



Clemens Felsmann

Bewertung effizienter Regelung in Gebäuden

Kurzstudie zur Bestimmung desaggregierter Effizienzfaktoren in Anlehnung an EN 15232

Dresden, 15. März 2017

Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

Prof. Dr.-Ing. C. Felsmann

Tel.: 0351/463 32145

Fax.: 0351/463 37076

Email: Clemens.Felsmann@tu-dresden.de

Zusammenfassung

Der Energieverbrauch von Gebäuden kann auf zwei grundlegende Arten verringert werden: Die Gebäudehülle kann saniert oder das Gebäude kann effizienter betrieben werden.

Sanierungen der Gebäudehülle werden im Rahmen des Gebäudeprogramms subventioniert und sind daher nicht Bestandteil dieser Analyse. Das effiziente Betreiben von Gebäuden kann mit Hilfe der Gebäudeautomation und des Gebäudemanagements erfolgen.

Es besteht bereits ein Programm zur Förderungen der Gebäudeautomation (0029 Nationales Förderprogramm Gebäudeautomation (NFGA)). Dabei werden komplette Maßnahmenpakete gefördert, die in ihrer Gesamtheit zu einer Steigerung der Gebäudeautomationsklasse gemäß EN 15232 (siehe unten) führen. Um durch das Programm gefördert zu werden, muss also eine Reihe von Maßnahmen parallel durchgeführt werden. Der Fokus des Programms sind eher Nutzbauten.

Die im folgenden beschriebene Standardisierung soll hingegen die Wirkungsberechnung von Einzelmaßnahmen im Wohnbereich umfassen.

In der Gebäudekategorie Nutzbauten ist der unten beschriebenen Ansatz des Desaggregierens der Norm EN 15232 zwar theoretisch auch möglich, allerdings müsste dazu eine größere Anzahl von Funktionsausführungen desaggregiert werden (siehe unten). Daher werden im Folgenden als erster Schritt nur Wohngebäude behandelt. Die Methodik kann allenfalls auch auf Nutzbauten ausgeweitet werden. Bei Neubauten geht man gemäß Anhang F davon aus, dass diese mit erneuerbaren Energien versorgt werden. Daher hat eine Verbesserung der Gebäudeautomation und des Gebäudemanagements dort keine Verringerung der CO₂-Emissionen zur Folge. Im Fokus der folgenden Überlegungen stehen daher bestehende Wohnbauten (z.B. bis Baujahr 2009).

1. Einleitung

Die Norm EN 15232 beschreibt Funktionen der Gebäudeautomation (GA) und des Gebäudemanagements und gibt Hinweise, wie deren Beitrag zu einem energetisch effizienten Gebäudebetrieb quantifiziert werden kann. Die Norm ist Teil des Berechnungsverfahrens im Rahmen der EPBD. Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie ist für **bestehende Wohnbauten** (z.B. bis Baujahr 2009) in der Schweiz zu untersuchen, welche relevanten Automations-, Regel- und Managementfunktionen helfen können, den Bedarf an fossilen Brennstoffen in diesen Gebäuden zu senken und somit die Treibhausgasemissionen der Schweiz zu reduzieren. Elektrische Energie ist in der Schweiz quasi CO₂-neutral und somit in diesem Kontext nicht relevant. Grundlage der Betrachtungen bilden der Normtext der EN 15232 von 2012. Änderungen, die im Rahmen des laufenden Mandat 480 absehbar in eine aktualisierte Normenfassung einfließen werden, wurden ebenfalls berücksichtigt.

2. Relevante Gebäudeautomationsfunktionen gemäß EN 15232

Die Norm umfasst sechs Anwendungsbereiche der Gebäudeautomation (Heizung, Trinkwassererwärmung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung, Verschattung) und als siebten Bereich das Gebäudemanagement. Für bestehende Wohnbauten sind zwei Anwendungsbereiche relevant:

- 1) **Regelung Heizbetrieb:** Der Heizbetrieb stellt die wichtigste Quelle für fossilen Energiebedarf bei Gebäuden dar. Einsparungen in diesem Bereich sind daher der größte Hebel, um CO₂-Emissionen mittels effizienterer Regelung zu verringern.
- 2) **Regelung der Trinkwassererwärmung:** Trinkwassererwärmung ist die zweitwichtigste Quelle für fossilen Energiebedarf bei Gebäuden. Im Schnitt benötigt man dafür allerdings weniger Energie als für die Heizung.

Auch der Bereich **Technisches Haus- und Gebäudemanagement** ist relevant. Ein funktionierendes Management ist entscheidend, um eine andauernde Wirkung zu erzielen und nachzuweisen. Es ist eine notwendige Bedingung, um sich Emissionsverminderungen anrechnen lassen zu können und daher Bestandteil der Monitorings. Dem Management wird aber keine Wirkung per se zugewiesen. Es wird daher im Folgenden nicht weiter behandelt.

Gemäß Aufgabenstellung werden GA-Funktionen, die

- zum größten Teil den elektrischen Energiebedarf (Stromverbrauch) betreffen oder
- in bestehenden Wohnbauten nicht oder nur marginal zum Einsatz kommen

als nicht relevant für die spätere Anwendung angesehen und für die nachfolgenden Untersuchungen ausgeschlossen.

2.1. Regelung Heizbetrieb (Raumheizung)

Im Folgenden werden die für bestehende Wohngebäude mit fossilen Feuerungen relevanten GA-Funktionen für den Heizbetrieb auf Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Vorüberlegungen identifiziert. Gemäß der Aufgabenstellung sind diese Vorüberlegungen und Einschätzungen zur Relevanz der GA-Funktion zu prüfen.

Die in den folgenden Tabellen aufgeführten Funktionsnummern (1.1, 1.2 usw.) sind aus der EN 15232 übernommen.

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.1	Regelung der Übergabe				
	Die Regelfunktion ist am Heizkörper (Strahlungsgeräte, Gebläsekonvektoranlage, Gerät im Innenbereich) auf Raumebene installiert; bei Funktionstyp 1 (zentrale automatische Regelung) kann eine Funktion mehrere Räume regeln. Für thermisch träge Systeme (Fußbodenheizung, TABS) ist die Funktion 1.2 anzuwenden				
	0 Keine automatische Regelung	x			
	1 Zentrale automatische Regelung: Die zentrale automatische Regelung betrifft entweder nur die Verteilung oder nur die Erzeugung. Dies kann beispielsweise durch Anwendung einer Außentemperaturgeführten Regelung nach EN 12098–1 oder EN 12098–3 erreicht werden; eine Einrichtung kann mehrere Räume regeln	x			
	2 Einzelraumregelung: durch Thermostatventile oder elektronische Regeleinrichtung	x	x		
	3 Einzelraumregelung mit Kommunikation: Kommunikation zwischen den Regeleinrichtungen und dem GA-System (z. B. Zeitschaltprogramm, Sollwert der Raumtemperatur)	x	x	x	
	4 Einzelraumregelung mit Kommunikation und Anwesenheitserkennung: Kommunikation zwischen den Regeleinrichtungen und dem GA-System; bedarfs-/anwesenheitsabhängige Regelung (diese Funktion wird nicht bei Anlagen mit langsam reagierender Wärmeübergabe mit entsprechender thermischer Masse, z. B. Fußboden- und Wandheizung, genutzt)	x	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Ja
<p>Diese Funktion regelt die Wärmeübergabe im Raum, um so die gewünschte Raumtemperatur sicherzustellen. Neben einer manuellen Einstellung der Heizkörper und Radiatoren sind unterschiedliche Ausprägungen einer automatisierten Regelung möglich: Einbindung des Wärmeerzeugers oder Heizkreises in die Raumtemperaturregelung (Führungsraum) sowie Einzelraumregelung mit oder ohne Kommunikation und Anwesenheitserfassung. Diese Funktion ist nicht auf thermisch träge bauteilintegrierte Wärmeübergabesysteme anwendbar, da in solchen Fällen die anwesenheitsabhängige Regelung (1.1.4) nicht sinnvoll angewendet werden kann. Alternativ ist dann Funktion 1.2 einzusetzen.</p> <p>Eine vorteilhafte Regelung der Wärmeübergabe mindert den Wärmebedarf infolge höherer Raumtemperaturregelgüte sowie einer bedarfsgerechten Wärmeübergabe im Raum.</p>					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.2	Regelung der Übergabe für TABS (Heizbetrieb)				
	Die Regelfunktion gilt explizit nur für bauteilintegrierte und thermisch träge Heizsysteme (Fußbodenheizung, TABS); der Funktionstyp 1.2.1 kann mehrere Räume regeln				
	0	Keine automatische Regelung der Raumtemperatur	x		
	1	Zentrale automatische Regelung: Die zentrale automatische Regelung für eine TABS-Zone (die alle Räume umfasst, die mit der gleichen Vorlauftemperatur versorgt werden) ist üblicherweise ein Vorlauftemperaturregelkreis, dessen Sollwert von der gefilterten Außentemperatur abhängt, z. B. dem Mittelwert der vergangenen 24 Stunden.	x	x	
	2	Erweiterte zentrale automatische Regelung: Dies ist eine zentrale automatische Regelung der TABS-Zone, die dafür ausgelegt und abgestimmt ist, eine optimale Selbstregelung der Raumtemperatur innerhalb des erforderlichen Behaglichkeitsbereichs (festgelegt durch den Sollwert der Raumtemperatur im Heizbetrieb) zu erreichen. „Optimal“ bedeutet, dass während der Betriebszeiten die Raumtemperaturen aller Räume der TABS-Zone im Behaglichkeitsbereich bleiben, um die Behaglichkeitsanforderungen zu erfüllen, aber auch so niedrig wie möglich sind, um den Heizwärmebedarf zu senken.	x	x	x
	3	Erweiterte zentrale automatische Regelung mit intermittierendem Betrieb und/oder Raumtemperatur-Rückführregelung:	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Ja
<p>Diese Funktion regelt thermisch träge bauteilintegrierte Wärmeübergabesysteme im Raum (TABS, Fußbodenheizungen), um so die gewünschte Raumtemperatur sicherzustellen. Für alle anderen schnell reagierenden Systeme ist alternativ Funktion 1.1 anzuwenden. Neben einer manuellen Einstellung der Heizkörper sind unterschiedliche Ausprägungen einer automatisierten Regelung möglich. In den Funktionstypen 2 und 3 wird die zentrale automatische Regelung erweitert, um so Nutzeranforderungen (thermische Behaglichkeit) und Energieverbrauch besser aufeinander abzustimmen. Dies ist beispielsweise möglich mit Hilfe des intermittierenden Betriebs der Umwälzpumpe (Schaltung entweder mit einer schnellen Frequenz, üblicherweise 6-stündiger Ein-Aus-Zyklus, oder mit einer langsamen Frequenz, die einem Ein-Aus-Zyklus von 24 Stunden entspricht) und/oder mittels Raumtemperatur-Rückführregelung. Hierbei wird der Sollwert der Vorlauftemperatur durch die Ausgangsgröße eines Raumtemperatur-Rückführreglers korrigiert, um den Sollwert an nicht vorhersagbare tägliche Schwankungen der Wärmegewinne anzupassen. Da das TABS langsam reagiert, wird nur eine tageweise Korrektur der Raumtemperatur angewendet, eine sofortige Korrektur lässt sich mit einem TABS nicht erreichen. Die rückgeführte Raumtemperatur ist die Temperatur eines Referenzraums oder eine andere für die Zone repräsentative Temperatur.</p> <p>Eine vorteilhafte Regelung der Wärmeübergabe mindert den Wärmebedarf infolge höherer Raumtemperaturregelgüte sowie einer bedarfsgerechten Wärmeübergabe im Raum. Wärmegewinne von internen Nutzern und solare Wärmegewinne lassen sich besser ausnutzen.</p>					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.3	Regelung der Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf)				
	Vergleichbare Funktionen können auf die Regelung von Netzen für die elektrische Direktheizung angewendet werden				
	0	Keine automatische Regelung	x		
	1	Witterungsgeführte Regelung: Regelungen senken mittlere Durchflusstemperatur üblicherweise	x	x	
	2	Bedarfsabhängige Regelung; z. B. basierend auf der Regelgröße der Innentemperatur; Regelungen senken mittlere Durchflusstemperatur üblicherweise	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein
<p>Diese Funktion regelt die Temperaturen im Verteilnetz von Pumpen-Warmwasserheizungsanlagen. Unabhängig oder zusätzlich zur Regelung und Steuerung der vom Wärmeerzeuger bereitgestellten Heizwassertemperaturen ist es möglich (z.B. bei mehreren Heizkreisen) die Temperaturen im Verteilnetz zu regeln. Dies kann beispielsweise über eine witterungsabhängige Heizkurve oder bedarfsgeführt unter Berücksichtigung der nutzerseitigen Anforderungen erfolgen.</p> <p>Eine intelligente Regelung der Heizwassertemperaturen mindert die Wärmeverluste der Verteilungen im Gebäude und hat zudem positive Auswirkungen auf den Wärmeerzeuger, da dieser dadurch i.d.R. effizienter betrieben werden kann.</p> <p>Wie die nachfolgenden Ausführungen in Kapitel 3.3.2 zeigen, ist die alleinige Wirkung dieser Funktionsausführung sehr gering. Daher kann man davon ausgehen, dass diese Funktionsausführung bei einer korrekten Einstellung der witterungsgeführten Regelung in Bestandsgebäuden (Klasse C) nicht relevant ist.</p>					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.4	Regelung der Umwälzpumpen im Netz				
	Die geregelten Pumpen können im Netz auf unterschiedlichen Ebenen installiert werden. Regelung dient der Verringerung des Hilfsenergiebedarfs der Pumpen.				
	0	Keine automatische Regelung	x		
	1	Zweipunktregelung: schaltet automatisch ein und aus, Pumpen laufen ohne Regelung auf höchster Geschwindigkeit	x	x	
	2	Mehrstufenregelung: Die Geschwindigkeit der Pumpen wird von einer Mehrstufenregelung gesteuert	x	x	x
	3	Regelung der variablen Pumpendrehzahl: konstantes oder variables Δp , beruhend auf Beurteilungen der Pumpenanlage (intern)	x	x	x
	4	Regelung der variablen Pumpendrehzahl: variables Δp infolge eines externen Bedarfssignals, z. B. hydraulische Anforderung, ΔT , Energieoptimierung	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein
Diese Automationsfunktion ist für die weiteren Betrachtungen irrelevant, da sie hauptsächlich auf den Elektroenergieverbrauch der Umwälzpumpen abzielt.					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.5	Regelung der Übergabe und/oder der Verteilung bei intermittierendem Betrieb				
	Eine Regeleinrichtung kann verschiedene Räume/Zonen regeln, die die gleichen Belegungsmuster aufweisen				
	0	Keine automatische Regelung	x		
	1	Automatische Regelung mit feststehendem Zeitprogramm: zur Verringerung der Betriebszeit	x		
	2	Automatische Regelung mit gleitendem Schalten: zur Verringerung der Betriebszeit	x	x	x
	3	Automatische Regelung mit Bedarfsbeurteilung: zur Verringerung der Betriebszeit	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Ja
<p>Diese Funktion beeinflusst übergeordnet zu den vorherigen Funktionen 1.1 bis 1.4 die Wärmeversorgung von Räumen bzw. Zonen durch zeitweises Abschalten der Wärmeübergabe bzw. der Wärmeverteilung. Dieses zeitweise Abschalten kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, z.B. Sommerabschaltung, Nachtabschaltung, Abschaltung bei Abwesenheit. Über diese Funktion wird damit lediglich die Verfügbarkeit der Anlagen gesteuert, nicht jedoch die Regelgüte während der Betriebszeiten. Es gibt teilweise Überschneidungen mit anderen Funktionen, z.B. 1.1.3/1.1.4 oder der Managementfunktion 7.1 (Zeitplanfunktion). In diesem Fall ist darauf zu achten, dass für den Fall, dass sich Funktionen auf identische Bereiche der Heizungsanlage beziehen, keine doppelte Bewertung erfolgt. Denkbar wäre aber eine Kombination von 1.1.2 (Thermostatregelventile) und 1.5. Eine auf die Gebäudenutzung und die Heizungsanlage abgestimmte intelligente Regelung kann zu energetischen Verbesserungen führen.</p>					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.6	Regelung des Wärmeerzeugers für Verbrennungs- und Fernheizung				
	Das Ziel besteht im Allgemeinen darin, die Betriebstemperatur des Wärmeerzeugers zu minimieren				
	0	Konstante Temperaturregelung	x		
	1	Von der Außentemperatur abhängige variable Temperaturregelung	x	x	
	2	Von der Last abhängige variable Temperaturregelung: z. B. in Abhängigkeit vom Sollwert der Vorlauftemperatur	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein
<p>Diese Automationsfunktion regelt bzw. steuert die Temperatur des Wärmeerzeugers; dies erfolgt zunächst unabhängig von der Automationsfunktion 1.3 (Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz). Stand der Technik ist die witterungsgeführte Vorlauftemperatur. Eine intelligente Regelung berücksichtigt jedoch die Lastanforderungen und nachgelagerten Bedarfe der Wärmeverteilung und Wärmeübergabe. Insbesondere bei Anlagen mit mehreren Heizkreisen und eigenem Wärmeerzeugerkreislauf könnte der Betrieb des Wärmeerzeugers ungeachtet der fest eingestellten Heizkurve auf die Maximalanforderungen reagieren und damit nur die tatsächlich erforderliche Temperatur bereitstellen. Relevant ist dies Funktion für größere Wohngebäude mit mehreren Heizkreisen. Alle anderen Wohngebäude werden über die Funktion 1.3 bereits erfasst. Für die weiteren Betrachtungen soll diese Funktion daher als nicht relevant eingestuft werden.</p>					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.7	Regelung des Wärmeerzeugers (Wärmepumpe)				
	Das Ziel besteht im Allgemeinen darin, die Betriebstemperatur des Wärmeerzeugers zu minimieren und dadurch den Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers zu maximieren				
	0	Konstante Temperaturregelung	x		
	1	Von der Außentemperatur abhängige variable Temperaturregelung	x	x	
	2	Von der Last abhängige variable Temperaturregelung: z. B. in Abhängigkeit vom Sollwert der Vorlauftemperatur	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein
Diese Automationsfunktion ist für die weiteren Betrachtungen irrelevant, da sie ausschließlich auf den Elektroenergieverbrauch der Kompressionswärmepumpe abzielt.					

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
1.8	Regelung des Wärmeerzeugers (Außengerät)				
	Das Ziel besteht im Allgemeinen darin, den Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers zu maximieren				
	0	Zweipunktregelung des Wärmeerzeugers	x		
	1	Mehrstufenregelung der Wärmeerzeuger-Kapazität in Abhängigkeit von der Last oder dem Bedarf (z. B. Ein-/Aus-Schalten verschiedener Kompressoren)	x	x	x
	2	Variable Regelung der Wärmeerzeuger-Kapazität in Abhängigkeit von der Last oder dem Bedarf (z. B. Bypass für heiße Gase, Frequenzregelung von Wechselrichtern)	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein
Diese Automationsfunktion ist für die weiteren Betrachtungen irrelevant, da sie ausschließlich auf den Elektroenergieverbrauch von Split-Geräten abzielt.					

		GA-Effizienzklasse				
		D	C	B	A	
1.9	Betriebsabfolge der verschiedenen Wärmeerzeuger					
	Diese Automationsfunktion gilt nur für Systeme mit einer Reihe von Wärmeerzeugern verschiedener Größen oder Arten, einschließlich erneuerbarer Energiequellen					
	0	Prioritätensetzung ausschließlich nach der Laufzeit	x			
	1	Regelung nach einer feststehenden Prioritätenliste: z. B. Wärmepumpe vorrangig vor Warmwasserheizkessel	x	x		
	2	Regelung nach dynamischer Prioritätenliste (auf Grundlage der aktuellen Effizienz und Kapazität der Erzeuger z. B. Solar-, Erdwärme-, KWK-Anlage, fossile Brennstoffe)	x	x	x	
	3	Regelung nach dynamischer Prioritätenliste (auf Grundlage der voraussichtlichen und aktuellen Last, Effizienz und Kapazität der Erzeuger)	x	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein	
<p>Diese Automationsfunktion regelt den Einsatz mehrerer Wärmeerzeuger in einer Anlage und betrifft damit nicht nur Mehrkesselanlagen, sondern alle hybriden Wärmeversorgungskonzepte, z.B. die Kombination von Wärmepumpe und Spitzenlastkessel oder solarunterstützte Wärmeversorgungskonzepte. Diese hybriden Wärmeversorgungskonzepte sind auch in Wohngebäuden relativ weit verbreitet und es ist daher nicht ohne Weiteres davon auszugehen, dass Wohngebäude nur einen Wärmeerzeuger besitzen. In der Regel ist die Einsatzreihenfolge der Wärmeerzeuger jedoch in einer festen aber sinnvollen Art definiert: Solarthermie und Wärmepumpe werden solange bevorzugt eingesetzt, wie eine ausreichende Temperatur sichergestellt bzw. (unter Berücksichtigung von Quelle- und Senkentemperatur) eine Mindestleistungszahl nicht unterschritten wird. Bei höheren Leistungen und/oder Temperaturen wird über einen mit fossilen Energieträgern versorgten Spitzenlastkessel nachgeheizt. Daher soll diese Funktion für die weiteren Betrachtungen nicht herangezogen werden, da die über den Stand der Technik (GA-Klasse C) hinausgehenden Funktionen der Einsatz in Wohngebäuden sehr unwahrscheinlich ist.</p>						

		GA-Effizienzklasse				
		D	C	B	A	
1.10	Regelung der ladenden Wärmespeicherung					
	Die Wärmespeicherung ist Teil der Heizungsanlage.					
	0	Betrieb mit dauerhafter Speicherung	x			
	1	2-Sensoren-Speicherladung	x	x	x	
	2	Betrieb mit auf vorausbestimmten Lasten beruhender Speicherung	x	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein	
<p>Diese Automationsfunktion bezieht sich auf Wärmespeicher im Heizungskreis. Die Anwendung in der auf fossilen Energieträgern basierenden Wärmeerzeugung ist unüblich. Anwendungsfälle als Pufferspeicher in Kombination mit Wärmepumpen oder dezentralen KWK-Geräten zur Minderung des Taktverhaltens unterliegen nur nachrangig der Gebäudeautomation. Solarwärmespeicher sind Teil des solaren Wärmeerzeugers und damit für auf die fossilen Anwendungen orientierte Betrachtung irrelevant.</p>						

Fazit: Es bleiben für die Bewertung der Gebäudeautomation für fossil betriebene Raumheizungsanlagen in Wohngebäuden die folgenden Funktionen relevant:

- 1.1 Regelung der Übergabe
- 1.2 Regelung der Übergabe für TABS
- 1.5 Regelung der Übergabe und/oder Verteilung bei intermittierendem Betrieb

Dabei ist zu beachten, dass die GA-Funktionen 1.1 und 1.2 nur alternativ, also nicht beide gleichzeitig in einem Gebäude anwendbar sind.

Für die Funktion

- 1.3 Regelung der Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf)

ist nachzuweisen, dass der Effekt dieser Funktion in bestehenden Wohngebäuden bei einer korrekten Einstellung der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung (Klasse C) vernachlässigt werden kann.

2.2. Regelung Trinkwassererwärmung

In Analogie zu den GA-Funktionen des Raumheizbetriebs werden hier die Automationsfunktionen für die Trinkwassererwärmung beschrieben und relevante Funktionen ausgewählt.

		GA-Effizienzklasse				
		D	C	B	A	
2.1	Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers mit elektrischer Direktheizung oder integrierter elektrischer Wärmepumpe					
	0	Automatische Zweipunktregelung	x			
	1	Automatische Zweipunktregelung und geplante Ladefreigabe	x	x		
	2	Automatische Zweipunktregelung, geplante Ladefreigabe und Multisensor-Speichermanagement	x	x	x	x
Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?					Nein	
Diese Automationsfunktion ist für die weiteren Betrachtungen irrelevant, da sie ausschließlich auf den Elektroenergieverbrauch der elektrischer Direktheizung oder integrierter elektrischer Wärmepumpen abzielt.						

		GA-Effizienzklasse				
		D	C	B	A	
2.2	Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers durch Warmwassererzeugung					
	0	Automatische Zweipunktregelung	x			
	1	Automatische Zweipunktregelung und geplante Ladefreigabe	x	x		
	2	Automatische Ein/Aus-Regelung, geplante Ladefreigabe und bedarfsabhängige Regelung der Vorlauftemperatur oder Multisensor-Speichermanagement	x	x	x	x

Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?	Ja
<p>In Trinkwarmwassersystemen mit zentraler Trinkwassererwärmung und Trinkwarmwasserspeicherung haben die Speicherverluste neben den Zirkulationsverlusten einen nicht unerheblichen Anteil an den gesamten Wärmeverlusten des Trinkwarmwassersystems. Die mithilfe einer intelligenten Regelung der Speicherbeladung optimierten Beladezyklen, Beladeleistungen und Beladetemperaturen können dazu beitragen, den Energieaufwand auf der Wärmeerzeugerseite zu minimieren.</p>	

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
2.3	Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers mit Sonnenkollektor und ergänzendem Wärmeerzeuger				
0	Manuelle Regelung	x			
1	Automatische Regelung der Speicherbeladung mittels Sonnenenergie (Prio. 1) und der ergänzenden Speicherbeladung (Prio. 2)	x	x		
2	Automatische Regelung der Speicherbeladung mittels Sonnenenergie (Prio. 1) und der ergänzenden Speicherbeladung (Prio. 2) sowie der bedarfsabhängigen Vorlauftemperatur oder des Multisensor-Speichermanagements	x	x	x	x

Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?	Ja
<p>In Trinkwarmwassersystemen mit solar unterstützter Trinkwassererwärmung erfolgt in der Regel auch eine zentrale Trinkwarmwasserbevorratung. Eine vollständige solarbasierte Trinkwarmwasserversorgung ist aber oft nur in den Sommermonaten möglich, während der restlichen Zeit und bei nicht ausreichendem Solarstrahlungsangebot ist die Zuheizung z.B. über einen fossil versorgten konventionellen Wärmeerzeuger erforderlich. Mit Hilfe der Automationsfunktion soll der vom Zusatzheizer abgeforderte Energieaufwand reduziert werden. In der Klasse C wird dies standardmäßig dadurch sichergestellt, dass die Nutzung der Solarthermie Vorrang besitzt. Darüber hinaus soll durch den Funktionstyp 2.3.2 die Nachladung nur im Bedarfsfall erfolgen. Die intelligente Regelung kann damit dazu beitragen, den Energieaufwand auf der Wärmeerzeugerseite zu minimieren.</p>	

		GA-Effizienzklasse			
		D	C	B	A
2.4	Regelung der Trinkwarmwasser-Zirkulationspumpe				
0	keine Regelung, Dauerbetrieb	x			
1	mit Zeitprogramm	x	x	x	x

Relevant für bestehende, mit fossilen Energieträgern versorgte Wohnbauten?	Ja
<p>Auch wenn die Funktion auf die elektrisch betriebene Zirkulationspumpe abzielt und damit vermeintlich die fossilen Energieträger nicht berührt, ist zu bedenken, dass neben den Wärmespeicherverlusten die Wärmeverluste der Zirkulationsleitungen entscheidend für die schlechten Wirkungsgrade der zentralen Trinkwarmwassersysteme ist. Der in Wohngebäuden unter bestimmten Voraussetzungen (keine Großanlagen) erlaubte zeitlich eingeschränkte Betrieb der Zirkulationspumpe lässt somit auch Einsparungen thermischer Energie und damit fossiler Energieträger erwarten.</p>	

Fazit: Es bleiben für die Bewertung der Gebäudeautomation für fossil betriebene Trinkwassererwärmungsanlagen in Wohngebäuden die folgenden Funktionen relevant:

- 2.2 Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers durch Warmwassererzeugung
- 2.3 Regelung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers mit Sonnenkollektor und ergänzendem Wärmeerzeuger
- 2.4 Regelung der Trinkwarmwasser-Zirkulationspumpe

Dabei ist zu beachten, dass die GA-Funktionen 2.2 und 2.3 nur alternativ, also nicht beide gleichzeitig in einem Gebäude anwendbar sind.

3. Bestimmung fixe Einsparungen

3.1. Effizienzfaktoren EN 15232

Im vereinfachten Berechnungsverfahren der EN 15232 sind sogenannte GA-Effizienzfaktoren angegeben, mit denen der Beitrag der Automationsfunktionen zu einem energiesparenden Anlagenbetrieb abgeschätzt werden kann. Die hier interessierenden Faktoren für den Heizbetrieb (**Raumheizung**) sind in Tabelle 10 und die Faktoren für die **Trinkwassererwärmung** in Tabelle 12 der Norm EN 15232 angegeben. Die Faktoren beziehen sich immer auf die Referenzklasse C. Dieser Klasse ist daher der Faktor 1 zugewiesen.

Tabelle 10 – Detaillierte GA-Effizienzfaktoren, $f_{BACS,H}$, $f_{BACS,C}$ –Wohngebäude

Gebäude vom Typ Wohngebäude	Detaillierte GA-Effizienzfaktoren, $f_{BACS,H,C}$							
	D		C (Referenz)		B		A	
	Nicht energieeffizient		Standard		Erhöht		Hohe Energieeffizienz	
	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$	$f_{BACS,H}$	$f_{BACS,C}$
Einfamilienhäuser Wohnblöcke Sonstige Wohngebäude oder ähnliche Wohngebäude	1,09	-	1	-	0,88	-	0,81	-

Tabelle 12 – Detaillierte GA-Effizienzfaktoren, $f_{BACS,DHW}$ –Wohngebäude

Gebäude vom Typ Wohngebäude	Detaillierte GA-Effizienzfaktoren, $f_{BACS,DHW}$			
	D	C (Referenz)	B	A
	Nicht energieeffizient	Standard	Erhöht	Hohe Energieeffizienz
	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$	$f_{BACS,DHW}$
Einfamilienhäuser Wohnblöcke Sonstige Wohngebäude oder ähnliche Wohngebäude	1,11	1,00	0,90	0,80

Diese in der Norm EN 15232 veröffentlichten Effizienzfaktoren dienen für «eine erste Abschätzung der Auswirkung diese Funktionen auf typische Gebäude». Das ausführliche normative Verfahren zur Bestimmung der Auswirkungen ist noch nicht in vollem Umfang verfügbar und kann daher nur für einzelne Teilbilanzierungen eingesetzt werden. Aus diesem Grund wurden die Effizienzfaktoren zum Zeitpunkt der Erstellung der EN 15232 mit Hilfe von Simulationsläufen am Beispiel eines Typraumes berechnet. Die für unterschiedliche Nichtwohngebäudetypen in diesen Simulationsläufen angesetzten Randbedingungen, wie etwa:

- Betriebszeiten Heizung (Heizstundenzahl)
- Nutzungsprofile (Abwesenheiten)
- Temperatursollwerte
- Masse und U-Werte

sind im Anhang C (FprEN 15232-1:2016) bzw. Anhang B (DIN EN 15232:2012) beschrieben. Explizite Hinweise zur Bestimmung der Effizienzfaktoren für Wohngebäude finden sich nicht, so dass davon auszugehen ist, dass vor allem die in Tabelle A.3 (DIN EN 15232:2012) aufgeführten Veränderungen der Raum-Solltemperaturen sowie der Betriebszeiten für die Berechnung der GA-Effizienzfaktoren genutzt worden sind.

Tabelle A.3 — Eingangsdaten

	Ohne Funktionen des GA-Systems und des TGM Klasse C	Mit GA-Funktionen Klasse B	Mit GA- und TGM-Funktionen Klasse A
Sollwert für das Heizen	1 K hinzufügen	0,5 K hinzufügen	keine Korrektur
Sollwert für das Kühlen	1 K abziehen	0,5 K abziehen	keine Korrektur
Betriebszeit	2 Stunden je Tag hinzufügen	1 Stunde je Tag hinzufügen	keine Korrektur

Im Endeffekt lässt sich festhalten, dass die Anwendung der GA-Effizienzfaktoren im Kontext der EN 15232 immer nur bezogen auf die gesamte Raumheizungsanlage bzw. Trinkwarmwasserversorgungsanlage erfolgen kann und nicht auf einzelne ausgewählte Funktionen bezogen werden darf. Dies war kein Anliegen des vereinfachten faktorbasierten Rechenverfahrens in der EN 15232. Werden jedoch unterschiedliche Nutzungsbereiche eines Gebäudes über separate und weitgehend unabhängig voneinander betriebene Heizungssysteme versorgt, kann der Gesamtwärmeverbrauch eines Gebäudes in geeigneter Weise (z.B. flächen- oder volumenanteilig) gesplittet und getrennt mit unterschiedlichen Faktoren gemäß der in den Anlagenteilen umgesetzten Automationsklassen bewertet werden.

Die Norm EN 15232 sieht aber vor, dass Maßnahmen getrennt für die Kategorien Heizung als auch für Warmwasser durchgeführt werden können, um eine Steigerung der GA-Klassifikationen zu erreichen. Wenn nun in Wohngebäuden nur der gesamte Wärmeverbrauch bekannt ist (bzw. genauer gesagt der Endenergieverbrauch in Form von Gas, Öl oder anderen fossilen Energieträger) und nur für eine der beiden Kategorien Raumheizung oder Trinkwassererwärmung regelungstechnische Maßnahmen umgesetzt werden, muss der gesamte Wärmeverbrauch resp. Energieträgerverbrauch aufgeteilt werden, um die Wirkung zu bestimmen. Dieser Schritt ist mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Die Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs in die Anteile Raumheizung und Trinkwassererwärmung kann mit Hilfe

bekannter Näherungsverfahren erfolgen. In der Heizkostenverordnung findet sich dazu die auf dem verbrauchten Warmwasservolumen und der Warmwassertemperatur fußende Gleichung:

$$Q = 2,5 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \cdot V \cdot (t_w - 10 \text{ }^\circ\text{C})$$

Diese Abschätzung berücksichtigt allerdings bereits einen Nutzungsgrad der Trinkwassererwärmung

von lediglich 46%:

$$\frac{980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}}{2,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3\text{K}}} = 46\%$$

und müsste daher je nach Anlagenkonfiguration angepasst werden.

Für den Fall, dass nur einzelne Automationsfunktionen verändert werden, sind die Effizienzfaktoren der EN 15232 nicht aussagekräftig. Die abgeschätzte Einsparung dürfte aufgrund der Teilwirkung kleiner ausfallen. Die vom Auftraggeber beabsichtigte Abschätzung der Effekte von Einzelmaßnahmen erfordert daher die Kenntnis von Teil-GA-Effizienzfaktoren. Diese sollen nachfolgend durch das Desaggregieren der vorhandenen und oben beschriebenen GA-Effizienzfaktoren hergeleitet werden.

3.2. Teil-GA-Effizienzfaktoren

Das Desaggregieren der GA-Faktoren aus der Norm EN 15232 ist mit Unsicherheiten behaftet, die aus der Überlagerung mehrerer Funktionen resultieren, da die Wirkungen und Einzeleffekte der Funktionen nicht einfach aufaddiert werden können. Es ist damit auch klar, dass die Umsetzung einer Einzelfunktion nicht dazu führt, dass sich die GA-Klasse der Heizungsanlage- bzw. des Trinkwassererwärmungssystems ändert. Im Rahmen regelungstechnischer Maßnahmen an Wohngebäuden können neben Einzelfunktionen auch mehrere Funktionen gleichzeitig geändert werden, so dass sich die GA-Klasse von mehreren Automationsfunktionen verbessert. Bei allen folgenden Betrachtungen wird die GA-Klasse C weiterhin als Referenz angenommen.

Das Vorgehen zur Bestimmung der Einsparungen werden im Folgenden nachvollziehbar und transparent beschrieben. Da es aus heutiger Sicht nicht möglich ist, mit ebendem in der Norm 15232 beschriebenen Testraum, Teil-GA-Effizienzfaktoren unter Zuhilfenahme der damaligen Simulationsumgebung und vergleichbaren Randbedingungen zu ermitteln, kann die gewählte Vorgehensweise nur ein Versuch sein, die Gesamtfaktoren auf Einzelfunktionen herunter zu brechen. Die verwendeten Quellen, Annahmen und Unsicherheiten sind ersichtlich. Die Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die in Kapitel 2 ermittelten relevanten Gebäudeautomationsfunktionen. Es werden die durch den Wechsel von GA-Klasse C auf GA-Klasse A erreichten Einsparungen ermittelt. Die Werte der Teil-GA-Effizienzfaktoren für die GA-Effizienzklasse B werden durch Interpolation ermittelt, wobei das aus dem Gesamt-GA-Effizienzfaktor vorgegebene Verhältnis mangels genauerer Einsicht auf alle Teil-GA-Effizienzfaktoren übertragen wird, so dass gilt:

- Für den Raumheizbetrieb: der Einspareffekt des Wechsels von GA-Effizienzklasse C auf B entspricht $\frac{1-0,88}{1-0,81} = 63,2\%$ der maximalen Einsparungen des Wechsels von GA-Effizienzklasse C auf Klasse A.
- Für die Trinkwassererwärmung: der Einspareffekt des Wechsels von GA-Effizienzklasse C auf B entspricht $\frac{1-0,90}{1-0,80} = 50\%$ der maximalen Einsparungen des Wechsels von GA-Effizienzklasse C auf Klasse A.

3.3. Heizbetrieb

3.3.1. Wärmeübergabe

Die Funktionen 1.1 und 1.2 bewerten die Regelfunktionen bei der Wärmeübergabe. Die normative Bewertung im Rahmen der EPBD erfolgt mit Hilfe der Norm EN 15316-2 (2014) bzw. EN 15316-2-1 (2007). Die infolge der geänderten Wärmeübergabe zu erwartenden indirekten Auswirkungen auf die vorgelagerten Prozessschritte der Wärmeverteilung und Wärmeerzeugung werden hier der Einfachheit halber vernachlässigt.

Einer der beiden in EN 15316-2-1 (2007) enthaltenen Ansätze basiert auf der Berechnung eines Wärmeübergabewirkungsgrades η_{em} . Dieser berechnet sich aus den drei Teilwirkungsgraden für die vertikale Lufttemperaturschichtung, die Raumtemperaturregelung und spezielle Verluste wie folgt:

$$\eta_{em} = \frac{1}{(4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb}))}$$

Der hier interessierende Teilwirkungsgrad für die Raumtemperaturregelung η_{ctr} berücksichtigt vor allem die Regelgüte der eingesetzten Raumtemperaturregler in Kombination mit Heizkörpern und nimmt Werte zwischen 0,93 (Thermostatventil) und 0,99 (PI-Regler mit Optimierungsfunktion) an. Bei Flächenheizsystemen sind Werte zwischen 0,78 (zentraler Vorlauftemperaturregelung) und 0,95 (PI-Regler) ausgewiesen.

Für die beiden Konfiguration Heizkörper und Flächenheizung lassen sich folgende Gesamtwirkungsgrade für die Wärmeübergabe berechnen:

Heizkörper (Automationsfunktion 1.1):

Teilwirkungsgrad für vertikale Lufttemperaturschichtung: $\eta_{str}=0,95$ (Übertemperatur 30 K)

Teilwirkungsgrad für spezielle Verluste: $\eta_{emb}=1$

Teilwirkungsgrad für Raumtemperaturregelung: $\eta_{ctr}=0,93 \dots 0,99$

Gesamtwirkungsgrad für Wärmeübergabe: $\eta_{em}=0,893 \dots 0,943$

Bezogen auf den kleineren Wert, der der Referenzausstattung nach Klasse C entspricht, ergibt das mit o.a. Gleichung eine relative Einsparung von etwa 5,3% in der höchsten Effizienzklasse.

Flächenheizung (Automationsfunktion 1.2):

Teilwirkungsgrad für vertikale Lufttemperaturschichtung: $\eta_{str}=1$ (Fußbodenheizung)

Teilwirkungsgrad für spezielle Verluste: $\eta_{emb}=0,94$ (Nasssystem mit Mindestwärmeschutz)

Teilwirkungsgrad für Raumtemperaturregelung: $\eta_{ctr}=0,78 \dots 0,95$

Gesamtwirkungsgrad für Wärmeübergabe: $\eta_{em}=0,781 \dots 0,901$

Bezogen auf den kleineren Wert, der der Referenzausstattung nach Klasse C entspricht, ergibt das eine relative Einsparung von etwa 13,3% in der höchsten Effizienzklasse.

Es ist zu erkennen, dass es unterschiedliche Einspareffekte für beide Regelfunktionen und damit auch deutliche Unterschiede der Teil-Effizienzfaktoren der GA-Funktion 1.1 und der GA-Funktion 1.2 gibt. Die gesamte relative Einsparung im Raumheizbetrieb für Wohngebäude beim Wechsel von GA-Effizienzklasse C auf Klasse A nach Tabelle 10 beträgt 19%.

Alternativ ließe sich über den ebenfalls in der Norm beschriebenen Bewertungsansatz der äquivalenten Temperaturdifferenz eine Aussage zur Wirksamkeit der Regelung der Wärmeübergabe ableiten. Dieser Ansatz wird zukünftig bevorzugt verwendet und ist auch in EN 15316-2 (2014) zu finden. Hier wird er zur Abschätzung der Teil-GA-Effizienzfaktoren lediglich genutzt, um die aufgrund von Raumtemperaturregelung und Raumautomation zu erwartenden Differenzen in der Bilanz-Innenraumtemperatur zu erfassen. Diese werden hinsichtlich ihrer Wirkung auf das mittlere Heizlastverhältnis φ umgerechnet, um so Einspareffekte durch eine intelligentere Regelung zu erfassen. Das Heizlastverhältnis φ setzt die Temperaturdifferenz zwischen Gebäudeinnentemperatur J_i und der Außenlufttemperatur $J_{a,m}$ bei mittlerer Last und Nennlast $J_{a,N}$ ins Verhältnis.

$$j = \frac{J_i + DJ - J_{a,m}}{J_i + DJ - J_{a,N}}$$

Dies erfolgt unter den Annahmen: Raumtemperatur $J_i = 21^\circ\text{C}$, Nenn-Außentemperatur $J_{a,N} = -14^\circ\text{C}$, mittlere Außentemperatur während der Heizperiode $J_{a,m} = 5^\circ\text{C}$. Damit ergeben sich die folgenden Werte:

Heizkörper (Automationsfunktion 1.1):

Eigenständige Regelung mit P-Regler:

$$DJ = 1,4\text{K} - 0,5\text{K} = 0,9\text{K} \text{ (Klasse C)}$$

Optimierte Regelung mit kommunikationsfähigem PI-Regler:

$$DJ = 0,9\text{K} - 1,5\text{K} = -0,6\text{K} \text{ (Klasse A)}$$

Mittleres Heizlastverhältnis $\varphi=0,49 \dots 0,46$

Bezogen auf den kleineren Wert, der der Referenzausstattung nach Klasse C entspricht, ergibt das eine relative Einsparung von etwa 6,2% in der höchsten Effizienzklasse.

Flächenheizung (Automationsfunktion 1.2):

Eigenständige Regelung mit P-Regler:

$$DJ = 2\text{K} - 0,5\text{K} = 1,5\text{K} \text{ (Klasse C)}$$

Optimierte Regelung mit kommunikationsfähigem mit P-Regler:

$$DJ = 0,9\text{K} - 1,2\text{K} = -0,3\text{K} \text{ (Klasse A)}$$

Mittleres Heizlastverhältnis $\varphi=0,507 \dots 0,464$

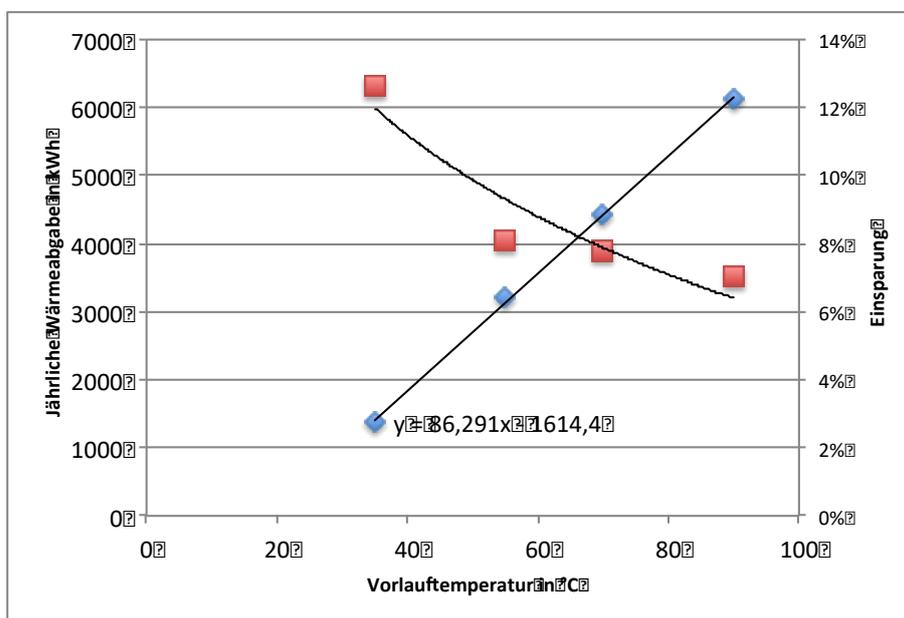
Bezogen auf den kleineren Wert, der der Referenzausstattung nach Klasse C entspricht, ergibt das eine relative Einsparung von etwa 8,4% in der höchsten Effizienzklasse.

Als Durchschnittswert aus beiden Ansätzen lassen sich folgende Teil-GA-Effizienzfaktoren für die Wärmeübergabe in der Raumheizung definieren:

- Heizkörper (Automationsfunktion 1.1): $0,5 \cdot (5,3\% + 6,3\%) = 5,8\%$
→ **Teil-GA-Effizienzfaktor=0,94**
- Flächenheizung (Automationsfunktion 1.2): $0,5 \cdot (8,4\% + 13,3\%) = 10,8\%$
→ **Teil-GA-Effizienzfaktor=0,89**

3.3.2. Wärmeverteilung

Die Automationsfunktion 1.3 bewertet die Regelung der Warmwassertemperatur im Verteilungsnetz (Vor- oder Rücklauf). Der Einfluss dieser einzelnen Funktion wird mit Hilfe der in der Norm DIN EN 15316-2-3 (2007) bestimmt. Im Anhang A.4.2 ist eine Tabelle enthalten mit Werten der jährlichen Wärmeabgabe bei verschiedenen Auslegungstemperaturen. Für ein Gebäude mit einer beheizten Fläche von 200m² ist der Zusammenhang nachfolgend grafisch dargestellt.



Unter der Annahme, dass sich bei Anwendung der Automationsfunktion die Vorlauftemperaturen im Betrieb des Gebäudes im Mittel um bis zu 5 K bei den hohen Vorlauftemperaturen und um bis zu 2 K bei den niedrigen Vorlauftemperaturen absenken lassen, ergeben sich die auf der rechten Achse angegebenen Einsparungen in Bezug auf die Wärmeabgabe der Rohrleitungen. Für die folgenden Abschätzungen soll mit einem Wert von 10% weitergerechnet werden. Wenn weiter davon ausgegangen wird, dass die nicht anrechenbare Rohrwärmeabgabe (das ist die Rohrwärme, die zu einer ungewollten Temperaturerhöhung im Gebäude und damit zu einer Überheizung führt bzw. in unbeheizten Räumen außerhalb der thermischen Hülle abgegeben wird) etwa 10% des Jahresheizwärmeverbrauchs darstellt, bleiben bezogen auf diesen Jahresheizwärmeverbrauch etwa 1% Einsparungen bezogen auf den Jahreswärmeverbrauch. Die infolge einer gegenüber der witterungsgeführten Vorlauftemperatur (Klasse C) unter Berücksichtigung der Bedarfsanforderungen reduzierten Vorlauftemperatur (Klasse A) resultierenden Effekte am Wärmeerzeuger sind deutlich größer als die hier ausgewiesenen Wirkungen bezogen auf die Wärmeverteilung. Erfahrungen zeigen, dass durch regelungstechnische Maßnahmen der Klasse A Einsparungen von etwa 6% erzielt werden können; jedoch gelten hier die zur Automationsfunktion 1.6 in Kapitel 2.1 geäußerten Feststellungen. **Der Teil-GA-Effizienzfaktor beträgt damit 0,99.**

3.3.3. Intermittierender Betrieb

Mit dieser GA-Funktion 1.5 wird das teilweise Ausschalten der Wärmeverteilungssysteme und/oder Wärmeübergabeeinrichtungen bei intermittierendem Betrieb abgebildet. Die damit zu realisierenden Einsparungen bezogen auf den Heizwärmeverbrauch wurden beispielsweise in [DissFelsmann] untersucht. Intermittierender Anlagenbetrieb ist nur möglich, wenn die notwendigen Leistungsreserven dafür bei der Auslegung vorgesehen werden (siehe hierzu auch die Hinweise zu den Aufheizzuschlägen bei der Heizlastbestimmung in DIN EN 12831). Im Teillastfall ist aufgrund der reduzierten Lastanforderungen immer davon auszugehen, dass diese Leistungsreserven per se auch vorhanden sind. Die folgende Abbildung 5.4. zeigt beispielhaft die Auswirkungen des intermittierenden Heizens in Abhängigkeit von der Anlagenleistung. Hierbei handelt es sich aber um quasistationäre Zustände. Bei Berücksichtigung eines Außenluftwechsels I steigen die relativen Einsparungen deutlich an und betragen bei einer Außentemperatur von 5°C etwa 10%. Die zugrundeliegende Annahme geht immer davon aus, dass in der Nutzungszeit im Vergleich zum durchgehenden Heizbetrieb ähnliche Behaglichkeitszustände herrschen und die Anheizzeit damit vorgelagert zur Raumnutzung erfolgt. Energetische Einsparungen durch Behaglichkeitseinbußen werden nicht berücksichtigt.

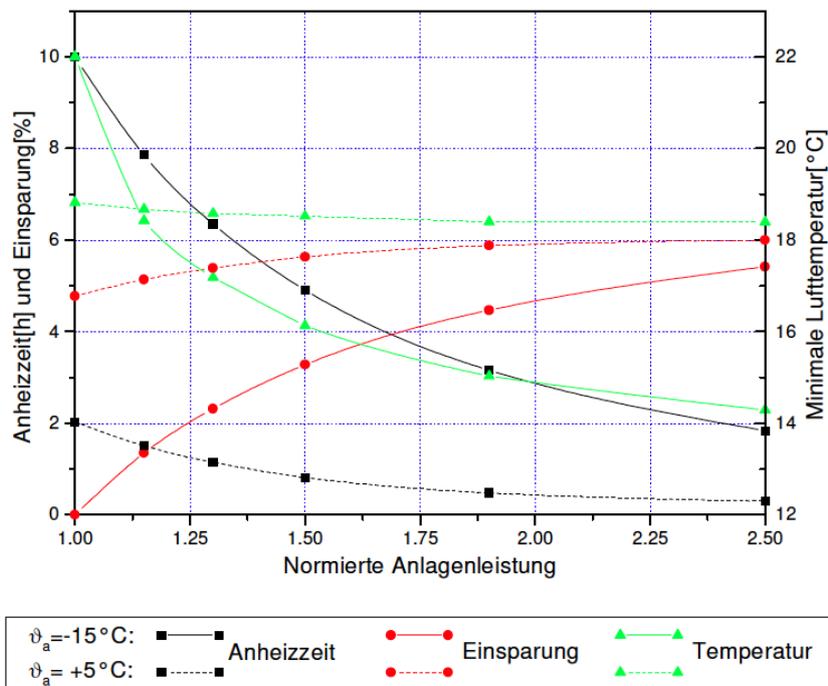


Bild 5.4: Kenngrößen des intermittierenden Heizens; NEH, leichte Bauweise; Regelgröße Lufttemperatur, $\lambda = 0 \text{ h}^{-1}$

In der Tabelle 5.3 sind die erzielbaren Heizenergieeinsparungen für unterschiedliche Betriebsweisen des intermittierenden Betriebs aufgeführt. Je nachdem, welche Regelgröße gewählt wird (Lufttemperatur oder Empfindungstemperatur) ergeben sich andere Einsparungen. Für die Anwendung in Wohngebäuden dürfte bevorzugt die Betriebsart 1 zur Anwendung kommen. Auf dieser Grundlage werden die mittleren Einsparungen durch intermittierenden Betrieb auf etwa 7% geschätzt. **Der Teil-GA-Effizienzfaktor beträgt damit 0,93.**

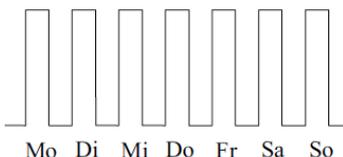
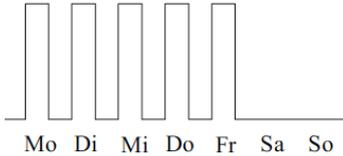
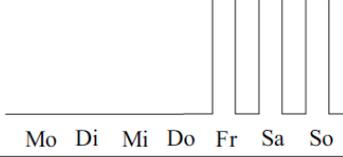
Betriebsarten	Sollwertverlauf	Heizenergieeinsparungen Steuergröße: ϑ_L ϑ_E		
Betriebsart 1 Nutzung täglich		NEH,schwer	6.8 %	5.0 %
		NEH,leicht	9.5 %	8.6 %
		Altbau	10.2 %	7.2 %
Betriebsart 2 Nutzung Mo-Fr		NEH,schwer	12.0 %	8.8 %
		NEH,leicht	18.1 %	17.3 %
		Altbau	17.3 %	12.7 %
Betriebsart 3 Nutzung Fr-So		NEH,schwer	19.5 %	15.3 %
		NEH,leicht	27.4 %	26.8 %
		Altbau	25.9 %	21.3 %

Tabelle 5.3: Darstellung der untersuchten Betriebsarten bei unterbrochenem Heizbetrieb. (Einsparungen für Heizperiode bei $\lambda = 0.5 \text{ h}^{-1}$; minimaler Anheizfaktor $\zeta_L = 1.3$)

3.4. Trinkwassererwärmung

Aussagen zum Nutzungsgrad und damit der energetischen Effizienz der hier relevanten zentralen Trinkwarmwassersystem mit Speicher und Zirkulation enthält beispielsweise DIN EN 12831. Anhand der dort aufgeführten Werte sollend die Teil-GA-Effizienzfaktoren für die Automationsfunktionen 2.2, 2.3 und 2.4 abgeleitet werden.

Tabelle 4 — Nutzungsgradbandbreiten für Anlagen der Trinkwassererwärmung

Art der Trinkwarmwasseranlage	Nutzungsgrad $\eta_{w,a}$		
	ohne Zirkulation	mit Zirkulation	
Gebäudezentrale Trinkwassererwärmung	0,5 bis 0,7	EFH ^a	MFH ^b
		0,2 bis 0,4	0,3 bis 0,6
Gruppentrinkwassererwärmung (wohnungszentral)	0,7 bis 0,85		
Einzeltrinkwassererwärmung (wohnungszentral)	0,8 bis 0,95		
^a Einfamilienhaus ^b Mehrfamilienhaus			

3.4.1. Trinkwarmwasserspeicherung

Es sollen unter Beachtung der Ausführungen in Kapitel 2.2 zweckmäßigerweise die beiden Funktionen 2.2 und 2.3 identisch behandelt werden. Die für die Bewertung relevanten Nutzungsgrad- und Effizienzverbesserungspotenziale ergeben sich aus dem Vergleich der o.g. Werte für die gebäudezentrale Trinkwassererwärmung ohne Zirkulation (d.h. thermische Verluste werden maßgeblich verursacht durch den zentralen Trinkwarmwasserspeicher) und die wohnungszentrale Gruppentrinkwassererwärmung (die i. d. R. im Durchflusprinzip und damit ohne Wärmespeicher betrieben wird). Die Nutzungsgradverbesserungen liegen damit im Bereich von 15 bis 20%. In Ergänzung dazu lässt sich abschätzen, dass mit Bezug auf die im Anhang der EN 15232 angegebenen Temperaturänderungen im Trinkwarmwasserspeicher von 47°C (Klasse C) auf 45°C (Klasse A) eine nur kleine Temperaturänderung von 2K zu bilanzieren wäre.

Tabelle B.8 — Mittlere Temperatur des Trinkwarmwasserspeichers für die einzelnen GA-Effizienzklassen

GA-Klasse	D	C	B	A
Speichertemperatur	48 °C	47 °C	46 °C	45 °C

Bei einer Umgebungstemperatur des Aufstellraumes von 20°C führt dies näherungsweise zu einer Minderung der Wärmeverluste von $\frac{45^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{47^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}} = 92,6\%$, d.h. Einsparungen von etwa 7,4%. Aus den

beiden nun bekannten Werten soll ein mittlerer Einspareffekt von 10% angenommen werden. **Der Teil-GA-Effizienzfaktor für die Funktionen 2.2 und 2.3 beträgt damit jeweils 0,9.**

3.4.2. Zirkulation

Der Teil-GA-Effizienzfaktor kann aus dem Vergleich der gebäudezentralen Trinkwarmwassersysteme mit und ohne Zirkulation begründet werden. Mit den o.g. Werten sind durch den Verzicht auf Zirkulation Nutzungsgradverbesserungen von 30% im EFH und 10-20% im MFH zu erreichen. Wenn nun angenommen wird, dass die zeitweise Abschaltung der Zirkulation auf einen Zeitraum von täglich maximal 8 Stunden beschränkt ist, führt dies zu einer deutlichen Minderung des potenziellen Einsparpotenzials um $1 - \frac{8}{24} = 66\%$. Es verbleiben damit noch maximal 10% Verbesserungen des Nutzungsgrades.

Der Teil-GA-Effizienzfaktor für die Funktion 2.4 beträgt damit 0,9.

3.5. Zusammenfassung Teil-GA-Effizienzfaktoren

Die folgende Tabelle stellt die zuvor hergeleiteten und berechneten Teil-GA-Effizienzfaktoren in einer Gesamtübersicht dar.

Tabelle 1: Desaggregieren der Effizienzfaktoren gemäss EN 15232

Funktionsausführung	GA-Klasse C	GA-Klasse B	GA-Klasse A
GA-Funktion			
Heizbetriebs	1	0.88	0.81
1.1	1	0,96	0,94
1.2	1	0,93	0,89
1.3	1		0,99
1.5	1	0,96	0,93
Trinkwassererwärmung	1	0.90	0.80
2.2	1		0,90
2.3	1		0,90
2.4	1	0,94	0,90

Die GA-Automationsfunktionen 1.3, 2.2. und 2.3 enthalten in der Norm EN 15232 keine Klasse B. Es werden daher auch hier keine dem entsprechenden Teil-GA-Effizienzfaktoren ausgewiesen.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Wirkungen der einzelnen GA-Automationsfunktionen betrachtet. Es sind jedoch auch beliebige Kombinationen der Funktionen denkbar. Bei der Bewertung der kombinierten Effekte ist zu beachten:

- GA-Funktion 1.1 und 1.5 sind über die Klasse C hinaus nicht kombinierbar. Die in den Klassen B und A der beiden Funktionen beschriebenen Wirkung sind ähnlich. Dies zeigt sich auch an den in der Tabelle ausgewiesenen Werten. Geringe Unterschiede in der Klasse A (0,94 bzw. 0,93) sind den Unsicherheiten der Abschätzungen geschuldet.
- Die GA-Funktionen 1.2 und 1.5 sind grundsätzlich miteinander kombinierbar. Allerdings dürfte die resultierende energetische Wirkung aufgrund der Trägheit der Systeme entweder deutlich kleiner ausfallen oder mit Behaglichkeitseinbußen einhergehen. Erfahrungen zeigen, dass das intermittierende Heizen der GA-Funktion 1.5 nur eingeschränkt auf die bauteilintegrierten Wärmeübergabesysteme anzuwenden ist, sondern vielmehr ein moderater durchgehender Betrieb empfohlen wird. Schlussfolgernd wird angeraten, bei der Kombination der Funktionen 1.2 und 1.5 die für die Funktion 1.2 ausgewiesenen Teil-GA-Effizienzfaktoren beizubehalten.
- Die GA-Funktionen 2.2 und 2.3 lassen sich nicht miteinander kombinieren, da sie für unterschiedliche technische Systeme anzuwenden sind (fossiler Wärmeerzeuger ohne bzw. mit solarer Unterstützung).
- Die GA-Funktion 2.4. kann in der GA-Effizienzklasse A näherungsweise beliebig mit einer der beiden Funktionen 2.2 oder 2.3 kombiniert werden. Die resultierende Einsparung ergibt sich durch die multiplikative Verknüpfung der beiden Teil-GA-Effizienzfaktoren: $0,9 \times 0,9 = 0,81$. Dies entspricht in etwa der ausgewiesenen Gesamteinsparung.

- Die GA-Funktionen des Heizbetriebes und die Funktionen der Trinkwassererwärmung sind weitestgehend unabhängig voneinander. Es bestehen im konkreten Anlagenbetrieb keine Überlappungen, so dass die Einspareffekte auf die den beiden Bereichen jeweils zugeordneten Wärme- und Energieverbräuchen angewendet werden können.

3.6. Referenzen

"Verordnung über Heizkostenabrechnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Oktober 2009 (BGBl. I S. 3250)"

DIN EN 15232: Energieeffizienz von Gebäuden – Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement; Deutsche Fassung EN 15232:2012; September 2012

DIN EN 15232-1: Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement – Module M10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10; Deutsche und Englische Fassung prEN 15232-1:2015; Januar 2016

DIN EN 15316-2-1: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 2-1: Wärmeübergabesysteme für die Raumheizung; Deutsche Fassung EN 15316-2-1:2007

DIN EN 15316-2: Heizungsanlagen und wasserbasierte Kühlanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 2: Wärmeübergabesysteme für die Raumheizung; Deutsche Fassung prEN 15316-2:2014

DIN EN 15316-2-3: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 2-3: Wärmeverteilungssysteme für die Raumheizung; Deutsche Fassung EN 15316-2-3:2007

[DissFelsmann] C. Felsmann: Ein Beitrag zur Optimierung der Betriebsweise heizungs- und raumlufttechnischer Anlagen; TU Dresden 2002

DIN EN 12831 Beiblatt 2: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Beiblatt 2: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Gebäude-Heizlast und der Wärmeerzeugerleistung; 2012