

## **Grundsatzkonzept**

Auftragsforschung

# **Bewertung der thermisch energetischen Potenziale der raumweisen Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung**

an Dipl. Ing. Peter Gabanyi

im Rahmen des

Validierungsauftrag Sprind GmbH

**Hochschule München**

CENERGIE - Forschungsinstitut für energieeffiziente Gebäude und Quartiere

**Bearbeitung des Validierungsauftrags**

Peter Gabanyi Dipl. Ing.; Auftragnehmer und verantwortlicher Ansprechpartner.

Prof. Dr.-Ing. Rainer Hirschberg; Hocheffizienzhaus Institut

Prof. Dr.-Ing. W. Mauch; FfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Prof. Dr. Werner Jensch; CENERGIE - Forschungsinstitut für energieeffiziente Gebäude und Quartiere - Hochschule München

**Autoren des Grundsatzkonzeptes**

Prof. Dr.-Ing. Werner Jensch

M.Sc. Maximilian Günzel

Dieser Bericht umfasst 21 Seiten.

München, 28.02.2022

## Kurzfassung

Um das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestandes zu erreichen, fordert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in seiner „Energieeffizienzstrategie Gebäude“, dass diese zukünftig mit nachhaltigen und intelligent-gesteuerten Systemen ausgerüstet werden. Nur so können der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>- Emissionen dauerhaft reduziert werden. Der Stand der Technik für die Regelung der mittlerweile weit verbreiteten Fußbodenheizung hat sich in den letzten 50 Jahren jedoch nicht verändert, sie ist immer noch äquivalent zu der Drossel-Regelung für Heizkörper. Im Laufe der letzten Jahre entwickelte Dipl. Ing. Peter Gabanyi eine technische Lösung, die einen wesentlichen Teil zu dem klimaneutralen Gebäudebestand beitragen kann. Eine neue Form der Regelung für Fußbodenheizungen, die „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung“, kann auf Grund eines neuen Regelungskonzeptes und künstlicher Intelligenz einen hohen Teil an Energie und Kosten sparen.

Im Rahmen eines Validierungsauftrages der Sprind GmbH wird nun untersucht, inwiefern die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung die Vorgaben in Bezug auf disruptive Innovation, Energie-Effizienz, Nachhaltigkeit und, Komfort erfüllen kann. Speziell in diesem Bericht soll der wissenschaftliche Bezug und die Notwendigkeit für weitere Forschungsprojekte analysiert werden. Dazu werden zu Beginn die verschiedenen Regelungssysteme im Stand der Technik für Heizkörper und Fußbodenheizungen dargestellt und analysiert. Vor- und Nachteile, sowie Unterschiede und Gemeinsamkeiten sollen erarbeitet und aufgezeigt werden. Darauf aufbauend wird das neue Regelungskonzept der Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung vorgestellt und ebenfalls analysiert. Ausgehend von der Analyse werden Thesen aufgestellt, die in einem wissenschaftlichen Kontext betrachtet sowie verifiziert und/oder falsifiziert werden. Abschließend wird die „Beimisch-Regelung in einem wissenschaftlichen Kontext bewertet und Empfehlungen über das weitere Vorgehen aufgezeigt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	5
2	Ausgangssituation .....	7
2.1	Ist-Situation der bisherigen Regelung von Heizkörpern .....	7
2.2	Ist-Situation der bisherigen Regelung von Fußbodenheizung.....	8
3	Gegenüberstellung Ist-Situation .....	11
3.1.1	Anpassen der Heizfläche an die Raumheizlast <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
3.1.2	Formen der Wärmeabgabe .....	11
3.1.3	Trägheit.....	11
3.1.4	Über- und Unterversorgung.....	12
3.1.5	Wärmeverbrauchserfassung .....	12
4	Thesen zur Drossel-Regelung bei Fußbodenheizung.....	13
5	Darstellung Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung .....	15
5.1	Ausgangssituation und Ziele .....	15
5.2	Lösung Beimisch-Regelung.....	15
5.2.1	Anpassen der Heizfläche an die Raumheizlast.....	15
5.2.2	Formen der Wärmeabgabe .....	16
5.2.3	Trägheit.....	17
5.2.4	Über- und Unterversorgung.....	18
5.2.5	Wärmeverbrauchserfassung .....	18
6	Thesen zur Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen .....	19
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	21

## 1 Einleitung

Die Bundesregierung der Bunderepublik Deutschland strebt bis zum Jahr 2045 die Klimaneutralität an. Sie hat sich zum Ziel gesetzt, stellvertretend für die EU, eine Vorreiterrolle einzunehmen. Eine wesentliche Herausforderung dabei ist die des klimaneutralen Gebäudebetriebs. Laut des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) betrug der Anteil des gebäudetechnischen Endenergieverbrauchs im Jahr 2018 rund 33% am gesamten Endenergieverbrauch.

Bezogen auf die Gebäudeart, macht der Anteil an Wohngebäude (private Haushalte) rund 66% aus, der Anteil an Nichtwohngebäuden (Gewerbe und Industrie) rund 34 %. Wohngebäude verbrauchen ca. 571 TWh/a und Nichtwohngebäude rund 294 TWh/a Energie.

Eine wesentliche Rolle, zur Reduzierung des Energieverbrauchs und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>- Emissionen, nimmt dabei die Sanierung des Gebäudebestands ein. Als besonders schwierig in der Sanierung hat sich dabei die Regelung der Fußbodenheizung herauskristallisiert.

Die Fußbodenheizung begann sich Anfang der 1980er Jahre langsam im Wohnungsbau zu etablieren. Seitdem ist der Einbau jedoch rasant gestiegen, so werden heute ca. 90% der Wohnhäuser mit Fußbodenheizung ausgerüstet. Insbesondere mit effizienten Niedertemperaturheizsystemen, wie z.B. Solarthermie, Wärmepumpen oder Brennwertkessel ist die Fußbodenheizung das ideale System. Für Heizkörperheizungen und Fußbodenheizung wird, obwohl beide Systeme völlig unterschiedliche Eigenschaften haben, traditionell das gleiche Regelsystem in Form einer Drossel-Regelung, eingebaut. Die Technik der Heizkörperheizung hat sich zudem seit Beginn der Pumpenheizung, aus den 1960er Jahren, kaum geändert.

Alle einschlägigen DIN-Normen, Gesetze und Verordnungen für Heizkörperheizungen wurden den abweichenden Eigenschaften der Fußbodenheizung nicht angepasst. Auch die einschlägigen Gesetze und Verordnungen zu Heizungsanlagen und Energiesparen haben sich im Zusammenhang mit Gebäude- und Raumtemperaturregelung nicht geändert.

So nimmt die Heizungsanlagen-Verordnung 1978 bis zur GEG 2020 auf die unterschiedlichen systembedingten Eigenschaften der Fußboden-Heizung keine Rücksicht. Die einschlägigen Paragraphen der 1. Heizungsanlagenverordnung von 1978 sind ebenfalls nach 42 Jahren und 12 neuen Auflagen sinngemäß unverändert. Auch bei der Heizlastberechnung nach DIN 4701 und DIN EN 12831 wurde auf die unterschiedlichen systembedingten Eigenschaften der Fußbodenheizung keine Rücksicht genommen.

Basierend auf Untersuchungen und jahrelanger Entwicklung wurde eine neue technische Lösung geschaffen. Deutsche und europäische Patente wurden bereits erteilt.

Bei dem der Erfindung zu Grunde liegenden neuen Regelsystem für Fußbodenheizung handelt es sich um eine Beimisch-Regelung als Bedarfsheizung. Es legt die Basis für eine echte intelligente Raumtemperatur-Regelung, die die Überversorgung komplett ausschließt und damit mindestens 30% Energie sparen kann. Die alte Regelung (Stand der Technik) als Drossel-Regelung als Angebotsheizung soll komplett ersetzt werden. Damit werden alle Fehler, die durch Berechnungen mit nicht für die Fußbodenheizung geeigneten DIN-Normen sowie Fehlerquellen bei der Montage und Einregulierung der Anlage ausgeschlossen.

Im Rahmen eines Validierungsauftrages der Sprind GmbH soll überprüft werden, ob das neu entwickelte Regelsystem - die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung - die vorgegeben Nutzungsziele bezüglich Energieeinsparung, Normenkonformität, Komfort und Nachhaltigkeit der Vorgaben entspricht.

Gleichzeitig soll aufgezeigt werden, inwiefern es sich um eine technische Lösung in Form einer Sprunginnovation handelt. Eine Voraussetzung ist erfüllt, bei der „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung“ handelt es sich um ein völlig neues System, keine Weiterentwicklung.

Das CENERGIE, Forschungsinstitut für energieeffiziente Gebäude und Quartiere soll dazu als Auftragsforschung ein Grundsatzkonzept zur Bewertung der Vor-/Nachteile dieser Technologie erstellen. Dazu werden folgende Arbeitsschritte abgedeckt:

- Darstellung der Ausgangssituation

Die Ist-Situation bei bisherigen Automationsstrategien von Fußbodenheizungssystemen mit den vorhandenen Schwachstellen dargestellt und damit aufgezeigt welche Verbesserungspotenziale vorhanden sind.

- Thesenpapier

Mittels Formulierung von Grundsatzthesen werden die Vor- und Nachteile raumweisen Beimisch-Regelung aus wissenschaftlicher Sicht bewertet und die Ergebnisse verifiziert bzw. falsifiziert.

- Zusammenfassung

Die Ergebnisse werden zusammengetragen und wissenschaftlich bewertet.

## 2 Ausgangssituation

### 2.1 Ist-Situation der bisherigen Regelung von Heizkörpern

Die heutige Wärmeabgabe freier Heizflächen (Heizkörpern) in Gebäuden wird in Form einer Drossel-Regelung, durch Veränderung des Heizwasser-Durchflusses geregelt. Dabei werden alle Heizkörper und Heizflächen mit der gleichen Vorlauf-Temperatur versorgt. Da die Wärme dem Heizkörper ständig „angeboten“ wird, spricht man auch von einer Angebotsheizung. Dabei wird das Heizwasser mit dem Wärmeinhalt des errechneten Wärmebedarfs aller Räume des Hauses über das Rohrnetz zu den Heizkörpern/Heizflächen gepumpt.

Jedem Heizkörper/Heizfläche soll mit Hilfe des hydraulischen Abgleichs die Wassermenge zugeführt werden, die der errechneten Raumheizlast entspricht. Die Vorlauftemperatur ist für alle Räume des Hauses systembedingt gleich. Deshalb muss die Heizkörper-Größe (Länge, Breite, Tiefe) jeden Raumes der errechneten unterschiedlichen Raumheizlast ( $W/m^2$ ) genau angepasst werden. Ist die Größe des Heizkörpers festgelegt, wird grundsätzlich die Wärmeabgabe von Heizungssystemen durch Änderung des Massenstromes geregelt. Die benötigte Wärmemenge lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$Q$  = benötigte Wärmemenge

$m$  = Masse des zu erwärmenden Mediums

$c$  = spezifische Wärmekapazität

$\Delta T$  = Temperaturunterschied des erhitzten Mediums

Voraussetzung für die richtige Funktion sind richtige Berechnung und Auslegung, exakte Anpassung der Heizfläche an die errechnete Raumheizlast, perfekter hydraulischer Abgleich und richtige mit Auslegungstemperatur eingestellte Heizungskennlinie der witterungsgeführten Regelung.

In Abbildung 2-1 sind unterschiedliche spezifische Raumheizlasten ( $W/m^2$ ) zweier Räume exemplarisch dargestellt:

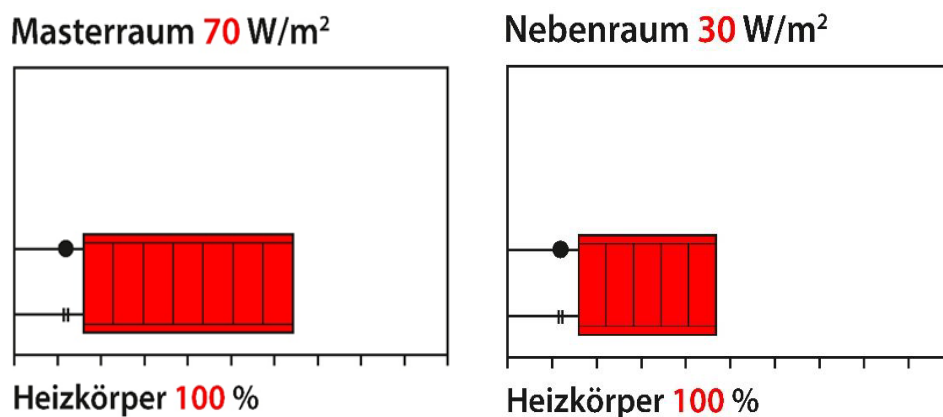


Abbildung 2-1: Raumheizlasten zweier spezifischer Räume (Quelle: Heizungsjournal 1-2 2019)

Die Heizkörper-Oberfläche ist die Heizfläche. Der Wärmeübergang zwischen Heizwasser und Raumluft ist ein dünnes Blech ohne weitere Dämpfungsglieder. Da die Masse und der Wasserinhalt gering sind, besitzt der Heizkörper eine geringe Trägheit von ca. 0,5 bis 1 Stunde. Die Wärmeabgabe der Heizkörper findet überwiegend über Konvektion an die Raumluft statt.

Das Thermostatventil ist ein mechanischer Temperaturregler, der den Heizwasserdurchfluss in Abhängigkeit von der gemessenen Raumtemperatur steuert. Der Stetig-Regler ist ein Drosselventil das Fühler, Regler, Stellglied und Sollwerteinstellung in einer Armatur vereinigt. In diesem geschlossenen Regelkreis ist die Raumluft, der IST-Wert, welcher direkt neben dem Heizkörper gemessen wird.

Im angestrebten Idealfall sind während des Heizbetriebes alle Heizkörperventile offen. Der Heizkörper schließt das Thermostatventil nach Erreichen des eingestellten Sollwertes und gibt nach einigen Minuten keine Wärme mehr ab. Darüber hinaus drosseln die Heizkörperventile bei Fremdwärme-Eintrag (z.B. Sonne) die Heizwasserzufuhr in den betroffenen Räumen.

Die Gefahr einer Überversorgung ist zudem gering, da die thermostatische Regelung falsche Berechnungen sowie fehlender hydraulischer Abgleich häufig vom Thermostatventil auffangen kann.

## 2.2 Ist-Situation der bisherigen Regelung von Fußbodenheizung

Neben Heizungsanlagen mit freien Heizflächen (Heizkörpern), erfolgt auch die Regelung der Wärmeabgabe bei allen wasserführenden Fußbodenheizungen (bauintegrierte Heizflächen), nach aktuellem Stand der Technik, durch Drosselung des Heizwasser-Stromes. Alle Heizkreise des Gebäudes werden systembedingt mit der gleichen Vorlauftemperatur versorgt. In der nachfolgenden Abbildung ist dies exemplarisch erkennbar.

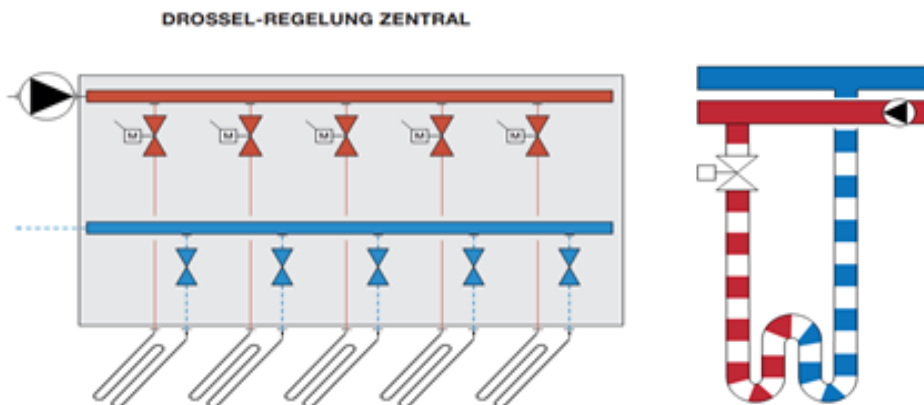


Abbildung 2-2: Zentrale Drossel-Regelung (Quelle: Heizungsjournal 1-2 2019)

Die Größe der wärmeabgebenden Bodenfläche kann wegen der gleichen Vorlauftemperatur der unterschiedlichen Raumheizlast nicht angepasst werden. Exemplarisch für zwei Räume mit unterschiedlicher spezifischer Heizlast ( $W/m^2$ ), die durch die Drossel-Regelung mit der gleichen Heizwassertemperatur versorgt werden, ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



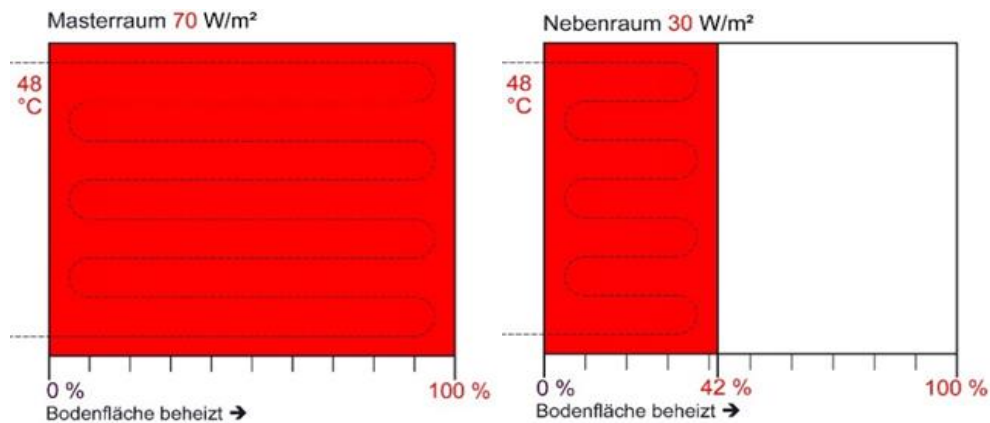


Abbildung 2-3: Beheizte Bodenfläche (Quelle: Heizungsjournal 1-2 2019)

In Abbildung 2-3 ist zu erkennen, dass bei der Fußbodenheizung mit Drossel-Regelung alle Räume mit der gleichen Vorlauftemperatur versorgt werden. Auf Grund der geringeren spezifischen Heizlast des Nebenraumes von  $30 \text{ W/m}^2$  ist jedoch die gleiche Heizwassertemperatur wie bei dem Masterraum mit  $70 \text{ W/m}^2$  nicht angemessen, findet in der Umsetzung jedoch so statt. Eine Teilbeheizung der Bodenfläche mit Fußbodenheizung ist technisch nicht möglich.

Die zu regelnde Heizfläche (HFL1) ist die Oberfläche des im Estrich eingebetteten Heizungsrohres. Diese gibt die Wärme aus dem Heizungswasser über Wärmeleitung an den umgebenden Estrich ab. Der Estrich speichert die Wärme, leitet diese durch den Bodenbelag an die Boden-Oberfläche (OFL2) des Raumes weiter.

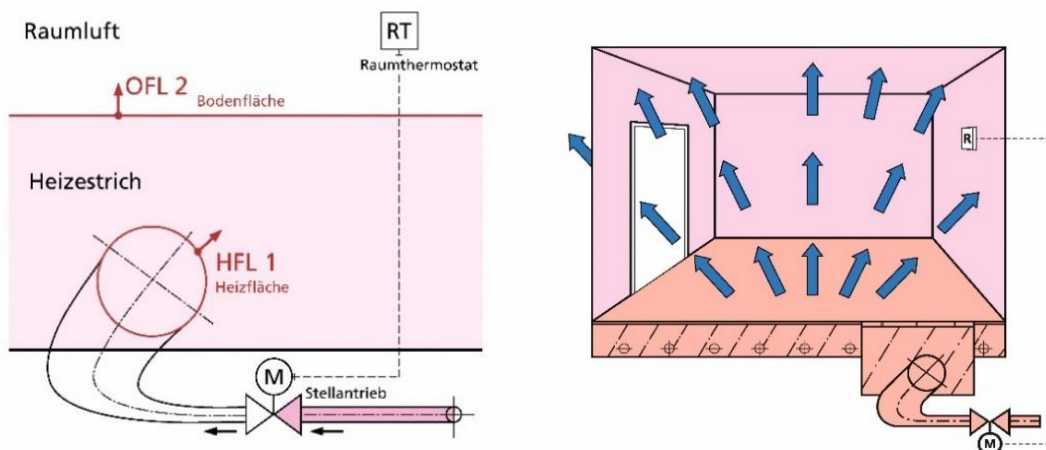


Abbildung 2-4: Wärmeübertragung der Bodenfläche (Quelle: Heizungsjournal 7-8 2020)

Die Bodenfläche (OFL2) gibt die Wärme des „warmen Körpers Heizestrich“ über elektromagnetische Strahlung an die angestrahlten Raum-Umschließungsflächen und Möbel ab.

Die Raumluft hat je nach Lage im Raum unterschiedliche Temperaturen. Die daraus resultierende unterschiedliche Dichte der Raumluft bringt diese in Bewegung und erwärmt die Luft über Konvektion (etwa 20%) an den warmen Raumumschließungsflächen. Etwa 80% der Wärme wird über die warmen Raumumschließungs-Flächen abgestrahlt.

Die Fußbodenheizung ist eine träge Speicherheizung. Die Abbildung 2-5 einer Simulationsberechnung dokumentieren, dass sowohl für das Absenken als auch für das Aufheizen der Raumtemperatur von 20°C zu 17°C (Außentemperatur -16°C) über 10 Stunden vergehen.

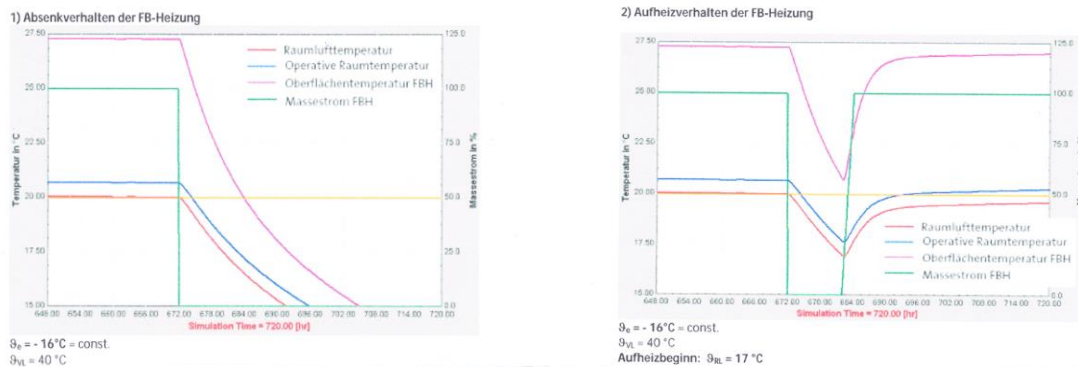


Abbildung 2-5: Absenk- und Aufheizverhalten der Fußbodenheizung über die Zeit

Wegen der 6-10 Stunden dauernden Verzugszeit ist weder eine energiesparende Nachtabsenkung (eingeschränkte Beheizung) möglich, noch kann auf einen Fremdwärmeeintrag wie Sonneneinstrahlung reagiert werden.

Der Raumtemperaturfühler misst die konvektiv erwärmte Raumluft (20%) obwohl die Wärme zu etwa 80% über Strahlung abgegeben wird. Die Raum-Luft-Temperatur stellt bei Fußbodenheizung den Ist-Wert für die Steuerung des Stellantriebes dar. Die Temperatur der Raumumschließungs-Flächen bleibt weitgehend unberücksichtigt. Der Standort des Raumfühlers ist für die Temperaturmessung ungenau, da dieser sich nicht immer in der Luftwalze befindet. Die zu regelnde Heizfläche ist mit der Drossel-Regelung wegen der extremen Trägheit nicht regelbar. Der Raumtemperaturfühler und der Stellantrieb stellen eine Steuerung ohne geschlossenem Wirkkreis dar.

### 3 Gegenüberstellung Ist-Situation

Ausgehend von den oben beschriebenen Regelungen der Wärmeabgaben für Heizungsanlagen mit freien Heizflächen (Heizkörpern) und wasserführenden Fußbodenheizungen (bauintegrierte Heizflächen), durch Drosselung des Heizwasser-Stromes, werden nun beide Systeme miteinander verglichen. Nachfolgend sind unter dem Begriff „Fußbodenheizung“ die in Kapitel 2.2 beschriebenen Systemen nach aktuellem Stand der Technik gemeint. Obwohl beide Regelungssysteme nach dem Prinzip der Drosselung des Heizwasser-Stromes fungieren, ergeben sich in Ihrer Funktion, Wärmeabgabe und energierelevanter Auswirkungen deutliche Unterschiede.

#### 3.1.1 #

Da die Vorlauftemperatur für alle Räume des Hauses systembedingt gleich ist, muss und wird die Heizkörper-Größe jeden Raumes der errechneten unterschiedlichen Raumheizlast genau angepasst.

Bei Fußbodenheizung kann die Fläche des wärmeabgebenden Bodens nicht an die geforderte Raum-Heizlast angepasst werden. Eine scheinbare Möglichkeit mit unterschiedlichen Rohrabständen die Wärmeabgabe zu variieren, ist vergleichsweise gering. In Bestands-Gebäuden ist diese Möglichkeit zudem nicht vorhanden, da die Rohre fest einbetoniert sind.

#### 3.1.2 Formen der Wärmeabgabe

Bei Heizkörpern gibt die zu regelnde Heizfläche die Wärme aus dem Heizungswasser direkt an die Raumluft ab. Dies geschieht in etwa 80% über Konvektion und 20% über Strahlung.

Bei Fußbodenheizungen gibt die Bodenfläche die Wärme, des erwärmten Heizestrich, über elektromagnetische Strahlung an die angestrahlten Raum-Umschließungsflächen und Möbel ab. Die durch unterschiedliche Dichten erwärmte Raumluft wird 20% über Konvektion an den warmen Raumumschließungsflächen erwärmt. Ca. 80% der Wärme wird über die warmen Raumumschließungs-Flächen abgestrahlt.

#### 3.1.3 Trägheit

Heizkörper haben nur eine sehr geringe Trägheit. Daher ist eine schnelle Reaktion auf die wechselnde Raumtemperatur durch Fremdwärmeeinträge (Sonneneinstrahlung oder Kälteeinfall) und z.B. auch eine energiesparende Nachtabsenkung (eingeschränkte Beheizung) möglich.

Auf Grund der Wärmeübergabe durch den Estrich, ist die Fußbodenheizung hingegen eine träge Speicherheizung. Wegen der 6-10 Stunden dauernden Verzugszeit ist weder eine energiesparende Nachtabsenkung (eingeschränkte Beheizung) möglich, noch kann auf einen Fremdwärmeeintrag wie Sonneneinstrahlung reagiert werden. Die zu regelnde Heizfläche, die Oberfläche des eingebetteten Heizungsrohrs ist mit der Drossel-Regelung wegen der extremen Trägheit nicht regelbar.

### 3.1.4 Über- und Unterversorgung

Energie verschwendende Über- und Unterversorgung durch ungenaue Berechnungen oder fehlenden Einregulierungen werden weitestgehend von dem Thermostatventil am Heizkörper aufgefangen. Die Raumtemperatur-Regelung, das Thermostat-Ventil am Heizkörper übernimmt die wesentliche Regelarbeit auch bei fehlender witterungsgeführter Gebäuderegelung ungenauen Berechnungen oder fehlendem hydraulischen Abgleich.

Bei Fußbodenheizungen kann es auf Grund falscher Berechnung, Auslegung, Montage, Einregulierung der Heizungsanlage und durchgeführten Arbeiten häufig zu extremen Fehlfunktionen kommen, die bei einer Strahlungsheizung die energievergeudende Überversorgung fördern.

### 3.1.5 Wärmeverbrauchserfassung

Der Wärmeverbrauch wird über elektronische Heizkostenverteiler am Heizkörper erfasst. Die Verbrauchsdaten können fernablesbar außerhalb der Wohnung erfasst und der monatlichen Verbrauchsinformation zugeführt werden.

Dem gegenüber kann bei Fußbodenheizungen die Wärmeverbrauchs-Erfassung nicht raumweise, sondern nur wohnungsweise über Wärmemengenzähler geschehen. Der Wärmemengenzähler misst die Heizwassermenge und das Delta T nach dem Wohnungsverteiler. In der erfassten Wärmemenge sind ebenfalls entstandene Verluste durch Überversorgung enthalten. Eine Einbindung der Zählerdaten in die Gebäudeautomation bezüglich der Energieeffizienz ist daher nicht aussagekräftig. Anlagen im Bestand sind teilweise aus technischen Gründen mit Wärmemengen-Zählern nicht nachrüstbar.

## 4 Thesen zur Drossel-Regelung bei Fußbodenheizung

Bei Betrachtung der oben aufgeführten Systeme mit gleicher Drossel-Regelung fällt auf, dass trotz derselben regelungstechnischer Auslegung, sich die beiden Heizsysteme deutlich voneinander unterscheiden. Auf Grund dessen werden folgende Thesen aufgestellt die, basierend auf wissenschaftlichen Untersuchungen, Fakten und Normen, argumentativ belegt werden:

1. Die Drossel-Regelung funktioniert bei Heizkörper-Heizungen perfekt:
  - a. Direkte Wärmeabgabe an die Raumluft (80% Konvektion, 20% Strahlung)
  - b. Heizkörper besitzen eine geringe Trägheit.
  - c. Raumweise Drossel-Regelung über Thermostatventil ist eine Regelung mit geschlossenem Wirkkreis.
  - d. Bei Wegfall der zentralen Gebäuderegulung (§61 GEG), einer ungenauen Heizlastberechnung, fehlendem hydraulischer Abgleich, wird es geringe Komforteinschränkungen und nur wenige Energieverluste geben.
  - e. Unterstützung über Außentemperatur oder Zeit (§61 GEG) ist gegeben.
2. Die Drossel-Regelung (Stand der Technik) ist für Fußboden-Heizung ungeeignet:
  - a. Wärmeabgabe (20% Konvektion, 80% Strahlung)
  - b. Trägheit kann 6-10 Stunden Verzugszeit beinhalten.
  - c. Raumthermostat und Stellantrieb stellen eine Steuerung ohne geschlossenem Wirkkreis dar.
  - d. Da gleiche Vorlauftemperatur für alle Räume, keine Anpassung der Raumfläche an die Raumheizlast möglich (Variation der Verlegeabstände im Bestand ist nicht möglich).
  - e. Die Außentemperatur-abhängige Regelung nach §61 GEG 2020 kann alternativ durch eine Regelung über Zeit ersetzt werden.
  - f. Hydraulischer Abgleich löst das Problem der Über-/Unter-Versorgung nicht. Berechnung und Einregulierung ungenau und nicht nachhaltig. Nach jeder Änderung im oder am Gebäude muss nachreguliert werden.
3. Die Raumtemperatur-Regelung der Heizkörperheizung entspricht der DIN 19226:
  - a. „Das Regeln, die Regelung ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe (die zu regelnde Größe) erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossenen Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkkreis des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst“. [DIN 19226]
4. Die Raumtemperatur-Regelung der Heizkörperheizung entspricht der Forderung der GEG 2020 §63:
  - a. Die Raumtemperatur-Regelung, in diesem Fall die Luft-Temperatur, ist angemessen, da die Wärmeabgabe des Heizkörpers etwa zu 80% über Konvektion an die Raumluft abgegeben wird. „Die haustechnische Anlage ist mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur raumweisen Regelung der Raumtemperatur auszurüsten.“ [GEG2020 §63]
5. Die Raumtemperatur-Regelung der Fußbodenheizung entspricht nicht der DIN 19226:
  - a. Keine funktionierende raumweise Regelung nach DIN 19226.

6. Die Drossel-Regelung der Fußbodenheizung keine Regelung mit geschlossenem Wirkkreis nach DIN 19226, sondern eine Steuerung:
  - a. Der Soll- und Ist-Wert kann wegen des Zeitverzuges von Stunden nicht verglichen und angepasst werden.
7. Die Drossel-Regelung der Fußbodenheizung erfüllt die Forderungen der GEG 2020 §63 nicht:
  - a. Der gemessene Ist-Wert entspricht der über Konvektion erwärmten Raum-Luft (20%). Die für die Strahlungs-Heizung spezifische Temperatur der Raumumschließungs-Flächen findet keine Berücksichtigung (80%). Die in der GEG geforderte Raumluft ist das Mittel aus Raumluft-Temperatur und Temperatur der Umschließungsflächen.
  - b. Eine Zeitschaltuhr, als Alternative zur zentralen Gebäude-Regelung, ist ungeeignet (GEG §61). Eine eingeschränkte Beheizung ist wegen der langen Verzugszeiten nicht sinnvoll.
8. Die Drossel-Regelung der Fußbodenheizung ist als „Angebotsheizung“ für die Sanierung der Anlagentechnik im Bestand ungeeignet:
  - a. Im Bestand muss die gesamte Heizungsanlage neu berechnet und einreguliert werden. Zusätzlich sind die Rohre im Estrich, die eigentliche Heizfläche, fest einbetoniert. Der Rohrabstand ist unbekannt. Dazu kommen die gleichen Probleme der Angebotsheizung wie beim Neubau: ungenaue normative Vorgaben und unzuverlässige Einregulierarbeiten.
9. Die Drossel-Regelung der Fußbodenheizung erfüllt keine Forderung an eine „intelligente Regelung“:
  - a. Eine raumweise Regulierung der Vorlauftemperatur ist nicht möglich.
  - b. Keine bedarfsorientierte Regelung
  - c. Auf prädiktive Störgrößen kann nicht (bzw. nur sehr träge) reagiert werden
10. Bei Fußbodenheizung ist die Drossel-Regelung für die Bestandssanierung ungeeignet. Das Ersetzen einer alten Drossel-Regelung durch eine andere Drossel-Regelung spart keine Energie:
  - a. Da es sich um eine Angebots-Heizung handelt, müsste praktisch eine komplett neue Planung und Berechnung, mit den neuesten bauphysikalischen Daten gemacht werden.
  - b. Alle Einstellwerte müssen berechnet werden um die Einregulierarbeiten durchführen werden.
11. Der Aspekt der Nachhaltigkeit ist nicht gegeben:
  - a. Alle bauphysikalischen Ertüchtigungen der Gebäudehülle, Bodenbeläge, Möblierung usw. erfordern jeweils eine komplette Neuberechnung und Einregulierung der Anlage.

## 5 Darstellung Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung

### 5.1 Ausgangssituation und Ziele

Die Drossel-Regelung der Fußbodenheizung entspricht nicht einem, der Zeit angemessenen, modernen Stand der Technik. Neben dem Widerspruch zu einigen DIN-Normen und der GEG2020 weist sie viele Eigenschaften auf die technisch, ökonomisch und ökologisch nicht konform sind. Aus Mangel an Alternativen wird die Fußbodenheizung mit Drossel-Regelung jedoch weiterhin eingebaut. Eine Sanierung von Fußbodenheizungen im Bestand ist zudem nicht möglich.

Eine Fortführung des Einbaus von Fußbodenheizung mit Drossel-Regelung ist nicht konform zu den von der Bundesregierung gesetzten Zielen einer Klimaneutralität, den steigenden Energiekosten und intelligenten Regelungssystemen der heutigen Zeit. Um diese jedoch zu erreichen, müssen neue innovative Lösungen entwickelt werden. Für eine neue Regelung der Fußbodenheizung, sowohl für die Sanierung im Bestand als auch im Neubau, sollten folgende Bedingungen gelten:

- Energieeinsparung bzw. Steigerung der Effizienz als Grundvoraussetzung einer innovativen Lösung
- System muss bedarfsorientiert arbeiten
- Jeder Raum muss durch eine genau mess- und steuerbare Heizwassermenge und Heizwassertemperatur definiert sein. Das ist die Voraussetzung für eine „intelligente Regelung“
- Genaue Anpassung der Wärmeabgabe des Bodens an die adaptiv ermittelte Raumheizlast. Überversorgung muss vermieden werden.
- Die Raumtemperatur-Regelung muss der DIN 19226 – als Regelung mit geschlossenem Wirkkreis entsprechen.

### 5.2 Lösung Beimisch-Regelung

Eine innovative Lösung stellt das Konzept der „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizung“ dar. Das Konzept beruht auf einer Beimischung der Rück- und Vorläufe, in der die individuelle Vorlauftemperatur an die Raumheizlast angepasst wird. Nachfolgend vorgestellt erfüllt die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen alle oben genannten Bedingungen an eine innovative Lösung für zukünftige Regelungskonzepte von Fußbodenheizungen.

#### 5.2.1 Anpassen der Heizfläche an die Raumheizlast

Um die Wärmeabgabe des Bodens bei Fußbodenheizung zu regeln, muss die Wärmeabgabe der geforderten Raum-Heizlast angepasst werden. Da die Größe der Bodenfläche nicht verändert werden kann, muss die Vorlauftemperatur verändert werden. Die neue Regelung in Form einer Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen ermöglicht eine raumweise Veränderung und Anpassung der Vorlauftemperatur. Sie sorgt darüber hinaus für ein Prinzipien-Wechsel der Fußbodenheizung, hin zu einer „Bedarfs-Heizung“.



Exemplarisch für zwei Räume mit unterschiedlicher spezifischer Heizlast ( $\text{W/m}^2$ ), die mit unterschiedlichen Heizwasser-Temperaturen versorgt werden, ist in den nachfolgenden Abbildungen die unterschiedliche Temperierung der der Beimisch-Regelung dargestellt.

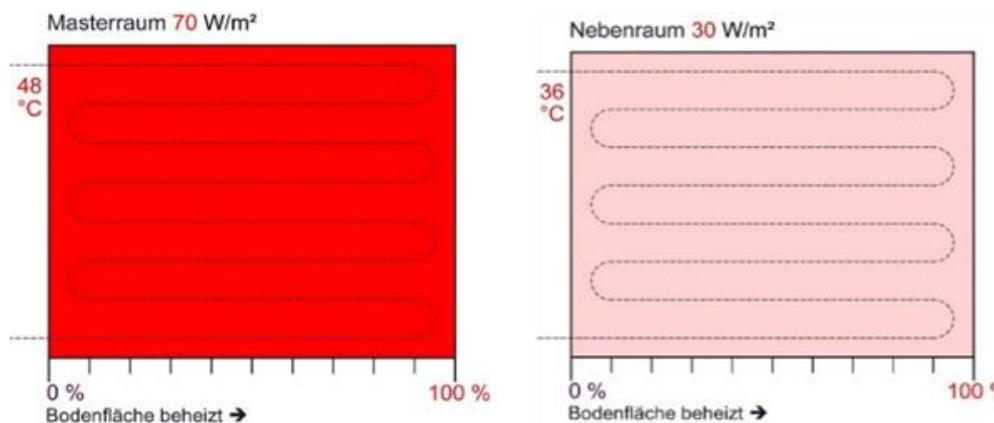


Abbildung 5-1: beheizte Bodenfläche Beimisch-Regelung (Quelle: Heizungsjournal 1-2 2019)

Ist in Abbildung 2-3 noch zu erkennen, dass bei der Fußbodenheizung mit Drossel-Regelung alle Räume mit der gleichen Vorlauftemperatur versorgt werden. So wird hier deutlich, dass die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen verschiedene Räume entsprechend ihrer spezifischen Heizlast beheizt. Der Nebenraum mit einer spezifischen Heizlast von  $30 \text{ W/m}^2$  wird mit einer niedrigeren Temperatur als der Masterraum beheizt.

Für die Umsetzung dieses Prinzips sorgt die Beimischung der Rück- und Vorläufe, in der die individuelle Vorlauftemperatur an die Raumheizlast angepasst wird.

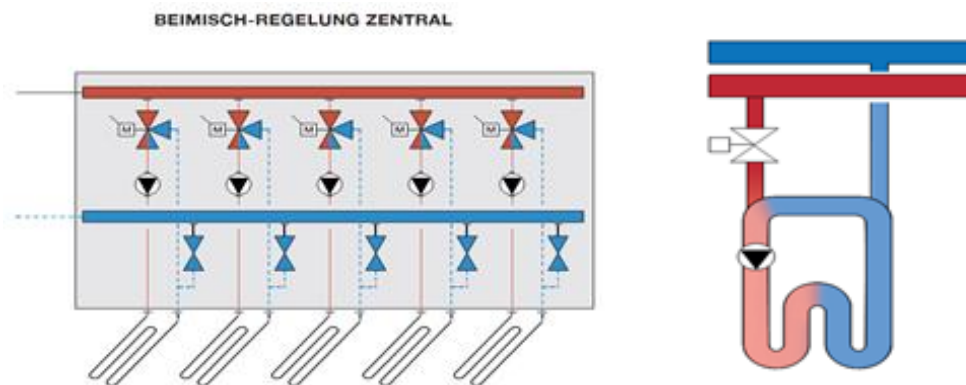


Abbildung 5-2: Zentraler Wohnungsverteiler Beimisch-Regelung (Quelle: Heizungsjournal 1-2 2019)

In der Abbildung 5-2 ist das Schema eines Wohnungsverteilers mit Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen zu erkennen. Jeder Raum einer Wohnung stellt einen eigenen Heizkreis mit eigenem Regelkreis, Misch-Ventil und Minipumpe dar.

## 5.2.2 Formen der Wärmeabgabe

Die Form der Wärmeabgabe bei der Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen und Drossel-Regelung ist identisch, die Bodenfläche gibt die Wärme, des erwärmten Heizstrich, in Form von elektromagnetischer Strahlung an die Umgebung ab. Den Unterschied macht die nach



GEG2020 §63 geforderte Raumtemperatur-Regelung beider Systeme. Entgegen der Drossel-Regelung ist die Beimisch-Regelung eine echte Regelung mit geschlossenem Wirkkreis entsprechend der DIN 19226. Das Heizwasser zirkuliert mit konstantem Volumen durch den Heizkreis. Über ein Mischventil wird nach Bedarf jedem Heizkreis die entsprechende Wärme zugeführt. Ist- und Soll-Wert des Heizwassers werden laufend verglichen und angepasst. Darüber ist die Beimisch-Regelung eine Kaskaden-Regelung mit zwei zusammenhängenden geschlossenen Wirkkreisen, in der die Forderungen nach GEG2020 §61 und §62 erfüllt werden. Ein Teil, die Raumtemperatur-Regelung (erste Kaskade) entspricht der GEG2020 §63, „Raumweise Regelung der Raumtemperatur“. Im zweiten Teil der Kaskaden-Regelung ist die Außentemperatur mit einbezogen. So kann auf eine zusätzliche zentrale Regelung nach GEG2020 §61 verzichtet werden.

Der Raumtemperaturfühler dient ausschließlich zur adaptiven Ermittlung der Raumheizlast in Abhängigkeit der Außentemperatur. Diese in bestimmten Zeitabständen ermittelten Raumtemperatur-Werte formen und überwachen eine Raum-Heizkennlinie. Eine zweite mögliche Raum-Kennlinie als Orientierungs-Kennlinie, auf Basis eines Festwertes zur Begrenzung der maximalen Vorlauftemperatur, die nicht überschritten werden soll, ist vorstellbar. Dieser 1. Teil der Kaskaden-Regelung vergleicht den Soll-Wert (Raum-Heizkurve) mit dem laufend gemessenen Ist-Wert (Raumfühler) und passt den Wert laufend zeitnah an. Das ist ein geschlossener Wirkkreis.

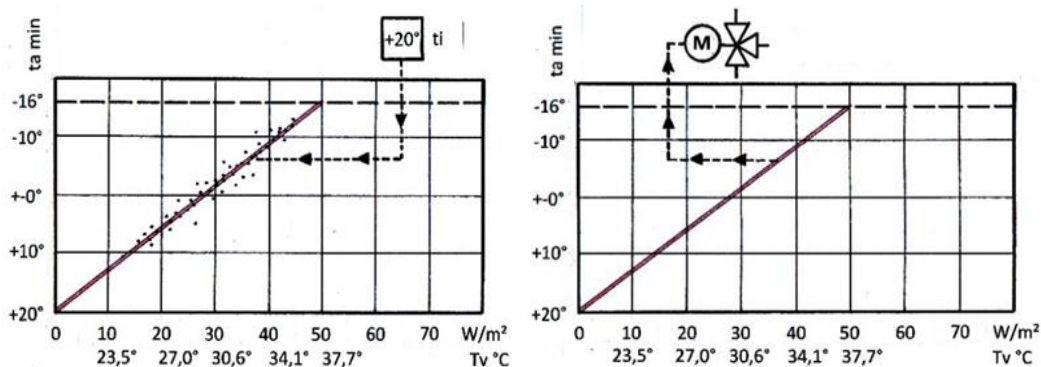


Abbildung 5-3: Raumfühler und Raumheizkurve, links: Raumfühler beeinflusst Heizkurve, rechts: Heizkurve beeinflusst Mischventil

Das Mischventil greift in Abhängigkeit der Außentemperatur auf die individuelle Raum-Heizkennlinie zurück und regelt laufend die individuelle Vorlauf-Temperatur für diesen Raum. Es steht in keiner direkten Verbindung zum Raumtemperaturfühler. Auch hier wird der Soll-Wert, die Vorlauf-Temperatur (Raumheizkurve) laufend in Abhängigkeit der Außentemperatur mit dem Ist-Wert, der nach dem Mischventil gemessenen Vorlauftemperatur verglichen und angepasst.

### 5.2.3 Trägheit

Die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen kann wegen der Trägheit des Bodens, genau wie die Drossel-Regelung, auf kurzfristige Fremdwärmeeinträge wie Sonneneinstrahlung nicht reagieren. Hier löst die, der Beimisch-Regelung eigenen „intelligenten Regelung“ das Problem. Durch prädiktive Störgrößen wird dem Fremdwärmeeintrag raum- und zeitbezogen begegnet.

Um der Trägheit zudem entgegenzuwirken, ermöglicht eine Boost-Funktion nach einem eingeschränkten Heizbetrieb eine raumweise Schnellaufheizfunktion. Das ist die Voraussetzung um den normalen Heizzustand (Komfort) in kürzester Zeit wieder herzustellen.

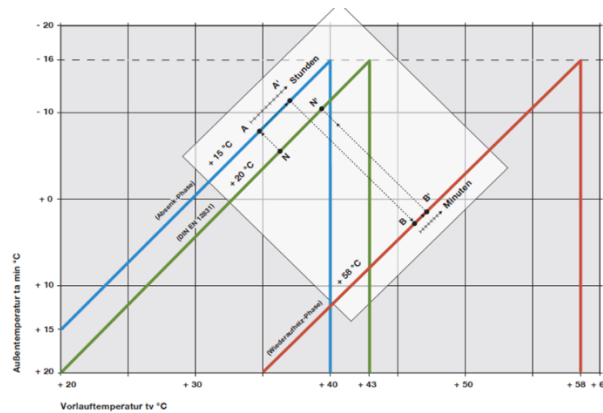


Abbildung 5-4: Boost-Funktion

#### 5.2.4 Über- und Unterversorgung

Die adaptive Bedarfsheizung verhindert die Überversorgung. Der Boden gibt nur die Wärme an den Raum ab, die der tatsächlichen Raumheizlast entspricht. Dadurch ergibt sich eine stetige Wärmezufuhr, ohne Aufheiz- und Absenk-Phasen während des regulären Heizbetriebs.

Alle bei der Berechnung, Auslegung und Einregulierung der Heizungsanlage angenommenen Werte und durchgeführten Arbeiten führen zwangsläufig zu extremen Fehlfunktionen, die aber bei einer Strahlungsheizung hauptsächlich die energievergeudende Überversorgung, beeinflussen.

Die künstliche Intelligenz der Beimisch-Regelung wird durch die ständige Ermittlung und Anpassung des Soll- und Ist-Wertes, diese externen Fehlerquellen beheben. Es entsteht keine Überversorgung.

#### 5.2.5 Wärmeverbrauchserfassung als Mittel zur Energieeinsparung:

Die für die exakten Verbrauchsmessung relevanten Werte sind die Heizwassermenge ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) und das Delta T (K) zwischen Vor- und Rücklauftemperatur. Diese Werte sind praktisch „Nebenprodukte“ der Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen. Das bedeutet, dass keinerlei Zähler- und Abrechnungskosten für die Verbrauchserfassung anfallen. Die Wärmeabgabe für jeden Raum (Heizkreis) wird separat gemessen und zur unterjährigen Verbrauchsinformation angeboten.

Das betrifft alle sanierten Gebäude mit einer Beimisch-Regelung, auch die Wohnungen, wo aus Platzgründen kein Zähler eingebaut werden konnte, alle Wohnungen mit Wohnungsstationen, in denen ursprünglich Brauchwasser und Heizung nur gemeinsam gemessen wurden, alle Wohnungen mit geringem Heizenergie-Verbrauch und auch das Einfamilienhaus, wo eine Heizkostenabrechnung nicht notwendig ist.

## 6 Thesen zur Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen

Die erläuterte Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen unterscheidet sich deutlich von dem bisherigen Regelungskonzept in Form einer Drossel-Regelung. Sie stellt eine innovative Lösung für zukünftige Regelungskonzepte für Fußbodenheizungen dar. Zur Verifizierung dieser Aussagen werden folgende Thesen aufgestellt die, basierend auf wissenschaftlichen Untersuchungen, Fakten und Normen, argumentativ belegt werden:

1. Die Fußbodenheizung mit raumweiser Beimisch-Regelung als Bedarfsheizung vermeidet energievergeudende Überversorgung:
  - a. Alle Räume können entsprechend ihrer spezifischen Heizlast ( $W/m^2$ ) beheizt werden.
  - b. Für die Umsetzung dieses Prinzips sorgt die Beimischung der Rück- und Vorläufe, in der die individuelle Vorlauftemperatur an die Raumheizlast angepasst wird.
  - c. Wärmeabgabe des Bodens entspricht der adaptiv ermittelten Raumheizlast.
2. Mit der Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen können in einem Raum mehrere Heizkreise mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen auch unterschiedliche geforderte Heizleistungen decken:
  - a. Alle Funktionen, wie Höhe der spezifischen Wärmeabgabe durch unterschiedliche Vorlauftemperatur, eingeschränkte Beheizung und prädiktive Regelung, können unabhängig voneinander in einem Raum geregelt werden.
3. Die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen ist raumweise für einen energiesparenden Absenkbetrieb mit Boost-Funktion geeignet:
  - a. Voraussetzung um den normalen Heizzustand (Komfort) in kürzester Zeit wieder herzustellen.
4. Sie erfüllt, entgegen der Drossel-Regelung alle Forderungen an eine „intelligente Regelung“:
  - a. Die Adaptive Anpassung der Raumheizlast ist Voraussetzung.
  - b. Alle einschlägigen Parameter des Raumes werden automatisch bei der Bedarfsermittlung berücksichtigt.
  - c. Prädiktive Störgrößen können raumweise geregelt werden. Bei z.B. Sonneneinstrahlung werden nicht alle Räume des Hauses gleichzeitig, gleichlang oder überhaupt beeinträchtigt.
5. Die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen ist konform mit den Anforderungen heute geltender Normen und Richtlinien:
  - a. Es handelt sich um eine Kaskaden-Regelung mit geschlossenem Wirkkreis entsprechend DIN 19226.
  - b. Es sind keine Berechnungen mehr erforderlich. Heizlast (DIN EN 12831) und Fußbodenheizungs-Auslegung (DIN 1264) entfallen.
6. Der Aufwand bei der Installation und Inbetriebnahme wird reduziert:
  - a. Bei der Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen sind keine Einregulierungen erforderlich.
  - b. Der hydraulische Abgleich und das Einstellen der Auslegungstemperatur an der zentralen Gebäudesteuerung entfällt.

7. Die Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen ist für energieeffiziente Bestandssanierungen geeignet:
  - a. Heizungsanlage muss nicht neu berechnet und einreguliert werden.
  - b. Abstände der einbetonierten Rohre sind unbedeutend.
  - c. Automatische Systemanpassung während des Lebenszyklus des Gebäudes (ca. 50 Jahre)
  - d. Sie ist nachhaltig und ressourcenschonend.
  
8. Die Automation kann mit intelligenten Methoden verknüpft werden und ist einfach umsetzbar:
  - a. Auf eine zentrale außentemperaturabhängige-Steuerung für das Gebäude nach GEG 2020 §61 kann verzichtet werden. Diese Steuerung ist in der raumweisen Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen enthalten.
  - b. Sie ist für raumweise prädiktive Regelung und Abwesenheitskennung geeignet.
  - c. Die Beimisch-Regelung als raumweise Kaskadenregelung mit der witterungsgeführten Stetig-Regelung reduziert die Trägheit des Systems erheblich.
  
9. Die Beimisch-Regelung ist für eine raumweise Verbrauchsmessung mit unterjährige Verbrauchsinformation geeignet. Die Verbrauchsmessung ist Bestandteil der Steuerung und verursacht keine Zusatzkosten:
  - a. Der Heizverbrauch wird raumweise ermittelt und der transparenten unterjährigen Verbraucherinformation zugeführt. Damit wird im Bestand, bei Gebäuden ohne Heizungs-Abrechnungspflicht und auch im Einfamilienhaus, die energiesparende unterjährige Verbrauchsinformation möglich.
  - b. Verbrauchswerte, welche in die Gebäudeautomation einfließen, können raumweise adaptiv ermittelt werden.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Bericht wurde untersucht, inwiefern die „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen“ die Vorgaben in Bezug auf disruptive Innovation, Energie-Effizienz, Nachhaltigkeit und Komfort erfüllen kann. Ein Betrachtungspunkt war dabei der wissenschaftliche Bezug und die Notwendigkeit für weitere Forschungsprojekte.

Zu Beginn wurden die verschiedenen Regelungssysteme im Stand der Technik für Heizkörper und Fußbodenheizungen dargestellt und analysiert. Vor- und Nachteile, sowie Unterschiede und Gemeinsamkeiten wurden aufgezeigt. Darauf aufbauend wurde das neue Regelungskonzept der „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen“ vorgestellt und ebenfalls analysiert. Ausgehend von der Analyse wurden Thesen aufgestellt, die in einem wissenschaftlichen Kontext gestellt werden. wurden.

Bei Betrachtung des neuen Regelungskonzeptes für Fußbodenheizung, die „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen“, wird deutlich, dass sie wesentliche Anforderung für eine neue innovative technische Lösung der bisherigen Regelung von Fußbodenheizung darstellt. Sie ändert das Prinzip der Fußbodenheizung von einer Angebotsheizung hin zu einer Bedarfsheizung. Die Energie-Effizienz, die Nachhaltigkeit und der Komfort können deutlich gesteigert werden. Der Einsatz von künstlicher Intelligenz ist vorhanden, innovativ und der Zeit angemessen. Darüber hinaus können externe Fehlerquellen reduziert und sowohl Zeit als auch Kosten eingespart werden. Alle Veränderungen während des Gebäudelebenszyklus, die die Raumheizlast betreffen werden von der Beimisch-Regelung automatisch erfasst. Sie erfüllt die Bedingungen, um auch im Bestand bereits enthaltende Fußbodenheizungen zu sanieren.

Das CENERGIE - Forschungsinstitut für energieeffiziente Gebäude und Quartiere der Hochschule München, stellvertretend Prof. Dr. Werner Jensch und M.Sc. Maximilian Günzel befürworten, basierend auf den theoretischen Grundlagen, das Regelungskonzept der „Beimisch-Regelung für Fußbodenheizungen“ als innovative und effiziente technische Lösung für die zukünftige Regelung von Fußbodenheizungen. Die dargestellten Ergebnisse, basieren bisher auf theoretischen Entwicklungen und Simulationsberechnungen.

Um darüber hinaus wissenschaftliche fundierte Aussagen treffen zu können, empfiehlt das CENERGIE weitere Untersuchungen in Form von verschiedenen Forschungsprojekten. In den Forschungsprojekten könnten Recherchen und laborpraktische Untersuchungen durchgeführt werden, um weitere wissenschaftlich-fundierte Nachweise erbringen zu können.

München, 28.02.2022

Prof. Dr. Jensch

M.Sc. Maximilian Günzel