



## Analyse der steuerungssysteme bei der klimatisierung mit heizkörpern

## Einleitung

Unsere Gesellschaft steht derzeit bei der Energieversorgung vor großen Herausforderungen. Sie ergeben sich aus der Knappheit der natürlichen Ressourcen und der notwendigen Verringerung der Treibhausgasemissionen, um deren Auswirkungen auf das Weltklima zu begrenzen. Nach den in der Richtlinie 2012/27/EU [1] enthaltenen Berechnungen entfallen 40 % des Endenergieverbrauchs auf Gebäude und davon etwa 50 % auf Heizungs- und Klimaanlageanlagen. Kürzlich hat die Europäische Union über die REPowerEU-Initiative der Kommission [2] eingeräumt, dass Europa dringend ein neues Energiemodell benötigt, bei dem die Gasversorgung diversifiziert und eine schrittweise Abkehr von der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bis 2030 ermöglicht wird. Eine der Maßnahmen besteht darin, die Geschwindigkeit beim Einbau der jedes Jahr eingebauten Wärmepumpen zu verdoppeln (Ziel 10 Millionen Anlagen in den nächsten fünf Jahren) [3]. In der neuen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) wurde gerade vereinbart, dass Heizungsanlagen auf Grundlage fossiler Brennstoffe in der Europäischen Union bis 2040 auslaufen sollen [4]. In Anbetracht der Tatsache, dass die Wärmedämmung im derzeitigen Wohnungsbestand Europas unzureichend ist und die Gebäude überwiegend mit Heizkesseln und Hochtemperaturheizkörpern beheizt werden, ist eine umfassende Analyse der wirtschaftlichen und technischen Umsetzbarkeit der Einführung von Wärmepumpenanlagen in einer Reihe verschiedener Szenarien (Wärmedämmung, Klimazone usw.) erforderlich. Dabei spielt das Steuerungssystem eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung der Energieeffizienz und Sicherstellung der thermischen Behaglichkeit.

In Deutschland hat die Bundesregierung im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 eine Reihe von Hilfen zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien und zur Dekarbonisierung der Gebäude beschlossen. Die derzeitige „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ gilt nach dem Gebäudeenergiegesetz für alle Wohngebäude. Zum 1. Januar 2024 hat die Bundesregierung über den Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) die derzeitige Förderung für den Einbau einer Wärmepumpe auf einen Höchstwert von 21.000 € erhöht. Bisher wurden maximal 18.000 € für Erdwärmepumpen und bis zu 15.000 € für Luftwärmepumpen gewährt [5]. Mit diesen neuen Fördermitteln setzt Deutschland auf das Vorantreiben dieser neuen erneuerbaren Technologie für die Gebäudeklimatisierung.

Ziel der vorliegenden Studie ist es nun, die Bedeutung intelligenter Steuer- und Regelsysteme in wassergeführten Heizungsanlagen und ihren Beitrag zur Energieeffizienz eines Gebäudes zu analysieren. Zu diesem Zweck wird die Modellierung der von der Firma Airzone vorgeschlagenen Mehrzonen-Regelungsstrategien für hydronische Systeme mit der Software TRNSYS18 [6] vorgestellt. Ziel ist die Bewertung des Potenzials einer zonengebundenen Temperaturregelung in Wohngebäuden mit Wärmepumpenanlage und Hochtemperaturheizkörpern. Die Ergebnisse werden mit verschiedenen konventionellen Heizungsanlagen verglichen, vor allem mit der weit verbreiteten Kombination aus Gasheizkessel und Hochtemperaturheizkörpern. In der Studie wird der Einfluss der Art der Gebäudehülle, verschiedener Regelungsszenarien und der Klimazone untersucht. Zur Ermittlung der Ergebnisse werden die Energieeinsparung, die thermische Behaglichkeit und die Wirtschaftlichkeit der Systeme verglichen.

## Beschreibung der Klimatisierungs- und Regelszenarien

Im Anschluss erfolgt der Vergleich von zwei Anlagen mit Hochtemperaturheizkörpern und jeweils unterschiedlichen Erzeugungsgeräten: Heizkessel und Wärmepumpe. Zudem werden unterschiedliche Regelstrategien vorgestellt.

### 1| Konventionelle Anlage: Gasheizkessel und Hochtemperaturheizkörper (CALD)

Dabei handelt es sich um die häufigste Heizungsart im Altbestand. Das Warmwasser wird mit einer konstanten Temperatur erzeugt und die Heizkörper sind ungeregelt. Der konventionelle Gaskessel liefert Warmwasser mit einer konstanten Temperatur von 70 °C an die Heizkörper, die sich in den einzelnen Zonen des Hauses befinden. Es wird davon ausgegangen, dass der Ausgleich der Anlage mit den manuellen Ventilen bei Inbetriebnahme erfolgte. Das Ventil, das den Wasserdurchfluss zu den Heizkörpern regelt, ist jedoch ungesteuert. (Abbildung 1).

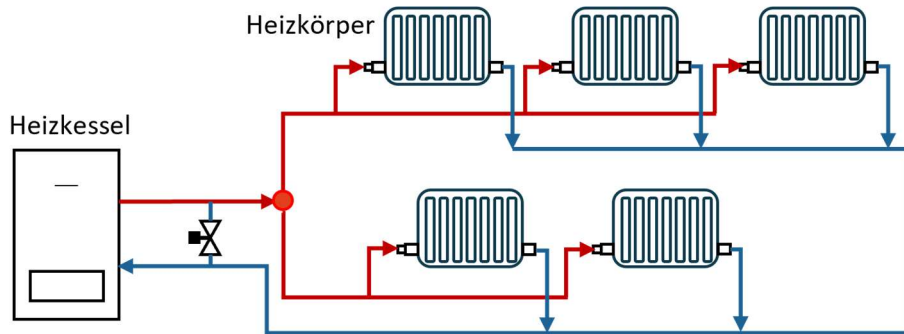


Abbildung 1. Konventionelle Anlage: Gasheizkessel und ungeregelte Hochtemperaturheizkörper.

### 2| Erneuerte Anlage, jedoch ohne Steuerung: Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP)

Als Sanierungsmaßnahme für die Heizungsanlage wird den Verbrauchern empfohlen, den Heizkessel durch eine Wärmepumpe zu ersetzen und die Heizkörper als Endgeräte zu belassen. In diesem Fall werden Hochtemperatur-Wärmepumpen eingesetzt, bei denen die Erzeugungstemperatur der Wärmepumpe auf einem Sollwert von 70 °C gehalten wird, der wiederum von der Heizkurve der Anlage abhängt, die den Sollwert nach der jeweiligen Außen- und Innentemperatur regelt, wie in Abbildung 2 dargestellt.

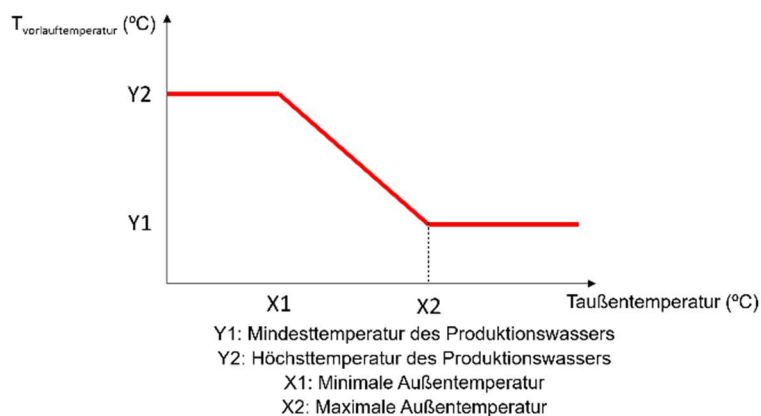


Abbildung 2. Regelkurve der Wärmepumpe. Bestimmung der Vorlauftemperatur je nach Außentemperatur.

Der Außentemperaturbereich hängt von der Klimazone ab, in der sich die Anlage befindet. Der Vorlauftemperaturbereich ist so geregelt, dass thermische Unbehaglichkeit durch Zugluft oder geringe Effizienz der Verteilungsnetze vermieden wird. In diesem Fall wurde beispielsweise für die drei untersuchten Städte eine minimale und maximale

Außentemperatur sowie eine minimale und maximale Vorlauftemperatur von 60 bzw. 80 °C festgelegt, damit die durchschnittliche Vorlauftemperatur bei etwa 70 °C liegt.

Die Steuerung der Endgeräte erfolgt ohne Mehrzonenregelung, da je nach der vom Thermostaten im Wohnbereich gemessenen Temperatur lediglich eine EIN/AUS-Ansteuerung der Umwälzpumpe erfolgt (Abbildung 3).

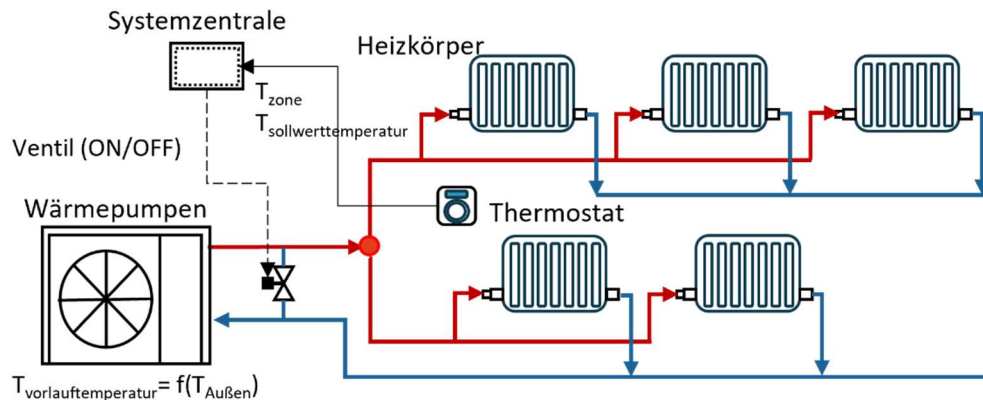


Abbildung 3. Erneuerte Anlage: Wärmepumpe und Hochtemperaturheizkörper ohne Zonenregelung

Abbildung 4 zeigt, wie die Pumpe eingeschaltet wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen der vom Fühler am Heizkörperkopf gemessenen Temperatur ( $T_z$ ) und der Solltemperatur ( $T_{set}$ ) 0,5 °C beträgt.

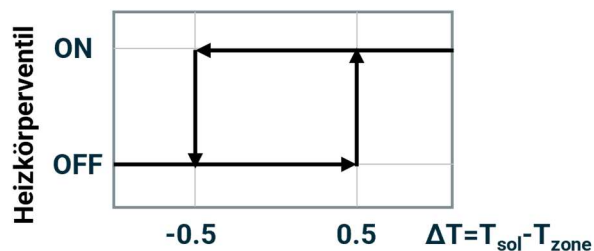


Abbildung 4. Ein/Aus-Steuerung des Ventils je nach Temperaturdifferenz zwischen dem Sollwert und der Temperatur der Leitzone.

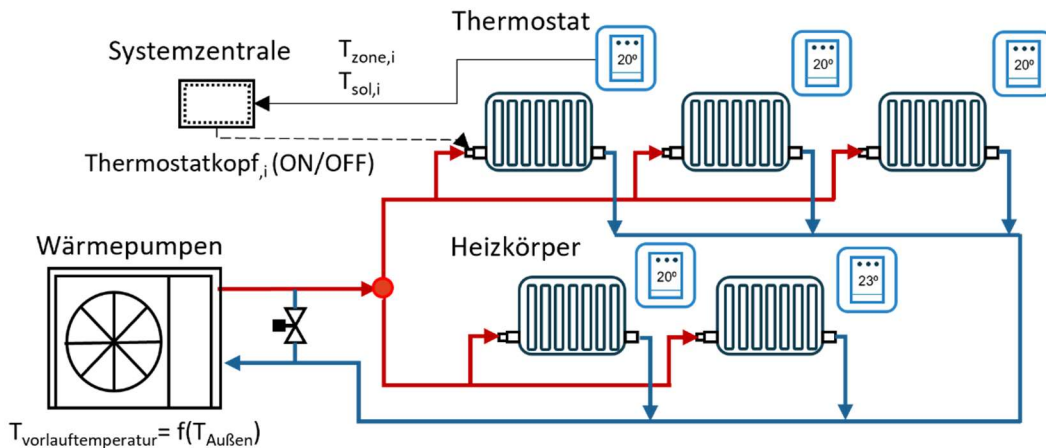
### 3| Erneuerte Anlage mit Airzone-Zonenregelung: Hochtemperatur-Wärmepumpe und Heizkörper (AIRZ)

In diesem Fall wird die Erzeugungstemperatur der Wärmepumpe wie im vorherigen Fall (Abbildung 2) unter Berücksichtigung der Außentemperatur geregelt.

Die Bedeutung und die Notwendigkeit, Heizungs- und Klimaanlage mit Steuerungssystemen als Unterscheidungsmerkmal zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden auszurüsten, wächst ständig. Die Norm ISO52120 [7] regelt den Betrieb von HLK-Steuerungen in Gebäuden und schreibt insbesondere die thermische Zonierung, d. h. die individuelle Regelung der Temperaturen in jeder Gebäudezone, als grundlegende Maßnahme vor, um die thermische Behaglichkeit und die Effizienz der Anlage zu gewährleisten.

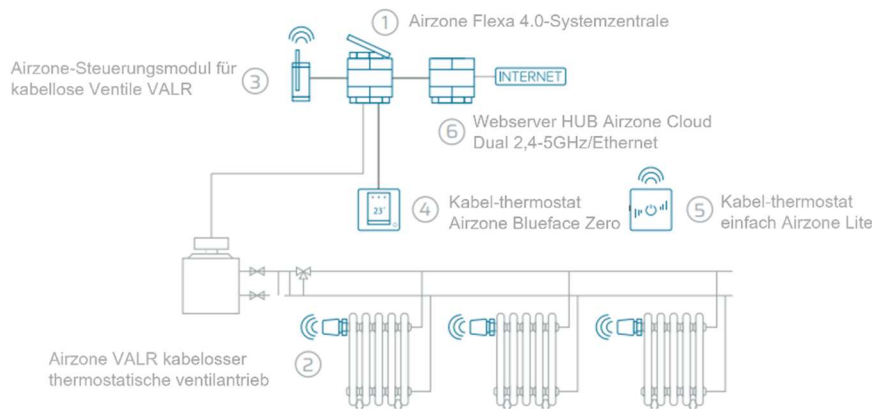
Für die Steuerung der Endgeräte ist an jedem der Heizkörperventile ein Stellglied vorhanden, das das Ventil in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen der Solltemperatur der Zone und der vom Zonethermostaten gemessenen Temperatur öffnet oder schließt, wobei

gleichzeitig der thermische Zustand der Zone an die Systemzentrale übermittelt wird. Durch den Einbau eines Raumthermostaten kann das Problem der Nähe der üblichen Thermostatventilköpfe zum Heizkörper und der damit verbundenen Messungenauigkeit gelöst werden, die zu Fehlfunktionen des Systems führen kann. Auf diese Weise wird eine genaue Einzelzonenregelung der Temperatur möglich, um die thermische Behaglichkeit sicherzustellen und die Leistungsabgabe der Wärmepumpe an den Wärmebedarf der einzelnen Zonen anzupassen (Abbildung 5).



**Abbildung 5.** Erneuerte Anlage: Wärmepumpe und Hochtemperaturheizkörper mit Zonenregelung

Genauere Beschreibung der einzelnen Steuerelemente. Abbildung 6 zeigt ein Schema der verschiedenen Steuerelemente der Anlage.



**Abbildung 6.** Schema einer Mehrzonenregelung mit Heizkörpern und Wärmepumpe.

Mit dem Flexa 4.0-System kann eine Mehrzonenregelung mit Heizkörpern umgesetzt werden. Die kabellosen Airzone-Thermostatköpfe regeln die vom Heizkörper abgegebene Wärmemenge in jeder Zone der Wohnung und stellen die Einhaltung der vom Benutzer eingestellten Komforttemperatur sicher. Über den Webserver kann der Benutzer die HLK-Steuerung bedienen und die Anlage über die System-App auf die gewünschte thermische Behaglichkeit einstellen.

## Übernahme der Modelle in TRNSYS

Die vorliegende Studie wurde mit dem Programm TRNSYS18 durchgeführt, das als Benchmark bei der Untersuchung von Wärmeenergieanlagen gilt. In diese

Berechnungsplattform wurden die mathematischen Modelle aller im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen HLK-Systeme eingegeben. Das in Abschnitt 2 beschriebene Steuerungssystem wurde mit Hilfe mathematischer Gleichungen in einem eigenen Modell modelliert, das eine Interaktion mit dem Gebäude und den übrigen Elementen der Simulationsumgebung ermöglicht (Abbildung 7).

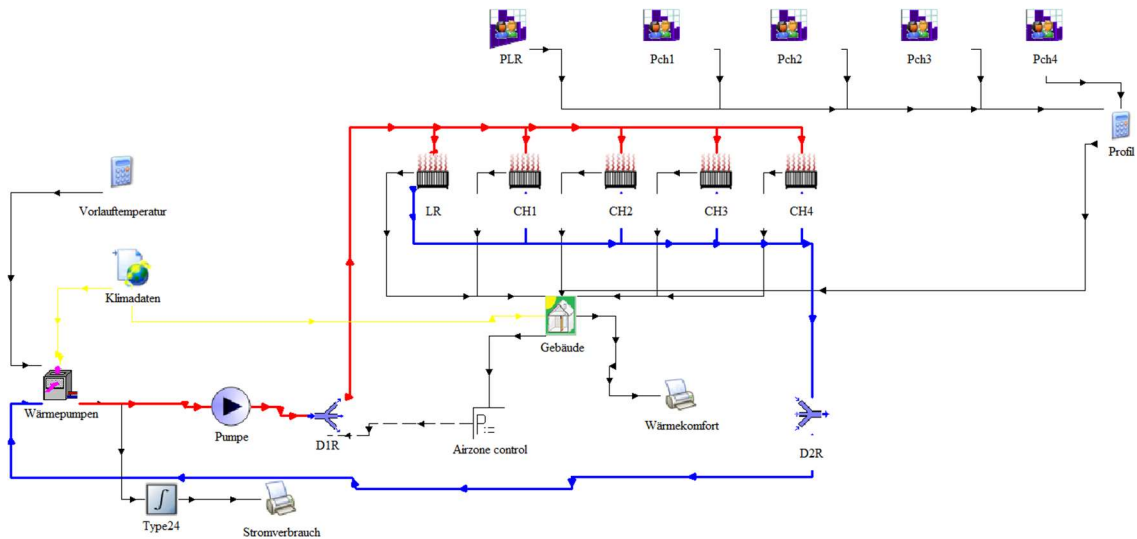


Abbildung 7. Vereinfachter Aufbau des Steuerungssystems in Trnsys.

Das entwickelte Wärmepumpenmodell basiert auf den charakteristischen Leistungskurven, die den Herstellerkatalogen entnommen wurden. Darüber hinaus ermöglicht das Modell die Einbeziehung der Auswirkung des Lastanteils auf die Leistungszahl (COP).

## Ergebnisse. Fallstudie

Die Studienergebnisse geben Auskunft über die Eignung der Airzone-Steuerung für wassergeführte Anlagen unter dem Gesichtspunkt der thermischen Behaglichkeit und des Energieverbrauchs. Zudem erfolgt eine Untersuchung und Bewertung der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit.

### Fallstudie

Hierbei wurde ein Einfamilienhaus mit einer Gesamtwohnfläche von 120 m<sup>2</sup> und 5 beheizten Räumen angenommen: Wohnzimmer-Küche (SAL), Zimmer 1 (CH1) im Erdgeschoss und Schlafzimmer 2 (CH2), Schlafzimmer 3 (CH3) und Schlafzimmer 4 (CH4) im Obergeschoss (Abbildung 8).

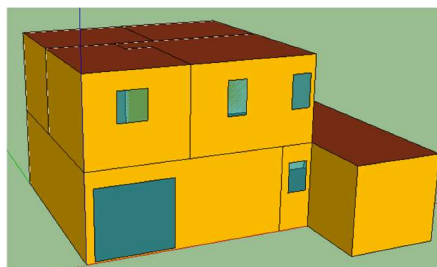


Abbildung 8. 3D-Darstellung des Wohnhauses.

Das Wohnhaus wurde für 3 typische deutsche Städte simuliert: München, Frankfurt und Hamburg, mit unterschiedlich strengen Wintern. Die Mindest- und Höchsttemperaturen der einzelnen Wintermonate sind in Tabelle 1 [8] aufgeführt.

		JAN	FEB	MÄR	APR	OKT	NOV	DEZ
Mindesttemperatur (°C)	München	-4	-3	0	3	5	0	-2
	Frankfurt	-1	-1	2	5	7	3	0
	Hamburg	-1	-1	1	4	6	3	0
Höchsttemperatur (°C)	München	3	4	9	13	13	7	4
	Frankfurt	4	6	10	15	14	8	5
	Hamburg	4	5	8	13	13	8	5

Tabelle 1. Höchst- und Mindesttemperaturen in den Heizmonaten im Monatsmittel.

Für das Wohnhaus wurden drei Dämmungsgrade berücksichtigt, die unterschiedliche Heizlastszenarien darstellen: eine hohe Dämmung, wie sie für Neubauten nach den geltenden Vorschriften typisch ist (AIS3), ein Gebäude mit mittlerer Dämmung (AIS2) und ein Gebäude mit geringer Dämmung, wie sie für ältere Wohngebäude typisch ist (AIS1). Die Merkmale der Gebäudehüllen werden auf Grundlage des Wärmedurchgangskoeffizienten (U) der einzelnen baulichen Elemente definiert, wie in Tabelle 2 beschrieben.

Fläche	AIS1	AIS2	AIS3
Außenwand	1.14	0.56	0.18
Innenwand	0.88	0.60	0.215
Decke	0.88	0.60	1
Fußboden	0.40	0.24	0.26
Dach	1.10	0.60	0.22
Fenster	5.68	2.90	1.3

Tabelle 2. Thermische Merkmale der Gebäudehülle des Wohnhauses (U in W/m<sup>2</sup>K).

Da die unbelegten Räume bei der Mehrzonenregelung keine Heizlast erzeugen, muss das Nutzungsprofil der einzelnen Räume bestimmt werden. (Abbildung 9).

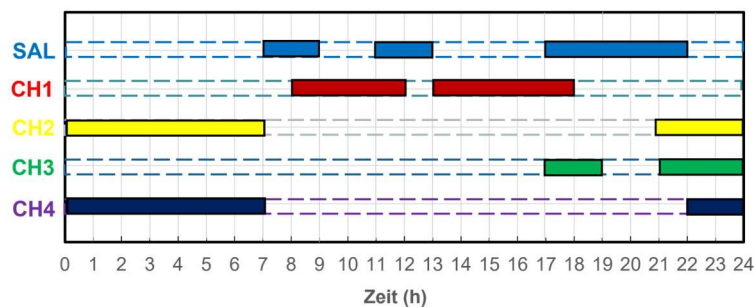


Abbildung 9. Belegungsprofil des Wohnhauses.

S Hierbei wird angenommen, dass die Heizkörper in Zeiten ohne Raumebelegung weiterhin in Betrieb sind, jedoch mit niedrigeren Temperatursollwerten, um eine übermäßige Heizlast zu vermeiden. Der Sollwert in den Heizzonen beträgt 20°C und 18°C in Zeiten ohne Belegung in der Zone. So wurde die Anlage auf der Grundlage der Heizlasten der einzelnen Zonen ausgelegt, um die thermische Behaglichkeit während der Heizperiode sicherzustellen.

Bei den ausgewählten Erzeugungsanlagen handelt es sich um einen herkömmlichen Gasheizkessel und eine Wärmepumpe der Modellreihe Altherma HT (High Temperature) des Herstellers Daikin [9], die für den Einsatz mit Hochtemperaturheizkörpern geeignet ist.

## Ergebnisse.

Anhand der Simulationsergebnisse werden die drei in Abschnitt 2 beschriebenen Heiz- und Steuerszenarien (CALD, BDC und AIRZ) miteinander verglichen:

- 1| CALD-AIRZ. Bei der Renovierung eines Hauses wird der Heizkessel durch eine Hochtemperatur-Wärmepumpe ersetzt und das Airzone-Steuerungssystem installiert. Die Analyse wird für die drei Städte durchgeführt, obwohl nur bei den Häusern mit geringer (AIS1) und mittlerer (AIS2) Dämmung Heizkessel als Wärmeerzeuger angenommen werden, da bei neuen Wohnungen (AIS3) mit hoher Dämmung davon auszugehen ist, dass keine neuen mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizkessel mehr installiert werden.
- 2| BDC-AIRZ. Hier erfolgt der Vergleich einer Wärmepumpenanlage mit Airzone-Steuerung mit einer Wärmepumpenanlage ohne Zonenregelung. Die Bewertung erfolgt für alle drei Städte und Gebäudedämmungen.

## Thermische Behaglichkeit

Die Bewertung der thermischen Behaglichkeit erfolgt nicht ausschließlich durch den Vergleich der Zonentemperaturen. Hier werden zusätzlich die Vorgaben der Norm UNE ENE ISO 7730: 2006 [10] herangezogen.

Behaglichkeitsparameter: PMV und PPD

Unter Standard-Behaglichkeitsbedingungen, die den Bekleidungsfaktor, die Stoffwechselrate und die relative Luftgeschwindigkeit einbeziehen, erfolgt der Vergleich der PPD- und PMV-Parameter einer zonierten Anlage und einer nicht zonierten Anlage.

Der PMV (Predicted Mean Vote, vorhergesagter Mittelwert) ist ein Index, der den Mittelwert der Bewertung des thermischen Empfindens einer großen Gruppe von Personen auf einer 7-stufigen Skala widerspiegelt, wenn sie verschiedenen thermischen Umgebungen ausgesetzt sind, basierend auf dem thermischen Gleichgewicht des menschlichen Körpers (Abbildung 10).



Abbildung 10. PMV-Skala

Die Berechnung des PMV-Werts ermöglicht es, das thermische Empfinden des menschlichen Körpers als Ganzes abzuschätzen, indem die Parameter, die das thermische



Gleichgewicht des Körpers insgesamt bestimmen, geschätzt oder gemessen werden: Stoffwechselrate, Isolierung durch die Kleidung, Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, relative Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit.

Der PPD-Wert (erwarteter Anteil Unzufriedener) gibt Aufschluss über das thermische Unbehagen oder die Unzufriedenheit, indem er eine quantitative Vorhersage der Personen trifft, denen es in einer bestimmten Umgebung wahrscheinlich zu warm oder zu kalt ist. Der PPD kann aus dem PMV abgeleitet werden.

Tabelle 3 zeigt die nach der Norm UNE EN ISO 7730: 2006 empfohlenen Werte an, bei denen 90 % der Raumnutzer eine allgemeinen thermische Behaglichkeit empfinden.

KATEGORIE	PPD (%)	PMV
A	< 6	-0.2 < PMV < 0.2
B	< 10	-0.5 < PMV < 0.5
C	< 15	-0.7 < PMV < 0.7

Tabelle 3. Kategorien thermischer Umgebung nach PPD und PMV.

Heutzutage sind die Anforderungen an den Gebäudekomfort hoch und generell wird die Kategorie B angestrebt. Dies gilt insbesondere für effiziente und nachhaltige Gebäude, die BREEAM- oder LEED-Zertifizierungen erhalten [11]. Abbildung 11 zeigt einen Vergleich des prozentualen Anteils der Stunden, in denen die Behaglichkeitsbedingungen sowohl in der Leitzone, in der der Thermostat installiert ist (Wohnzimmer), als auch in den übrigen Heizzonen der Wohnung (Zonen) erfüllt sind. Dabei werden die Ergebnisse der drei Fallstudien mit Heizkessel (CAL), Wärmepumpe ohne Zonenregelung (BDC) und Wärmepumpe mit Airzone-Steuerung (AIRZ <sup>A</sup>) für die drei untersuchten Städte verglichen, wobei in jedem Fall die drei angenommenen Wärmedämmungen (AIS1, AIS2, AIS3) berücksichtigt werden.



Abbildung 11. Vergleich zwischen den Anlagen, um die Behaglichkeitskategorien zu vergleichen

Generell lässt sich feststellen, dass die Behaglichkeitswerte im Wohnzimmer in allen Fällen günstiger sind als in den übrigen Zonen der Wohnung. Außerdem werden in den Fällen mit Wärmepumpen (BDC und AIRZ), in denen eine Steuerung erfolgt, höhere Prozentsätze erzielt als im Fall des Heizkessels (CAL). So ist beispielsweise zu beobachten, dass bei der Heizung mit Heizkessel im Wohnzimmer Behaglichkeitswerte von ca. 44-69 % erzielt werden, während die Werte bei Regelung mit Wärmepumpen bis auf 65-93 % ansteigen.

Bezüglich der Behaglichkeit in den übrigen Zonen der Wohnung ist festzustellen, dass die Anlagen mit Airzone-Zonenregelung (AIRZ) deutlich bessere Ergebnisse erzielen als ohne Zonenregelung (BDC) und mit Heizkessel (CAL). Dies ist auf die bedarfsgerechte Einzelregelung der Heizkörperventile in den einzelnen Zonen der Wohnung zurückzuführen, die eine hohe thermische Behaglichkeit sicherstellt. Der Behaglichkeitsanteil bei der Zonenregelung liegt zwischen 85 % und 96 % für die übrigen Zonen, während der durchschnittliche Prozentsatz bei den Anlagen ohne Zonenregelung zwischen 40 und 61 % liegt, und beim Heizkessel sogar auf 25 bis 46 % absinkt, da keinerlei Steuerung erfolgt. Im Fall der BDC- und CAL-Anlagen ohne Einzelzonenregelung ergeben sich PMV-Werte über 1,5-2, was auf eine unnötige Überhitzung der Wohnung hinweist und zu einem höheren Energieverbrauch führt, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird.

## Energieverbrauch und Umweltbilanz

### Stromverbrauch der Wärmepumpe

Nach der Bewertung der thermischen Behaglichkeit des Gebäudes erfolgt im nächsten Schritt ein Vergleich auf Grundlage des Energieverbrauchs und der Umweltbilanz. Hierbei soll gezeigt werden, dass die Steuerungsstrategie mit Mehrzonenregelung eine höhere Energieeffizienz bietet, weil sie eine effektivere Deckung des Wärmebedarfs der einzelnen Zonen ermöglicht und damit zu einem erhöhten Wirkungsgrad der Erzeugungsanlage führt.

Zunächst erfolgt der Vergleich der Fallstudie BDC-AIRZ, bei dem der Stromverbrauch der Wärmepumpe in den drei Städten und für die drei Dämmungsgrade der Wohnung analysiert wird (Abbildung 12). Ziel ist dabei die Bewertung des Beitrags der Mehrzonenregelung zur Energieeinsparung (in der Abbildung als Prozentsatz angegeben).

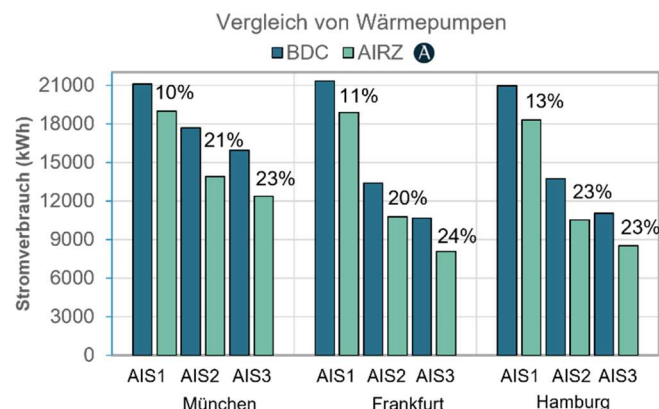


Abbildung 12. Vergleich des Stromverbrauchs bei Wärmepumpenanlagen.

In allen Fällen wird deutlich, dass die Anlage mit Wärmepumpe und Airzone-Zonenregelung gegenüber der Anlage ohne Zonenregelung, die über einen einzigen Wohnzimmerthermostaten angesteuert wird, eine deutliche Energieeinsparung bietet. Je nach Klima und Gebäudedämmung liegen die Einsparungen zwischen 11 und 24 %, bei

AIS2 und AIS3 jeweils über 20 %. In allen Fällen ist zu beobachten, dass der Energieverbrauch in Wohnungen mit einem höheren Dämmungsgrad geringer ist. In München, der kältesten Stadt, ist der Energieverbrauch höher als in den anderen Städten.

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

Um den Vergleich mit der Heizkesselanlage zu ermöglichen, wurde die Methode der vergleichenden Analyse der CO<sub>2</sub>-Emissionen der drei Fallstudien gewählt, da der Endenergieverbrauch des Heizkessels in Form von Erdgas nicht direkt mit dem Stromverbrauch der Wärmepumpe vergleichbar ist. Deshalb wurden für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen die Umwandlungsfaktoren der Endenergie in CO<sub>2</sub>-Emissionen nach den Angaben auf der der Nowtricity-Website [12] berücksichtigt, auf der die Emissionen und die Stromerzeugung in Echtzeit nach Ländern veröffentlicht werden, wobei folgende Werte ermittelt wurden: 0,354 kg CO<sub>2</sub>/kWh für die Wärmepumpe und 0,238 kg CO<sub>2</sub>/kWh für den Gasheizkessel.

Abbildung 13 zeigt die Umweltbilanz auf Grundlage des Vergleichs der CO<sub>2</sub>-Emissionen der drei angenommenen Heizungsanlagen (CALD, FOC und AIRZ) in den drei Städten mit den drei Dämmungsgraden des Wohnhauses. Außerdem wird die prozentuale Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmepumpe gegenüber dem Heizkessel einmal bei der Wärmepumpe ohne Zonenregelung und dann mit Airzone-Steuerung (AIRZ) im Vergleich zum Heizkessel ohne Airzone aufgezeigt. Die prozentuale Einsparung beim Einbau einer Mehrzonenregelung nimmt in allen Fällen zu und es wird eine bedeutende Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 16 % bis hin zu 49 % bei Häusern mit den Dämmungsgraden AIS1 bzw. AIS2 erzielt.

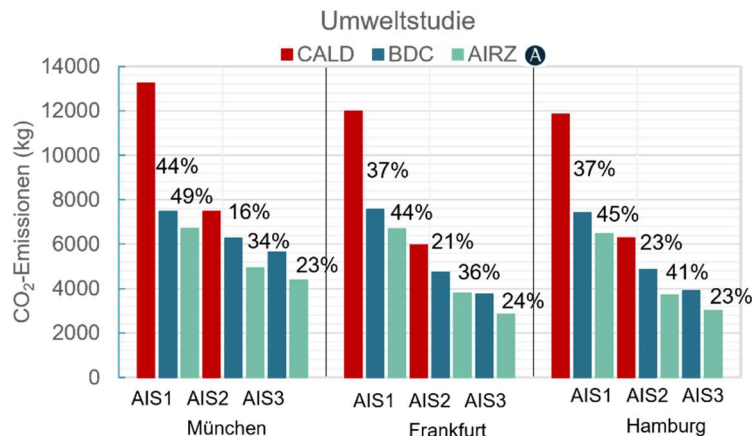


Abbildung 13. Umweltbilanz. Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen

## Wirtschaftlichkeitsstudie. Amortisation des Airzone-Steuerungssystems.

Bei der vergleichenden Wirtschaftlichkeitsstudie werden die Anfangsinvestitionen für die Erzeugungsanlage und die Steuerung sowie die bei der Simulation ermittelten Verbrauchskosten beim Betrieb der Heizungs-/Klimaanlage berücksichtigt. Auf Grundlage dieser Daten wird die Amortisationszeit des Airzone-Steuerungssystems berechnet. Die Berechnung erfolgt für die Fallstudien CALD-AIRZ (Ersatz des Heizkessels durch eine Wärmepumpe mit Airzone-Zonenregelung) und BDC-AIRZ (Vergleich zwischen der Wärmepumpe ohne Zonenregelung und der Wärmepumpe mit Airzone-Zonenregelung).

Tabelle 4 zeigt die aus den Herstellerkatalogen entnommenen Anlagenkosten für die konventionelle Anlage und die Airzone-Mehrzonenanlage.

Kosten (€)	Konventionell	Airzone
Wärmepumpe [9]	10000	10000
Konventionelle Steuerung	200	
Airzone-Steuerung	-	1928
<i>Pack Airzone Starter Connected Flexa 4.0 VALR</i>	-	440
<i>5 kabellose Heizkörperthermostaten Airzone VALR</i>	-	290
<i>Thermostat Airzone Flexa Blueface Zero</i>	-	270
<i>4 Thermostaten Flexa Lite</i>	-	928
<b>Summe</b>	<b>10200</b>	<b>11928</b>

Tabelle 4. Anfangskosten der Anlagen.

Tabelle 4 zeigt, dass die Anfangskosten des Airzone-Zonensystems aufgrund der Kosten für die Steuerungskomponenten höher sind als beim herkömmlichen System. Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, liegen die Amortisationszeiten für die verschiedenen Fallstudien jedoch lediglich bei 1,7 bis 5,9 Jahren, wirtschaftlich durchaus tragbare Zeiträume. Hinzu kommt der Zugewinn an thermischer Behaglichkeit, der hier nicht quantifiziert wird. Die Betriebskosten wurden für die Wärmepumpen-Vergleichsfälle (BDC-AIRZ) aus dem in Abbildung 12 ermittelten jährlichen Stromverbrauch der Wärmepumpe und den Kosten pro kWh Strom für die Wärmepumpe ermittelt, die aufgrund der großen Schwankungen dieses Wertes im Durchschnitt der letzten Monate mit 0,26 €/kWh angenommen wurden [13]. Für den Vergleich mit dem Heizkessel (CALD-AIRZ) wurde stellvertretend für den Erdgaspreis in Deutschland in den letzten Monaten ein Wert von 0,11 €/kWh zugrunde gelegt [13].

Dämmung	AIS1		AIS2		AIS3
Stadt/Fall	CALD-AIRZ	BDC-AIRZ	CALD-AIRZ	BDC-AIRZ	BDC-AIRZ
München	1.7	3.1	5.2	1.8	1.8
Frankfurt	2.2	2.7	5.9	2.5	2.6
Hamburg	2.1	2.5	4.7	2.1	2.6

Tabelle 5. Amortisationszeit der einzelnen Fallstudien.

Die Amortisationszeit für das Steuerungssystem schwankt je nach Anwendungsfall von 1,7 bis 5,9 Jahren und liegt in 66 % der Fälle unter 3 Jahren. Sicher spielt auch die Art der Wohnung eine Rolle. Sie ist jedoch nicht entscheidend, denn die Investition zahlt sich bei jeder Art von Wärmedämmung in relativ kurzer Zeit aus.

## Schlussfolgerungen

1. In der vorliegenden Studie erfolgt eine eingehende Untersuchung der Leistung des Airzone-Steuerungssystems mit Zonenregelung in Verbindung mit einer Wärmepumpenheizung mit Heizkörpern als geeignete Alternative für die Erneuerung der

- Heizungs- und Klimaanlage eines Wohnhauses. Die Airzone-Lösung wird mit zwei verschiedenen Anlagen verglichen: einer Anlage mit Erdgasheizkessel und ungeregelten Heizkörpern und einer Anlage mit Wärmepumpe ohne Mehrzonenregelung, bei der die Regelung durch die Temperaturüberwachung in einem der Wohnräume erfolgt.
2. In den Schlussfolgerungen der Studie werden die wichtigsten Vorteile beschrieben, die sich bei den verschiedenen Vergleichen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit, des Stromverbrauchs, der CO<sub>2</sub>-Emissionen und bei der Wirtschaftlichkeitsstudie zur Ermittlung der Amortisationszeit des Steuerungssystems ergeben haben. Folgende Schlussfolgerungen können getroffen werden:
  3. Die Mehrzonensteuerung bietet eine separate Temperaturregelung in den definierten Zonen des Wohnhauses. Dadurch werden in 85-96 % der Aufenthaltszeit hohe thermische Behaglichkeitswerte von den Gebäudenutzern empfunden. Im Vergleich dazu verringert sich der Zeitanteil mit Behaglichkeitsempfinden bei den konventionellen Steuerungen, bei dem nur ein Thermostat in der Leitzone den Systembetrieb regelt, was zu Überhitzung in den übrigen Zonen führt, auf 40-61 % bei der Wärmepumpe und auf 25-46 % beim Heizkessel.
  4. Der Einfluss der Zonenregelung wird im Fall der Wärmepumpe über die Ermittlung des Stromverbrauchs bewertet. Je nach Klima und Gebäudedämmung liegen die Einsparungen zwischen 11 und 24 %, bei AIS2 und AIS3 jeweils über 20 %.
  5. Hinsichtlich der Umweltbilanz ist die prozentuale Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen größer, wenn eine Mehrzonenregelung eingebaut wird. Bei besserer Dämmung in kühlerem Klima wird diese Wirkung noch verstärkt.
  6. Trotz der anfänglichen Investitionen in das Steuerungssystem ergeben sich durch die Wirtschaftlichkeitsstudie Amortisationszeiten von 1,7 bis 5,9 Jahren, überschaubare Zeiträume, die wirtschaftlich tragfähig sind. Die Einsparungen sind umso größer, je extremer die klimatischen Bedingungen sind. Entsprechend kürzer sind dann auch die Amortisationszeiten. Erwähnenswert ist auch, dass in 66 % der untersuchten Fälle die Amortisationszeit weniger als 3 Jahre beträgt.

## Bezugsquellen

- [1] Europäische Kommission. Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (2012), L 315/1.
- [2] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy. Strasbourg 8.03.2022.
- [3] IEA (2022), The Future of Heat Pumps, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>, License: CC BY 4.0
- [4] Europäische Kommission, "Richtlinie (EU) 2023/1791 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/955 (Neufassung)." 2023. [Online]. Verfügbar: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>
- [5] S. Yanatma, "Where in Europe offers the biggest grants for heat pump" <https://www.euronews.com/green/2024/01/21/heat-pumps-government-subsidies-in-europe-are-making-green-tech-more-affordable#:~:text=Almost%2035%2C000%20heat%20pump%20funding%20applications%20in%20Germany&text=The%20scheme%20is%20scheduled%20to,they%20install%20a%20heat%20pump.>, Jan 2024.

- [6] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Zugriff 28.12.23).
- [7] EN 52120-1 Energy Performance of Buildings - Contribution of Building Automation, Controls and Building Management - Part 1: General Framework and Procedures
- [8] <https://es.weatherspark.com>
- [9] Katalog Heizungen Daikin 2023.  
[https://www.daikin.it/it\\_it/privati/services/cataloghi-e-documentazione.html](https://www.daikin.it/it_it/privati/services/cataloghi-e-documentazione.html)
- [10] UNE-EN 15377. Heizungsanlagen in Gebäuden. Konstruktion von eingebauten hydronischen Heiz- und Kühlsystemen. Oktober 2008.
- [11] BRE, BREEAM offices 2008 assessor manual, BREEAM. Watford: BRE Global Ltd.; 2010.
- [12] <https://www.nowtricity.com/>
- [13] [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle\\_gasversorgung/\\_svg/Gaspreise/Gaspreise.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Gasversorgung/aktuelle_gasversorgung/_svg/Gaspreise/Gaspreise.html)