



UNIVERSITÄT  
KOBLENZ · LANDAU

Fachbereich 4: Informatik



## **Smart Building Solutions**

# **Generischer Ansatz für die Identifikation von Raumsteuerungsfunktionen**

## Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades Bachelor of Science (B.Sc.)  
im Studiengang Wirtschaftsinformatik

vorgelegt von

Peer Uhlmann

Erstgutachter: Prof. Dr. Susan P. Williams  
(Institut für Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik, FG EIM)

Zweitgutachter: M.Sc. Wirtschaftsinformatik Patrick Nitschke  
(Institut für Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik, FG EIM)

Koblenz, im Juni 2018

## Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Mit der Einstellung dieser Arbeit in die Bibliothek  
bin ich einverstanden.

Ja    Nein

Koblenz, den 03.06.2018

(Ort, Datum)



(Unterschrift)

## **Zusammenfassung**

40 Prozent der Wohnungs- und Immobilienunternehmen planen, im Rahmen von Neubau und Modernisierung intelligente Steuerungssysteme in ihre Liegenschaften zu integrieren. Gleichzeitig drängen Internetunternehmen mit ihren Geräten in Häuser und Wohnungen und versprechen intelligente Dienste für die Nutzer. Für beide Arten der neuen Technologien wird der Begriff des „Smart Home“ angewendet. Dabei hat die erste Gruppe der Systeme Ihren Ursprung im Bereich der „Gebäudeautomation“, die zweite Gruppe entwickelt sich aus dem Konzept des „Internet of Things“.

Um zu ergründen, was die Unterschiede sind und welche gemeinsamen Grundlagen existieren, werden die Bereiche der Gebäudeautomation und das Internet of Things als Systeme analysiert und einander gegenübergestellt.

Zentraler Beitrag der Arbeit ist die Erkenntnis, dass beide Domänen auf ähnlichen Konzepten aufbauen und eine Integration möglich ist, ohne die Integrität der Systeme selbst zu beeinträchtigen. Zudem liefert die Arbeit einen Ansatz dafür, wie die Planung von Gebäudesteuerungssystemen unter Einbeziehung des Internet of Things gestaltet werden kann.

## **Abstract**

40 percent of current housing and real estate companies plan to integrate intelligent control systems into their properties during new construction and modernization. At the same time, Internet companies are pushing their devices into homes and apartments, promising intelligent services for their users. The term "Smart Home" is used for both types of new technologies. The first group of systems has its origins in the field of "Building Automation", the second group developed from the concept of the "Internet of Things".

In order to discover what the differences are and what common foundations exist, both the areas of Building Automation and Internet of Things are analyzed and compared.

The central contribution of this thesis is the realization that both domains are based on similar concepts and an integration is possible, without compromising the integrity of the systems themselves. In addition, the work provides an approach to designing Building Automation Systems with the integration of the Internet of Things.

## Inhaltsverzeichnis

|  | Seite |
|--|-------|
| Abbildungsverzeichnis.....   | vii   |
| Abkürzungsverzeichnis.....   | viii  |
| Tabellenverzeichnis .....  | ix    |
| 1. Einleitung .....  | 1     |
| 1.1. Problembeschreibung & Aufgabenstellung.....   | 2     |
| 1.2. Aufgabenstellung, Forschungsziele & Forschungsfragen.....   | 7     |
| 1.3. Gliederung der Arbeit.....  | 10    |
| 2. Theoretische Grundlagen .....   | 11    |
| 2.1. Methodik der Arbeit .....   | 11    |
| 2.2. Überblick zur Literaturrecherche .....  | 13    |
| 2.2.1. Einordnung der wissenschaftlichen Quellen.....  | 16    |
| 2.2.2. Einordnung von Normen und Richtlinien .....   | 17    |
| 2.3. Domäne Gebäudeautomation .....  | 18    |
| 2.4. Domäne Internet of Things.....  | 30    |
| 3. Entwurf eines generischen Ansatzes für die Integration von<br>Gebäudeautomation & IoT.....                                    | 36    |
| 3.1. Gemeinsame Grundlagen & Vergleich der Modelle.....  | 36    |
| 3.2. Verknüpfungsansatz & Abgrenzung .....   | 38    |
| 3.3. Planungsablauf in der Gebäudeautomation.....  | 39    |
| 3.4. Konsolidierter Planungsablauf und Ansätze für die Einbindung des<br>Internet of Things .....                                | 45    |
| 3.5. Gemeinsamer Planungsablauf als generischer Ansatz für die<br>Integration von Gebäudeautomation und Internet of Things ..... | 49    |
| 4. Exemplarische Anwendung des Planungsprozesses .....   | 52    |
| 4.1.1. Rahmen & Setting für die Planung.....   | 52    |
| 4.1.2. Anwendung des Artefakts .....   | 53    |
| 5. Zusammenfassung.....  | 55    |
| 5.1. Überprüfung von Forschungszielen und -fragen .....  | 55    |
| 5.2. Beitrag zu Theorie & Praxis .....   | 58    |
| 5.3. Grenzen der Arbeit.....   | 58    |
| 5.4. Zukünftige Arbeiten .....   | 59    |

6. Literaturverzeichnis ..... 60

**Abbildungsverzeichnis**

|  | Seite |
|--|-------|
| Abbildung 1: Ablauf des Design-Science-Research-Zyklus<br>(Vaishnavi, Kuechler & Petter, 2004, S. 8) .....   | 12    |
| Abbildung 2: Zuordnung von Technologien zum Ebenenmodell<br>(Granzer & Kastner, 2012, S. 291) .....  | 19    |
| Abbildung 3: Einordnung von Netzwerktypen (Sauter, 2010, S.<br>3587) .....   | 20    |
| Abbildung 4: Modell der Automationshierarchie (Sauter, 2010, S.<br>3586) .....   | 21    |
| Abbildung 5: Schematische Darstellung von Anordnung und<br>Verbindungen von Geräten in den Ebenen der Gebäudeautomation<br>(International Organization for Standardization, 2004, S. 68) ..... | 22    |
| Abbildung 6: Darstellung des Zusammenspiels von Hard- und<br>Software (Domingues et al., 2016, S. 3) .....   | 23    |
| Abbildung 7: Funktionale Aspekte eines BAS (Kastner,<br>Neuschwandtner, Soucek & Newman, 2005, S. 1180) .....  | 27    |
| Abbildung 8: 5 Ebenen einer IoT-Architektur mit SOA-basierter<br>Aufteilung der Ebenen (Atzori et al., 2010, S. 6).....  | 33    |
| Abbildung 9: Konzept des Fog-/Edge-Computings (Lin et al., 2017,<br>S. 1135) .....   | 34    |
| Abbildung 10: Beziehung zwischen IoT und CPS (Lin et al., 2017,<br>S. 1127) .....  | 38    |
| Abbildung 11: Prozess und Ablauf eines Projektes zur<br>Gebäudeautomation (International Organization for<br>Standardization, 2011, S. 10) .....   | 39    |
| Abbildung 12: Betrachtung des Systems als Schalenmodell (Verein<br>Deutscher Ingenieure, 2011a, S. 8).....   | 43    |
| Abbildung 13: Grafische Darstellung zu Integrationsmöglichkeiten<br>von Gebäudeautomationssystemen und Internet of Things .....  | 48    |

## **Abkürzungsverzeichnis**

|      |  |
|------|--|
| API  | Application Programming Interface  |
| BACS | Building Automation and Control System   |
| CoAP | Constrained Application Protocol   |
| CPS  | Cyber Physical System  |
| DIN  | Nationale Norm; bzw. Deutsches Institut für Normung  |
| DSR  | Design Science Research  |
| EN   | Europäische Norm   |
| EnEV | Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, kurz: Energieeinsparverordnung |
| GA   | Gebäudeautomation  |
| MQTT | Message Queuing Telemetry Transport  |
| OSI  | Open Systems Interconnection   |
| PAN  | Personal Area Network  |
| ReST | Representational State Transfer  |
| SOA  | Serviceorientierte Architektur   |
| TGA  | Technische Gebäudeausrüstung   |
| TLS  | Transport Layer Security   |
| URL  | Uniform Resource Locator   |
| WPAN | Wireless Personal Area Network   |
| WSN  | Wireless Sensor Network  |
| XML  | Extensible Markup Language   |

## Tabellenverzeichnis

|  | Seite |
|--|-------|
| Tabelle 1: Liste der für die Arbeit relevanten Normendokumente .....   | 16    |
| Tabelle 2: Planungsschritte für die Gebäudeautomation (nach International Organization for Standardization, 2004) .....      | 42    |
| Tabelle 3: Kategorisierung von Raumautomationsfunktionen (Verein Deutscher Ingenieure, 2011a) .....                          | 45    |
| Tabelle 4: bearbeiteter Planungsablauf für die Gebäudeautomation .....   | 47    |
| Tabelle 5: generischer Ansatz für die Planung von Gebäudeautomationssystemen unter Einbeziehung des Internet of Things ..... | 50    |

## 1. Einleitung

Im Jahr 2015 hat die „Smarthome Initiative Deutschland e.V.“<sup>1</sup> zusammen mit dem „GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.“<sup>2</sup> eine Studie zu den Entwicklungsperspektiven im Bereich intelligenter Gebäudesteuerungssysteme in Auftrag gegeben (mm1 Consulting & Management, 2015). Die Zunahme von intelligenten und vernetzten Geräten wird darin bereits im Vorwort zur Auswertung der Erhebung als selbstverständlich vorausgesetzt und als eines der größten technologischen Wachstumsfelder der kommenden Jahre herausgestellt. Nach Auswertung der Befragung von 500 Wohnungs- und Immobilienunternehmen schätzen 60 Prozent der Befragten einen Neubau oder eine umfangreiche Sanierung als geeigneten Zeitpunkt ein, um die Integration von „Smart-Home-Technologien“ und Assistenzsystemen in Gebäuden allgemein als auch in Wohnungen voranzutreiben. Der Studie zufolge verstehen die Befragten darunter an erster Stelle Systeme wie Melder für Rauch, Feuer und Wasserschaden, Steuerungen für Heizung, Lüftung und Klima sowie Einrichtungen zur Energieverbrauchsmessung, -anzeige und -abrechnung (mm1 Consulting & Management, 2015, S. 6). Zudem stellen die Autoren fest, dass bereits viele „klassische“ Systeme der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) – dazu zählen neben Heizungs- und Sanitärtechnik auch Elektrotechnik und Gebäudeautomation (Daniels, 2000; International Organization for Standardization, 2004, S. 14) – im Einsatz sind. Von den befragten Unternehmen geben 40 Prozent in der Studie an, innerhalb der folgenden zwei Jahre im Rahmen von Bautätigkeiten in ihren Liegenschaften zusätzlich oder erstmalig intelligente Steuerungssysteme integrieren zu wollen (mm1 Consulting & Management, 2015, S. 3). Als Dienstleister für die Umsetzung entsprechender Lösungen sehen die Unternehmen und Investoren an erster Stelle Architekten, Planer, spezialisierte Berater und Elektroinstallationsfirmen (mm1 Consulting & Management, 2015, S. 8).

Einen ähnlichen Trend im selben Gebiet – aus einer anderen Richtung angetrieben – beschreibt ein Report von Vision Mobile von Dezember 2015 (Kapetanakis, 2015): demnach drängen Internetfirmen zunehmend in Häuser und Wohnungen mit ihren „Smart Home Hubs“. Darunter fassen Zhu et al. Geräte, die Daten von Sensoren oder anderen „smarten“ Geräten sammeln und ins Internet übertragen (Zhu, Wang, Chen, Liu & Qin, 2010), selbst Kommandos an andere Geräte senden, und als lokale Zeitplaner und Schaltzentralen dienen (Byun, Jeon, Noh, Kim & Park, 2012), zum Beispiel „Amazon

---

<sup>1</sup> <http://www.smarthome-deutschland.de>

<sup>2</sup> <http://web.gdw.de>

Echo“ und „Google Home“. Für Entwickler ist dieser Bereich hochinteressant und dynamisch (Kapetanakis, 2015, S. 17f). Erfolgreiche Konzepte orientieren sich hierbei an der einfachen Inbetriebnahme und nahtlosen Interaktion mit dem Endbenutzer, zum Beispiel durch Sprachsteuerung, und der einfachen und schnellen Verfügbarkeit von Technologien im Zusammenspiel mit dem Internet (Kapetanakis, 2015, S. 20). In diesem Umfeld sind „smarte“ Lösungen für Gebäude demnach Geräte, die über zusätzliche künstliche Intelligenz einen zusätzlichen Nutzen oder überhaupt erst ihre Funktionalität erhalten (Kapetanakis, 2015, S. 23).

Beide Herangehensweisen instrumentalisieren den Begriff des intelligenten Gebäudes bzw. des „Smart Home“, ohne eine Definition dazu vorzulegen. Welche Funktionen daher in einem konkreten Projekt aktuell oder zukünftig verfügbar sind, ergibt sich aus der Entscheidung für ein System – mit den damit verbundenen Verfügbarkeiten von Technologien, Funktionen und Daten im Lebenszyklus eines Gebäudes. Eine technisch-funktionale Bindung (Lock-In-Effekt) kann einen nachträglichen Wechsel oder eine Veränderung zu einem späteren Zeitpunkt erschweren (Georgi & Hadwich, 2010, S. 14).

Domingues et al. stellen fest, dass es keine eindeutige Definition zu diesem populären Begriff gibt, genauso wenig wie verbindliche Literatur (Domingues, Carreira, Vieira & Kastner, 2016, S. 1). Dieser Umstand erschwert die Kommunikation innerhalb der Entwicklergemeinschaft und steigert somit eher noch die ohnehin schon vorhandene Heterogenität. Durch den Mangel an allgemein anerkanntem Wissen in diesem Feld und aufgrund von funktionalen Lücken stehen sie vor der Herausforderung, ihre Entwicklungen stets von Grund auf neu gestalten zu müssen, anstatt sich auf existierende Grundlagen zu stützen (ebd., S. 2). Für die breite Anwendung von Gebäudeautomationsystemen ist das ein Hindernis (Thomasse, 1999).

### **1.1. Problembeschreibung & Aufgabenstellung**

Für Neubauten und auch für Erneuerungen von Gebäudealtbeständen gelten gemäß der „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV)“<sup>3</sup> seit 2007 Anforderungen an die Energieeffizienz, welche in verschiedenen Normenkatalogen näher ausgeführt werden (unter anderem DIN V 18599 – „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“<sup>4</sup> sowie DIN EN

---

<sup>3</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/enev\\_2007/](https://www.gesetze-im-internet.de/enev_2007/)

<sup>4</sup> <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-v-18599-1/257938824>

15232 „Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement“<sup>5</sup>). Zweck dieser Regelwerke ist, eine Energieeinsparung in Gebäuden unter Anwendung erneuerbarer Energien und durch Modernisierung sowie Zusammenführung und Regelung verschiedener Gewerke zu erreichen (EnEV §1 (1)). Die ISO-Norm 16484-2 detailliert diese Maßnahmen: um umweltgerecht bauen zu können, erfordert die Planung den Einsatz komplexer Verfahren für die Automatisierung und Überwachung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA), das beinhaltet neben der Automatisierung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik auch die funktionale Integration der Beleuchtungssteuerung, Energieverteilung, Gefahrenmeldesysteme und des Instandhaltungs-Managements. Daraus ergibt sich ein Vorteil für den Anwender durch Synergieeffekte (International Organization for Standardization, 2004, S. 4).

Die Errichtung von Gebäuden ist ein Prozess, der wie dargestellt auf einer Vielzahl von Normen und Richtlinien beruht. Deren Anwendung und Einhaltung kann in Gesetzen oder Verordnungen festgeschrieben sein, siehe oben. Sie beeinflussen maßgeblich die Planung und Bauausführung. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl von Normen, die aufgrund der geschlossenen Verträge zwischen den Beteiligten ebenso bindende Wirkung entfalten. Dies gilt vor allem für den Zweckbau, aber auch in etwas einfacherer Form für den Wohnbau, niedergelegt in der „Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB)“<sup>6,7</sup>. Im ersten Fall gelten die Festlegungen, um bestimmte Ziele zu erreichen – am Beispiel der EnEV die Verminderung des Energieverbrauchs als politisches Ziel. Im zweiten Fall geht es um eine verlässliche Vereinbarung von Leistungen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern – daher der Titel „Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen“ (VOB/B)<sup>7</sup>. Festgelegt werden kann darin auch die Verwendung von Steuerungssystemen für die Gebäudetechnik. Diese wird über die Vertragsordnung, diverse DIN-Normen und weitere Verweise genauer festgelegt. Die detaillierte Herleitung der relevanten Quellen erfolgt im Kapitel 2.2. Die Inhalte der Richtlinien und Normen werden im Kapitel 2.3 näher erläutert.

Die Anwendung der Normenwerke ist – wie noch zu zeigen ist – einerseits sehr stark reguliert; andererseits sind die Vorgaben in den Regelwerken selbst sehr allgemein gehalten, um technologisch unabhängig und herstelleroffen zu bleiben. Weiterhin sind Normen laut DIN EN 45020<sup>8</sup> immer in ihrer Fassung zum

---

<sup>5</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-15232-1/259316432>

<sup>6</sup> <https://dejure.org/gesetze/VOB-A>

<sup>7</sup> <https://dejure.org/gesetze/VOB-B>

<sup>8</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-45020/95609390>

Zeitpunkt des Erscheinens maßgebend (Hallscheidt, Adomeit, Manske & Hopf, 2015, S. 10). Neuerungen aus der Zeit nach dem Erscheinen können somit nur in Projekte einfließen, wenn von der Anwendung der Normen abgewichen wird, was wiederum ein Abweichen von den oben genannten Vertragswerken bedingt. Zudem finden Entwicklungen und Erweiterungen aus anderen Domänen nur dann Eingang in die Normenkataloge, wenn sich Vertreter aus diesen Domänen in die Ausschussarbeit zur Normenerstellung einbringen (Hallscheidt et al., 2015, S. 14).

Gleichzeitig dringt das Internet of Things (IoT) immer weiter in Bereiche vor, die bisher nur in geringem Maße von der Digitalisierung erfasst wurden. Chaudhary et al. stellen fest, dass das Internet of Things bereits wesentliche Bereiche der Umwelt erreicht hat, aufgrund günstiger Technik und verschiedenster Möglichkeiten der Anbindung an ein Datennetzwerk (Chaudhary, Peddoju & Kadarla, 2017). Mit geringem Aufwand lassen sich so große Mengen an Daten erfassen und miteinander kombinieren. Von einzelnen Sensoren (ebd.) über gezielt auf Einzelaspekte fokussierte Sensor-Aktor-Kombinationen mit Internetanbindung (Mandurano & Haber, 2012) bis hin zu großflächig verteilten Sensornetzwerken (Chaudhary et al., 2017) sind viele Kombinationen möglich und umsetzbar. Im Bereich der Gebäudeautomation ist die Entwicklung aufgrund der zuvor genannten Eingrenzungen noch beschränkt, gleichzeitig zeigen Forschungsbeiträge (z.B. Básaca-Preciado et al., 2017; Verma & Jain, 2016), dass Verknüpfungen zwischen den beiden Domänen möglich sind und produktiv eingesetzt werden können.

Die im nachfolgenden Kapitel 1.2 dargestellten Forschungsziele sind das Ergebnis eines zweimalig durchlaufenen Prozesses der Erarbeitung der „Awareness of Problem“ in Anlehnung an den Design-Science-Research-Zyklus. Der erste Ansatz ergab sich aus der Feststellung, dass im Bereich der Gebäudeautomation ein hohes Maß an implizitem Wissen vorherrscht: Die bereits genannten Normen und Richtlinien beschreiben die Planung und Implementierung von Automatisierungslösungen für Gebäude und Räume, eine Herleitung der Liste verfügbarer Funktionen ist jedoch nicht durch Quellen belegt. Im Wesentlichen gilt die VDI-Richtlinie 3813, Blatt 2 „VDI 3813 Blatt 2 Gebäudeautomation (GA) - Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)“<sup>9</sup> als zentrales Bezugsdokument mit einer Reihe von Funktionsauflistungen, die bei der Planung von Steuerungsfunktionen zur Anwendung kommen. Mittlerweile ist die Norm – herausgegeben 2011 – sieben Jahre alt und bezieht zwischenzeitliche Neuerungen im Bereich der Automatisierung nicht mit ein.

---

<sup>9</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi\\_3813\\_blatt\\_2-gebaeudeautomation\\_ga\\_raumautomationsfunktionen\\_ra\\_funktionen/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3813_blatt_2-gebaeudeautomation_ga_raumautomationsfunktionen_ra_funktionen/)

Zudem entsteht die Planung von Funktionen in der Gebäude- und Raumautomation auf Basis von Aushandlungen und Verträgen zwischen den Bauherren und ihren Planungspartnern (siehe oben: VOB). Unterstützend wird durch den Verein Deutscher Ingenieure (VDI) die Richtlinie VDI 3814 Blatt 2.1 „Gebäudeautomation (GA) – Planung Bedarfsplanung, Betreiberkonzept und Lastenheft“<sup>10</sup> entwickelt. Die darin genannten Prozesse zur Beschreibung und Entwicklung von Lösungsvorschlägen basieren somit auf im Planungsprozess definierten Anforderungen des Bauherrn, nicht auf einer Auswahl aus technischen Möglichkeiten. Einflüsse aus anderen Domänen bleiben hierin weitgehend unbeachtet. Eine wissenschaftliche Fundierung des nach der Richtlinie präferierten Vorgehens ist nicht angegeben.

Ein weiterer Aspekt ist die Heranführung an das Arbeitsumfeld für Planer und Ausführende: die Ausbildung für Elektriker und Ingenieure beinhaltet Kurse zu Gebäudeautomationssystemen, hier wird aber nur die Lösung von konkreten Problemstellungen an stark komplexitätsreduzierten Beispielaufgaben vermittelt<sup>11</sup>. Die spätere Umsetzung von Forderungen bzw. die Identifizierung von möglichen Ansätzen im Arbeitsalltag ist ein wiederkehrender, kreativer Prozess, der viel auf Erfahrung und wenig auf explizitem, niedergeschriebenem Wissen beruht. Zudem steigt mit zunehmender Integration verschiedener Gewerke die Komplexität, was viel Erfahrung seitens der Beteiligten erfordert. Domingues et al. stellen fest, dass sich die technische Planung von Gebäudeautomation in erster Linie aus den Herstellerdokumentationen ergeben hat, erst später wurden diese Abläufe in Standards und Normen gefasst (Domingues et al., 2016, S. 1). Teilweise widersprechen sich sogar Standards und generelle Konzepte (ebd.). Die Sichtung der Literatur zum Themenbereich zeigt, dass sich wissenschaftliche Arbeiten im Wesentlichen mit technischen Herausforderungen und strukturellen Grundlagen befassen, z. B. (Withanage, Ashok, Yuen & Otto, 2014), die die Leistungsfähigkeit mehrerer Systeme vergleichen, aber der tatsächlichen Planung und Anwendung wenig Beachtung schenken. Der Prozess zur Identifikation von Elementen der Raumautomation bleibt weitgehend unbeachtet, bzw. beschränkt sich auf die bereits bekannten Lösungen, die in den Richtlinien und Normen niedergeschrieben sind. Aus (Hallscheidt et al., 2015) geht hervor, dass die Verabschiedung von Normen

---

<sup>10</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdi\\_3814\\_blat\\_21-gebaeudeautomation\\_ga\\_planung\\_bedarfsplanung\\_betreiberkonzept\\_und\\_lastenheft\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdi_3814_blat_21-gebaeudeautomation_ga_planung_bedarfsplanung_betreiberkonzept_und_lastenheft_/)

<sup>11</sup> Zum Beispiel: der Kurs für das System KNX versucht innerhalb von 30 Stunden den kompletten Anwendungsumfang des Systems von der Grundplanung bis zur Inbetriebnahme und Diagnose zu vermitteln. <https://www.knx.org/knx-de/schulung/knx-zertifizierte-kurse/knx-grundkurs/index.php>, abgerufen am 12.03.2018

genau auf diesem Vorgehen beruht: interessierte Kreise bringen ihre Vorschläge für die Standardisierung von Vorgehensweisen ein und handeln eine Norm aus, die anschließend als Empfehlung gilt.

Die ursprüngliche Überlegung für die Erstellung des Frameworks orientierte sich nach dieser Problemformulierung an der grundsätzlichen Veränderung der Herangehensweise zur Identifikation von Steuerungsfunktionen. Der Lösungsansatz sollte mit einer unvoreingenommenen Betrachtung des Gebäudes und seiner Räume beginnen und eine möglichst umfassende Betrachtung der Möglichkeiten umfassen, um anschließend eine Auswahl zu treffen. Der Ansatz sollte sich danach an der Systematik der Software-Entwicklung oder Prozessorganisation nach dem Top-Down-Prinzip orientieren (vgl. Thomas & McGarry, 1994), um am Ende das gewünschte Planungsergebnis zu erzielen.

Bei den Überlegungen für die Erstellung des Artefakts wurde ersichtlich, dass sich die Diskrepanz zwischen Problem und Lösung mit wissenschaftlichen Quellen nicht belegen lässt. Gleichzeitig wurde dadurch aber sichtbar, was in der Forschung als „paradigmatische Community“ bezeichnet wird (Vaishnavi & Kuechler, 2008). Ähnlich derartigen Forschergruppen gilt auch im vorgestellten Bereich ein hohes Maß an Übereinstimmung bezüglich der relevanten Bezüge und angewandten Methoden (Vaishnavi & Kuechler, 2008, S. 8). Was die Autoren für derartige Wissenschafts-Communities beschreiben, gilt auch hier: Wer sich in einem so in sich geschlossenen Bereich betätigt, muss sich – unter starker Anleitung aus dem Bereich selbst – die Inhalte erarbeiten, wird somit in dieser Community „sozialisiert“ und passt sich an deren Arbeitsweisen an. Kritisch zu betrachten ist dabei die mangelnde Auseinandersetzung mit den Grenzen und anderen Implikationen der passiv übernommenen Vorgaben aus dem betreffenden Bereich (Vaishnavi & Kuechler, 2008, S. 1 & 17). Diese Feststellung führt jedoch zu der Vermutung, dass sich das Problem auch auf einem anderen Weg erfassen lässt: aus den reglementierten Vorgehensweisen lassen sich die technischen Vorgaben ableiten und einem Vergleich mit anderen Domänen unterziehen.

Nach einer Überarbeitung ergibt sich die „Awareness of Problem“ nun wie nachfolgend dargestellt: anhand der bereits weiter oben vorgestellten Normen und Richtlinien können Gebäudeautomationssysteme für verschiedene Problemstellungen in der Domäne des Bauwesens als geeignet bewertet werden. Aufgrund der Entwicklung und durch den Normierungsprozess ergeben sich Bereiche, für die derartige Systeme sehr gut geeignet sind und für deren Anwendung sie durch die Normierungsgremien vorgesehen sind. Genauso existieren aber auch Anforderungen, die nicht durch diese Systeme erfüllt werden

können bzw. die nur durch die Einbindung zusätzlicher Erweiterungen umsetzbar sind. Eine Auswahl aus wissenschaftlichen Quellen soll hier als theoretische Grundlage bestimmt werden, um dies zu belegen. Ebenso gibt es für die Domäne des Internet of Things bereits eine Vielzahl an Grundlagen und Artefakten, die eine Anwendung im Bereich der Gebäudeautomation skizzieren und wissenschaftlich unterlegen. Auch hier existieren Standards und Systeme, die für die Lösung spezifischer Anforderungen mehr oder weniger gut geeignet sind. Die Zahl der Entwicklungen in diesem Bereich steigt kontinuierlich an (vgl. Karnouskos, 2011; Risteska Stojkoska & Trivodaliev, 2017), ein gemeinsames Verständnis über die Rahmenbedingungen existiert jedoch nicht (Domingues et al., 2016).

Das Problem lässt sich somit wie folgt zusammenfassen – und hat bereits Eingang in die im Kapitel 1.2 genannten Forschungsfragen gefunden: Es existieren Aufgabenstellungen, die sich durch den Einsatz von Gebäudeautomationssystemen komplett oder nur teilweise umsetzen lassen. Gleichzeitig ergeben sich durch den Einsatz des Internet of Things neue Möglichkeiten, vorhandene Aufgabenstellungen mit geringerem Aufwand oder auf andere Art und Weise zu lösen. Allerdings existieren keine Konzepte, beide Domänen nach einem strukturierten Verfahren in einem gemeinsamen Planungsprozess miteinander zu kombinieren, sodass eine möglichst nahtlose Integration möglich wird und Transferverluste beim Informationsaustausch vermieden werden.

## **1.2. Aufgabenstellung, Forschungsziele & Forschungsfragen**

Die Aufgabenstellung der Arbeit lautet, eine Möglichkeit der strukturierten Erarbeitung von Verbindungsmöglichkeiten zwischen den beiden Domänen zu beschreiben und anhand einer beispielhaften Umsetzung darzustellen. Dazu sollen die Rahmenbedingungen und Geltungsbereiche für die Anwendung beider Domänen bestimmt werden. Anschließend werden beide Domänen in einem Framework miteinander so verbunden, dass der Planungsprozess sowohl die Vorgaben der Domäne Bauwesen als auch die Vorgaben der Domäne Internet of Things einbezieht. Dabei soll ergründet werden, ob Prozessbereiche existieren, in denen einer der beiden Domänen ein Vorrang eingeräumt werden sollte. Ziel soll es sein, eine größtmögliche Integration beider Bereiche zu erreichen, dabei doppelte Strukturen zu vermeiden und Informationsverluste durch Übersetzungen an Schnittstellen zu vermeiden. Eine exemplarische Anwendung des Frameworks soll abschließend dessen Funktion belegen. Der zentrale Beitrag der Arbeit soll ein Ansatz für das Verständnis von Gebäude-

steuerungssystemen im Kontext des Internet of Things sein. Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung sind mehrere Aspekte relevant. Diese werden in Forschungsziele (engl. Research Objectives, RO) gefasst, welche anschließend in einzelnen zu beantwortenden Forschungsfragen (engl. Research Questions, RQ) bearbeitet werden.

Das erste Forschungsziel behandelt den Bereich der Gebäudesteuerungssysteme. Um hier eine Eingrenzung vornehmen zu können und eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, ist es notwendig, deren Anwendungsfelder zu definieren. Das Forschungsziel heißt:

**RO 1: Wie werden Gebäudeautomationssysteme definiert und eingesetzt?**

Für das Erreichen des Zieles ist es notwendig, allgemeine Anforderungen zu benennen, die durch Gebäudeautomation zu erfüllen sind. Sofern feste Entscheidungskriterien für die Anwendung bestehen, sollen diese mit erfasst werden. Das bezieht auch ein, die Grenzen der Systeme aufzuzeigen. Da nicht alle Gebäudesteuerungssysteme in das spätere Framework und die Beispielimplementierung einbezogen werden sollen, muss eine objektive Begrenzung der zu betrachtenden Systeme getroffen werden. Um das Forschungsziel zu erreichen, müssen die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden.

RQ 1.1: Welche Anforderungen soll ein Gebäudeautomationssystem erfüllen?

RQ 1.2: Wie werden die einzelnen Elemente in einem Gebäudeautomationssystem definiert und eingesetzt?

RQ 1.3: Für welche Anwendungsfälle ist ein Gebäudeautomationssystem vorgesehen?

RQ 1.4: Welche Systeme haben sich für die Gebäudeautomation etabliert?

RQ 1.5: Welche allgemeinen Prozessabläufe gelten für die Planung und Umsetzung von Gebäudeautomationssystemen?

Nach der Erarbeitung des ersten Forschungszieles wird die Domäne des Internet of Things in einem ähnlichen Vorgehen untersucht. Das Forschungsziel ist die Beantwortung der Frage:

**RO 2: Wie kann das Internet of Things in der Gebäudeautomation eingesetzt werden?**

Dazu ist es notwendig, aus den Definitionen der wissenschaftlichen Quellen eine geeignete Arbeitsdefinition für die Anwendung im Bereich der Gebäude-

steuerung abzuleiten. Da der Fokus der Arbeit auf der Verbindung zur Gebäudeautomation liegt, sind die Fragen weniger offen gehalten, sondern ebenfalls auf das Thema ausgerichtet. Die Arbeitsdefinition soll daher die Verknüpfung mit dem Thema ermöglichen. Ebenso sollen die Anwendungsgebiete daraufhin untersucht werden. Für das Erreichen des Forschungszieles sollen daher folgende Forschungsfragen beantwortet werden.

- RQ 2.1: Wie wird das Internet of Things definiert und strukturiert?
- RQ 2.2: Wie werden die einzelnen Elemente im Internet of Things definiert und eingesetzt?
- RQ 2.3: Für welche Anwendungsfälle können IoT-Geräte in der Gebäudeautomation vorgesehen werden?
- RQ 2.4: Welche IoT-Geräte/-Systeme sind für die Anwendung in der Gebäudeautomation geeignet?

Im Anschluss an die Analyse der beiden Domänen mit ihren Eigenschaften soll die Synthese stattfinden, in Form der Entwicklung eines Frameworks. Das Forschungsziel dazu lautet:

**RO 3: Wie kann ein gemeinsames Anwendungskonzept aus Gebäudeautomationssystem und Internet of Things aufgebaut sein?**

Für die Beantwortung ist es notwendig, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede aus beiden Teilgebieten gegenüberzustellen. Aus den Vorgehensweisen zur Planung und Strukturierung soll dann ein Planungsprozess über beide Bereiche formuliert werden, in dem die jeweiligen Stärken der Bereiche auf geeignete Weise eingebracht werden.

- RQ 3.1: Welche Schnittmengen gibt es zwischen Gebäudeautomationssystemen und dem Internet of Things?
- RQ 3.2: Wie können Gebäudeautomationssysteme durch das Internet of Things erweitert werden?
- RQ 3.3: Welche Vorteile hat die Verbindung von Gebäudeautomationssystemen mit dem Internet of Things gegenüber einer getrennten Anwendung?
- RQ 3.4: Wie kann ein Planungsprozess unter Einbeziehung beider Bereiche aufgebaut sein?

Nach Bearbeitung der beiden Teilbereiche und Synthese zu einem gemeinsamen Framework und durch die Beantwortung der Forschungsziele und -fragen entsteht am Ende ein generisches Verständnis über die gemeinsame Anwendung von Gebäudeautomationssystemen und dem Internet of Things.

### 1.3. Gliederung der Arbeit

Die Struktur der Arbeit orientiert sich weitgehend am allgemeinen Ablauf der Methode „Design Science Research (DSR)“. Kapitel 0 beinhaltet neben der Einführung zum Thema auch die Begründung der Relevanz der Arbeit und stellt damit den grundlegenden Schritt „Awareness of Problem“ im DSR-Zyklus dar.

In nächsten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen erarbeitet. Neben einem Überblick über Literatur zu dem Themengebiet werden die grundlegenden theoretischen Konstrukte vorgestellt, die für die Arbeit relevant sind. Dazu wird der Themenbereich Gebäudeautomation definiert und eingegrenzt sowie Fachtermini zwecks gemeinsamen Verständnisses definiert. Da die eher IT-fremde Bauindustrie aufgrund ihres hohen Normierungsgrades viele eigene Begriffe nutzt, sind Erklärungen für das einfachere Verständnis an anderen Stellen notwendig. Im Anschluss werden die zugrundeliegenden Normen und bereits vorhandene Artefakte dargestellt und ihre Relevanz eingeordnet. Des Weiteren wird eine geeignete Theorie über das Internet of Things herangezogen, und ähnlich dem vorigen Thema eine Einordnung und Definition von Elementen und Prozessen vorgenommen. Zudem wird in dem Kapitel eine Basistheorie als Grundlage für die Verknüpfung der beiden Bereiche entwickelt.

Im darauffolgenden Kapitel „Entwurf eines generischen Ansatzes für die Integration von Gebäudeautomation & IoT“ wird aus den beiden theoretisch unterlegten Teilbereichen ein Artefakt entstehen, welches die beiden Teile miteinander verbindet und einen Prozessablauf zur Planung und Umsetzung beinhaltet. Im Kapitel 4 wird das Framework anhand eines modellhaften Gebäudes exemplarisch angewendet, um die Funktionsweise des Frameworks zu demonstrieren.

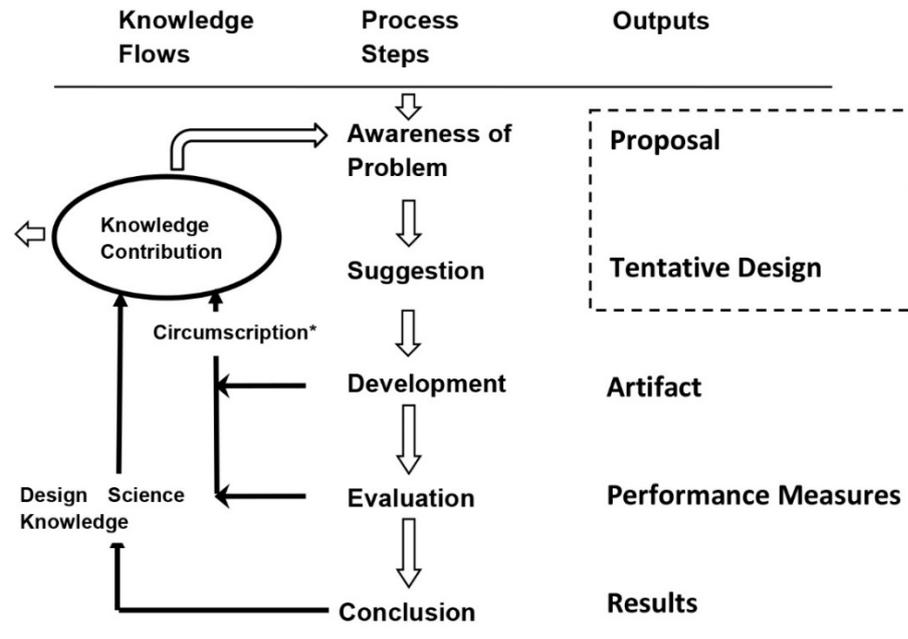
Kapitel 5 fasst die Arbeit zusammen und überprüft die Beantwortung der Forschungsfragen. Zudem wird der wissenschaftliche Mehrwert benannt und die Grenzen sowie nicht beantwortete Fragen aufgezeigt. Die Arbeit endet mit einem Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen des Frameworks und zukünftige Forschungsarbeiten in dem Gebiet.

## **2. Theoretische Grundlagen**

In diesem Kapitel werden die zentralen Theorien entwickelt, die für das weitere Vorgehen relevant sind. Im Abschnitt 2.1 wird die Methodik umrissen, an der sich der Ablauf dieser Arbeit orientiert. Anschließend wird ein Überblick über die Literatur gegeben sowie eine Einordnung nach ihrer Eignung für die Bearbeitung der Forschungsziele vorgenommen. Darauf folgend werden die beiden zentralen Themenbereiche theoretisch begründet. Das Kapitel endet mit einer gemeinsamen Basistheorie über grundlegende Annahmen zu Funktionsweisen.

### **2.1. Methodik der Arbeit**

In der vorliegenden Arbeit wird unter Anlehnung an die Methode „Design Science Research“ die oben vorgestellte Aufgabenstellung bearbeitet. Ziel der Anwendung von Design Science Research ist es, neues Wissen durch den Prozess der Anwendung zu schaffen. Hevner erklärt die Motivation dazu mit dem Wunsch danach, die Umwelt besser zu gestalten, indem neue und innovative Artefakte erzeugt sowie die zugehörigen Prozesse entwickelt oder vorhandene Prozesse verbessert werden (Hevner, 2007, S. 88). Der Prozess dazu beginnt demnach mit der Identifizierung und Darstellung eines Problems und der Lösungsmöglichkeiten innerhalb eines Anwendungsgebietes. Bereits hier sollen zudem die Kriterien festgelegt werden, anhand derer das Artefakt nach der abschließenden Evaluation als geeignet bewertet werden kann. Die Frage dazu lautet, ob das Artefakt die Umwelt verbessert und wie diese Verbesserung gemessen werden kann (Hevner, 2007, S. 89). Zentraler Punkt der Methode ist die Erzeugung eines wissenschaftlichen Beitrags, der nicht als routinemäßiges Design angesehen werden kann, indem einfach wohlbekannte Abläufe angewendet werden. Gleichwohl werden aber bereits vorliegende Erfahrungen und Expertisen nach dem Stand der Technik als auch existierende Artefakte und Prozesse aus den relevanten Domänen als Grundlagen in den Designprozess einbezogen (Hevner, 2007; Hevner, March, Park & Ram, 2004).



\* Circumscription is discovery of constraint knowledge about theories gained through detection and analysis of contradictions when things do not work according to theory (McCarthy, 1980)

Abbildung 1: Ablauf des Design-Science-Research-Zyklus (Vaishnavi, Kuechler & Petter, 2004, S. 8)

Der Designzyklus selbst besteht – wie in Abbildung 1 zu sehen – aus fünf Abschnitten, die aufgrund von Rückbezügen auch mehrfach durchlaufen werden können (Kuechler, Vaishnavi & Petter, 2005, S. 2). Am Anfang steht die Entwicklung eines „Bewusstseins für das Problem“ (engl. Awareness of Problem), welches anhand eines aktuellen Zustands beschrieben werden kann. Aus der Diskrepanz zwischen dem Ist-Zustand und einem wünschenswerten Ziel-Zustand ergibt sich im Folgenden ein „Vorschlag“ (engl. Suggestion) für die Lösung des zu Beginn geschilderten Problems. Im Abschnitt „Entwicklung“ (engl. Development) steht die Erstellung des Artefakts im Vordergrund. Hier ist es jederzeit möglich, im Rahmen neuer Erkenntnisse den Abschnitt „Problembewusstsein“ erneut zu bearbeiten und Ist- sowie Ziel-Zustand genauer zu fassen oder bei Bedarf zu verändern. Dementsprechend kann auch der Vorschlag für die Lösung einer Veränderung unterzogen werden, wonach dann der Abschnitt „Entwicklung“ erneut bearbeitet werden kann. Mit dem hieraus entstandenen Artefakt kann im Anschluss im Abschnitt „Evaluation“ eine beispielhafte Umsetzung stattfinden. Auch in dieser Phase ist ein Rückschritt auf den Beginn des Designzyklus jederzeit möglich. Im abschließenden Abschnitt „Fazit“ (engl. Conclusion) werden die Ergebnisse des Prozesses zusammengefasst, gewonnene Erkenntnisse bewertet und offene Fragen benannt (Kuechler et al., 2005, S. 2f).

## 2.2. Überblick zur Literaturrecherche

Für die wissenschaftliche Fundierung der Arbeit wurde eine Recherche über bereits vorhandene Literatur und Artefakte zum Themenbereich Gebäudeautomation und Internet of Things vorgenommen. Als Quellen wurden die Rechercheportale Google Scholar<sup>12</sup>, IEEE Xplore<sup>13</sup>, ACM Digital Library<sup>14</sup> und deren Suchfunktionen genutzt. Die initiale Suche befasste sich mit den beiden Themen Gebäudeautomation und Internet of Things. Für die Suche im ersten Themenbereich wurden folgende Begriffe gewählt und während der Suche weiter verfeinert: „Building Automation“, „Building Management“, „Building Automation System(s)“, „Smart Home“. Zum ersten Begriff lieferte ACM rund 2200 Ergebnisse, IEEE Xplore 890 und Google Scholar rund 19600 Ergebnisse. Ähnliche Ergebnisse lieferte auch der Suchbegriff „Building Management“. „Building Automation System“ bzw. „Building Automation Systems“ ergab etwa 1500 bzw. 180 und 9700 Treffer. Der Suchbegriff „Smart Home“ lieferte wiederum 830 bzw. 2800, bei Google Scholar sogar 41600 Ergebnisse. Um die Zahl der Ergebnisse weiter reduzieren zu können, wurde die Suche zum einen auf Publikationen mit einem Erscheinungsdatum ab 2010 beschränkt. Zudem wurden Begriffe einbezogen, die bei der ersten Recherche mehrfach in Titeln und als zusätzliche Treffer aufgelistet wurden. Kombinationen mit den Begriffen „IPv6“ sowie „Internet of Things“ ermöglichten die Beschränkung auf eine anfängliche Literaturliste von etwa 30 Publikationen.

Ebenfalls sehr umfangreiche Trefferlisten lieferte die erste Recherche nach dem Begriff „Internet of Things“ bzw. „IoT“. Für die Arbeit ist die Struktur und Definition des Internet of Things relevant, daher wurde die Suche mit Hilfe der Begriffe „architecture“, „survey“ und „review“ weiter eingegrenzt. Die Suche nach „IoT architecture“ bzw. „Internet of Things architecture“ lieferte dennoch bei ACM rund 550 Beiträge, bei IEEE Xplore etwa 3000 Beiträge und bei Google Scholar mehr als 4000 Beiträge. Durch die weitere Verfeinerung der Suchbegriffe und durch Ausschluss von Fallstudien und weiteren sehr spezifischen Publikationen konnte die Liste hier ebenfalls auf etwa 30 Elemente begrenzt werden.

Für die Suche nach Normen und Richtlinien musste der Vorgang in mehrere Schritte unterteilt werden. Hier wurden zuerst die einschlägigen Gesetze in dem juristischen Informationsportal [dejure.org](https://dejure.org)<sup>15</sup> sowie in der Sammlung des

---

<sup>12</sup> <https://scholar.google.de>

<sup>13</sup> <https://ieeexplore.ieee.org>

<sup>14</sup> <https://dl.acm.org>

<sup>15</sup> <https://dejure.org>

Bundesrechts<sup>16</sup> identifiziert und ausgewertet. Die weitere Recherche erstreckte sich dann auf die tatsächlich referenzierten internationalen wie nationalen Normen und Richtlinien. Dazu wurde die Datenbank des Beuth-Verlages<sup>17</sup> und die Suchfunktion zur Eingrenzung genutzt. Der Verlag als Tochterunternehmen des Deutschen Instituts für Normung ist der Komplettanbieter von internationalen und nationalen Regelwerken in Deutschland (Beuth Verlag, 2016). Weiterhin wurde der Katalog des Vereins Deutscher Ingenieure<sup>18</sup> für die Recherche nach technischen Regeln genutzt.

Über die Volltextsuche in den juristischen Portalen wurden folgende Schlagwörter gesucht: „Smart Home“, „Gebäudeautomation“, „Gebäudesteuerung“ sowie „Technische Gebäudeausrüstung“. Die Suche führte zu Fundstellen in der Energieeinsparverordnung (EnEV), in der „Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI)“<sup>19</sup>, im „Gesetz über die Vergütung von Sachverständigen, Dolmetscherinnen, Dolmetschern, Übersetzerinnen und Übersetzern sowie die Entschädigung von ehrenamtlichen Richterinnen, ehrenamtlichen Richtern, Zeuginnen, Zeugen und Dritten (JVEG)“<sup>20</sup> sowie in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen VOB<sup>21</sup>. Als relevant stellten sich lediglich die Energieeinsparverordnung und die Vergabe- und Vertragsordnung heraus. Nach §1 (2) VOB/B sind die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen nach DIN 18299 „VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art“<sup>22</sup> Bestandteil der Vertragsbedingungen. Darin wiederum wird die DIN 18386 „VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Gebäudeautomation“<sup>23</sup> referenziert. Diese schließlich benennt die Norm DIN EN ISO 16484 „Systeme der Gebäudeautomation (GA)“<sup>24</sup> sowie die VDI-Richtlinie VDI 3813 „Gebäudeautomation (GA) – Raumautomation“<sup>25</sup>.

Die Recherche in den Katalogen des Beuth Verlages und des Vereins Deutscher Ingenieure lieferte zu den oben genannten Suchbegriffen ohne Eingrenzung

---

<sup>16</sup> <http://www.gesetze-im-internet.de>

<sup>17</sup> <https://www.beuth.de>

<sup>18</sup> <https://www.vdi.de/technik/richtlinien/>

<sup>19</sup> [https://www.gesetze-im-internet.de/hoai\\_2013/index.html](https://www.gesetze-im-internet.de/hoai_2013/index.html)

<sup>20</sup> <https://www.gesetze-im-internet.de/jveg/>

<sup>21</sup> <https://dejure.org/gesetze/VOB-A> &  
<https://dejure.org/gesetze/VOB-B>

<sup>22</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-18386/256239735>

<sup>23</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-18386/256239735>

<sup>24</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-16484-1/133383813>

<sup>25</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi\\_3813\\_blat\\_1-gebaeudeautomation\\_ga\\_grundlagen\\_der\\_raumautomation\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3813_blat_1-gebaeudeautomation_ga_grundlagen_der_raumautomation_/)

rund 600 Ergebnisse. Eine Eingrenzung erfolgte auf nationale und internationale Regelwerke sowie auf die Fachgebiete der Technischen Gebäudeausrüstung und Elektrotechnik. Die Zahl der Dokumente konnte so auf etwa 40 reduziert werden. Zur weiteren Eingrenzung wurden nur gültige, also nicht als zurückgezogen deklarierte Normen sowie derzeit im Entwurfsstadium befindliche Normen in die Suche einbezogen. Eine Prüfung anhand der Titel und Inhaltsverzeichnisse führte schließlich zu den folgenden relevanten Normen und Richtlinien:

| <b>Norm</b>      | <b>Abschnitt</b> | <b>Bezeichnung</b>   |
|------------------|------------------|--|
| VDI 3813         |                  | Gebäudeautomation (GA) – Raumautomation  |
|                  | Blatt 1          | Grundlagen der Raumautomation <sup>25</sup>  |
|                  | Blatt 2          | Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen) <sup>26</sup>  |
|                  | Blatt 3          | Anwendungsbeispiele für Raumtypen und Funktionsmakros in der Raumautomation <sup>27</sup>                              |
| VDI 3814         |                  | Gebäudeautomation (GA)   |
|                  | Blatt 1          | Grundlagen <sup>28</sup>   |
|                  | Blatt 2.1        | Planung – Bedarfsplanung, Betreiberkonzept und Lastenheft <sup>29</sup>  |
|                  | Blatt 2.2        | Planung - Planungsinhalte, Systemintegration und Schnittstellen <sup>30</sup>  |
|                  | Blatt 2.3        | Planung - Bedienkonzept und Benutzeroberflächen  |
|                  | Blatt 3.1        | GA-Funktionen - Grundfunktionen <sup>31</sup>  |
|                  | Blatt 4.1        | Methoden und Arbeitsmittel für Planung, Ausführung und Übergabe - Kennzeichnung, Adressierung und Listen <sup>32</sup> |
| DIN EN 15232     |                  | Energieeffizienz von Gebäuden  |
|                  | Teil 1           | Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement <sup>33</sup>   |
| DIN EN ISO 16484 |                  | Systeme der Gebäudeautomation (GA)   |
|                  | Teil 1           | Projektplanung und -ausführung <sup>34</sup>   |
|                  | Teil 2           | Hardware <sup>35</sup>   |

<sup>26</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi\\_3813\\_blat\\_2-gebaeudeautomation\\_ga\\_raumautomationsfunktionen\\_ra\\_funktionen\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3813_blat_2-gebaeudeautomation_ga_raumautomationsfunktionen_ra_funktionen_/)

<sup>27</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi\\_3813\\_blat\\_3-gebaeudeautomation\\_ga\\_anwendungsbeispiele\\_fuer\\_raumtypen\\_und\\_funktionsmakros\\_in\\_der\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/vdi_3813_blat_3-gebaeudeautomation_ga_anwendungsbeispiele_fuer_raumtypen_und_funktionsmakros_in_der_/)

<sup>28</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdi\\_3814\\_blat\\_1-gebaeudeautomation\\_ga\\_grundlagen\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdi_3814_blat_1-gebaeudeautomation_ga_grundlagen_/)

<sup>29</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdi\\_3814\\_blat\\_21-gebaeudeautomation\\_ga\\_planung\\_bedarfsplanung\\_betreiberkonzept\\_und\\_lastenheft\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdi_3814_blat_21-gebaeudeautomation_ga_planung_bedarfsplanung_betreiberkonzept_und_lastenheft_/)

<sup>30</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdi\\_3814\\_blat\\_22-gebaeudeautomation\\_ga\\_planung\\_planungsinhalte\\_systemintegration\\_und\\_schnittstel\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdi_3814_blat_22-gebaeudeautomation_ga_planung_planungsinhalte_systemintegration_und_schnittstel_/)

<sup>31</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdi\\_3814\\_blat\\_31-gebaeudeautomation\\_ga\\_ga\\_funktionen\\_grundfunktionen\\_/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdi_3814_blat_31-gebaeudeautomation_ga_ga_funktionen_grundfunktionen_/)

<sup>32</sup> [https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf\\_vdi\\_3814\\_blat\\_41-gebaeudeautomation\\_ga\\_methoden\\_und\\_arbeitsmittel\\_fuer\\_planung\\_ausfuehrung\\_und\\_u/](https://www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_vdi_3814_blat_41-gebaeudeautomation_ga_methoden_und_arbeitsmittel_fuer_planung_ausfuehrung_und_u/)

<sup>33</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-15232-1/259316432>

<sup>34</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-16484-1/133383813>

<sup>35</sup> <https://www.beuth.de/de/norm-entwurf/din-en-iso-16484-2/254559382>

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Teil 3   | Funktionen <sup>36</sup> |
| Teil 5: Datenkommunikationsprotokoll <sup>37</sup> |                          |

Tabelle 1: Liste der für die Arbeit relevanten Normendokumente

### 2.2.1. Einordnung der wissenschaftlichen Quellen

Das Ziel der Arbeit ist ein generischer Ansatz über die Planung und Identifikation von Automatisierungs- und Steuerungsfunktionen in einem Raum respektive einem Gebäude. Dieser soll um die Ebene des Internet of Things erweitert werden. Dementsprechend wurde die Auswertung der Quellen nach der Recherche auf diese zwei Bereiche ausgerichtet.

Im ersten Bereich, dem Thema Gebäudeautomation, lassen sich die Quellen in drei Kategorien einteilen: in die erste Kategorie fallen Arbeiten, die Ansätze für eine Automatisierung liefern. Dies umfasst zum Beispiel Vorschläge für Benutzerinterfaces, Lösungen für Menschen mit besonderen Herausforderungen oder bisher noch nicht umgesetzte Sensor-Aktor-Beziehungen. Hier steht in erster Linie die Auseinandersetzung mit der technischen Ausführung eines spezifischen Anwendungsfalls im Vordergrund. Angetrieben werden diese Forschungsprojekte zum größten Teil durch Entwicklungen aus dem Internet of Things (vgl. Bejarano, Fernandez, Jimeno, Salazar & Wightman, 2016, S. 109).

Die zweite Kategorie befasst sich im weitesten Sinne mit Energiemanagement, der Einbindung in das Smart Grid (d.h. intelligente Stromnetze) und die Evolution der Systeme. Auffällig an beiden Kategorien ist, dass es eine Vielzahl an Forschungsprojekten gibt, die ähnlich vorgehen und für sehr spezifische Anwendungsfälle eine Lösung bieten. Sie haben daher den Charakter von Insellösungen. Die Integration in ein Gesamtsystem oder übergeordnetes System bleiben darin unbedacht. Ebenso gibt es angesichts einer Nutzungsdauer von Gebäuden von mehreren Jahrzehnten (f:data GmbH, 2018) dennoch keine Überlegungen zur dauerhaften und langfristigen Anwendung.

Die dritte Kategorie schließlich beinhaltet Arbeiten, die sich mit Gebäudeautomation befassen, die auf den oben vorgestellten internationalen Normen beruhen. Domingues et al. bieten hier einen umfassenden Überblick über Konzepte und Technologien von Automationssystemen (Domingues et al., 2016). Weitere Forschergruppen stellen Konzepte zur automatischen und softwaregestützten Planung für die Umsetzung vor (Dibowski, Ploennigs & Kabitzsch, 2010; Oezluek, Dibowski & Kabitzsch, 2009; Runde & Fay, 2011). Ein weiteres Thema ist hier die Einbindung in übergeordnete Konzepte und

<sup>36</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-16484-3/84861547>

<sup>37</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-16484-5/277201440>

die Anwendung von Serviceorientierten Architekturen (SOA) (Bejarano et al., 2016; Granzer & Kastner, 2012; Perumal, Ramli & Leong, 2014). Die Einbindung in das Internet of Things bzw. die Anpassung vorhandener Systeme darauf wird ebenfalls behandelt (Jung et al., 2012; Schachinger & Kastner, 2016a; Seifried, Gridling & Kastner, 2017).

Im zweiten Bereich stehen die Definitionen und strukturellen Eigenschaften des Internet of Things im Fokus. Die Beiträge lassen sich auch hier in Kategorien einordnen. Ein großer Teil der Arbeiten befasst sich einerseits mit Fallstudien und konkreten Ansätzen zur Umsetzung spezifischer Anwendungen im Bereich des Internet of Things. In der zweiten Kategorie betrachten die Forscher in Meta-Studien die Entwicklung des Forschungsgebietes insgesamt und versuchen sich an der Deutung des aktuellen Forschungsstands. Die Autoren behandeln unter anderem die unterschiedlichen Ansätze der Strukturierung in Ebenen sowie Beiträge zu Serviceorientierten Architekturen (Atzori, Iera & Morabito, 2010; Xu, He & Li, 2014). Ebenso werden die Technologien und Ansätze für verteilte Rechenleistung und zur Sicherheit betrachtet (Lin et al., 2017). sowie Anwendung und Performance von Webstandards bei der Datenübertragung (Mainetti, Patrono & Vilei, 2011; Su, Riekkilä, Nurminen, Nieminen & Koskimies, 2015).

### **2.2.2. Einordnung von Normen und Richtlinien**

Für die Entwicklung des Frameworks im Kapitel 3 ist der Zugriff auf Normen aus der Baubranche notwendig. Normen sind keine wissenschaftlichen Beiträge, jedoch als Ergebnis eines breiten Aushandlungsprozesses relevante Dokumente. Hevner bewertet die Einbindung von Einflüssen aus anderen als rein wissenschaftlichen Quellen für eine multi-paradigmatische Forschungsarbeit sogar als zu bevorzugende Vorgehensweise, um Ideen für die Anwendung von Design Science Research zu entwickeln (Hevner, 2007, S. 90). Dennoch gilt es die Relevanz dieser Quellen einzuordnen.

Die Zusammenarbeit zwischen Bauherren, Planern und Handwerkern bei der Errichtung von Gebäuden basiert auf der Anwendung von Normen und Richtlinien, maßgeblich unter Einbeziehung nationaler, europäischer und internationaler Normenkataloge. Ziel ist ein gemeinsames Verständnis über Begriffe und Vorgehensweisen (Verein Deutscher Ingenieure, 2011a). Normen sind das Ergebnis eines Abstimmungsprozesses mehrerer Akteure, hauptsächlich aus der wirtschaftlichen Praxis, aus der Technik und der Wissenschaft. Ziele von Normierungsprozessen können sein, die Austauschbarkeit von Geräten zu erleichtern, Qualitätsmaßgaben festzulegen oder Abläufe zu vereinheitlichen. Sie tragen so wesentlich zur Vereinfachung der Interaktion zwischen Akteuren

bei (Voigt, 2018). Für die Anwendung gültige Normen können auf nationaler (DIN-Norm), europäischer (DIN EN-Norm) oder internationaler Ebene (DIN ISO bzw. DIN EN ISO) verabschiedet werden. Auf nationaler Ebene gibt es weitere Interessenverbände, die ähnliche Dokumente verabschieden können. Grundsätzlich sollen Normen in regelmäßigen Abständen einer Überprüfung und ggf. Erneuerung unterzogen werden. Ebenso können Normen auch wieder für ungültig erklärt werden (Hallscheidt et al., 2015).

Normen haben einen Empfehlungscharakter und sind rechtlich nicht zwingend bindend – es sei denn, sie werden durch den Gesetzgeber dementsprechend als bindend festgelegt – dennoch geben sie den Stand der Technik wieder und werden im Zweifel als Basis für Gutachten herangezogen. Wer sich daran orientiert, agiert nach anerkannten Regeln der Technik (Hallscheidt et al., 2015, S. 35). Somit haben diese Dokumente in der Realität doch eine starke Bindungswirkung für Planer, Bauherren und Bauausführende.

Die Auswertung der Quellen ergibt, dass aus den aufgelisteten Normen und Richtlinien für die Bearbeitung des Themas nur ein Teil tatsächlich relevant ist. Für die Modellierung von Prozess- und Planungsabläufen sind dies die VDI-Richtlinien VDI 3813, Blatt 2 und VDI 3814, Blatt 2.1, außerdem die DIN EN ISO 16484, Teil 1: Projektplanung und -ausführung und die DIN EN ISO 16484, Teil 3: Funktionen. Für die Einordnung der energetischen Auswirkungen von Gebäudeautomation ist die DIN EN 15232, Teil 1: Energieeffizienz von Gebäuden relevant.

### **2.3. Domäne Gebäudeautomation**

Die ersten Systeme zur Gebäudeautomation existieren seit Ende der 1980er Jahre und haben sich neben Industrie- und Prozessnetzwerken entwickelt (Sauter, 2010) – eine Einordnung dazu zeigt Abbildung 3. Gebäudeautomation kann die in einem Gebäude üblichen Dienste wie Heizung, Klimatisierung, Lüftung, Beleuchtungssteuerung, Beschattung sowie Sicherheits- und Alarmerungssysteme umfassen – die Aufzählung erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das Ziel ist die automatische Steuerung von elektrischen und mechanischen Systemen über ein gemeinsames Netzwerk. Entsprechende Systeme kommen sowohl in Produktionsstätten, Firmengebäuden, Einkaufszentren, als auch an Schulen, Universitäten und in privaten Wohnhäusern zum Einsatz. Aufmerksamkeit erlangten sie hauptsächlich durch neue Möglichkeiten der Energieeinsparung und durch zentrale Steuerungs- und Überwachungsfunktionen (Domingues et al., 2016).

Die grundlegenden Konzepte der Gebäudeautomation sind in den Normen ISO 16484, Blatt 3 und in der EN 15232 niedergelegt. Domingues et al. sehen für die Definition und Bewertung eines Gebäudeautomationssystems mehrere relevante Aspekte:

- Ebenenarchitektur
- Kommunikationsnetzwerk
- Aktoren / Sensoren / Controller
- Gerätemodell
- Funktionalitäten

Diese fünf Konzepte sollen im Folgenden genauer erläutert werden.

### *Ebenenarchitektur*

Der grundsätzliche Aufbau eines Gebäudeautomationssystems besteht demnach aus drei Ebenen: auf der unteren, räumlich verteilten Ebene – der Feldebene – findet die Interaktion mit den Feldgeräten (Aktoren und Sensoren) statt. Diese Ebene erstreckt sich über ein gesamtes Gebäude. Je nach Anforderung und Größe können mehrere Instanzen des selben Systems miteinander verbunden werden. Auf der Automationsebene findet die Verarbeitung von Messwerten statt, hier werden Steuerungsroutinen abgearbeitet und Alarmmeldungen ausgelöst. Auf der Managementebene werden die Daten aus den darunter liegenden Ebenen angezeigt und zentrale Steuerungsvorgänge ausgelöst. Von hier aus werden die empfangenen Daten weiterverarbeitet und weitergegeben, Trends verfolgt, Meldungen aufgezeichnet und bei Bedarf archiviert (Domingues et al., 2016, S. 2).

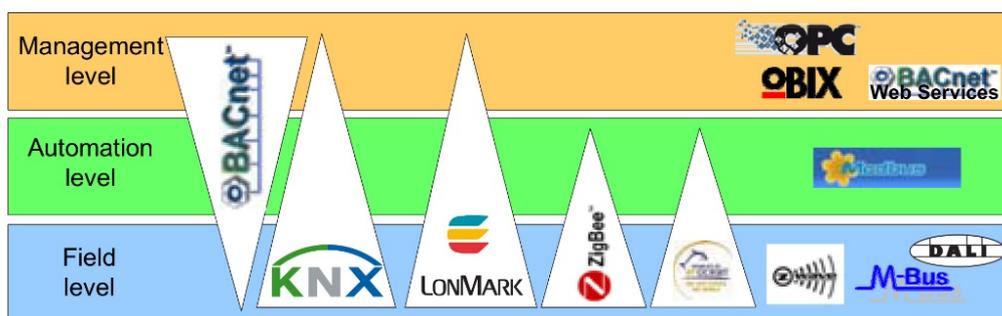


Abbildung 2: Zuordnung von Technologien zum Ebenenmodell (Granzer & Kastner, 2012, S. 291)

Verschiedene Systeme können unterschiedlich stark in die einzelnen Ebenen integriert sein. Neben Systemen, die aufgrund ihrer Funktionen nur einer Ebene zugeordnet werden, existieren ebenso Systeme, die ihre hauptsächliche Anwendung in einer Ebene haben und Funktionen der darüber oder darunter liegenden Ebenen teilweise mit abdecken, wie in Abbildung 2 skizziert. Beispielsweise kann ein System, das hauptsächlich auf der Managementebene

eingesetzt wird, auch Funktionalitäten auf Feldebene erfüllen (Granzer & Kastner, 2012, S. 291).

### Kommunikationsnetzwerk

Sensoren, Aktoren und Controller können in einem Gebäude weiträumig verteilt sein. Zur Verbindung der Komponenten kommt ein Feldbus zum Einsatz, ein digitaler Datenbus, der mit geringem Materialaufwand und geringen Installationskosten in der Feldebene aufgespannt werden kann. Angeschlossene Geräte kommunizieren ausschließlich digital, was ein Mindestmaß an Rechenleistung bei den angebotenen Geräten voraussetzt. Die Managementebene hingegen basiert auf IP-Netzwerken und kann auch verschiedene Feldbusse zusammenführen. Feldbusse und IP-Netzwerk zusammen werden im Kontext der Gebäudesteuerung auch als „Control Network“ bzw. Steuer-Netzwerk bezeichnet (Domingues et al., 2016, S. 3). Praus et al. nutzen dafür auch den Begriff des „Building Automation Network (BAN)“ (Praus, Kastner & Palensky, 2016).

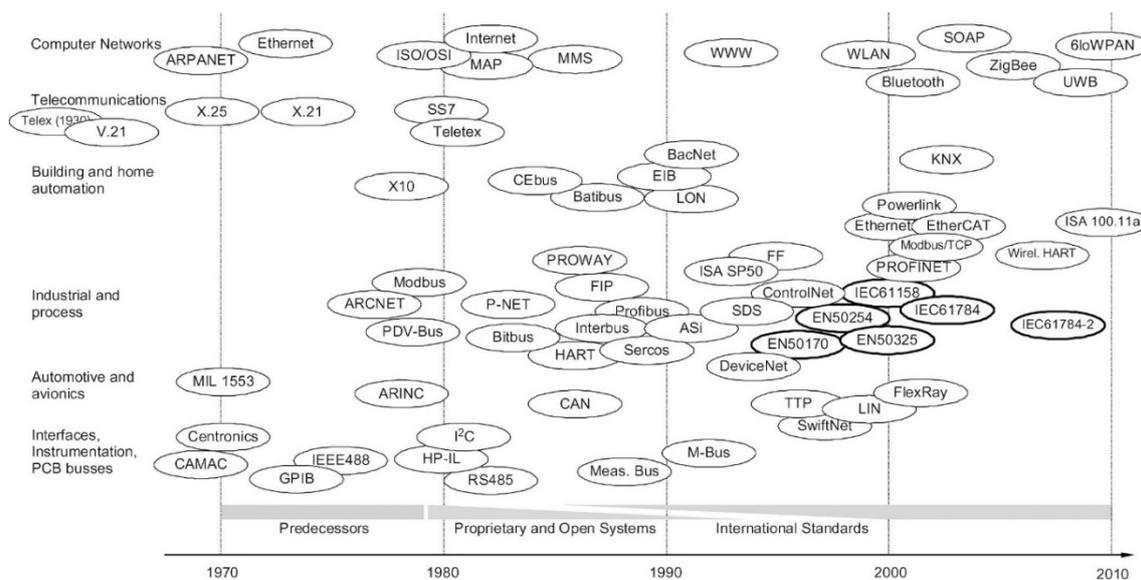


Abbildung 3: Einordnung von Netzwerktypen (Sauter, 2010, S. 3587)

Aus technologischer Sicht orientieren sich Feldbusse eher an Computernetzwerken als an Industrienetzwerken, da sie erst relativ spät entwickelt wurden und an das ISO/OSI Schichtenmodell angelehnt sind, anstatt den häufig proprietären Ansatz von Industrienetzen zu verfolgen (Sauter, 2010, S. 3587). Einer der ersten Feldbusse für die Gebäudeautomation war der X10-Standard, der seit Mitte der 1970er Jahre existiert. Anfang der 1990er Jahre wurden einige der relevantesten Feldbussysteme entwickelt. Als wichtigste offene Standards in diesem Bereich zählen heute LonWorks, KNX (vormals EIB) und BACnet (Sauter, 2010, S. 3588).

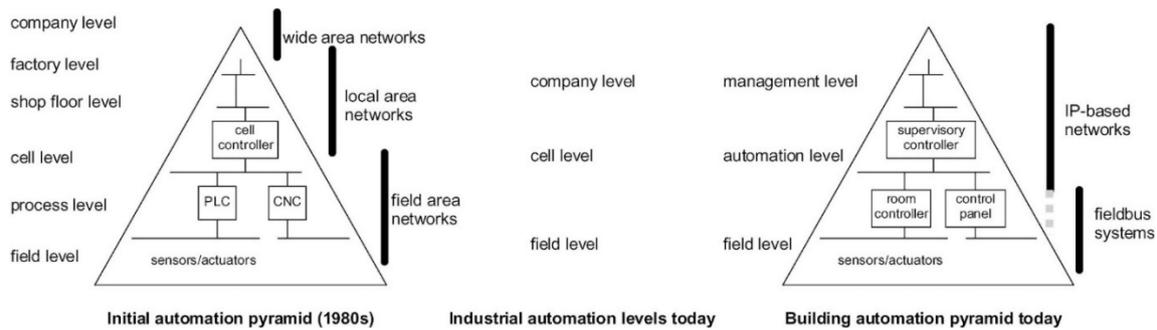


Abbildung 4: Modell der Automationshierarchie (Sauter, 2010, S. 3586)

Abbildung 4 spiegelt die Entwicklung wieder. Wo früher noch separate lokale (und proprietäre) Netze eingesetzt wurden, kommen heute IP-basierte Netze immer häufiger zum Einsatz. Diese Entwicklung setzt sich auch weiter fort. Die Anbindung von Feldbussen direkt an IP-basierte Netze ist mittlerweile der am häufigsten anzutreffende Fall (Sauter, 2010, S. 3586f).

Ein Entwicklungstrend, der sich durchgesetzt hat, ist die Orientierung der Feldbussysteme an etablierten Standards. Wurden diese zu Beginn über alle Kommunikationsebenen komplett neu entwickelt, bauen sie heute auf bereits vorhandene Ebenen des ISO/OSI-Modells auf. Das zeigt sich auch daran, dass die Anbindung an übergeordnete Netze zumeist über Ethernet erfolgt. Auch bei der Entwicklung funkbasierter Lösungen werden bereits existierende Standards verwendet, z.B. IEEE 802.15.4 (Sauter, Soucek, Kastner & Dietrich, 2011, S. 41).

### *Aktoren / Sensoren / Controller*

An den Feldbus angeschlossene Geräte sind im Allgemeinen Aktoren, Sensoren und Controller. Sensoren definieren Domingues et al. als Geräte, die physikalische Zustände in Signale umwandeln und damit messbar machen. Aktoren hingegen reagieren auf Signale und schließen oder öffnen elektrische Stromkreise bzw. steuern auf andere Arten elektrische Lasten. Üblicherweise werden Aktoren nach den physischen Objekten benannt, für deren Steuerung sie eingesetzt werden. Sensoren erhalten ihre Bezeichnung über die physikalische Größe, die sie messen. Für Sensoren wie Aktoren gilt, dass sie neben der Anbindung an die physische Welt über hardwareseitige Anschlüsse verfügen, die zu digitalen Ausgabebefehlen und Eingabeinformationen die jeweiligen elektrischen Signale erzeugen. Die Interaktion zwischen den Geräten wird durch Controller gesteuert. Bei den Aktoren steuern sie die Schaltung der physischen Objekte – seien es Leuchten, Motoren oder andere Lasten – gemäß den empfangenen Werten von Sensoren oder nach Befehlen aus dem System. Sie stellen damit die logischen Objekte bereit, deren Werte gelesen werden

können oder denen ein neuer Wert zugewiesen werden kann. Neben verschiedenen Arten von Controllern als Kombination aus Hardware und eingebettetem Programmcode, gibt es auch die Möglichkeit, dies in Kombination aus Computer und Software auf der Managementebene zu zentralisieren und damit auch komplexere Steuervorgänge auszulösen (Domingues et al., 2016, S. 4).

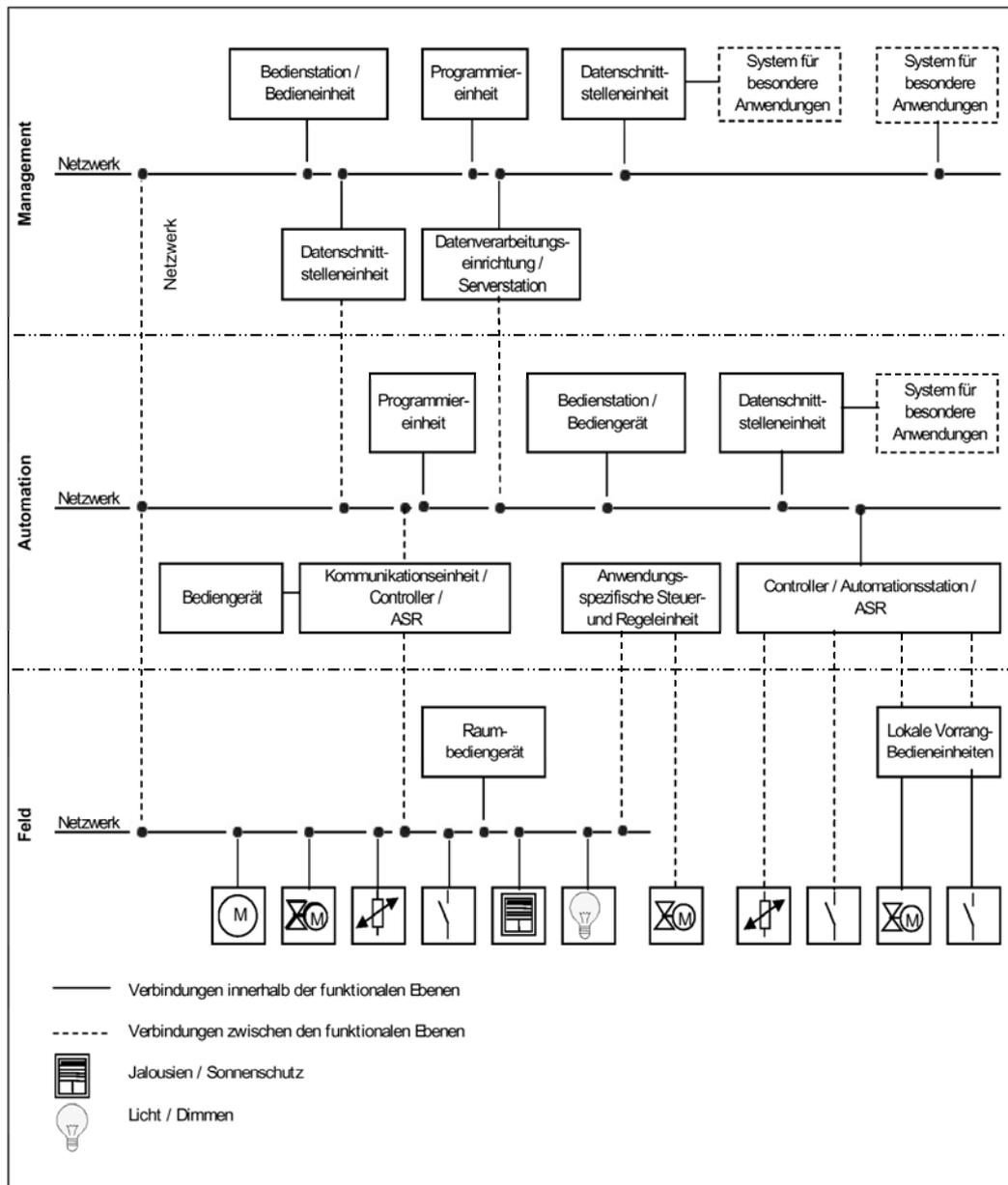


Abbildung 5: Schematische Darstellung von Anordnung und Verbindungen von Geräten in den Ebenen der Gebäudeautomation (International Organization for Standardization, 2004, S. 68)

Eine schematische Darstellung der Anordnung der Geräte in den Ebenen Feldebene, Automationsebene und Managementebene zeigt Abbildung 5. Die als Sensoren und Aktoren deklarierten Geräte sind direkt auf der Feldebene

angeordnet und verfügen über eine direkte Verbindung und einen unmittelbaren Funktionszusammenhang. Erweiterte Funktionen werden über die Anbindung an die Automations- und Managementebene realisiert. Die Anordnung von Bedieneinheiten und Steuereinrichtungen ist dabei nicht ausschließlich auf die Zuordnung zu einer Ebene beschränkt (International Organization for Standardization, 2005, S. 10).

### Gerätemodell

Daraus abgeleitet ergibt sich das Gerätemodell: Ein Gerät im Bereich der Gebäudeautomation weist einen elektrischen Anschluss auf, mit dem es in das System – den Feldbus – integriert wird. Daneben existiert der Anschluss an die Anwendung, d.h. softwareseitig, über den die logische Kommunikation ausgeführt wird. Auf Systemebene wird für jedes Gerät ein Gerätetreiber benötigt, der die elektrischen Funktionen des Gerätes als abstrakte Funktion bereitstellt. Bei einer Ausführung in Hardware heißt das, dass neben dem Modul mit den Anschlüssen an das physische Objekt auch ein Mikrocontroller zum Einsatz kommt, der die Schaltvorgänge oder Sensorwertaufnahmen steuert und logische Schnittstellen bereitstellt, um diese Ein- bzw. Ausgabeports zu beschreiben oder auszulesen. Das Abfragen eines Sensorwertes ist demnach das Lesen einer Variable aus dem Controller, die den physikalischen Eingabewert repräsentiert. Das Steuern eines Aktors hingegen wird erreicht durch das Schreiben eines Wertes in eine Variable, die den Ausgabeport des elektrischen Anschlusses repräsentiert (Domingues et al., 2016, S. 4). Abbildung 6 zeigt schematisch den Aufbau sowohl der Hardware-Seite mit Steuerfunktionen und Konvertierung physikalischer Werte (links) als auch deren Repräsentation im Gebäudeautomationssystem (rechts).

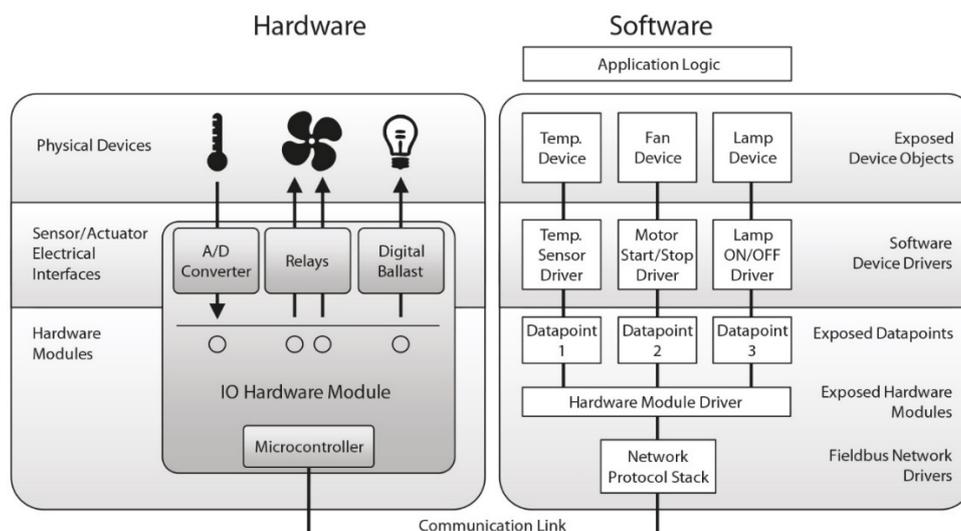


Abbildung 6: Darstellung des Zusammenspiels von Hard- und Software (Domingues et al., 2016, S. 3)

Bei einer Umsetzung in Software werden die elektrischen Signale auf dem Feldbus durch Applikationsschnittstellen erzeugt, um mit den Geräten interagieren zu können. Die Applikationen erzeugen aus den Signalen die entsprechenden Werte in Speichervariablen und stellen sie für andere Softwareanwendungen bereit. Andererseits konvertieren sie Variablenwerte in elektrische Signale, mit denen wiederum die Feldgeräte über den Bus gesteuert werden (Domingues et al., 2016, S. 4f).

Die Verknüpfung zwischen den Geräten – sowohl hardware- als auch softwareseitige – erfolgt über Datenpunkte. Datenpunkte beschreiben eine Entität als ansprechbaren Interaktionspunkt zwischen Kontrollsystem und Geräten. Diese können eine physische Verbindung darstellen, zum Beispiel zwischen einem Sensor und einem Aktor. Sie können aber auch virtuell existieren und Dienste repräsentieren, zum Beispiel Parameter, die die Funktion eines Gerätes beeinflussen, oder berechnete Werte bereitstellen. Datenpunkte verfügen über Interaktionsregeln (Domingues et al., 2016, S. 5; International Organization for Standardization, 2004, S. 19). Typischerweise sind das:

- die Art des Zugriffs:
  - lesender Zugriff gilt im Allgemeinen für Sensoren, um deren Werte abzufragen
  - schreibender Zugriff gilt für Aktoren, um einen Schaltvorgang auszulösen
  - lesender und schreibender Zugriff wird angewendet, um Aktoren einen Befehl zu senden und andererseits den aktuellen Status auszulesen
- der Datentyp, d.h. die Struktur der übertragenen Daten, gegebenenfalls werden hier auch semantische Informationen übertragen, wie die Einheit
- der Ort, der Bereich oder die Zone, dem der Datenpunkt hierarchisch zugeordnet wird, die Strukturierung orientiert sich an den Erfordernissen in Gebäuden
- die Datenrate, d.h. die Häufigkeit, mit der Daten in den Datenpunkt geschrieben oder Werte ausgelesen werden können

Das Konzept der Datenpunkte wird durch die Gebäudeautomationssysteme unterschiedlich umgesetzt. Die Grundlage ist jedoch das „Binding“, wonach Geräte, die dem selben Datenpunkt zugeordnet werden, ihren Zustand gemäß den übertragenen Befehlen auf den Datenpunkt aktualisieren. Zum Beispiel kann ein Datenpunkt einen Schalter und mehrere Leuchtenaktoren miteinander verknüpfen. Wird durch den Schalter ein Signal zum Einschalten auf den Datenpunkt gesendet, aktualisiert jeder der Aktoren für sich den Status und schließt den Stromkreis, um die angeschlossene Leuchte einzuschalten

(Domingues et al., 2016, S. 5). Die Rückinformation über den erfolgten Schaltvorgang durch die Datenpunkte erfolgt über den selben oder separate Datenpunkte.

Die Befehle als Operationen auf den Geräten können eine Änderung des Status repräsentieren oder eine Aktortätigkeit auslösen. Befehle enthalten Parameter (d.h., die Art der Operation, z.B. einen binären Schaltvorgang) sowie Attribute (den Zielwert oder weitere Bedingungen). Befehle können, wie bereits bei dem Konzept des „Binding“ erläutert, Einzelgeräte betreffen oder auch Gruppen von Geräten, die kompatible Anbindungen an Datenpunkte bieten. Kompatibel heißt in dem Fall, dass der Datentyp derselbe ist (Domingues u. a., 2016, S. 6).

### *Funktionalitäten*

Domingues et al. definieren ein Gebäudeautomationssystem somit als ein verteiltes System, das eine computergestützte Kontrolle und Verwaltung von Services in einem Gebäude ermöglicht. Zusammengefasst wird dieses Konzept auch unter dem Begriff „Building Automation and Control System (BACS)“ (Domingues et al., 2016, S. 1).

Die Autoren werten in ihrer Arbeit die Umsetzungen von BACS über die Standards aus und schlussfolgern fünf zentrale Funktionalitäten, die durch ein Gebäudeautomationssystem erfüllt werden sollen:

- die Einordnung in Gruppen / Zonen
- Ereignisbenachrichtigung
- Historisierung von Daten
- Zeitplanung
- Szenarien

Die Gruppierung oder Einordnung von Geräten kommt auf zwei Ebenen zur Anwendung: einerseits durch die Zusammenfassung von Geräten zur Strukturierung, zum Beispiel nach Räumen, Etagen oder logischer Zusammengehörigkeit. Die Grundidee dahinter ergibt sich aus der Beschaffenheit von Gebäuden und orientiert sich an der Strukturierung von Raum in funktionale Bereiche. Eine Zone definiert sich darin über ihren Inhalt und über die an sie angrenzenden Bereiche. Metadaten einer Zone sind die Art der Nutzung, die Verbindung mit und Verschachtelung in anderen Zonen. Diese Einordnung dient vor allem der leichteren Orientierung bei der Repräsentation in Softwaresystemen. Auf der anderen Seite bedeutet Gruppierung die Zusammenlegung in Befehlsgruppen, um Geräte mit kompatiblen Datenpunktzuordnungen ge-

meinsam schalten zu können. Diese Art der Zusammenfassung dient der vereinfachten Ausführung zentraler Funktionen, auch über räumliche Strukturen hinweg (Domingues et al., 2016, S. 6).

Ereignisbenachrichtigungen sind alle informativen Weiterleitungen von Daten, die für einen Nutzer des Systems von Interesse sind, wie Temperaturveränderungen oder Schaltereignisse. Alarme als zweiter Bereich der Ereignisbenachrichtigung weisen auf Ausnahmeereignisse hin, auf mögliche Fehler oder Zustände, die sich außerhalb ihres regulären Gültigkeitsbereichs bewegen. Alarme weisen üblicherweise eine Quelle, eine Schwere des Vorfalls auf und benötigen eine Bestätigung oder setzen sich selbst zurück, sofern der Fehlerzustand nicht mehr gilt (Domingues et al., 2016, S. 7).

Die Datenhistorisierung dient der Nachverfolgung von Prozessabläufen im Gebäude, vor allem für den Fall, dass nur noch wenig Nutzerinteraktion stattfindet. Dazu werden die Ereignisse, Prozesse, Alarme und Nutzereingaben in ihren zeitlichen Verläufen gespeichert. Die Aufzeichnungen können temporär begrenzt sein, da sie nur für einen begrenzten Zeitraum relevant sind. Permanente Datenaufzeichnungen hingegen gelten über den gesamten Lebenszyklus des Systems, daher müssen Vorkehrungen getroffen werden, um die zu erwartenden Datenmengen über die Zeit auch aufzeichnen und speichern zu können. Die Historisierung bietet Zugang zu aussagekräftigen Auswertungen zu relevanten Informationen wie Energiebedarf und Leistungsvorhersagen mit Hilfe von Datenanalysen über die Nutzungszeit und unter Einbeziehung weiterer Informationen (Domingues et al., 2016, S. 7).

Zeitplanungsfunktionen können einerseits einmalig Funktionen auslösen, oder regelbasiert wiederkehrend. Sowohl die Einbettung in Hardwarecontroller ist möglich, als auch softwaregesteuerte Planung. Üblich ist die Einbettung in eine Software auf der Managementebene.

Szenarien als letzte zentrale Funktionalität beschreiben Zielzustände bei Einzelgeräten oder Gruppen, auch mit unterschiedlichen funktionalen Profilen, die durch Befehle ausgelöst werden. Ein Szenarienabruf kann bei Bedarf also Geräte aus mehreren Gewerken in zuvor definierte Zustände versetzen. Szenarien können mit einem Kontext belegt sein, zum Beispiel abhängig von einer Raumbelagung oder nach zeitlichen Vorgaben ausgelöst werden. Zudem können sie sowohl statisch als auch dynamisch angelegt sein, also bei jedem Abruf dieselben Zustände abrufen, oder dynamisch gestaltet werden, und somit abhängig von zusätzlichen Faktoren verschiedene Zustände abrufen. Die zeitabhängige Komponente ist dabei wiederum zweigeteilt: zum einen können Szenarien beim Abruf mit Bezug auf die Tageszeit unterschiedliche Werte

abrufen, zum anderen können bei den Abrufen zeitliche Verzögerungen einbezogen werden (Domingues et al., 2016, S. 8).

Kastner et al. (2005) ordnen die Funktionalitäten der Gebäudeautomation drei Grundkategorien zu, die miteinander verschränkt sind (siehe Abbildung 7): Bedienung, Wartung und Verwaltung des Systems sind über dieselben Schnittstellen verfügbar. Und sie ermöglichen den Zugriff auf die verschiedenen Systembestandteile.

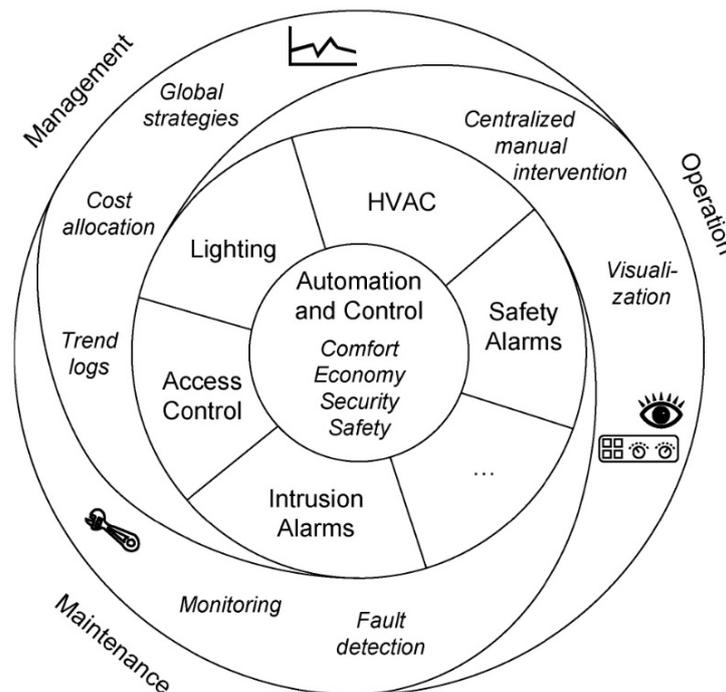


Abbildung 7: Funktionale Aspekte eines BAS (Kastner, Neugschwandtner, Soucek & Newman, 2005, S. 1180)

Die Autoren stellen fest, dass eine große Zahl an herstellerspezifischen Lösungen existiert. Bei den auf Standards basierenden Systemen identifizieren sie folgende Systeme als die hauptsächlich verwendeten und damit relevanten: BACnet<sup>38</sup>, KNX<sup>39</sup>, LonWorks<sup>40</sup>, Modbus<sup>41</sup> als kabelgebundene Systeme. Bei den drahtlosen Systemen zählen sie ZigBee<sup>42</sup> und EnOcean<sup>43</sup> als relevante Systeme auf. (Domingues et al., 2016, S. 3).

Gründe, die bisher einen tatsächlich flächendeckenden Einsatz von Gebäudeautomationssystemen verhindert haben, sehen die Autoren

<sup>38</sup> <http://www.bacnet.org/>

<sup>39</sup> <http://www.knx.org/>

<sup>40</sup> <http://www.lonmark.org/>

<sup>41</sup> <http://www.modbus.org/>

<sup>42</sup> <http://www.zigbee.org/>

<sup>43</sup> <https://www.enocean.com/en/>

- in einer geringen Interoperabilität mit anderen Systemen und einem möglichen Lock-in-Effekt
- im Einsatz von geschlossenen Spezifikationen, die eine weitere Verbreitung verhindern, da der Einstieg für andere Akteure mit Hürden versehen ist
- in einer zu hohen Komplexität für Nicht-Spezialisten
- in einer mangelnden Flexibilität der Systeme, wodurch ein Einsatz außerhalb der spezifizierten Grenzen der Hersteller erschwert wird und
- darin, dass nicht alle Funktionalitäten erfüllt werden, die durch die Anwender erwartet werden.

Allerdings ist festzustellen, dass Serviceorientierte Architekturen (SOA) bzw. Service Frameworks häufig zum Einsatz kommen, um diesen Problemen zu begegnen (Domingues et al., 2016, S. 13). SOA beschreibt Prinzipien und Vorgaben, um Abhängigkeiten zwischen Systemen zu reduzieren und einen höheren Grad an Interoperabilität zu ermöglichen, und dabei auch die zukünftige Verwendbarkeit sicherzustellen (Hersent, Boswarthick & Elloumi, 2011). Dienste sind dabei eine Abstraktion der darunterliegenden Funktionen und werden über das Framework bereitgestellt. Die einzelnen Dienste und Diensteverwender sind dabei nur lose miteinander verbunden, d.h. die Systeme senden Beschreibungen der zur Verfügung gestellten Dienste an einen Vermittler (engl. „Broker“, einen Serverdienst). Diese zur Verfügung stehenden Dienste können von interessierten Empfängern abgefragt und in Anspruch genommen werden (Domingues et al., 2016, S. 12f). SOA agieren somit als Kommunikationsschnittstelle zwischen den Systemen und Client-Applikationen. Durch das Verkapseln der originären Funktionen der Gebäudeautomation und die Bereitstellung als Dienst sind somit auch die Voraussetzungen gegeben, derartige Systeme an das Internet of Things anzubinden (ebd., S. 13). Als Beispiele nennen die Autoren dazu:

- BACnet/WS<sup>44</sup>, eine Client-Server-Architektur, die bereits Schnittstellen für verschiedene Feldbussysteme mitbringt; die Systeme werden mit Knoten („Nodes“) angebunden und bieten verschiedene Dienste („Services“: Lesen, Schreiben, Optionen)
- OPC / OPC UA<sup>45</sup>, ein System das mit Knoten und Bezügen („References“) arbeitet, diese können zum Beispiel Objekte, Variablen oder Methoden sein; Hersteller von Systemen müssen eigene Treiber für OPC entwickeln

---

<sup>44</sup> Webservices sind als Erweiterung zum Standard BACnet 2010 erstmals vorgeschlagen worden und setzen auf die Anwendung eines umfangreichen Kommunikationsprotokolls (American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2010)

<sup>45</sup> Object Linking and Embedding for Process Control (OPC) ist ein komplexer Industriestandard zur Verbindung von Aktoren, Sensoren und Controllern. OPC Unified Architecture (OPC UA) ist ein auf OPC aufbauendes Informationsmodell, das verschiedene Arten von Diensten für die Kommunikation definiert (Mahnke, Leitner & Damm, 2009).

- oBIX<sup>46</sup>, ein Modell, das über Webservices Interoperabilität generiert, Objekte erhalten hier eine URL; die Systeme werden über XML-Elemente und -Attribute beschrieben

Die Autoren stellen fest, dass keiner der vorgestellten Standards die im Abschnitt Funktionalitäten genannten Anforderungen der Normen DIN EN ISO 16484-3 und EN 15232 gänzlich erfüllt. Zum Teil werden die Konzepte ähnlich verstanden, aber doch unterschiedlich implementiert. Durch den hohen Standardisierungsgrad in dem Bereich besteht zudem die Gefahr, die Interoperabilität zwischen Geräten innerhalb der Systeme zu beeinträchtigen, wenn einzelne Hersteller mit proprietären Lösungen funktionale Lücken zu schließen versuchen. Service Frameworks sind aus Sicht der Autoren in solchen Fällen die präferierte Integrationslösung (Domingues et al., 2016, S. 15f).

Eine notwendige Auseinandersetzung für die Integration des Internet of Things besteht auf zwei Ebenen (Domingues et al., 2016, S. 16):

- technisch: wie wird die Übersetzung von Nachrichten zwischen Protokollen und über Netzwerk-Gateways abgewickelt?
- semantisch: wie werden die Konzepte auf Anwendungsebene (der obersten Ebene) zwischen verschiedenen Technologien verstanden und umgesetzt?

Die Autoren äußern die Feststellung, dass es auch hier bisher nur proprietäre Lösungen gibt, um die Anbindung an das Internet of Things zu erreichen. Das Problem der Heterogenität wird dadurch eher noch verstärkt (ebd.).

Wie weiter oben bereits beschrieben, bietet das Konzept der Datenpunkte bereits einen Ansatz für semantische Information. Hier setzen weitere Forschungen an: das Wissen über die Zusammenhänge und Bedeutungen der Daten ist eine notwendige Voraussetzung, um Gebäudeautomation zukünftig besser steuern und verwalten zu können. Durch den Einsatz semantischer Technologien können die Nutzerinteraktionen verringert und die Zuordnung über Systeme hinweg vereinfacht werden (Schachinger & Kastner, 2016b, S. 1073). Die Autoren schlagen dazu die Einführung von Ontologien vor, die ein Gesamtabbild der in der Domäne verfügbaren Informationen beinhalten – angereichert um die semantischen Informationen, die eine Zuordnung der relevanten Funktionen und inhaltlichen wie räumlichen Eigenschaften ermöglichen (Schachinger & Kastner, 2016b, S. 1074). Durch die semantische Zwischenebene wird die Beschreibung von Gebäudefunktionen von der darunterliegenden Technologie entkoppelt. Zudem erfolgt die Kommunikation

---

<sup>46</sup> oBIX ist als plattformunabhängiges Objektmodell ausgelegt und basiert auf Webstandards (OASIS, 2015)

– das Senden von Werten und Empfangen von Steuerbefehlen – über wohldefinierte und offene Schnittstellen (ebd.).

## **2.4. Domäne Internet of Things**

Das Internet of Things ist nahezu überall anzutreffen und betrifft mittlerweile sowohl den Arbeitsbereich als auch den Heimbereich. Es drängt auch in Bereiche wie die Gebäudesteuerung, betreutes Wohnen, Gesundheitsversorgung und Lernumgebungen. Im industriellen Bereich durchdringt es sowohl die Herstellungsprozesse, als auch Logistik und Transport, Geschäfts- und Prozessabläufe (Atzori et al., 2010). Das US-amerikanische National Intelligence Council beschreibt die Vision, dass bis 2025 in einer Vielzahl alltäglicher Dinge Internetknoten verborgen sein könnten, seien es Essensverpackungen, Möbel oder sogar Papierdokumente. Die Chancen für die Wirtschaft sind von unschätzbarem Wert, gleichzeitig könnten die Risiken für die Informationssicherheit die bereits aus dem bisherigen Internet bekannten noch bei weitem übersteigen (SRI Consulting Business Intelligence, 2008).

Ausgangspunkt der Entwicklung des Internet of Things war die Erfindung von RFID-Tags – kleinen Etiketten mit einer eindeutigen ID – welche sich über eine Antenne auslesen lassen und somit die Sichtbarkeit und Nachverfolgbarkeit von Objekten über Netzwerke ermöglichen (Atzori et al., 2010, S. 2). Die tatsächliche Entwicklung und der Erfolg des Konzepts basiert aber auf dem Zusammenspiel von Technologien, Netzwerkstandards und Strukturen (Atzori et al., 2010, S. 4f). Atzori et al. beschreiben das Internet of Things als das Paradigma von einem weltweiten Netzwerk miteinander verbundener Objekte, die eindeutig adressierbar sind und über Standard-Kommunikationsprotokolle miteinander kommunizieren (Atzori et al., 2010, S. 1). Als größte Herausforderung beschreiben die Autoren die Repräsentation und Speicherung der zwischen den Netzwerkknoten ausgetauschten Daten. Und sie stellen fest, dass keine allgemeingültige Ebenenarchitektur für das Internet of Things existiert.

Die Existenz verschiedener heterogener Netzwerke sehen Lin et al. als gegebene Situation an. Die Sicherstellung der Interoperabilität zwischen den Netzen ist für sie essenziell, um das Funktionieren des Internet of Things sicherstellen zu können (Lin et al., 2017, S. 1125). Gleichzeitig erweitern sie den Ansatz der „Dinge“ um den Ansatz, dass nicht nur Geräte und physische Ereignisse, sondern auch Informationen oder Verhaltensweisen als Objekte angesehen werden können.

Ein typischer Ansatz für die Strukturierung von Internet-of-Things-Entwicklungen ist dreiteilig (Lin et al., 2017, S. 1127f). Demnach findet die Interaktion mit der Umwelt auf der Wahrnehmungsebene statt, die Übermittlung der Informationen erfolgt auf der Netzwerkebene, die Verarbeitung und Verwendung der Daten schließlich erfolgt auf der Anwendungsebene.

### *Wahrnehmungsebene*

Auf hierarchisch unterster Ebene, wo Umwelteinflüsse und -auswirkungen stattfinden, befindet sich das „Perception Layer“, die Ebene der Reizaufnahme bzw. Wahrnehmung von Zuständen und Veränderungen. Auf dieser Ebene interagieren physische Objekte mit z.B. RFID-Tags, Sensoren und Aktoren, um die mit den Objekten verbundenen Informationen zu erfassen, zu messen, zu verarbeiten und auf die darüber liegende Ebene zu übertragen. Es entsteht so eine Abbildung der echten Welt im Virtuellen (Atzori et al., 2010, S. 4). Auf dieser Ebene kommen Technologien wie die bereits benannten RFID-Tags, aber auch herkömmliche Barcodes und QR-Codes (2-dimensionale Barcodes) zur Objektidentifizierung und -verfolgung zum Einsatz. Funkbasierte Sensornetze (engl. Wireless Sensor Network, WSN) werden zur flächendeckenden Aufnahme von physikalischen Messwerten, z.B. Umwelteinflüssen, genutzt (ebd.).

Eine Definition der grundlegenden Komponenten liefern Matta et al. (Matta, Pant & Arora, 2017, S. 1307): Die „Things“ sind demnach alltägliche Gegenstände, die mit Elektronik, einer nicht näher spezifizierten Rechenkapazität und einer Kommunikationsschnittstelle ausgestattet sind. Diese Dinge können auffindbar, verwaltbar, beeinflussbar und aus der Entfernung steuerbar sein. Dinge weisen darüber hinaus Attribute auf. Sensoren sind das exponierte Ende des Internet of Things. Sie generieren Daten und transferieren somit physikalische Vorgänge in die digitale Domäne, indem sie „funktionale Energie“ (Matta et al., 2017, S. 1307) in elektrische Signale transformieren. Sensoren können auch multiple Einflüsse aufnehmen. Sie verfügen ebenfalls über eine Kommunikationsschnittstelle, genauso wie Aktoren. Aktoren hingegen reagieren auf elektrische Signale und setzen Funktionen in Gang (ebd.).

### *Netzwerkebene*

Die Netzwerkebene (engl. Network Layer) ist die mittlere Ebene und dafür verantwortlich, die verarbeiteten Informationen aus der darunter liegenden Ebene aufzunehmen, und zu entscheiden, auf welchen Wegen diese weitervermittelt werden, z.B. an einen IoT Hub, andere Geräte oder Softwareapplikationen. An die Netzwerkebene besteht die Anforderung, Daten von oder an

Geräte auch über heterogene Netzwerke, über Schnittstellen oder Gateways und über verschiedene Kommunikationstechnologien und -protokolle hinweg zu übertragen (Lin et al., 2017, S. 1128). Auf dieser Ebene kommen Kurzstrecken-Funknetze für die Verbindung zum Einsatz (engl. Wireless Personal Area Network, WPAN), zum Beispiel ZigBee, Bluetooth und Z-Wave. Als Transportprotokolle haben sich verschiedene Entwicklungen für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation etabliert, unter anderem MQTT<sup>47</sup> und CoAP<sup>48</sup>, die auch auf Geräten mit geringen Rechenkapazitäten eingesetzt werden können (Chaudhary et al., 2017, S. 667f).

### *Anwendungsebene*

Die Anwendungsebene (engl. Application Layer bzw. Business Layer) als übergeordnete Ebene empfängt die Daten und erstellt darüber Dienste und Funktionen. Auf der Anwendungsebene findet auch die Datenspeicherung statt sowie die Datenauswertung.

Die grundlegende dreistufige Architektur kann unter Anwendung des Konzepts der Serviceorientierten Architekturen auch in vier oder fünf Ebenen aufgeteilt werden:

### *Serviceebene*

Hier werden die einzelnen Systeme in funktionale Einheiten aufgeteilt, und in der Serviceebene (engl. Service Layer, bzw. Interface Layer oder Middleware Layer) orchestriert. Dies erleichtert die Aufteilung und Wartung von einzelnen Diensten, erhöht die Flexibilität und ermöglicht auch eine Austauschbarkeit von und zwischen Diensten. Durch die Auflösung komplexer, monolithischer Systeme entsteht so ein Ökosystem einfacher, wohldefinierter Komponenten (Atzori et al., 2010, S. 5). Es existieren auch Ansätze, die mittleren Ebenen in drei Teile aufzuspalten (siehe Abbildung 8): die Serviceebene besteht hier aus der Servicemanagement-Ebene und Ebene der Service-Komposition, demnach wird die Verwaltung der Dienste von der Gestaltung der Abläufe untereinander getrennt (Atzori et al., 2010, S. 6).

---

<sup>47</sup> Das Message Queuing an Telemetry Protocol MQTT verbindet einzelne Datensender und -empfänger über einen Server („Broker“). Einzelne Kommunikationskanäle werden als Themen (engl. Topics) bezeichnet, welche für die Veröffentlichung und den Empfang von Informationen genutzt werden. Sender und Empfänger können diese Themen abonnieren, die Steuerung des Datenflusses übernimmt der Broker. MQTT nutzt TCP für die Verbindung (Chaudhary et al., 2017).

<sup>48</sup> Das Constrained Application Protocol CoAP nutzt das verbindungslose Netzwerkprotokoll UDP für die Kommunikation zwischen Client und Server und nutzt eine ReST-Architektur (Representational State Transfer). Die Identifizierung der Teilnehmer erfolgt über URIs (Uniform Resource Identifier) (Chaudhary et al., 2017).

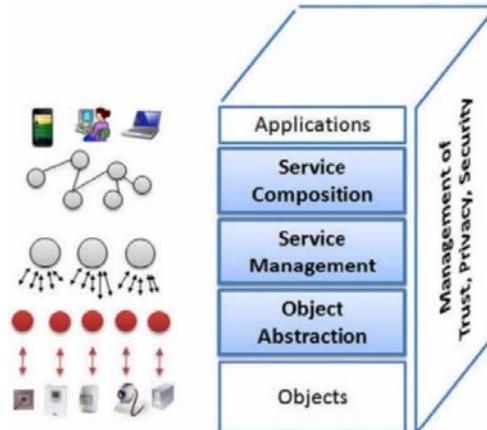


Abbildung 8: 5 Ebenen einer IoT-Architektur mit SOA-basierter Aufteilung der Ebenen (Atzori et al., 2010, S. 6)

Mineraud et al. stellen für die Serviceebene mehrere Eigenschaften als wichtig heraus, um den Anforderungen von Anwendern und Entwicklern gerecht zu werden (Mineraud, Mazhelis, Su & Tarkoma, 2016, S. 2f):

- die Unterstützung heterogener IoT-Geräte, möglichst ohne Bedarf für ein zusätzliches Gateway
- die Auswahlmöglichkeit bei Lizenzen; bei Open-Source-Modellen sehen die Autoren eine schnellere Integration über Anwendungsdomänen hinweg
- die Unterstützung von ReST APIs
- die Umsetzung von Mechanismen zur Datenzugriffskontrolle und
- die Einbindung von Mechanismen zur automatischen Diensterkennung

Die Erfüllung dieser und weiterer Forderungen sehen die Forscher als notwendig an, eine vergleichende Untersuchung von 39 IoT-Plattformen orientierte sich an diesen Faktoren (ebd.).

Die Vision bei Atzori et al. basiert darauf, dass das Internet of Things integraler Bestandteil des zukünftigen Internets ist, in dem zu jeder Zeit, an jedem Ort, über jedes Medium jedes Ding mit anderen Dingen kommunizieren kann und wird – „anytime, anywhere, anymedia, anything“ (Atzori et al., 2010, S. 17). Limitierende Faktoren sind aus Sicht der Autoren die derzeitige Struktur des Internets mit ihrer Host-zu-Host-basierenden Kommunikationsweise. Hier sehen sie einen limitierenden Faktor für das wachsende Datenaufkommen, da Skalierbarkeit und Effizienz nicht gegeben sind (ebd.).

Als zentrale Herausforderungen für die weitere Entwicklung des Internet of Things gelten neben der Einigung auf Standards sowohl in der Kommunikation als auch in der Netzwerkanbindung vor allem Fragen der Sicherheit (Atzori et al., 2010, S. 11): Wie können in einer so heterogenen Struktur Authentizität, Datenintegrität, Datenschutz und auch Datenlöschung gewährleistet werden? Abbildung 8 zeigt daher auch, dass das Thema Vertrauen,

Datenschutz und Sicherheit über alle Ebenen hinweg mit in die Überlegungen zur Architektur einbezogen werden muss.

Ein wesentlicher Entwicklungsschritt für das Internet of Things ist die direkte Verknüpfung der Sensordaten mit semantischen Informationen (Su et al., 2015, S. 1844). Durch die Kodierung der Daten zusammen mit ihrer Bedeutung kann der Empfänger einer Nachricht die Daten direkt verwenden, auch ohne spezifisches Wissen über den Absender. Semantik unterstützt die Kommunikation von „Thing“ zu „Thing“ über ein Netzwerk. Auf der Anwendungsebene steigt die Interoperabilität, da die kommunizierenden Komponenten die Bedeutung der Daten direkt mitliefern. Durch das Hinzufügen von Metadaten erleichtert dieser Ansatz auch die automatische Erkennung von angebotenen Diensten (Su et al., 2015, S. 1856). Als Übertragungsformate kommen unter anderem XML<sup>49</sup>, JSON<sup>50</sup> und RDF<sup>51</sup> in Frage. Durch die Auswahl geeigneter Schemata lassen sich durch so vergleichsweise einfache Datenformate auch die derzeitigen Diskrepanzen zwischen verschiedenen Domänen und Anwendungen überbrücken (Su et al., 2015, S. 1845).

In der Aufteilung und Kapselung von Funktionen – und deren Einbindung in der Serviceebene – sehen Lin et al. noch einen weiteren Vorteil für die zukünftige Entwicklung des Internet of Things: durch das Konzept des Edge-Computing und Fog-Computing sollen Daten auch am „Rand“ des Netzwerks verarbeitet werden.

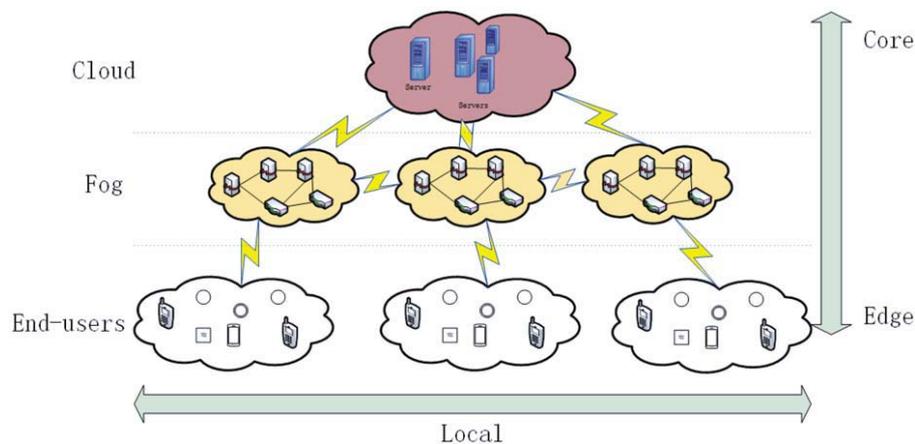


Abbildung 9: Konzept des Fog-/Edge-Computings (Lin et al., 2017, S. 1135)

<sup>49</sup> Extensible Markup Language (XML) strukturiert Daten hierarchisch in Textform und ermöglicht so eine Zuordnung semantischer Informationen zu den Daten (Su et al., 2015).

<sup>50</sup> JavaScript Object Notation (JSON) ist ein Format für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendungen in Textform. Die grundlegenden Formatierungsregeln basieren auf Javascript (Crockford, 2017).

<sup>51</sup> Das Resource Description Framework ist ein Model zur Beschreibung von Metadaten und logischen Aussagen. Es ermöglicht die Anreicherung von Daten um semantische Informationen (Pan, 2009).

Statt Daten an eine zentrale Cloud-Infrastruktur (zentralisierte Server) zu senden, könnte die Architektur verteilt werden und so näher am Nutzer sein. Abbildung 9 zeigt die Einordnung und Struktur des Konzepts. Demnach können aufgrund der Serviceorientierung Dienste auch dezentral bereitgestellt werden. Informationen sollen so schneller und in besserer Qualität zur Verfügung gestellt werden können. In dieser Entwicklung sehen die Autoren die Zukunft des Internet of Things (Lin et al., 2017, S. 1125).

Mit diesen theoretischen Überlegungen als Hintergrund soll nun im folgenden Kapitel ein Framework entwickelt werden, in dem die Ausgestaltung von Gebäudeautomationsfunktionen und das Internet of Things bereits in der Planungsphase miteinander verknüpft werden.

### **3. Entwurf eines generischen Ansatzes für die Integration von Gebäudeautomation & IoT**

In diesem Teil der Arbeit soll die Verbindung der beiden Bereiche Gebäudeautomation und Internet of Things im Vordergrund stehen. Dazu wird in einem ersten Schritt – ausgehend von den theoretischen Ausführungen des vorigen Kapitels – eine Gegenüberstellung von Teilaspekten der beiden Bereiche vorgenommen. In einer kurzen Abgrenzung gegeneinander werden die Grundlagen für die späteren Verbindungspunkte gelegt. Im Abschnitt Planungsablauf werden dann die generischen Planungsschritte einer Gebäudeautomationslösung gemäß den bereits genannten Normen aufgeführt. Hier werden auch die möglichen Anknüpfungspunkte an das Internet of Things identifiziert und mit einer Einordnung für die Umsetzung versehen. Den letzten Teil des Kapitels bildet der überarbeitete Ansatz zur Umsetzungsplanung unter Einbeziehung des Internet of Things.

#### **3.1. Gemeinsame Grundlagen & Vergleich der Modelle**

Aus der Darstellung der beiden Domänen im Kapitel 2 werden Ähnlichkeiten ersichtlich, in Teilen basieren sie auf den selben Technologien (Sauter et al., 2011, S. 41). Auch die Definitionen der Systemkomponenten ähneln sich. Als Grundlage für die Entwicklung des Frameworks im folgenden Kapitel werden hier die sich gleichenden Elemente gegenübergestellt und bilden somit die grundlegende Theorie über beide Domänen:

##### *Ebenenarchitektur*

###### GA

Die Feldebene verbindet Aktoren und Sensoren untereinander sowie mit der Automatisierungsebene, auf der die Verarbeitung von Daten stattfindet und Steuerbefehle ausgelöst werden. Die Funktionen können durch die direkte Verbindung von Sensor und Aktor ausgelöst werden. Die Managementebene dient der Anzeige, Weiterverarbeitung und Anbindung an andere Systeme. Hier werden

###### IoT

Auf der Wahrnehmungsebene befinden sich Sensoren und Aktoren, die über die Netzwerkebene angebunden werden. Die Netzwerkebene verwaltet die Datenübertragung, auch über verschiedene Technologien hinweg. Die Anwendungsebene empfängt die Daten, verarbeitet diese und erstellt daraus weitere Dienste. Steuerungsbefehle an Aktoren werden auf dieser Ebene ausgelöst.

auch zentrale Steuerungsfunktionen ausgelöst.

Die Komponenten des Steuernetzwerks basieren auf Standards.

### *Sensoren & Aktoren*

#### GA

Sensoren nehmen physikalische Zustände auf und generieren daraus Daten und übertragen diese über den Feldbus. Aktoren empfangen Befehle über den Feldbus und schließen Stromkreise oder steuern andere elektrische Lasten.

### *Semantisches Datenmodell*

#### GA

Semantische Informationen sind mit den Datenpunkten verknüpft, denen Aktoren und Sensoren zugeordnet sind. Diese können unter anderem Informationen zu Daten- und Zugriffsart enthalten.

### *Serviceorientierte Architektur*

#### GA

Service Frameworks können Zugriff auf das System über die Managementebene bieten. Interoperabilität wird durch Schnittstellen erreicht und durch Trennung von System und Service.

Die Netzwerkanbindung und Datenübertragung basiert auf Standards.

#### IoT

Sensoren nehmen physikalische Zustände auf oder identifizieren Tags. Aktoren reagieren auf Befehle und setzen diese um. Beide Gerätetypen weisen eigene Rechenkapazitäten auf.

#### IoT

Semantische Daten werden durch die Sensoren zusammen mit den erfassten Daten in einem geeigneten Format übertragen und können damit auch ohne Wissen über die zugrunde liegende Architektur verwendet werden.

#### IoT

Die Serviceebene verbindet verschiedene Arten von Diensten, unabhängig von der Technologie. Sie kann zwischen der Netzwerk- und Anwendungsebene liegen. Sie kann zudem aufgeteilt sein in Servicemanagement und Service-Komposition.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass beide Domänen nach einem ähnlichen Prinzip strukturiert sind und sich in der hierarchischen Zuordnung mit ähnlichen

Ansätzen befassen, diese aber unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Für beide Domänen ist der Einsatz von Komponenten, die einer Standardisierung unterliegen, ein zentrales Thema. Die Strukturierung in Ebenen vereinfacht bzw. ermöglicht erst die Erstellung von Diensten mit einem hierarchischen Aufbau.

### 3.2. Verknüpfungsansatz & Abgrenzung

Lin et al. hingegen beschreiben das Internet of Things als eine Mehr-Ebenen-Architektur, die sich durch ihre Zielsetzung von anderen Systemen unterscheidet. „Cyber-physische Systeme (CPS)“ die Ähnlichkeiten mit dem Internet of Things aufweisen sind in ihrer Gestaltung ausgerichtet auf das System und seine Funktion. Virtuelle und physische Komponenten, ergänzt durch Rechenleistung und Kommunikationsschnittstellen, sind darauf ausgelegt, das System sicher, effizient und intelligent zu steuern und zu überwachen. Für die Autoren steht das System für sich selbst und ist in seiner Architektur daher vertikal ausgelegt. Das Internet of Things dagegen verbindet verschiedene Geräte über unterschiedliche Netze hinweg und erlaubt den Datenaustausch und die Steuerung über diese Netze.

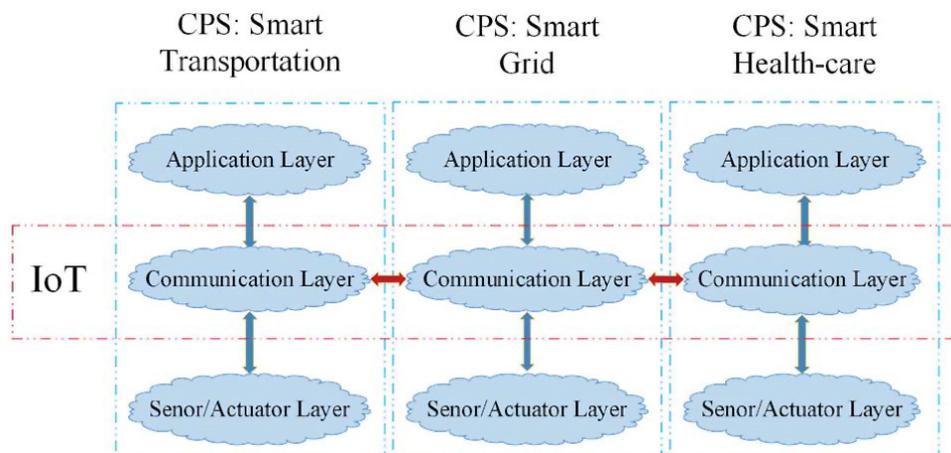


Abbildung 10: Beziehung zwischen IoT und CPS (Lin et al., 2017, S. 1127)

Nach diesem Konzept weist das Internet of Things eine horizontale Architektur auf und verbindet verschiedene Domänen miteinander, ohne die Einheit der Cyber-physischen Systeme zu beeinträchtigen (Lin et al., 2017, S. 1127). Dennoch gilt die zuverlässige und sichere Datenübertragung in Echtzeit für beide Systeme als gemeinsame Anforderung (ebd.). Abbildung 10 veranschaulicht das Konzept der horizontalen und vertikalen Beziehung. Wie das dargestellte System „Smart Grid“ kann auch der Bereich der Gebäudeautomation nach diesem Konzept als Cyber-physisches System angesehen werden.

### 3.3. Planungsablauf in der Gebäudeautomation

Die Planung und Errichtung eines Gebäudes ist aufgrund der Vielzahl der beteiligten Gewerke ein komplexer Prozess (Verein Deutscher Ingenieure, 2017, S. 3). Durch die Anwendung von Systemen zur Gebäudeautomation steigt der Bedarf für eine Abstimmung unter den miteinander zu verbindenden Gewerken, daher muss der Planungsprozess detailliert beschrieben und gleichzeitig herstellerneutral ausgelegt werden (Verein Deutscher Ingenieure, 2011b, S. 7, 2017, S. 2).

In der internationalen Norm DIN EN ISO 16484, Blatt 1 ist der Gesamtprozess als Flussdiagramm abgebildet:

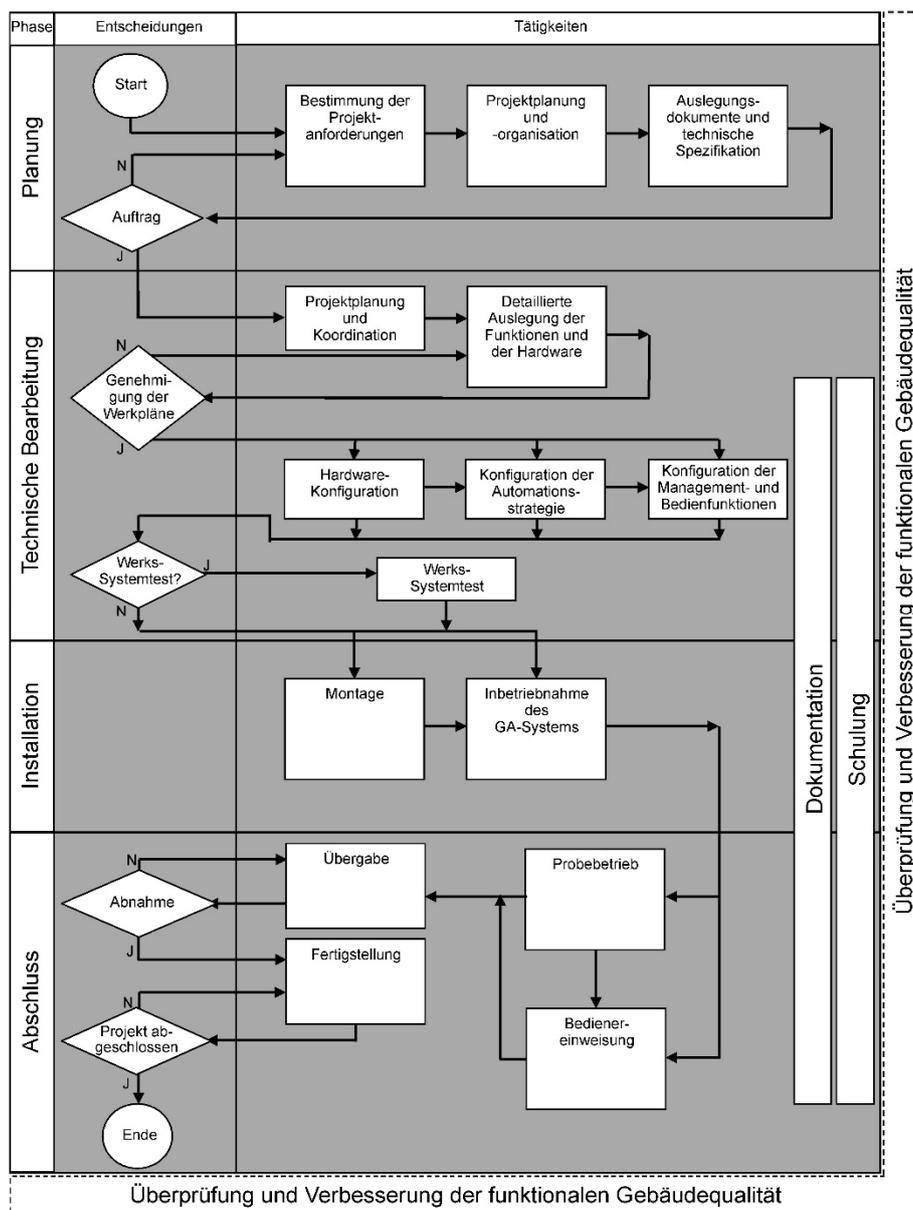


Abbildung 11: Prozess und Ablauf eines Projektes zur Gebäudeautomation (International Organization for Standardization, 2011, S. 10)

Allerdings werden ebenso in den Normblättern DIN EN ISO 16484, Blatt 2 und 3, sowie in den VDI-Normen VDI 3813, Blatt 1 und VDI 3814, Blatt 2.2 Planungsvorgaben aufgestellt. Diese sind nur in Teilen miteinander deckungsgleich, teilweise unterscheiden sie sich lediglich in der Untergliederung von Planungsabschnitten, teilweise folgen sie einer anderen Einordnung.

*Planung der Gebäudeautomation nach DIN EN ISO 16484, Blatt 2*

In der nachfolgenden Tabelle sind die Schritte im Detail dargestellt. In der linken Spalte ist der Prozessschritt notiert, in der zweiten Spalte sind die dazugehörigen Teilschritte aufgeführt. Sofern es Unteraufgaben gibt, sind diese in der dritten Spalte angegeben. Für einen Teil der Aufgaben sind beispielhafte Aufgaben des jeweiligen Schrittes notiert. Die Liste stellt nicht den Gesamtumfang der Unteraufgaben dar.

| <b>Abschnitt</b> | <u>Teilabschnitt</u>        | Unteraufgabe                       | Inhalte / Anmerkungen / Beispiele   |
|------------------|-----------------------------|------------------------------------|---|
| <b>Planung</b>   | <u>Projektanforderungen</u> | Allgemeine Grundlagenermittlung    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebäudestruktur</li> <li>- Gebäudetyp</li> <li>- Gebäudenutzungstyp / -profil</li> <li>- Systemintegrität</li> <li>- Kommunikationsinfrastruktur u. -eigenschaften</li> <li>- Betriebsorganisation u. techn. Dienstleistungen</li> <li>- Energieversorgung</li> <li>- Integration von Gefahrenmeldern / Sicherheitssystemen</li> <li>- Budget</li> <li>- zukünftige Nutzungen</li> </ul>   |
|                  |                             | Integrationsbezogene Anforderungen | <p><i>Überlegungen zur Integration allgemein:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezielle Planer?</li> <li>- Aufgabenverteilung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionalität von Schnittstellen</li> <li>- Integration von Teilsysteme</li> </ul> </li> <li>- Unabhängigkeit von Lieferanten / Herstellern</li> <li>- Energieeffizienz durch interdisziplinäre Bedienung</li> <li>- Kompatibilität</li> <li>- Interoperabilität</li> <li>- funktionale Interaktion</li> <li>- gemeinsam genutzte Infrastruktur</li> </ul> |
|                  |                             |                                    | <p><i>Überlegungen zum Betrieb des Systems</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl u. Typen von Datenpunkten</li> <li>- Informationstiefe</li> <li>- Mensch-Maschine-Schnittstelle</li> </ul>   |

|                               |  |                                    |   |
|-------------------------------|--|------------------------------------|---|
|                               |  |                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- erforderliche Benutzeraktivität</li> </ul>   |
|                               |  |                                    | <p><i>Überlegungen zur Integration von Funktionen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- welches System verarbeitet welche Funktionstypen</li> <li>- Interaktion / Abhängigkeiten / Prioritäten</li> <li>- Verhalten im Störfall</li> <li>- gemeinsam genutzte Datenpunkte</li> </ul> |
|                               |  |                                    | <p><i>Überlegungen zur Integration der Infrastruktur</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Installationsanforderungen</li> <li>- Netzwerkmanagement</li> <li>- Netzwerkkapazität</li> <li>- Verfügbarkeit / Zuverlässigkeit</li> </ul>   |
|                               | <u>Projektplanung und -organisation</u>      |                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwischenziele</li> <li>- Abhängigkeiten zwischen Gewerken</li> <li>- Zeitpläne</li> <li>- Koordination der Systemintegration</li> </ul>  |
|                               | <u>Technische Spezifikation</u>              |                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Normen &amp; Vorschriften</li> <li>- Funktionsbeschreibungen, Funktionsablaufdiagramme oder Zustandsgraphen</li> <li>- Datenpunkte und Funktionen des GA-Systems</li> </ul>  |
|                               | <u>Auftrag</u>                               |                                    | Abstimmung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer über die Planung und Beauftragung der Umsetzung  |
| <b>Technische Bearbeitung</b> | <u>Projektplanung und -koordination</u>      |                                    | Ermitteln und dokumentieren der Anforderungen an die technische Umsetzung   |
|                               | <u>Auslegung von Hardware und Funktionen</u> | Erstellung Montage- und Werkpläne  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschreibung der Systemarchitektur</li> <li>- Datenpunktliste</li> <li>- Liste der GA-Funktionen</li> <li>- Aktualisierte Funktionsbeschreibungen, Diagramme und Graphen</li> </ul>  |
|                               |  | Genehmigung Montage- und Werkpläne |   |
|                               | <u>Konfiguration</u>                         | Hardware                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkabelung der Feldgeräte</li> <li>- Zuweisung von Datenpunkt-Ein- und Ausgängen</li> <li>- Netzwerkeinrichtung und Adressierung</li> <li>- Gerätelisten</li> </ul>   |
|                               |  | Automationsstrategie               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Download und Installation</li> <li>- Dokumentation</li> <li>- Vorbelegung von Parametern mit Standardwerten</li> </ul>   |
|                               |  | Management- und Bedienfunktionen   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzeige von Daten</li> <li>- Anzeige von dynamischen Einblendungen</li> </ul>  |

|                     |                           |   |
|---------------------|---------------------------|---|
|                     |                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarmmeldungen (Gruppierung, Kategorisierung, Filterung, Weiterleitung)</li> <li>- Benutzer- und Zugriffsrechte</li> <li>- Berichtsfunktionen</li> <li>- Zeitprogramme</li> </ul>  |
| <b>Installation</b> | <u>Montage</u>            |   |
|                     | <u>Inbetriebnahme</u>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung der Feldgeräte und Hardware-Verbindungen</li> <li>- Prüfung des Kommunikationssystems, Protokollanalyse</li> <li>- Simulation und Funktionsnachweis der Automationsstrategie</li> <li>- Testbetrieb</li> <li>- Optimierung und Anpassung von Parametern</li> </ul> |
| <b>Abschluss</b>    | <u>Probetrieb</u>         |   |
|                     | <u>Bedienereinweisung</u> |   |
|                     | <u>Fertigstellung</u>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Übergabe</li> <li>- Abnahme und Abnahmeprotokoll</li> </ul>  |

Tabelle 2: Planungsschritte für die Gebäudeautomation (nach International Organization for Standardization, 2004)

Die zentralen Schritte in diesem Entwicklungsprozess sind die Planung der technischen Spezifikationen und die anschließende technische Bearbeitung. Die Ermittlung der Grundlagen kann noch ergebnisoffen in Bezug auf die spätere Umsetzung erfolgen und sowohl technologie- als auch herstellerneutral erfolgen. Erst bei der technischen Bearbeitung werden die Technologien bestimmt, mit denen die gewünschten Funktionen umgesetzt werden sollen. Der Begriff Automationsstrategie ist in diesem Zusammenhang das System oder die Systeme, mit denen die Gebäudeautomation schließlich realisiert wird.

Runde und Fay fassen den Planungsprozess für die Gebäudeautomation hingegen in drei Schritten zusammen und wenden diesen auf die Planung von Raumfunktionen an (Runde & Fay, 2011, S. 723f). Die Planungsschritte lauten danach:

- Anforderungserhebung
- Konzeptentwurf und
- Umsetzungsentwurf.

Die Anforderungserhebung ist der erste Schritt und beginnt mit der Erhebung der Wünsche und Forderungen des Bauherrn. Das Vorgehen orientiert sich dabei an der Struktur des Gebäudes und der ersten Idee zur geplanten Tech-

nischen Gebäudeausrüstung. In sogenannten „Raumbüchern“ werden die Informationen in Form von schriftlich oder tabellarisch formulierten Anforderungen für die weitere Arbeit zusammengestellt.

In der Phase des Konzeptentwurfs werden die Anforderungen ausgewertet und in einer Planung für die Steuerung zusammengeführt. Diese werden in Form von den bereits in der Tabelle benannten Ablaufdiagrammen oder Funktionslisten dargestellt. Darin ist vermerkt, welche Informationen durch einen Sensor erfasst werden und wie diese mit anderen Funktionen verbunden werden.

Im Umsetzungsentwurf werden durch den verantwortlichen Planer Entscheidungen zu den genutzten Technologien getroffen und geeignete Komponenten ausgewählt, um die spezifizierten Funktionen umzusetzen. Die gewählten Komponenten werden dann in Listen zusammengefasst (International Organization for Standardization, 2011; Runde & Fay, 2011, S. 723).

#### *Planung von Raumsteuerungsfunktionen*

Die Anordnung von Funktionen, Geräten und weiteren Komponenten orientiert sich an der Planung in funktionalen Einheiten und Untereinheiten. Ein Raum, für den eine Planung vorgenommen wird, kann demnach selbst mit anderen Räumen in einem Bereich angeordnet sein. Der Raum hingegen kann in Segmente untergliedert sein, die selbst funktionale Einheiten bilden. Verschiedene Bereiche bilden Gebäudeteile oder ein gesamtes Gebäude, mehrere Gebäude eine Liegenschaft (Verein Deutscher Ingenieure, 2011a, S. 8).

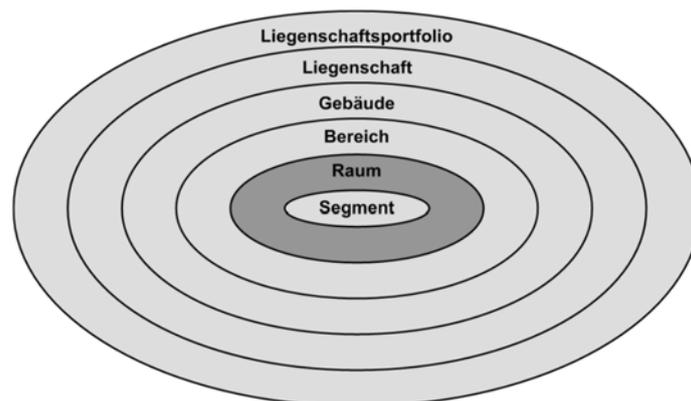


Abbildung 12: Betrachtung des Systems als Schalenmodell (Verein Deutscher Ingenieure, 2011a, S. 8)

Die Abbildung 12 zeigt somit, dass es eine Abgrenzung zwischen den verschiedenen Systemen Raum, Segment, Bereich etc. gibt. Eine funktionale Beziehung zwischen den Systemen kann gegeben sein, zum Beispiel durch eine hierarchische Anordnung der Steuerungsfunktionen, ebenso können die einzelnen Systeme voneinander getrennt betrachtet, geplant und gesteuert werden (ebd.).

Die Funktionalität der Räume in ihrer späteren Anwendung durch die Nutzer bestimmt sich zum größten Teil durch ihre technische Ausstattung. Durch diese können Zielgrößen wie

- Zweckentsprechung
- Wirtschaftlichkeit
- Nachhaltigkeit und
- Produktivität der Nutzer

maßgeblich beeinflusst werden. Die Erreichung dieser Ziele kann durch die Raumautomation erreicht werden, die – wie oben bereits dargestellt – in die Gebäudeautomation integriert sein kann oder separat geplant und ausgeführt werden kann (Verein Deutscher Ingenieure, 2011b, S. 2).

Die in der Gebäudeautomation verfügbaren Funktion werden nach der Norm DIN EN ISO 16484, Blatt 3 in drei Kategorien eingeteilt:

- Ein-/Ausgabefunktionen
- Verarbeitungsfunktionen
- Management- und Bedienfunktionen

Für die Planung von Funktionen auf Raum-, Segment- und Bereichsebene wird diese Zuordnung nach der Norm VDI 3813, Blatt 1 etwas anders gefasst, da Anforderungen auf dieser Ebene von der Betrachtung auf Gebäudeebene abweichen können. Eine Anwendung dieser Kategorisierung auf Gebäudeebene ist aber ebenfalls möglich (Verein Deutscher Ingenieure, 2011a, S. 11):

| <b>Funktionsgruppe der Raumautomationsfunktionen</b> | <b>Beschreibung</b>  | <b>Beispielfunktionen</b>  |
|--|--|--|
| Sensorfunktionen                                     | Überführung physikalischer Größen Ausgabeinformationen       | Präsenzerkennung, Fensterüberwachung, Lufttemperaturmessung, Helligkeitsmessung, Windgeschwindigkeitsmessung, Niederschlagserkennung,  |
| Aktorfunktionen                                      | Überführung von Eingabeinformationen in physikalische Größen | Lichtaktor, Sonnenschutzaktor, Stellantriebsaktor  |
| Anwendungsfunktionen                                 | Die eigentliche Ausführung einer Funktion durch das System   | Lichtschtaltung, Konstantlichtregelung, Luftqualitätssteuerung, Sonnenschutzautomatik, Temperaturregelung, Ventilatorsteuerung, Raumbelungsauswertung, Steuerung der Raumnutzungsart, Trennwandsteuerung |

|                                  |   |  |
|----------------------------------|---|--|
| Bedien- und Anzeige-funktionen   | Darstellung von Zuständen und Interaktion                       | Licht stellen (schalten/dimmen), Sonnenschutz stellen, Antrieb stellen (Heizungsventil), Temperatursollwert stellen, Raumnutzungsart stellen, Präsenz melden                 |
| Service- und Diagnose-funktionen | Überwachung und Meldung von Zuständen und Interaktion           | Wartungsmeldungen, Selbstdiagnose, Fehler-/Störmeldungen   |
| Managementfunktio-nen            | Übergeordnete Funktionen der Auswertung und zentralen Steuerung | Betriebsdatenspeicherung, Ereignis-langzeitspeicherung, Historisierung in Datenbanken, Bedienfunktionen, dynamische Einblendungen, Ereignis-Anweisungen, Nachricht an Extern |

Tabelle 3: Kategorisierung von Raumautomationsfunktionen (Verein Deutscher Ingenieure, 2011a)

Im Folgenden sollen die vorliegenden Planungskonzepte zu einem gemeinsamen Ansatz verbunden werden.

### 3.4. Konsolidierter Planungsablauf und Ansätze für die Einbindung des Internet of Things

Aus den Planungsansätzen, die im vorigen Kapitel zusammengestellt wurden, soll in diesem Schritt ein Planungsprozess entworfen werden, der sowohl die Inhalte der Planung auf Ebene der Gebäudeautomation als auch die Raumautomationsfunktionen abbildet.

| Planungsvorgang   | Integrationsansätze für das Internet of Things  |
|---|---|
| <u>Anforderungserhebung</u>   |   |
| - <u>Gebäude</u>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Allgemeine Angaben</li> <li>- Gebäudetyp</li> <li>- Gebäudestruktur</li> <li>- Gebäudenutzung</li> </ul>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Angaben zur Integration</li> <li>- Vorhandene Gewerke</li> <li>- Zu integrierende Gewerke</li> <li>- Anbindung an Systeme mit besonderen Aufgaben (SBA)</li> <li>- Zentrale Kommunikationsinfrastruktur</li> <li>- Anforderungen an die Managementebene</li> </ul> | <p><i>Offene/ proprietäre Schnittstellen oder ggf. Webservices?</i></p> <p><i>Getrennte Netzwerke für Gebäudeautomation und Kommunikationsnetz?</i></p> <p><i>Direkte Anbindung der GA an Managementebene oder SOA?</i></p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Angaben zur Automation</li> <li>- Funktionsbeschreibungen</li> <li>- Ablaufdiagramme</li> </ul>  |   |

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
|                                      | - Zentrale Funktionen  |  |
| Funktionen                           | - Zentrale Sensordaten<br>- Zentrale Anwendungsfunktionen<br>- Management- und Bedienfunktionen  | <i>Einbindung externer Sensordaten?</i>  |
| <u>- Bereiche / Räume / Segmente</u> |  |  |
| Allgemeine Angaben                   | - Raumnutzungsart<br>- Raumtyp nach Merkmalen<br>- Angrenzende Räume, Segmente und Bereiche  |  |
| Angaben zur Integration              | - Eigenständige Gewerke<br>- Lokale Kommunikationsinfrastruktur<br>- Anforderungen an die Feldebene  | <i>Anbindung PAN, WPAN?</i><br><br><i>Einbindung dynamischer Sensoren oder neuer Funktionen?</i>               |
| Angaben zur Automation               | - Funktionsbeschreibungen<br>- Ablaufdiagramme<br>- Vorrangsteuerungen   |  |
| Funktionen                           | - Sensorfunktionen<br>- Aktorfunktionen<br>- Anwendungsfunktionen<br>- Bedien-/Anzeigefunktionen<br>- Service- und Diagnosefunktionen<br>- Managementfunktionen  |  |
| <u>Technische Spezifikation</u>      | - Funktionsbeschreibungen<br>- Ablaufdiagramme<br>- Zustandsgraphen<br>- Liste der Datenpunkte   | <i>Erweiterung um Merkmal: Lese-/Schreibzugriff für domänenfremde Dienste</i>                                  |
| <u>Technische Bearbeitung</u>        | - Systemarchitektur<br>- Systembeschreibung<br>- Liste der Datenpunkte<br>- Auflistung Gebäudeautomationsfunktionen<br>- Auflistung Raumautomationsfunktionen<br>- Anbindung an SBA und Gewerke<br><br>- Geräte- und Stücklisten<br><br>- Kabel- und Netzwerkplanung | <i>Separate Dienste für IoT oder gemeinsame Middleware?</i><br><i>Auflistung IoT-Geräte und -Technologien?</i> |
| <u>Installation</u>                  | - Montage<br>- Netzwerkeinrichtung und -anbindung  |  |

|                  |   |                      |
|------------------|---|----------------------|
|                  | - Inbetriebnahme                                      |                      |
| <u>Abschluss</u> | - Probetrieb<br>- Bedienerweisung<br>- Fertigstellung | GA getrennt von IoT? |

Tabelle 4: bearbeiteter Planungsablauf für die Gebäudeautomation

Im ersten Schritt des konsolidierten Planungsprozesses steht die Ermittlung von Angaben, die sich auf das gesamte Gebäude beziehen. Dazu gehören Information zu den geplanten Gewerken und zu Systemen mit besonderen Aufgaben (SBA, z.B. Brandmeldeanlagen, Fahrstuhlanlagen) sowie zur vorhandenen und geplanten Netzwerkinfrastruktur. In den Angaben zum Automationsschema werden Funktionsbeschreibungen erfasst, die später zentrale Datenpunkte über Raum- und Bereichsgrenzen hinweg bereitstellen. Als Funktionen werden in diesem Schritt unter anderem raumübergreifende Management- und Bedienfunktionen erfasst.

In ähnlicher Form wird dieser Teil der Anforderungserhebung wiederholt. Dazu ist es notwendig, die Räume und Bereiche des Gebäudes in Gruppen zu betrachten, für die die gleichen Grundannahmen gelten sollen. Die Anforderungserhebung beginnt wieder mit der Erfassung allgemeiner Angaben wie der Art des Raumes, Nutzungszweck, bestimmende Merkmale und die Anordnung zu anderen Räumen und Bereichen. Bei den Angaben für die Integration sind spezifische Eigenheiten zu betrachten, wie Gewerke oder Systeme, die nur in dem Raum anzutreffen sind oder Netzwerke, die bei der gebäudeweiten Erhebung noch nicht erfasst wurden. Die so erhobenen Möglichkeiten der Steuerung und Automatisierung werden in dem bereits erwähnten „Raumbuch“ für die spätere Umsetzung erfasst. Dabei werden die Funktionen nach den verschiedenen Funktionskategorien gemäß der Norm VDI 3813, Blatt 1 eingeordnet.

Um die Integration von Funktionen des Internet of Things bei der Planung zu berücksichtigen, werden in der Anforderungserhebung die beiden Punkte „Anforderungen an die Managementebene“ und „Anforderungen an die Feldebene“ neu aufgenommen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, zusätzliche Bedingungen für die Integration zu bestimmen, z.B. ob ein bestimmtes SOA-Modell bei der Verbindung zwischen Automations-/Feldebene und Managementebene zur Anwendung kommt oder eine direkte Verbindung über eine Schnittstelle zu integrieren sind. Oder ob Sensoren und Eingabefunktionen vorgesehen werden sollen, die über das Gebäudeautomationssystem nicht abgebildet werden können.

Für die Einbeziehung des Internet of Things ergeben sich mehrere Ansätze:

- Nutzung von Schnittstellen zwischen Gewerken und direkte Anbindung an die Managementebene, oder Einsatz eines SOA-Frameworks bzw. einer IoT-Middleware, an der die einzelnen Gewerke angebunden werden
- Anbindung der Funktionen der Gebäudeautomation über separate Kommunikationsnetze oder Integration in die allgemeinen Kommunikationsnetze
- Einbindung externer Sensoren und Datenquellen über Technologien des Internet of Things und Bereitstellung für die Gebäudeautomation
- Anbindung von Sensornetzwerken und PAN/WPAN als veränderbare Datenquelle zusätzlich zu den aus der Gebäudeautomation verfügbaren Sensoren
- Festlegung von Datenpunkten, die für einen Zugriff durch das Internet of Things zugelassen werden können; das kann sowohl lesender Zugriff, schreibender Zugriff oder beides sein
- Die Entscheidung für oder gegen die Nutzung von IoT-Frameworks zur Verbindung der Gewerke untereinander; gegebenenfalls auch die Anbindung proprietärer Systeme über herstellereigene IoT-Anwendungen

Aus der Gegenüberstellung der Systeme in Kapitel 3.2 und den hier entwickelten Ansätzen ergeben sich zwei Möglichkeiten der Integration von Gebäudeautomationssystemen und Anwendungen des Internet of Things:

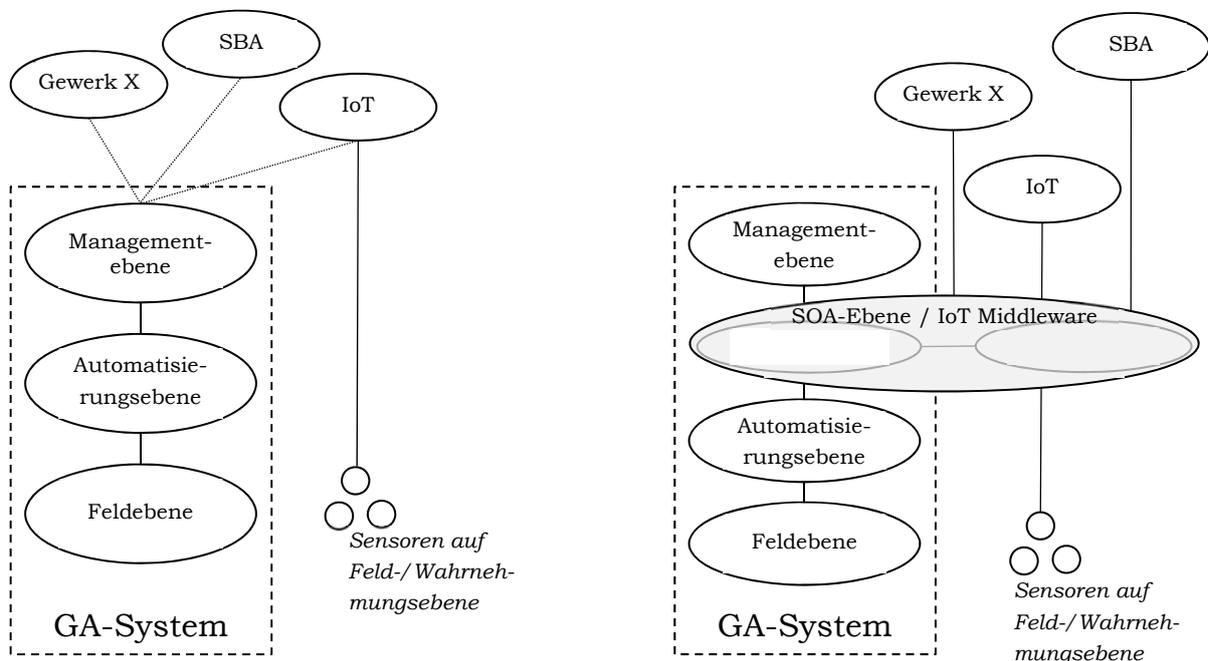


Abbildung 13: Grafische Darstellung zu Integrationsmöglichkeiten von Gebäudeautomationssystemen und Internet of Things

Der erste Ansatz – in Abbildung 13 links abgebildet – bezieht das Internet of Things über eine nicht näher definierte Schnittstelle ein, so wie es auch für

andere Gewerke und Systeme gilt. Die Zuordnung von Funktionen und Einbindung von Informationen aus dem Bereich des Internet of Things erfolgt hier über die Managementebene.

Die rechte Abbildung zeigt den Ansatz der Serviceorientierten Architekturen und bezieht Technologien des Internet of Things als zentrales Architekturmerkmal ein. Die Anbindung der Managementebene an die Automations- und Feldebene erfolgt dabei über die Serviceebene. Um die in Kapitel 3.2 angeführte Integrität des Gebäudeautomationssystems als Cyber-physisches System sicherzustellen, kann es notwendig sein, das Element der Dienstebene für die Gebäudeautomation als eigenständig zu konzipieren und mit weiteren Diensten zu verknüpfen. Die Anbindung der weiteren Gewerke sowie Sensoren und IoT-Dienste kann lose oder fest über die Serviceebene erfolgen.

### 3.5. Gemeinsamer Planungsablauf als generischer Ansatz für die Integration von Gebäudeautomation und Internet of Things

Die Zusammenführung der Überlegungen und der bisher ausgearbeiteten Planungsabläufe ergibt als Gesamtbild folgendes Konzept eines generischen Planungsablaufes für die Gebäudeautomation und Integration des Internet of Things.

| Planungsvorgang                      | Planungsdetails   |
|--------------------------------------|---|
| <u>Anforderungserhebung</u>          |   |
| - <u>Gebäude</u>                     |   |
| Allgemeine Angaben                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebäudetyp</li> <li>- Gebäudestruktur</li> <li>- Gebäudenutzung</li> </ul>   |
| Angaben zur Integration              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorhandene Gewerke</li> <li>- Zu integrierende Gewerke</li> <li>- Anbindung an Systeme mit besonderen Aufgaben (SBA)</li> <li>- Zentrale Kommunikationsinfrastruktur</li> <li>- Anforderungen an die Managementebene</li> <li>- Anforderungen an die Serviceorientierte Architektur</li> </ul> |
| Angaben zur Automation               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionsbeschreibungen</li> <li>- Ablaufdiagramme</li> <li>- Zentrale Funktionen</li> </ul>   |
| Funktionen                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zentrale Sensordaten</li> <li>- <i>Zusätzliche Sensordaten über das Internet of Things / SOA</i></li> <li>- Zentrale Anwendungsfunktionen</li> <li>- Management- und Bedienfunktionen</li> </ul>   |
| - <u>Bereiche / Räume / Segmente</u> |   |
| Allgemeine Angaben                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Raumnutzungsart</li> <li>- Raumtyp nach Merkmalen</li> <li>- Angrenzende Räume, Segmente und Bereiche</li> </ul>   |

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Angaben zur Integration         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigenständige Gewerke</li> <li>- Lokale Kommunikationsinfrastruktur</li> <li>- Anforderungen an die Feldebene</li> <li>- <i>Auflistung zusätzlicher Sensoren und Daten über IoT / SOA</i></li> </ul>   |
| Angaben zur Automation          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionsbeschreibungen</li> <li>- Ablaufdiagramme</li> <li>- Vorrangsteuerungen</li> </ul>  |
| Funktionen                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensorfunktionen</li> <li>- Aktorfunktionen</li> <li>- Anwendungsfunktionen</li> <li>- Bedien- /Anzeigefunktionen</li> <li>- Service- und Diagnosefunktionen</li> <li>- Managementfunktionen</li> </ul>  |
| <u>Technische Spezifikation</u> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionsbeschreibungen</li> <li>- Ablaufdiagramme</li> <li>- Zustandsgraphen</li> <li>- Liste der Datenpunkte <i>inklusive Angabe zu Herkunft der Daten und Zugriffsrechten</i></li> </ul>  |
| <u>Technische Bearbeitung</u>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Systemarchitektur</li> <li>- Systembeschreibung</li> <li>- Liste der Datenpunkte</li> <li>- Auflistung Gebäudeautomationsfunktionen</li> <li>- Auflistung Raumautomationsfunktionen</li> <li>- Auflistung der Gewerke <i>und deren verfügbare Technologien zur Anbindung über SOA</i></li> <li>- Anbindung an SBA und Gewerke</li> <li>- Geräte- und Stücklisten</li> <li>- <i>Auflistung IoT-Technologien und Geräte</i></li> <li>- Kabel- und Netzwerkplanung</li> </ul> |
| <u>Installation</u>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage</li> <li>- Netzwerkeinrichtung und -anbindung</li> <li>- Inbetriebnahme Gebäudeautomation</li> <li>- <i>Inbetriebnahme SOA und IoT-Funktionen</i></li> </ul>   |
| <u>Abschluss</u>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Probetrieb</li> <li>- Bedienerweisung</li> <li>- Fertigstellung</li> </ul>   |

Tabelle 5: generischer Ansatz für die Planung von Gebäudeautomationssystemen unter Einbeziehung des Internet of Things

Die wesentliche Veränderung des Planungsvorgangs gegenüber den vorherigen Planungsabläufen ist die Fokussierung auf die Serviceorientierte Architektur als Bindeglied zwischen dem Gebäudeautomationssystem und den Anwendungen des Internet of Things. Neu eingeführte Planungsschritte sind kursiv dargestellt.

In der Planung muss die zuverlässige Funktion des Systems Gebäudeautomation als zentrale Vorgabe im Mittelpunkt stehen. Die Sicherstellung der Interoperabilität mit anderen Systemen über die Serviceebene steht an zweiter Stelle. Zusätzliche Funktionen und dynamische Dienste, wie die Übermittlung von Daten an Cloud-Dienste oder die Einbindung von externen Sensordaten können als optional geplant werden. Deren Wegfall, aus welchen Gründen auch immer, soll die Funktion des Gebäudeautomationssystems nicht beeinträchtigen. Durch die Abstützung auf eine Serviceorientierte Architektur ist es damit möglich, neue und noch zu entwickelnde Technologien an ein System anzubinden, das auf eine längere Nutzungsdauer ausgelegt ist und besondere Anforderungen an Systemstabilität und Zuverlässigkeit stellt.

## 4. Exemplarische Anwendung des Planungsprozesses

In diesem Abschnitt soll das entworfene Planungsmodell anhand eines theoretischen Anwendungsfalls überprüft werden. Dazu wird in einem ersten Schritt der Anwendungsfall definiert, in Anlehnung an die Anforderungserhebung im Kapitel 3.5.

### 4.1.1. Rahmen & Setting für die Planung

Geplant werden sollen die Funktionen in einem multifunktionalen Raum in einem neu zu errichtenden Gebäude auf dem Campus der Universität Koblenz. Die Gespräche mit dem Bauherrn führen zu den nachfolgenden Ergebnissen.

Das Gebäude soll folgende Eigenschaften aufweisen:

- Gebäudetyp, -struktur und -nutzung:  
Das Gebäude soll als mehrgeschossiges Bürogebäude geplant werden. In Anlehnung an die vorhandenen, ehemaligen Kasernengebäude soll es ein zentrales Treppenhaus geben und Flure, von denen der Zugang zu Büros und Seminarräumen möglich ist.
- Raumtypen und -nutzungsarten:  
Alle Räume sollen ungefähr gleich groß sein und Platz für bis zu 30 Personen bieten. Jeder Raum verfügt über mindestens zwei Fenster. Bei Bedarf können die Räume über Leichtbauwände geteilt werden und als kombinierte Büro- und Besprechungsräume genutzt werden. Sozialräume und Sanitärbereiche bleiben unbeachtet.
- Heizung / Lüftung / Klima:  
Das Gebäude erhält eine eigenständige Heizungsanlage. Für eine Klimaanlage genügt das Budget nicht, allerdings soll aufgrund gesetzlicher Vorgaben eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert werden
- Anbindung an vorhandene Systeme:  
Das Gebäude erhält Zugang zum universitären Netzwerk. Zudem soll es als eigenständiger Bereich an das bereits vorhandene Gebäudesteuerungssystem angebunden werden. Das zentrale System für Transponder-Türschlösser soll auch hier zum Einsatz kommen.

Der zu planende Raum soll ein geteilter Raum sein und folgende Eigenschaften, Funktionen und Geräte aufweisen:

- Nutzbar als Büro, für Besprechungen und für kleine Seminare
- Raumtemperaturfühler & Heizkörper
- Ein Fenster mit Öffnungsüberwachung und Außenjalousie
- Einen Schreibtisch mit Arbeitsplatz-PC und Telefon

- Einen Beamer mit Netzwerkanschluss, eine motorische Leinwand sowie Wandlautsprecher
- Eine dimmbare Deckenleuchte sowie eine schaltbare Beleuchtung am Schreibtisch
- Mehrere schaltbare Steckdosen
- Ein Raumbediengerät (Schalter/Taster)
- Ein Rauchmelder und ein Präsenzmelder an der Decke

Darüber hinaus äußert der Bauherr folgende Wünsche und Bedingungen:

- Um die Produktivität der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu steigern, sollen Dinge wie Raumbeleuchtung und Bedienung möglichst flexibel sein und an die Nutzerwünsche angepasst werden können
- Das Gebäude und die Räume sollen automatisch möglichst viel Energie einsparen, ohne den Komfort für die Nutzer zu beeinträchtigen
- Um für spätere Modernisierungen anderer Gebäude eine Grundlage zu bilden, sollen die Nutzungsdaten möglichst umfassend aufgezeichnet werden und in wissenschaftlichen Projekten ausgewertet werden können
- Der Einsatz neuer Technologien ist gewünscht, vor allem, wenn dadurch weitere Einsparungen erreichbar sind. Die Funktionalität der Grundfunktionen muss aber zu jeder Zeit gewährleistet sein.

#### **4.1.2. Anwendung des Artefakts**

Gemäß dem Planungsprozess ist das Kapitel 4.1.1 gleichzeitig die Anforderungserhebung, aus der im Folgenden ein Vorschlag für die Umsetzung entwickelt werden soll.

Aufgrund der Vorgaben des Bauherrn ist bereits im Planungsprozess die Festlegung auf ein Gebäudeautomationssystem vorgegeben. Zentrale Informationen wie Sonnenstand, Windgeschwindigkeit und Außentemperatur werden durch das auf dem Universitätsgelände bereits vorhandene KNX-Bussystem zur Verfügung gestellt. Damit ergibt sich für die Feldebene die Implementierung folgender Funktionen unter Anwendung dieses Systems:

- Zentral für das Gebäude:
  - Steuerung von Jalousien über Jalousieaktoren, angesteuert über die zentralen Datenpunkte zu Sonnenstand und Windgeschwindigkeit
  - Automatische Beleuchtung der Flure und des Treppenhauses über Bewegungsmelder in den Bereichen
  - Steuerung von Gebäudezuständen und Heizniveaus nach Zeitplänen über die Managementebene von zentraler Stelle
- Für den Raum

- Raumtemperaturerfassung über Raumtemperaturfühler und Regelung über Heizungsaktoren
- Steuerung von Beleuchtung und Steckdosen über Schalt- und Dimmkatoren, die Bedienung im Raum übersteuert zentrale Schaltvorgänge der Managementebene
- Bedienung von Raumfunktionen, Auswahl der Solltemperatur und Auswahl der Raumnutzungsarten (Büroarbeit, Präsentation, Seminar, abwesend) über ein Raumbediengerät
- Automatikfunktionen wie die Deaktivierung der Heizung bei geöffnetem Fenster, die Aktivierung der Notbeleuchtung im Falle eines Feuersalarms oder die Schaltung der Heizung in einen Sparmodus bei Abwesenheit (festgestellt über den Präsenzmelder) oder nach Zeitplan der Managementebene

Um die Integrität des Gebäudeautomationssystems zu wahren und gleichzeitig die Interoperabilität zu gewährleisten, schlägt der Planer eine zweigeteilte Serviceebene vor. Dazu kommt MQTT zum Einsatz. Der Broker ist schematisch zwischen der Automationsebene und Managementebene angebracht. Über eine Schnittstelle werden die Telegramme aus dem Gebäudeautomationssystem in MQTT-Topics übersetzt. Befehle von der Managementebene werden genauso in Telegramme für das Bussystem übersetzt und versendet. Über eine „MQTT-Bridge“, also die Anbindung eines zweiten MQTT-Brokers an den ersten, werden zusätzliche Funktionen ermöglicht. Der Beamer mit Netzwerkanschluss kann über MQTT-Topics eigene Informationen senden und gesteuert werden. Smartphone-Apps können auf freigegebene Topics senden und so flexibel Teile des Gebäudeautomationssystems steuern, ohne das dafür in dessen Programmierung eingegriffen werden muss.

Die Telegramme des Gebäudeautomationssystems werden durch die Anbindung per MQTT automatisch hierarchisch gegliedert, z.B. (OG1/R119/Licht/Licht Decke). Damit ist es möglich, die Daten in einer Datenbank zu sammeln und für spätere Forschungszwecke bereitzuhalten. Eine Weiterleitung der Daten zum Zwecke der Kombination mit anderen Daten für Big-Data-Analysen ist von hier aus leicht umsetzbar.

## 5. Zusammenfassung

Zum Abschluss der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der vorigen Kapitel zusammengefasst und einer Bewertung unterzogen. Zudem werden in diesem Kapitel die Grenzen der Arbeit skizziert und weiterhin offene Fragen angerissen. Nach einer Bewertung über die Erweiterung theoretischen und praktischen Wissens schließt die Arbeit mit einem Ausblick auf weitere Fragen, die im Kontext dieses Themenfeldes relevant sein könnten.

### 5.1. Überprüfung von Forschungszielen und -fragen

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 1.2 entwickelten Fragen daraufhin überprüft, ob sie im Rahmen der Arbeit beantwortet wurden.

RQ 1.1: Welche Anforderungen soll ein Gebäudeautomationssystem erfüllen?

Gebäudeautomationssysteme sollen es ermöglichen, die Komponenten des Systems innerhalb eines Gebäudes gemäß der Struktur zu organisieren. Dies kann in Gruppen und/oder Zonen erfolgen. BAS sollen über Ereignisse und Alarmer informieren, sollen Zugriff auf Datenhistorien bieten sowie Zeitplanung und den Abruf von Szenarien ermöglichen (siehe Seite 25f). Die Auswertung der Quellen hat ergeben, dass selbst die verbreiteten Standards nicht alle Anforderungen erfüllen und daher auf Zusatzfunktionalitäten aufbauen.

RQ 1.2: Wie werden die einzelnen Elemente in einem Gebäudeautomationssystem definiert und eingesetzt?

Sensoren und Aktoren sind die Komponenten, die innerhalb eines Gebäudes verteilt werden. Erstere nehmen Umwelteinflüsse wahr, Letztere führen Schaltvorgänge aus. Controller können einfache Steuerungsfunktionen auslösen. Die Elemente werden in drei Ebenen angeordnet: Sensoren und Aktoren auf der Feldebene, Controller auf der Automationsebene. Auf der Managementebene ist die Integration weiterer Controller, auch als Software möglich (siehe Seite 20f).

RQ 1.3: Für welche Anwendungsfälle ist ein Gebäudeautomationssystem vorgesehen?

Gebäudeautomationssysteme sind aufgrund ihrer technischen Gegebenheiten für die Integration in Räumen, Raumsegmenten, Gebäudebereichen, Gebäuden und Liegenschaften vorgesehen. Sie bieten ein hohes Maß an Flexibilität bei der Steuerung von Funktionen in Gebäuden, sind selber aber nur begrenzt

flexibel bei der Installation, da sie für einen ortsfesten Einbau vorgesehen sind.

RQ 1.4: Welche Systeme haben sich für die Gebäudeautomation etabliert? BACnet, KNX, LonWorks und Modbus gelten bei den kabelgebundenen Systemen als die relevanten Systeme in der Gebäudeautomation. Bei funkbasierten Systemen zählen ZigBee und EnOcean als relevante Systeme (siehe Seite 25f)

RQ 1.5: Welche allgemeinen Prozessabläufe gelten für die Planung und Umsetzung von Gebäudeautomationssystemen?

Wie in Kapitel 3.3 dargestellt, beginnt ein Planungsprozess mit der Anforderungserhebung, darauf folgt eine Planung und technische Bearbeitung der Planung. Diese endet mit einem konkreten Vorschlag für die Umsetzung von Systemen, die anschließend installiert und in Betrieb genommen werden.

RQ 2.1: Wie wird das Internet of Things definiert und strukturiert?

Trotz zahlreicher Forschungsarbeiten ist der Begriff Internet of Things nicht eindeutig definiert. Eine akzeptierte Definition beschreibt es als weltweites Netzwerk miteinander verbundener Objekte, die eindeutig adressierbar sind und über Standardprotokolle miteinander kommunizieren (siehe Seite 30).

RQ 2.2: Wie werden die einzelnen Elemente im Internet of Things definiert und eingesetzt?

Relevante Gegenstände im Internet sind alle, die auf irgendeine Weise erfassbar gemacht werden, das können Dinge sein, die über einen RFID-Tag oder andere Technologien identifizierbar gemacht werden, es können Sensoren sein, die physikalische Messwerte erfassen, oder Aktoren, die auf Befehle reagieren. Diese werden auf der Wahrnehmungsebene eingeordnet und über die Netzwerkebene miteinander und mit darüber liegenden Ebenen verbunden. Auf der Anwendungsebene werden die erfassten Daten weiterverarbeitet und für Dienste verwendet. Eine dazwischen liegende Serviceebene kann die verschiedenen Technologien von den Anwendungen entkoppeln und damit die Entwicklung und Wartung von Systemen und Anwendungen vereinfachen (siehe Seite 31f).

RQ 2.3: Für welche Anwendungsfälle können IoT-Geräte in der Gebäudeautomation vorgesehen werden?

Sensoren und Anwendungen des Internet of Things können eine zusätzliche flexible Komponente bei der Erfassung von Daten und Steuerung von Systemen sein. Da IoT-Anwendungen eher eine horizontale Integration von Systemen vorsehen (siehe Kapitel 3.2), sind sie eher nicht geeignet, Cyber-

physische Systeme wie Gebäudeautomationssysteme zu ersetzen, aber zu ergänzen.

RQ 2.4: Welche IoT-Geräte/-Systeme sind für die Anwendung in der Gebäudeautomation geeignet?

Die Arbeit hat keine Aussage bezüglich besonders geeigneter oder ungeeigneter Systeme hervorgebracht. Vorzüge könnten aber Systemen gegeben werden, die die Maßgaben von Mineraud et al. erfüllen, da hier eine einfachere Integration und ein höheres Maß an Operabilität zu erwarten ist (siehe S. 32f).

RQ 3.1: Welche Schnittmengen gibt es zwischen Gebäudeautomationssystemen und dem Internet of Things?

Die Definitionen von Geräten auf der untersten Ebene sind nahezu identisch. Auch die Architektur mit unten angeordneter Ebene der Sensoren und Aktoren, den Zwischenebenen und der ganz oben angesetzten Management- bzw. Anwendungsebene weist viele Ähnlichkeiten auf (siehe Seite 36f). Das in beiden Domänen anzutreffende Konstrukt der Serviceebene ist die wesentliche Gemeinsamkeit, die eine Verbindung beider Domänen einfacher gestaltbar macht.

RQ 3.2: Wie können Gebäudeautomationssysteme durch das Internet of Things erweitert werden?

Die Entwicklung des Internet of Things hat die Serviceorientierung und semantische Zuordnung von Elementen, Daten und Funktionen vorangetrieben. Ansätze für eine stärker mit Semantiken (und Ontologien) verknüpfte Gebäudeautomation können die Interoperabilität mit domänenfremden Systemen vereinfachen. Ein Ansatz dazu ist auf Seiten 25ff skizziert.

RQ 3.3: Welche Vorteile hat die Verbindung von Gebäudeautomationssystemen mit dem Internet of Things gegenüber einer getrennten Anwendung?

Nutzer erwarten zunehmend die nahtlose Interaktion verschiedener Systeme. Durch die Verknüpfung beider Domänen lassen sich transparente Interaktionskonzepte entwickeln, Daten besser auswerten und mit anderen Daten in Beziehung setzen. Zusätzliche Dienste können entwickelt werden, ohne die Integrität eines Gebäudeautomationssystems zu beeinträchtigen.

RQ 3.4: Wie kann ein Planungsprozess unter Einbeziehung beider Bereiche aufgebaut sein?

Der Planungsprozess bleibt auch unter Einbeziehung des Konzeptes des Internet of Things in die Bereiche Anforderungserhebung, technische Spezifikation und technische Bearbeitung aufgeteilt. Besonderes Augenmerk muss dabei jedoch in jedem Planungsschritt auf mögliche Verbindungspunkte mit dem Bereich IoT gelegt werden (siehe Seite 49f).

## **5.2. Beitrag zu Theorie & Praxis**

Die vorliegende Arbeit hat eine Gegenüberstellung der Domäne Gebäudesteuerung und der Domäne Internet of Things vorgenommen. Dazu war es notwendig, zentrale Konzepte der beiden Domänen zu identifizieren und gegenüberzustellen. Im Rahmen der Erstellung eines Frameworks wurden zudem die typischen Schritte herausgearbeitet, die bei der Planung eines Gebäudesteuerungssystems notwendig sind.

Die zentrale Erkenntnis der Arbeit ist, dass sich Gebäudeautomationssysteme als Cyber-physische Systeme definieren lassen und eine vertikale Integration vorsehen. Die Verknüpfung mit dem Internet of Things erfolgt dagegen horizontal und über Systeme und Kommunikationsebenen hinweg.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Integrität des Systems Gebäudeautomation Vorrang hat vor der Integration zusätzlicher Dienste. Die Stabilität und Zuverlässigkeit der in sich geschlossenen Systeme muss gewährleistet sein. Die Angliederung zusätzlicher Dienste bringt einen Mehrwert und gegebenenfalls Synergieeffekte.

## **5.3. Grenzen der Arbeit**

Nicht betrachtet wurde in der Arbeit die Sicht auf IoT als eigenständiges System für die Gebäudeautomation, obwohl es dazu bereits Ansätze verschiedener Hersteller gibt (z.B. Qivicon<sup>52</sup> oder RWE Smarthome<sup>53</sup>), in denen eine starke Verknüpfung von Geräten vor Ort mit Diensten aus einer Cloud umgesetzt wurde.

Eine zentrale Feststellung der Arbeit ist, dass Normen so offen und systemneutral formuliert sind, dass theoretisch jederzeit bereits eine IoT-Integration möglich wäre. Zu prüfen wären jedoch Anforderungen an Vorgaben zur

---

<sup>52</sup> <https://www.qivicon.com/de/>

<sup>53</sup> <https://www.rwe-smarthome.de>

Nutzungsdauer, die elektrische Sicherheit und Konformität mit weiteren baurechtlichen Regelungen. Das zu prüfen, hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Ebenso wurde das Thema Sicherheit zwar im Kapitel 2.4 angerissen, bei der weiteren Bearbeitung aber nicht betrachtet. Die Maßgabe bei der Auswahl von Systemen sollte demnach sein, nur Implementationen zu wählen, die bereits Sicherheitsfunktionen von vornherein mitbringen – z.B. die Möglichkeit der TLS-Verschlüsselung in der Verbindung zwischen Broker und Clients bei MQTT.

#### **5.4. Zukünftige Arbeiten**

Der nächste Schritt sollte die exemplarische Umsetzung des neu gestalteten Planungsprozesses unter realen Bedingungen sein. Darüber hinaus könnte in einer zukünftigen Arbeit die Absicherung gegen Bedrohungen aus dem IT-Umfeld genauer betrachtet werden.

## 6. Literaturverzeichnis

- American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2010). Proposed Addendum ar to Standard 135-2010, BACnet A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks. Abgerufen von [https://www.ashrae.org/File Library/Technical Resources/Standards and Guidelines/Standards Addenda/135\\_2012\\_ar\\_Final.pdf](https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Addenda/135_2012_ar_Final.pdf)
- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Básaca-Preciado, L. C., Moreno-Partida, A. S., Terrazas-Gaynor, J. M., Ponce, M., López, J., Rodríguez-Quiñonez, J. C., ... Sergiyenko, O. (2017). Home and building automation through social networks. *Conference Proceedings - 2017 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2017*, 0–3. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2017.7977858>
- Bejarano, A., Fernandez, B., Jimeno, M., Salazar, A. & Wightman, P. (2016). Towards the Evolution of Smart Home Environments: A Survey. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 6(3), 105–136. <https://doi.org/10.5875/ausmt.v6i3.1039>
- Beuth Verlag. (2016). Beuth Verlag: Über uns. Abgerufen 28. März 2018, von <https://www.beuth.de/de/beuth-verlag/ueber-uns>
- Byun, J., Jeon, B., Noh, J., Kim, Y. & Park, S. (2012). An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3), 794–802. <https://doi.org/10.1109/TCE.2012.6311320>
- Chaudhary, A., Peddoju, S. K. & Kadarla, K. (2017). Study of Internet-of-Things Messaging Protocols Used for Exchanging Data with External Sources. *Proceedings - 14th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, MASS 2017*, 666–671. <https://doi.org/10.1109/MASS.2017.85>
- Crockford, D. (2017). The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. Abgerufen 12. April 2018, von <http://tools.ietf.org/pdf/rfc8259.pdf>

- Daniels, K. (2000). *Gebäudetechnik: ein Leitfaden für Architekten und Ingenieure* (3. Aufl.). München: Oldenbourg-Industrieverlag.
- Dibowski, H., Ploennigs, J. & Kabitzsch, K. (2010). Automated design of building automation systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(11), 3606–3613. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2032209>
- Domingues, P., Carreira, P., Vieira, R. & Kastner, W. (2016). Building automation systems: Concepts and technology review. *Computer Standards & Interfaces*, 45, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.11.005>
- f:data GmbH. (2018). Nutzungsdauer von Gebäuden. Abgerufen 20. März 2018, von [https://www.bauprofessor.de/Nutzungsdauer von Gebäuden/969aca6a-9f81-4be7-be5c-815d875936db](https://www.bauprofessor.de/Nutzungsdauer%20von%20Geb%C3%A4uden/969aca6a-9f81-4be7-be5c-815d875936db)
- Georgi, D. & Hadwich, K. (2010). *Management von Kundenbeziehungen; Perspektiven - Analysen - Strategien - Instrumente*. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.
- Granzer, W. & Kastner, W. (2012). Information modeling in heterogeneous Building Automation Systems. In *2012 9th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems* (S. 291–300). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WFCS.2012.6242577>
- Hallscheidt, S., Adomeit, N., Manske, T. & Hopf, J. U. (2015). Kleines 1x1 der Normung. Deutsches Institut für Normung e.V. Abgerufen von <https://www.din.de/blob/69886/5bd30d4f89c483b829994f52f57d8ac2/kleines-1x1-der-normung-neu-data.pdf>
- Hersent, O., Boswarthick, D. & Elloumi, O. (2011). *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*. *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*. <https://doi.org/10.1002/9781119958352>
- Hevner, A. R. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19(2), 87–92. Abgerufen von <http://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *Management Information Systems Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>

- International Organization for Standardization. (2004). DIN EN ISO 16484-2:2004-10, Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 2: Hardware. Berlin: Beuth-Verlag.
- International Organization for Standardization. (2005). DIN EN ISO 16484-3:2005-12, Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 3: Funktionen. Berlin: Beuth-Verlag.
- International Organization for Standardization. (2011). DIN EN ISO 16484-1:2011-03, Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 1: Projektplanung und -ausführung. Berlin: Beuth-Verlag.
- Jung, M., Weidinger, J., Reinisch, C., Kastner, W., Crettaz, C., Olivieri, A. & Bocchi, Y. (2012). A transparent IPv6 multi-protocol gateway to integrate building automation systems in the Internet of Things. *Proceedings - 2012 IEEE Int. Conf. on Green Computing and Communications, GreenCom 2012, Conf. on Internet of Things, iThings 2012 and Conf. on Cyber, Physical and Social Computing, CPSCoM 2012*, 225–233. <https://doi.org/10.1109/GreenCom.2012.42>
- Kapetanakis, M. (2015). IoT megatrends 2016: six key trends in the IoT developer economy. Abgerufen 26. März 2018, von <https://www.slashdata.co/reports/iot-megatrends-2016>
- Karnouskos, S. (2011). Crowdsourcing information via mobile devices as a migration enabler towards the SmartGrid. *2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2011*, 67–72. <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2011.6102394>
- Kastner, W., Neugschwandtner, G., Soucek, S. & Newman, H. M. (2005). Communication systems for building automation and control. *Proceedings of the IEEE*, 93(6), 1178–1203. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2005.849726>
- Kuechler, B., Vaishnavi, V. & Petter. (2005). The Aggregate General Design Cycle as a Perspective on the Evolution of Computing Communities of Interest. *Computing Letters*. <https://doi.org/10.1163/1574040054861221>
- Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H. & Zhao, W. (2017). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125–1142. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>

- Mahnke, W., Leitner, S.-H. & Damm, M. (2009). *OPC Unified Architecture*. *OPC Unified Architecture*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68899-0>
- Mainetti, L., Patrono, L. & Vilei, A. (2011). Evolution of wireless sensor networks towards the Internet of Things: A survey. *19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, 1–6. Abgerufen von <https://ieeexplore.ieee.org/document/6064380/>
- Mandurano, J. & Haber, N. (2012). House Away: A home management system. In *2012 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)* (S. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LISAT.2012.6223211>
- Matta, P., Pant, B. & Arora, M. (2017). All you want to know about Internet of Things (IoT). In *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)* (S. 1306–1311). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2017.8229999>
- Mineraud, J., Mazhelis, O., Su, X. & Tarkoma, S. (2016). A gap analysis of Internet-of-Things platforms. *Computer Communications*, 89–90, 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2016.03.015>
- mm1 Consulting & Management. (2015). Smart Home- und AAL-Technologien in der Immobilien- und Wohnungswirtschaft. Abgerufen 23. Februar 2018, von [https://mm1.de/fileadmin/content/Whitepaper/mm1\\_Studie\\_Smart\\_Home\\_in\\_der\\_Wohnungswirtschaft.pdf](https://mm1.de/fileadmin/content/Whitepaper/mm1_Studie_Smart_Home_in_der_Wohnungswirtschaft.pdf)
- OASIS. (2015). OASIS Committee Specification 01: OBIX Version 1.1. Abgerufen 23. Februar 2018, von <http://docs.oasis-open.org/obix/obix/v1.1/cs01/obix-v1.1-cs01.html>
- Oezluek, a. C., Dibowski, H. & Kabitzsch, K. (2009). Automated design of room automation systems by using an evolutionary optimization method. *2009 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2009.5347070>
- Pan, J. Z. (2009). Resource Description Framework. In S. Staab & R. Studer (Hrsg.), *Handbook on Ontologies* (S. 71–90). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>

- Perumal, T., Ramli, A. R. & Leong, C. Y. (2014). SOA-based framework for home and building automation systems (HBAS). *International Journal of Smart Home*, 8(5), 197–206. <https://doi.org/10.14257/ijmue.2014.8.5.18>
- Praus, F., Kastner, W. & Palensky, P. (2016). Software Security Requirements in Building Automation. *Sicherheit*, 217–228. Abgerufen von <https://pdfs.semanticscholar.org/1743/fd915fe1f8343530caeac603d4e7f4d23fa3.pdf>
- Risteska Stojkoska, B. L. & Trivodaliev, K. V. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1454–1464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>
- Runde, S. & Fay, A. (2011). Software Support for Building Automation Requirements Engineering—An Application of Semantic Web Technologies in Automation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 723–730. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166784>
- Sauter, T. (2010). The three generations of field-level networks - Evolution and compatibility issues. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(11), 3585–3595. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2062473>
- Sauter, T., Soucek, S., Kastner, W. & Dietrich, D. (2011). The evolution of factory and building automation. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 5(3), 35–48. <https://doi.org/10.1109/MIE.2011.942175>
- Schachinger, D. & Kastner, W. (2016a). Integration von KNX Netzwerken in das Internet der Dinge: Die KNX Web Services Spezifikation. In *Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation* (S. 1–8). Lemgo.
- Schachinger, D. & Kastner, W. (2016b). Semantics for smart control of building automation. In *2016 IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)* (S. 1073–1078). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2016.7745041>
- Seifried, S., Gridling, G. & Kastner, W. (2017). KNX IPv6: Design issues and proposed architecture. In *2017 IEEE 13th International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)* (S. 1–10). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WFCS.2017.7991951>
- SRI Consulting Business Intelligence. (2008). Disruptive Civil Technologies – Six Technologies with Potential Impacts on US Interests out to 2025.

- Su, X., Riekkilä, J., Nurminen, J. K., Nieminen, J. & Koskimies, M. (2015). Adding semantics to internet of things. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 27(8), 1844–1860.  
<https://doi.org/10.1002/cpe.3203>
- Thomas, M. & McGarry, F. (1994). Top-down vs. bottom-up process improvement. *IEEE Software*, 11(4), 12–13.  
<https://doi.org/10.1109/52.300121>
- Thomasse, J. P. (1999). Fieldbusses and interoperability. *Control Engineering Practice*, 7(1), 81–94.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0661\(98\)00140-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-0661(98)00140-3)
- Vaishnavi, V., Kuechler, B. & Petter, S. (2004). Design Science Research in Information Systems. Abgerufen 5. Februar 2018, von <http://desrist.org/desrist/content/design-science-research-in-information-systems.pdf>
- Vaishnavi, V. & Kuechler, W. (2008). *Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology*. Boca Raton, New York: Auerbach Publications. Abgerufen von <https://www.taylorfrancis.com/books/9781420059335>
- Verein Deutscher Ingenieure. (2011a). VDI 3813, Blatt 1:2011-05, Gebäudeautomation (GA); Grundlagen der Raumautomation Building. Berlin: Beuth-Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2011b). VDI 3813, Blatt 2:2011-05, Gebäudeautomation (GA); Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen). Berlin: Beuth-Verlag.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2017). VDI 3814, Blatt 2.1:2017-07, Gebäudeautomation (GA); Planung Bedarfsplanung, Betreiberkonzept und Lastenheft. Berlin: Beuth-Verlag.
- Verma, N. & Jain, A. (2016). Energy Optimized Building Automation with Guest Comfort in Hospitality Sector. In *2016 Second International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)* (S. 188–192). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/CIPECH.2016.7918764>

- Voigt, K.-I. (2018). Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Norm. Abgerufen 26. März 2018, von <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/norm-39791/version-263192>
- Withanage, C., Ashok, R., Yuen, C. & Otto, K. (2014). A comparison of the popular home automation technologies. In *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT ASIA 2014* (S. 600–605). <https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2014.6873860>
- Xu, L. Da, He, W. & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>
- Zhu, Q., Wang, R., Chen, Q., Liu, Y. & Qin, W. (2010). IOT Gateway: Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things. In *2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing* (S. 347–352). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EUC.2010.58>