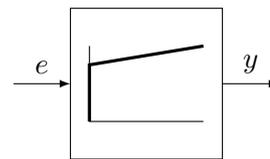


Abbildung 1.16: PI-Regler

des Reglers erfolgt über den  $K_{PR}$ -Wert und über die Nachstellzeit  $T_n$ . Diese ist definiert als diejenige Zeit, die der reine Integralregler für eine Stellsignaländerung in der Sprungantwort benötigt, welche der P-Anteil direkt vollbringt. Somit ist der PI-Regler um die Zeit  $T_n$  schneller in seinem Reaktionsverhalten als ein I-Regler.

#### 1.2.4.4. PID-Regler

Der schnellste und teuerste Regler ist der PID-Regler. Er verknüpft von allen drei Regeltypen die besten Eigenschaften miteinander. Die dritte Komponente des Reglers ist der Differenzialanteil, dieser bewirkt durch sein sehr schnelles Eingreifen eine Stabilisierung des Regelkreises. Aufgrund dieser Eigenschaften ist der Regler für Systeme geeignet, in denen auf große, schnell hintereinander folgende Differenzänderung reagiert werden muss und diese komplett zu egalisieren sind. Charakterisiert wird der PID-Regler zusätzlich zum PI-Regler durch die Vorhaltezeit  $T_v$ . Über die richtige Einstellung der Parameter lassen sich aus dem PID-Regler alle anderen Regler generieren. Es ist allerdings nicht praktikabel aus einem PID-Regler alle anderen Regler zu generieren, da die Kosten für einen solchen Regler die anderen um ein weites übersteigen. PID-Regler werden zudem in der Haustechnik weniger benötigt, ihr Einsatzgebiet beschränkt sich Großteils auf Fertigungsautomation.

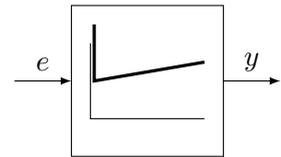


Abbildung 1.17: PID-Regler

## 2. Gebäudeautomation im Überblick

Gebäudeautomation wird nach VDI 3814 wie folgt definiert:

*„Einrichtungen, Software und Dienstleistungen für automatische Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie für Bedienung und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung.“<sup>1</sup>*

In der Definition, wie sie in der VDI 3814 getroffen wird, sind zwei Ziele der Gebäudeautomation beschrieben, Energieeffizienz und Sicherheit. In dieser Definition fehlt allerdings das dritte Ziel, der Komfort. Die Gebäudeautomation ist nur dann sinnvoll, wenn sie von den Nutzern akzeptiert wird. Da ein Komfortgewinn für den Nutzer am schnellsten ersichtlich ist, führt dieser auch am schnellsten zu einer Akzeptanz. Ein Nutzer muss verstehen können was die Automation in einem Gebäude bewirkt. Eine hoch effiziente Jalousiensteuerung hat keinen Verbesserungseffekt, wenn sie durch den Nutzer deaktiviert wird weil dieser den Sinn dahinter nicht versteht. Wird der Nutzer von der Seite des Komfortgewinns für sich selbst, an die Automation herangeführt, bewirkt ein geringeres Maß an Automation mehr Energieeffizienz als ein hoch automatisiertes Gebäude. Daher ist es wichtig einem Nutzer oder Kunden zuerst einen möglichen Komfortgewinn aufzuzeigen. Dieser ist in der Regel schon mit einen hohen Anteil an Energieeffizienz verbunden. Die einschlägigen Normen beschäftigen sich allerdings hauptsächlich mit dem Thema Energieeffizienz und Energieeinsparung. So sind in der DIN EN 15232 Gebäude in vier Effizienzklassen eingeteilt. Mit sogenannten Effizienzfaktoren lässt sich das Einsparpotential für Heizen, Kühlen und für die Beleuchtung ermitteln. Ergänzend zu dieser Norm ist an der Hochschule Biberach eine Studie entstanden in der untersucht wurde, wie viel Energie sich durch einzelne Funktionen in der Gebäudeautomation tatsächlich einsparen lässt. Ergebnis der Studie ist, dass zum Beispiel eine automatisierte Beleuchtung in Kombination mit einer lichtlenkenden Außenjalousie ein Einsparpotential von ca. 40% beinhaltet. Stellt man die Investitionskosten den eingesparten Kosten gegenüber, lässt sich eine durchschnittliche Amortisationszeit bei Gebäudeautomationssystemen von ca. zwei bis zehn Jahren errechnen. Sieht man dagegen Investitionen an der Gebäudehülle schlagen diese mit 10 bis 60 Jahren zu Buche. Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass die Gebäudeautomation einen großen Anteil an der Energieeffizienz eines Gebäudes leisten kann. Jedoch gelingt das nur, wenn sie vom Nutzer akzeptiert ist und nicht durch gezielte Aktionen des Menschen an ihren Aufgaben gehindert wird. Das Gleichgewicht zwischen dem menschlichen Willen und seinen Eigenheiten mit einer hoch energieeffizienten Automation in Einklang zu bringen fordert. Einerseits die richtige Auswahl des Systems und andererseits ein frühes Zusammenspiel zwischen Planer und Kunde. [25]

---

<sup>1</sup>VDI 3814 Blatt 1 [3]

## 2.1. Die Automationspyramide

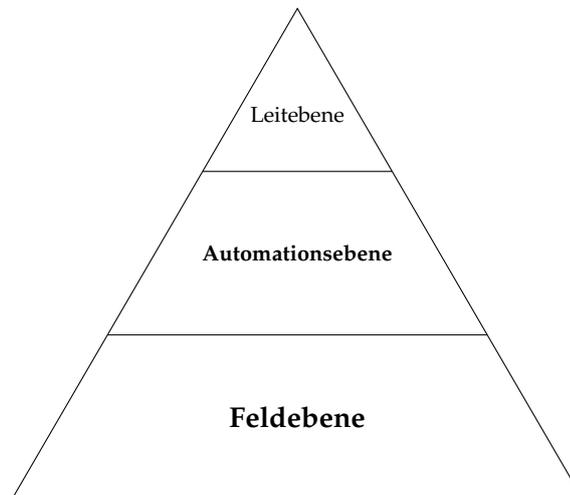


Abbildung 2.1: Automationspyramide

Die Gebäudeautomation ist in drei Bereiche aufgeteilt, die zusammen eine Pyramide bilden, wie in **Abbildung 2.1** dargestellt. Das Fundament der Gebäudeautomation bildet die Feldebene, in ihr werden alle Daten erfasst und Funktionen ausgeführt. Eine Etage höher befindet sich die Automationsebene in ihr werden alle Informationen zusammengetragen und ausgewertet. Schalt- und Stellbefehle werden zurück an die Feldebene gesendet, können aber auch wie alle anderen Informationen in die Leitebene weitergegeben werden. Die Leitebene bildet die Spitze der Pyramide. In den meisten Fällen ist die Leitebene eine Anwendungssoftware, mit welcher Informationen und Daten grafisch angezeigt, visualisiert und gespeichert werden können. Zusätzlich lässt sich die gesamte Anlage von einer zentralen Stelle bedienen, insofern die hierfür benötigten Daten zur Verfügung gestellt werden.

### 2.1.1. Feldebene

Als Feldebene wird in der Gebäudeautomation die Schnittstelle zwischen der Anlage, dem Gebäude und dem Automationssystem bezeichnet. In der Feldebene werden Daten durch verschiedenste Sensoren erfasst. Hierzu zählen Temperaturfühler, Helligkeitsfühler, Bewegungsmelder sowie Fensterkontakte und eine Reihe weiterer Sensoren. Ein zweiter Gerätebereich in der Feldebene ist die Aktorik, hierbei handelt es sich um Stellmotoren für Ventile und Klappen, Schalt- und Dimmeinrichtungen für die Beleuchtung, oder Antriebe für den Sonnenschutz. Abgeschlossen wird das Geräteportfolio mit den Bedieneinrichtungen wie Schaltern, Raumbediengeräten und Touchpanels. Um Informationen der Sensoren, oder Stellbefehle an Aktoren transportieren zu können müssen die Geräte in ein gemeinsames Netzwerk zusammengeführt werden. Die hierbei meist verwendete Netzwerktopologie ist der Bus. Im Zusammenspiel mit der Automationsebene kann eine Mischung aus Bus- und Sterntopologie vorkommen.

### 2.1.2. Automationsebene

Die Automationsebene bildet den Mittelbau der Pyramide. In ihr werden die Informationen aus der Feldebene von einer oder mehreren Recheneinheiten ausgewertet und in Schalt- und Stellbefehle umgesetzt. Die Feldgeräte werden hierbei entweder als physikalische Datenpunkte direkt über analoge und digitale Eingänge angeschlossen, oder werden über einen Feldbus zusammengefasst und über eine höherwertige Schnittstelle in die Recheneinheit eingelesen. Dasselbe Prinzip wird beim Anschluss der Aktoren angewandt. Die zentrale Recheneinheit wird auch als DDC oder SPS bezeichnet. Wobei der Begriff SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) eher in der Industrie- und Anlagenautomation zuhause ist. Der Aufbau einer DDC (Direct Digital Control) ist der einer SPS sehr ähnlich. Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen einer DDC und einer SPS ist, dass der Schwerpunkt auf die Regelung von Gebäudeanlagen wie Heizungen, Lüftungsgerät oder Kühlanlagen gelegt ist. Die Programmierung ist nicht textuell wie bei vielen SPS-Steuerungen, sondern ist grafisch über in Bibliotheken vorkonfektionierten Programmbausteinen verwirklicht. Diese können durch eine Software an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

Oftmals ist die Möglichkeit bei einer DDC gegeben, über einen integrierten Web-Server Daten zu visualisieren und für eine Fernwartung über das World Wide Web auf die Steuerung zuzugreifen. Andernfalls werden diese Funktionen über eine Gebäudeleittechnik realisiert.

### 2.1.3. Leitebene

Die Spitze der Automationspyramide bildet die Gebäudeleittechnik (GLT). Diese dient zur Visualisierung, Überwachung und Bedienung eines Gebäudes. Eine GLT besteht meist aus einem Desktop mit einer Anwendungssoftware. Die Leitebene dient weiter zur Speicherung und Honorierung von Daten. Zusammen mit der Automations- und Feldebene bildet die Leitebene das komplette Programm eines Gebäudeautomationssystems ab.

## 2.2. Definitionen

In der Praxis laufen die Grenzen der einzelnen Systeme immer mehr zusammen und vermischen sich. Versucht man die in der Theorie klar gezogenen Grenzen in der Praxis anzuwenden, stellt man fest, dass dieses nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurden drei Definitionen festgelegt. Auf diese Definitionen wird im Verlauf der Arbeit des Öfteren zurück gegriffen.

### 2.2.1. Dezentrale und Zentrale Systeme

Systeme werden als Zentral bezeichnet, wenn die Feldgeräte, nur mithilfe der Automationsebene untereinander kommunizieren können. Man spricht von vertikaler Kommunikation, mit der zentraler Intelligenz. Für eine horizontale Kommunikation in der Feldebene, ist eine verteilte Intelligenz notwendig. Alle Geräte verständigen sich weitestgehend gleichberechtigt, wohingegen Zentrale Systeme in einer festen Hierarchie kommunizieren.

### 2.2.2. Systeminterne und Systemneutrale DDC

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Unterscheidung hinsichtlich der zentralen Systeme in zwei unterschiedliche Gruppen getroffen. Hierfür werden zwei neue Begriffe eingeführt: Systemneutrale und Systeminterne DDC.

**Systemneutrale DDC** – diese lassen sich nicht zusammen mit Feldgeräten und Leittechnik von einem einzigen Hersteller beziehen, sondern müssen stets bei unterschiedlichen Anbietern angefragt werden. Eine „systemneutrale DDC“ bietet daher zum Anschluss von Feldgeräten eine Vielzahl an Protokollen und Schnittstellen. Zum Einbinden in ein vorhandenes Automationsnetzwerk mit Gebäudeleittechnik kann die DDC ohne, den Einsatz eines zusätzlichen Gateways verwendet werden.

**Systeminterne DDC** – eine solche DDC ist von einem Gebäudeautomationssystemhersteller zu beziehen, welcher von der Feldebene bis zur Leitebene das gesamte Produktportfolio mit anbieten kann. Hersteller dieser Art verwenden oftmals eigene systemsspezifische Kommunikationsprotokolle für die Feld- und Automationsebene. Sie sind daher nicht darauf angewiesen, zu sämtlichen gängigen Protokollen in der Gebäudeautomation ohne den Einsatz einer weiteren Schnittstelle oder Gateway portabel zu sein.

## 2.3. Systeme und Protokolle in der Gebäudeautomation

In der Gebäudeautomation stehen sich eine Reihe von Systemen und Protokolle gegenüber. Einige Systeme bieten umfangreiche Lösungen für alle Bereiche der Gebäudeautomation an, andere haben sich auf einen Teilbereich spezialisiert. Im Zuge des folgenden Abschnitts wird ein grober Überblick der auf dem Markt verfügbaren Systeme und Protokolle gegeben.

### 2.3.1. Heimsysteme

Immer mehr Anbieter von elektronischen Artikeln aber auch Energieversorger haben erkannt, dass ein wachsender Trend entsteht: Energie nur dann zu verbrauchen wenn sie auch wirklich benötigt wird. Es entwickelten sich Systeme nebeneinander sogenannte „Homesysteme“. Diese Systeme sind für den privaten Endkunden konzipiert und dafür gedacht dem Kunden die Möglichkeit zu geben Energieströme zu automatisieren und somit eine Kosteneinsparung zu erreichen. Auszugsweise wurden zwei Systeme betrachtet, mit dem Hintergrund einfache Möglichkeiten zur Nachrüstung der Gebäudeautomation aufzuzeigen.

#### 2.3.1.1. RWE Smarthome

Der Energieversorger RWE bietet ein Heimsystem an, mit dem elektronische Geräte sowie Heizkörper und Fußbodenheizungsverteiler automatisch angesteuert werden können. Das Herzstück des Systems bildet die RWE Home-Zentrale, an welche alle Komponenten über ein verschlüsseltes Funknetz angeschlossen werden. Das Geräteportfolio umfasst Zwischenstecker, Aufputzgeräte und Komponenten für die Unterputzdose. Im Programm enthalten sind ansteuerbare Heizungsthermostate, diese sind mit einem Temperaturfühler, einem Stellantrieb für das Ventil und einer dazugehörigen Elektronik ausgestattet. Der Thermostatkopf verarbeitet die gemessene Raumtemperatur sowie die Solltemperaturvorgabe zu einem Stellsignal für den Heizkörper. Die Solltemperatur erhält die Elektronik entweder von der RWE-Zentrale, einem Raumthermostat oder wird direkt am Gerät eingestellt. Der Raumthermostat ermöglicht es an einer zentralen Stelle im Raum eine Wunschtemperatur einzustellen, welche an die eingebundenen Geräte übermittelt wird. Zusätzlich zum manuellen einstellen von Temperaturen lassen sich pro Wochentag acht verschiedene Temperaturniveaus im Thermostat hinterlegen. Mittels eines Zeitprogramms werden diese über den Verlauf der Woche abgefahren. Ein Display zeigt die aktuelle Raumtemperatur, die eingestellte Solltemperatur sowie die Raumlufftfeuchte an. Komplettiert wird die Anwendung mit der Einbindung von Fensterkontakten als Informationsgeber. Bei Registrierung eines offenstehenden Fensters wird ein Signal gesendet um die Temperaturvorgabe auf ein Frostschutzniveau zu fahren. Für die Ansteuerung einer Fußbodenheizung bietet RWE eine separate Regeleinheit an. Diese ist in der Lage Temperatursollwerte von bis zu acht Raumthermostaten zu empfangen und den entsprechenden Heizkreis zu regeln. Das Angebot wird mit verschiedenen 230 V-Geräten abgerundet. So lassen sich zum Beispiel Zwischenstecker für den Außen- und Innenbereich oder Unterputzgeräte für Licht und Rollläden über Wandsender, Fernbedienung, Bewegungsmelder und via PC ansteuern. Mit einem internetfähigen Computer kann auf die Zentrale zugegriffen wer-

den, so lässt sich das Haus auch von der Arbeit aus steuern und überwachen.

Um den Sicherheitsaspekt Brandschutz nicht außer Acht zu lassen bietet das RWE-System einen Brand-/Rauchmelder an der mit beliebig vielen weiteren Meldern vernetzt werden kann. Wenn ein Melder Rauch detektiert, gibt er diese Meldung an alle anderen Melder weiter, so dass jeder im Haus schnellst möglich gewarnt wird. [20]

#### 2.3.1.2. HomeMatic

Das System HomeMatic wird von der Firma eQ-3 AG vertrieben. Es bietet mit einfacher Installation und intuitiver Bedienung die Möglichkeit, das Eigenheim oder die Mietwohnung zu automatisieren. Das Portfolio setzt sich aus zwei verschiedenen Funkzentralen, Fernbedienungen, Funkaktoren und Sensoren, Wetter- und Klimakomponenten sowie Drahtgebundene Buskomponenten zusammen. Im System stehen eine Alarmzentrale und eine Funkzentrale für Komfort und Energieeffizienzfunktionen zur Auswahl. Hierbei ist zu beachten, dass ein Gerät nur einer Zentrale zugeordnet werden kann. Eine Kommunikation unter beiden Zentralen ist nicht möglich. HomeMatic ist kein reines Funksystem sondern bietet mit der CCU-Zentrale die Möglichkeit Hutchienkomponenten mit einer Seriellenschnittstelle (RS485) einzubinden. Das Programm umfasst eine Reihe von I/O-Bourds mit analogen und digitalen Ein- und Ausgängen, Jalousieaktoren sowie Schalt- und Dimmaktoren. Als Pendant zu den RS485 Aktoren stehen die Funkaktoren. Das Angebot fokussiert sich auf schalten, dimmen von Leuchten und anderen schaltbaren elektrischen Geräten. Für das Anfahren von Jalousie-/Rollladenmotoren steht eine eigene Aktorik zur Verfügung, die speziell auf die Ansteuerung von solchen Motoren ausgerichtet ist. Es sind Geräte als Zwischensteckdose, Auf-/Unterputz sowie für die Zwischendeckenmontage verfügbar. Schaltbefehle werden von Sensoren und Handbediengeräten generiert. Das manuelle Eingreifen in das System ist über diverse Fernbedienungen, Hand- und Wandsender möglich. Als Wandsender werden Schnittstellen für konventionelle Taster als auch Aufputztaster verwendet. Automatisierte Aktionen werden durch eine Reihe von Sensoren ausgelöst, das System HomeMatic stellt hierfür Schließkontakte, Temperatur-, Feuchte- und CO<sub>2</sub>-Sensoren bereit. Für das Erfassen der Außenverhältnisse steht eine Wetterstation mit Temperatur, Feuchte, Windgeschwindigkeit und Niederschlagserkennung bereit.

Beide Systeme eignen sich hervorragend für den Einsatz in bestehenden Wohngebäuden und lassen sich von technisch affinen Privatpersonen mit einem überschaubaren Aufwand installieren. Für die weiteren Betrachtungen der Diplomarbeit wurden die beiden Systeme allerdings außer Betracht gelassen. Sie eignen sich nicht für eine professionelle Gebäudeautomation in größeren Liegenschaften, sondern sind als einfache Lösung eine kostengünstige Alternative zu den klassischen Automationssystemen. [14]

### 2.3.2. Dezentrale Systeme

Dezentrale Systeme sind nach der im oberen Abschnitt getroffenen Definition, solche Systeme welche eine verteilte Intelligenz innerhalb der Feldebene besitzen. Bei diesen Systemen wird auch häufig von den Bussystemen in der Gebäudeautomation gesprochen, da sämtliche Aktoren, Sensoren und Bedienelemente über eine Busleitung zusammengeschlossen sind. Dieses gemeinsame Kommunikationskabel ist Grundlage der verteilten Intelligenz in den Geräten. Der folgende Abschnitt befasst sich mit den drei bekanntesten Vertretern der dezentralen Gebäudeautomation.

#### 2.3.2.1. KNX

Zwischen 1996 und 1999 wurde der KNX-Standard als ein Konvergenzprodukt aus drei europäischen Organisationen zusammengesetzt. Eine der drei Organisationen war die EIBA (European Installation Bus Association) welche dem KNX-System bis heute noch den Beinamen EIB einbringt. Im Dezember 2003 wurden die KNX Spezifikationen in die bis dahin geltende Norm für den EIB-Standard EN 50090 übernommen. Seit November 2006 ist der Standard auch international in der Norm ISO/IEC 14543-3 anerkannt und akzeptiert. An den offenen Standard haben sich bis jetzt weltweit rund 250 Mitglieder in 30 verschiedenen Ländern angeschlossen.

Mit KNX lassen sich unter anderem Beleuchtungsanlagen, Jalousien und das Klima in Gebäuden steuern. Das System setzt sich aus vier Gruppen an Gerätetypen zusammen, die wichtigsten darunter sind die Sensoren und Aktoren. Der zweite Teil sind Bedienelemente und Systemkomponenten. Zu den Systemgeräten zählen all diese Produkte die zum Aufbau eines funktionsfähigen Netzwerkes benötigt werden, wie zum Beispiel Spannungsversorgungen, Linien- und Bereichskoppler sowie USB-Schnittstellen. Ein KNX Netzwerk ist in Linien und Bereiche gegliedert. Eine Linie ist ein Zusammenschluss von bis zu 64 KNX Geräten die über eine Datenleitung verbunden sind. Die Leitung ist im Regelfall ein vieradrig abgeschirmtes Twisted Pair Kabel mit einem grünen Mantel. Der grüne Farbton dient lediglich der besseren Erkennbarkeit und hat weiter keine Bewandnis. Die KNX Leitung setzt sich aus zwei Adernpaaren zusammen, Rot/Schwarz und Gelb/Weiß. Für die Verbindung der Geräte ist nur das Adernpaar Rot/Schwarz notwendig, das zweite kann für Reserve oder andere Zwecke genutzt werden. Die Spannung für die Elektronik der Geräte wird im Regelfall über das Buskabel zur Verfügung gestellt. Aus diesem Grund ist pro Linie mindestens eine 24 V Spannungsversorgung anzuordnen. In einzelnen Fällen kann ein Gerät mit einem integrierten 230 V Netzgerät ausgestattet sein. Steigt die Anzahl der KNX Geräte über einen Wert von 64 an, muss das Netzwerk um eine Linie erweitert werden. Die Verbindung der beiden Busse wird über einem Linienkoppler umgesetzt. Ein Zusammenschluss mehrerer Linien wird als ein Bereich bezeichnet, in diesem können bis zu 15 Linien eingebunden sein. Eine Liegenschaft mit bis zu 15 Bereichen wird über Bereichskoppler zur größten möglichen Ausdehnung verbunden, das entspricht einer maximalen Anzahl von 14400 Geräten. Die typische Datenübertragungsrate in einem KNX Netzwerk beträgt 9,6Kbit/s.

Jedes KNX Gerät, das an der Kommunikation im Automationsnetzwerk teilnehmen soll, benötigt eine eindeutige logische Adresse. Diese Adresse wird einmalig vor der Parametrierung in das Gerät eingespeichert, sie besteht aus drei Teilen. Dem Bereich, der Linie und der Teilnehmernum-

mer in der Linie. Um Funktionen in den Geräten zu hinterlegen, wird das Netzwerk mithilfe der ETS - Software am PC parametrieren. Hierzu werden die benötigten Geräte aus der entsprechenden Herstellerdatenbank in die Software eingelesen und mit der zugehörigen logischen Adresse versehen. Die Oberfläche der Software ist in einer Ordnerstruktur aufgebaut, in diese das Gebäude in Etagen und Räume aufgeteilt werden kann. Die Geräte werden den Räumen entsprechen in die Ordner verteilt. Danach wird jedes Gerät für die gewünschte Funktion, mit den vorgesehenen Parametern, eingestellt. Im vierten Schritt werden virtuelle Verknüpfungen zwischen den Ein- und Ausgängen der Geräte erstellt. Eine Verknüpfung bestimmt, welches Gerät von wem Informationen empfängt und an wen es wiederum Informationen ausgibt. Anschließend werden die eingestellten Verknüpfungen und Parameter mittels einer USB-Schnittstelle in die Geräte geladen. Auch für spätere Wartungsarbeiten stellt die Schnittstelle einen Zugang in das Automationsnetzwerk dar.

Bringt ein Hersteller ein neues KNX Gerät auf den Markt, muss dieses vor der Einführung eine Zertifizierung nach KNX Standard durchlaufen. Erst nach erfolgreich abgeschlossener Zertifizierung wird das Gerät in die zentrale Datenbank der KNX Association eingetragen und kann somit in die Datenbank des Herstellers übernommen werden. Dies ist nötig um das KNX Gerät in die ETS einzulesen zu können. Ist das Gerät nicht in der zentralen Datenbank registriert wird es von der ETS nicht erkannt. Mit dem Hintergrund der strengen Zertifizierung ist es nicht möglich Modifizierungen, an einer im Gerät vorhandenen Applikation vorzunehmen.

Zusätzlich zur USB-Schnittstelle bietet das KNX System eine Anschlussmöglichkeit für Ethernet. Für die Einbindung von Subsystemen steht eine Reihe von Gateways zur Verfügung. Die zwei in der Praxis am meisten anzutreffenden Mischungen mit KNX sind DALI und EnOcean. Auf beide Systeme wird im weiteren Text noch eingegangen. [15, 31, 27]

#### 2.3.2.2. LON

LON (Local Operating Network) ist ein offener Standard in der Gebäudeautomation der über das Protokoll LONTalk kommuniziert. Entwickelt von der US-amerikanischen Firma Echelon Corporation, wird das System heute von LONMARK International und den Landes Tochtergesellschaften repräsentiert. LONMARK Deutschland ist für den deutschsprachigen Raum Europas zuständig und ist eine Interessensgemeinschaft, in der sich rund 70 Unternehmen und Institute zusammengeschlossen haben. Als LON Nutzer Organisation 1993 gegründet, wurde sie Anfang 2006 umstrukturiert und in die einheitliche Form LONMARK Deutschland umbenannt. Ziel der Organisation ist es die Technologie weiter zu entwickeln und zu verbreiten. Geregelt ist der LON Standard europaweit in der DIN EN 14908 und seit Dezember 2008 auch international in der ISO/IEC 14908.

Die Einsatzgebiete der LON Technologie erstrecken sich von der Gebäudeautomation über die Prozess- und Anlagenautomation bis hin zur Steuerung von Straßenbeleuchtungen. Im Sektor der Gebäudeautomation lassen sich über LON sowohl die Raumautomation, als auch Anlagen steuern. Das System setzt sich im Grundlegenden aus Controllereinheiten mit Sensor- oder Aktormodulen, Bedienelementen und Systemgeräten zusammen. Kern der LON Technologie ist der

Neuron-Chip. Dieser ist in jedem datenverarbeitenden LON Gerät verbaut und wird auch als LON Knoten bezeichnet. Aufgebaut ist der Halbleiterchip aus drei 8-Bit Prozessoren. Jeder der CPU's übernimmt eine Teilaufgabe der Technologie. Der Media-Access CPU ist für die Verbindung mit dem Netzwerk zuständig, er überprüft die physikalische Verbindung zum Netz. Zur Kodierung und Dekodierung der Daten in das LON-Protokoll ist der zweite CPU der Network CPU vorhanden. Der Applikation CPU dient der Speicherung von Applikationsprogrammen und der Ausführung dieser im laufenden Betrieb. Jeder Neuron Chip wird bei der Produktion mit einer 48-Bit Adresse versehen, die zur weltweit eindeutigen Identifizierung dient.

Der Aufbau eines LON Netzwerkes und die damit verbundenen Anzahl an Geräten hängt maßgeblich von der Ausführung der Konten ab. Die Unterscheidung der zwei verschiedenen Knotentypen bezieht sich auf die Art der Spannungsversorgung des Geräts. Bei einem FTT (Free-Topology-Transceiver) Knoten erfolgt die Versorgung über zwei mitgeführte Adern in der Busleitung, folglich wird für den Aufbau eines Netzwerkes ein vieradriges Twisted Pair Kabel benötigt. Der LPT (Link-Power-Transceiver) Knoten wird über die zweiadrige Datenleitung mitversorgt und verwendet somit dasselbe Versorgungsprinzip wie die KNX Technologie. Bei LON existiert kein standardisiertes Übertragungsmedium, zur Kommunikation können alle gängigen Medien wie zum Beispiel TP, LWL, PL oder Koaxial genutzt werden. Beide Faktoren, Knotenausbildung und Übertragungsmedium, beeinflussen Leistungsfähigkeit und Größe des LON Netzwerkes. Neben den physikalischen bestehen auch virtuelle Grenzen, um einen Knoten im Netzwerk logisch identifizieren zu können. Die Adressstruktur ist in Domains, Subnet und Nodes gegliedert. Im Vergleich zu KNX entspricht die Domain der Gruppen und das Subnet der Linie. In einem Subnet können mindestens 64 und maximal 127 Konten adressiert werden. Diese Unterschiede sind durch die zwei verschiedenen Kontentypen erklärbar. Eine Domain bildet mit 255 möglichen Subnets die virtuellen Grenzen. Es dürfen mehrere Domains nebeneinander bestehen, es können jedoch keine Telegramme über die Grenze einer Domain hinaus ausgetauscht werden. Wird davon ausgegangen, dass alle Knoten als LPT ausgeführt und mit einer TP-Leitung verbunden sind, können eine maximale Anzahl von 32385 Geräten mit einer typischen Datenrate von 1,2 MBit/s miteinander kommunizieren. Die Telegramme bestehen aus den sogenannten SNVT's (Standard Network Variable Types), diese sind im LON Standard festgelegt und werden durch die LON-MARK International beschrieben. Für jede Art an Informationen existiert ein SNVT wie zum Beispiel die Raumtemperatur oder die Innenhelligkeit im Raum.

Die Parametrierung der Geräte, das sogenannte Binding erfolgt über die LNS Software am PC. LNS ist die Grundlage für verschiedene Oberflächen wie zum Beispiel das grafische Programm LON-Maker. Mithilfe der Software werden die LON Geräte für einen Auftrag kommissioniert. Im Zuge der Kommissionierung muss die Neuron-ID zu Registrierung in die Software eingetragen werden. Bei jeder Neuregistrierung eines Neuron Chips ist eine Lizenzgebühr von ca. 4 € zu begleichen. Für diesen Zweck besteht in der Software ein Guthabekonto, das in einem Punktesystem aufgebaut ist, ein Punkt entspricht einer Lizenzgebühr. Beim Erwerb der Software steht der Punktestand auf 64 Lizenzen. Sind alle 64 aufgebraucht, müssen diese bei der LONMARK in Paketen zu 1000 Stück neu erworben werden. Sollten in einem Auftrag Geräte wieder dekommissioniert werden, steigt das Punktekonto wieder an. Das eigentliche Binding erfolgt über die

SNVT's, es wird festgelegt welches Gerät an wen welchen Typ SNVT verschickt und empfängt. Über eine Ethernet-Schnittstelle werden die SNVT's auf die Geräte übertragen.

Um in das LON Automationsnetzwerk andere Feldbussysteme mit einzubinden, ist es mit der Anzahl an verschiedenen Gateways genauso ausgestattet wie das KNX System. LON ermöglicht durch ein OPC- und BACnet-Gateway einen standardisiert offenen Anschluss an eine Gebäudeleittechnik. Viele der auf dem Markt erhältlichen Managementprogramme sind jedoch in der Lage den LON/IP Standard einzulesen. Hierzu muss das Automationsnetz über eine LON/IP-Router verbunden werden. Das BACnet-Protokoll wird im Laufe des nächsten Abschnitts noch erläutert. [17, 31, 27]

### 2.3.2.3. LCN

Das LCN-System (Local Control Network) ist neben KNX und LON das dritte dezentrale System. Entwickelt wurde es von der Firma ISSENDORFF Mikroelektronik GmbH und 1993 zur Marktreife gebracht. LCN wird in Wohnungs- und Zweckbauten eingesetzt. Das System bedient unter anderem folgende Funktionen: Licht schalten/dimmen, Jalousie fahren und stellen sowie steuern und regeln von Heiz-/Lüftung. Alle Geräte sind direkt in das konventionelle 230V Netz geschaltet. Daher kommt das System ohne zusätzliche Spannungsversorgungen für die Geräte aus. Als Kommunikationsleitung wird eine freie Ader der 230V-Leitung verwendet, somit entfallen Kosten für den Aufbau eines selbstständigen Kommunikationsnetzes. Bevorzugt wird ein Fünfadriges Kabel verwendet. Das rücklaufende Kommunikationssignal wird über den Neutralleiter zurückgeführt. Daher können diese Datenpakete fälschlicherweise den Fehlerstromschutzschalter (FI) auslösen. Um dem entgegen zu wirken werden Trennverstärker eingebaut. Die Kommunikationsdaten können so optisch entkoppelt und am FI-Schalter vorbeigeführt werden. Da die Datenader zusammen mit dem Neutralleiter und Außenleiter in einem Kabel geführt werden, ist die Kommunikationsleitung auch als Netzleitung zu behandeln. Um ein allpoliges Abschalten des Kabels zu garantieren, muss die Datenader mit abgesichert werden. Trotz der geringen Spannung von 30 V.

Das LCN-Netzwerk wird in Segmenten aufgebaut, 120 von diesen können nebeneinander bestehen. Ein Segment besteht maximal aus 250 Modulen. Die Anordnung der Geräte innerhalb eines Segments ist frei wählbar. Es ist eine Baum-, Linien- oder eine Sterntopologie möglich. Von einem Ringschluss ist aus Gründen der Schleifenbildung abzuraten. Die Leitungslänge innerhalb eines Segments kann insgesamt 1000 m betragen, wenn größere Längen benötigt werden, kann dies auch mit Trennverstärkern erreicht werden. Um große Entfernungen zwischen zwei Gebäuden zu realisieren, ist es von Vorteil die Daten auf eine Lichtwellenleiter (LWL) umzusetzen.

Die Geräte verständigen sich mit Datentelegrammen, die eine einmalige Adresse, den Funktionsbefehl und auch Zeitinformationen enthalten können. Eine Adresse setzt sich aus der Segmentnummer und der Gerätenummer zusammen. Segmente werden von 5 bis 124 und Geräte von 5 bis 254 nummeriert. Damit entstehen 30.000 mögliche Kombinationen, das entspricht einer maximalen Geräteanzahl von ebenfalls 30.000 Stück. Auf der Datenader können im Durchschnitt 100 Telegramme pro Sekunde übertragen werden, was einer Datenrate von 9,6Kbit/s entspricht.

Das LCN-System bietet sowohl Reiheneinbau- als auch Geräte für die Unterputzmontage. Den Grundbaustein des Netzwerks bilden die Busmodule, sie enthalten die dezentrale Intelligenz. Jeder der eingebauten Mikroprozessoren enthält die gleichen hinterlegten Funktionen die bei Bedarf freigeschaltet werden. Zusätzlich dazu lassen sich die Module durch Softwareprogrammierung individuell konfigurieren. Um Aktoren und Sensoren einzubinden werden drei verschiedene Anschlüsse vorgehalten. Über Adapterkabel ist es auch möglich KNX-Taster abzufragen. Weiterhin besteht die Möglichkeit über einen separaten Steuerausgang DALI-EVG's anzusteuern. Ein konventionell verkabeltes Haus lässt sich jederzeit, wenn eine freie Ader zu Verfügung steht, mit LCN automatisieren, ohne aufwendige Neuverkabelung. Das System eignet sich daher für Bauherren, die sich zum Zeitpunkt des Baus nicht sicher sind, ob sie automatisieren wollen oder nicht. Lässt der Bauherr für einen geringfügigen Kostenmehraufwand, ein Kabel mit einer Reserveader einziehen, hält er sich so die Möglichkeit einer späteren Automation mit geringerem Aufwand einfach offen. Für die weiteren Betrachtungen der Diplomarbeit wurde das System allerdings nicht herangezogen. Der Hauptgrund hierfür ist die geringe Verbreitung des Systems im Objektbausektor. Ein Grund hierfür könnte sein, dass das System nur von einem Hersteller zu beziehen ist. Es kann also nicht die Vielfalt und Existenzsicherheit bieten wie andere dezentrale Systeme. [16]

### 2.3.3. Zentrale Systeme

Ein zentrales Gebäudeautomationssystem (DDC) ist nach Abschnitt 3.2.1 ein System, bei dem Sensoren, Aktoren und Bediengeräte in der Feldebene positioniert sind und die Recheneinheit zentral in der Automationsebene sitzt. Bei einem zentralen System basiert die Topologie immer auf einem Stern und regelt den Datentransfer über das Zugriffsverfahren Master/Slave. Der Markt der zentralen Systeme bietet eine Vielzahl von unterschiedlichen Herstellern, welche sich im Grundlegenden nur durch technische Details, wie einerseits den Anschlussmöglichkeiten der Feldgeräte und Programmierung unterscheiden. Zum anderen unterscheiden sich nicht nur die Systeme sondern auch die Hersteller und deren Vermarktungsstrategie. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird, nur auf Automationsstationen eingegangen, welche komplett frei programmierbar sind. In den nächsten zwei Unterpunkten sollen die Gründe für die im Abschnitt 3.2.2 getroffenen Definitionen genauer erläutert werden.

#### 2.3.3.1. Systemintern

Die Mehrzahl der Systemhersteller produzieren nicht nur DDC's, sondern auch die gesamte Palette an Feldgeräten vom Temperaturfühler über das Drei-Wege-Ventil mit Stellantrieb bis hin zum Kompaktregler für Kleinanwendungen. Im Regelfall bietet der Hersteller auch Software für das Gebäudemanagement an. Das charakteristische für eine „Systeminterne DDC“ ist, dass Ein- und Ausgangssignale standardmäßig digital und analog verarbeitet werden. Oft können Systeme mit Zusatzmodulen um eine Schnittstelle wie zum Beispiel Modbus erweitert werden, wenn diese nicht bereits im Gerät vorhanden ist. Jeder Gebäudeautomationssystemhersteller verfügt über ein eigenes Kommunikationsprotokoll mit dem er entweder Bedien- und Anzeigeterminals,

Feldgeräte oder eine Managementsoftware an die Automationsstation anschließen kann. Aufgrund des wachsenden Trends zur Raumautomation bieten nun immer mehr Hersteller auch Schnittstellen zu den typischen Raumautomationsfeldbussen, wie DALI für die Lichtregelung oder EnOcean für eine kabellose Einbindung vom sämtlichen Sensoren an. Diese neuen Systeme werden voraussichtlich, bei den entsprechenden Herstellern, im Laufe des Jahres auf den Markt kommen. Die Vermarktungsstrategie großer Systemhäuser beinhaltet in der Regel eine Selbstvermarktung: wird ein Bauvorhaben mit entsprechendem Volumen ausgeschrieben, bietet oft der Systemhersteller oder eine Tochtergesellschaft bei der Ausschreibung mit an und führt den Auftrag bei einem Zuschlag selbst aus. Zweiter Teil der Vermarktungsstrategie ist, dass die Systeme im Handel nicht frei verkäuflich sind, sondern nur über sogenannte Solutionpartnerschaften bezogen werden können. Ein Grund hierfür ist die Komplexität des Systems, welche nicht ohne eine höhere Qualifikation des ausführenden Unternehmens erfüllt werden kann.

### 2.3.3.2. Systemneutral

Bei einer „systemneutralen DDC“ ist bereits heute, zusätzlich zur analogen und digitalen Einbindung, eine große Anzahl an Schnittstellen zu anderen Systemen und Protokollen erhältlich. Die Hersteller produzieren in der Regel ausschließlich Hardware zum Regeln und Steuern der Anlagen, mit Zubehör wie Bedien- und Anzeigeterminals. Aus diesem Grund sind sie darauf bedacht, dass ihr System mit jedem anderen System zusammen eingesetzt werden kann. Für jedes im nächsten Abschnitt beschriebene Protokoll oder Subsystem steht eine Schnittstelle zum Einlesen und Verarbeiten der entsprechenden Datenpakete zur Verfügung. Mit der richtigen Konfiguration des Rechenkopfes kann die DDC als ein frei programmierbares KNX oder LON Gerät in das dementsprechende Netzwerk eingebunden werden und stellt so ein normales Feldgerät dar. Stattdet man den Rechenkopf mit einem höherwertigen Protokoll aus, wie BACnet oder TCP/IP, ist die Automationsstation mit einem offenen Standard in der Lage, auf jede Gebäudeleittechnik aufgeschaltet zu werden. Diese Systeme sind auf dem Markt frei erhältlich, der Erwerb ist nicht durch Partnerverträge eingeschränkt. Um ausführende Unternehmen bei der Planung, Installation und Inbetriebnahme des Systems zu unterstützen bieten die Hersteller einen großen Umfang an Serviceleistungen an. Dies ist möglich, da der Hersteller einer „systemneutralen DDC“ niemals an einer Ausschreibung selbst teilnimmt, sondern sich auf den Verkauf seiner Hardware beschränkt. Diese Strukturierung macht es den Herstellern möglich flexibel auf spezielle Anforderungen und Probleme eines Kunden einzugehen und eine Lösung dafür zu entwickeln.

### 2.3.3.3. BACnet als Protokoll für die zentrale Gebäudeautomation

BACnet (Building Automation and Control Network) ist ein höherwertiges Protokoll in der Gebäudeautomation. Es wurde 1995 von der amerikanischen Schirmherrschaft ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) entwickelt. Ziel war es ein herstellerunabhängiges Kommunikationsprotokoll für intelligente Komponenten und Systeme in der Gebäudeautomation zu schaffen. Seit 2003 ist das Protokoll in der ISO 16484 Teil 5 dokumentiert. Mit BACnet können Automationsstation verschiedenster Hersteller miteinander In-

formationen austauschen, ohne dass Lizenzgebühren für spezielle Datenübertragungshardware anfallen. Das BACnet-Protokoll besitzt nach dem OSI-Model keinen eigenen ersten und zweiten Layer, hier liegt ein weiterer Vorteil des Protokolls: es ist in der Lage hierfür verschiedene andere Netzwerke zu nutzen. Beispielsweise unterstützt BACnet das Internetprotokoll (IP), Ethernet, RS 485/232 oder auch das Protokoll LONTalk. Grundlage der Kommunikation von unterschiedlichen Automationsstationen sind die im BACnet-Protokoll standardisierten Objekttypen mit ihren spezifischen Eigenschaften. Mit den Kommunikationsobjekten werden die Informationen aus einer Automationsstation beschrieben. Bis 2005 wurden rund 28 verschiedenen Objekte durch den Standard definiert. Die Daten werden unter den Teilnehmern des Netzwerkes über Kommunikationsdienste ausgetauscht. Dies gewährleistet einen gezielten Zugriff auf die benötigten Daten. An dieser Stelle können, die auf einem Teilnehmer agierenden Anwenderprogramme in zwei Arten unterteilt werden: den Server und den Client. Der Server stellt Daten für einen Nutzer, den Client zur Verfügung. Ein Client ist meist auf einem Anzeigetableau zu finden, wohingegen eine Automationsstation einen Server und einen Client enthalten kann. Momentan sind rund 45 verschiedene Dienste im BACnet - Standard definiert welche in 5 Hauptkategorien unterteilt sind.

- Alarm- und Ereignisdienste
- Dateizugriffsdienste
- Objektzugriffsdienste
- Device- Managementdienste
- Virtual- Terminal- Dienste

Mit ihrer Hilfe lässt sich die Kommunikation im Netzwerk regeln und strukturieren. Über Gateways lassen sich Fremdsysteme, wie ein LON - Netzwerke in BACnet einbinden. So nutzt BACnet nicht nur die erste und zweite Schicht des LON Protokolls, sondern kann mit dem System auch Daten austauschen. Ob ein Gateway oder eine Automationsstation alle Facetten des BACnet-Protokolls erfüllt, lässt sich über ein Zertifizierungssiegel feststellen. Alle zertifizierten Geräte lassen sich auf der Webseite <http://www.bacnet.de> einsehen. Anwendung findet BACnet dann, wenn in einem Netzwerk viele verschiedene Hersteller über ein Protokoll zusammengefasst werden sollen. Zum Zweck des Datenaustauschs oder einer gemeinsamen Visualisierung und Bedienung an einer Managementsoftware. [7, 31]

### 2.3.4. Subsysteme/-protokolle

Ein Subsystem ist ein System welches alleine keine vollständige Funktionalität erreicht. Meist sind es Systeme die sich auf einen Teilbereich spezialisiert haben und nur in Verbindung eines weiteren Systems eine komplette Einheit darstellen. Im folgenden Unterpunkt werden die gängigsten Subsysteme der Feldebene dargestellt.

#### 2.3.4.1. EnOcean

Im Jahr 2001 wurde die EnOcean GmbH als ein Ableger der Siemens AG in Unterhaching gegründet, sie entwickelt und produziert das EnOcean System. Dabei ist es strenggenommen falsch, wenn man von einem System spricht. EnOcean ist vielmehr eine Technologie, die eingesetzt wird, um Daten in einem System zu übertragen. Die Technologie hat sich auf Datenübertragung per Funk spezialisiert. In Sanierungsgebäuden ist es oft nicht mehr möglich zusätzliche Kabel für die Datenübertragung einzuziehen oder sie sind aus architektonischen und optischen Gründen nicht erwünscht, zum Beispiel bei Glaswänden. In solchen Fällen muss auf Funk, Bluetooth oder Infrarot zurückgegriffen werden. Nachteil bei diesen Anwendungen ist, sie brauchen alle eine Energiequelle. Meist werden hierbei Batterien verwendet oder es wird mit versteckten 24 V-Leitungen gearbeitet, die aufwendig zum Gerät gezogen werden müssen. Ein nicht zu unterschätzender Aspekt beim Einsatz von Batterien ist das Wartungsintervall. Bei jedem Gerät muss in regelmäßigen Abständen geprüft werden, ob die Batterie noch in einem ausreichenden geladenen Zustand ist. Bei „kleinen“ Objekten ist so etwas noch überschaubar, bewegt man sich nun in einen Bürokomplex wird es sehr schnell sehr aufwendig und teuer. Hier setzt EnOcean an, Sensor und Taster mit energieautarkem Funk auszustatten.

*„Die Grundidee für die innovative Technologie beruht auf einer einfachen Beobachtung: Dort, wo Sensoren Messwerte erfassen, ändert sich auch immer der Energiezustand. Ein Schalter wird gedrückt, die Temperatur ändert sich oder die Beleuchtungsstärke variiert. In diesen Vorgängen steckt genug Energie, um Funksignale zu übertragen.“<sup>2</sup>*

Um diese Energie nutzbar zu machen hat EnOcean drei verschiedene „Energieumwandler“ entwickelt. So dass bei jedem Anwendungsfall die entsprechend zur Verfügung stehende Energie genutzt werden kann. Bei Taster oder Sensoren welche mit mechanischer Energie betätigt werden, setzt man bevorzugt den „Bewegungsenergieumwandler“ ein. Bewegungs-/Präsenzmelder oder Lichtfühler werden meist mit einer Solarzelle ausgestattet. Die dritte nutzbare Energiequelle ist Wärme. Durch Temperaturdifferenzen zwischen Maschinen, Heizflächen oder auch dem menschlichen Körper zu Umgebung produziert der Thermoenergieumwandler eine elektrisch nutzbare Spannung.

Den zweiten Teil der EnOcean Technologie stellt der Impulssender dar. Er ist so konzipiert, dass er mit möglichst wenig Energie auskommt. Jeder Sender ist mit einer eindeutigen 32-bit Adresse belegt. Für den Einsatz in Nordamerika sind Module geeignet die auf der 315 MHz Frequenz

<sup>2</sup><http://www.enocean.com/de/energy-harvesting-wireless/> [12]

senden, in Europa kann die 868,3 MHz genutzt werden. Dabei ist eine maximal erlaubte Sendezeit von 1% einzuhalten. Bei einer durchschnittlichen Sendezeit von einer Millisekunde pro Impuls ergibt sich eine Telegrammdichte von 36.000 pro Stunde. Somit steht genügend Potential zur Verfügung jede Information in asynchronen Abständen dreimal zu senden. So entsteht eine sehr hohe Übertragungssicherheit.

*„Statistisch gesehen beträgt die Übertragungszuverlässigkeit selbst im Fall von 100 Funksensoren, die jeweils einmal pro Minute ihre Daten übertragen, noch über 99,99 %.“<sup>3</sup>*

Die Übertragungreichweite gibt EnOcean im freien Feld mit 300 m an, diese wird im Gebäude durch Wänden, Decken und Ausstattungsgegenständen auf ca. 30 m reduziert. Um eine ausreichende Sicherheit bei der Planung zu gewährleisten, empfiehlt es sich die Funkzelle, die eine Antenne umgibt, mit einem Radius von 10 m zu planen. Endgültige Gewissheit über den Empfang aller Sensoren an der jeweiligen Antenne kann jedoch nur eine Messung Vorort auf der Baustelle geben. Eine Funknetzmessung ist erst zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Baumaßnahme durchzuführen. Da noch nicht eingebaute Brandschutztüren oder Installationsschränke den Empfang erheblich verfälschen. Kann ein Sensor von der geplanten Antenne nicht empfangen werden, besteht die Möglichkeit mit Repeatern zu arbeiten. Das Funksignal wird aufgenommen und erneut mit der ursprünglichen Sendeleistung ausgegeben. [10, 27]

Über die EnOcean GmbH können die Sende und Empfangsmodule von jeder interessierten Person oder Unternehmen bezogen werden. Darüber hinaus hat die EnOcean GmbH 2008 in Zusammenarbeit mit weltweit führenden Unternehmen die EnOcean-Alliance gegründet, um eine Plattform für die Technologie zu generieren. In der Alliance schließen sich Produkthersteller, Anwenderfirmen und Hochschulen zu einer Non-Profit Gesellschaft zusammen. Die Mitglieder lassen sich in Promotoren, Participants und assoziierte Mitgliedern unterscheiden. Zielsetzung ist es einen internationalen Standard zu ermöglichen, sowie die Entwicklung eines breiten energieautarken Funkproduktsortiments mit vollständiger Kompatibilität untereinander. Produkte mit dem energieautarken Funk gibt es sowohl als Sensoren als auch in jeglicher Art, im Aktorbereich. Bei der Aktorig bezieht sich allerdings das Energieautarke nur auf den Datenaustausch. Um Daten verarbeiten und als Stellbefehl ausgeben zu können, wird fast immer eine externe Stromquelle benötigt. [11]

#### 2.3.4.2. DALI

DALI-Digital Addressable Lighting Interface wird als eigenständiges System oder als Subsystem in der Gebäudeautomation zur Steuerung von lichttechnischen Anlagen eingesetzt. DALI kann als das digitale Nachfolgersystem der analogen 0-10 V Schnittstelle bei elektrischen Betriebsgeräten angesehen werden. Das System setzt sich aus einer Steuereinheit mit Spannungsversorgung und bis zu 64 Betriebsgeräten zusammen. Sämtliche Geräte werden von der Steuereinheit mit einer zweiadrigen Busleitung abgefahren. Die hierfür benötigten zwei Adern dürfen in einem Kabel mit Masse Neutral- und Phase mitgeführt werden, so dass zu jedem Betriebsgerät nur eine

<sup>3</sup><http://www.enocean.com/de/funktechnologie/> [13]

Leitung mit fünf Adern gezogen werden muss. Jedem Betriebsgerät ist eine eindeutige Adresse zugewiesen, dies kann eine Einzeladresse und/oder eine Gruppenadresse sein. Pro Steuereinheit und 64 Geräte können bis zu 16 verschiedene Gruppenadressen verteilt werden. Zusätzlich lassen sich 16 Lichtszenen hinterlegen. Jedes Vorschaltgerät prüft automatisch Netzspannung und Steuerspannung. Bei Steuerspannungsausfall kann auf einen voreingestellten Prozentwert der Beleuchtungsstärke gedimmt werden. Ist die Beleuchtung als Sicherheits- oder Notbeleuchtung auszuführen, ist DALI in der Lage sicherheitstechnische Anforderungen zu erfüllen und diese mit Komfort und Effizienz zu vereinen. Sicherheitsbeleuchtungssysteme müssen in regelmäßigen Abständen überprüft werden, unter anderem wird eine Kontrolle der Leuchtmittel vorgeschrieben. Hierzu bietet die digitale Schnittstelle alle technischen Betriebszustände einer Leuchte zur Abfrage an. Das Betriebsgerät gibt EIN/AUS, den exakten Dimmwert, oder Lampenfehler als Informationen an das Steuergerät zurück. Diese Informationen ermöglichen es die notwendigen Prüfungen einer Notbeleuchtungsanlage wesentlich zu vereinfachen und zum Teil zu automatisieren. Defekte Leuchtmittel können gezielt ermittelt und von einem Techniker ausgewechselt werden. Dies spiegelt die Vorteile der digitalen Ansteuerung gegenüber der herkömmlichen Ansteuerung mit 0-10 V von Leuchtmitteln dar. Weitere Vorteile werden ersichtlich, wenn der Aspekt der Sanierung oder Umnutzung betrachtet wird. Durch die Busverkabelung und die individuellen Adressenvergabe können Taster, Leuchten, Leuchtgruppen sowie Szenen jeder neuen Situation schnell und flexibel angepasst werden, ohne Kabel um zu verlegen oder neue Kabel verziehen zu müssen. Betriebsgeräte stehen vor allem in Form von Elektronischen-Vorschalt-Geräten (EVG) für Leuchtstoffröhren zur Verfügung. LED- und Niederspannungs Halogenleuchten lassen sich mit dementsprechenden DALI-Transformatoren ansteuern. Um herkömmliche Glühlampen mit der digitalen Technik auszurüsten, sind auf dem Markt Schaltrelais mit DALI-Schnittstelle erhältlich. [9, 24, 23]

#### 2.3.4.3. SMI

Jalousieantriebe werden im Regelfall über Schaltaktoren mit einer Laufzeit angesteuert. SMI (Standard Motor Interface) ist die digitale Antwort und das Pendant zu DALI. SMI ist ein vergleichsweise junges Protokoll in der Gebäudeautomation, der erste marktreife SMI-Motor wurde 2004 auf der Messe „*Light and Building*“ präsentiert. Ähnlich wie bei DALI setzt sich das System aus Betriebsgeräten, den Motoren, und einer Steuereinheit zusammen. Verbunden werden die Motoren mit einer fünfadrigen Busleitung, drei Adern für die ganz normale Spannungsversorgung und zwei Adern für die Datenübertragung. An einem SMI-Bus können bis zu 16 Geräte angeschlossen und über einen Kanal der Steuereinheit versorgt werden. Neben den handelsüblichen 230 V-Motoren für Außenjalousien und Rollos, lassen sich auch Linearantriebe für Fenster und Niedervoltmotoren für Innenjalousien über SMI und SMI LoVo ansteuern. Die digitale Schnittstelle ermöglicht eine Rückmeldung des Motors über den genauen Stand der Jalousie oder über einen Defekt. Zudem müssen Signale zum verfahren des Sonnenschutzes nicht mehr in zeitliche Befehle umgewandelt werden, sondern werden über genaue Winkelangaben in digitaler Form an den Motor gegeben. Dieser kann mit einem internen Regler den Sonnenschutz so auf die exakte

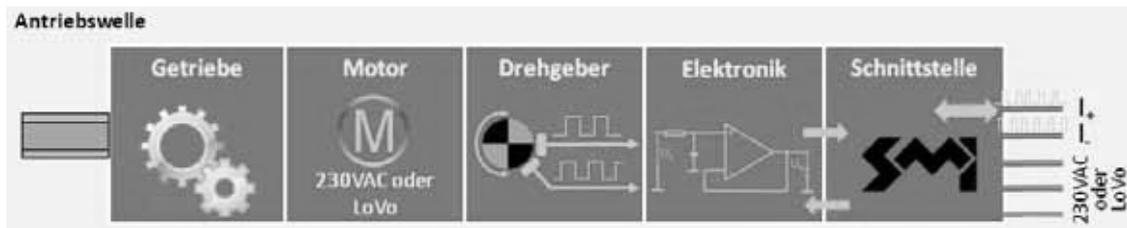


Abbildung 2.2: SMI Motoraufbau [30]

Position fahren, siehe **Abbildung 2.2**. Der Regler ist mit einem Inkrementalgeber ausgestattet, der ihm die genaue Position des Behangs zurückmeldet. So ist es möglich jede beliebige Stelle exakt anzufahren. Eine genaue Positionierung jeder Jalousie ist vor allem dann wichtig, wenn die Jalousien zusammen alle auf gleicher Höhe stehen sollen, um ein gleichmäßiges Bild für architektonische Zwecke abzugeben. Alle Motoren, die nach dem SMI-Standard produziert sind, müssen sich einer Zertifizierung unterziehen. Erst dann dürfen sie die offizielle geschützte Bildmarke mit der Aufschrift SMI Standard Motor Interface tragen. Die Zertifizierung wird durch den Arbeitskreis der SMI-Group durchgeführt. SMI bietet eine gute Alternative zur konventionellen Technik der Sonnenschutzsteuerung, wenn eine höhere Genauigkeiten gefordert ist als beim auf- und herabfahren von Jalousien und Rollos. [21, 30]

#### 2.3.4.4. MP-Bus

Der MP-Bus ist ein herstellerspezifisches Protokoll in der Gebäudeautomation. Es wurde von der Schweizer Firma Belimo entwickelt und dient zur stetigen Ansteuerung von Stellantrieben für Ventile und Lüftungsklappen. Der MP (Multi Point)-Bus ist ein Master/Slave-Bus, alle Antriebe werden mit einer dreiadrigen Leitung mit einem Master verbunden. Auf einen Bus können acht Teilnehmer angeschlossen werden, die Antriebe sind über eine 24 V DC oder AC Spannungsversorgung und einer Masseleitung versorgt. Die dritte Ader der Busleitung ist die Kommunikationsader, über welche die digitalen Signale transportiert werden. An einem MP-Bus Stellantrieb kann je ein analoger oder digitaler Eingang belegt werden. Die Eingangssignale des angeschlossenen Sensors setzt der Stellantrieb in ein MP-Bus Telegramm um und gibt es bei Abruf durch den Master auf die Kommunikationsleitung. Die Stellantriebe sind in der Lage, passive und aktive Sensorsignale oder binäre Ein- und Aussignale eines Schalters zu verarbeiten. Es können drei verschiedene passive Widerstandssensoren verwendet werden, zwei Kaltleiter und ein Heißleiter. Bei den Kaltleitern kann entweder ein Pt 1000 oder ein Ni 1000 zum Einsatz kommen. Für eine Anwendung, der Antrieb bei Brandschutzklappen, sind Temperaturfühler als Heißleiter auszuführen, hierfür können NTC-Widerstände angeschlossen werden.

Belimo bietet fünf verschiedene Gateways zu anderen Systemen an, um das herstellerspezifische Protokoll für diese integrierbar zu machen. Der Systemmaster wird in diesem Fall vom Gateway dargestellt. Ein Gateway kann nur für eine Buslinie also für acht Antriebe eingesetzt werden. Für folgende Systeme stehen Schnittstellen zur Verfügung:

- KNX/MP-Bus
- LON/MP-Bus
- BACnet/MP-Bus
- Modbus RTU/MP-Bus
- Profibus DP/MP-Bus

Die drei zuletzt aufgeführten Gateways sind für die Einbindung in DDC Systeme gedacht, welche nicht bereits über ein MP-Busschnittstelle verfügen. Profibus ist ein Protokoll aus der Industrieautomatisierung. Das Profibus/MP-Bus Gateway wird verwendet um HLK Stellantriebe mit der industriellen Antriebstechnik zu verschmelzen. Das Modbusprotokoll kommt ursprünglich auch aus der Industrieautomation, wird aber seit ein paar Jahren auch verstärkt in der Gebäudeautomation eingesetzt. Durch den Einsatz des digitalen MP-Busses lässt sich der Kabelaufwand beim ansteuern von Klappen und Ventilen erheblich reduzieren. Gleichzeitig eröffnet sich die Möglichkeit die genaue Positionsstellung des Antriebes abfragen zu können. Dies erleichtert zum Beispiel bei Funktionstests die Arbeit erheblich. [8]

#### 2.3.4.5. RS 232/485

RS 232/485 bezeichnet einen Schnittstellenstandard für eine digitale serielle Datenkommunikation. Der Standard wird auch EIA (Electronic Industries Alliance) 232/485 nach dem Herausgeber des Standards bezeichnet. Es handelt sich um zwei unterschiedliche Systeme. Einmal um eine Point to Point Verbindung mit RS 232 und um ein Bussystem mit RS 485, an das 32 Geräte angeschlossen werden können. Die serielle Schnittstelle RS 485 arbeitet entweder mit einem Aderpaar im Halbduplex oder mit zwei Aderpaaren im Vollduplex. Als Halbduplex wird der Datentransfer bezeichnet, wenn von beiden Seiten der Leitung Informationen gesendet werden können, aber nicht gleichzeitig. Von Vollduplex wird dann gesprochen, wenn beide Seiten zur selben Zeit Daten übertragen können. Mit dieser Art der Übertragung ist eine Datenrate von bis zu 12 MBit/s erreichbar. RS 485 definiert nur die elektrischen Eigenschaften der Schnittstelle und kein Protokoll, daher gibt es keine einheitliche Belegung der neun Pins des EIA-Steckers. Bei jedem Gerät mit einer seriellen Schnittstelle sollte aus diesem Grund auf die technische Produktbeschreibung geachtet werden, bevor es in ein Netzwerk eingebunden wird.

RS 232 oder 485 wird oftmals als Träger für ein höherwertiges Protokoll wie zum Beispiel Modbus RTU genutzt. [22, 27]

#### 2.3.4.6. Modbus

Modbus ist ein Kommunikationsprotokoll aus dem Jahr 1979, entwickelt wurde es zum Datentransfer zwischen Feldgeräten und einer SPS-Steuerung. Das Protokoll hat sich über die Jahre zu einem Standard in der Industrie entwickelt. 1999 wurde die internationale Norm IEC 61158 für Feldbussysteme in der Industrie ins Leben gerufen, in dieser Norm ist auch das Protokoll Modbus enthalten. Seit wenigen Jahren wird es jedoch verstärkt auch in der Gebäudeautomation verwendet. Es wird hauptsächlich zum Erfassen von Sensoren eingesetzt, wie beispielsweise bei den einzelnen Sensoren einer Wetterstation. Zudem bieten immer mehr Heizungs- und Wärmepumpenhersteller eine Schnittstelle über Modbus an. Das Protokoll arbeitet auf dem dritten und vierten Layer der OSI-Modelle und baut auf der seriellen Schnittstelle RS 232 oder 485 auf. In diesem Fall spricht man von Modbus RTU. Seit 2007 ist in der Norm IEC 61158 auch das Zusammenspiel zwischen Modbus und TCP/IP beschrieben. Die grundlegenden Eigenschaften des Protokolls bleiben gleich, der Unterschied zwischen beiden Varianten ist, dass bei Modbus TCP als Übertragungsmedium meist Ethernet genutzt wird und die Daten über TCP/IP Pakete verschickt werden. Der Trend in der Gebäudeautomation zu Modbus RTU wird voraussichtlich weiter wachsen, da es ein langbewährtes offenes Protokoll darstellt. Es sind bereits erste Klappen- und Ventiltriebe mit einer Modbuschnittstelle für die diesjährige Messe „Light and Building“ angekündigt. [19, 27]

#### 2.3.4.7. M-Bus

Der M-Bus (Metering Bus) wird zum Zusammenschluss von Verbrauchsdatenzählern genutzt. Entwickelt wurde der M-Bus an der UNI Paderborn, ursprünglich war er in der europäischen Norm für Wasserzähler beschrieben, entwickelte sich jedoch zu einer eigenständigen Norm: der EN 13757. Das Protokoll ist nach dem Zugriffsverfahren Master/Slave aufgebaut und nutzt als Übertragungsmedium entweder eine Zweidrahtleitung oder Funk. In eine M-Buslinie können bis zu 250 Verbrauchszähler zusammengefasst und von einem Master abgefragt werden. Das Angebot an M-busfähigen Zählern erstreckt sich über Wasser-, Wärme-, Gas- und Stromzähler. Die Zähler werden in der Gebäudeautomation zu einem vergleichsweise kostengünstigen Energiemonitoring eingesetzt. [18, 27]

## 3. Normen und Richtlinien in der Gebäudeautomation

In der Gebäudeautomation gibt es nicht nur Normen für einzelnen Protokolle sondern auch für die Anwendung und Umsetzung. Im Folgenden wird chronologisch auf die international bis national gültigen Normen und Richtlinien in der Gebäudeautomation eingegangen.

### 3.1. International

Im international genormten Bereich befasst sich mit der Gebäudeautomation die Norm DIN EN ISO 16 484 „*Systeme der Gebäudeautomation*“. In ihr werden fünf verschiedene Teile der Grundlagen der GA beleuchtet.

#### 3.1.1. DIN EN ISO 16 484

Derzeit umfasst die internationale Norm sechs verschiedene Teile. Die Arbeiten am angekündigten Teil 4 wurde jedoch nach Informationen des Normenausschusses eingestellt und ist nicht verfügbar. [6]

**Teil 1:** Der erste Teil der Norm befasst sich mit der Projektplanung und Projektausführung. Er ist im März 2011 neue erschienen.

**Teil 2:** Teil Nummer zwei befasst sich mit der Hardware eines Gebäudeautomationssystems. Der Teil legt Merkmale der eingesetzten Hardware fest und definiert Begriffe dazu, auf welche sich die anderen Teile beziehen. Es wird ein allgemeines Systemmodell gezeigt, dass auf alle GA-Systeme anwendbar ist.

**Teil 3:** Er befasst sich mit den Funktionen, die in der Gebäudeautomation umgesetzt werden. Dieser Teil legt Merkmale für die eigesetzte Software und die umzusetzenden Funktionen in der Gebäudeautomation fest. Weiterhin wird ein Verfahren zur Dokumentation der Planung beschrieben. Die beschriebenen Funktionen und Dokumentationsverfahren sind national in der VDI 3814 Blatt 1 zu finden.

**Teil 4:** Dieser Teil der Norm soll sich mit den Funktionen der Raumautomation beschäftigen, wurde aber nach Informationen des Normenausschusses eingestellt und ist weiterhin in der VDI 3813 Blatt 2 zu finden.

**Teil 5:** In diesem Teil werden Dienste und Objekte der Datenkommunikation für die Überwachung und Steuerung von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen spezifiziert. Das in diesem Teil beschriebene Protokoll, kann unabhängig von der gebäudetechnischen Anlage zum Datenaustausch zwischen den Geräten eingesetzt werden. Teil 6: Der Teil 6 beschäftigt sich mit der Konformitätsprüfung für das Datenübertragungsprotokoll. Er legt die technische Anforderungen, die Testumgebung und verschiedenen Verfahren zur Prüfung von Produkten fest.

## 3.2. Europäisch

Auf europäischer Ebene der Normung, ist die DIN EN 15 232 zu finden. Sie befasst sich mit der Energieeffizienz von Gebäuden durch den Einfluss von Gebäudeautomation und dem Gebäudemanagement

### 3.2.1. DIN EN 15 232

Die Energieeffizienz eines Gebäudes hängt nicht nur von der thermische Hülle und der technische Gebäudeausrüstung (TGA) ab, sondern wird maßgeblich von der Gebäudeautomation mitbestimmt. So ist es zum Beispiel keinesfalls Energieeffizient, wenn ein Fester offen steht den Thermostat an der Heizung aufzudrehen. Die Gebäudeautomation versucht Schnittstellen zwischen dem Gebäude, der Umwelt und der TGA zu schaffen, um Situationen in denen zwei Partner gegeneinander arbeiten, positiv verändernd eingreifen zu können. Die sich daraus ergebenden Einsparungen sind im Gegensatz zum Transmissionswärmeverlust einer Wand oder einem Fenster, nicht so leicht greifbar zu machen. Aus diesem Grund wurde die DIN EN 15232 entwickelt um die energetischen Auswirkungen einiger Gebäudeautomationsfunktionen einordnen zu können. Hierfür teilt die Norm Funktionen, die eine Auswirkung auf den Energieverbrauch haben in drei verschiedene Gruppen ein: Funktionen für die automatische Steuerung und Regelung, Funktionen für Haus- oder Gebäudeautomationssysteme, sowie Funktionen für das technische Gebäudemanagement. Die Funktionen sind in einer Art Checkliste eingearbeitet, die einen Punkt für Punkt durch das Gebäude führt. Hierbei sind Fragen zu unterschiedlichen Bereichen

		Definition der Klassen							
		Wohngebäude				Nicht-Wohngebäude			
		D	C	B	A	D	C	B	A
<b>AUTOMATISCHE STEUERUNG UND REGELUNG</b>									
<b>REGELUNG DES HEIZBETRIEBS</b>									
Regelung der Übergabe									
	<i>Die Regeleinrichtung wird auf der Übergabe- oder Raumebene installiert; im Fall 1 kann eine Einrichtung mehrere Räume regeln</i>								
0	Keine automatische Regelung								
1	Zentrale automatische Regelung								
2	Automatische Einzelraumregelung mit Hilfe von Thermostatventilen oder durch elektronische Regeleinrichtungen								
3	Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen den Regeleinrichtungen und GAs								
4	Integrierte Einzelraumregelung einschließlich bedarfsgeführter Regelung (durch Nutzung, Luftqualität usw.)								
Regelung der Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf)									
	<i>Vergleichbare Funktionen können auf die Regelung von Netzen für die elektrische Direktheizung angewendet werden</i>								
0	Keine automatische Regelung								
1	Witterungsgeführte Regelung								
2	Regelung der Innentemperatur								
Regelung der Umwälzpumpen									

Abbildung 3.1: Auszug aus der Checkliste der Norm DIN EN 15 232 [2]

eines Gebäudes, wie zum Beispiel Heizung, Beleuchtung oder Sonnenschutz, mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten formuliert. Pro Antwortmöglichkeit gibt es eine bestimmte Punktzahl zu erreichen, die im Fragebogen mit einem grauhinterlegten Kästchen gekennzeichnet ist, siehe **Abbildung 3.1**. Die zu erreichenden Punkte sind mit Buchstaben von D für einen Punkt bis A für vier Punkte beschrieben. Da sich Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude auf Grund ihrer Nutzung und vieler anderer Faktoren unterschiedlich verhalten, ist die Anzahl der zu erreichenden Punkte bei einigen Antworten, zwischen den beiden Gruppen unterschiedlich. Ist der ganze Fragebogen beantwortet, zählt man alle Fragen mit einem Punkt, mit zwei Punkten usw. zusammen. Um auf die eingesparte Energie der im Gebäude angewandten Automationsfunktionen schließen zu können, ist nach Norm der Buchstabe mit dem geringsten erreichten Punktwert ausschlaggebend. Zu jedem Buchstaben, der auch als Klasse bezeichnet wird und Gebäudeart ist in der Norm ein Wert für Heizen & Kühlen und ein zweiter für die elektrische Energie hinterlegt. Die Werte drücken die thermische und elektrische Energieeinsparung des Gebäudes aus. Hierbei wurde Klasse C als Basis definiert, die mindestens erreicht werden soll. Die angegebenen Zahlen, stellen die sogenannten Energieeffizienzfaktoren dar, siehe **Abbildung 3.2**. Das heißt ein Bürogebäude der Klasse B verbraucht 20% weniger Energie für Heizen & Kühlen, als die mindestens zu erreichende Klasse C. Gebäude der Klasse D sind demnach nach Norm in Steuerung und Regelung so ineffizient, dass diese entweder nicht gebaut werden dürfen oder einer Sanierung zu unterziehen sind.

Nicht-Wohngebäude-Typen	GA-Effizienzfaktoren $f_{BAC, HC}$			
	D	C (Bezug)	B	A
	Nicht energieeffizient	Standard	Erhöht	Hohe Energieeffizienz
Büros	1,51	1	0,80	0,70
Hörsäle	1,24	1	0,75	0,5 <sup>a</sup>
Bildungseinrichtungen (Schulen)	1,20	1	0,88	0,80
Krankenhäuser	1,31	1	0,91	0,86
Hotels	1,31	1	0,85	0,68
Restaurants	1,23	1	0,77	0,68
Gebäude für Groß- und Einzelhandel	1,56	1	0,73	0,6 <sup>a</sup>
weitere Typen: — Sporteinrichtungen — Lager — Industrieinrichtungen — usw.		1		

<sup>a</sup> Diese Werte hängen stark vom Heizwärme-/Kühlbedarf für die Lüftung ab.

Abbildung 3.2: Auszug aus den Energieeffizienzfaktoren nach DIN EN 15 232 [2]

Die DIN EN 15232 definiert weiterhin eine Empfehlungsliste, die auch wenn keine Gebäudeautomation explizit geplant ist, umgesetzt werden sollte. Alle in der Liste enthaltenen GA-Funktionen entsprechen dem Mindeststandard der Klasse C.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Norm einige Möglichkeiten der Regelung aufzeigt, diese aber nicht genau spezifiziert und somit unterschiedlich umgesetzt werden können. Trotzdem stellt die Norm ein gutes Hilfsmittel zur Orientierung bei der Planung von Funktionen der GA im Bezug auf das zu erwartende Einsparpotential darstellt. [2]

### 3.3. National

National sind in der Anwendung und Umsetzung der Gebäudeautomation zwei Richtlinien von großer Bedeutung. Sie beschreiben die Funktionalität der Anlagen- und Raumautomation. Hierbei stellen beide Richtlinien eine systemneutrale Basis zur Planung und Ausschreibung von Gebäudeautomationssystemen dar.

#### 3.3.1. VDI 3813

Die National gültige Richtlinie VDI 3813 ist im Mai 2011 in zwei Teilen erschienen. Mit dieser Richtlinie wurde eine neutrale Basis geschaffen, die es einem Entwurfsverfasser ermöglicht die Gebäudeautomation im Bereich Raumautomation systemneutral zu planen und zu beschreiben. Hierfür werden mit Funktionslisten die Art, Anzahl, und Platzierung der benötigten Funktionen erfasst. Die Funktionslisten dienen dem Planer als Grundlage für die Leistungsbeschreibungen wie sie für Ausschreibungen benötigt werden. Die ausführende Firma kann auf Basis der Funktionslisten ihre Kalkulation aufbauen und ein Angebot erstellen. Die zweite Neuerung der Richtlinie sind Raumautomationsschemen, sie werden nach der Erfassung der Funktionen aus den Funktionslisten abgeleitet. Sie dienen der Verdeutlichung der Wirkzusammenhänge der einzelnen Anlagenkomponenten. Eine Dokumentation der Raumautomation kann mithilfe der RA-FL und der RA-S zusammen erfolgen.

#### Blatt 1. Grundlagen der Raumautomation

Im Blatt 1 der VDI 3813 werden die Grundlagen für die beschriebenen Funktionen im Blatt 2 erläutert. Hierbei wird zunächst auf das Schalenmodell zur Beschreibung der Systemgrenzen eingegangen. Im zweiten Schritt, werden die RA-Funktionen klassifiziert und von der GA abgegrenzt. Der letzte Abschnitt des Blattes 1 geht auf die verschiedenen Raumnutzungsarten und Belegungszustände ein. Alle nachfolgenden Unterpunkte beziehen sich auf Quelle [4].

### Blatt 1.1. Schalenmodell

Die Gebäudeautomation baut auf verschiedenen Ebenen auf. Dazu wird ein Gesamtsystem in sechs Schichten aufgeteilt, wie in **Abbildung 3.3** dargestellt, vom Segment bis zum Liegenschaftsportfolio. Die Raumautomation spielt sich vom Segment bis zur Ebene des Gebäudes ab.

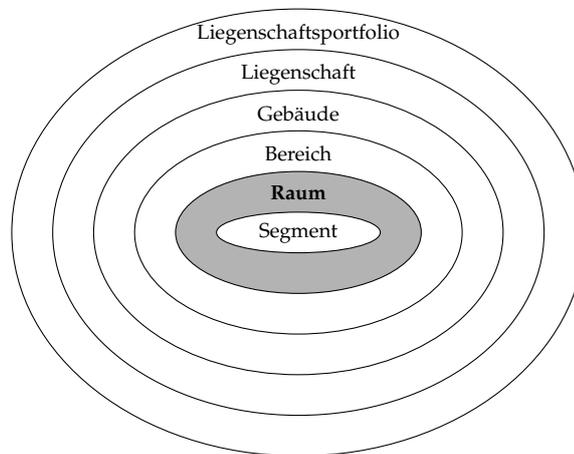


Abbildung 3.3: Schalenmodell

**Segment:** Das Segment ist die kleinste Einheit im Schalenmodell. Ein Raum kann aus mehreren Segmenten bestehen, die für sich selbst funktionsfähig sind. Die bei Neubauten verwendeten Rastermaße geben hierfür eine gute Grundlage um eine Einteilung in Segmente festzulegen. Architekten planen ihre Gebäude immer nach verschiedenen Rastermaßen, nach diesen werden Fenster platziert und oder Stützen gesetzt. Beide Teilungseinheiten eignen sich für die Definition von Segmenten für die Raumautomation. Eine Bürofläche kann so zum Beispiel, bei einer Stahlbetonskelettbauweise, in Segmente nach dem Stützenraster eingeteilt werden.

**Raum:** Ein Raum ist definiert als ein Volumen, das von sechs Bauteilen abgeschlossen wird. Im Schalenmodell setzt sich ein Raum aus einem oder mehreren Segmenten zusammen. Bei einem Großraumbüro mit fünf Segmenten wirkt zum Beispiel die Temperaturregelung oder eine Lichtsteuerung zusammengeschaltet auf das gesamte Luftvolumen des Büros. Mit vier Wänden können fünf einzelne Büroräume geschaffen werden, die im Anschluss immer noch funktionsfähige Räume darstellen.

**Bereich:** Der Bereich ist die dritte Ebene im Schalenmodell, er stellt den Zusammenschluss mehrerer Räume dar. Dies kann entweder ein Flur mit Toiletten und einigen Büros, eine ganze Etage oder ein Foyer sein.

**Gebäude:**

*„Gebäude sind selbständig benutzbare, überdeckte bauliche Anlagen, die von Menschen betreten werden können.“<sup>1</sup>*

Diese Definition von Gebäuden wird in der bayrischen Bauordnung getroffen. Im Sinne des Schalenmodells ist ein Gebäude ein Verbund aus mehreren Bereichen. Die Raumautomation bezieht sich auf die Gebäudeschale immer dann, wenn Umwelteinflüsse eine Auswirkung auf eine Funktion im Raum oder Segment bedeuten und dies über eine Wetterstation erfasst werden.

**Blatt 1.2. Unterschied Raumautomation/Gebäudeautomation**

Der Unterschied von Raumautomation zu Gebäudeautomation ist die Einteilung der Funktionen sowie die Funktionen selbst. In der VDI 3814, der Richtlinie für die Funktionen der Gebäudeautomation, werden alle Funktionen in Ein- und Ausgabefunktionen, Verarbeitungsfunktionen sowie Management- und Bedienfunktionen eingeteilt. Die VDI 3813 definiert die Gruppen Sensor- und Aktorfunktionen, Bedien- und Anzeigefunktionen sowie Anwendungsfunktionen. Eine Überlappung der beiden Richtlinien existiert bei den Gruppen Management- und Bedienfunktionen. Alle Funktionen der Raumautomation lassen sich jedoch aus denen der VDI 3814 abbilden. Die VDI 3813 definiert lediglich speziell auf die Raumautomation zugeschnittene Funktionen, die alle aus den Grundfunktionen der Gebäudeautomation zusammengesetzt sind.

**Blatt 1.3. Raumnutzungsarten**

Grundlage jeder Automation ist eine Nutzung eines Raumes oder Gebäudes. Aus ihr ergeben sich Anforderungen an das System. Die VDI 3813 definiert hierfür die Begriffe Normalnutzung und Sondernutzung. Zu jedem der Begriffe werden einige mögliche Beispiele der Nutzung genannt.

---

<sup>1</sup>BayBO Art. 2 Abs. 2 [26]

## **Blatt 2. Raumautomationsfunktionen**

Im Blatt 2 werden die verschiedenen RA-Funktionen beschrieben und erläutert. Diese sind nach Zweck und Anwendung in sieben Gruppen eingeteilt. Im Anschluss an die beschriebenen Funktionen, wird der Umgang mit den eingeführten Hilfsmitteln der Richtlinie dargelegt. Abschließend zieht die VDI 3813 einen Quervergleich zur europäischen Norm DIN EN 15232. Alle nachfolgenden Unterpunkte beziehen sich auf Quelle [5].

### **Blatt 2.1. RA-Funktionen**

Insgesamt werden in der Richtlinie 56 Einzelfunktionen beschrieben. Diese sind in Sensor- und Aktorfunktionen, gemeinsame, kommunikative Ein- und Ausgabefunktionen, Bedien- und Anzeigefunktionen, Anwendungsfunktionen sowie Management- und Bedienfunktionen eingeteilt. Die VDI 3813 gibt dem Anwender zusätzlich die Möglichkeit neue Funktionen zu definieren und in die RA-Listen sowie -Schemata zu integrieren. Dies schafft einen wertvollen Planungsfreiraum bei der Umsetzung der Richtlinie.

#### **Blatt 2.1.a. Sensorfunktionen**

Mithilfe der Sensorfunktionen, werden physikalische Werte, wie zum Beispiel Temperatur, Helligkeit oder Präsenz aus der Realität in virtuelle Informationen umgewandelt. Hierbei können zur Kalibrierung der Messwerte, Parameter verwendet und eingestellt werden. Die erfassten Daten dienen wiederum für Aktor- und Anwendungsfunktionen als Eingangsgrößen. Somit stellen die Sensorfunktionen die physikalischen Schnittstellen zwischen dem Automationssystem und dem Raum oder der Umwelt dar. Die VDI 3813 definiert im Folgenden acht verschiedene Sensorfunktionen, die Liste darf jedoch um weitere Funktionen erweitert werden. Die Funktionen lauten:

- Präsenzerkennung
- Fensterüberwachung
- Taupunktüberwachung
- Lufttemperaturmessung
- Helligkeitsmessung
- Luftqualitätsmessung
- Windgeschwindigkeitsmessung
- Niederschlagsmessung

**Blatt 2.1.b. Aktorfunktionen**

Aktorfunktionen dienen als physikalische Schnittstelle zwischen dem Automationssystem und dem Raum. Sie überführen Eingabeinformationen von Anwendungs- oder Bedienfunktionen in physikalische Aktionen, wie das Einschalten einer Leuchte oder das Öffnen und Schließen eines Ventils. Die Stellbefehle können mittels Parametern an den jeweiligen Aktor angepasst werden. Zusätzlich zur physikalischen Ausgabegröße, gibt die Aktorfunktion den aktuellen Stellwert, als virtuelle Größe an die Anwendungsfunktion zurück. Die zusätzliche virtuelle Ausgabe ist nötig, um eine exakte Regelung der Stellgröße realisieren zu können. Die VDI definiert folgende drei Aktorfunktionen:

- Lichtaktor
- Sonnenschutzaktor
- Stellantriebaktor

**Blatt 2.1.c. Kommunikative E/A Funktionen**

Gemeinsame kommunikative Ein- und Ausgabeinformationen sind die Schnittstelle zu anderen Systemen. Sie werden verwendet, um Informationen zwischen zwei oder mehreren Systemen auszutauschen. So kann beispielsweise ein Stellantriebaktor eine Lüftungsklappe zwischen einem Raum und dem Gesamtkanalnetz im Gebäude schließen, wenn die Brandmeldeanlage in einem Raum Rauch detektiert. Die VDI 3813 definiert hier:

- gemeinsame kommunikative Eingabefunktion
- gemeinsame kommunikative Ausgabefunktion

**Blatt 2.1.d. Bedien- /Anwendungsfunktionen (lokal)**

Bedienfunktionen wandeln Stellbefehle des Nutzers im Raum in Eingabeinformationen für Anwendungs- und Aktorfunktionen um. Anwendungsfunktionen stellen dem Nutzer Informationen des Automationssystems zur Verfügung, es können beispielsweise aktuelle Istwerte angezeigt werden. Beide Funktionen stellen die integrative Schnittstelle vom Automationssystem zum Menschen dar. Um eine Fehlbedienung des Systems durch den Nutzer zu vermeiden, müssen von diesem gewählte Funktionen ohne eine Verzögerungszeit umgesetzt werden. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass mit dem Nutzer eine intensive Absprache darüber getroffen wird, welche, wie viele und wohin die Bedienelemente installiert werden sollen. Ein zweiter wichtiger Punkt für die Akzeptanz der Gebäudeautomation ist: Bedieneingaben des Nutzers sollten in einem gewissen Rahmen immer eine höhere Priorität als Eingabeinformationen der Sensorfunktionen haben und damit ein Übersteuern der Stellbefehle durch Automation zu ermöglichen.

Die VDI 3813 definiert folgende Funktionen:

- Licht stellen
- Sonnenschutz stellen
- Antriebe stellen
- Temperatur-Sollwert stellen
- Raumnutzungsgrad wählen
- Präsenz melden

#### **Blatt 2.1.e. Anwendungsfunktionen**

Die Anwendungsfunktionen stellen die eigentliche Funktionalität eines Automationssystems dar. Für die systemvergleichende Untersuchung dieser Arbeit, bilden die in der VDI 3813 definierten Anwendungsfunktionen die neutrale Grundlage. Die Richtlinie definiert 29 verschiedene Funktionen, die in vier Gruppen (Basis, Beleuchtung, Sonnenschutz und Raumklima) eingeteilt sind.

### Basis

In der Basis sind vier Funktionen beschrieben, sie dienen zur Auswertung von Bedien- und oder Sensorinformationen. Die Basisfunktionen geben die ausgewerteten Daten an die restlichen Anwendungsfunktionen weiter und stellen so ein Entscheidungskriterium für die jeweilige Funktion zur Verfügung.

### Belegungsauswertung:

Die Belegungsauswertung ermittelt ob ein Raum belegt ist oder nicht, in dem sie Signale von Präsenzmeldern und Präsenztastern auswertet. Das Ergebnis wird zum Beispiel an die Konstantlichtregelung weitergegeben.



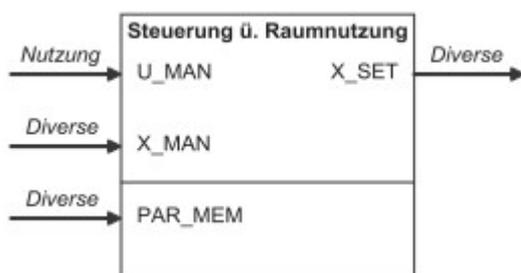
Bezeichnung	Beschreibung
P_AUTO	Eingang Präsenzmelder
P_MAN	Eingang Präsenztaster
P_ACT	Belegungszustand
PAR_BEH	Verknüpfungsregel

Abbildung 3.4: Belegungsauswertung [5]

Tabelle 3.1: Belegungsauswertung vgl. [5]

### Steuerung über Raumnutzungsarten:

Bei dieser Funktion handelt es sich um eine Szenensteuerung. In einer Szene werden einzelne Stellbefehle zu einem Gruppenbefehl zusammengefasst. Dies können unterschiedliche Dimmwerte einer Beleuchtungsgruppe sein, die über einen Tastendruck aktiviert werden oder die Szene fährt für eine Filmvorführung alle Jalousien herunter und dimmt das Licht auf einen minimalen Wert.



Bezeichnung	Beschreibung
U_MAN	gewählte Szene
X_MAN	manueller Stellwert
X_SET	Stellwerte ausgeben
PAR_MEM	Speicher der Werte

Abbildung 3.5: Steuerung über Raumnutzungsarten [5]

Tabelle 3.2: Steuerung über Raumnutzungsarten vgl. [5]

**Zeitprogramm:**

Über ein Zeitprogramm können zum Beispiel in einer Schule automatisch nach dem Stundenplan verschiedene Aktionen ausgeführt werden. Im Zeitprogramm ist die Uhrzeit sowie ein Kalender hinterlegt, mit diesem lassen sich Tages-, Wochen-, Monats- oder auch Jahresprogramme und vieles mehr realisieren.

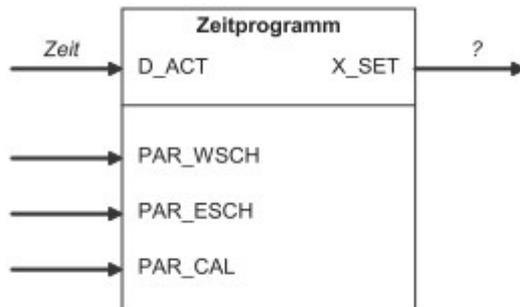


Abbildung 3.6: Zeitprogramm [5]

Bezeichnung	Beschreibung
D_ACT	Aktuelle Uhrzeit & Datum
X_SET	Stellwerte ausgeben
PAR....	Speicher für Schaltpläne

Tabelle 3.3: Zeitprogramm vgl. [5]

**Trennwandsteuerung:**

Über eine Trennwandsteuerung lassen sich einzelne Bürosegmente die über mobile Trennwände unterteilt sind, zu einem großen Raum regeltechnisch zusammenführen. Hierfür ist pro Trennwand ein Schließkontakt notwendig der der Funktion anzeigt ob eine Wand geschlossen ist oder nicht.

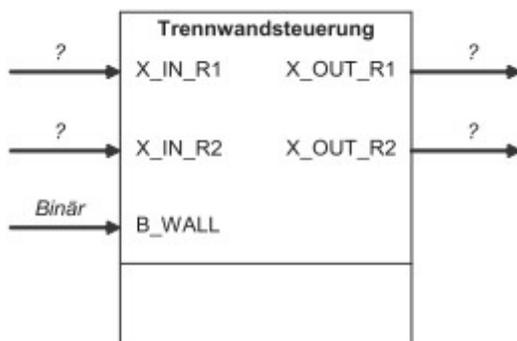


Abbildung 3.7: Trennwandsteuerung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
X_IN_R1	Stellwerte Raum 1
X_IN_R2	Stellwerte Raum 2
B_WALL	Öffnungszustand Wand
X_OUT_R1	Ausgabewert Raum 1
X_OUT_R2	Ausgabewert Raum 2

Tabelle 3.4: Trennwandsteuerung vgl. [5]

## Beleuchtung

In der Gruppe Beleuchtung sind alle Funktionen zusammengefasst, die sich mit der Steuerung oder Regelung von Lampen und Licht befassen. Die VDI 3813 definiert hier insgesamt sechs Funktionen.

### Lichtschaltung:

Die Funktion Lichtstellen verarbeitet manuelle Schalt- oder Dimmbefehle eines Nutzers. Diese können durch einen Taster oder von einem Touch Panel ausgelöst werden. In der Funktion können Ein- und Ausschaltverzögerungen hinterlegt werden.

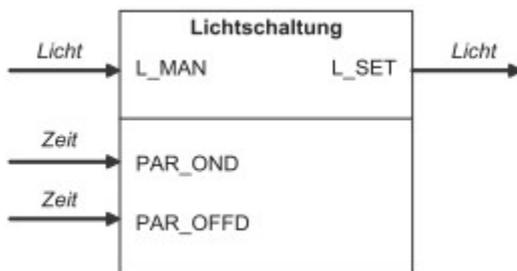


Abbildung 3.8: Lichtschaltung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
L_MAN	manueller Stellwert
L_SET	Stellwert Licht
PAR_OND	Einschaltverzögerung
PAR_OFFD	Abschaltverzögerung

Tabelle 3.5: Lichtschaltung vgl. [5]

### Treppenlichtschaltung:

Durch eine Treppenlichtschaltung können Nutzer vor dem automatischen Abschalten der Beleuchtung gewarnt werden. Hierbei wird eine maximale Zeit definiert, die Haltezeit, nach der das Licht automatisch abgeschaltet wird. Mit Hilfe einer einstellbaren Vorwarnzeit kann der Nutzer durch ein kurzes Flackern der Beleuchtung darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Licht beispielsweise in 15 s abschaltet. Durch ein erneutes betätigen eines Tasters wird die Haltezeit wieder auf null gesetzt und die Laufzeit beginnt von neuem.



Abbildung 3.9: Treppenlichtschaltung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
L_MAN	manueller Stellwert
L_SET	Stellwert Licht
PAR_HOLD	Treppenlichtschaltzeit
PAR_WARN	Abschaltvorwarnzeit

Tabelle 3.6: Treppenlichtschaltung vgl. [5]

### Automatiklicht:

Das Automatiklicht schaltet die Beleuchtung in einem Raum automatisch ein und aus, wenn sie von einem Präsenzmelder, über die Funktion Belegungsauswertung eine positive oder negative Meldung der Belegung bekommt. Verschiedene Dimmwerte oder das Einbeziehen des Sonnenlichts sind nicht möglich. Daher ist die Funktion ideal für Verkehrsflächen, die nicht durch Fenster beleuchtet werden können. Hierbei können eine Abschaltverzögerung und der Helligkeitswert beim Einschalten definiert werden.

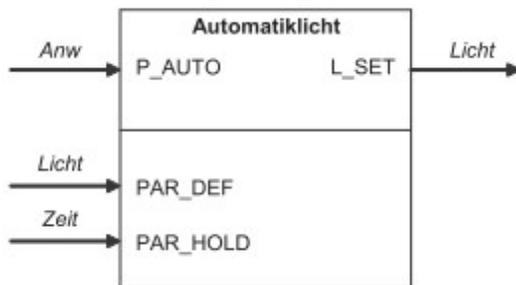


Abbildung 3.10: Automatiklicht [5]

Bezeichnung	Beschreibung
P_AUTO	Belegungszustand
L_SET	Stellwert Licht
PAR_DEF	Einschaltwert
PAR_HOLD	Abschaltverzögerung

Tabelle 3.7: Automatiklicht vgl. [5]

### Tageslichtschaltung:

Die Tageslichtschaltung erweitert die Funktion Automatiklicht, durch die Einbindung der Raumhelligkeit. Hierfür ist eine Helligkeitsgrenzwert eingeführt, ab dem die Beleuchtung ein- oder ausgeschaltet wird. Mit zeitlichen Hysterese verhindert man, dass die Beleuchtung nach jedem über- oder unterschreiten des Grenzwertes geschaltet wird. Ändert sich jedoch der Belegungszustand des Raumes schaltet die Beleuchtung sofort ein oder aus. Die Funktion lässt es zu, dass der Nutzer über das manuelle Betätigen eines Tasters den Automatismus übersteuern kann.



Abbildung 3.11: Tageslichtschaltung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
P_ACT	Belegungszustand
H_ROOM	Raumhelligkeit
L_MAN	manueller Stellwert
L_SET	Stellwert Licht
PAR_SETPT	Mindest-Helligkeit
PAR_OND	Einschaltverzögerung
PAR_OFFD	Abschaltverzögerung

Tabelle 3.8: Tageslichtschaltung vgl. [5]

**Konstantlichtregelung:**

Die Konstantlichtregelung regelt die Raumbeleuchtung bei Anwesenheit von Nutzern, automatisch auf eine eingestellte Beleuchtungsstärke abhängig von der Raumhelligkeit. Mit einer zeitlichen Hysterese kann auch hier unnötig vieles schalten verhindert werden. Durch das exakte einhalten einer Helligkeit ist dies Funktion die effizienteste und auch komfortabelste Lichtfunktion. Sie eignet sich vor allem in Büroräumen. Durch manuelle Bedienung lässt sich auch hier die Automatik übersteuern.

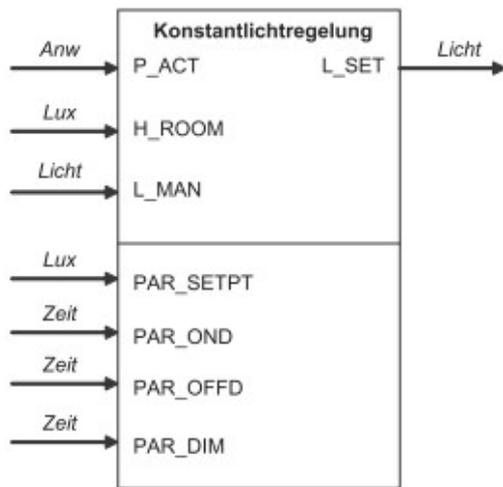


Abbildung 3.12: Konstantlichtregelung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
P_ACT	Belegungszustand
H_ROOM	Raumhelligkeit
L_MAN	manueller Stellwert
L_SET	Stellwert Licht
PAR_SETPT	Mindest-Helligkeit
PAR_OND	Einschaltverzögerung
PAR_OFFD	Abschaltverzögerung
PAR_DIM	Dimmrampe

Tabelle 3.9: Konstantlichtregelung vgl. [5]

**Dämmerungsschaltung:**

Eine Dämmerungsschaltung kann zum Beispiel bei Weg- oder Schaufensterbeleuchtungen eingesetzt werden. Über zwei Außenhelligkeitsgrenzwerte wird definiert, wann das Licht ein- und wann wieder abgeschaltet werden soll. Die Funktion kann über ein binäres Signal aktiviert und deaktiviert werden.

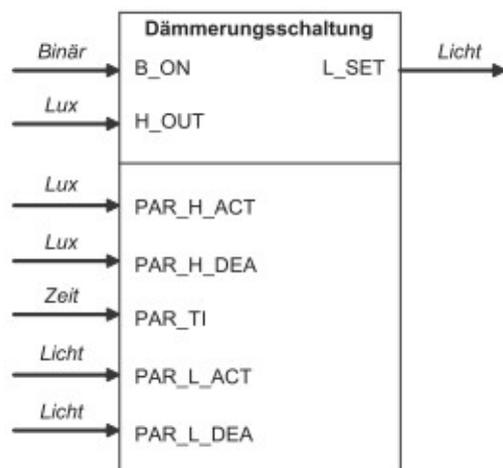


Abbildung 3.13: Dämmerungsschaltung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
B_ON	aktiv/dekativ
H_OUT	Außenhelligkeit
L_SET	Stellwert Licht
PAR_H_ACT	Aktivierungsgrenzwert
PAR_H_DEA	Deaktivierungsgrenzwert
PAR_TI	zeitliche Hysterese
PAR.L_ACT	Stellwert bei Aktivierung
PAR.L_DEA	Stellwert bei Deaktivierung

Tabelle 3.10: Dämmerungsschaltung vgl. [5]

## Sonnenschutz

Die VDI definiert im Bereich Sonnenschutz sieben Funktionen, die alle eine Auswirkung auf die Steuerung oder Regelung von Sonnenschutzanlagen haben.

### Prioritätssteuerung:

Die Prioritätensteuerung koordiniert die Rangfolge aller auf eine Jalousie einwirkenden Stellbefehle. Hierdurch wird einerseits sichergestellt, dass die Jalousie nicht durch offenstehende Fenster oder die Witterung beschädigt wird, andererseits ermöglicht sie ein manuelles Übersteuern des Nutzers per Tasterbetätigung.

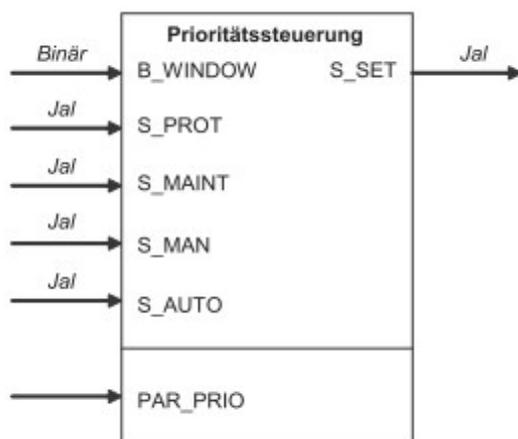


Abbildung 3.14: Prioritätssteuerung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
B_WINDOW	Fensterzustand
S_PROT	Position Witterungsschutz
S_MAINT	Position Wartung
S_MAN	manuelle Position
S_AUTO	Sonstige Position
S_SET	Positionsbefehl
PAR_PRIO	Prioritätenfolge

Tabelle 3.11: Prioritätssteuerung vgl. [5]

### Dämmerungsautomatik:

Die Dämmerungsautomatik arbeitet wie die Dämmerungsschaltung bei der Beleuchtung. Sie erlaubt es die Jalousie über zwei Außenhelligkeitsstufen automatisch herunter- und herauffahren zu lassen. Um während den Nachtstunden einen Sichtschutz, oder das Auskühlen des Gebäudes über die Fenster zu gewährleisten. Die Dämmerungsautomatik lässt sich auch hier über binäre 1 aktivieren und über binär 0 deaktivieren.

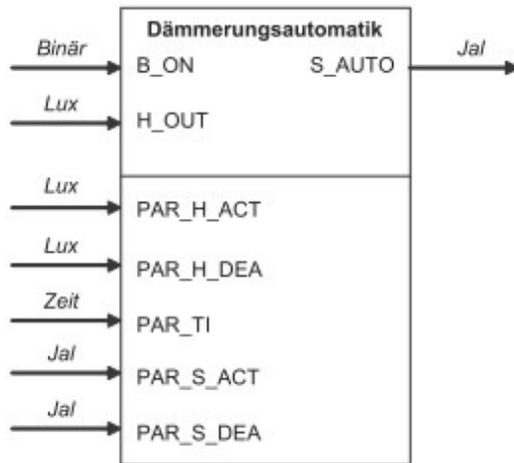


Abbildung 3.15: Dämmerungsautomatik [5]

Bezeichnung	Beschreibung
B_ON	aktiv/dekativ
H_OUT	Außenhelligkeit
S_AUTO	Positionsbefehl
PAR_H_ACT	Aktivierungsgrenzwert
PAR_H_DEA	Deaktivierungsgrenzwert
PAR_TI	zeitliche Hysterese
PAR_S_ACT	Position bei Aktivierung
PAR_S_DEA	Position bei Deaktivierung

Tabelle 3.12: Dämmerungsautomatik vgl. [5]

**Sonnenautomatik:**

Die Sonnenautomatik stellt einen einfachen Sonnenschutz dar, sie bewirkt ein Herunterfahren des Sonnenschutzes ab einer bestimmten Außenhelligkeit um die Nutzer im Raum vor einer Blendung zu schützen. Die Jalousie fährt von einer definierten Parkposition auf eine bestimmte Höhe. Höhe und Parkposition lassen sich in der Funktion hinterlegen. Wird eine gewisse Helligkeitsstufe wieder unterschritten fährt die Jalousie wieder auf ihre Parkposition. Um bei jeder auftretenden Wolke ein Verfahren des Sonnenschutzes zu unterbinden ist eine zeitliche Hysterese in die Funktion integriert. Die Sonnenautomatik kann aktiviert und deaktiviert werden.

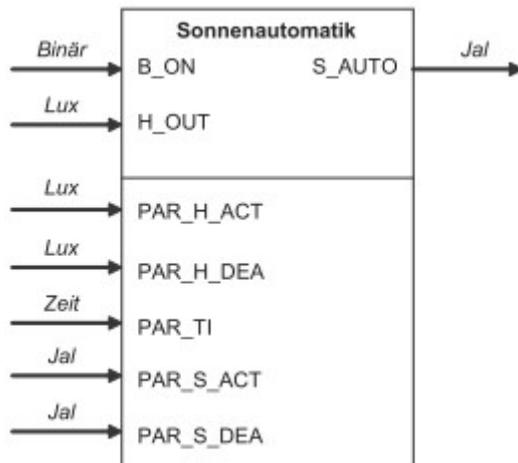


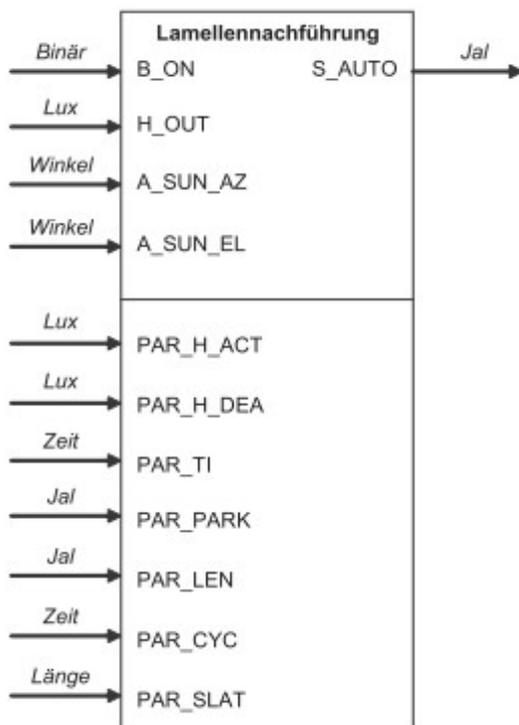
Abbildung 3.16: Sonnenautomatik [5]

Bezeichnung	Beschreibung
B_ON	aktiv/dekativ
H_OUT	Außenhelligkeit
S_AUTO	Positionsbefehl
PAR_H_ACT	Aktivierungsgrenzwert
PAR_H_DEA	Deaktivierungsgrenzwert
PAR_TI	zeitliche Hysterese
PAR_S_ACT	Sonnenschutzposition
PAR_S_DEA	Parkposition

Tabelle 3.13: Sonnenautomatik vgl. [5]

### Lamellennachführung:

Die gehobene Sonnenschutzsteuerung wird durch die Lamellennachführung verkörpert. Die Jalousie dient weiter vorrangig dem Blendschutz, passt aber ihre Position dem Stand der Sonne an. Das heißt der Stand der Sonne wird berechnet und an die Lamellennachführung übergeben. Die Funktion stellt mit diesen Informationen den Winkel der Lamellen und die Höhe des Behangs zyklisch nach dem aktuellen Stand der Sonne ein. Fällt die Außenhelligkeit wieder unter einen bestimmten Wert ab, fährt die Jalousie in die Parkposition. Mit dieser Funktion lassen sich Räume ohne eine direkte Sonneneinstrahlung, dennoch bestmöglich mit Tageslicht versorgen. Die Funktion lässt sich beispielsweise mit der Belegungsauswertung aktivieren und deaktivieren.



Bezeichnung	Beschreibung
B_ON	aktiv / deaktiv
H_OUT	Außenhelligkeit
A_SUN_AZ	Azimutwinkel der Sonne
A_SUN_EL	Elevationswinkel der Sonne
S_AUTO	Positionsbefehl
PAR_H_ACT	Aktivierungsgrenzwert
PAR_H_DEA	Deaktivierungsgrenzwert
PAR_TI	zeitliche Hysterese
PAR_PARK	Parkposition
PAR_LEN	aktive Behangposition
PAR_CYC	Positionszyklus
PAR_SLAT	Geometrie der Lamellen

Abbildung 3.17: Lamellennachführung [5]

Tabelle 3.14: Lamellennachführung vgl. [5]

### Verschattungskorrektur:

Die Verschattungskorrektur wird eingesetzt, wenn eine Fassadenseite eines Gebäudes durch ein anderes oder hohe Bäume verschattet wird. Die Geometrie des verschattenden Objektes wird in die Funktion eingegeben, mit dieser Information ist sie in der Lage, zu errechnen ob die Fassade tatsächlich von einem direktem Sonneneinfall betroffen ist oder nicht. Im Fall eines Schattenwurfs auf die Fassade durch das Objekt, kann in der Funktion eine Parkposition für die Jalousie angegeben werden, auf welche diese dann fährt. Die Verschattungskorrektur wird in Verbindung mit Sonnenautomatik oder der Lamellennachführung eingesetzt.

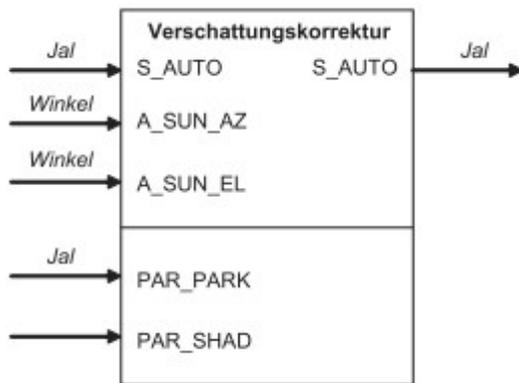


Abbildung 3.18: Verschattungskorrektur [5]

Bezeichnung	Beschreibung
S_AUTO	Positionsbefehl aus Sonnenschutzfunktionen
A_SUN_AZ	Azimutwinkel der Sonne
A_SUN_EL	Elevationswinkel der Sonne
S_AUTO	Positionsbefehl
PAR_PARK	Parkposition
PAR_SHAD	Geometrie des Objektes

Tabelle 3.15: Verschattungskorrektur vgl. [5]

### Thermoautomatik:

Die Thermoautomatik wird zur Unterstützung der Heizung und Kühlung eingesetzt. In dem sie im Winter gewollte solare Einträge zulässt und im Sommer ungewollte verhindert. Hierzu ermittelt die Funktion aus der aktuellen Raumtemperatur und dem Sollwert für Heizen oder Kühlen, die Regeldifferenz. Über einen Vergleich der Differenz und der aktuell Außenhelligkeit entscheidet die Funktion ob der Sonnenschutz, zur Unterstützung heruntergefahren werden muss oder in Parkposition bleibt. Die Richtlinie beschreibt die Außenhelligkeit als Eingangsparameter. Zur Entscheidung, wann die Jalousie unterstützend wirken kann. Besser wäre es jedoch, nicht die Außenhelligkeit, sondern die Globalstrahlung für die Thermoautomatik zu erfassen. Diese stellt die konkrete Größe für die Aufheizung eines Gebäudes dar. Die Thermoautomatik ist nur in den Zeiträumen aktiv und auch sinnvoll, wenn ein Raum nicht besetzt ist oder genutzt wird. Für diese Entscheidung verwendet die Funktion die Ausgangsinformationen der Belegungsauswertung.

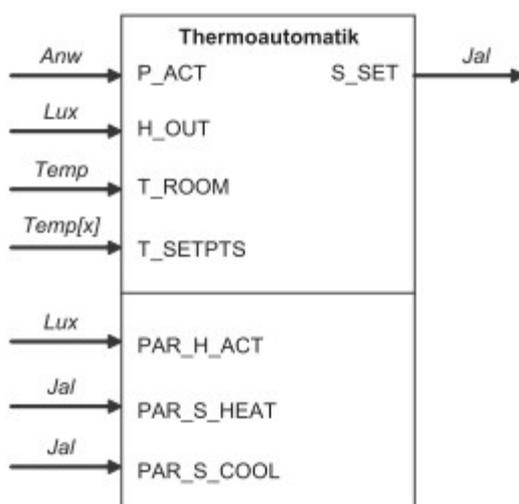


Abbildung 3.19: Thermoautomatik [5]

Bezeichnung	Beschreibung
P_ACT	Belegungszustand
H_OUT	Außenhelligkeit
T_ROOM	Raumtemperatur
T_SETPTS	Solltemperatur
S.SET	Positionsbefehl
PAR_H.ACT	Aktivierungsgrenzwert
PAR_S.HEAT	Position für Heizen
PAR_S.COOL	Position für Kühlen

Tabelle 3.16: Thermoautomatik vgl. [5]

**Witterungsschutz:**

Die Funktion dient dem Schutz von außenliegenden Sonnenschutzeinrichtungen vor Umwelteinflüssen. Der Witterungsschutz verhindert Beschädigungen durch Wind, Regen und Vereisung. Wind und Regen können durch Sensoren direkt gemessen werden, auf eine Vereisung der Jalousie schließt die Funktion durch die Verknüpfung von Außentemperatur und Regen. Über einen zeitlichen Parameter kann eine Auftauzeit für die Jalousie, nach einer errechneten Vereisung, eingegeben werden.

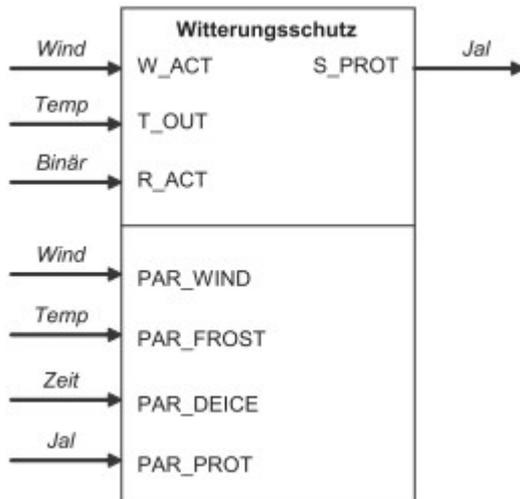


Abbildung 3.20: Witterungsschutz [5]

Bezeichnung	Beschreibung
W_ACT	Windgeschwindigkeit
T_OUT	Außentemperatur
R_ACT	Niederschlag
S_PROT	Positionsbefehl
PAR_WIND	Windgeschwindigkeitsgrenzwert
PAR_FROST	Grenztemperatur Vereisung
PAR_DEICE	Auftauzeit
PAR_PROT	Schutzstellung

Tabelle 3.17: Witterungsschutz vgl. [5]

## Raumklima

Die Funktionsgruppe Raumklima fasst alle Funktion zusammen, die Auswirkungen auf Heizung, Kühlung und die Lüftung bewirken. Insgesamt werden 12 Funktionen aufgeführt.

### Energieniveawahl:

Es ist nicht sinnvoll einen Raum unabhängig von der Belegung immer auf derselben Temperatur zu halten. Für verschiedene Belegungsarten bestehen unterschiedliche Temperaturniveaus, bei denen der Sollwert für die Raumtemperatur variiert. Die Funktion Energieniveawahl unterscheidet vier Niveaus: COMFORT, PRE COMFORT, ECONOMY und PROTECTION. Im COMFORT-Betrieb befindet sich ein Raum, bei Anwesenheit von Personen. Dieser gibt den höchsten Sollwert für die Raumtemperatur aus. Im PRE COMFORT befindet sich der Raum, bei kurzer Abwesenheit, auf einem leicht abgesenkten Temperaturniveau, welches aber in kurzer Zeit wieder auf COMFORT angehoben werden kann. ECONOMY auch als Nachtabsenkung bezeichnet, wird bei längerer Abwesenheit, wie zum Beispiel nach Feierabend von 18 bis 8 Uhr morgens aktiviert. Das Niveau PROTECTION fährt den Sollwert der Temperatur auf ein Minimum herab, bei dem eine Beschädigung des Gebäudes und Anlagen durch Frost ausgeschlossen werden kann. Daher wird das Niveau auch als Frostschutz bezeichnet. In den PROTECTION-Modus fährt die Gebäudeautomation dann, wenn das Gebäude über mehrere Tage nicht genutzt wird, oder in einem Raum, wenn ein Fenster geöffnet wird und dieses mit einem Fensterkontakt versehen ist. Die generelle Vorgabe des Energieniveaus erfolgt durch ein Zeitprogramm.

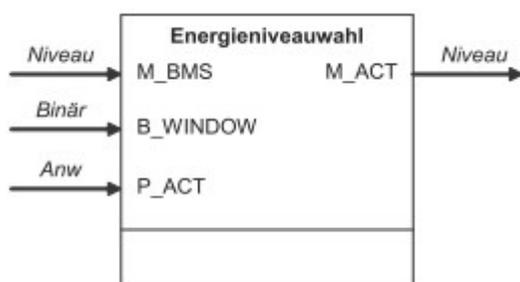


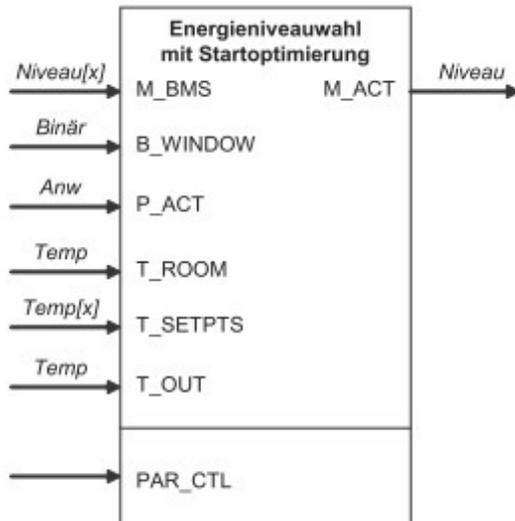
Abbildung 3.21: Energieniveawahl [5]

Bezeichnung	Beschreibung
M.BMS	Niveauvorgabe
B.WINDOW	Fensterzustand
P.ACT	Belegungszustand
M.ACT	aktuelles Energieniveau

Tabelle 3.18: Energieniveawahl vgl. [5]

### Energieniveawahl mit Startoptimierung:

Die Energieniveawahl mit Startoptimierung verschiebt den Umschaltzeitpunkt zwischen den Niveaus auf eine spätmöglichen Zeitpunkt, ohne dabei Komforteinbußen zu bewirken. Mit dieser Verschiebung lässt sich zusätzlich Energie einsparen, jedoch mit der Voraussetzung, dass die im Zeitprogramm hinterlegten Belegungszeiträume deckungsgleich mit den tatsächlichen Belegungen sind. Für die Optimierung des Startpunktes wertet die Funktion Raumtemperatur, Sollwerttemperatur, Außentemperatur sowie die Belegung und Fensterkontakte aus.



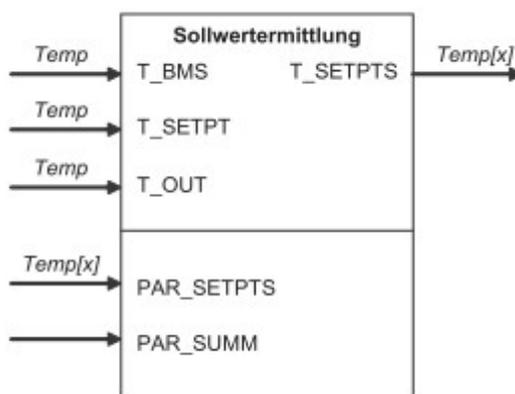
Bezeichnung	Beschreibung
M.BMS	Niveauvorgabe
B.WINDOW	Fensterzustand
P.ACT	Belegungszustand
T_ROOM	Raumtemperatur
T.SETPTS	Solltemperatur
T.OUT	Außentemperatur
M.ACT	aktuelles Energieniveau
PAR.CLT	Parameter Startoptimierung

Abbildung 3.22: Energieniveauwahl mit Startoptimierung [5]

Tabelle 3.19: Energieniveauwahl mit Startoptimierung vgl. [5]

**Sollwertermittlung:**

Die Sollwertermittlung passt die hinterlegten Temperaturen der einzelnen Energieniveaus, nach den Änderungen des Nutzers an. Ist der Raum im COMFORT-Betrieb auf einen Wert von 20 °C eingestellt, kann der Nutzer durch die Funktion „Temperatur-Sollwert stellen“ dies um einen bestimmten Wert anpassen. Die Funktion Sollwertermittlung passt das Temperaturniveau dann auf diesen Wert an. Eine zweite Funktion der Sollwertermittlung ist die Sommerkompensation. Bei dieser wird die Außentemperatur gemessen und das Temperaturniveau so angepasst, dass der Nutzer beim Verlassen des Gebäudes keinen Temperaturschock erleidet. Die Sommerkompensation ist in Eingangsbereichen von Gebäuden sinnvoll anzuwenden.



Bezeichnung	Beschreibung
T.BMS	Sollwertvorgabe
T.SETPT	Sollwertkorrektur Nutzer
T.OUT	Außentemperatur
T.SETPTS	Solltemperatur
PAR.SETPTS	Temperaturwerte der Energieniveaus
PAR.SUMM	Parameter Sommerkompensation

Abbildung 3.23: Sollwertermittlung [5]

Tabelle 3.20: Sollwertermittlung vgl. [5]

**Funktionswahl:**

Die Funktion entscheidet nach der Raumtemperatur und dem Temperatursollwert, welche Regelfunktion aktiv ist. Die Regelfunktionen werden in Heizen, Kühlen, Vorkühlen und Nachtkühlen unterschieden. Der Unterschied zwischen Vorkühlen und Kühlen besteht darin, dass die Regelfunktion Kühlen aktiv ist aber mit dem Sollwert für den Fall Heizen arbeitet. Die Funktion Nachtkühlen, verwendet bei ausreichend kalter Außenluft in der Nacht, diese zum Kühlen des Gebäudes. Fällt bei der Kühlung Tauwasser aus, wird diese durch die Funktion „*Taupunktüberwachung*“ gemeldet und die Regelfunktion abgebrochen.

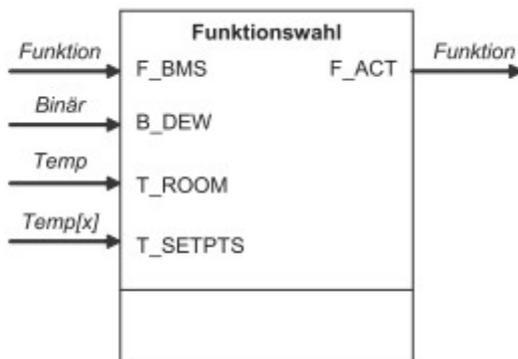


Abbildung 3.24: Funktionswahl [5]

Bezeichnung	Beschreibung
F_BMS	Regelfunktionsvorgabe
B_DEW	Taupunkt
T_ROOM	Raumtemperatur
T_SETPTS	Solltemperatur
F_ACT	aktuelle Regelfunktion

Tabelle 3.21: Funktionswahl vgl. [5]

**Temperaturregelung (Heizen/Kühlen):**

Die Temperaturregelung gibt Positionsbefehle für Stellantrieb und Sperrventile aus. Diese werden aus der aktuellen Regelfunktion, dem aktuellen Energieniveau, der Raumtemperatur und den Sollwert für Heiz- bzw. Kühlbetrieb ermittelt. Für die Anwendung der Temperaturregelung in Gebläsekonvektoren wird zusätzlich die aktuelle Drehzahl des Ventilators verarbeitet.

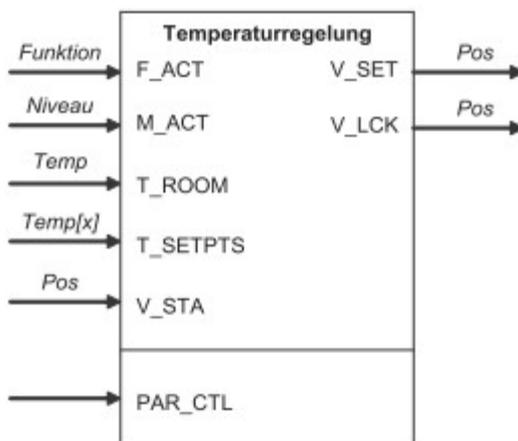


Abbildung 3.25: Temperaturregelung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
F_ACT	aktuelle Regelfunktion
M_ACT	aktuelles Energieniveau
T_ROOM	Raumtemperatur
T_SETPTS	Solltemperatur
V_STA	aktuelle Ventilatorgeschwindigkeit
V_SET	Position Stellantrieb
V_LCK	Position Sperrventil
PAR_CTL	Parameter für Regelverhalten

Tabelle 3.22: Temperaturregelung vgl. [5]

**Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung:**

Die Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung wird eingesetzt, wenn auf sich ändernde Raumtemperatursollwerte schnell reagiert werden muss. Zu diesem Zweck ist die Regelung in einen Führungsregler und einen Folgeregler unterteilt. Der Führungsregler verarbeitet die aktuelle Regelfunktion, das aktuelle Energieniveau, die gemessene Raumtemperatur und den Sollwert für Heizen oder Kühlen zu einem resultierenden Zulufttemperatursollwert. Diesen gibt er an den Folgeregler weiter. Der Folgeregler wandelt den Zulufttemperatursollwert anhand der gemessenen Zulufttemperatur und der aktuellen Regelfunktion in eine Stellgröße für den entsprechenden Stellantriebsaktor um.

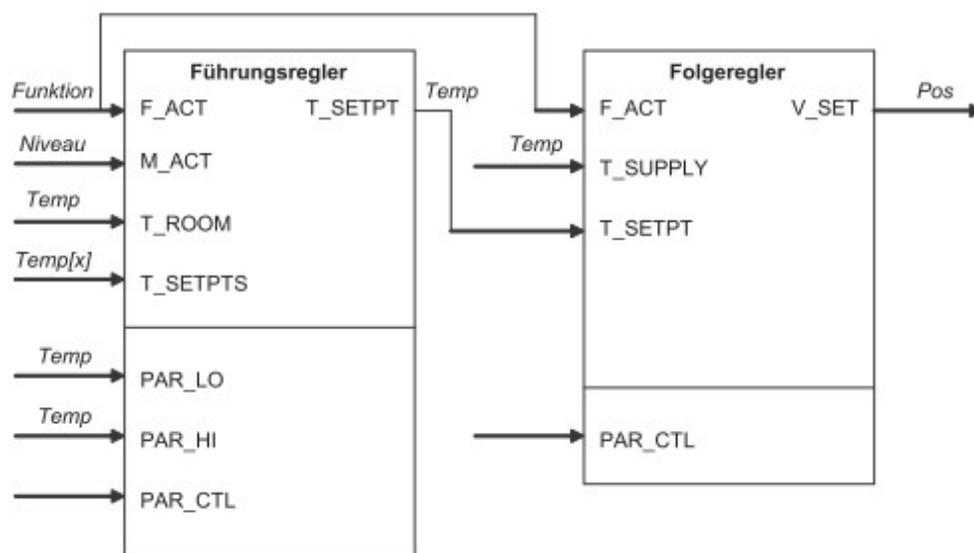


Abbildung 3.26: Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
F_ACT	aktuelle Regelfunktion
M.ACT	aktuelles Energieniveau
T_ROOM	Raumtemperatur
T.SETPTS	Solltemperatur
T.SETPT	Zulufttemperatur-Sollwert
PAR_LO	Mindest-Zulufttemperatur
PAR_HI	maximale Zulufttemperatur
PAR_CTL	Parameter für Regelverhalten

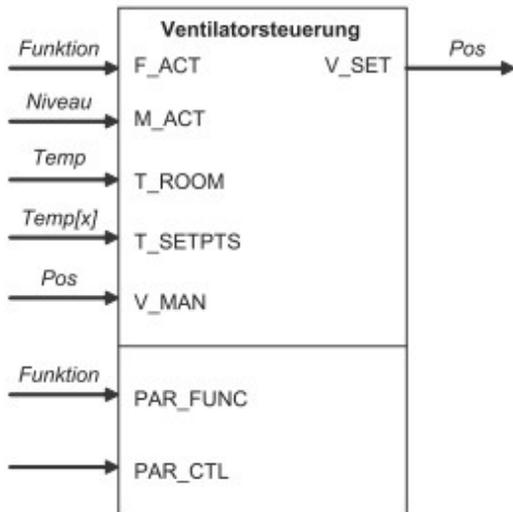
Tabelle 3.23: Führungsregler vgl. [5]

Bezeichnung	Beschreibung
F_ACT	aktuelle Regelfunktion
T.SUPPLY	gemessene Zulufttemperatur
T.SETPT	Zulufttemperatur-Sollwert
V_SET	Position Stellantrieb
PAR_CTL	Parameter für Regelverhalten

Tabelle 3.24: Folgeregler vgl. [5]

**Ventilatorsteuerung:**

Die Ventilatorsteuerung, wie sie in der VDI definiert ist, dient ausschließlich der Ansteuerung von Ventilatoren, die in Gebläsekonvektoren verbaut sind. Die Steuerung verarbeitet die üblichen Werte zur Temperaturregelung, hinzu kommt eine Drehzahlvorgabe des Nutzers. Als Ausgabeinformation resultiert eine Drehzahlvorgabe für den Stellaktor des Ventilators.



Bezeichnung	Beschreibung
F_ACT	aktuelle Regelfunktion
M.ACT	aktuelles Energieniveau
T_ROOM	Raumtemperatur
T_SETPTS	Solltemperatur
V_MAN	manuelle Drehzahl
V_SET	Ventilator-drehzahl
PAR_FUNC	Freigabenoptionen
PAR_CTL	Parameter für Regelverhalten

Abbildung 3.27: Ventilatorsteuerung [5]

Tabelle 3.25: Ventilatorsteuerung vgl. [5]

**Sequenzsteuerung:**

*„Mithilfe der Sequenzsteuerung können die Stellantriebe mehrerer Heiz- oder Kühlsysteme in Abhängigkeit von der Stellgröße eines Reglers sequenziell angesteuert werden. Jeder Stellantrieb benötigt dafür eine vorgeschaltete Funktion Sequenzsteuerung.“<sup>2</sup>*



Bezeichnung	Beschreibung
V_SET	Stellgröße Regler
V_SET	resultierende Stellgröße
PAR_LO	Beginn der Sequenz
PAR_HI	Ende der Sequenz

Abbildung 3.28: Sequenzsteuerung [5]

Tabelle 3.26: Sequenzsteuerung vgl. [5]

<sup>2</sup>VDI 3813 Blatt 2 [5]

**Stellwertbegrenzung:**

Mit einer Stellwertbegrenzung kann zum Beispiel der Eingriff des Nutzers in die Raumtemperatur eingeschränkt werden. So kann beispielsweise definiert werden, dass der Nutzer die Raumtemperatur nur um 3 K nach unten aber um 6 K nach oben korrigieren kann.

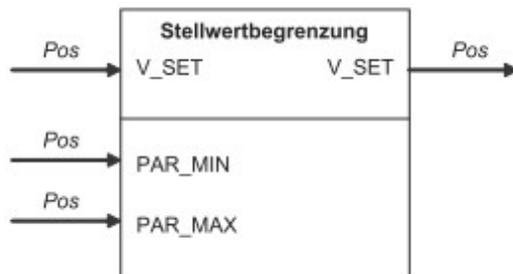


Abbildung 3.29: Stellwertbegrenzung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
V_SET	Stellgröße Regler
V_SET	resultierende Stellgröße
PAR_MIN	Mindestwert
PAR_MAX	Höchstwert

Tabelle 3.27: Stellwertbegrenzung vgl. [5]

**Luftqualitätssteuerung/-regelung:**

Die Luftqualitätsregelung wird in Verbindung mit der Funktion „Luftqualitätsmessung“ eingesetzt. Die Regelung gibt entsprechend der gemessenen Luftqualität einen Stellbefehl an den Antriebsaktor der Lüftungsclappe. In die Regelung werden weiter, das aktuelle Energieniveau, und die Mindestklappenstellung aus der Regelfunktion Heizen/Kühlen, falls über die Lüftungsanlage geheizt oder gekühlt wird, mit einbezogen. Sobald ein Fenster, das mit einem Kontakt versehen ist offen steht, wird die Luftqualitätsregelung unterbrochen.

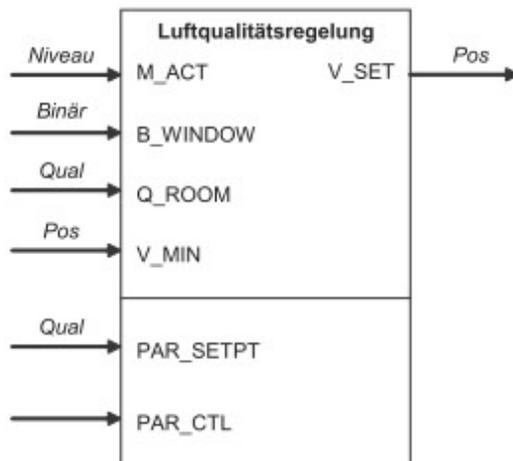


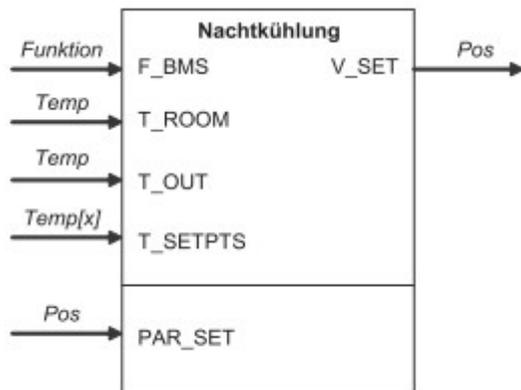
Abbildung 3.30: Luftqualitätssteuerung/-regelung [5]

Bezeichnung	Beschreibung
M.ACT	aktuelles Energieniveau
B.WINDOW	Fensterzustand
Q_ROOM	Luftqualität
V_MIN	Mindestklappenstellung aus Temperaturregelung
V_SET	resultierende Stellgröße
PAR.SETPT	Mindestluftqualität
PAR.CTL	Parameter für Regelverhalten

Tabelle 3.28: Luftqualitätssteuerung/-regelung vgl. [5]

**Nachtkühlung:**

Bei der Nachtkühlung wird in den Sommermonaten die kalte Außenluft in der Nacht dazu genutzt um ein Gebäude zu kühlen. Hierbei vergleicht die Funktion die Außentemperatur mit der Innentemperatur und dem Sollwert. Reicht der Temperaturunterschied aus, gibt die Funktion an Fenster oder Lüftungsklappen einen Stellbefehl zum öffnen, um die kältere Außenluft in das Gebäude herein zu lassen.



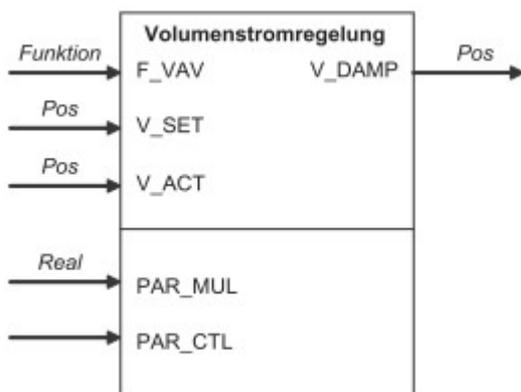
Bezeichnung	Beschreibung
F_BMS	aktuelle Regelfunktion
T_ROOM	Raumtemperatur
T_OUT	Außentemperatur
T_SETPTS	Solltemperatur
V_SET	Stellgröße
PAR_SET	Positionstellung

Abbildung 3.31: Nachtkühlung [5]

Tabelle 3.29: Nachtkühlung vgl. [5]

**Volumenstromregelung:**

Die Volumenstromregelung wird eingesetzt um die Luftmenge, die in einen Raum gelangt konstant zu halten, auch wenn im Kanalnetz schwankende Drücke herrschen. Hierfür wird über eine Differenzdruckmessung ermittelt, wie viel Luft durch die momentane Klappenstellung in den Raum gelangt. Weicht der Wert vom erwarteten Differenzdruck ab, regelt die Funktion die Stellung der Klappe dementsprechend nach, bis der Sollwert wieder erreicht ist.



Bezeichnung	Beschreibung
F_VAV	aktuelle Lüftungsfunktion
V_SET	Stellwert des Volumenstroms
V_ACT	gemessener Volumenstrom
V_DAMP	resultierende Klappenstellung
PAR_MUL	Verknüpfung Abluftklappe
PAR_CTL	Parameter für Regelverhalten

Abbildung 3.32: Volumenstromregelung [5]

Tabelle 3.30: Volumenstromregelung vgl. [5]

**Blatt 2.1.f. Management- und Bedienfunktionen (zentral)**

Management- und Bedienfunktionen stellen zentrale, übergeordnete Funktionen für das Automationssystem dar. Mit diesen Funktionen lässt sich die gesamte Gebäudeautomation von zentraler Stelle bedienen und visualisieren. Sie stellen die Schnittstelle der Raumautomation und Anlagenautomation zu Gebäudeleittechnik dar. Die VDI 3813 definiert die Funktionen nicht selbst, sondern übernimmt diese aus der DIN EN ISO 16 484 Teil 3. Hier werden folgende Managementfunktionen aufgeführt:

- Komplexe Informationen
- Ereignis-Langzeitspeicherung
- Historisierung in Datenbank

Den zweiten Teil stellen die Bedienfunktionen dar:

- Grafik/ Anlagenbild
- Dynamische Einblendungen
- Ereignis-Anweisungstext
- Nachricht an externe Stelle

### Blatt 2.2. Arbeitsmittel für die Planung der Raumautomation

Die VDI 3813 führt als Hilfsmittel der Planung zwei verschiedene Werkzeuge für den Planer und Systemintegrator ein. Hierbei handelt es sich um die RA-Funktionsliste und das RA-Systemschema. In der Funktionsliste werden alle Geräte eines Raumes eingetragen und können mit den entsprechenden Funktionen versehen werden. Über diese Liste ist es möglich die Anzahl der benötigten Funktionen zu bestimmen und diese strukturiert darzulegen. Im Anschluss an die Funktionsliste kann das Automationsschema angefertigt werden. Die Schemata werden mit der Software VISIO von Microsoft erstellt. Sie dient der Verdeutlichung der Regelzusammenhänge unter den Funktionen und Geräten. Im oberen Teil des Schematas werden die Systemgeräte nach der Ebenenzugehörigkeit eingetragen und im unteren Teil die ermittelten Funktionen. Anschließend werden die Verknüpfungen zwischen Funktionen und Geräten über Linien in das Schema eingetragen.

### Blatt 2.3. Auswirkungen auf die Energieeffizienz

Im letzten Teil der Richtlinie werden die Anwendungsfunktionen auf ihre Energieeffizienz hin untersucht. Hierbei wird ein Quervergleich zur DIN EN 15 232 gezogen. In einer Tabelle werden die Anwendungsfunktionen im Bezug auf die Energieeffizienzklassen der DIN EN 15 232 eingeordnet. Die nachfolgende **Abbildung 3.33** zeigt einen Ausschnitt hieraus.

Anwendungsfunktion	GA-Effizienzklassen nach EN 15232			
	D	C	B	A
<i>Basisfunktionen mit Einfluss auf die Energieeffizienz</i>				
6.5.2 Belegungsauswertung mit Präsenzerkennung			X <sup>a)</sup>	X <sup>b)</sup>
6.5.4 Zeitprogramm <sup>c)</sup>			X	X
<i>Beleuchtungsfunktionen mit Einfluss auf die Energieeffizienz</i>				
6.5.6 Lichtschaltung		X <sup>d)</sup>		
6.5.8 Automatiklicht <sup>e)</sup>			X	X
6.5.9 Tageslichtschaltung <sup>f)</sup>			X	X
6.5.10 Konstantlichtregelung <sup>f)</sup>			X	X
<i>Sonnenschutzfunktionen mit Einfluss auf die Energieeffizienz</i>				
6.5.14 Sonnenautomatik		X		
6.5.15 Lamellennachführung			X	X
6.5.16 Verschattungskorrektur			X	X
6.5.17 Thermoautomatik			X	X
<i>Raumklimafunktionen</i>				
6.5.19 Energieniveauewahl <sup>g)</sup>			X	X
6.5.20 Energieniveauewahl mit Startoptimierung			X	X
6.5.21 Sollwertermittlung			X	X
6.5.22 Funktionswahl		X	X	X

Abbildung 3.33: Auszug aus der Zuordnungstabelle der VDI 3813 Blatt 2 [5]

### 3.3.2. VDI 3814

*„Da die internationale Norm DIN EN ISO 16 484 nicht alle regionalen Erfordernisse beinhaltet, übernimmt die VDI 3814 die Aufgabe ...“<sup>3</sup>*

Die VDI 3814 umfasst derzeit insgesamt sechs Blätter. Das Blatt 1 befasst sich mit den Grundlagen eines Gebäudeautomationssystems. Blatt 2 und 3 beschäftigen sich mit Gesetzen, technischen Regeln und Hinweisen für das Gebäudemanagement. Hinweise für eine Integration in bestehende Systeme werden im Blatt 5 gegeben. Für die grafische Darstellung von Steuerungsaufgaben und die Visualisierung von Bedienoberflächen, siehe die Blätter 6 und 7.

#### Blatt 1. Systemgrundlagen

Im Blatt 1 werden alle für die Diplomarbeit relevanten Themenbereiche behandelt. Daher wird in diesem Abschnitt nicht auf die anderen fünf Blätter der Richtlinie eingegangen. Das Blatt 1 beinhaltet wichtige Kapitel wie: Allgemeine Systemmerkmale, Datenpunkt-Adressierung, Automationsschema, GA-Funktionsliste und schließlich das entscheidende Kapitel GA-Funktionen. Im folgenden Abschnitt wird ausschließlich auf die Funktionen der Gebäudeautomation eingegangen. [3]

#### Blatt 1.1. GA-Funktionen

Die Funktionen werden in vier Gruppen gegliedert, diese sind: Ein- und Ausgabefunktion, Verarbeitungsfunktionen sowie Management- und Bedienfunktionen.

##### Blatt 1.1.a. Ein- und Ausgabeinformationen

E/A-Funktionen werden in physikalische und kommunikative Datenpunkte gegliedert. Die physikalischen Datenpunkte stellen die Schnittstelle von der Automation zur Feldebene her. Die Art der Datenpunkte werden wie folgt in der VDI 3814 definiert:

- Binäre Ausgabe Schalten/Stellen
- Analoge Ausgabe Stellen
- Binäre Eingabe Melden
- Binäre Eingabe Zählen
- Analoge Eingabe Messen

---

<sup>3</sup>VDI 3814 Blatt 1 [3]

Bei „Analoge Eingabe Messen“ kann unterschieden werden in passive und aktive Fühler. Die zweite Gruppe, kommunikative Datenpunkte sind Informationen, die unter einzelnen Automationsstationen oder Systemen ausgetauscht werden. Sie werden auch als virtuelle Datenpunkte bezeichnet. Die VDI 3814 definiert folgende Funktionen:

- Binärer Ausgabewerte Schalten
- Analoger Ausgabewerte, Stellen/Sollwert
- Binärer Eingabewert Melden
- Zählwerteingabe
- Analoger Eingabewert Messung

#### **Blatt 1.1.b. Verarbeitungsfunktionen**

In der Gruppe Verarbeitungsfunktionen werden 32 Funktionen in vier Bereiche (Überwachen, Steuern, Regeln und Rechnen/Optimieren) eingeteilt. Verarbeitungsfunktionen erzeugen Ausgabeinformationen die von anderen Funktionen wieder als Eingabeinformationen genutzt werden. Im Bereich „Überwachen“ werden Eingabe- und Ausgabefunktionen oder Ergebnisse anderer Verarbeitungsfunktionen überwacht. Folgende Funktionen werden aufgeführt:

- Grenzwert fest
- Grenzwert gleitend
- Betriebsstundenerfassung
- Ereigniszählung
- Befehlsausführkontrolle
- Meldungsbearbeitung

Die Verarbeitungsfunktionen im Bereich „Steuern“, arbeiten mit Logikfunktionen wie AND oder OR um Eingabeinformation in eine Ausgabe umzusetzen. Hierbei wird vorausgesetzt, dass einfache Logikfunktionen sowie Zeit- und Speicherfunktionen im System vorhanden sind und freiverfügbar genutzt werden können. Die VDI 3814 definiert folgende Steuerfunktionen:

- Anlagensteuerung
- Motorsteuerung
- Umschaltung
- Folgesteuerung
- Sicherheits-/ Forstschutzsteuerung

Die Regelfunktionen befassen sich mit stetigen und nichtstetigen Reglern sowie der Sollwertführung und Sollwertbegrenzung. Insgesamt beschreibt die VDI 3814 im Bereich „Regeln“ acht Funktionen:

- P-Regelung
- PI/PID-Regelung
- Sollwertführung/-kennlinie
- Stellausgabe stetig
- Stellausgabe 2-Punkt
- Stellausgabe Pulsweitenmodulation
- Begrenzung Sollwert/Stellgröße
- Parameterumschaltung

Der Bereich „Rechnen/Optimieren“ umfasst Funktionen die als vorkonfigurierte GA-System-Anwendungssoftware umgesetzt und keiner projektspezifischen Programmierung bedürfen, außer einer Parametrierung und Inbetriebnahme. [3] Rechenfunktionen stellen komplexe Daten für andere Funktionen zur Entscheidungsunterstützung bereit. Wohingegen Optimierungsfunktionen für Anlagen- und Energiemanagement eingesetzt werden um Energieverbräuche und Betriebskosten einzusparen. In der VDI 3814 werden 13 Funktionen beschrieben:

- $h,x$ -geführte Strategie
- Arithmetische Berechnung
- Ereignisabhängiges Schalten
- Zeitabhängiges Schalten
- Gleitendes Ein-/ Ausschalten
- Zyklisches Schalten
- Nachtkühlbetrieb
- Raumtemperaturbegrenzung
- Energierückgewinnung
- Netzersatzbetrieb
- Netzwiederkehrprogramm
- Höchstlastbegrenzung
- Tarifabhängiges Schalten

### **Blatt 1.1.c. Management- und Bedienfunktionen**

In der VDI 3814 werden dieselben Funktionen aufgeführt wie sie auch in der VDI 3813 für die Raumautomation erwähnt sind. Die Managementfunktionen lauten:

- Ein-/Ausgabefunktionen
- Komplexe Informationen
- Ereignis-Langzeitspeicherung
- Historisierung in Datenbank

Bei den Bedienfunktionen werden folgende Funktionen genannt:

- Grafik/ Anlagenbild
- Dynamische Einblendungen
- Ereignis-Anweisungstext
- Nachricht an externe Stelle

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Bus	2
1.2	Stern	2
1.3	Masche	3
1.4	OSI-Modell	5
1.5	Steuerkette	9
1.6	Regelkreis	9
1.7	P-Glied	10
1.8	T-Glied	10
1.9	PT <sub>1</sub> -Glied	10
1.10	I-Glied	11
1.11	D-Glied	11
1.12	2-P. Regler	12
1.13	3-P. Regler	12
1.14	P-Regler	13
1.15	PD-Regler	13
1.16	PI-Regler	13
1.17	PID-Regler	14
2.1	Automationspyramide	16
2.2	SMI Motoraufbau	31
3.1	Auszug aus der Checkliste der Norm DIN EN 15 232	36
3.2	Auszug aus den Energieeffizienzfaktoren nach DIN EN 15 232	37
3.3	Schalenmodell	40
3.4	Belegungsauswertung	45
3.5	Steuerung über Raumnutzungsarten	45
3.6	Zeitprogramm	46
3.7	Trennwandsteuerung	46
3.8	Lichtschtung	47
3.9	Treppenlichtschaltung	47
3.10	Automatiklicht	48
3.11	Tageslichtschaltung	48
3.12	Konstantlichtregelung	49
3.13	Dämmerungsschaltung	49

3.14	Prioritätssteuerung . . . . .	50
3.15	Dämmerungsautomatik . . . . .	51
3.16	Sonnenautomatik . . . . .	51
3.17	Lamellennachführung . . . . .	52
3.18	Verschattungskorrektur . . . . .	53
3.19	Thermoautomatik . . . . .	53
3.20	Witterungsschutz . . . . .	54
3.21	Energieniveauwahl . . . . .	55
3.22	Energieniveauwahl mit Startoptimierung . . . . .	56
3.23	Sollwertermittlung . . . . .	56
3.24	Funktionswahl . . . . .	57
3.25	Temperaturregelung (Heizen/Kühlen) . . . . .	57
3.26	Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung . . . . .	58
3.27	Ventilatorsteuerung . . . . .	59
3.28	Sequenzsteuerung . . . . .	59
3.29	Stellwertbegrenzung . . . . .	60
3.30	Luftqualitätssteuerung/-regelung . . . . .	60
3.31	Nachtkühlung . . . . .	61
3.32	Volumenstromregelung . . . . .	61
3.33	Auszug aus der Zuordnungstabelle der VDI 3813 Blatt 2 . . . . .	63

# Tabellenverzeichnis

3.1	Belegungsauswertung . . . . .	45
3.2	Steuerung über Raumnutzungsarten . . . . .	45
3.3	Zeitprogramm . . . . .	46
3.4	Trennwandsteuerung . . . . .	46
3.5	Lichtschaltung . . . . .	47
3.6	Treppenlichtschaltung . . . . .	47
3.7	Automatiklicht . . . . .	48
3.8	Tageslichtschaltung . . . . .	48
3.9	Konstantlichtregelung . . . . .	49
3.10	Dämmerungsschaltung . . . . .	49
3.11	Prioritätssteuerung . . . . .	50
3.12	Dämmerungsautomatik . . . . .	51
3.13	Sonnenautomatik . . . . .	51
3.14	Lamellennachführung . . . . .	52
3.15	Verschattungskorrektur . . . . .	53
3.16	Thermoautomatik . . . . .	53
3.17	Witterungsschutz . . . . .	54
3.18	Energieniveauwahl . . . . .	55
3.19	Energieniveauwahl mit Startoptimierung . . . . .	56
3.20	Sollwertermittlung . . . . .	56
3.21	Funktionswahl . . . . .	57
3.22	Temperaturregelung (Heizen/Kühlen) . . . . .	57
3.23	Führungsregler . . . . .	58
3.24	Folgeregler . . . . .	58
3.25	Ventilatorsteuerung . . . . .	59
3.26	Sequenzsteuerung . . . . .	59
3.27	Stellwertbegrenzung . . . . .	60
3.28	Luftqualitätssteuerung/-regelung . . . . .	60
3.29	Nachtkühlung . . . . .	61
3.30	Volumenstromregelung . . . . .	61

# Literaturverzeichnis

- [1] Norm DIN 19226-1 Februar 1994. *Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Allgemeine Grundbegriffe*. – ersetzt durch DIN IEC 60050-351
- [2] Norm DIN EN 15232 November 2007. *Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement*
- [3] Richtlinie VDI 3814 Blatt 1 November 2009. *Gebäudeautomation (GA) Systemgrundlagen*
- [4] Richtlinie VDI 3813 Blatt 1 Mai 2011. *Gebäudeautomation (GA) Grundlagen der Raumautomation*
- [5] Richtlinie VDI 3813 Blatt 2 Mai 2011. *Gebäudeautomation (GA) Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)*
- [6] Norm DIN EN ISO 16484 März 2011. *Systeme der Gebäudeautomation (GA)*
- [7] *BACnet Interest Group Europe*. <http://www.bacnet.de/>, Februar 2012
- [8] *Belimo*. <http://www.belimo.ch/ch/de/index.cfm>, Februar 2012
- [9] *DALI*. <http://www.dali-ag.org/>, Februar 2012
- [10] *EnOcean*. <http://www.enocean.com/de/home/>, Februar 2012
- [11] *EnOcean Alliance*. <http://www.enocean-alliance.org/de/>, Februar 2012
- [12] *EnOcean: Batterielose Funktechnologie*. <http://www.enocean.com/de/energy-harvesting-wireless/>, Februar 2012
- [13] *EnOcean: Funktechnologie*. <http://www.enocean.com/de/funktechnologie/>, Februar 2012
- [14] *HomeMatic-Inside*. <http://www.homematic-inside.de/>, Februar 2012
- [15] *KNX Association*. [http://www.knx.org/de/?no\\_cache=1](http://www.knx.org/de/?no_cache=1), Februar 2012
- [16] *LCN Lokal Control Network*. <http://www.lcn.de/>, Februar 2012
- [17] *Lonmark Deutschland*. <http://www.lno.de/>, Februar 2012
- [18] *M-Bus*. <http://www.m-bus.com/>, Februar 2012
- [19] *Modbus*. <http://www.modbus.org/>, Februar 2012

- [20] RWE *Smarthome*. <http://www.rwe-smarthome.de/web/cms/de/448330/smarthome/>, Februar 2012
- [21] SMI-Group. <http://www.smi-group.com/>, Februar 2012
- [22] W & T Interfaces: *RS485-Bussysteme*. <http://www.wut.de/e-6www-11-apde-000.php>, Februar 2012
- [23] ABB STOTZ-KONTAKT/STRIEBEL & JOHN: *ABB dali unendlich Produkt-Handbuch Lichtsteuerung*
- [24] AG, DALI: *DALI Handbuch*. DALI AG (Digital Addressable Lighting Interface Activity Group) Fachverband Elektroleuchten im ZVEI, 2002
- [25] BECKER, Prof. Dr. M.: *Energieeffizienz durch Einsatz von Raum- und Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und EN 15232* / Hochschule Biberach. 2007. – GLT-Anwendertagung
- [26] Verordnung August 2007. *Bayrische Bauordnung (BayBO)*
- [27] KRÖDEL, Prof. Dr. M.: *Gebäudeautomation* / Hochschule Rosenheim. 2011. – Vorlesungsskript
- [28] REINHOLD, Dipl.-Ing. C.: *Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik für Installateure und Heizungsbauer*. Bd. 2. Vogel Buchverlag, 2005
- [29] SCHRAMEK, Prof. Dr.-Ing. Ernst-Rudolf: *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. Bd. 74. Oldenbourg Industrieverlag München, 2009
- [30] SMI-GROUP: *SMI Planungshandbuch*. 2011
- [31] SÖKELAND, Rainer: *Bussysteme und offene Kommunikationsprotokolle in der Gebäudeautomation*. In: *Gebäudetechnik Erneuerbare Energie Gebäudeautomation Energieeffizienz* (2012), S. 220–240
- [32] TANENBAUM, Andrew S.: *Computernetzwerke*. Bd. 4. Pearson Studium, 2003