



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



BBSR-
Online-Publikation
101/2024

Anforderungen an die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit Gebäudeautomation

von

Prof. Dr.-Ing. Viktor Grinewitschus
Karsten Fransen
Andre Beblek
Simon Jurkschat

Anforderungen an die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit Gebäudeautomation

Grundlagenuntersuchung zur Umsetzung von Art. 14 Abs. 4
und Art. 15 Abs. 4

Das Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ wurde vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) durchgeführt.

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Referat WB 2 „Instrumente zur Emissionsminderung im Gebäudebereich“
Nicolai Domann
nicolai.domann@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

EBZ Business School GmbH, Bochum
Prof. Dr.-Ing. Viktor Grinewitschus
v.grinewitschus@ebz-bs.de

Andre Beblek
a.beblek@ebz-bs.de

Karsten Fransen
k.fransen@ebz-bs.de

Simon Jurkschat
s.jurkschat@ebz-bs.de

Stand

Dezember 2023

Gestaltung

Karsten Fransen
k.fransen@ebz-bs.de

Bildnachweis

Titelbild von ddd0510 auf Pixabay

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Grinewitschus, Viktor; Fransen, Karsten; Beblek, Andre; Jurkschat, Simon, 2024: Anforderungen an die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit Gebäudeautomation: Grundlagenuntersuchung zur Umsetzung von Art. 14 Abs. 4 und Art. 15 Abs. 4. BBSR-Online-Publikation 101/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Summary	7
Literaturrecherche und verordnungsrechtlicher Rahmen	8
Recherche und Zusammenfassung des Status quo	8
Grundlagen und Definition der Gebäudeautomation	10
Normen	12
Richtlinien und Empfehlungen	14
Richtlinie EU 844/2018	14
Anforderungen der EPBD 2018 an die Gebäudeenergieeffizienz	15
Vorgaben der EPBD 2018	15
Artikel 14 und 15 der EPBD 2018	16
Absatz 4 der Artikel 14 und 15 der EPBD 2018	17
Abschätzung der Tragweite der Regelung	18
Ableitung von technischen Spezifikationen zur Umsetzung der EPBD 2018	21
Erarbeitung von Zielgrößen und Kennzahlen zur Ermittlung von Effizienzverlusten und Benchmarking	21
Service Level Agreement – SLA	21
Key Performance Indikatoren – KPI	22
Feldebene	24
Benchmarking	28
Energie- und Anlagenmonitoring	28
Datenerfassung und Qualität	29
Kommunikation und Bussysteme	31
Simulation von GA-Systemen zur Ermittlung des Einsparpotenzials	34
Erarbeitung praxisnaher Szenarien verschiedener Nichtwohngebäude	34
Ermittlung des Einsparpotenzials durch Gebäudeautomationssysteme	37
Simulation der Gebäudeautomation durch Polysun	37
Simulationsergebnisse	38
Einfluss auf die Simulationsergebnisse	40
Vergleich der Simulationsergebnisse mit Referenzwerten der Hersteller und der DIN EN ISO 52120-1	40
Wirtschaftlichkeit von Gebäudeautomationssystemen	42
Investitionskosten	43
Gaspreis	45
Strompreis	46
CO ₂ -Abgabe	47
Finanzielle Vorteile durch Energieersparnisse	48
Durchführung der Annuitätenrechnung	50
Diskussion der Ergebnisse	53
Fazit zu der Wirtschaftlichkeit von Gebäudeautomationssystemen	54
Smart Readiness von GA-Systemen nach den Anforderungen der EPBD 2018	56
Vorschläge zur Anpassung des ordnungsrechtlichen Rahmens	58

Abkürzungen	59
Kurzbiographien	60
Literaturverzeichnis	61
Abbildungsverzeichnis	64
Tabellenverzeichnis	65
Anlagen	66
Anhang A: Simulationsparameter der Gebäudetypen	66
Anhang B: Referenzprojekte verschiedener Hersteller von Gebäudeautomationsanlagen	72

Kurzfassung

Das Forschungsvorhaben „Anforderungen an die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit Gebäudeautomation“ zielte darauf ab, die Grundlagen zur Umsetzung der genannten Anforderungen von Art.14 Abs. 4 und Art. 15 Abs. 4 Richtlinie 2018/844/EU (EPBD 2018) zu erarbeiten.

Hierzu wurden die technischen Spezifikationen abgeleitet und konkretisiert. Die grundlegende Forderung von Art.14 Abs. 4 und Art. 15 Abs. 4 ist, dass Gebäude mit Heiz- oder Klimaanlage mit einer Nennleistung von über 290 kW ab 2025 verpflichtend mit umfangreichen Gebäudeautomationssystemen ausgestattet werden sollen. Die Verpflichtung wird in der EPBD 2018 an die technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit geknüpft. Die EPBD 2018 hat eine eigene Definition von GA-Systemen, welche das technische Monitoring, die Leittechnik, Verbrauchserfassung und Benchmarking sowie Energiemanagementsysteme umfasst.

Zunächst wurde der Wirkungsbereich der EPBD 2018 im deutschen Gebäudebereich beurteilt. Die Grundlage dafür bildete eine Abschätzung der von der Richtlinie betroffenen Gebäude über die Nennwärmeleistung der Feuerungsanlagen von Bestandgebäuden, sowie der durchschnittlichen Gebäudenutzflächen und spezifischen Energieverbräuche.

Die für diesen Gebäudebereich geltenden technischen Spezifikationen wurden abgeleitet und mit Verweis auf europäische und deutsche Richtlinien und Normen erarbeitet. Nennenswert sind Vorgaben bei der Daten- und Verbrauchserfassung, Kommunikations- und Bussysteme und dem Energiemanagement.

Zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit wurden mehrere Typen von Nichtwohngebäuden mit verschiedenen Anlagenkonstellationen und unterschiedlichen Leistungsbereichen untersucht, um zu ermitteln, wann und mit welchen Funktionen der Einsatz eines Systems zur Gebäudeautomatisierung wirtschaftlich ist. Für die Untersuchung wurde das Simulationsprogramm „Polysun“ verwendet, welches es ermöglicht umfangreiche Szenarien anhand von Vorlagen aufzusetzen. Insgesamt wurden fünf Szenarien mit jeweils verschiedenen Gebäudetypen untersucht: Verwaltungsgebäude, Bürogebäude, Schule, Hotel und ein Lebensmittelmarkt. Die Szenarien wurden in Anlehnung an Durchschnittswerte des deutschen Gebäudebestands parametrisiert. Dabei wurden der spez. Energieverbrauch, die spez. Heizlast und die Gebäudenutzflächen aus entsprechenden Statistiken entnommen.

In der Simulation wurden Wärmeverluste durch die Gebäudehülle und Lüftung und Wärmegewinne durch Personen, Geräte und Sonneneinstrahlung berücksichtigt. Die Auswirkungen durch die Gebäudeautomation wurden anhand von Nutzungsprofilen, Sollwerten der Raumtemperatur, Zeitabschaltungen der gebäudetechnischen Systeme (Heizungsanlage, Klimaanlage und Lüftungsanlage) sowie einer automatischen Verschattung simuliert. Die simulierten Energieersparnisse wurden anhand des Vergleichs einer manuell gesteuerten Gebäudetechnik ohne Automatismen und Zeitprogrammen gegenüber einer automatisierten Gebäudesteuerung ermittelt.

Die Wirtschaftlichkeit der Gebäudeautomation wurde nach Vorgaben der EPBD 2018 berechnet. Dabei wurden Investitions- und Wartungskosten den Ersparnissen durch geringere Energiekosten und entfallenden Inspektionen gegenübergestellt und mittels der Annuitätenmethode berechnet. Der Einfluss der Gebäude -ausstattung und -parameter auf die Wirtschaftlichkeit wird dabei ebenfalls untersucht.

Aus den Erkenntnissen der Simulation und der Recherche wurden Vorschläge für den ordnungsrechtlichen Rahmen in Deutschland erarbeitet. Bezogen auf die ordnungsrechtlichen Vorgaben wird die EPBD 2018 vor allem im Gebäudeenergiegesetz (GEG) verankert. Bei der Umsetzung der technischen Vorgaben, durch Artikel 14 und 15 Absatz 4 EBDP 2018, kann auf Richtlinien und Normen verwiesen werden. Besonders relevant sind die DIN EN ISO 50001 für das Energiemanagement, die DIN EN ISO 5120-1 und VDI 3814 bezüglich der Gebäudeautomation, die DIN SPEC 15240 und VDI 2067 für die energetische Bewertung von Gebäuden sowie die AMEV-Empfehlungen zur Hilfestellung bei der Umsetzung, vor allem in öffentlichen Gebäuden.

Summary

The research project "Requirements for equipping non-residential buildings with building automation" aimed to develop the basis for implementing the requirements of article 14 paragraph 4 and article 15 paragraph 4 Directive 2018/844/EU (EPBD 2018).

For this purpose, the technical specifications were derived and concretised. The basic requirement of article 14 paragraph 4 and article 15 paragraph 4 is that buildings with heating or air-conditioning systems with a rated output of more than 290 kW should be equipped with comprehensive building automation systems on a mandatory basis from 2025. The obligation is linked to technical and economic feasibility in the EPBD 2018. The EPBD 2018 has its own definition of GA systems, which includes technical monitoring, control technology, consumption recording and benchmarking, and energy management systems.

First, the scope of the EPBD 2018 in the German building sector was assessed. The basis for this was an estimate of the buildings affected by the directive via the nominal heat output of the combustion systems of existing buildings, as well as the average usable building areas and specific energy consumption.

The technical specifications applicable to this building sector were derived and developed with reference to European and German directives and standards. Worth mentioning are specifications for data and consumption recording, communication and bus systems and energy management.

To test the economic viability, several types of non-residential buildings with different system constellations and different performance ranges were examined to determine when and with which functions the use of a building automation system is economic. The simulation programme "Polysun" was used for the study, which makes it possible to set up extensive scenarios based on templates. A total of five scenarios were examined, each with different building types: Administration building, office building, school, hotel and a food market. The scenarios were parameterised based on average values of the German building stock. The specific energy consumption, the specific heating load and the useful building area were taken from corresponding statistics.

In the simulation, heat losses through the building envelope and ventilation and heat gains through people, appliances and solar radiation were taken into account. The effects due to building automation were simulated using usage profiles, setpoints for room temperature, time shut-offs of the building services systems (heating system, air conditioning and ventilation system) and automatic shading. The simulated energy savings were determined by comparing a manually controlled building technology system without automatisms and time programmes with an automated building control system.

The economic efficiency of building automation was calculated according to the specifications of the EPBD 2018. In the process, investment and maintenance costs were compared with the savings from lower energy costs and the elimination of inspections and calculated using the annuity method. The influence of the building equipment and parameters on the economic efficiency is also examined.

Based on the findings of the simulation and the research, proposals for the regulatory framework in Germany were developed. With regard to the regulatory requirements, the EPBD 2018 is primarily anchored in the Building Energy Act (GEG). For the implementation of the technical requirements, through Articles 14 and 15(4) EPBD 2018, reference can be made to directives and standards. Particularly relevant are DIN EN ISO 50001 for energy management, DIN EN ISO 52120-1 and VDI 3814 regarding building automation, DIN SPEC 15240 and VDI 2067 for the energy assessment of buildings, as well as the AMEV recommendations to assist with implementation, especially in public buildings.

Literaturrecherche und verordnungsrechtlicher Rahmen

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht zum aktuellen Stand der Wissenschaft bezüglich der Wirkung von Gebäudeautomationssystemen auf die Energieeffizienz von Gebäuden. Hierzu wurde EU-weit zu Informationen über Forschungs- und Monitoring-Projekte recherchiert. In diesem Zuge wurden 273 Quellen aus den Jahren 1992 bis 2022 gesichtet und kategorisiert, unter anderem Bücher, Fachzeitschriften, Tagungsbände, Normen etc.

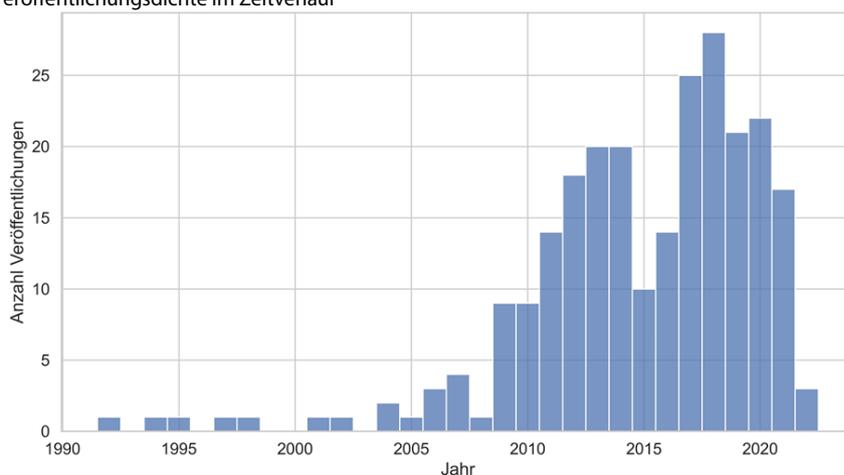
Recherche und Zusammenfassung des Status quo

Die Literaturrecherche wurde in Form einer Kreuzrecherche durchgeführt. Die dafür benötigten Stichworte wurden aus den Vorgaben der Art. 14 und Art. 15, Abs. 4 der EPBD 2018 extrahiert:

- Anlagenparameter
- Nutzerverhalten
- Gebäudeautomation (GA)
- Benchmark Energieeffizienz
- Monitoring Energieeffizienz
- Analyse Energieverbrauch
- Richtlinie 2018/844/EU
- Gebäudetechnische Systeme
- Energiemanagement
- Bussysteme Gebäudeautomation

Zentrale Anforderungen sind unter anderem das Erfassen, Monitoring, Benchmarking und Reporting von Anlagenverhalten. Die Veröffentlichungsdichte nahm in den letzten Jahren stetig zu, siehe Abbildung 1. Es ist zu beachten, dass die Recherche im Frühjahr 2022 stattgefunden hat, d. h. die Anzahl der Quellen aus dem Jahr 2022 ist nicht vollständig.

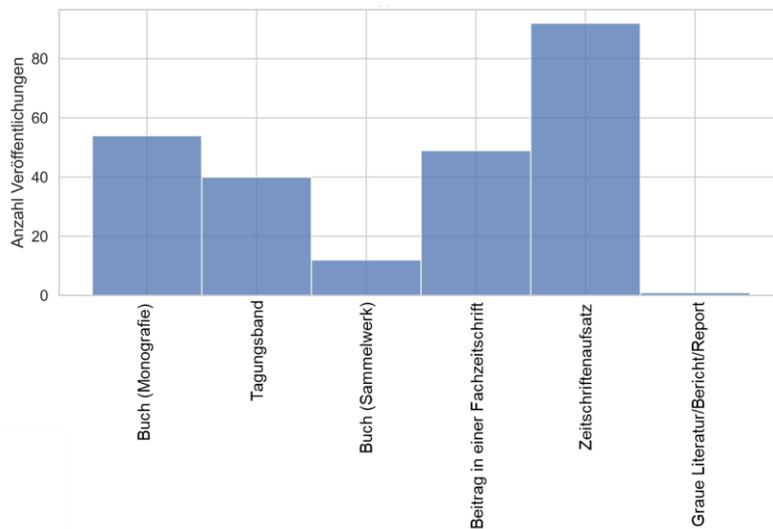
Abbildung 1
Veröffentlichungsdichte im Zeitverlauf



Quelle: EBZ Business School GmbH

Zu den ermittelten Quellen gehören vor allem Veröffentlichungen verschiedener wissenschaftlicher Zeitschriften und Bücher, siehe Abbildung 2. Die drei aktivsten Autoren der Recherche (Kabitzsch, Klaus (7), Zucker, Gerhard (5), Kastner, Wolfgang (4)) stammen aus Deutschland.

Abbildung 2
Veröffentlichungstypen



Quelle: EBZ Business School GmbH

Durch den Einsatz von Technik zur GA konnte in vielen Fällen Energie gespart werden. Die Höhe der Einsparungen, die in den verschiedenen Quellen dokumentiert wurden, hing vor allem von der Art der Automatisierungstechnik ab. So konnten Bonomolo et al. im Jahr 2021 bei der Automatisierung der Beleuchtungstechnik in Wohngebäuden keine relevante Einsparung gegenüber dem Vorzustand ausmachen. Dem gegenüber konnten O'Grady et al. im Jahr 2021 durch den Einsatz von Bewegungsmeldern, Energieeinsparungen zwischen 1,2 bis 7 % nachweisen. Eingesetzt wurden die Bewegungsmelder vor allem zur Steuerung von Beleuchtungstechnik sowie Heiz- und Lüftungsanlagen. Im Fokus stand dabei der Einsatz in nicht regelmäßig genutzten Örtlichkeiten wie z. B. Toiletten oder Aufenthaltsräumen. Im selben Jahr untersuchten O'Grady et al., im Rahmen einer Literaturlauswertung, das Einsparpotenzial von automatisierten Verschattungsanlagen. In den untersuchten Veröffentlichungen wurden Einsparungen zwischen 5 und 30 % gemeldet. Im Jahr 2019 untersuchten Mancini et al. Einsparungen durch Automatisierungs-Technik im Wohngebäudebereich. Hierzu klassifizierten Sie Gebäude als gering, mittel und hoch automatisiert. Die Energieverbräuche der verschiedenen Automatisierungsstufen verglichen die Autoren anschließend mit einem nicht automatisierten Gebäude. Mit einer geringen Automatisierung beobachteten sie durchschnittliche Energieeinsparungen von 5,3 %. In der mittleren Automatisierungsstufe konnten Sie Energieeinsparungen von 10,8 % ausmachen, welche nur geringfügig von der hohen Automatisierungsstufe mit 11,7 % übertroffen wurden. Aufgrund des nur geringfügig höheren Einsparpotenzials, jedoch erheblichen Mehrkosten sei die Wirtschaftlichkeit der hohen Automatisierungsstufe zu hinterfragen (Mancini/Lo Basso/Santoli 2019).

Neben der Automatisierungstechnik spielt auch das Nutzerverhalten eine große Rolle, denn durch energetisch sinnvolles Nutzerverhalten kann die Effizienz der Energienutzung im Gebäude erhöht werden. Ein hohes Einsparpotenzial bieten z. B. korrektes Lüften und Heizen. Auch ein einfaches Verbrauchsfeedback kann den Energieverbrauch spürbar senken. In Wohngebäuden können hierzu z. B. eigennützige Gründe wie der Einfluss des Heizverhaltens auf die Heizkostenabrechnung angesprochen werden. Im Nicht-Wohngebäudebereich ist dies jedoch schwieriger, i.d.R. hat das eigene energetische Verhalten keinen Einfluss auf die eigenen Finanzen. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass durch Nutzerinformationssysteme, zum Beispiel in Form von Audits oder regelmäßige Benachrichtigungen über Mail, Brief oder Apps in

Wohngebäuden der Energieverbrauch ca. 10 % Einsparungen möglich sind (Jain/Taylor/Culligan 2013; Mogles et al. 2017; Murtagh et al. 2013; Tesiero 2014).

Vor allem geprägt durch ausbleibende Einsparungen beim Einsatz von Gebäude-Automatisierungstechnik entwickelte sich in den letzten Jahren eine Low-Tech-Gegenbewegung (vgl. Abbildung 3). Ausgehend von einem geringen (oder nicht vorhandenem) Einsparpotenzial sollen Kosten durch den Nicht-Verbau von Gebäude-Automatisierungstechnik eingespart werden. Es gibt in der Tat Fälle, in denen GA nur wenig bis keine Einsparungen generiert. Die Ursache liegt jedoch nicht in der Technik, sondern in der Anwendung. Häufig werden keine Gebäude- und Nutzerspezifischen Einstellungen vorgenommen. Die GA ist als Werkzeug zu betrachten, das bedient werden will. Das heißt, dass Temperaturabsenkungen, Präsenzsteuerungen etc. vorher eingestellt und im laufenden Betrieb kontrolliert und nachgebessert werden müssen.

Abbildung 3
Beispiel für die Lowtech-Bewegung

Kostenfalle Klimaschutz

6+ Wenn Energiesparmaßnahmen mehr schaden als nützen

Lüftungsanlagen, Verschattungsautomatik, Smarthome-Systeme: In Gebäuden steckt immer mehr aufwendige Energietechnik. Die Systeme sind oft stör- und reparaturanfällig, die Wartung teuer. Welche Mittel helfen wirklich?

Von **Alexander Jung**
26.02.2022, 00:14 Uhr • aus **DER SPIEGEL 9/2022**

🔖 X f ✉ 🔗



Bürohaus »2226« in Lustenau: Innentemperatur konstant zwischen 22 und 26 Grad Foto: Eduard Hueber / Baumschlagler Eberle Architekten

Quelle: Der Spiegel, Ausgabe 09/2022

Grundlagen und Definition der Gebäudeautomation

Die Forderungen der EU den Ausbau von GA-Anlagen im Gebäudesektor zu beschleunigen, oder gar zu verpflichten, basieren auf der Annahme, dass signifikante Einsparungen durch GA erzielt werden können. Anders als bei herkömmlichen Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs, wie bspw. ein Austausch der Anlagentechnik, ist bei der GA nicht direkt ersichtlich, wie die Einsparungen zu Stande kommen. Es handelt sich in erster Linie um erweiterte Sensorik und Steuerungsmöglichkeiten, die jedoch nicht unmittelbar den Energieverbrauch senken, oder die Energieeffizienz steigern. Daher wird im folgenden Abschnitt die GA definiert, der Aufbau erläutert und beschrieben, wie Energie durch GA eingespart werden kann.

Die europäische Richtlinie 2018/844/EU gibt keine konkrete Definition oder Begriffsbestimmung von GA vor. Deshalb wird die Definition von GA-Anlagen aus der europäischen Norm DIN EN ISO 52120-1 verwendet:

Einrichtungen, Software und Dienstleistungen für automatische Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie für Bedienung und Verwaltung für energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der technischen Gebäudeausrüstung" (DIN EN ISO 52120-1)

In der Definition sind bereits die einzelnen Aufgabenteile, wie das Steuern und Regeln, die Überwachung und Optimierung, sowie Bedienmöglichkeiten für den energieeffizienten und wirtschaftlichen Betrieb aufgelistet.

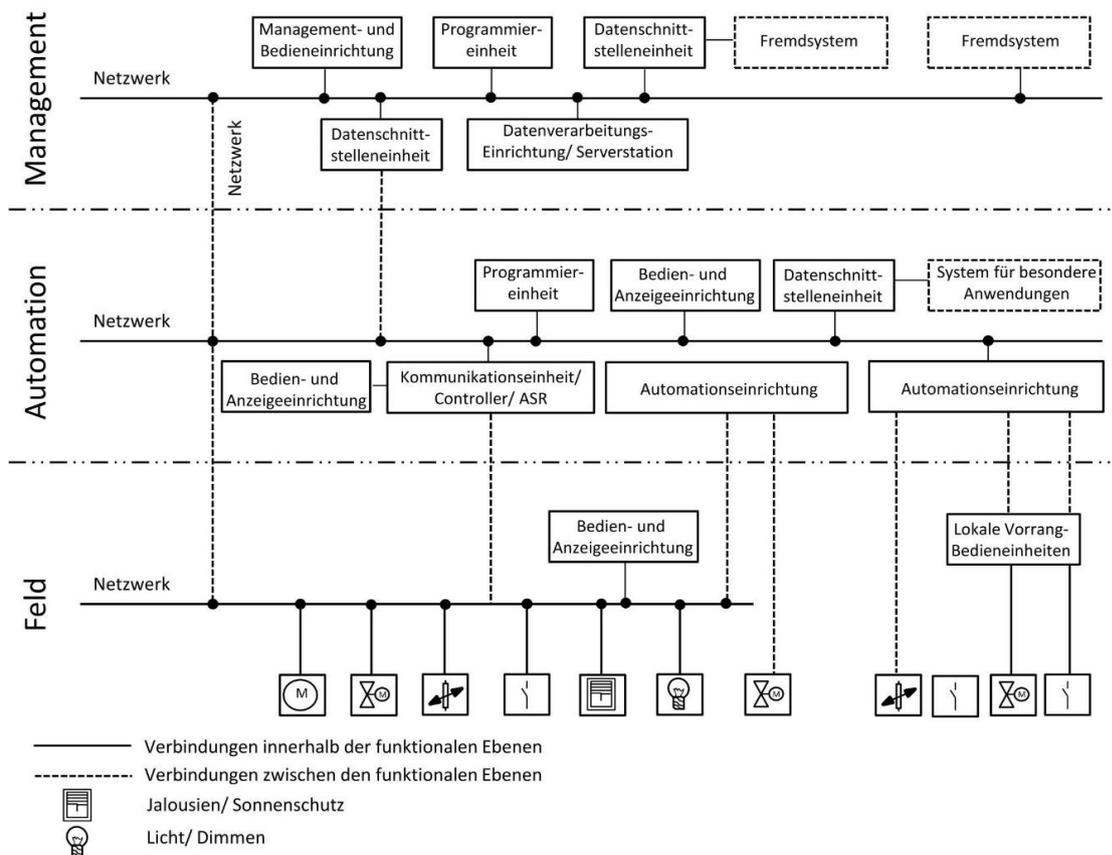
Das GA-System wird wie folgt beschrieben:

"System, bestehend aus allen Produkten, Software und Dienstleistungen für automatische Regeleinrichtungen (einschließlich Steuerlogik), Überwachung, Optimierung, Betrieb sowie für manuelle Eingriffe und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Gebäudebetrieb" (DIN EN ISO 52120-1).

In dieser Definition setzt sich das System aus Software, Hardware und Steuerungslogiken sowie Management-Lösungen zusammen. Um zu beschreiben, wie die einzelnen Komponenten zusammenarbeiten und in welcher Hierarchie sie zueinanderstehen, wird häufig das Modell der Automationspyramide verwendet. Klassische GA-Systeme sind in drei Ebenen strukturiert, auch wenn in modernen Systemen die Grenzen zwischen den einzelnen Ebenen nicht mehr so eindeutig sind, weil zum Beispiel viele dezentrale Lösungen eigene Logiken verbaut haben und direkt mit einer Cloud kommunizieren. Ebenfalls übernehmen moderne Feldgeräte teilweise die Verarbeitung von Informationen und lokale Regelungsfunktionen. Dennoch eignet sich die klassische Darstellung weiterhin gut zur Beschreibung eines GA-Systems. Abbildung 4 stellt die drei Automationsebenen nach DIN EN ISO 16484-2 dar. Die EPBD 2018 macht Vorgaben in allen drei Automationsebenen:

- Die Feldebene (FE) liefert mit ihrer Sensorik und Aktorik die Messwerte für das Monitoring System und ermöglicht das aktive Eingreifen in die Gebäudesteuerung
- Die Automationsebene (AE) steuert das Gebäude über Automationsfunktionen nach DIN EN ISO 15232 oder DIN EN ISO 52120-1. Dort werden die Prozesse analysiert, Regelfunktionen bestimmen Sollwerte und Fehlermeldungen werden generiert.
- In der Managementebene (ME) findet die Datenspeicherung und Aufbereitung für Analysen und Benchmarks statt. Die Daten werden über das Monitoringsystem dargestellt. Im Energiemanagementsystem (EMS) kann die Energieeffizienz des Gebäudes kontrolliert werden.

Abbildung 4
Struktur von GA-Systemen



Quelle: DIN EN ISO 16484-2

GA-Systeme können auf verschiedene Weisen Energieeinsparungen generieren. Der größte Hebel besteht darin, die benötigte Energie auf den tatsächlichen Bedarf der Gebäudenutzer anzupassen. Dies bedeutet beispielsweise, dass das Gebäude nur dann beheizt wird, wenn Personen anwesend sind. Weiteres Einsparpotenzial entsteht durch höherwertige Regelungstechnik, indem zum Beispiel die Lüftungsrate an die gewünschte Luftqualität gekoppelt wird und so nur so viel Luft ausgetauscht wird, wie benötigt. Das Monitoring kann Situationen erkennen, in denen Energie verschwendet wird, zum Beispiel wenn sowohl die Klima- als auch die Heizungsanlage betrieben werden. Auch ist es möglich defekte oder schlecht eingestellte Geräte zu identifizieren, wenn ihr Wirkungsgrad suboptimal ist. Im Bereich Energiemanagement ist eine aktuelle Entwicklung die eigene Stromversorgung innerhalb des Gebäudes, die Speicherung und den Netzbezug -bzw. die Einspeisung zu optimieren, in der Regel mit dem Ziel, den Eigenverbrauch zu steigern. Auch können so Lastspitzen identifiziert und geglättet werden, wodurch die Netzentgelte eines Unternehmens sinken.

Normen

Die GA wird bereits in verschiedenen Normen behandelt. In Bezug auf die in der EPBD 2018 gemachten Anforderungen an die GA sind die folgenden Normen von Bedeutung.

DIN EN ISO 16 484: Systeme der Gebäudeautomation

Die international gültige Norm ISO beschäftigt sich mit der GA und der notwendigen Steuerungs- und Regelungstechnik. Sie ist unterteilt in sechs Teile mit den folgenden Schwerpunkten:

Teil 1: Projekt-Planung und Ausführung

Teil 2: Hardwareanforderungen, Definitionen, Bezeichnungen, Systembeschreibung

Teil 3: Spezifizierung der Gesamtfunktionalität

Teil 4: Zurückgezogen oder in Bearbeitung

Teil 5: Definition des BACnet-Protokolls

Teil 6: Testroutinen

Die VDI 3814 spiegelt die Inhalte der DIN EN ISO 16484 zu großen Teilen wider und konkretisiert sie in Bezug auf die nationalen Bedürfnisse.

DIN EN ISO 52120-1 (früher: DIN EN ISO 15232): Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von GA und Gebäudemanagement

Der europäische Norm-Entwurf wird als Nachfolger der DIN EN ISO 15232 platziert. Sie enthält wie ihr Vorgänger, eine strukturierte Liste von Funktionen der GA und erweitert diese. Schwerpunkt ist eine Darstellung der Auswirkung von Funktionen auf die Energieeffizienz von Gebäuden. Hierzu wurden Funktionen nach unterschiedlichen Kategorien sortiert und strukturiert. Mittels eines faktorbasierten Verfahrens wird eine erste Abschätzung der Auswirkung von Funktionen auf die Energieeffizienz von Gebäuden ermöglicht. Dem zugrunde liegt die Annahme gebäudetypischer Nutzungsprofile.

DIN 18386: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen - GA

Mit der nationalen Norm werden die allgemeinen technischen Vertragsbedingungen für die Ausführung von GA-Klassen bzgl. der Baustoffe, der Ausführung, verschiedener Leistungen sowie der Abrechnung definiert. Die Norm gilt darüber hinaus für die Herstellung von Systemen zum Messen, Steuern, Regeln, Managen und Bedienen technischer Anlagen (f:data GmbH 21. 06. 2022).

DIN EN 16946-1: Energetische Bewertung von Gebäuden - Inspektion der Gebäudeautomation, Regelungstechnik und des Technischen Gebäudemanagements

Diese Europäische Norm legt Leitlinien für die Inspektion von installierten und betrieblichen Funktionen der GA und von Systemen des technischen Gebäudemanagements einschließlich deren Konfiguration fest. (DIN EN 16946 - 1)

DIN EN ISO 52000: Energieeffizienz von Gebäuden –Festlegungen zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden

Diese Norm ist Teil des EPBD-Normenpakets, welche als Grundlage für eine einheitliche Berechnung von Energiekennzahlen erstellt wurde. Sie bietet eine Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Normen in Bezug auf die Energieeffizienz in Gebäuden. In ihr wird die Gesamtenergieeffizienz als Summe der Teileffizienzen gebildet. In Deutschland ist diese Norm ersatzweise in der DIN V 18599 umgesetzt.

DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

Die Vornormenreihe DIN V 18599 "Energetische Bewertung von Gebäuden" stellt ein Verfahren zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zur Verfügung. Die Berechnungen erlauben die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Heizung, Warmwasserbereitung, raumluftechnischen Konditionierung und Beleuchtung von Gebäuden notwendig sind. Die DIN V 18599 ist von der DIN EN ISO 52000 für den nationalen Gebrauch übernommen worden und bildet die Grundlage der energetischen Bewertung von Gebäuden entsprechend dem Ordnungsrecht bzw. GEG.

Teil 11 der DIN V 18599 behandelt den Einfluss von GA auf die Energieeffizienz von Gebäuden. Dieser Teil basiert auf der DIN EN ISO 52120-1. Das heißt, dass der Einfluss der GA auf die energetische Bewertung von Gebäuden mittels des zuvor erwähnten faktorbasierten Verfahrens durchgeführt wird.

Richtlinien und Empfehlungen

Richtlinie EU 844/2018

Die Richtlinie EU 844/2018, kurz EPBD 2018, wurde im Juli 2018 rechtskräftig und erweitert die Richtlinie 2010/31/EU. Die EPBD 2018 musste von den EU-Mitgliedstaaten bis 2020 in nationales Recht umgesetzt werden. In Deutschland werden zahlreiche Vorgaben der EPBD im GEG ordnungsrechtlich verankert. Unabhängig von der deutschen Gesetzgebung gilt die EPBD 2018 und ist für die technische Arbeit zu beachten. Die EPBD 2018 ist nicht als technisches Beschreibungsmittel zu verstehen, die Vorgaben an die GA müssen weiter konkretisiert werden. In Deutschland kommen hierfür die VDI 3814, DIN EN V 18599 Teil 11 u.a. in Frage. (Höttecke 2019)

Für konkrete Pflichten in der technischen Umsetzung werden andere Fristen genannt. So ist nach Artikel 14 und 15 Absatz 4 ein Gebäude mit einer Heiz- und Klimatisierungs- Leistung von über 290 kW bis 2025 mit GA-Systemen auszustatten. An dieser Stelle knüpft das Forschungsvorhaben „Zukunft Bau – Anforderungen an die Ausstattung von Nichtwohngebäuden mit Gebäudeautomation“ an. Da die EPBD 2018, insbesondere Art. 14 und 15 Abs. 4, die Grundlage für das Forschungsprojekt darstellt, wird diese in einem gesonderten Kapitel beschrieben.

VDI 3813: Gebäudeautomation (GA)/ Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)

Die VDI 3813 ist eine nationale Richtlinie und dient zur Schaffung eines einheitlichen Grundverständnisses für Bauherren, Planer und ausführende Unternehmen bzgl. der Definition von Begriffen der GA. Der Schwerpunkt liegt bei der Beschreibung von Raumautomationsfunktionen. Daneben bietet sie Unterstützung bei der Bedarfs-Planung und weitere Hilfestellungen. Seit 2021 ist die VDI 3813 Teil der VDI 3814, jedoch ist die Richtlinie noch immer gültig.

VDI 3814: Gebäudeautomation

Die VDI 3814 ist eine nationale Richtlinie. In ihr wird auf mehreren Blättern der Stand der Technik bei Errichtung, Planung und Betrieb von GA beschrieben. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus einer GA – von Planung über Ausführung, Übergabe und Betrieb – berücksichtigt.

Darüber hinaus haben folgende Richtlinien Bezug zur EPBD 2018:

- **VDI/GEFMA 3810 Blatt 5:** 2018-01: Betreiben von Gebäuden und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen - Gebäudeautomation
- **VDI 3812 Blatt 1:** 2010-03: Assistenzfunktionen zum Wohnen - Bedarfsermittlung für Elektroinstallation und Gebäudeautomation (Status: Aktuell)
- **VDI 6026:** Dokumentation in der Technischen Gebäudeausrüstung
 - Blatt 1: 2020-07: Inhalte und Beschaffenheit von Planungs-, Ausführungs- und Revisionsunterlagen (Status: Entwurf)
 - Blatt 1.1: 2015-04: Inhalte und Beschaffenheit von Planungs-, Ausführungs- und Revisionsunterlagen - FM-spezifische Anforderungen an die Dokumentation
- **VDI 6028 Blatt 6:** Bewertungskriterien für die Technische Gebäudeausrüstung - Anforderungsprofile und Wertungskriterien für die Gebäudeautomation
- **VDMA 24774:** IT-Sicherheit in der Gebäudeautomation

Der Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) veröffentlicht regelmäßig Hinweise und Empfehlungen zur Planung, Ausführung, Bau, Betrieb, Umstellung etc. von relevanten Anlagen und Einrichtungen. Im Rahmen der EPBD 2018 ist vor allem die *Gebäudeautomation 2019* und *Technisches Monitoring 2020* relevant. Hier werden Empfehlungen zur GA ausgehend von technologischen Entwicklungen dargestellt und regelmäßig aktualisiert. Diese richten sich nicht nur an die zuständigen TGA-Fachleute für Bauen und Planen, sondern auch an die Betreiber von GA-Systemen. Grundlage sind langjährige Erfahrungen der öffentlichen Verwaltungen sowie die DIN EN ISO 16484, VDI 3814 und DIN 18386. Die AMEV-Empfehlungen sind öffentlich zugänglich.

Anforderungen der EPBD 2018 an die Gebäudeenergieeffizienz

Der zentrale Inhalt dieser Studie bezieht sich auf die Artikel 14 und 15 Abs. 4 der EPBD 2018. Die Richtlinie beinhaltet allerdings auch allgemeine Anforderungen und Definitionen, die selbstverständlich auch dann gelten, wenn einzelne Artikel betrachtet werden. Daher werden zunächst die für diesen Kontext relevanten Grundlagen der Richtlinie dargestellt, bevor die einzelnen Artikel im Detail analysiert werden.

Für die Anforderungen der EPBD 2018 gelten festgelegte Grenzwerte. Über Statistiken des deutschen Gebäudebestands wird die Reichweite und Breite der Anforderungen abgeschätzt.

Vorgaben der EPBD 2018

Bevor die Vorgaben einzelner Artikel und Absätze im Detail untersucht werden, sollen zunächst allgemeine Anforderungen der EPBD 2018 an die Energieeffizienz von Gebäuden und die Planung von GA-Systemen beschrieben werden. Diese allgemeinen Forderungen gelten selbstverständlich auch bei der Umsetzung der Artikel 14 und 15.

Die EPBD 2018 legt in Artikel 2 Nummer 3 und 3a fest, welche gebäudetechnischen Systeme im Sinne der Energieeffizienz relevant sind. Diese Systeme sind:

- Raumheizung
- Raumkühlung
- Lüftung
- Warmwasserbereitung für den häuslichen Gebrauch
- eingebaute Beleuchtung
- Gebäudeautomatisierung und -steuerung
- Elektrizitätserzeugung am Gebäudestandort
- Systeme, die Energie aus erneuerbaren Quellen nutzen
- sowie eine Kombination der Systeme.

Beschattungssysteme werden in der EPBD nicht als gebäudetechnisches System gelistet. Das steht im Widerspruch zur DIN EN 16946, die den Beschattungssystemen einen großen Einfluss auf die Energieeffizienz bescheinigt.

Die Anforderungen an die Energieeffizienz und Planung von Gebäuden und GA-Systemen wurden bereits sehr gut in „Leitfaden für die Gebäudeautomation zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2018/844 über die Energieeffizienz von Gebäuden durch (Hötteke 2019) zusammengefasst:

- Konzentration auf CO₂-relevante Funktionen: Die Motivation der EPBD liegt in der Minderung der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor. Daher sind vor allem jene gebäudetechnischen Systeme relevant, die aktiv Energie managen oder benötigen.
- Energieeffizienz hat Vorrang. Die Steigerung der Energieeffizienz soll vor der Kostenminimierung stehen, sofern sie wirtschaftlich umzusetzen ist.
- Energieeffizienz ist zu planen, zu prüfen und nachzuweisen. Das heißt, dass die Energieeffizienz in Gebäuden und gebäudetechnischen Systemen bei Neubau, Austausch oder Modernisierungen mit Blick auf die Zertifizierung und Überprüfung von Gebäuden dokumentiert werden soll. Dabei sollen:
 - die Anforderungen an die Energieeffizienz in der Planung spezifiziert werden
 - die Funktionen bis Bauende geprüft werden
 - die Einhaltung der Anforderungen im Betrieb überprüft werden
 - und durch Dokumentation fortlaufend nachgewiesen werden

- Eine ähnliche Vorgehensweise wird bereits in der VDI 3810 Blatt 5 unter dem Aspekt „Service Level Agreement“ (SLA) vorgeschlagen (VDI 3810 Blatt 5). Die AMEV Empfehlungen „technisches Monitoring“ beschreiben die Vorgehensweise und Umsetzung für die besagte Dokumentation der Energieeffizienz.
- Energieeffizienz durch GA ist gleichrangig mit der Gebäudehülle. Es werden bereits seit vielen Jahren Vorgaben bei der Wärmedämmung gemacht (vgl. Wärmeschutzverordnung 1977). Nun sollen Effizienzmaßnahmen durch die GA gleichwertig behandelt werden, wodurch ebenfalls Mindestanforderungen erlassen werden können.
- GA kann gemäß Artikeln 14 und 15 Absatz 1 und 2 die Inspektionspflicht übernehmen. Es hat sich gezeigt, dass die Überwachung der Energieeffizienz von gebäudetechnischen Systemen über GA und Monitoringsysteme effektiv ist und die mit hohem personellem Aufwand verbundenen manuellen Inspektionen ersetzen kann.

Artikel 14 und 15 der EPBD 2018

Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf den Artikeln 14 und 15 Abs. 4 der EPBD 2018. Die Artikel stellen Anforderungen an Gebäude mit Heizungs- und Klimaanlage mit einer Nennleistung von über 290 kW. Die Leistung einer Lüftungsanlage wird auf die Heizungs- und Klimaanlage aufaddiert, sofern die vorhanden ist. Artikel 14 und 15 der EPBD 2018 sind im Wortlaut nahezu identisch, mit dem entscheidenden Unterschied, dass die Vorgaben in Artikel 14 auf Heizungsanlagen und in Artikel 15 auf Klimaanlage bezogen sind. In den Artikeln werden zwei wichtige Grenzwerte genannt, ab denen Vorgaben einzuhalten sind.

- Eine regelmäßige Inspektion der gebäudetechnischen Anlage wird notwendig, wenn die Heizungs- oder Klimaanlage zuzüglich der benötigten gebäudetechnischen Systeme (z. B. Lüftungsanlage, Umwälzpumpen) auf eine Nennleistung von über 70 kW kommen.
- Umfassende Vorgaben im Bereich der GA werden gestellt, wenn die Heizungs- oder Klimaanlage zuzüglich der (eventuell vorhandenen) Lüftungsanlage auf eine Nennleistung von über 290 kW kommen.

Die Anlagenleistung als Kriterium heranzuziehen, bietet den Vorteil, dass so direkt aus Planunterlagen oder an den Anlagen selbst abgelesen werden kann. Mit der Wahl der Anlagenleistung als ausschlaggebendes Kriterium sind aber auch einige Schwierigkeiten verbunden:

- Die realen CO₂-Emissionen steigen proportional mit dem Energiebedarf eines Gebäudes. Dieser verhält sich jedoch nicht zwingend proportional zur Anlagenleistung.
- Es gelten die gleichen Grenzwerte sowohl für Klimaanlage wie auch für Heizungsanlagen. In einem identischen Gebäude werden jedoch nicht zwangsläufig gleich große Heizungs- wie Klimaanlage eingebaut. In Deutschland sind Heizungsanlagen in der Regel größer dimensioniert, weshalb die Richtlinie häufiger im Bereich der Heizungstechnik greifen wird. Weitere Kriterien könnten hier der tatsächliche Energiebedarf der gebäudetechnischen Systeme sowie das Einsparpotenzial durch GA sein.
- Es gibt Aggregate, die keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Energiebedarf eines Gebäudes und ihrer Nennleistung besitzen. Beispielsweise kann ein kleiner Abluftventilator große Mengen Energie in Form von Lüftungsverlusten verschwenden, wenn dieser durchläuft.

Das Einsparpotenzial eines Gebäudes durch Automationstechnik kann jedoch beispielsweise auch durch den absoluten oder spezifischen Energieverbrauch und die Energieverluste beschrieben werden: Je mehr Energie benötigt wird, desto mehr Energie kann gespart werden.

Absatz 4 der Artikel 14 und 15 der EPBD 2018

Der vierte Absatz von Artikel 14 und 15 besteht aus drei zentralen Forderungen für Gebäude mit Heizungs- und Klimaanlage von über 290 kW. Diese sind:

Die Systeme für die Gebäudeautomatisierung und -steuerung müssen in der Lage sein,

1. ... den Energieverbrauch kontinuierlich zu überwachen, zu protokollieren, zu analysieren und dessen Anpassung zu ermöglichen.
 - Ein Monitoringsystem muss den Energieverbrauch kontinuierlich überwachen.
 - Für Protokolle und Analysen müssen Lösungen zur Datenspeicherung und der späteren Auswertung bereitgestellt werden.
 - Es muss möglich sein, den Energieverbrauch anzupassen. Wie das in der Praxis umgesetzt werden soll, ist jedoch nicht dokumentiert.
2. ... Benchmarks in Bezug auf die Energieeffizienz des Gebäudes aufzustellen, Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen zu erkennen und die für die Einrichtungen oder das gebäudetechnische Management zuständige Person über mögliche Verbesserungen der Energieeffizienz zu informieren.
 - Die Energieeffizienz des Gebäudes muss beurteilt werden. Welche Werte dafür verwendet werden, wird nicht näher definiert. Dafür kann nach geeigneten Key-Performance-Indikatoren (KPI) gesucht werden (Siehe Key Performance Indikatoren – KPI).
 - Die Energieeffizienz soll im Rahmen von Benchmarks untersucht und bewertet werden. Als Vergleichsgröße dienen die KPI. Offen bleibt, mit welcher Instanz das Gebäude verglichen werden soll. Das Gebäude kann mit sich selbst im zeitlichen Verlauf oder mit Referenzgebäuden verglichen werden.
 - Relevante Vorgänge und Zustände müssen einer zuständigen Person weitergeleitet werden. Dies muss automatisch geschehen und sollte dokumentiert werden.
3. ... die Kommunikation zwischen miteinander verbundenen gebäudetechnischen Systemen und anderen Anwendungen innerhalb des Gebäudes zu ermöglichen und gemeinsam mit anderen Typen gebäudetechnischer Systeme betrieben zu werden, auch bei unterschiedlichen herstellereigenen Technologien, Geräten und Herstellern.
 - Der gemeinsame Betrieb „anderer Typen gebäudetechnischer Systeme“ bedeutet, dass die Prozessabläufe der einzelnen Systeme aufeinander abgestimmt werden. Das kann auf der einen Seite genutzt werden, um Effizienzverluste zu verhindern, beispielsweise wenn die Heizungsanlage und Klimaanlage zeitgleich aktiv sind. Auf der anderen Seite kann damit das Nutzen von Synergien gemeint sein, beispielsweise wenn Lastvorgänge wie das Laden von Elektroautos an die Solarstromerträge gekoppelt werden.
 - Eine Voraussetzung ist das Erheben und Zusammenführen von Daten aus allen gebäudetechnischen Systemen.
 - Die Herstellerunabhängigkeit wird über die DIN EN ISO 16484 Teil 5 und 6 (BACnet) gefordert und beschrieben.

Die Vorgaben der EPBD 2018 an die GA können wie folgt zusammengefasst werden:

- Anlagen und -messdaten müssen in ausreichender Menge erfasst werden
- Aus den Messdaten sollen Key-Performance-Indikatoren (KPI's) abgeleitet werden, damit z. B. Effizienzverluste erkannt werden können.
- Die Energieeffizienz soll in Form von Benchmarks kontrolliert werden
- Erfasste Messdaten müssen speicherbar und aufbereitungsfähig sein
- Die Daten müssen über ein Monitoringsystem eingesehen werden können.
- Es bedarf Anlagen-Steuerungsmöglichkeiten
- Ein aktives Management der gebäudetechnischen Systeme durch ein EMS. Es müssen konkrete Energiesparziele definiert und kontrolliert werden.
- Einbindung eines EMS in die GA ausführlich in DIN EN ISO 52120-1 beschrieben
- Ein hoher Automatisierungsgrad, um z. B. eine automatische Erkennung von Fehlern und Anlagenzuständen zu ermöglichen
- Die automatisierte Weitergabe und Kommunikation von Fehlern und Zuständen
- Eine Verbindung mit „anderen Typen gebäudetechnischer Systeme“ muss möglich sein, d.h. es bedarf offener Standards und Schnittstellen
- Das Sicherstellen der gebäudetechnischen Funktionen nach DIN EN ISO 15232-1 (DIN EN ISO 52120-1)

Die Anforderungen der EPBD 2018 gehen über die reine GA nach DIN EN ISO 52120-1 hinaus. Es wird ein Gesamtpaket aus verschiedenen Mechanismen zur Gebäudeenergieeffizienz gefordert, wozu auch der Bereich Benchmarking, das technische Monitoring und ein EMS gehören.

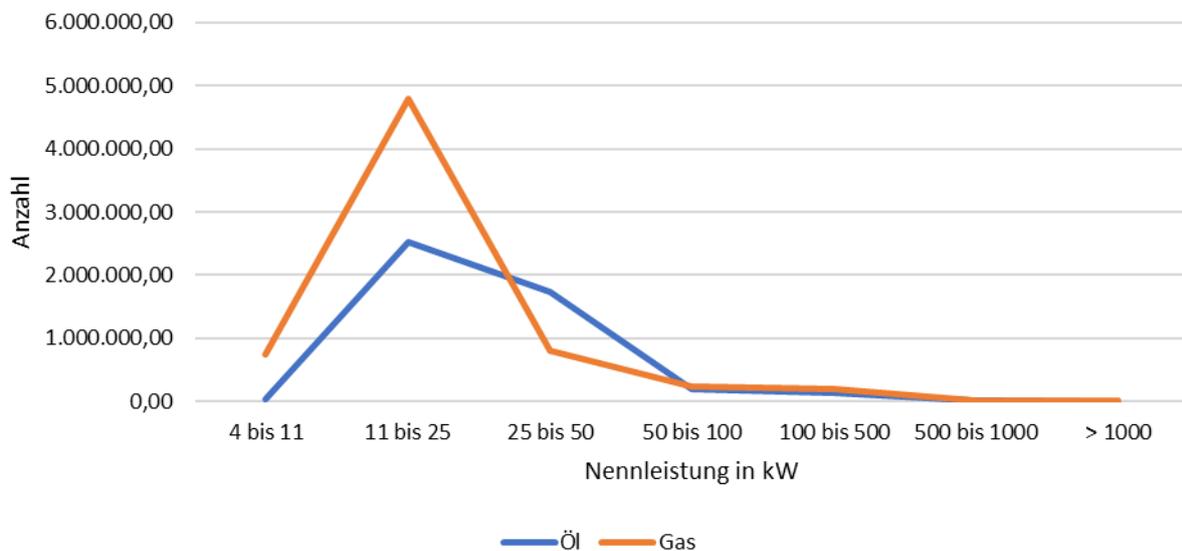
Abschätzung der Tragweite der Regelung

Artikel 14 und 15 Absatz 4 der EPBD 2018 legen mit dem Wert von 290 kW Nennleistung der Heizungs- oder Klimaanlage, eine Grenze für die teils umfangreichen Vorgaben fest. Im Folgenden Soll abgeschätzt werden, wie groß der Anteil des deutschen Gebäudebestands ist, der unter diesen Grenzwert fällt.

Aufgrund mangelnder Datenbasis ist es schwierig anhand der Nennleistung einen direkten Bezug zu den Statistiken des deutschen NWG-Bestands herzustellen. Zum Beispiel stehen die Flächen und Energieverbräuche deutscher NWG im DENA Gebäudereport (DENA 2022), Referenzwerte für den spezifischen Energieverbrauch verschiedener Gebäudetypen in der VDI 3807 Blatt 2 (VDI 3807 - Blatt 2 2014) und Energieverbräuche und Flächen deutscher NWG in den Studien „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“ (Renner 2011) sowie „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden“ (Ritter/Behrooz Bagherian/André Müller 2019). In keiner dieser Studien wird ein Bezug zu der Nennleistung der Aggregate in den Gebäuden hergestellt.

Einen Anhaltspunkt für die Nennleistung von Heizungsanlagen im Gebäudebestand liefern die Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks. Abbildung 5 zeigt die Anzahl von Öl- und Gaskesseln in Deutschland, sortiert in Nennleistungsbereichen. Ein überwiegender Anteil (97%) der prüfpflichtigen Feuerungsanlagen besitzt weniger als 290 kW Heizleistung.

Abbildung 5
Größe der in Deutschland verbauten Heizkessel



Quelle: ZIV 2020

Diese Statistik kann jedoch nicht unmittelbar verwendet werden, um die Feuerungsanlagen, welche unter die Vorgaben der EPBD 2018 fallen, zahlenmäßig abzuschätzen. Die Anzahl von Wohngebäuden liegt mit 19 Mio. deutlich über den schätzungsweise 1,98 Mio. NWG (DENA 2022: 9). Die durchschnittliche Fläche von NWG ist jedoch mit 1771 m² (Hörner 2021) viel größer als die durchschnittliche Fläche von Wohngebäuden (z. B. 151 m² pro Einfamilienhaus (DENA 2022: 15)). Deshalb ist davon auszugehen, dass Heizkessel von Nichtwohngebäuden überdurchschnittlich groß sind.

Zu der Flächenverteilung in deutschen NWG besteht eine bessere Datenlage. Diese ist in Abbildung 6 dargestellt. Allerdings handelt es sich hier nur um einen Ausschnitt der NWG, da die kumulierte Summe der Flächen in dieser Abbildung 954 Mio. m² beträgt, während die Gesamtfläche deutscher NWG bei 3.507 Mio. m² liegt (Hörner 2021). Dennoch ist diese Statistik mit ca. einem Drittel der Gesamtfläche aussagekräftig, weshalb im Weiteren mit den Flächenverhältnissen gerechnet wird.

Wenn davon ausgegangen wird, dass der typische Heizleistungsbedarf, ohne Warmwasserbereitung, in deutschen Gebäuden zwischen 50 und 150 W/m² liegt (vgl. Bund der Energieverbraucher 2023), kann errechnet werden, dass eine Fläche zwischen 1.933 m² und 5.800 m² eine Heizlast von 290 kW erfordert. Dieser Wertebereich fällt in die zahlenmäßig größte Gruppe der Abbildung 6. Wenn der Anteil aller größeren Gebäude aufaddiert und in das Verhältnis der Gesamtfläche genommen wird, kann abgeschätzt werden, dass zwischen 39,6 und 71,0 % der NWG-Fläche mit Heizkesseln größer als 290 kW betrieben werden sollten. Ausgehend davon, dass die meisten Gebäude aufgrund der Heizleistung unter die Regelung fallen, sollte dieser Anteil in etwa auch dem Anteil des Energiebedarfs entsprechen, welcher von der EPBD 2018 erfasst wird.

Abbildung 6
Flächenverteilung deutscher Nichtwohngebäude

	Screening - Büro als Hauptnutzung		Screening - Büro als Haupt- od. Nebennutz.	
	Fläche in Mio. m ²	Std.fehler in Mio. m ²	Fläche in Mio. m ²	Std.fehler in Mio. m ²
<100 m ²	5	± 1	11	± 2
100 - < 1.000 m ²	113	± 8	147	± 10
1.000 - < 5.000 m ²	140	± 11	159	± 13
5.000 - < 10.000 m ²	52	± 6	58	± 10
10.000 - < 25.0000 m ²	53	± 9	54	± 10
25.0000 - 49.999 m ²	58	± 30	59	± 31
>= 50.000 m ²	22	± 9	22	± 9
Gesamt	444	± 39	510	± 44
<i>Fallzahl</i>	7.764		12.087	

Quelle: Hörner 2021

Ableitung von technischen Spezifikationen zur Umsetzung der EPBD 2018

In diesem Kapitel werden die technischen Spezifikationen für GA-Systeme erarbeitet, mittels derer sich die Anforderungen aus der EPBD 2018 erfüllen lassen. Für NWG sind geeignete Indikatoren zu definieren, die die energetischen Auswirkungen der GA abbilden. Es wird dabei auch berücksichtigt, wie sich die Diskrepanz zwischen dem Stand der Technik in den Gebäuden und den Anforderungen der Richtlinie an die GA harmonisieren lassen.

Dafür werden Anforderungen der EPBD 2018 an technische Teilbereiche, das Benchmarking und Performance Indikatoren, Sensorik und Aktorik und Datenerfassung und Bussysteme mit vorhandenen Richtlinien und Normen abgeglichen und überprüft, ob die Anforderungen ausreichend erfüllt werden können. Es wird eine Kombination von technischem Monitoring, Energiemanagement und einem Gebäudeautomationsystem der Stufe B nach DIN EN ISO 52120-1 von der EPBD 2018 für NWG gefordert. Die Ergebnisse werden in Bezug auf den ordnungsrechtlichen Rahmen im Kapitel **Vorschläge zur Anpassung des ordnungsrechtlichen Rahmens** zusammengefasst.

Erarbeitung von Zielgrößen und Kennzahlen zur Ermittlung von Effizienzverlusten und Benchmarking

Ziel des Kapitels ist es, Zielgrößen und Kennzahlen zur Ermittlung von Effizienzverlusten und dem Benchmarking eines GA-Systems nach den in Art.14 Abs. 4 und Art. 15 Abs. 4 der Richtlinie 2018/844/EU benannten Anforderungen zu ermitteln.

Wie zuvor in **Vorgaben der EPBD 2018** beschrieben wurde, fordert die EPBD 2018 ein Qualitätsmanagement-Konzept für GA-Systeme. Eine sinnvolle Herangehensweise ist in der VDI 3810 Blatt 5 zu finden. Bevor KPI definiert werden, soll zunächst definiert werden, welche Anforderungen an das Gebäude und die Technik gestellt werden. Diese Anforderungen, in der VDI 3810 Blatt 5 und im folgenden Service Level Agreement (SLA) genannt, können als Vorgabe über Richtlinien, Gesetze oder im Vertrag mit dem Gebäudeeigner definiert werden. Erst dann können KPI passend zu dem Gebäude und den zuvor festgelegten SLA ausgewählt werden. Die KPI dienen als Kontrollgröße für das SLA.

Service Level Agreement – SLA

Die Grundlage für einen zielgerichteten Betrieb des Gebäudes sind klar definierte SLA. Der Betreiber des Gebäudes benötigt eine genaue Vorgabe von dem, was das Gebäude und die Gebäudetechnik leisten sollen. Bei der Auswahl von SLA sind folgende Grundsätze zu beachten (VDI 3810 Blatt 5):

- einfache, klare und nachvollziehbare Leistungsbeschreibung
- weg vom verrichtungsorientierten hin zum funktionsorientierten Handeln
- Vereinfachung und Transparenz der Dienstleistungserbringung
- klare Vorgaben für den Einsatz und das Ausmaß von GA

Für die Vorbereitung von SLA für die GA sind die folgenden Punkte abzuarbeiten (VDI 3810 Blatt 5):

- Beschreibung der Nutzungsanforderungen
- Erstellung einer (funktionalen) Leistungsbeschreibung
- Festlegung der Nutzungsstrategie des Gebäudes
- Erfassung aller gebäudetechnischen Systeme
- Leistungs- und Energiedatenerfassung
- Anlagenzustandsbewertung und -dokumentation

Und zuletzt gelten folgende Standards für das Betreiben der TGA mittels GA (VDI 3810 Blatt 5): _____

- Festlegung der Leistungsparameter/Messgrößen je Anlage
- Aufgabenstellung (z. B. energie- und kostenoptimierter Betrieb der Büroräume, ausfallsicherer Betrieb der Operationssäle)
- Umfang (z. B. standardisierte zeit- oder ereignisgesteuerte Berichte mit Anlagenbezugsobjekten und Adressaten)
- Sicherheit (z. B. Einhalten von Grenzwerten, Notabschaltungen)
- Verfügbarkeit (z. B. Prioritäten oder Reaktionszeiten bezüglich verschiedener Anlagen)
- Qualität (z. B. Messkriterien für Verfügbarkeit, Betriebssicherheit, Werterhalt, Flexibilität, Kundenzufriedenheit)
- Umweltverträglichkeit (z. B. Messkriterien für Medienverbräuche)
- Kosten

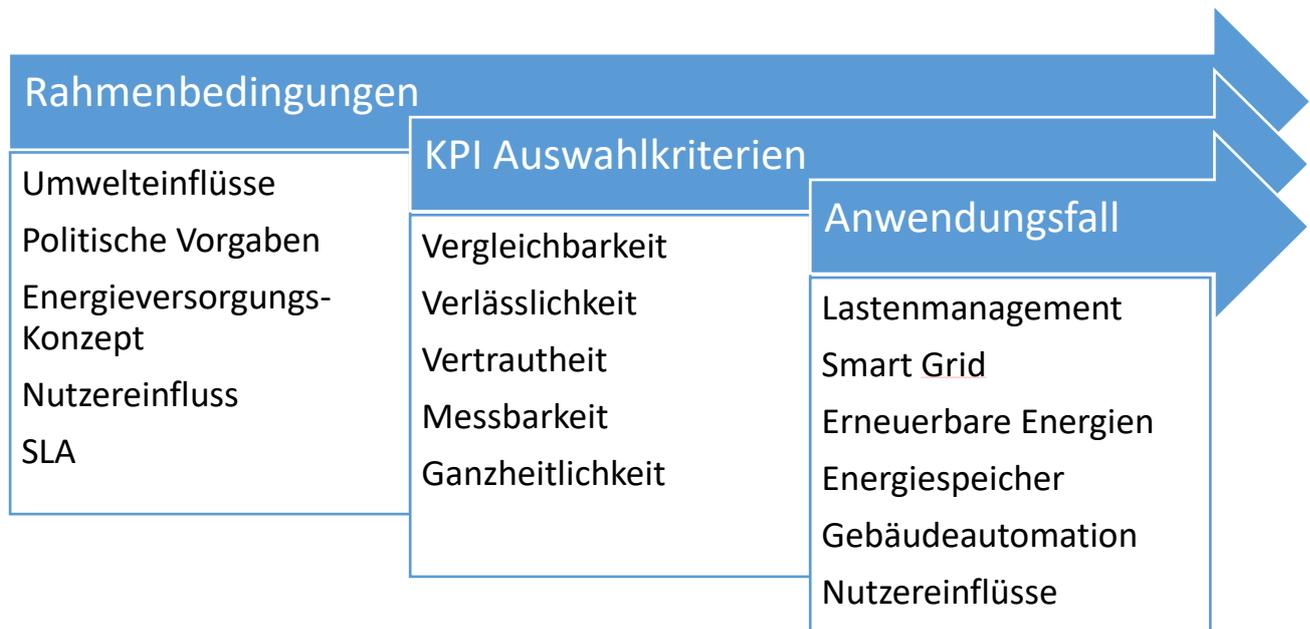
Key Performance Indikatoren – KPI

Der Begriff KPI wird in vielen Branchen und Fachbereichen verwendet. In diesem Kontext können KPI so definiert werden, dass sie als Kontrollmechanismus für das Einhalten der SLA dienen. In der VDI 3810 wird zwischen harten und weichen KPI unterschieden. Weiche KPI spiegeln Empfindungen, Wahrnehmungen oder Erwartungen wider und können beispielsweise durch Umfragen erhoben werden. Bei harten KPI werden messbare Faktoren zu Grunde gelegt. Das sind im Wesentlichen physikalische, zeitbezogene, funktionale (z. B. Verfügbarkeit) oder finanzielle Werte (VDI 3810 Blatt 5). Für den Einsatz in GA-Systemen eignen sich vor allem harte KPI.

Zur GA gehörende Systeme, erfassen eine Vielzahl von Messdaten. Mit den unverarbeiteten Messdaten können nur beschränkt Aussagen über die Effizienz oder die Leistungsfähigkeit der GA getroffen werden. Messdaten müssen daher zunächst plausibilisiert, bereinigt, aggregiert und mittels anwendungsbezogener Algorithmen verarbeitet werden. Der Begriff Key Performance Indikator beschreibt in diesem Zusammenhang die Zusammenfassung von Messwerten in Zustände beschreibenden Parametern. KPIs haben folgende Eigenschaften:

- strategisch
- einfach
- realitätsbezogen und messbar
- gut darstellbar

Abbildung 7
KPI Framework



Quelle: Al Dakheel et al. 2020: 9

Die Frage, welche KPI für eine Personengruppe oder ein Gebäude relevant sind, kann nicht pauschal beantwortet werden. Abbildung 7 zeigt ein generelles Auswahlverfahren nach (Al Dakheel et al. 2020: 9) für KPI in smarten Gebäuden, welches für dieses Forschungsvorhaben abgewandelt wurde. Durch dieses Schema können KPI ausgewählt und gruppiert werden.

Zuerst müssen die Randbedingungen erfasst werden. Dazu gehören zum Beispiel der Gebäudetyp (z. B. Wohngebäude / Nichtwohngebäude) und die Energieversorgung. Die Vorgaben der EPBD 2018 (vgl. AS 0) gehören ebenfalls zu den Randbedingungen, da es diese zu erfüllen gilt.

Die KPI müssen in Hinblick auf die jeweilige Personengruppe oder den Anwendungsfall ausgesucht werden. Hierfür sind nach (Al Dakheel et al. 2020: 9) fünf Kriterien relevant.

- Die Vergleichbarkeit: KPI die gut für Vergleiche zwischen unterschiedlichen Systemen verwendet werden können. Das sind zum Beispiel Werte, die von äußeren Einflüssen bereinigt wurden, wie der gradtagsbereinigte oder spezifische Energieverbrauch.
- Die Verlässlichkeit: KPI die eine hohe Aussagekraft über das System besitzen. Verlässliche KPI sind nicht zwangsläufig vergleichbar. So ist der gemessene Energieverbrauch eine verlässliche Kenngröße, allerdings nicht vergleichbar mit anderen Verbräuchen.
- Die Vertrautheit: KPI die einfach und intuitiv zu verstehen sind.
- Messbarkeit: KPI die auf Messwerten und deren Ableitungen basieren. Sie eignen sich daher gut für GA-Systeme.
- Ganzheitlichkeit: KPI die einen schnellen Überblick über größere Zusammenhänge geben. Auf der Kehrseite kann es jedoch sein, dass keine Ursachen aus ihnen abgeleitet werden können.

Für die EPBD sind zwei Gruppen von KPI relevant: Messbare und verlässliche KPI können von der Anlagentechnik verwendet werden, um Fehler zu identifizieren und Anlagenzustände zu beurteilen. Sie dienen der technischen Funktionalität der GA. Ganzheitliche und vergleichbare KPI können in Benchmarks und in EMS verwendet werden, um die Energieeffizienz zu beurteilen und das Einhalten von Vorgaben zu überprüfen.

Im letzten Schritt werden die technischen Systeme mit den entsprechenden Komponenten ausgewählt und mit Berücksichtigung der Rahmenbedingungen und Auswahlkriterien gesucht. Im Bereich der GA können das die folgenden KPI sein (Al Dakheel et al. 2020: 10), (AMEV Gebäudeautomation 2019), (DIN EN 16946 - 1):

- Gebäude- und Anlagenzustand:
 - Gebäudetechnik
 - Überwachung der Behaglichkeit (z. B. Temperatur, Luftqualität, Luftfeuchte, Lichtverhältnisse)
 - Energieverbräuche (absolut / spezifisch / gradtagsbereinigt)
 - Wirkungsgrade
 - Kennzahlen zur benötigten Last und Leistung (zu geringe oder zu hohe Leistung)
 - RLT- oder Heizanlage innerhalb der Nutzungspause in Betrieb
 - Heizanlage bei hohen Außentemperaturen in Betrieb
 - Raumtemperatur außerhalb eines Referenzbereichs (z. B. 18-26 °C)
 - hoher spezifischer Strom- oder Wasserverbrauch in der Nutzungspause
 - andauernder manueller Eingriff > 1 Tag (z. B. manueller Status der Einrichtung mehr als 1 Tag in Folge)
 - Smart Readiness Indicator
 - EU Energielabel
- Energieversorgung:
 - Primärenergieverbrauch
 - Verbrauchssteigerung gegenüber Vergleichszeitraum (z. B. Vorjahresmonat); alternativ gegenüber Vergleichsgebäude
 - Energieersparnisse
 - Netzdienlichkeitsfaktor
 - Flexibilitätsfaktor
 - Spitzenlastreduzierung
 - Stromhöchstleistung überschritten
 - Speicherkapazität- und Effizienz
 - Autarkiegrad
- Interaktion und Nutzerfeedback:
 - Nutzerengagement
 - Durchschnittliche Unterbrechung durch Nutzer (1/h; h)

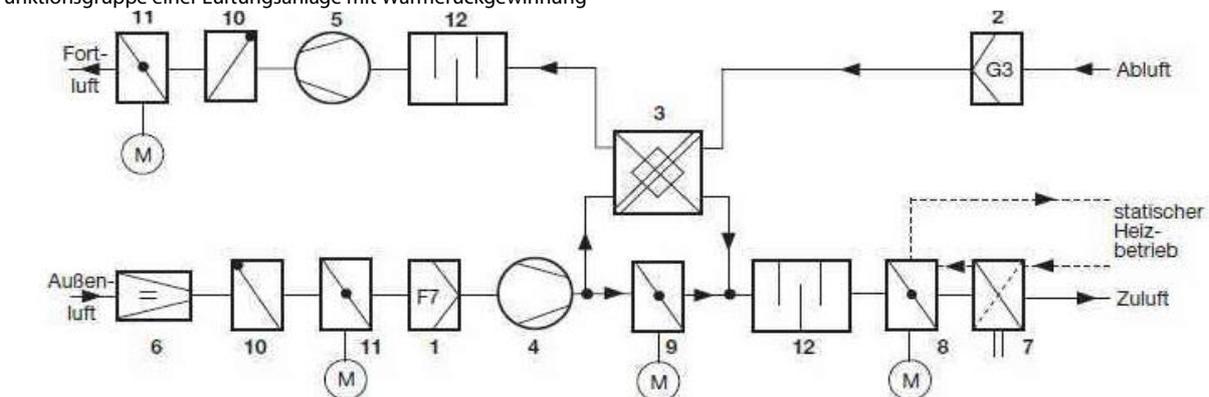
Feldebene

Die Feldebene wird auch als Sensor- und Aktorebene bezeichnet. Dort werden die gebäudetechnischen Systeme und die Räume über Aktoren (bspw. Umwälzpumpe, elektrische Raumthermostate, Lüftungsanlage) gesteuert. Ebenso werden Messwerte erhoben, die für die Steuerung oder weitere Systeme relevant sind. Kontrolleinrichtungen und lokale Interfaces (z.B. Anzeige und Vorgabe der Raumtemperatur) gehören ebenfalls zur Feldebene.

Die EPBD 2018 legt den Fokus auf energie- und CO₂-relevante Prozesse (vgl. Vorgaben der EPBD 2018). Um zu entscheiden, welche Sensorik oder Aktorik relevant ist, kann die Funktionsgruppe eines gebäudetechnischen Systems (bspw. einer Lüftungsanlage) näher betrachtet werden.

Um zu entscheiden, welche Teile und Messwerte eines Systems relevant sind, muss zunächst die Baugruppe (bspw. Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage) näher betrachtet werden. Abbildung 8 zeigt das Beispiel einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Abbildung 8
Funktionsgruppe einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung



- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Außenluftfilter | 7. Wärmetauscher |
| 2. Abluftfilter | 8. Thermikweiche |
| 3. Wärmerückgewinnung | 9. WRG-Bypassklappe |
| 4. Zuluftventilator | 10. Rückschlagklappe |
| 5. Fortluftventilator | 11. Absperrklappe |
| 6. Volumenstrombegrenzer | 12. Schalldämpfer |

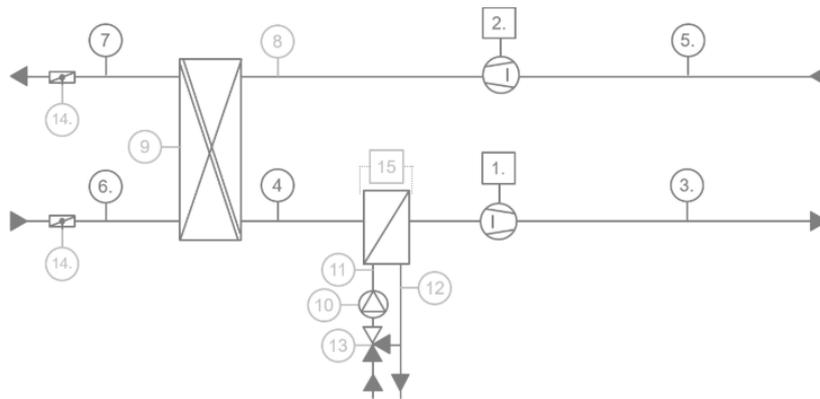
Quelle: TROX GmbH

In der Funktionsgruppe sind zwölf verschiedene Geräte vorhanden, von denen jedoch nicht jedes einen regelbaren Einfluss auf die Energieeffizienz der Anlage hat. Am Beispiel der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung haben Einfluss auf die Energieeffizienz:

- Wärmetauscher
- Zuluftventilator
- Abluftventilator
- Thermikweiche

Ein strukturiertes Vorgehen ist in der der AMEV-Empfehlung „Technisches Monitoring“ (AMEV 2020) zu finden. Für die relevanten Baugruppen müssen Überwachungsfunktionen, Messwerte und KPI definiert werden. Hier macht AMEV bereits konkrete Vorschläge welche Daten relevant sind, siehe Abbildung 9 und zugehörig Tabelle 1. Die AMEV-Empfehlung „Technisches Monitoring“ enthält solche Zuweisungen für weitere Funktionsgruppen.

Abbildung 9
 Messtechnik für Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Lufterhitzer



Quelle: AMEV 2020

Die Daten, die in Tabelle 1 zu finden sind, werden über eine Nummer dem Planungsschema zugeordnet und benannt. Über den Zielwert kann beschrieben werden, welche Eigenschaft des Datenpunktes relevant bzw. kritisch ist. Im Beispiel der elektrisch aufgenommenen Ventilatorleistung ist der Maximalwert relevant, da es gilt diesen möglichst gering zu halten. Ein Sollwert ist eine steuerbare Regelgröße. In der Spalte „Messung“ wird angegeben, wie der Wert ermittelt wird. Hier gibt es drei Möglichkeiten: Über eine Messung, durch eine Berechnung oder durch einen Zähler. Zu jedem Datenpunkt wird die Einheit mit angegeben. Die Spalte „Anmerkung“ gibt generelle Hinweise zu dem Datenpunkt und der damit möglichen Verarbeitung oder Analyse. Wenn Richtlinien oder Normen angegeben werden, kann dort nach weiteren Informationen gesucht werden.

Die EPBD 2018 macht konkrete Vorgaben zu der Erfassung der Energieeffizienz von gebäudetechnischen Systemen. Diesen Vorgaben wird im Entwurf der AMEV und in diesem Fallbeispiel nachgekommen. So wird beispielweise der elektrische Verbrauch der Ventilatoren erfasst oder der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage über den Temperaturänderungsgrad erfasst.

Zusammengefasst kann die Zählerinfrastruktur wie folgt beschrieben werden: Die Primärverbräuche (Gas, Wasser, Strom) müssen erfasst werden, damit die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes bestimmt werden kann. Ebenso müssen die Verbräuche und Wirkungsgrade der einzelnen gebäudetechnischen Systeme ermittelt werden. Weniger deutlich ist die EPBD 2018 was den Bereich der Unterzähler angeht. Grundsätzlich empfiehlt der AMEV in der Tendenz mehr Messpunkte zu erfassen. Eine Faustformel könnte über die Energie, die ein Teilstrang führt, hergeleitet werden. Wenn 10 % Einsparpotenzial die Kosten für die Anschaffung und Inbetriebnahme eines Zählers in einem Teilstrang schnell refinanzieren, dann sollte diese Maßnahme durchgeführt werden.

Tabelle 1
 Datenerfassung für Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Lufterhitzer

Nr.	Prüfgrößen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Lufterhitzer	Zielwert	Messung	[Einheit]	Anmerkung
-	Spezifische Ventilatorleistung Zu-/Abluft	Maximalwert	Berechnung	[W/m ³ /s]	Bewertung nach Klassifizierung DIN EN 16798-3
-	Temperaturänderungsgrad Wärmerückgewinnung	Mindestwert	Berechnung	[-]	Berechnung nach EN 308

Nr.	Prüfgrößen Lüftungsanlage mit Wärme- rückgewinnung und Luftherhitzer	Zielwert	Messung	[Ein- heit]	Anmerkung
0	Außenlufttemperatur	-	Messung	[°C]	Wetterstation; ggf. zusätzlich für die Regelung notwendige Umrechnungen, z. B. als gleitender Mittelwert
1.1/ 2.1	Elektrisch aufgenommene Ventilatorleistung Zu-/Abluft	Maximalwert	Messung	[kW]	-
1.2/ 2.2	Zuluft-/Abluft-Kanaldruck	Sollwert und Toleranz	Messung	[Pa]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Toleranz
1.3/ 2.3	Verbrauch elektr. Energie der Zu-/Abluftventilatoren	Maximalwert	Zählerstand	[kWh]	Bewertung als Monats- oder Jahreswerte
1.4/ 2.4	Stellsignal Zuluft-/Abluftventilator	Sollwert und Toleranz	Messung	[%]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Toleranz
3.1	Zulufttemperatur	-	Messung	[°C]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Toleranz
3.2/ 5.2	Volumenstrom Zu-/Abluft	Sollwert und Toleranz	Messung	[m ³ /h]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Toleranz
4	Zulufttemp. nach Wärmerückgewinnung	Mindest-Maximalwert	Messung	[°C]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Temperaturveränderung
5.1	Ablufttemperatur	Sollwert und Toleranz	Messung	[°C]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Toleranz
6.1	Außenlufttemperatur	-	Messung	[°C]	-
7	Fortlufttemperatur	Mindest-Maximalwert	Messung	[°C]	Zielwert ggf. als Kennlinie mit Temperaturveränderung
5.3	CO ₂ -Konzentration Abluft	Sollwert und Toleranz	Messung	[ppm]	(optional) Anwendung, wenn Regelung über CO ₂ -Konzentration

Nr.	Prüfgrößen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Luftherhitzer	Zielwert	Messung	[Ein- heit]	Anmerkung
8	Ablufttemperatur vor Wärmerückgewinnung	-	Messung	[°C]	(optional)
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

Quelle: AMEV 2020

Benchmarking

Der Begriff Benchmarking ist in der EPBD 2018 nicht näher definiert. Aus dem Text geht aber hervor, dass die Benchmarks Aufschluss über die Energieeffizienz des Gebäudes geben sollen, Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen erkennen und verantwortliche Personen über mögliche Verbesserungen informieren sollen.

Die Energieeffizienz eines Gebäudes kann mit Hilfe der DIN EN ISO 52000-1 „Energieeffizienz von Gebäuden: Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte“ beschrieben werden. Die DIN EN ISO 52000-1 ist eine Zusammenstellung der Ergebnisse anderer Normen und wurde anlässlich der Richtlinie 2010/31/EU (Grundlage der EPBD 2018) überarbeitet. Ihr Einsatzgebiet kann wie folgt beschrieben werden:

- Bestimmung der in einem Gebäude erzeugten Energie, die teilweise für den Verbrauch an anderer Stelle nach außen abgegeben werden kann.
- Lieferung einer tabellarischen Zusammensetzung des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes.
- Festlegung der Energiekennwerte auf Grundlage der Primärenergie, der CO₂-Emissionen oder weiterer durch die nationale Energiepolitik festgelegter Parameter.

Weiter sollen Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen erkannt werden. Hierfür ist es erforderlich, die Energieeffizienz der gebäudetechnischen Systeme zu erfassen. Das in Feldebene vorgeschlagene Verfahren der AMEV kommt diesen Forderungen bereits nach.

Die automatische Meldung von fehlerhaften Zuständen oder Effizienzverlusten kann akut im Falle eines Fehlers oder einer Grenzwertüberschreitung erfolgen oder in Form von Protokollen und Zeitverläufen, um Trends zu erfassen.

Energie- und Anlagenmonitoring

Das Ziel des Energie- und Anlagenmonitoring ist die kontinuierliche Überwachung eines Gebäudes in Hinblick auf zuvor angestrebte Eigenschaften (siehe z. B. Service Level Agreement – SLA oder gesetzliche Mindestanforderungen). Das technische Monitoring prüft die Funktionen ohne besondere Vorkehrungen in Bezug auf das Gebäude, die Nutzung oder die Betriebsführung. Diese Prüfungen können in Intervallen (z. B. jährlich, monatlich) erfolgen und unterstützen den Betreiber bei seinen Pflichten für einen wirtschaftlichen und energieeffizienten Gebäudebetrieb.

Die wesentlichen Aufgaben des technischen Monitorings sind (AMEV 2020):

- Das Abfragen der erforderlichen Zielgrößen für den wirtschaftlichen sowie funktions- und bedarfsgerechten Gebäudebetrieb (z. B. festgelegte KPIs wie Wirkungsgrad, Energieverbrauch pro m²),
- das Abfragen bzw. Erfassen und Dokumentieren der Ziele aus der Planung in Form prüfbarer Zielwerte (z. B. „21°C“) für einzelne Prüfgrößen (z. B. „Raumlufttemperatur“) während der Betriebszeit

- die Definition geeigneter Methoden und entsprechender technischer und organisatorischer Voraussetzungen für die Prüfung der Zielerreichung (z. B. Audits, Monitoring, Berichte),
- die Erfassung bzw. Entgegennahme von Betriebswerten aus dem Gebäudebetrieb (von der GA oder von anderen Messsystemen, um genannte Zielwerte zu erhalten oder berechnen zu können),
- der aussagekräftige Vergleich von Zielwerten und Betriebsdaten für definierte Prüfgrößen im Sinne der Feststellung der Zielerreichung und
- die Kommunikation einer entsprechenden Bewertung an Bauherrenschaft, Fachplaner, Errichter und Betreiber als Ausgangspunkt für Betriebsoptimierungen sowie als Erkenntnis für folgende Projekte. (AMEV 2020)

Datenerfassung und Qualität

Die Qualität von Daten ist schwer zu erfassen. Die wichtigste Eigenschaft ist, dass die Daten zu dem vorgesehenen Anwendungsfall passen müssen. Im Fall der GA sollen Daten die realen Vorgänge möglichst präzise abbilden und steuern können. Drei wichtige Kriterien sind:

- Die zeitliche Auflösung der Daten. Wie häufig sollen Messwerte eingehen?
- Die Toleranz der Daten: Wie weit darf die Messung von der Realität abweichen?
- Die Konsistenz: Werden kurzweilige Ausfälle toleriert?

Die EPBD 2018 macht keine Vorgaben bezüglich der Datenqualität. Generell handelt es sich bei den in der EPBD adressierten Gebäuden und gebäudetechnischen Systeme, um keine kritische oder gar gefährliche Infrastruktur, wofür eigene Vorgaben gelten. Deshalb kann der Toleranz und Konsistenz der Daten eine untergeordnete Rolle zukommen. Für die zeitliche Auflösung der Daten können Informationen aus den Vorgaben der EPBD 2018 abgeleitet werden. Für die Anlagen- und Raumautomationsfunktionen nach DIN EN 15232 werden zeitlich hoch aufgelöste Messdaten benötigt. Wenn ein Präsenzmelder die Beleuchtung steuert, soll es schließlich innerhalb weniger hundertstel Sekunden an gehen. Diese Anforderungen sind nicht mit denen des Energiemanagements zu vergleichen, weil hier keine Datenspeicherung und Berichterstattung nötig sind. Es handelt sich nicht um aggregierte Daten, sondern um Messwerte der Sensorik, also um Daten der Automations- und Feldebene.

Das Benchmark-Verfahren soll Energieeffizienzverluste erkennen. Dafür werden Daten der Messtechnik (Verbrauchserfassung) und KPIs benötigt, was der Managementebene zugeordnet wird. Der Stand der Technik war lange Zeit, dies in jährlichen Intervallen zu tun. Ein Vergleich mit der Wohnungswirtschaft zeigt jedoch, dass das nicht zeitgemäß ist. Ab dem 01.01.2022 wurden Vermieter verpflichtet unterjährige Verbrauchsinformationen, mindestens einmal monatlich, zur Verfügung zu stellen (HeizkostenV § 6a). Dadurch werden die Auswirkungen des persönlichen Heizverhaltens auf den Verbrauch transparenter. Auch wenn diese Regelung die Nichtwohngebäude nicht direkt betrifft, ist es naheliegend, eine monatliche Analyse der Energieeffizienz und des Verbrauchs als Mindestmaß anzunehmen. Für die Bewertung der Betriebsführung und Performance der Anlagentechnik sollte die Erfassung und Auswertung zeitnah erfolgen, so dass empfohlene Maßnahmen (Reduzierung von Volumenströmen, Absenkung von Temperaturniveaus) hinsichtlich ihrer Wirkung bewertet werden können.

Tabelle 2 zeigt eine Gegenüberstellung verschiedener Verwendungszwecke mit dazugehörigen Mindestanforderungen an die zeitliche Datenerfassung. Bisher wurden Abrechnungen und Bilanzierungen jährlich abgewickelt. Das es sinnvoll ist, dies auch monatlich zu tun, zeigt die Novelle der HeizkostenV: Damit Verbrauchstrends und jahreszeitliche Schwankungen sinnvoll erfasst werden können, wird mindestens eine monatliche, besser wöchentliche Analyse benötigt. Sonst könnte zum Beispiel eine Änderung der Wetterlage nicht ausreichend berücksichtigt werden. Noch deutlicher wird dies, wenn plötzliche Ereignisse wie ein Defekt oder die Inbetriebnahme einer neuen Anlage untersucht werden sollen. Hier macht es Sinn, auch täglich Daten bereitzustellen. Im minütlich bis sekundlichen Teil der Zeitskala befinden wir uns wieder im Bereich der Gebäudeautomationstechnik.

Tabelle 2
Zeitliche Auflösung von Daten nach Verwendungszweck

Verwendungszweck	Zeitliche Auflösung
Abrechnungen, Bilanzierung	monatlich / jährlich
Verbrauchstrends, jahreszeitliche Schwankungen	monatlich / wöchentlich
Einfluss einer Investition, eines Defekts oder einer Reparatur untersuchen	täglich
Monitoring des Anlagenzustands	stündlich / minütlich / sekundlich
Untersuchen von technischen Zusammenhängen	sekundlich
Sicherheitsrelevante Alarmer	Echtzeit

Quelle: eigene Erarbeitung; VDI 6041

In der VDI 6041 befinden sich ähnliche Kriterien, diese sind in Tabelle 3 zusammengefasst. In der Tabelle wurden drei Kategorien der Datenqualität definiert: niedrig, mittel und hoch. Weil die EPBD 2018 eine kontinuierliche Überwachung der Energieeffizienz sowie automatisierte Alarm -erkennung und -mitteilung fordert, entsprechen die Vorgaben der Stufe I „hoch“.

Tabelle 3
Kriterien der Datenerfassung nach VDI 6041

Merkmal	III niedrig	II mittel	I hoch
Datenerfassung	Art: manuell oder mobil Intervall: niedrige zeitliche Auflösung, das heißt größere Abstände, meist Wochen oder Monate	Art: meist automatisch mit fernauslesbaren Zählerfassungssystemen Intervall: mittlere zeitliche Auflösung, z. B. tage- oder wochenweise	Art: automatisiert, z. B. Fernübertragung, Bussysteme oder Prozessinformationssysteme Intervall: hohe zeitliche Auflösung, z. B. minuten- oder sekundengenau
Energiemessung	Hauptzähler Betriebsstundenzähler	Hauptzähler Unterzähler teilweise Betriebsstundenzähler	Hauptzähler Unterzähler wichtige Aggregate alle Energieformen
Zustände	Monitoring der Stellgrößen (nicht tatsächlicher Istzustand)	Istzustände (im Ausnahmefall Stellgrößen) wichtigste Alarmer	Istzustände Stellgrößen Alarmer
Bedarfserfassung	wenige bis keine Informationen	wichtigste Informationen der Hauptanlagen (nicht zonenbezogen)	alle Informationen über Bedarfsanforderungen

Merkmal	III niedrig	II mittel	I hoch
Änderungsaufzeichnung	keine systematische Aufzeichnung	systematische Aufzeichnung von Änderungen mit Zeit: Personenkennung altem/ neuem Wert allen Werten summarisch	systematische Aufzeichnung von Änderungen mit Zeit: Personenkennung altem/ neuem Wert allen Werten summarisch auf individuellen Nutzer bezogen

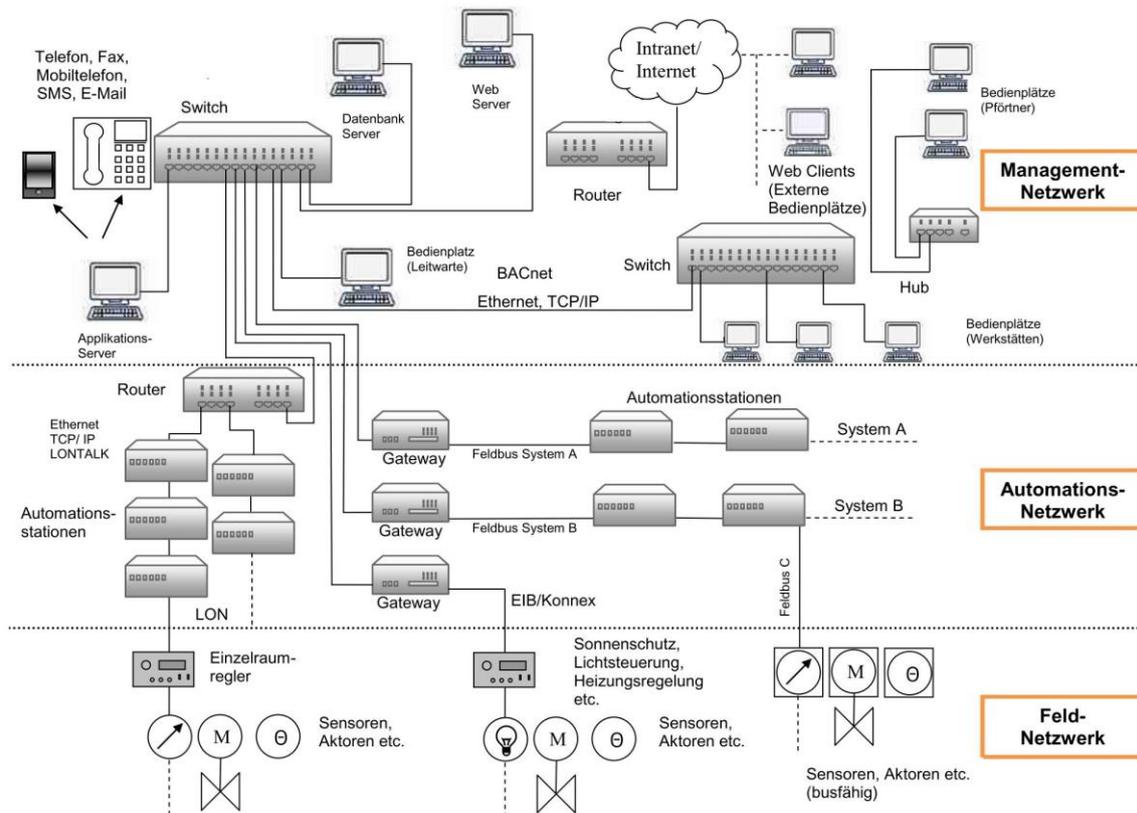
Quelle: VDI 6041

Kommunikation und Bussysteme

Ein Bussystem bezeichnet die Verbindung einzelner Komponenten über einen einheitlichen Datenübertragungsweg. In der GA werden Bussysteme zur Übertragung von Daten und dem Steuern von Anlagen verwendet. Die wesentlichen Unterscheidungskriterien eines Bussystems sind die Struktur des Bussystems, das Übertragungsmedium, der Anwendungsfall, die Übertragungsgeschwindigkeit, die Reichweite und die Kompatibilität mit anderen Systemen.

Auf dem Markt befinden sich eine Vielzahl von Bussystemen, die sich aus verschiedenen Beweggründen heraus entwickelt haben. Dazu gehören herstellereigene Systeme, spezialisierte Systeme, Zusammenschlüsse von Systemen und viele mehr. Innerhalb eines Gebäudes kommen auch häufig mehrere Bussysteme zum Einsatz, wie Abbildung 10 zeigt. In diesem Beispiel wird in der Management Ebene wird BACnet eingesetzt, die Automationsebene kommuniziert mit LON und die Feldebene über direkte Steuerbefehle oder eigene Standards.

Abbildung 10
Beispiel einer Kommunikationsinfrastruktur



Quelle: AMEV Gebäudeautomation 2019

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die gängigen Protokolle und Bussysteme in der GA.

Tabelle 4
Gängige Bussysteme in der GA

Bus-system	Anwendung	Automations-ebene ¹	Offenes Protokoll	Medium	Sonstiges
BACnet	Heizung, Klima, Lüftung, Beleuchtung, Alarmierung, Überwachung	(FE), AE, ME	Ja	IP, Ethernet, RS-485, LonTalk	Bevorzugter Standard nach AMEV, festgelegt in ISO 16484-5
OPC UA	GA, Industrie, Cloud	AE, ME	Ja	TCP/IP, RS-485	Ursprung in der Industrie, Cloud-fähig
Modbus	Präsenzmelder, Beleuchtung, Klima,	FE, AE	Ja	Seriell, IP	

¹ FE = Feldebene, AE = Automations-ebene, ME = Managementebene

Bus-system	Anwendung	Automations-ebene ¹	Offenes Protokoll	Medium	Sonstiges
	Raumbediengeräte, Ventilatoren, Verbrauchszähler				
M-Bus	Zähler	FE	Nein	Twisted Pair	Spezialisiert auf Verbrauchsmessung, gute Integrierbarkeit in BACnet, KNX oder LON
KNX	Beleuchtung, Beschattung, Wetterdaten, Heizung, Alarmer	FE, AE	Ja	RS-485, Funk	
LonTalk	Beleuchtung, Beschattung, Heizung, Klima, Lüftung, Fassaden, Türen, Alarmierung	FE, AE	Nein	Twisted Pair, Powerline, LWL, TCP/IP	Hohe Kompatibilität über alle Gewerke

Quelle: Potz Gebäudeautomation & -technik 4. 05. 2023

Des Weiteren sind ZigBee, Z-Wave, EnOcean und Matter aus Steuerungen für den Privathaushalt und darüber hinaus bekannt. Aufstrebende Kommunikationsstandards im Bereich der Elektromobilität und Energieversorgung sind OCPP und EEBus. In der Beleuchtungstechnik konnte sich Dali etablieren.

Die EPBD 2018 macht keine konkreten Vorgaben zu den Bussystemen, allerdings können drei Kriterien abgeleitet werden:

- offene Schnittstellen
- systemübergreifende Kommunikation
- Datenlogging

Zusammenfassend kann kein einheitliches Protokoll als Lösung für alle Teilbereiche der GA gefunden werden. Es gibt einige etablierte Protokolle die, in ihrem jeweiligen Fachgebiet, defacto Standard sind. Dazu gehört Dali in der Beleuchtung, M-Bus und Modbus für Zähler, OCPP in der Elektromobilität usw. Das ist häufig historisch gewachsen oder für den jeweiligen Anwendungsfall prädestiniert (z. B. wenn durch den M-Bus Stromversorgung und Datenübertragung über eine Leitung möglich ist), weshalb keine restriktiven Vorgaben gemacht werden sollten.

Jedoch besteht spätestens in der Automationsebene die Möglichkeit, die verschiedenen Protokolle innerhalb der Automationsstation, oder über Gateways, zu vereinheitlichen. In der Automationsebene und der Managementebene ist BACnet der etablierteste Standard und sollte klar bevorzugt werden. Allerdings erfüllt OPC UA grundsätzlich auch die Anforderungen der EPBD 2018. Somit können die gebäudetechnischen Systeme untereinander in der AE kommunizieren und zusätzliche ihre Daten an gebündelter Stelle an die ME senden. Das erlaubt es Diensten von Dritten ohne aufwändige Datenumwandlungen auf die Daten zuzugreifen und so durch beispielsweise Monitoringsysteme oder KI-Applikationen einen Mehrwert zu schaffen. In die andere Richtung können Vorgaben der ME direkt an die AE weitergeleitet werden. Im Bereich der Anbindung an Cloud- und Dritt-Systeme setzen sich auch in der GA Web-Standards, wie sie in anderen Bereichen bereits etabliert sind, zunehmend durch. Hierzu zählen Protokolle für die Machine to Machine (M2M)-Kommunikation wie bspw. MQTT (Sauter, 2020) und die Anbindung von Systemen an offene Programmierschnittstellen (TeDo Verlag GmbH 2021).

Simulation von GA-Systemen zur Ermittlung des Einsparpotenzials

Es wurden Simulationen von GA-Systemen in verschiedenen Nichtwohngebäuden durchgeführt, um das Einsparpotenzial durch GA-Systeme zu untersuchen. Dafür wurden zuerst fünf praxisnahe Szenarien für verschiedene Gebäudetypen definiert, die einen großen Teil des deutschen Gebäudebestands widerspiegeln sollen. Dabei wurde die technische Gebäudeausstattung, die Bauphysik sowie der spezifische Energieverbrauch berücksichtigt.

Für jedes der fünf Beispielgebäude wurden zwei Simulationsszenarien definiert: ein unregelmäßiges Szenario mit hohen Energieverbräuchen und ein durch GA entsprechend den Vorgaben der EPBD 2018 optimiertes Szenario. Durch diese Vergleichssimulationen soll die Wirkweise und das Einsparpotenziale der GA verdeutlicht werden. Abschließend werden die Ergebnisse der Simulationen mit Werten aus der DIN EN ISO 52120-1 und Referenzprojekten verglichen, diskutiert und Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet.

Erarbeitung praxisnaher Szenarien verschiedener Nichtwohngebäude

Die Simulationen sollen einen aussagekräftigen Einblick in den deutschen Gebäudebestand bieten. Ziel ist die Erarbeitung von praxisnahen Szenarien verschiedener Typen von Nichtwohngebäuden wie z. B. Schulen oder Bürogebäuden mit unterschiedlichen Anlagenkonstellationen wie z. B. einer Kombination von Heizungs- und Lüftungsanlage.

Die praxisnahen Szenarien sollen einen möglichst großen Bereich des deutschen Nichtwohngebäudebestands abdecken. Bei der Auswahl von repräsentativen Gebäuden wurden fünf Kriterien berücksichtigt:

- der Gebäudetyp
- die Gebäudenutzfläche
- der U-Wert
- der spezifische Energieverbrauch
- die technische Gebäudeausstattung

Die zur Auswahl stehenden Gebäudetypen sind in Tabelle 5 zu finden. Ein wesentlicher Unterschied in Bezug auf das Einsparpotenzial zwischen den Gebäudetypen ist das Nutzungsprofil, das heißt die zeitliche Nutzung des Gebäudes in Abhängigkeit der Tageszeit und Wochentage. Während der Abwesenheiten kann eine geringere Raumtemperatur angenommen werden und die Lüftungsrate wird gesenkt.

Tabelle 5
Gebäudeklassen Szenarien

Nr.	Kategorie
1	Bildungsgebäude Schulgebäude, Kindertagesstätten, Hochschulen
2	Büro- & Verwaltungsgebäude Banken, Versicherungen, Regierungsgebäude, Ämter
3	Fabrikgebäude Großunternehmen, Fabrikationshallen
4	Werkstattgebäude Handwerk, Gewerbe

Nr.	Kategorie
5	Heilbehandlungsgebäude Krankenhäuser, Polikliniken
6	Handelsgebäude Shopping-Center, Lebensmittel, Non-Food
7	Lagerhallen Zentrallager, Versandlager
8	Sporthallen private, Schul- und Hochschulsport, Tennishallen
9	Schwimmballen Spaßbäder, kleine Schwimmsporthallen
10	Kulturgebäude Oper, Theater, Konzert, Kino, Ausstellungsgebäude
11	Beherbergungsgebäude Hotels, Gaststättengebäude freistehend

Quelle: Renner 2011

Auf Basis der absoluten Häufigkeit der jeweiligen Gebäudetypen wurde ein Büro, ein Verwaltungsgebäude, ein Hotel, ein Lebensmittelmarkt / Handelsgebäude und eine Schule ausgewählt. Mit dem Büro und dem Verwaltungsgebäude wurden zwei Gebäude derselben Kategorie ausgewählt. Damit soll der Einfluss unterschiedlicher Gebäudetechnik und Energieeffizienzklassen bei gleicher Nutzungsart untersucht werden.

Damit der Einfluss unterschiedlicher Anlagentechnik untersucht werden kann, soll die Ausstattung der fünf Szenarien voneinander abweichen. Die EPBD 2018 bezieht sich in den Artikeln 14 und 15 auf den Wärmeerzeuger, die Klimaanlage und der optionalen Lüftungsanlage. Ein Wärmeerzeuger wurde in jedem Gebäude vorausgesetzt. Nach einer Studie der bergischen Universität Wuppertal besitzen 72,5 % der NWG zentrale Wärmeerzeuger mit fossilen Brennstoffen und 15,7 % setzen auf Fernwärme (Hörner 2021). Die übrigen 11,8 % werden alternativ beheizt. Es ist zu erwarten, dass dieser Anteil aufgrund der starken Förderung von Wärmepumpen in den nächsten Jahren stark steigen wird (DENA 2022).

Tabelle 6 gibt einen Überblick der technischen Gebäudeausrüstung in den fünf Szenarien. Die Leistung der Wärmeerzeuger variiert zwischen 450 und 850 kW. Die benötigte Kühlleistung ist geringer und liegt zwischen 60 und 300 kW. Die Wärme wird durch einen Gas-Brennwertkessel mit einem Wirkungsgrad von 97 % bereitgestellt. Der zentralen Klimaanlage wird eine Kompressionskältemaschine mit einer Arbeitszahl von 3 zugrunde gelegt.

Die erzeugte Kälte wurde in allen drei Szenarien über eine Lüftungsanlage übergeben. Die Lüftungsanlage wird als zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgelegt. Der Lebensmittelmarkt nutzt die Abwärme der Kühlanlagen für Lebensmittel. Dafür wurde eine konstante Wärmezufuhr von 150 kW (Rechnung siehe Anhang A, Szenario 5) parallel zur Heizungsanlage in das Gebäude geleitet, wenn Heizwärmebedarf bestand.

Tabelle 6
Überblick der technischen Gebäudeausstattung der Szenarien

	Verwaltungsgebäude	Büro	Schule	Hotel	Lebensmittelmarkt
Wärmeversorgung	Zentral, Gaskessel 575 kW	Zentral, Gaskessel 450 kW	Zentral, Gaskessel 850 kW	Zentral, Gaskessel 800 kW	Zentral, Gaskessel 450 kW
Zentrale Lüftungsanlage	Keine	mit WRG	Keine	mit WRG	mit WRG
Klimaanlage	Nein	Zentral, 60 kW	Nein	Zentral, 200 kW	Zentral, 300 kW
Trinkwarmwasserbereitung	Dezentral	Dezentral	Dezentral	Dezentral	Dezentral

Quelle: eigene Erarbeitung

Der (spezifische) Gebäudeenergiebedarf soll einen realistischen, dem deutschen Gebäudebestand entsprechenden Wert annehmen. Es gibt wenige verlässliche Daten für den U-Wert des Gebäudebestands in Deutschland. Viele Bestandsgebäude sind renoviert und entsprechen nicht mehr dem energetischen Standard des Baujahrs. Auf der anderen Seite bestehen verlässliche Daten für den spezifischen Energiebedarf eines Gebäudes (Hörner 2021; VDI 3807 - Blatt 2 2014; Volker Ritter/Behrooz Bagherian/André Müller 2019). Daher wurden die U-Werte der Simulationen so gewählt, dass die Verbräuche üblichen Werten der Statistik entsprechen. Tabelle 7 zeigt die ausgewählten spezifischen Energieverbräuche der fünf Szenarien. Die Verbräuche orientieren sich an den Angaben des VDI und der Studie „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden“ (Ritter/Bagherian/Müller 2019). Im Durchschnitt liegen die spezifischen Energieverbräuche etwas über den Referenzwerten, da der Auslegungsfall der Simulation (Rahmenbedingungen in **Anhang A: Simulationsparameter der Gebäudetypen**) einem unregelmäßigen Gebäude mit überdurchschnittlich hohen Energieverbräuchen entspricht. Weil das Verwaltungsgebäude und das Bürogebäude vom gleichen Gebäudetyp sind, wurden unterschiedliche Verbräuche gewählt. So kann in der Auswertung weiter differenziert werden. Das Schulgebäude entspricht einem klassischen Altbau, wie er häufig in öffentlichen Gebäuden vorkommt.

Tabelle 7
Spezifische Energieverbräuche der Szenarien im Auslegungsfall

Szenario	Spez. Energieverbrauch (kWh/m ² a)	U-Wert (W/Km ²)
Verwaltungsgebäude	248	1,1
Büro	140	0,7

Szenario	Spez. Energieverbrauch (kWh/m ² a)	U-Wert (W/Km ²)
Schule	234	1,1
Hotel	158	0,7
Lebensmittelmarkt	149	0,5

Quelle: eigene Erarbeitung

Ermittlung des Einsparpotenzials durch Gebäudeautomationsysteme

Die Einsparpotenziale durch den Einsatz von Systemen zur Gebäudeautomatisierung werden in einer Simulation bestimmt. Die Ergebnisse werden mit Hilfe weitere Quellen verifiziert. So werden die eigenständig durchgeführten Simulationen, mit dem durch die DIN EN ISO 52120-1 ermittelten Einsparpotenzial verschiedener GA-Klassen und verschiedenen Referenzprojekten aus der Wirtschaft verglichen.

Simulation der Gebäudeautomation durch Polysun

Polysun ist eine leistungsstarke Softwarepalette für die simulationsgestützte Planung, Auslegung und Optimierung von ganzheitlichen Energiesystemen für Gebäude und Quartiere (velasolaris 11. 11. 2022). Der umfangreiche Funktionsumfang erlaubt es, in kurzer Zeit komplexe Gebäudeszenarien zu entwerfen und zu simulieren. Abbildung 11 zeigt einen Screenshot der Benutzeroberfläche von Polysun.

Abbildung 11
Beispiel einer Polysun-Simulation



Quelle: velasolaris 2022

Polysun ermöglicht die freie Programmierung von Steuerungslogiken und ermöglicht so die Simulation der GA. In der Simulation wurden die folgenden Funktionen genutzt, um Energieeffizienzvorteile von GA in der Simulation umzusetzen:

- Variation der Raum-Solltemperatur zwischen An- und Abwesenheiten für Heiz- und Kühlszenarien
- Automatische Verschattung zur Reduktion der Sonneneinstrahlung im Kühlbetrieb
- Abschaltung von Aggregaten bei Nicht-Betrieb (z. B. Sommerabschaltung des Wärmeerzeugers)
- Steuerung der Luftwechselrate nach An- und Abwesenheiten
- Definition unbeheizter Räume

Das Einsparpotenzial wurde über einen Vergleich eines Referenzszenarios gegenüber dem eines „optimierten“ Szenarios bestimmt. Im Referenzfall wurden für die im Anhang A, Tabelle 18, zu sehenden Daten angenommen. Die Solltemperaturen des Verwaltungsgebäudes sind den Vorgaben der AMEV Empfehlung „Heizbetrieb 2001“ entnommen. Für den Lebensmittelmarkt wurden strengere Vorgaben bei der Klimatisierung gewählt, weil dort neben dem Nutzerkomfort auch Kriterien für die Lagerung von Lebensmitteln eingehalten werden müssen.

Die für die simulierte GA angenommen Parameter sind eng an die in der DIN EN ISO 52120-1 durchgeführten Simulationen angelehnt. Sie entsprechen den Vorgaben der GA-Klasse „B“, auch wenn es aufgrund der unterschiedlichen Simulationssoftware nicht möglich war, identische Einstellungen vorzunehmen.

Die Simulationsparameter befinden sich in Anhang A: Simulationsparameter der Gebäudetypen

Simulationsergebnisse

Die Simulationsergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Die durchschnittliche, relative Gasverbrauchsänderung liegt bei 15,7 %. Die Ersparnisse bei dem Verwaltungsgebäude, dem Büro, dem Lebensmittelmarkt und dem Hotel liegen nah beisammen, während die ermittelten Ersparnisse bei der Schule (-25,5 %) stärker abweichen. Die relativen Ersparnisse im Bereich der Kühlenergie liegen deutlich höher, bei durchschnittlich 50,4 %. Neben den relativen Ersparnissen sind im Bereich der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung jedoch vor allem die absoluten Ersparnisse relevant. Diese liegen bei dem Verwaltungsgebäude höher als bei dem Bürogebäude, obwohl die relativen Ersparnisse geringer sind. Das Schulgebäude hat die mit Abstand höchsten absoluten Ersparnisse (385 MWh/a). In den Wärmeverlusten sind alle Formen der Wärmeübertragung an die Umwelt zusammengefasst (z. B. Transmissionsverluste durch die Gebäudehülle, Verluste durch die Luftwechselrate).

Tabelle 8
Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

	Relative Verbrauchsänderung Gas (%)	Absolute Verbrauchsänderung Gas (MWh/a)	Relative Verbrauchsänderung Kühlenergie (%)	Absolute Verbrauchsänderung Kühlenergie (MWh/a)	Abwesenheit pro Woche (h/Woche)	Relative Änderung Wärmeverluste (%)
Verwaltung	-11,2	159	-	-	103	-9,6
Büro	-15,4	123	-56,5	36,2	103	-11,6
Schule	-25,5	385	-	-	123	-21,0
Hotel	-14,6	253	-67,7	87,3	70	-11,3
Lebensmittelmarkt	-11,8	88	-27,0	38,0	102	-16,8

Quelle: eigene Berechnungen

Die Simulationen haben gezeigt, dass die Energieersparnisse stark mit den Wärmeverlusten korrelieren. Das liegt daran, dass die GA im Normalfall nicht die Energieeffizienz der Aggregate erhöht, sondern die Energiezufuhr an den Bedarf anpasst. Überschüssige Energie wird an die Umwelt verloren. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 12 zu erkennen. Die Grüne Linie ist die vorgegebene Raumtemperatur durch die GA, die gelbe Linie ist die Raumtemperatur und die orange Linie die Referenz-Raumtemperatur (21°C). Zwischen den Temperaturen besteht ein Phasenversatz, bedingt durch die Wärmekapazität des Gebäudes und der Isolation (U-Wert). In einer ersten Schlussfolgerung kann daraus entnommen werden, dass das Gebäude früher aufgeheizt werden muss und im Gegenzug früher abgekühlt werden kann. Des Weiteren zeigt sich, dass in diesem Fall die Temperatur nach einer längeren Absenkung (Wochenende) am darauffolgenden Tag nicht die angestrebten 21 °C erreichen konnte, weil die Wärmeerzeugerleistung zu klein war. Auch das kann durch eine rechtzeitige Einschaltung des Wärmeerzeugers durch GA oder eine höhere Wärmeerzeugerleistung verhindert werden.

Die stärkste Kraft hinter den Wärmeverlusten durch die Gebäudehülle ist die Temperaturdifferenz aus Innen- und Außentemperatur. Wenn die Raumtemperatur gesenkt wird, sinken die Wärmeverluste da die Innentemperatur und somit die Temperaturdifferenz nach Außen mit der Zeit fällt. Daraus kann geschlossen werden, dass die Energieersparnisse mit der Fläche zwischen der orangen Linie (Referenzfall) und der gelben Linie (optimierter Fall) korrelieren. Somit ist ein schlechter U-Wert und eine geringe Wärmekapazität förderlich für die Wirtschaftlichkeit von GA, da in diesem Fall die Raumtemperaturen schneller fallen. Auch lange, zusammenhängende Abwesenheiten sind förderlich, weil weniger Energie aufgewendet werden muss, die Wärmekapazität des Gebäudes nach einer Abwesenheit zu überkommen. So kann erklärt werden, warum das Schulgebäude die größten Energieersparnisse hatte, da dort die Schulferien berücksichtigt wurden.

Es zeigt sich, dass die relativen Einsparungen von dem U-Wert, bzw. des spezifischen Wärmebedarfs des Gebäudes entkoppelt sind. Diese liegen in vier Simulationen in einem vergleichbaren Wertebereich. Die absoluten Einsparungen variieren jedoch stark. Diese sind bei Gebäuden mit ohnehin geringem Energieverbrauch entsprechend gering. Das kann erklären, warum AMEV bei Projekten mit sehr hohen energetischen Anforderungen (z. B. Null-Energiehäuser, Energieeffizienzhaus-Plus) ein geringeres Einsparpotenzial sieht. (AMEV Wärmeversorgungsanlagen)

Abbildung 12
Verlauf der Soll- und Ist-Raumtemperatur

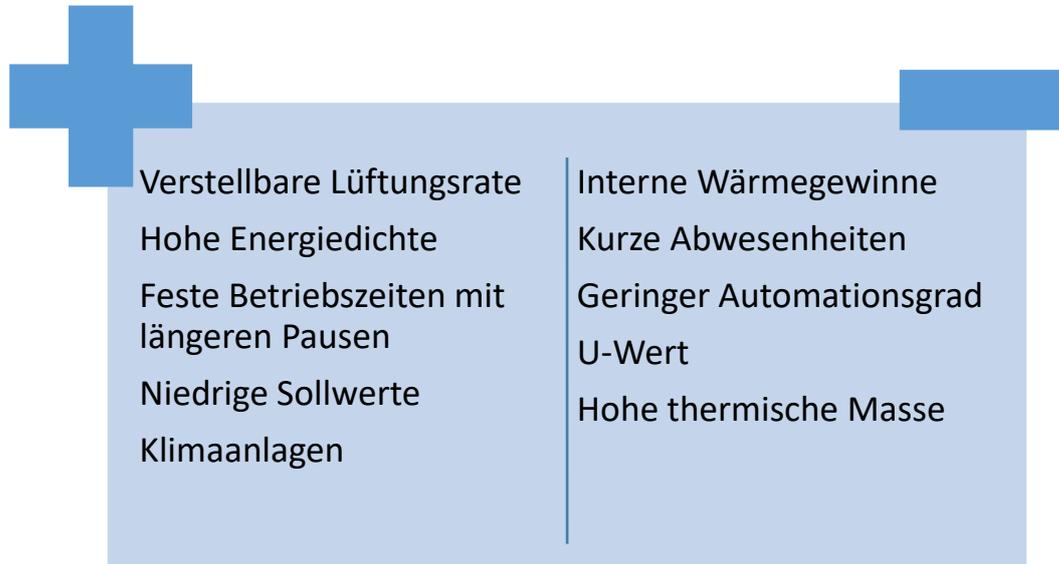


Quelle: eigene Berechnungen

Einfluss auf die Simulationsergebnisse

Während der Simulationen konnten einige Faktoren ausgemacht werden, die die Wirtschaftlichkeit von GA-Systemen beeinflussen. Diese sind in Abbildung 13 zusammengefasst.

Abbildung 13
Vor- und Nachteile für die Wirtschaftlichkeit von GA



Quelle: eigene Ergebnisse

Die wesentlichen Faktoren können in folgende Kategorien zusammengefasst werden:

- **Energiedichte:** Ein hoher spezifischer Energieverbrauch ist häufig die Folge schlechter U-Werte und einer unzureichenden Anlagenführung. In diesen Fällen kann die GA, welche im wesentlichen Energieverluste verhindert, ein besonders großes Einsparpotenzial heben. Im Umkehrschluss sind in Gebäuden mit hohen energetischen Anforderungen (Passivhäuser, etc.) geringere Potenziale zu heben.
- **Gebäudetyp und Profil:** Die Anwesenheitszeiten sowie die Anforderungen an die Raumluftqualität (Lüftungsrate und Raumtemperatur) haben einen großen Einfluss auf das zu hebende Einsparpotenzial. Zu diesem Schluss kam auch die DIN EN ISO 52120.
- **Ausstattung der GA und Gebäudetechnik:** Je mehr Stellschrauben bedient werden können, umso mehr Energie kann gespart werden. Im Rahmen der Simulationen sind hier vor allem die Verschattungs-, Klima und Lüftungsanlage zu nennen. Es ist nicht so, dass die Verbräuche durch die zusätzliche Gebäudetechnik sinken, das Gegenteil ist der Fall. Jedoch wird eine GA-System wirtschaftlicher, wenn in mehreren System Energie gespart werden kann.

Vergleich der Simulationsergebnisse mit Referenzwerten der Hersteller und der DIN EN ISO 52120-1

Tabelle 9 fasst die Ergebnisse der Simulationen, der DIN EN ISO 52120-1 und verschiedener Referenzprojekte zusammen. Bei den Gesamteinsparungen wird ein Faktor von Elektrische Energie [kWh] = Benötigte Kühlenergie [kWh] / 3 angesetzt. Für die Simulationen wird jeweils die Ersparnis der Wärmeenergie, Kälteenergie und das Gesamtersparnis aufgelistet. Um das Gesamtersparnis zu ermitteln, wurden die Energiemengen Strom und Gas in MWh vor und nach der Optimierung addiert und der prozentuale Unterschied berechnet. Es zeigt sich, dass die Größenordnung des Einsparpotenzials zwischen den Simulationsergebnissen und der DIN EN ISO 52120-1 durchaus vergleichbar sind. Im Durchschnitt liegen die Ergebnisse der Simulation etwas unterhalb der Ergebnisse der DIN EN ISO 52120-1 und entsprechen in etwa denen der GA-Klasse B.

Tabelle 9
Zusammenfassung Einsparpotenzial durch GA

Energieersparnisse in %	Simulation (Gas)	Simulation (Kälte)	Gesamteinsparungen (Gas + El. Energie)	DIN EN ISO 52120-1 (B-A), Wärme
Verwaltungsgebäude	11,2	-	11,2	20-30
Bürogebäude	15,4	56,5	16,5	20-30
Schulgebäude	25,6	-	25,6	12-20
Hotelgebäude	14,6	67,7	15,8	15-32
Lebensmittelmarkt	11,8	27,0	12,7	27-40
Durchschnitt	15,7	50,4	16,4	18,8-24,4

Quelle: eigene Berechnungen

Insgesamt liegen 14 Referenzprojekte verschiedener Unternehmen vor. Die Referenzprojekte wurden in verschiedenen Gebäudetypen durchgeführt, weshalb sie nicht der Tabelle zugeordnet werden können. Neben reinen GA-Systemen wurden zusätzlich weitere Eingriffe in die Gebäudetechnik durchgeführt. Dazu gehörten Wartungen (Hydraulischer Abgleich, Heizungsparameter Optimieren), die Installation von Monitoringsysteme oder der Einbau moderner Heizkessel und Wärmepumpen.

Eine detaillierte Auflistung der Referenzprojekte befindet sich in **Anhang B: Referenzprojekte verschiedener Hersteller von Gebäudeautomationsanlagen**. Die Referenzprojekte stammen von der „European building automation controls association“ (eu. bac 2022).

Zu 7 der 14 Referenzprojekte liegen konkrete Zahlen zur relativen Energieeinsparung vor. Der Mittelwert liegt bei 37,7 % Energieeinsparungen (Strom und Gas). Unter den Messwerten liegt ein Ausreißer von 88 % Energieeinsparung. Wenn dieser Wert nicht berücksichtigt wird, liegen die Energieeinsparungen im Mittel bei 29,3 %. Das entspricht dem Erwartungswert einer GA-Klasse A nach DIN EN ISO 52120-1. Wenn berücksichtigt wird, dass neben dem Installieren der GA-Systeme auch weitere Tätigkeiten durchgeführt wurden, sind diese Referenzwerte als plausibel einzustufen. Dennoch handelt es sich um händisch ausgewählte Referenzprojekte verschiedener Hersteller von GA-Systemen, weshalb eine gewisse Unschärfe zu berücksichtigen ist.

Verglichen mit den Referenzprojekten sind die Einsparungen in der Simulation nur etwa halb so hoch. Allerdings handelt es sich um ausgewählte Referenzprojekte, mit einem höheren Auftragsvolumen und Umfang, als es von der EPBD 2018 gefordert wird. Die EPBD 2018 strebt die GA-Klasse B an. Die daraus resultierenden Ersparnisse decken sich gut mit den Simulationsergebnissen. Daher wird im weiteren Verlauf mit den Ergebnissen der Simulation in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung gearbeitet. Somit liegt in der Wirtschaftlichkeitsberechnung eine konservative Beurteilung des Energiesparpotenzials vor.

Wirtschaftlichkeit von Gebäudeautomationssystemen

Die Wirtschaftlichkeit der GA wird auf Basis der (VDI 2067) „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung“ durchgeführt. Rechnerisch wird die Annuitätenmethode angewendet. Gemäß VDI 2067 wird für Mess- und Regelungstechnik sowie für Schwachstromanlagen ein Betrachtungszeitraum von 15 Jahren vorgesehen. (ebd.)

Zur Beurteilung der Kosten sind grundsätzlich alle Kostenarten heranzuziehen. Abbildung 14 zeigt die in der Berechnung berücksichtigten Positionen.

Abbildung 14
Positionen der Wirtschaftlichkeitsberechnung



Quelle: eigene Abbildung; VDI 2067

Die Ersparnisse durch die GA setzen sich aus den gesparten Gas- und Stromkosten sowie der CO₂-Abgabe zusammen. Die CO₂-Abgabe ist im Normalfall bereits im Gaspreis enthalten. Allerdings wurde dieser Anteil herausgerechnet, damit die steigenden CO₂-Abgaben separat ausgewiesen werden konnten.

Bei Kostenberechnungen für zukünftige Zeitabschnitte müssen nach VDI 2067 die Investitions- und Instandhaltungskosten, Personalkosten und Energiekosten berücksichtigt werden. Es wird davon ausgegangen, dass durch GA-Systeme ein geringerer Personalaufwand besteht, da z. B. das Zählerablesen oder Einstellungen an der Heizungsanlage automatisiert bearbeitet werden können. Weil keine verlässlichen Zahlen zu den Personalkosten vorliegen, wird diese Kostenstelle nicht berücksichtigt. Die Investitionskosten wurden über den Baukosten-Index (BKI) hergeleitet und über die Anforderungen an die GA gewichtet.

Nach § 74 GEG muss eine Klimaanlage mit mehr als 12 kW Nennleistung nach zehn Jahren erstmals energetisch inspiziert werden. Diese Pflicht kann entfallen, wenn ein GA-System die energetischen Kennzahlen überprüft. Um eine realistische Schätzung der Kosten für die Inspektion von Klimaanlagen zu erhalten, wurden vier Unternehmen angefragt. Demnach liegen die Kosten für eine energetische Inspektion bei ca. 1.700 bis 2.000 €. Eine Wartung der Klimaanlage für Filterwechsel, Kühlmittel auffüllen, etc. muss nach wie vor durchgeführt werden.

Die Grundlage für die Entwicklung der Energiekosten, sprich der Gas- und Stromkosten, bietet eine Studie der EWI Universität Köln „Szenarien für die Preisentwicklung von Energieträgern“ (Max Gierkink et al. 2022). Die CO₂-Preise wurden durch die Bundesregierung festgelegt.

Investitionskosten

Die Investitionskosten der GA-Systeme wurden mit Hilfe des BKI -Baukostenindex für Neubauten bestimmt (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern 2022). In Teil 2, „Positionen“, werden statistisch ermittelte Kostenkennwerte für reale GA-Systeme pro Quadratmeter gegeben. Tabelle 10 zeigt eine Übersicht der Kosten für die fünf in dieser Studie untersuchten Referenzfälle. Das BKI verfügt nicht über Daten jeder Gebäudeklasse. Die Gebäudeklasse „Hotel“ ist nicht explizit vertreten. Der Gebäudetyp, der dem am nächsten kommt, ist „Wohnheime und Internate“. Allerdings sind die Kosten, die für diesen Gebäudetypen angegeben werden, deutlich geringer als es in den anderen Gebäudetypen der Fall ist. Kosten für Nachrüstungen von GA-Systemen im Bestand wurden nicht berücksichtigt, weil die damit verbundenen Kosten objektspezifisch zu stark variieren.

Tabelle 10
Kosten der GA-Systeme nach BKI

Referenzfall	Im BKI gelistete Gebäudeklasse	Mittlere Kosten GA (€/m ²)	Fläche (m ²)	Gesamtkosten (€)
Verwaltungsgebäude	Büro und Verwaltung mittlerer Standard	34	5.600	190.400
Bürogebäude	Büro und Verwaltung hoher Standard	48	5.600	268.800
Schule	Allgemeinbildende Schulen	34	6.300	214.200
Hotel	Wohnheime und Internate	9,2	10.800	99.360
Lebensmittelmarkt	Lagergebäude ohne Mischnutzung	33	6.000	198.000

Quelle: Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern 2022

Bei der Frage nach der Wirtschaftlichkeit von GA-Systemen in Bezug auf die Umsetzung der EPBD 2018 wäre es falsch, die Gesamtkosten des GA-Systems in Rechnung zu stellen. Es sollte davon ausgegangen werden, dass Gebäude, vor allem Neubauten, einen gewissen Technisierungsgrad besitzen und Sowieso-Kosten anfallen. Auch die DIN EN ISO 52120-1 geht nicht davon aus, dass die GA-Klasse D der deutsche Referenzfall ist, sondern die Klasse C. Weil in dieser Studie die GA-Klasse B als Mindestanforderung für eine Automation nach der EPBD 2018 erachtet wird, soll ein Vergleich zwischen den GA-Klassen C und B durchgeführt werden, um zu ermitteln, wie groß die Mehrinvestitionskosten sind, die in die Wirtschaftlichkeitsberechnung einfließen.

Im Rahmen des Vergleichs werden die verschiedenen Ausführungen der Gebäudeautomationsfunktionen nach DIN EN ISO 52120-1 gegenübergestellt. Die detaillierte Auswertung ist in der beigefügten Excel-Tabelle „**GA-Funktionstabelle**“ zu finden. Damit der Vergleich möglichst stringent durchgeführt werden kann, wurden die folgenden Annahmen getroffen:

1. In der Planung wird von Neubauten ausgegangen.
2. Die Gebäudeautomationsstandards müssen mindestens erfüllt sein: Wenn es keine Stufe B oder C gibt, wird die nächsthöhere verwendet.
3. Eine GA-Plattform/Steuerung (SPS o.ä.) ist vorhanden.

4. Ein Aktor (Stellventil, Thermostat, Heizkessel, Wärmepumpe) ist standardmäßig auch mit Kommunikationsschnittstelle verfügbar.
5. Hardwareseitig wird State-of-the-Art Technik angenommen. Es ist weder wirtschaftlich noch technisch ratsam ältere Technik zu verwenden. Das bedeutet zum Beispiel, frequenzgesteuerte Pumpen oder modulierbare Brennwertkessel bzw. Wärmepumpen einzubauen.
6. Intelligente Software-Funktionalitäten (z. B. PI-Regler, Lastabhängige Regelung) sind durch Software-Bibliotheken und dem Erfahrungsschatz von Herstellern nicht wesentlich aufwändiger zu programmieren als einfache Steuerungsbefehle (2-Punkt Regler, Witterungsführung).

Um zu entscheiden, ob durch eine höherwertige GA-Funktion bedeutende Mehrkosten entstehen, wurden vier Fälle definiert.

Es entstehen keine bedeutenden Mehrkosten, wenn

- bessere Hardware benötigt wird, jedoch kaum zusätzliche Programmierung.
 - Beispiele: Zweistufenregelung Pumpe vs. Mehrstufenregelung, Stufen-Heizkessel vs. modularer Heizkessel, Thermostate ohne bzw. mit Kommunikationsschnittstelle
 - Begründung: Im Neubau wird moderne Technik vorausgesetzt.
- Die Hardware identisch bleibt, jedoch die Komplexität der Steuerung steigt
 - Beispiele: Witterungsführung vs. Lastabhängigkeit, feststehende Prioritätenliste (Wärmeerzeuger) vs. Dynamische, 2-Punkt Regler vs. PI-Regler
 - Begründung: Siehe Annahme 6

Es werden bedeutende Mehrkosten angenommen, wenn

- zusätzliche Hardware benötigt wird
 - Begründung: Hardware, die nur aufgrund der GA benötigt wird, sind reine Mehrkosten
- individueller oder deutlich erhöhter Programmieraufwand besteht
 - Beispiele: Zuordnung aller Thermostate auf die jeweiligen Räume, prädiktive Regelung der Wärmeerzeugung
 - Begründung: wenn Funktionen individuell auf ein Gebäude oder die vorhandene Technik angepasst werden muss, entsteht ein erhöhter Arbeitsaufwand

Wenn ein Fall mit bedeutenden Mehrkosten aufgetreten ist, wird diese Funktion markiert. Die Höhe der Mehrkosten wird nicht beachtet. Final wird das Verhältnis der markierten Funktionen gegenüber den nicht markierten Funktionen gebildet und so ein pauschaler Kostenfaktor für Gebäudeautomationsvorgaben nach EPBD 2018 gebildet. 18 von 45 GA-Funktionen fallen unter die oben genannten Kriterien für einen höheren Installationsaufwand. Daraus werden, gewichtet nach der Anzahl an betroffenen GA-Funktionen, pauschale Mehrkosten von 40% für die höheren Gebäudeautomationsstandards abgeleitet. Die Mehrinvestitionskosten, welche in die Annuitätenrechnung einfließen, sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11
Mehrinvestitionskosten der Annuitätenrechnung, gewichtet über den Umfang des Installationsaufwands

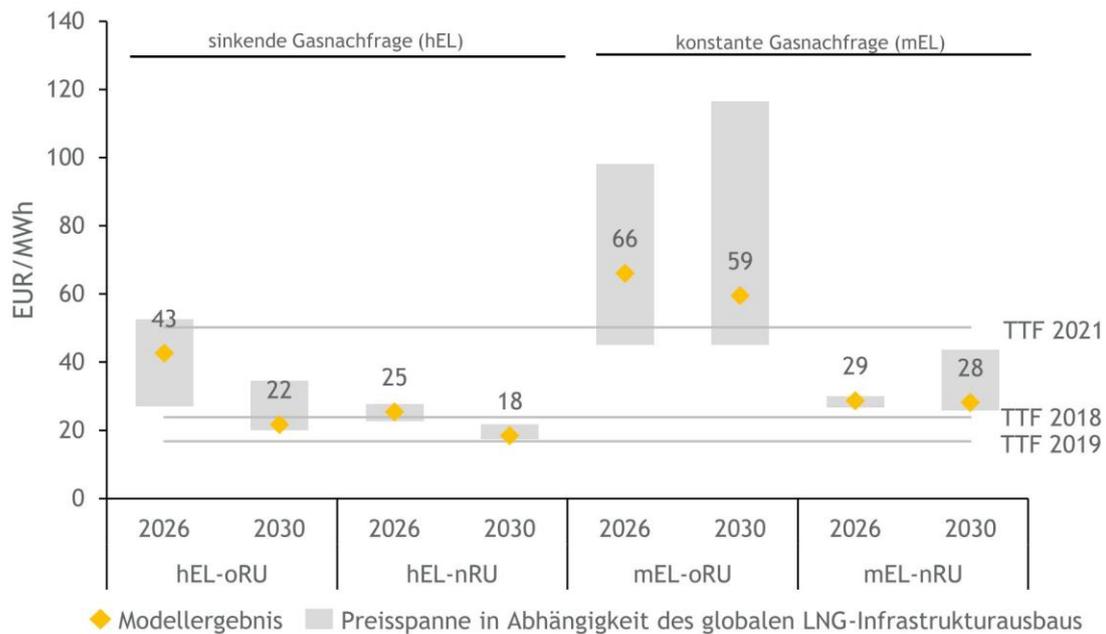
Verwaltungsgebäude	Bürogebäude	Schule	Hotel	Lebensmittelmarkt
76.160 €	107.520 €	85.680 €	39.744 €	79.200 €

Quelle: eigene Berechnungen

Gaspreis

Aufgrund des Ukraine-Kriegs waren die Gaspreise im Jahr 2022 so volatil wie nie zuvor. Eine belastbare Vorhersage der Energiepreise ist aus diesem Grund nicht möglich, weshalb im Folgenden drei Preisszenarien berücksichtigt sind. Wesentliche Treiber der Gaspreise in Europa sind die Abkehr vom russischen Gas, der erhöhte LNG-Import sowie der Ausbau erneuerbarer Energien. Aus diesen Trends wurden in einer Studie der EWI vier mögliche Szenarien entworfen und Gaspreise der Jahre 2026 und 2030 modelliert. Das Ergebnis ist in Abbildung 15 zu finden (Gierkink et al. 2022).

Abbildung 15
Mögliche Entwicklung der Gaspreise 2026/2030



Quelle: Gierkink et al. 2022

Aus den Ergebnissen wurden drei Preise abgeleitet:

- Ein niedrigpreisiger Verlauf mit Gaskosten von 22€/MWh
- Ein mittlerer Verlauf mit Gaskosten von 30€/MWh
- Ein hochpreisiger Verlauf mit Gaskosten von 60€/MWh

Für den Endabnehmer kommen zu dem Börsenpreis weitere Aufschläge wie dem Netzentgelt, Steuern, Vertrieb und so weiter hinzu. Tabelle 12 zeigt die Zusammensetzung des deutschen Gaspreises für Gewerbekunden am 01.04.2022. Bis zu einem Verbrauch von 1.500 MWh/a werden keine registrierenden Leistungsmessungen vorgenommen und das Preisgefüge ist weitestgehend homogen (Bundesnetzagentur 2022). Nur das Hotel liegt mit einem Gasverbrauch von 1.738 MWh/a leicht über dieser Grenze, dennoch wird von einer gesonderten Preisberechnung abgesehen, um einen besseren Vergleich zwischen den Szenarien zu gewähren. Tabelle 12 listet die verschiedenen Kostenbestandteile auf. Die Position der Energiebeschaffung wird mit den Gaspreisen der drei gewählten Preisszenarien ersetzt. Die CO₂-Abgabe wurde ausgelagert und gesondert berechnet, um die steigenden CO₂-Abgaben berücksichtigen zu können. So bleibt ein Festpreis von 1,9 ct/kWh bzw. 19€/MWh, der auf den Börsenstrompreis addiert wird. Anschließend wird die Umsatzsteuer von 19 % aufgeschlagen.

Tabelle 12
Zusammensetzung vom Gaspreis am 01.04.2022, Abnahmefall 116 MWh/a

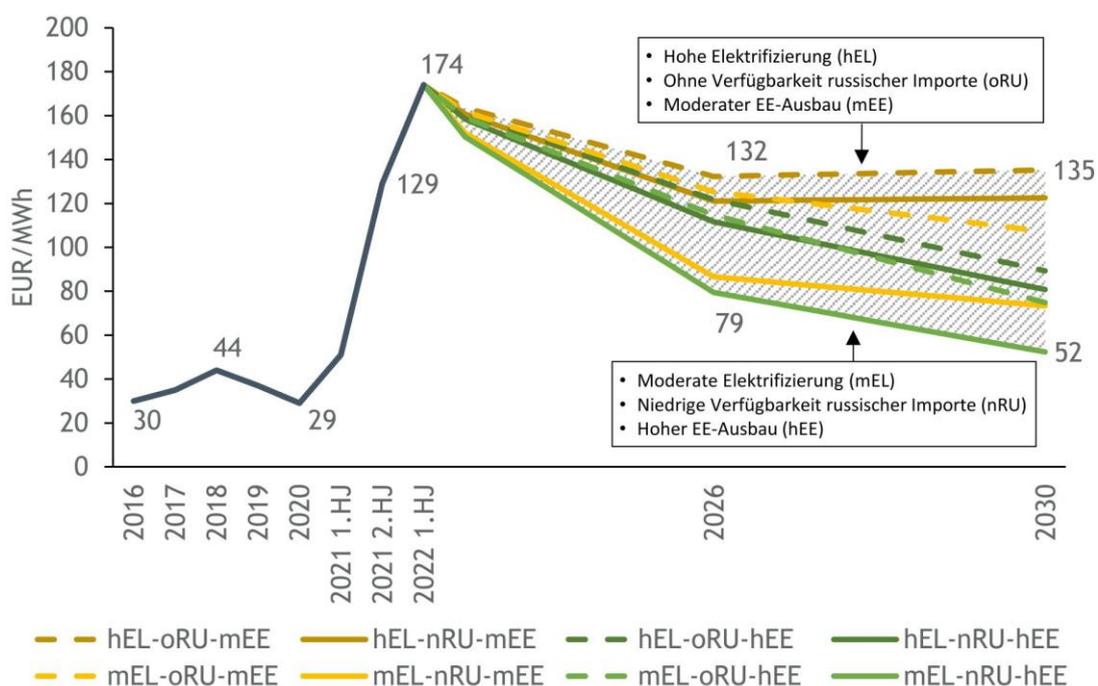
	ct/kWh	€/MWh
Energiebeschaffung	4,53	45,25
Messung und Messstellenbetrieb	0,05	0,50
Nettonetzentgelt	1,25	12,50
Konzessionsabgabe	0,05	0,50
Gassteuer	0,55	5,50
CO₂-Abgabe	0,54	5,40

Quelle: Bundesnetzagentur 2022

Strompreis

Auch beim Strompreis sind die bei dem Gaspreis genannten Trends die treibenden Faktoren hinter der Preisentwicklung. In Abbildung 16 sind mögliche Preisentwicklungen über eine Zeitskala bis 2030 dargestellt.

Abbildung 16
Mögliche Entwicklung der Großhandelsstrompreise



Quelle: Gierkink et al. 2022

Auch hier wurden drei Szenarien gebildet:

- Der niedrigpreisige Verlauf mit 79€/MWh im Jahr 2026 und 52€/MWh im Jahr 2030
- Der hochpreisige Verlauf mit 132€/MWh im Jahr 2026 und 135€/MWh im Jahr 2030

- Das arithmetische Mittel des günstigsten und teuersten Verlaufs mit 105,5€/MWh im Jahr 2026 und 93,5€/MWh im Jahr 2030

Zwischen den Jahren wurde der Strompreis über lineare Interpolation bestimmt. Ab dem Jahr 2030 wird ein konstanter Strompreis angenommen.

Auch auf den Strompreis kommen Netzentgelte, Steuern und die CO₂-Abgabe hinzu. Tabelle 13 listet die Strompreiskomponenten für Gewerbebetriebe mit einem Netzbezug von 50 MWh/a vom 01.04.2022 auf. Die Kosten der Energiebeschaffung entsprechen dem Börsenpreis und werden mit den zuvor genannten Werten ersetzt. Die EEG-Umlage ist entfallen und wird nicht weiter berücksichtigt. Alle weiteren Kostenpositionen wurden zu einem Festpreis von 10,91 ct/kWh bzw. 109,10 €/MWh zusammengerechnet und werden dem Börsenpreis aufaddiert. Anschließend wurde die Umsatzsteuer von 19 % aufgeschlagen.

Tabelle 13
Zusammensetzung vom Gewerbestrompreis am 01.04.2022, Abnahmefall 50 MWh/a

	Kosten (ct/kWh)	Kosten (€/MWh)
Energiebeschaffung	12,77	127,70
Messung und Messstellenbetrieb	0,31	3,10
Nettonetzentgelt	6,54	65,40
Weitere Umlagen	1,24	12,40
Stromsteuer	2,05	20,50
Konzessionsabgabe	0,77	7,70
EEG-Umlage	3,72	37,20

Quelle: Bundesnetzagentur 2022

CO₂-Abgabe

Mit dem Klimapaket der Bundesregierung wird das Heizen mit fossilen Energien wie Öl und Gas mit einem CO₂-Preis belegt. Die Kosten für den Ausstoß von CO₂ werden pro Tonne erhoben und es ist die Mehrwertsteuer von 19% aufzuschlagen. Tabelle 14 zeigt die Kosten der CO₂-Abgabe in den Jahren 2021 bis 2026. Für den Betrachtungszeitraum ab 2026 soll ein Preiskorridor von 55-65 €/t CO₂ gelten. In dieser Berechnung wird die Abgabe mit konstanten 60€/t CO₂ berücksichtigt und für die nachfolgenden Jahre fortgeschrieben. Die Bundesregierung hat die Erhöhung der CO₂-Abgabe im Jahr 2023 ausgesetzt, wodurch für dieses Jahr der Preis von 30 €/t CO₂ bestehen bleibt (Verbraucherzentrale 2023).

Tabelle 14
Kosten der CO₂-Abgabe, ohne Mehrwertsteuer

Jahr	2021	2022	2023	2024	2025	2026	...
€/t CO ₂	25	30	30	50	55	60	60

Quelle: Verbraucherzentrale 2023

Die ausgestoßene Menge CO₂ wurde von der Simulationssoftware Polysun über den Gasverbrauch bestimmt. Das Programm legt einen CO₂-Ausstoß von 0,231 t/MWh zu Grunde, was dem CO₂-Emissionfaktor von Erdgas entspricht.

Finanzielle Vorteile durch Energieersparnisse

Tabelle 15 zeigt die Energiemengen, die der Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde gelegt wurden. Diese decken sich mit den Simulationsergebnissen aus Tabelle 8. Die Ersparnis „Strom“ rührt aus den Ersparnissen der Kälteenergie, geteilt durch den Faktor 3 als durchschnittliche Arbeitszahl, weil eine Kompressionskältemaschine als Kälteerzeuger angenommen wird.

Tabelle 15
Absolute Einsparungen durch vermiedene Energiebezugskosten in den fünf Szenarien

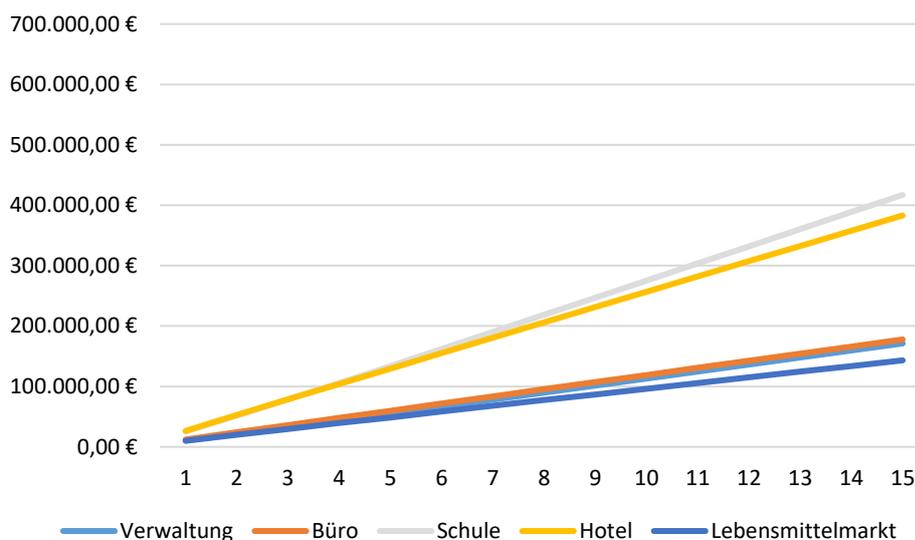
	Verwaltung	Büro	Schule	Hotel	Lebensmittelmarkt
Gas (MWh/a)	159	123	700	253	185
Strom (MWh/a)	-	36,2	-	87,3	14,3
CO ₂ (t/a)	36	28	90	59	21

Quelle: eigene Berechnungen

Bei dem Gas- und Strompreis wurden jeweils drei Szenarien, ein günstiges, ein mittleres und ein teures festgelegt. Der Strompreis ist indirekt durch das Merit-Order Prinzip an den Gaspreis gekoppelt, weshalb für die Berechnung der finanziellen Vorteile die jeweils günstigen, mittleren und teuren Szenarien von Gas- und Strompreis zusammengelegt wurden. Damit liegen drei Szenarien für die Kostenersparnisse vor.

Abbildung 17 zeigt die jährlichen finanziellen Ersparnisse für einen Zeitraum von 15 Jahren ab 2022 für das mittlere Marktpreisszenario:

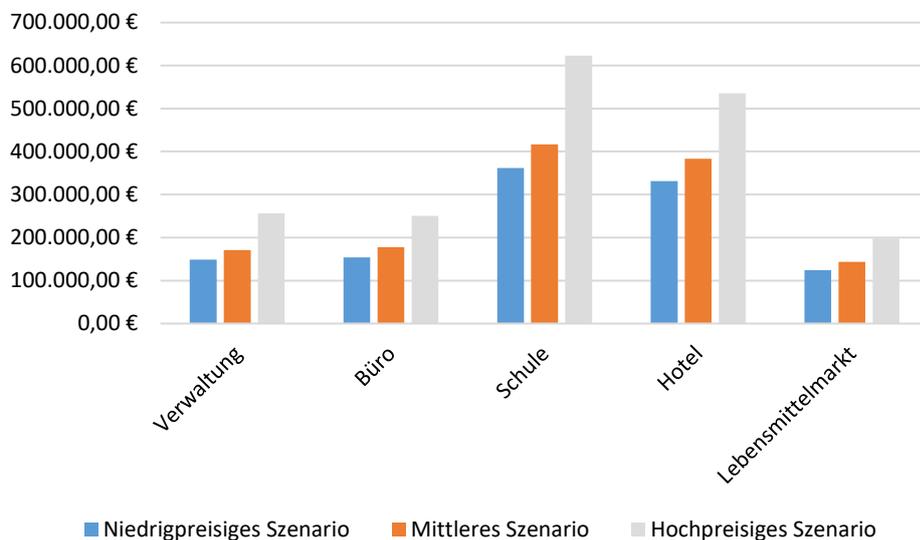
Abbildung 17
Kumulierte Einsparungen mittleres Preisszenario



Quelle: eigene Berechnungen

Die jährlichen Ersparnisse steigen nahezu linear. Das liegt am großen Anteil des Gaspreises an den Gesamtersparnissen, welcher konstant angenommen wurde. Abbildung 18 fasst die Ergebnisse der insgesamt 15 Berechnungen zusammen.

Abbildung 18
Kumulierte Einsparungen durch GA nach einer Zeitspanne von 15 Jahren



Quelle: eigene Berechnungen

Ausgehend von den Einsparungen am Ende der 15-jährigen Betrachtungsperiode wurde für jeden untersuchten Gebäudetyp der Mittelwert der Gas-, Strom- und CO₂-Einsparungen in den drei Preisfällen berechnet. Tabelle 16 zeigt diese Rechnung am Beispiel des Bürogebäudes.

Tabelle 16
Berechnung von Kostenanteilen über drei Preisszenarien

Beispiel Bürogebäude	Niedrigpreisig	Mitte	Hochpreisig	Mittelwert
CO ₂ -Einsparungen (€)	24.990,00	24.990,00	24.990,00	24.990,00
Gas-Einsparungen (€)	90.017,55	107.581,95	173.448,45	123.682,65
Strom-Einsparungen (€)	38.798,92	45.257,03	52.145,92	45.400,62
Gesamt-Einsparungen (€)	153.806,47	177.828,98	250.584,37	194.073,27

Quelle: eigene Berechnungen

Die Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Berechnung für alle Gebäudetypen befindet sich in Tabelle 17.

Tabelle 17
Zusammenfassung der Kostenbestandteile in den verschiedenen Szenarien

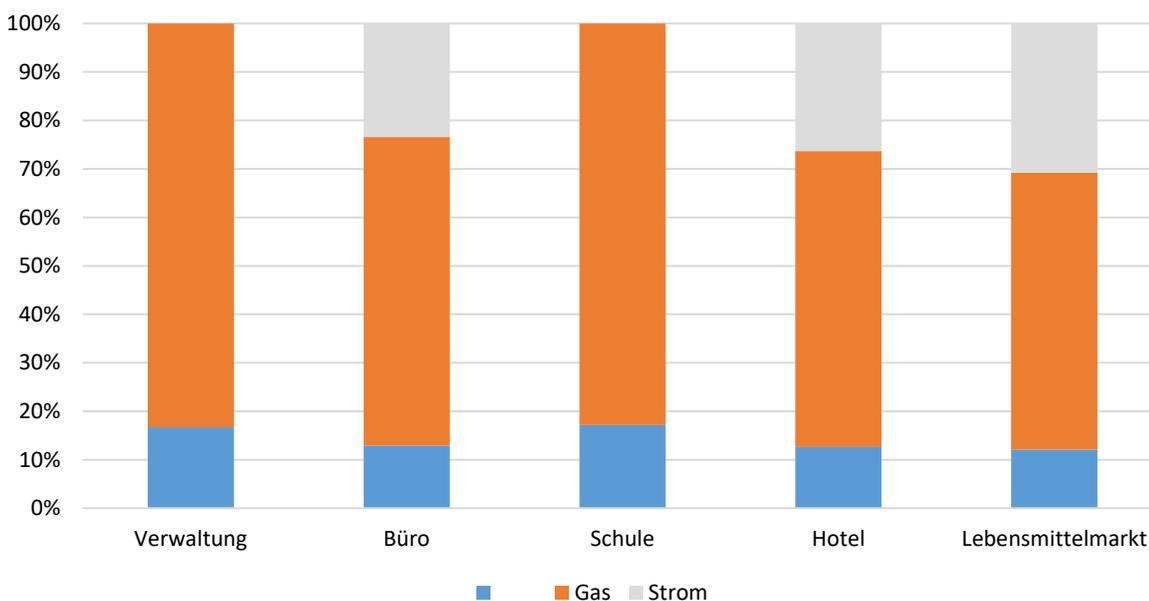
	Verwaltung	Büro	Schule	Hotel	Lebensmittelmarkt
CO ₂ -Einsparungen (€)	32.130	24.990	80.325	52.658	18.743
Gas-Einsparungen (€)	159.882	123.683	387.137	254.404	88.488

	Verwaltung	Büro	Schule	Hotel	Lebensmittelmarkt
Strom-Einsparungen (€)	0	45.401	0	109.488	47.658
Gesamt-Einsparungen (€)	192.012,45	194.073,27	467.461,75	416.549	154.889

Quelle: eigene Berechnungen

Wenn die Ergebnisse als gestapelte Säule ausgegeben werden, in der jeweils die Gesamt-Einsparungen auf 100 % genormt wurden, können die prozentualen Anteile der Kostenpositionen abgelesen werden, siehe Abbildung 19. Das Verwaltungs- und Schulgebäude besitzen keine Klimaanlage, weshalb der Strom-Anteil bei 0 % liegt (Lüftungsstrom wird in den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt). Der kleinste finanzielle Hebel liegt in den CO₂-Abgaben. Dieser Anteil liegt bei etwa 10 bis 20 %. Allerdings kann dieser Anteil als Anreiz dienen, in klimaneutrale Technik zu investieren. Danach kommen die Einsparungen durch Stromkosten, welche dem Anteil der Klimatisierung entsprechen. Sobald eine Klimaanlage vorhanden ist, wird eine aufwändigere GA deutlich wirtschaftlicher, da zusätzlich Einsparpotenzial gehoben werden kann. Ihr Anteil liegt bei ca. 20 bis 30 %. Der größte Hebel liegt in den Gas-Einsparungen, welche bei etwa 60 bis 80 % liegen. Das stimmt mit dem Anteil der Wärme am Gebäudeenergieverbrauch überein, welcher mit 70 % den größten Anteil hat (DENA 2023).

Abbildung 19
Prozentuale Anteile einzelner Kostenpositionen an den Gesamteinsparungen



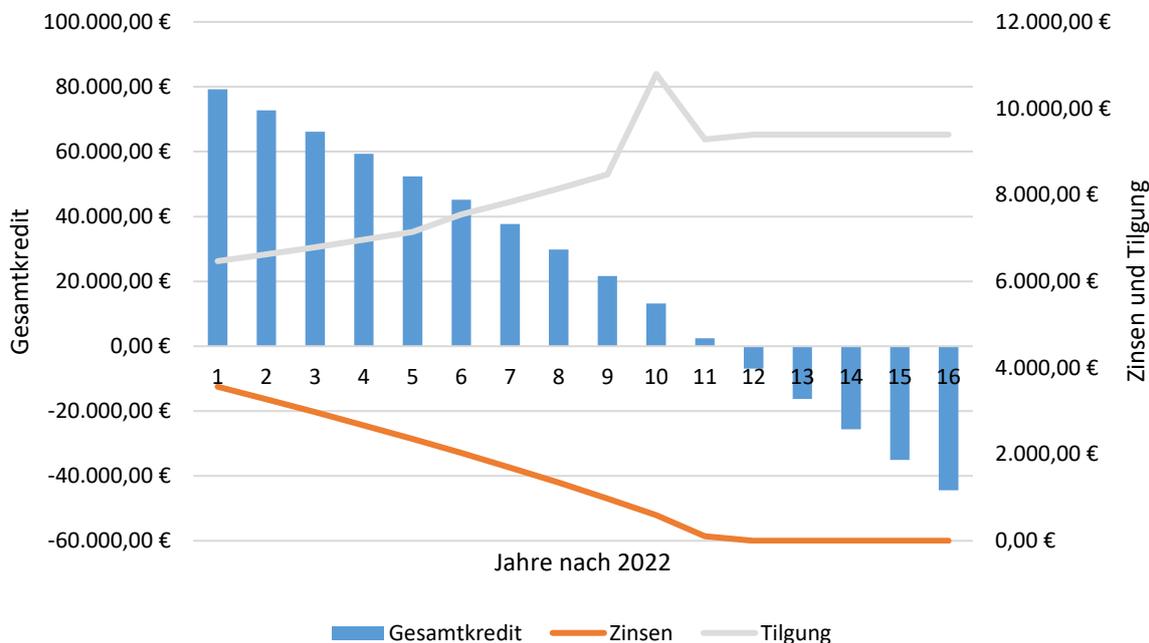
Quelle: eigene Berechnungen

Durchführung der Annuitätenrechnung

Der Annuitätenrechnung nach VDI 2067 liegen die Investitionskosten aus Tabelle 11 sowie die Ersparnisse aus Abbildung 18 zu Grunde. Zusätzlich wurde eine Einmalzahlung von 2.000 € im zehnten Jahr vorgenommen, weil die energetische Inspektion der Anlage nach §74 GEG entfallen darf. Aufgrund des derzeit ansteigenden Leitzinses der EZB wurde ein Zinssatz von 4,5 % zugrunde gelegt. Dieser ist aus jetziger Sicht, April 2023, hoch, jedoch ist zu erwarten, dass sich der Zins um dieses Niveau einpendelt (Eilinghoff 2023). Die detaillierten Rechnungen sind dem Anhang „GA_Annuität“ zu entnehmen. Für die fünf Beispielgebäude wurden die drei Preisszenarien durchgerechnet, zwei Beispiele befinden sich in Abbildung 20 und Abbildung 21. In den beiden Graphen ist der Gesamtkredit für jedes Jahr nach der Investition als Balken ausgegeben. Ein „positiver“ Kredit

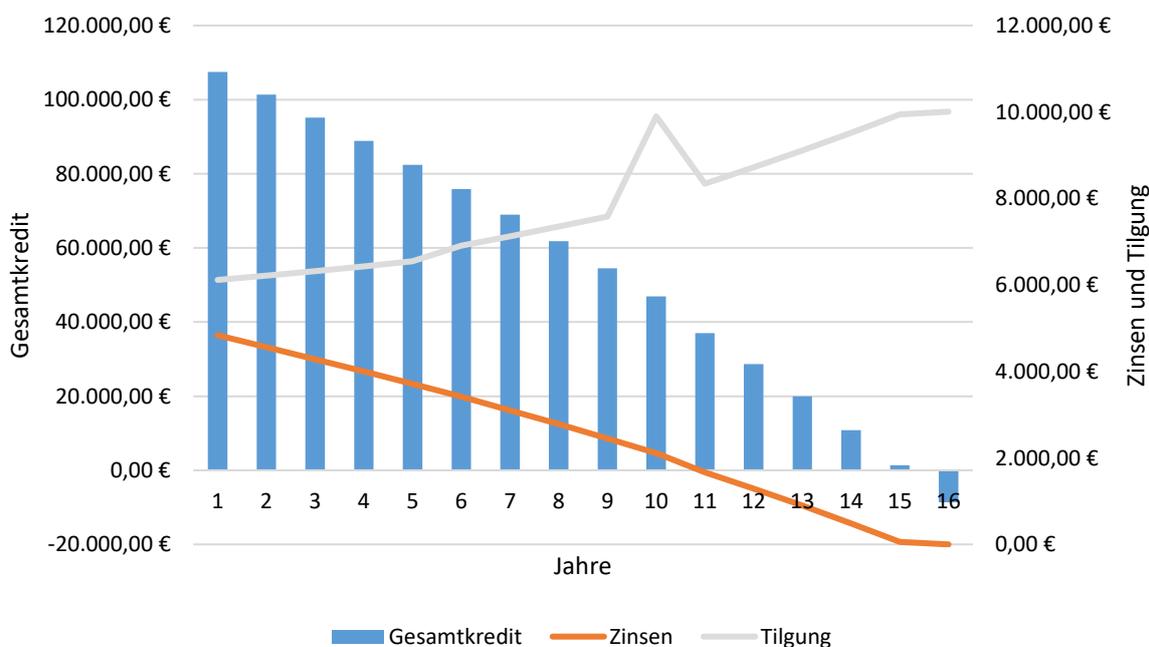
entspricht Schulden. „Negative“ Kreditwerte zum Ende der Laufzeit können als Gewinn betrachtet werden. Die Zinskosten und Tilgungsrate sind als Linie dargestellt. Sobald der Kredit abbezahlt wurde, fällt der Zins auf 0 €.

Abbildung 20
Beispiel Annuitätenrechnung, Lebensmittelmarkt, mittleres Preisszenario



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 21
Beispiel Annuitätenrechnung, Bürogebäude, niedrigpreisiges Szenario

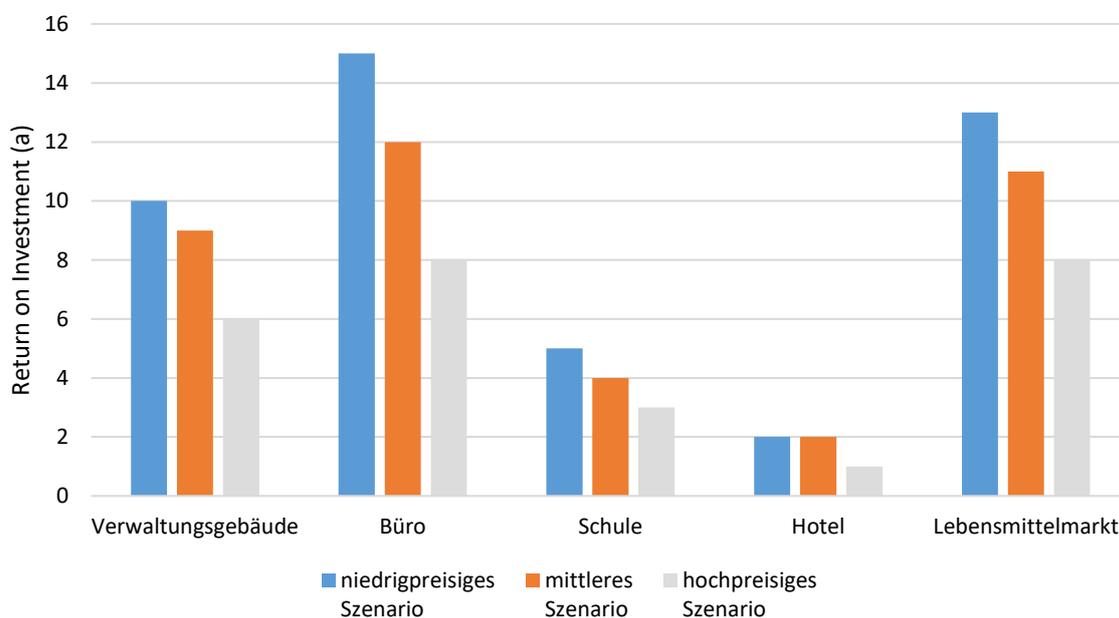


Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 22 fasst die Ergebnisse mit der Return on Investment (ROI) Zeit zusammen. Im niedrigpreisigen Fall ist mit längeren ROI zu rechnen. Das Bürogebäude besitzt in diesem Fall das längste ROI mit 15 Jahren. Nach Definition der EPBD 2018 ist es noch wirtschaftlich, wenn eine erwartete Lebensdauer von 15 Jahren angenommen wird (VDI 2067). Das Hotel konnte im selben Preisszenario die Mehrinvestitionskosten bereits in zwei Jahren refinanzieren.

Das liegt zum einen an den geringen Mehrinvestitionskosten, sowie an dem hohen Energieverbrauch für Wärme und Kälte. Die ROIs sinken wie zu erwarten bei teureren Energiepreisen. 11 von 15 Szenarien sind spätestens nach 10 Jahren amortisiert. Der durchschnittliche ROI liegt bei 7,27 Jahren. Dem gegenüber stehen die Referenzprojekte mit einem durchschnittlichen ROI von 3,55 (7 Referenzprojekte) Jahren. Die Ergebnisse weichen stark voneinander ab, auch wenn in beiden Fällen die Investitionen wirtschaftlich sind. Nicht zuletzt sind die Simulationsergebnisse aus Polysun tendenziell konservativ, während bei den privaten Projekten aufwändigere technische Maßnahmen umgesetzt wurden.

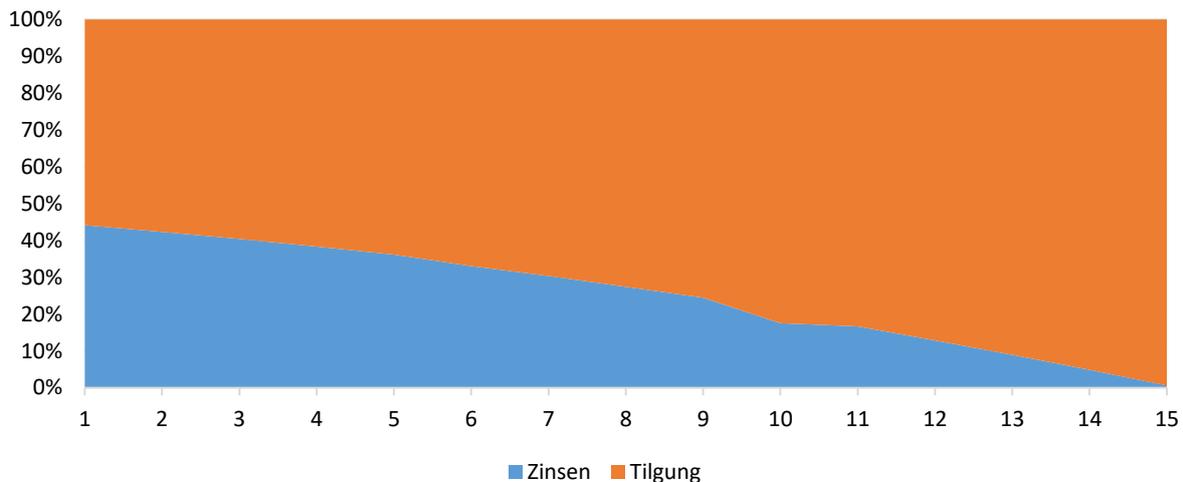
Abbildung 22
Return on Investment der verschiedenen Simulationsszenarien



Quelle: eigene Berechnungen

In den weniger wirtschaftlichen Szenarien wird die Zinslast im Verhältnis deutlich höher. Abbildung 23 zeigt das Verhältnis von Zins- zu Tilgungsanteil im Beispiel des Bürogebäudes. Zu sehen ist die Annuität (100 %) als Achsenlimit. Die Anteile von Zinsen und Tilgung werden prozentual dargestellt. Im ersten Jahr beträgt der Anteil der Zinsen an der Annuität ca. 45 %. In Summe machen die Zinsen einen Anteil an den Investitionskosten von 37 % aus, konkret 40.149 € Zinslast bei einer Investitionssumme von 107.520 €.

Abbildung 23
Aufteilung der Annuität in Zinsen und Tilgung, Beispiel des Bürogebäudes im geringen Preisszenario



Quelle: eigene Berechnungen

Diskussion der Ergebnisse

Die Installation von GA-Klassen ist sowohl in den untersuchten Szenarien als auch in diversen Referenzprojekten wirtschaftlich. Die Wirtschaftlichkeit hängt jedoch stark von der energetischen Qualität des Gebäudes bzw. dem spezifischen Energieverbrauch ab. Je höher der Energieverbrauch ist, desto höher ist das absolute Einsparpotenzial. Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Investitionskosten lediglich für Neubauten bestimmt werden konnten und dass keine Einschätzung gegeben werden kann, inwiefern der Installationsaufwand in Bestandsgebäuden sinkt oder steigt und somit die Wirtschaftlichkeit von GA beeinflusst.

In der Studie wurde der Einfluss der GA betrachtet, da diese simuliert werden konnte. Die Auswirkungen von EMS und dem tMon konnten nicht simuliert werden. Das Gesamtpaket kann wirksam bei der Beseitigung von Performance Gaps sein. Hohe Energieeffizienzklassen triggern oft einen Rebound-Effekt, bei dem das Gebäude nicht nach dem vorgesehenen Nutzungszweck betrieben wird und das Nutzerverhalten die Energieeffizienz beeinträchtigt. So kann der durch eine vorhandene Lüftungsanlage energieeffiziente Luftwechsel durch die zusätzliche Fensterlüftung des Nutzens überlagert werden, so dass ein unnötig hoher und unplanmäßiger Energieverbrauch entsteht, der bei der Planung und Auslegung der Gebäudetechnik dem rechnerischen Energiebedarf nicht zugeschrieben wurde. Dem gegenüber sorgt die GA für eine konstante und verlässliche Einhaltung der Gebäudenutzung, das tMon macht den Performance-Gap sichtbar und mit dem EMS können Energiesparziele und Anforderungen geplant und nachverfolgt werden. Aufgrund der höheren Transparenz, klarer Zielwerte und höherer Kontrolle kann der Performance Gap weiter geschlossen werden.

Ein weiterer Kostenvorteil, der nicht in die Einsparungsseite aufgenommen wurde, ist der Stromverbrauch durch elektrische Verbraucher, der Lüftungsanlage und die Beleuchtung. Elektrische Verbraucher wie Computer, Küchengeräte oder ähnliche werden für gewöhnlich nicht von der GA steuert. Die Beleuchtung besitzt ein hohes relatives Einsparpotenzial, weil durch eine Präsenzsteuerung gewährleistet werden kann, dass das Licht nur eingeschaltet wird, wenn es benötigt wird. Aufgrund der hohen Energieeffizienz von modernen LED-Leuchten ist das absolute Einsparpotenzial jedoch deutlich geringer als es bei der Wärme- und Kälteenergie der Fall ist. Der elektrische Verbrauch der Lüftungsanlage konnte nicht simuliert werden. Die Lüftungsverluste, bzw. die ausbleibenden Lüftungsverluste bei Nichtbenutzung, wurden berücksichtigt. Diese Vereinfachungen führen dazu, dass weniger Energieeinsparungen erfasst werden als tatsächlich vorhanden wären und somit die Wirtschaftlichkeit von GA konservativer betrachtet wird.

Es ist wichtig zu beachten, dass zusätzliche Effekte wie höherer Komfort und Nutzerzufriedenheit durch rechtzeitige Fehlererkennung und einen bedarfsgerechten Gebäudebetrieb, Transparenz aufgrund von Messwerten und Benchmarks sowie zukünftiges Potenzial durch einen höheren Smart Readiness-Score

finanziell nicht messbar sind. Es sollten alle Aspekte von GA-Systemen berücksichtigt werden, einschließlich der nicht finanziell messbaren Vorteile.

Fazit zu der Wirtschaftlichkeit von Gebäudeautomationssystemen

Die Anforderungen der EPBD 2018 unterliegen den Vorgaben der technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit. Um die Wirtschaftlichkeit von GA-Systemen zu ermitteln, wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067 durchgeführt. Dabei kam die „Annuitätenmethode“ zum Einsatz.

In fünf Beispielgebäuden, die den deutschen NWG-Bestand möglichst gut abdecken sollen, wurden Simulationen durchgeführt. In den Simulationen wurde eine unregelmäßige, energieintensive Betriebsführung mit einer durch GA optimierten und dem realen Gebäudebetrieb angepassten Betriebsführung verglichen. Anhand der Energieersparnisse und Prognosen der Spotmarktpreise von Strom und Gas konnten finanzielle Vorteile durch den Einsatz von GA-Systemen berechnet werden. Aufgrund der stark schwankenden Marktsituation wurden drei Preisszenarien, ein niedrigpreisiges, ein mittleres und ein hochpreisiges, berücksichtigt. Zusammen mit den fünf Beispielgebäuden entstehen daraus 15 verschiedene Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Die Investitionskosten wurden mit dem Baukosten-Index für Neubauten ermittelt. Weil davon ausgegangen wird, dass bestehende Gebäude bereits einen gewissen Grad an Technisierung und damit an GA-Ausstattung besitzen sowie Neubauten ohnehin mit Mindestanforderungen an die Gebäudetechnik errichtet werden, wurden in der Berechnung nicht die gesamten Baukosten für GA-Systeme verwendet. Durch einen qualitativen Vergleich der GA-Klasse C (entsprechend der Ausstattung des Referenzgebäudes im GEG) mit der Klasse B (Forderung der EPBD 2018) konnte ein pauschaler Mehrkostenaufwand von 40 % ermittelt werden. Die Kosten für GA-Systeme aus dem BKI wurden mit diesem Faktor gewichtet, wodurch Investitionssummen zwischen 39.744 € und 107.520 € für Nichtwohngebäude von ca. 6.000 – 10.000 m² Gebäudenutzfläche zustande kamen.

Mit Hilfe der Simulationen in Polysun konnten durchschnittliche Energieeinsparungen von 15,7 % über fünf Beispielszenarien im Bereich der Raumwärme berechnet werden. Dieser Wert deckt sich mit den Ergebnissen der DIN EN ISO 52120-1, welche bei durchschnittlich 18,8 % liegen. Verschiedene Referenzprojekten aus der Wirtschaft sehen ein höheres Einsparpotenzial von durchschnittlich 27,3 %. Der Umfang dieser Referenzprojekte ging jedoch deutlich über eine GA-System der GA-Klasse B hinaus. Grundsätzlich können die Simulationsergebnisse als plausibel, wenn auch tendenziell konservativ, bezeichnet werden und wurden für die weitere Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet.

Die Größe der finanziellen Einsparungen hängt nicht von den relativen Einsparungen ab, sondern vor allem von den absoluten Einsparungen in Gas, Strom und CO₂ ab. In dieser Studie wurde die Energiedichte als wichtigstes Kriterium identifiziert. Wenn ein Gebäude einen hohen Energieverbrauch besitzt, ist dort ein größeres Einsparpotenzial durch GA vorhanden. Eine sinnvolle Größe die Energiedichte zu bemessen ist der spezifische Energieverbrauch in kWh/m²a. Konkret bedeutet das, dass Gebäude mit einem schlechten U-Wert oder einer unzureichenden Anlagenführung besonders von GA profitieren können, da diese schnell auf Absenk- und Anfahrbetriebe in Nicht-Anwesenheitszeiten reagieren. Ein weiterer Faktor ist der Gebäudetyp, bzw. die Gebäudenutzung. Die Anwesenheitszeiten in verschiedenen Gebäudetypen sowie die Ansprüche an die Raumluftqualität in Form von Lüftungsraten oder Raumsolltemperaturen variieren zwischen den verschiedenen Gebäudetypen stark. Zuletzt hat der Ausstattungsgrad der GA-Systeme und der Gebäudetechnik einen großen Einfluss auf die Energieeffizienz. Je mehr gebäudetechnische Systeme geregelt werden können, umso größer ist der Einfluss auf den Energieverbrauch im Gebäude. Dabei reicht es jedoch nicht aus, nur die Möglichkeit der automatisierten Regelung zu besitzen. Die GA selbst ist nur ein Werkzeug, das dabei hilft, das Gebäude energieeffizient zu betreiben. Die Automationsfunktionen müssen mit sinnvollen Parametern (z. B. geringe Raumtemperaturen oder Lüftungsraten bei Abwesenheit) stringent umgesetzt werden, auch die Parametrierung der Gebäudeleittechnik mit sinnvollen und dem Gebäudebetrieb angepassten Werten muss beachtet werden. Ebenfalls müssen diese durch den Betreiber kontinuierlich an den realen, sich ggfs. ändernden Bedarf und Betrieb (Bspw. vermehrte Home-Office-Tätigkeit) angepasst werden.

Die finanziellen Vorteile durch Energieeinsparungen werden mit Hilfe der absoluten Einsparungen im Gas- bzw. Stromverbrauch und dem CO₂-Ausstoß berechnet und bilden die Tilgungsrate. Die zugrunde gelegten

Energiepreise wurden der Studie (Max Gierkink et al. 2022) entnommen. Aufgrund der derzeit hohen Unsicherheit im Energiemarkt wurden drei Preisszenarien – ein niedrigpreisiges, ein mittleres und ein hochpreisiges – gebildet. In der Berechnung wurden die Investitionskosten mit den finanziellen Vorteilen bei einer Zinsrate von 4,5 % getilgt.

Auch im niedrigpreisigen Szenario waren die GA-Systeme in allen fünf Beispielgebäuden wirtschaftlich. Das Bürogebäude liegt jedoch mit einer ROI von 15 Jahren an der Grenze zur Unwirtschaftlichkeit. In den anderen Gebäuden und Preisszenarien bildet sich eine stärkere Wirtschaftlichkeit ab. Insgesamt 11 von 15 Szenarien sind nach 10 Jahren refinanziert, mit dem Durchschnitt bei 7,27 Jahren. Referenzprojekte zeigen eine deutlich höhere Wirtschaftlichkeit mit einem durchschnittlichen ROI von 3,55 (n=7) Jahren. Es muss jedoch beachtet werden, dass in den Referenzprojekten neben der Installation eines GA-Systems zusätzliche Tätigkeiten durchgeführt wurden.

In der Umsetzung sind das tMon und Energiemanagement mit geringeren Kosten verbunden, da abgesehen von den Energiezählern nur geringe Investitionen in Hardware getätigt werden müssen. Laut AMEV „Technisches Monitoring“ betragen die Kosten für das tMon bei 0,2 bis 0,5 % der Gesamtbaukosten (GBK). Der prozentuale Anteil verringert sich bei steigenden Gesamtbaukosten. Wenn das technische Monitoring in Verbindung mit einem GA-System realisiert wird, sollten kaum zusätzliche Kosten entstehen, da es große Überschneidungen gibt. Referenzprojekte des AMEV zeigen Einsparungen von mindestens 10 %. Weil die Investitionskosten in etwa beim 3-5-fachen der jährlichen Ersparnisse liegen, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Aufwand für das tMon innerhalb weniger Jahre rechnet (AMEV 2020).

Aus den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen lässt sich darauf schließen, dass der Einsatz von GA-Systeme entsprechend der EPBD 2018 wirtschaftlich ist, sofern die Investitionskosten im Bereich der Neubaukosten liegen. Die Wirtschaftlichkeit sinkt bei höheren Energieschutzklassen deutlich. Gerade bei solchen Gebäuden kann es sein, dass die rein finanziell messbare Leistung nicht mehr ausreicht, die Investitionen in 15 Jahren zu refinanzieren. Dabei sollte beachtet werden, dass ein EMS und das technische Monitoring ebenfalls einen starken, nicht messbaren Beitrag zur Gebäudeenergieeffizienz liefern. Der rechnerisch niedrige Energiebedarf moderner Passiv- und Plusenergiegebäude kann nur durch die konsequente Einhaltung der Planvorgaben erzielt werden, weshalb eine permanente Überwachung der Verbräuche erfolgen muss, damit der reale Energieverbrauch innerhalb des Zielkorridors bleibt. Zusätzlich eröffnen sich durch eine ausreichende Technisierung – oder einen hohen Smart Readiness Score – vielfältige Möglichkeiten die Gebäudeenergieeffizienz weiter zu verbessern. Neben finanzieller, bzw. energetischer Aspekte wird auch der Nutzerkomfort verbessert.

Smart Readiness von GA-Systemen nach den Anforderungen der EPBD 2018

Neben den direkten Einsparungen durch GA-Klassen sollte auch die Zukunftsfähigkeit von Gebäuden berücksichtigt werden. Dabei ist die Fähigkeit eines Gebäudes, Energieeffizienz, Netzdienlichkeit und Nutzerdienlichkeit zu vereinen ein wesentliches Merkmal. Der Smart Readiness Indicator (SRI) soll diese Fähigkeiten eines Gebäudes bewerten. Die folgenden Beispiele zeigen, wie eine GA die Grundlage für moderne Technologien im Gebäudesektor bildet, die noch nicht von der EPBD 2018 gefordert werden. In den einzelnen Beispielen wird der Nutzen, die Voraussetzung und die Umsetzung kurz beschrieben.

- Integration einer CO₂-geführten Regelung bei Lüftungsanlagen
 - Nutzen: Der Energieverbrauch sinkt, weil die Lüftungsanlage mit weniger Volllaststunden betrieben wird. Die Wärme- und Kälteenergieverluste sinken, weil die Luftwechselrate auf die für die Sicherstellung des hygienischen Mindestluftwechsels benötigte Menge reduziert wird. Eine gute Raumluftqualität ist zu jeder Zeit sichergestellt.
 - Voraussetzung: Ein zusätzlicher CO₂-Sensor pro Raum, Volumenstromregler und eine modulierbare Lüftungsanlage.
 - Umsetzung: Die Lüftungsanlage wird über die CO₂-Messwerte geregelt.
- Integration einer prädiktiven Regelung, bspw. unter Berücksichtigung der Wetterprognose oder zu erwartender Lastzustände im Gebäude
 - Nutzen: Einfache Raumtemperatur-Regelungen reagieren erst, wenn die Behaglichkeit von dem gewünschten Wert abweicht. So kommt es zu Schwankungen des gewünschten Sollwerts. Wenn beispielsweise die Wetterprognose oder die thermische Trägheit des Gebäudes berücksichtigt wird, kann die Heizung proaktiv regeln, bevor die Sollwerte schwanken. Wenn zum Beispiel mittags Sonnenstrahlen und hohe Temperaturen erwartet werden, kann die Heizungs gedrosselt werden bevor zu viel Energie freigegeben wird.
 - Voraussetzung: Eine steuerbare und regelbare Wärmeerzeugung und Übergabe. Es werden Messwerte der Raumtemperatur, Ist- und Sollwerte der Heizkörper sowie Wetterprognosen benötigt.
 - Umsetzung: Eine prädiktive Regelung bedingt einen softwareseitigen Aufwand bei der Erstellung eines Gebäudemodells und der zugehörigen Regelung. Es wird je nach Ausstattung des Gebäudes zusätzliche Hardware in Form von Sensorik oder Aktorik benötigt. Eine Lösung könnte durch übergeordnete Cloud-Dienste oder eigene Server realisiert werden, sollte das GA-System zu wenig Rechenleistung oder keine entsprechende Software besitzen.
- Integration eines Lastmanagements zur Nutzung der gebäudetechnischen Anlagen für den netzdienlichen Betrieb (z. B. die Kombination Wärmepumpe mit Wärmespeicher, Lastmanagement von E-Ladestationen)
 - Nutzen: Netzdienlicher Betrieb der Verbraucher, günstiger Energiebezug durch Reduzierung des Leistungspreises, Optimierung des Eigenverbrauchs bei eigener Energieerzeugung, Minimierung von Bezugsspitzen und -kosten.
 - Voraussetzung: Steuerbare gebäudetechnische Anlagen, Informationsaustausch über den Energieverbrauch, Bedarf und die Verfügbarkeit.
 - Umsetzung: Unter der Voraussetzung, dass die Aggregate und Speicher steuerbar sind, ist die Umsetzung eine Frage der Kommunikation und Optimierung durch Algorithmen. EEBUS ist ein Kommunikationsprotokoll, welches für diesen Anwendungsfall entwickelt wurde. Das Protokoll dient der Kommunikation zwischen energiewirtschaftlich relevanten Geräten und entsprechenden Leitsystemen.

EEBUS ist mit BACnet kompatibel (Lang 1. 05. 2023): BACnet basiert auf DIN EN ISO 16484-5, die Kompatibilität mit Haushaltsgeräten ist nach E DIN EN 50631-1 genormt (EEBus - Empowering the digitalisation of Energy transition. 26. 04. 2023).

- Die Integration des Lastmanagements von E-Ladestationen in die GA kann als Teil des Lastmanagements betrachtet werden und ist zusätzlich durch das OCPP-Protokoll geregelt (Open Charge Alliance 2023). Der Rechenaufwand kann über eine Cloud-Lösung oder durch lokale Rechenleistung bewältigt werden.
 - Unterstützung bei der vorausschauenden Wartung und Instandhaltung von gebäudetechnischen Anlagen (Predictive Maintenance) Nutzen: Optimierung der Wartungsintervalle und Vorhersage der Restlebensdauer von Komponenten. Notwendige Wartungen können frühzeitig erkannt und durchgeführt sowie eine Vorhersage zur Restlebensdauer von überwachten Komponenten getroffen werden. Durch die zielgerichtete Wartung werden die Lebensdauer von Komponenten verlängert und die Wartungskosten gesenkt.
 - Voraussetzung: Voraussetzung dafür ist die Einbindung der notwendigen Sensorik zur Erfassung und Speicherung von Zuständen und Messwerten sowie die Berechnung von beispielsweise Betriebsstunden. Ebenfalls notwendig ist die Verarbeitung der historischen Daten und der Vergleich mit festgelegten Soll- bzw. Schwellwerten. Trends in der Entwicklung der aufgenommenen Datenreihen müssen erkannt und korrekt verarbeitet werden.
 - Umsetzung: Im ersten Schritt erfolgt die Erfassung und Speicherung von Zustandsinformationen und Betriebs- bzw. Nutzungszeiten von Anlagenkomponenten sowie die Definition der Norm- bzw. Schwellwerte, ab denen Aktionen notwendig sind. Anschließend erfolgt die Auswertung der historischen Daten und ein Abgleich mit den definierten Werten. Daraus ableitend erfolgt eine datenbasierte, vorausschauende Wartung und bspw. der zielgerichtete Einsatz von Servicetechnikern.

Es zeigt sich, dass mit den Anforderungen der EPBD 2018 an die GA bereits heute viele Trends umgesetzt werden können. Die notwendige Hardware ist vorhanden. Voraussetzung ist eine ausreichende und einheitliche Datenerfassung sowie steuerbare Verbraucher, wie sie bereits gefordert werden. Wichtig ist eine genormte Kommunikationsschnittstelle (z. B. BACnet) um die Kompatibilität für zukünftige Technologien zu gewährleisten. Dann können übergeordneten Dienste für das Energiemanagement oder prädiktive Regelungen genutzt werden.

Vorschläge zur Anpassung des ordnungsrechtlichen Rahmens

Im Rahmen dieses Berichts wurden die technischen Spezifikationen der EPBD 2018, insbesondere der Artikel 14 und 15 Absatz 4, beschrieben und eine mögliche Umsetzung durch die bestehenden deutschen Richtlinien und Normen erarbeitet. Die Vorgaben entsprechen größtenteils dem Stand der Technik und können durch einen Verweis auf entsprechende Richtlinien und Normen beschrieben werden. Konkret handelt es sich bei den Vorgaben aus einer Kombination von technischem Monitoring, EMS und einem GA-System der Klasse B nach DIN EN ISO 52120-1.

Die EPBD fordert, dass die Energieeffizienz von Gebäuden überwacht und über Benchmarks kontrolliert werden soll. Die Anforderungen an die Energieeffizienz in einem Gebäude können über SLA beschrieben werden. Konkrete KPI sind jedoch nicht vorgeschrieben, da der NWG-Bestand sowie die Nutzung der Gebäude zu heterogen sind. Die Definition von SLA und KPI kann nach VDI 3810 vorgenommen werden. Die notwendigen Daten stammen aus Zählern und Sensoren in der Feldebene. Die AMEV-Empfehlung "technisches Monitoring" beschreibt, welche Daten in Abhängigkeit der verwendeten Gebäudetechnik erfasst werden müssen. Die DIN EN ISO 50001 beschreibt die Umsetzung von Energiemanagementsystemen und Benchmarks für Organisationen. Die gleiche Systematik empfiehlt sich auch für Gebäudeeigner. Die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes kann über die DIN EN ISO 52000 durchgeführt werden. Konkret muss technisches Monitoring für die kontinuierliche Überwachung der KPI eingesetzt werden und ein EMS für die kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz. Beides kann mit geringen Hardwarenachrüstungen realisiert werden und zeigt sich in der Praxis als effektives Mittel zur Verbesserung der Gebäudeenergieeffizienz. Daher sind diese Maßnahmen auch für Bestands-NWG meist wirtschaftlich.

Weiter fordert die EPBD 2018, dass automatisch in die Gebäudetechnik eingegriffen werden können muss, weshalb Aktoren der gebäudetechnischen Systeme steuerbar sein müssen. Diesen Forderungen kann nachgekommen werden, wenn das Gebäude der GA-Klasse B nach DIN EN ISO 52120-1 für die Steuerung entspricht. Die Nachrüstung eines GA-Systems erfordert neue Hardware und einen erheblichen Aufwand für die Installation. Es kann nicht von einer allgemeinen Wirtschaftlichkeit ausgegangen werden.

Die Zählerstruktur kann aus der EPDB 2018 abgeleitet werden. Der Verbrauch der Energieträger Wasser, Strom, Gas, Wärme und Kälte muss, sofern vorhanden, erfasst werden, um die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes zu ermitteln. Weniger genau sind die Vorgaben der EPBD 2018 im Bereich der Unterzähler. Durch den Ansatz der Wirtschaftlichkeit kann eine Lösung abgeleitet werden. Die Grundannahme ist, dass Monitoring Ersparnisse von etwa 10 % ermöglicht (AMEV 2020). Wenn ein Teilstrang so viel Energie führt, dass ein Anteil von 10 % der Energiekosten des jeweiligen Mediums eines Teilstrangs einen Zähler schnell refinanzieren würde, dann sollte dieser Teilstrang mit einem separaten Zähler ausgestattet werden.

Die Datenqualität und Speicherung unterliegt indirekten Vorgaben der EPBD 2018. Es wird eine kontinuierliche Überwachung der Energieeffizienz sowie automatisierte Alarm -erkennung und -mitteilung gefordert. Dafür werden Daten in hoher zeitlicher Auflösung benötigt. Die Stufe I "Hoch" der VDI 6041 kommt dem nach und kann als Referenzwert verwendet werden.

Die Datenübertragung soll herstellerunabhängig sein und gewerkeübergreifend die gebäudetechnischen Systeme vernetzen. Aufgrund der Forderung, automatisch Berichte und Warnungen zu generieren, ist eine Schnittstelle zur Managementebene notwendig. BACnet ist das einzige Protokoll, welches auf GA spezialisiert ist und diese Vorgaben erfüllt. Das Bussystem kann nach DIN EN ISO 16484-5 geplant und umgesetzt werden. Die AMEV-Empfehlung „BACnet“ kann ebenfalls zur Hilfe gezogen werden. Für die Umsetzung wird eine GA benötigt, die das BACnet Protokoll beherrscht. Eine Nachrüstung könnte sehr aufwändig und somit teuer werden.

Abkürzungen

Bezeichnung	Abkürzung
Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen	AMEV
Automationsebene	AE
Energiemanagementsystem	EMS
Energy Performance of Buildings Directive	EPBD
Feldebene	FE
Gebäudeautomation	GA
Key Performance Indicator	KPI
Managementebene	ME
Return on Investment	ROI
Service Level Agreement	SLA
Technisches Monitoring	tMon

Kurzbiographien



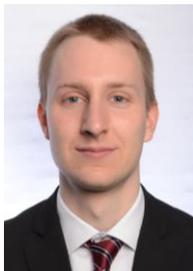
Prof. Dr.-Ing. Viktor Grinewitschus

Prorektor für Forschung und Professur für Energiefragen der Immobilienwirtschaft an der EBZ Business School, Bochum. Professur für Technische Gebäudeausrüstung an der Hochschule Ruhr West in Bottrop. Forschung und Lehre auf den Gebieten „Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Optimierung der Anlagentechnik und des Nutzerverhaltens“, „zukünftige Energieversorgungskonzepte für Immobilien“ und „Assistenzfunktionen auf der Basis von Smart Home Technologien“.



Karsten Fransen, M. Sc.

Ausbildung und Bachelor- Studium im Rahmen eines dualen Studiums an der Hochschule Rhein-Waal in Kooperation mit der Probat AG. Master-Studiengang „elektrische Energieversorgung“ an der Hochschule Hannover. Derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter an der EBZ Business School. Forschung in den Gebieten Gebäudeautomation, Gebäudeenergieversorgung, Assistenzfunktionen durch Smart Home Technologien.



Simon Jurkschat, M. Sc.

studierte an der Universität Duisburg- Essen Maschinenbau. Neben dem Studium arbeitete Simon Jurkschat am Zentrum für Brennstoffzellentechnik in Duisburg. Seit 2019 ist Simon Jurkschat als wissenschaftlicher Mitarbeiter, für die Professur von Viktor Grinewitschus, im Bereich Energiefragen der Immobilienwirtschaft an der EBZ Business School tätig. Dort arbeitete er federführend unter anderem an dem öffentlich geförderten BaltBest-Projekt.



Andre Beblek, M. Sc.

studierte Wirtschaftsingenieurwesen Energietechnik an der FH Münster sowie Regenerative Energien und Energieeffizienz an der Universität Kassel. Seit Juni 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der EBZ Business School, vorher langjähriger Mitarbeiter am Institut für Energiesysteme und Energiewirtschaft an der Hochschule Ruhr West in Bottrop sowie nebenberuflich tätig in der Energieberatung bei einem Ingenieurbüro. Er beschäftigt sich mit den Fragestellungen der Steigerung der Energieeffizienz in Nutz- und Wohngebäuden durch Automatisierungs- und Nutzerassistenzfunktionen.

Literaturverzeichnis

- Al Dakheel, J.; Del Pero, C.; Aste, N.; Leonforte, F., 2020: Smart buildings features and key performance indicators: A review. *Sustainable Cities and Society*, 61. Jg.: 102328.
- AMEV – Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, 2019: Gebäudeautomation. Zugriff: <https://amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Gebaeudeautomation/GA%202019> [abgerufen am 23.02.2024].
- AMEV – Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, 2021: Wärmeversorgungsanlagen (WVA) - Teil 1. Zugriff: <https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Maschinenbau-und-Versorgungstechnik/Waermeversorgungsanlagen/> [abgerufen am 23.02.2024].
- AMEV – Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, 2020: Technisches Monitoring. Zugriff: https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Monitoring/TechnischesM/2020-08-01_Technisches_Monitoring_2020.pdf [abgerufen am 31.05.2022].
- Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, 2022: Baukosten Bauelemente Neubau 2022. Statistische Kostenkennwerte Teil 2. Stuttgart.
- Bundesnetzagentur, 2022: Monitoringbericht 2022 gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB.
- Chini, B., 2021: EHI-Studieupdate Energiemanagement im Einzelhandel kompakt 2021. Köln.
- DENA – Deutsche Energie-Agentur, 2022: Gebäudereport 2022. Zugriff: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-gebaudereport-2022/> [abgerufen am 23.02.2024].
- DENA – Deutsche Energie-Agentur, 2023: Gebäudereport 2023. Zugriff: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-gebaudereport-2023/> [abgerufen am 23.02.2024].
- DIN EN 16946 - 1, 2017: Energetische Bewertung von Gebäuden – Inspektion der Gebäudeautomation, Regelungstechnik und des Technischen Gebäudemanagements.
- DIN EN ISO 52120-1, 2021: Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement.
- EEBus – Empowering the digitalisation of Energy transition., 2023: home - EEBus - Empowering the digitalisation of Energy transition. Zugriff: <https://www.eebus.org/> [abgerufen am 01.05.2023].
- Eilinghoff, D., 2023: Aktuelle Bauzinsen: So entwickeln sich die Bauzinsen. Finanztip, 2023. Zugriff: <https://www.finanztip.de/baufinanzierung/hypothekenzinsen/> [abgerufen am 04.04.2023].
- eu. bac – European Building Automation and Controls Association, 2022: BUILDING AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS (BACS). Reference Cases. Zugriff: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/publications/eubac-reference-case-booklet-building-automation-and-control> [abgerufen am 23.02.2024].
- f:data GmbH, 2022: 2.000 DIN-Baunormen im Originaltext. Zugriff: <https://www.baunormenlexikon.de/norm/din-18386/2009-336-afc2-49a0-b93c-e4a3bf3399e4> [abgerufen am 21.06.2022].
- Hörner, M., 2021: Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten. Darmstadt.
- Höttecke, M., 2019: Leitfaden für die Gebäudeautomation zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2018/844 über die Energieeffizienz von Gebäuden. Münster.
- Jain, R. K.; Taylor, J. E.; Culligan, P. J., 2013: Investigating the impact eco-feedback information representation has on building occupant energy consumption behavior and savings. *Energy and Buildings*, 64. Jg.: 408–

414. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813002879> [abgerufen am 23.02.2024].
- Lang, H., 2014: Smart Energy: BACnet- und EEBus harmonisieren Datenmodelle. Zugriff: <https://www.elektroniknet.de/smarter-world/smart-building-smart-home/bacnet-und-eebus-harmonisieren-datenmodelle.106294.html> [abgerufen am 01.05.2023].
- Mancini, F.; Lo Basso, G.; Santoli, L. de, 2019: Energy Use in Residential Buildings: Impact of Building Automation Control Systems on Energy Performance and Flexibility. *Energies*, 12. Jg. (15): 2896.
- Gierkink, M.; Dr. Cam, E.; Diers, H.; Keutz, J.; Kopp, J.; Moritz, M.; Lilienkamp, A.; Wiedmann, M.; Zinke, J., 2022: Szenarien für die Preisentwicklung von Energieträgern. Köln.
- Mogles, N.; Walker, I.; Ramallo-González, A. P.; Lee, J.; Natarajan, S.; Padget, J.; Gabe-Thomas, E.; Lovett, T.; Ren, G.; Hyniewska, S.; O'Neill, E.; Hourizi, R.; Coley, D., 2017: How smart do smart meters need to be? *Building and Environment*, 125. Jg.: 439–450.
- Murtagh, N.; Nati, M.; Headley, W. R.; Gatersleben, B.; Gluhak, A.; Imran, M. A.; Uzzell, D., 2013: Individual energy use and feedback in an office setting: A field trial. *Energy Policy*, 62. Jg.: 717–728.
- Bund der Energieverbraucher e. V., 2023: Heizungsdimensionierung. Zugriff: https://www.energieverbraucher.de/de/heizungs--dimensionierung__1237/ContentDetail__2736/ [abgerufen am 18.04.2023].
- Open Charge Alliance, 2023: Open Charge Point Protocol 2.0.1 (OCPP 2.0.1) - Open Charge Alliance . Zugriff: <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/> [abgerufen am 01.05.2023].
- Potz Gebäudeautomation & -technik, 2023: Bussysteme in der Gebäudeautomation. Zugriff: <https://www.potz-gebaeudeautomation.de/newsroom/news/detail/bussysteme-in-der-gebaeudeautomation-welche-sind-aktuell-und-fuer-welchen-zweck-werden-sie-eingesetzt/> [abgerufen am 04.05.2023].
- Renner, G., 2011: Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. Berlin.
- Sauter, 2020: Sauter ecos-IoT. Zugriff: <https://www.sauter-cumulus.de/innovation-2/cloud-iot-connector/> [abgerufen am 23.02.2024]
- Tesiero, III, 2014: LOW-COST STRATEGIES TO SAVE ENERGY IN K-12 SCHOOLS. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7. Jg. (1): 45–57.
- VDI 2067, 2012: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen.
- VDI 3807 – Blatt 2, 2014: Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser.
- VDI 3810 – Blatt 5, 2018: Betreiben von Gebäuden und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen.
- VDI/GEFMA 3810 – Blatt 5, 2018: Betreiben von Gebäuden und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen.
- velasolaris, 2022: Polysun – Homepage. Zugriff: <https://www.velasolaris.com/> [abgerufen am 11.11.2022].
- Verbraucherzentrale 2023: Klimapaket: Was bedeutet es für Mieter und Hausbesitzer? | Verbraucherzentrale.de. Zugriff: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/klimapaket-was-bedeutet-es-fuer-mieter-und-hausbesitzer-43806> [abgerufen am 24.04.2023].
- Ritter, Volker; Bagherian, Behrooz; Müller, André; 2019: Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2019/bbsr-online-20-2019.html> [abgerufen am 23.02.2024]
- TeDo Verlag GmbH (Hrsg.), 2021: Cloud-Lösungen zur zukunftssicheren Gestaltung der Gebäudeautomation – GEBÄUDEDIGITAL. Zugriff: <https://gebaeuedigital.de/haus-und-gebaeudeautomation/cloud-loesungen-zur-zukunftssicheren-gestaltung-der-gebaeudeautomation/2/> [abgerufen am 03.05.2023].

ZIV – Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband, 2020: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks, Sankt Augustin. Zugriff: <https://www.schornsteinfeger.de/sonderdruck-2020.pdf> [abgerufen am 23.02.2024]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Veröffentlichungsdichte im Zeitverlauf	8
Abbildung 2 Veröffentlichungstypen	9
Abbildung 3 Beispiel für die Lowtech-Bewegung	10
Abbildung 4 Struktur von GA-Systemen	12
Abbildung 5 Größe der in Deutschland verbauten Heizkessel	19
Abbildung 6 Flächenverteilung deutscher Nichtwohngebäude	20
Abbildung 7 KPI Framework	23
Abbildung 8 Funktionsgruppe einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	25
Abbildung 9 Messtechnik für Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Lufterhitzer	26
Abbildung 10 Beispiel einer Kommunikationsinfrastruktur	32
Abbildung 11 Beispiel einer Polysun-Simulation	37
Abbildung 12 Verlauf der Soll- und Ist-Raumtemperatur	39
Abbildung 13 Vor- und Nachteile für die Wirtschaftlichkeit von GA	40
Abbildung 14 Positionen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	42
Abbildung 15 Mögliche Entwicklung der Gaspreise 2026/2030	45
Abbildung 16 Mögliche Entwicklung der Großhandelsstrompreise	46
Abbildung 17 Kumulierte Einsparungen mittleres Preisszenario	48
Abbildung 18 Kumulierte Einsparungen durch GA nach einer Zeitspanne von 15 Jahren	49
Abbildung 19 Prozentuale Anteile einzelner Kostenpositionen an den Gesamteinsparungen	50
Abbildung 20 Beispiel Annuitätenrechnung, Lebensmittelmarkt, mittleres Preisszenario	51
Abbildung 21 Beispiel Annuitätenrechnung, Bürogebäude, niedrigpreisiges Szenario	51
Abbildung 22 Return on Investment der verschiedenen Simulationsszenarien	52
Abbildung 23 Aufteilung der Annuität in Zinsen und Tilgung, Beispiel des Bürogebäudes im geringen Preisszenario	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Datenerfassung für Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Luftheritzer	26
Tabelle 2 Zeitliche Auflösung von Daten nach Verwendungszweck	30
Tabelle 3 Kriterien der Datenerfassung nach VDI 6041	30
Tabelle 4 Gängige Bussysteme in der GA	32
Tabelle 5 Gebäudeklassen Szenarien	34
Tabelle 6 Überblick der technischen Gebäudeausstattung der Szenarien	36
Tabelle 7 Spezifische Energieverbräuche der Szenarien im Auslegungsfall	36
Tabelle 8 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse	38
Tabelle 9 Zusammenfassung Einsparpotenzial durch GA	41
Tabelle 10 Kosten der GA-Systeme nach BKI	43
Tabelle 11 Mehrinvestitionskosten der Annuitätenrechnung, gewichtet über den Umfang des Installationsaufwands	44
Tabelle 12 Zusammensetzung vom Gaspreis am 01.04.2022, Abnahmefall 116 MWh/a	46
Tabelle 13 Zusammensetzung vom Gewerbestrompreis am 01.04.2022, Abnahmefall 50 MWh/a	47
Tabelle 14 Kosten der CO ₂ -Abgabe, ohne Mehrwertsteuer	47
Tabelle 15 Absolute Einsparungen durch vermiedene Energiebezugskosten in den fünf Szenarien	48
Tabelle 16 Berechnung von Kostenanteilen über drei Preisszenarien	49
Tabelle 17 Zusammenfassung der Kostenbestandteile in den verschiedenen Szenarien	49
Tabelle 18 Auslegungsdaten Referenzfall	66

Anlagen

Anhang A: Simulationsparameter der Gebäudetypen

Auslegungsdaten der Referenzfälle

Tabelle 18
Auslegungsdaten Referenzfall

-	Verwaltungs-Gebäude	Büro, Schule, Hotel	Lebensmittelmarkt
Solltemperatur Heizen	20	21 °C	21
Solltemperatur Kühlen	-	20 °C	17
WRG Lüftungsanlage	50 %	50 %	50 %
Verschattung	Nein	Nein	Nein
Unbeheizte Räume	Nein	Nein	Nein
Betriebszeiten	0-24 h, 365 d	0-24 h, 365 d	0-24 h, 365 d

Anlagenkonfiguration der simulierten Gebäudeautomation.

Szenario 1: Verwaltungsgebäude

Anlagentechnik				
Wärmeerzeuger	Wärmeübergabe	TWW-Erzeugung	Lüftungsanlage	Klimaanlage
Gas, 575 kW	Statisch	Dez. elektrisch	Ja	Nein

Energiekennwerte	
U-Wert (W/m ² K)	1,1
Spez. Heizwärmebedarf kWh/m ²	248
Gesamtfläche (L*B)*Stockwerke	(70m*20m)*4 = 5600 m ²
Heizenergiebedarf (MWh)	1391
Kühlenergiebedarf (MWh)	-

Simulationsparameter	
Spartemperatur	15°C
Tagestemperatur	21°C
Kühltemperatur	-
Verschattung	Ab Kühltemperatur
Betriebszeiten	6.00-18.00 Uhr
Wärmegewinne Personen	2,1 W/m ²
Wärmegewinne Geräte	2,8 W/m ²
Luftwechselrate	0,3 1/h
Verschattungsfaktor	0,7 (130W/m ²)
Arbeitstage / Wochenende	5/2

Profil angelehnt an DIN EN ISO 52120:1

Szenario 2: Bürogebäude

Anlagentechnik				
Wärmeerzeuger	Wärmeübergabe	TWW-Erzeugung	Lüftungsanlage	Klimaanlage
Gas, 450 kW	Statisch	Dez. elektrisch	Ja	60 kW

Energiekennwerte	
U-Wert (W/m ² K)	0,7
Spez. Heizwärmebedarf kWh/m ²	140
Gesamtfläche (L*B*Stockwerke)	(70m*20m)*4 = 5600 m ²
Heizenergiebedarf (MWh)	784
Kühlenergiebedarf (MWh)	54,1

Simulationsparameter	
Spartemperatur	15°C
Tagestemperatur	21°C
Kühltemperatur	23°C
Betriebszeiten	6.00-18.00 Uhr
Wärmegewinne Personen	2,1 W/m ²
Wärmegewinne Geräte	2,8 W/m ²
Luftwechselrate	0,3 1/h
Verschattungsfaktor	0,7 (130W/m ²)
Arbeitstage / Wochenende	5/2

Profil angelehnt an DIN EN ISO 52120:1

Szenario 3: Schulgebäude

Anlagentechnik				
Wärmeerzeuger	Wärmeübergabe	TWW-Erzeugung	Lüftungsanlage	Klimaanlage
Gas, 850 kW	Statisch	Dez. elektrisch	Nein	Nein

Energiekennwerte	
U-Wert (W/m ² K)	1,1
Spez. Heizwärmebedarf kWh/m ²	234
Gesamtfläche	(70m*30m) * 3 = 6300 m ²
Heizenergiebedarf (MWh)	1477
Kühlenergiebedarf (MWh)	-

Simulationsparameter	
Spartemperatur	15°C
Tagestemperatur	21°C
Kühltemperatur	-
Betriebszeiten	7.00-12.00 Uhr / 13:30-17:30 Uhr
Wärmegewinne Personen	15,7 W/m ²
Wärmegewinne Geräte	4 W/m ²
Luftwechselrate	0,8 1/h
Verschattungsfaktor	0,7 (130W/m ²)
Arbeitstage / Wochenende	5/2

Profil angelehnt an DIN EN ISO 52120:1

Szenario 4: Hotel

Steckbrief

Anlagentechnik				
Wärmeerzeuger	Wärmeübergabe	TWW-Erzeugung	Lüftungsanlage	Klimaanlage
Gas, 800 kW	Luftheizung	Dez. elektrisch	Ja	200 kW

Energiekennwerte	
U-Wert (W/m ² K)	0,7
Spez. Heizwärmebedarf kWh/m ²	158
Gesamtfläche	10800 m ² (50m*18m)*12
Heizenergiebedarf (MWh)	1706
Kühlenergiebedarf (MWh)	121

Simulationsparameter	
Spartemperatur	15°C
Tagestemperatur	21°C
Kühltemperatur	23°C
Betriebszeiten	6.00-11.00 Uhr / 18.00-23.00 Uhr
Wärmegewinne Personen	13,3 W/m ²
Wärmegewinne Geräte	10 W/m ²
Luftwechselrate	0,6 1/h
Verschattungsfaktor	0,7 (130W/m ²)
Arbeitstage / Wochenende	7/0

Profil angelehnt an DIN EN ISO 52120:1

Szenario 5: Lebensmittelmarkt

Anlagentechnik				
Wärmeerzeuger	Wärmeübergabe	TWW-Erzeugung	Lüftungsanlage	Klimaanlage
Gas, 450 kW	Luftheizung	Dez. elektrisch	Ja	300 kW

Energiekennwerte	
U-Wert (W/m ² K)	0,5
Spez. Heizwärmebedarf kWh/m ²	149
Gesamtfläche	6000m ² (100m*60m)
Heizenergiebedarf (MWh)	896 MWh
Kühlenergiebedarf (MWh)	148 MWh

Simulationsparameter	
Spartemperatur	15°C
Tagestemperatur	21°C
Kühltemperatur	17°C (Tag) 20°C (Nacht)
Betriebszeiten	10.00-21.00 Uhr
Wärmegewinne Personen	2,4 W/m ²
Wärmegewinne Geräte*	25 W/m ² // 150 kW
Luftwechselrate	1,3 /h
Verschattungsfaktor	0,7 (130W/m ²)
Arbeitstage / Wochenende	6/1

Profil angelehnt an DIN EN ISO 52120:1

*Der Unterschied zwischen Einzelhandelsgebäuden mit bzw. ohne Lebensmittel liegt im spezifischen jährlichen Stromverbrauch bei 219 kWh/m². Daraus summieren sich bei Nutzung der Abwärme 1314 MWh/a. Bei einer konstanten Leistung über ein Jahr sind das 1.314.000 kWh / 365 d / 24 h = 150 kW (Chini 2021)

Anhang B: Referenzprojekte verschiedener Hersteller von Gebäudeautomationsanlagen

Zusammengetragene Referenzprojekte aus: (eu. bac 2022)

Projekt	Fläche	Investment	Investment/ m ²	Sparrate	Sparrate/ m ²	Payback	CO ₂	Energie	Relativ Strom	Relativ	Hersteller	Sonstiges
COLLEGE BUILDING, THE UNITED KINGDOM		144.410,00 €		59040		2,5	27				Honeywell	C->B, Monitoring, Wartung, Heizungsoptimierung
UNIVERSITY OF NOTTINGHAM, UK	4500	580.000,00 €	128,89 €							25%	Schneider	25 % safety comfort cost drop, Monitoring
UNIVERSITY BUILDING, THE UNITED KINGDOM		736.500,00 €		104010		7	468				Honeywell	c->b, Kesseltausch und Optimierung, Monitoring und Reports, Wartung
VIENNA TECHNICAL UNIVERSITY, VIENNA, AUSTRIA	13500									88%	Sauter	Monitoring, easy use Facility Management
OFFICE BUILDING, TECHNOPOLE, GRENOBLE, FRANCE	10500	393.000,00 €	37,43 €	92000	8,76			882			Schneider	EMS, Remote Steuerung, Monitoring, smart ready

Projekt	Fläche	Investment	Investment/ m ²	Sparrate	Sparrate/ m ²	Payback	CO ₂	Energie	Relativ Strom	Relativ	Hersteller	Sonstiges
												84kWh/m ² 127->43
CALL CENTRE OPERATIONS BUILDING, THE UNITED KINGDOM		4.500,00 €		42760		0,17	186				Honeywell	Optimierungen Heizungs- und Klimaanlage, Wartung
OFFICE, BAVARIA TOWERS, MUNICH, GERMANY				60000			97				Sauter	C->B, Einzelraumregelung, Monitoring
OFFICE, ONIX BUILDING, LILLE, FRANCE			20,00 €			3				29%	Somfy	Lichtsteuerung, Verschattungen, 10% Heizenergie, 54% licht, 29% total
HOSPITAL, GERMANY	29000	1.900.000,00 €	65,52 €	270000	9,31	7	1444			50%	Siemens	Heizung und Verteilung neu, Automation, CHP, Monitoring, 50% energiekosten, 75% Strombezug

Projekt	Fläche	Investment	Investment/ m ²	Sparrate	Sparrate/ m ²	Payback	CO ₂	Energie	Relativ Strom	Relativ	Hersteller	Sonstiges
HOSPITAL, KREISKRANKENHAUS LUDMILLENSTIFT MEPPEN	58000	15.000,00 €	0,26 €				202	1000			Belimo	Monitoring, Heizungs-optimierung
RESIDENTIAL BUILDING, MILAN, ITALY		26.400,00 €				2,2				14%	Danfoss	Hydraulischer Abgleich
RESIDENTIAL BUILDING, MJÖLBY, SWEDEN						3				20%	Danfoss	Hydraulischer Abgleich
HOTEL HOCHSCHÖBER, KÄRNTEN, AUSTRIA		1.700.000,00 €		11290			389				Siemens	Optimierung Luft- und Heizsystem, Monitoring, WP und PV, Pool - Optimierung
INDOOR SWIMMING POOL, SPORTS CENTRE AUSTRIA	6000			14500	24,17		400			38%	Siemens	Monitoring, WP, Erneuerung technisches system, LED, 38% wärme, 18% Elektro