

Endbericht

Energiemonitoring und Informations- austausch bei Geräten und Anlagen (Zählerstudie)

Projekt: BfEE 06-2017

Endbericht

Auftraggeber:

BAFA Susanne v. Horn

BMWi Thomas Hinsch

UBA Jens Schubert

Ansprechpartner:

Laurenz Hermann

Weitere Autor/innen:

Peter Hennig, Sebastian Metzger, Martin Köhrer; Larissa Pauser, Daniel Yanev

Prof. Andreas Homburg, Hochschule Fresenius

Prof. Matthias Knauff, Universität Jena

Berlin, den 04.04.2019

Inhalt

1	Zusammenfassung und Empfehlungen	5
2	Executive summary	9
3	Aufgabenstellung und Vorgehensweise.....	13
4	Rechercheergebnisse	16
4.1	Psychologische Wirkmechanismen	16
4.1.1	Fragestellung und Vorgehen	16
4.1.2	Ergebnisse zur Fragestellung „Hat Feedback zum Energieverbrauch einen positiven Effekt auf Energieeinsparungen in Privathaushalten und am Arbeitsplatz?“	16
4.1.3	Ergebnisse zur Fragestellung „Welche Faktoren führen dazu, dass Informationen bzw. Feedback starken Effekt auf Nutzer ausüben?“	17
4.1.4	Diskussion.....	20
4.2	Technik, Lösungen, Lösungsansätze (Kursorische Liste).....	21
4.3	Rechts- und Marktrahmen	23
4.3.1	Rechtlicher Rahmen.....	23
4.3.2	Marktwirtschaftlicher Rahmen	30
5	Handlungsempfehlungen: Mindestanforderungen	33
5.1	Technikausstattung	33
5.1.1	Übergeordnete Kriterien	33
5.1.2	Raumklimageräte bis 12 kW.....	35
5.1.3	Warmwasserbereiter	37
5.1.4	Raumheizgeräte.....	38
5.1.5	Festbrennstoffkessel	40
5.1.6	Einzelraumheizgeräte.....	40
5.1.7	Lüftungs- und Klimaanlage.....	41
5.1.8	Zusammenfassung.....	43
5.2	Zusammenstellung und Usability-Test von Gestaltungsvorschlägen für Nutzerfeedback zur Geräteeffizienz	46
5.2.1	Gestaltungsempfehlungen von visuellen Schnittstellen zur Kommunikation der Geräteeffizienz am Beispiel Raumheizgeräte.....	46
5.2.2	Erkundung der Nutzerfreundlichkeit der Gestaltungsempfehlungen im Rahmen einer Usability-Studie	49
5.3	Ordnungs- und Förderrecht.....	52
5.3.1	EU-Ökodesign.....	52
5.3.2	Förderung	52
5.3.3	Nationales Ordnungsrecht.....	55

5.3.4	Fahrplan für die Implementierung.....	55
6	Einzelthemen	57
6.1	Themenvorschläge für 7. Energieforschungsprogramm	57
6.2	Ökodesign-Papier	57
6.3	Entwurf Gebäudeenergiegesetz für Technikausstattung Lüftungsanlagen	57
6.4	Anforderungen an konventionelle Brennwertkessel hinsichtlich Anbindung Erneuerbarer-Energien-Anlagen.....	57
6.5	Effizienzmonitoring im Rahmen der HeizkostenV	58
7	Gesamtwirtschaftliche Einsparpotenziale	60
8	Übertragbarkeit auf andere Bereiche / Ausblick / weiterer Forschungsbedarf	64
9	LITERATURVERZEICHNIS	67
10	ANHANG.....	72
10.1	Liste der Techniken, Lösungen, Lösungsansätze (14 Seiten)	
10.2	Factsheet „Warmwasserbereiter“ (9 Seiten)	
10.3	Factsheet „Raumheizgeräte“ (10 Seiten)	
10.4	Factsheet „Festbrennstoffkessel“ (8 Seiten)	
10.5	Factsheet „Einzelraumheizgeräte“ (5 Seiten)	
10.6	Factsheet „Große Lüftungs- und Klimaanlage“ (12 Seiten)	
10.7	Factsheet „Mindestanforderungen an Visualisierung und Nutzerkommunikation“ (5 Seiten)	
10.8	Ökodesign-Papier (38 Seiten)	
10.9	Entwurf GEG Artikel zum Monitoring von Klimaanlage (2 Seiten)	
10.10	Papier „Anforderungen an konventionelle Brennwertkessel (EE-ready)“ (4 Seiten)	
10.11	Papier „Möglichkeiten Effizienzmonitoring im Rahmen der Heizkostenverordnung“ (8 Seiten)	

Abbildungen

Abbildung 1: Aufgabenstellung Projekt Energiemonitoring	14
Abbildung 2: Beispiel für bereits umgesetzte Effizienzanzeigen: Bild links: Anzeige Jahresarbeitszahl bei Wärmepumpen, Quelle sbz-online.de / Viessmann; rechts“ „Energieindikator“ (Quelle: Siemens)	15
Abbildung 3: Mikrothermische Gaszählermodule (Quelle Fa. Sensirion) erreichen MID-Genauigkeitsklasse 1,5 und sind nach EN 14236 für Erdgas, Typ H und L zertifiziert.	21
Abbildung 4: Clusterung der Technik, Lösungen, Lösungsansätze.....	21
Abbildung 5: Ins Gerät integrierte Solarertragsanzeige einer 6m ² Flachkollektor-Anlage nach 1,5 Jahren Solarthermie-Nutzung. Zu erwarten wäre ein Solarwerttrag von etwa 3.000 kWh (Quelle: co2online).....	35
Abbildung 6: In Steckdosenmessgeräte verbaute genaue Messtechnik ist preisgünstig und genau (Foto: Quelle Revolt)	36
Abbildung 7: Beispiel der farblichen und textlichen Informationen zu den vier Systemzuständen, die im Rahmen der Usability-Studie potenziellen Nutzern und Nutzerinnen vorgelegt wurden (hier wird nur „Ebene 1“ dargestellt. Auf der zweiten Ebene wurden %-Angaben zur Effizienz und ggf. zur Einschaltung eines Handwerkers gegeben)	50
Abbildung 8: Im Rahmen der Usability-Studie vorgelegtes Display (hier das Beispiel für den Systemzustand „Grün“).....	50
Abbildung 9: Ausschnitt Zusatzinformation mit Fokus Gebäudeeffizienz, erarbeitet im UBA-Projekt „Informativ und transparente Heizkostenabrechnung“	59
Abbildung 10: Einsparpotenziale durch Anpassung Förderprogramme und/oder Ökodesign, in PJ _{End}	61
Abbildung 11: Endenergiebedarfseinsparung (Strom und Wärme) durch verpflichtende Ausstattung großer Klimaanlage mit Stromzählern (Quelle: Offermann et al., 2018, S. 40)	63

Tabellen

Tabelle 1: Thesen zu Unterfragestellungen	20
Tabelle 2: Rahmenbedingungen für Energieeffizienz, Eingriffsmöglichkeiten	31
Tabelle 3: Übersicht der im Rahmen des Projekts definierten Anforderungen nach Geräteklassen und Geräten	45
Tabelle 4: Potentielle Gestaltungsfaktoren von Informationen bzw. Feedback aus Zählern und Messtechnik (Butz & Krüger, 2017; Karlin, Ford & Squiers, 2014; Vollrath, 2015)	47
Tabelle 5: Beispiele für Interviewfragen im Rahmen der Usability-Studie (diese Fragen würden jeweils zu allen vier Systemzuständen gestellt)	51
Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse.....	51
Tabelle 7: Anpassungsbedarf bestehender Förderprogramme für die Implementation der Mindestanforderungen	54
Tabelle 8: Fahrplan für die Implementierung der Mindestanforderungen	56

1 Zusammenfassung und Empfehlungen

Nach dem Einbau oder der Erneuerung von haustechnischen Geräten und Anlagen werden prognostizierte Verbrauchsminderungen oft nicht erreicht. Ursachen für diese Abweichungen sind sehr oft technischer und organisatorischer Natur und durch gute Planung (passende Dimensionierung sowie angemessene Berücksichtigung der Systemumgebung), energieoptimale Einstellung, regelmäßige Wartung und dem frühzeitigen Erkennen von Defekten erschließbar.

Durch ein Effizienzmonitoring (Effizienzüberwachung) von Geräten und Anlagen, z.B. bei Heizkesseln auf Basis des Jahresnutzungsgrades, können solche Abweichungen für den Nutzer oder Betreiber unmittelbar sichtbar gemacht und Maßnahmen zur Beseitigung der Mängel eingeleitet werden. Hierfür sind in den Produkten technische Vorkehrungen zu treffen und Schnittstellen zu integrieren. Dabei kann auf Daten, die für die Steuerung und Regelung der Produkte ohnehin erhoben werden, zurückgegriffen werden. Durch die kostengünstige Integration zusätzlicher Sensoren und eine Erweiterung der Rechenlogik der Regelung für die Datenverarbeitung können Verbrauchswerte generiert werden, die die Basis für Effizienzbewertungen (z.B. Output zu Input-Vergleich) bilden. Unter Zuhilfenahme von Referenzwerten ist ein klassifizierendes Effizienzmonitoring im Gerätedisplay möglich.

Ziel des Projektes war es, geräteseitige Mindestausstattungen (z.B. integrierte Gas- und Wärmezähler bei Gasheizkesseln) für Produkte zu definieren, die gleichzeitig wirtschaftlich sind. Adressiert wurden die Produktgruppen Klimageräte, Raumheizgeräte, Warmwasserbereiter, Festbrennstoffkessel, Einzelraumheizgeräte sowie Klima- und Lüftungsanlagen. Neben Vorgaben zum Effizienzmonitoring wurden auch Empfehlungen für ein Verbrauchsmonitoring sowie die Implementierung von Funktionskontrollen, Schnittstellen und energiesparende Regelungsmodi definiert. Für das Verbrauchsmonitoring kann überwiegend auf Daten zurückgegriffen werden, die bereits für das Effizienzmonitoring erhoben werden. Anforderungen an Funktionskontrollen beschränken sich überwiegend auf eine Datenvorhaltung (z.B. Messwerte von Sensoren, Zustände von Aktoren) für eine spätere Begutachtung.

Bei der Anzeige von maschinell erzeugten Feedbacktexten im Display an Nutzer bzw. Betreiber sind psychologische Wirkmechanismen zu beachten, damit das Feedback tatsächlich zu einem effizienten Betrieb bzw. Nutzerverhalten beiträgt. Im Rahmen des Projekts wurden Faktoren für ein erfolgreiches Feedback und prototypische Gestaltungsempfehlungen für eine Effizienzanzeige von Raumheizgeräten erarbeitet.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Geräte- und Lebenszykluskosten für notwendige Zusatzausstattungen im Rahmen von Marktrecherchen ermittelt. Diese Kosten wurden der mittleren Einsparung infolge der zu erwartenden Effizienzverbesserungen über den Lebenszyklus der Zusatzausstattungen gegenübergestellt.

Über eine Abschätzung der möglichen Einsparpotenziale für den Raumwärmeverbrauch von Wohn- und Nichtwohngebäuden, der die meisten Gerätegruppen inkludiert, sowie den Strom- und Wärmeverbrauch von Klima- und Lüftungsanlagen wurde eine Abschätzung der Verbrauchs- und Emissionsminderungen bis 2030 vorgenommen. Allein bei der Raumwärme wurde dabei in 2030 ein zusätzliches Einsparpotenzial von ca. 18 PJ Endenergie (vgl. Ab-

schnitt 7) identifiziert und zur Umsetzung durch die Aufnahme der Mindestanforderungen in die EU-Ökodesign-Richtlinie, nationale Förderprogramme oder alternativ nationale Gesetze (z.B. künftiges Gebäudeenergiegesetz - GEG) empfohlen.

Übergeordnete Ergebnisse

Status Quo: Vorhandene Effizienzprobleme von Geräten und Anlagen sind prinzipiell bekannt, wegen fehlender Messgeräteausrüstung aber in Ihrer Höhe nicht exakt quantifiziert. Eine systematische Aufdeckung und Hebung der bestehenden Effizienzpotenziale im Bestand erfolgt daher - auch im Rahmen von Geräteerneuerungen - nicht.

Ein Effizienzmonitoring von Geräten und Anlagen ist bisher auf Geräteebene nicht etabliert, obwohl es auf Teilmärkten (Integration von Strom- und Wärmezählern in Wärmepumpen als Anforderung des Marktanzreizprogramm) verpflichtend vorgeschrieben ist. In Entwicklung sind allenfalls Angebote für Energieeffizienzdienstleistungen, die solche Themen aufgreifen, z.B. adressiert im Rahmen des „Pilotprogramm Einsparzähler“.

Die Auftragnehmer schlagen, in enger Abstimmung mit den Auftraggebern, die Etablierung einer neuen Art permanenter Effizienzüberwachung durch in das Bediendisplay zu integrierende klassifizierende **Effizienzanzeigen** vor. Diese würden die aktuelle Effizienz des Geräts mit Referenzwerten verglichen und den Nutzern in verständlicher Art und Weise Abweichungen und Handlungsbedarf kommunizieren. Die Effizienzanzeigen sollten offline verfügbar sein und müssen, soweit das Gerät mit dem Internet verbunden ist, in die obersten Ebene der Bedien-App integriert werden.

Soweit bei Geräten und Anlagen die oben vorgeschlagene permanente Effizienzüberwachung technisch nur mit hohem Aufwand möglich und/oder nicht wirtschaftlich wäre, werden Vorstufen, insbesondere eine Datenvorhaltung von Messwerten für manuelle Funktionskontrollen, definiert. Diese ermöglichen eine nachträgliche Begutachtung der Effizienz im Rahmen von ohnehin stattfindenden Inspektionen und Wartungen. Künftig sollten Hersteller solche Funktionskontrollen im Rahmen ihrer Digitalisierungsstrategien automatisieren und für Effizienzanzeigen oder zur **Ursachendiagnose** einsetzen.

Empfehlungen

- **Einbindung der Gerätehersteller:** Hersteller und -verbände berufen sich immer noch allein auf die normative Effizienz Ihrer Geräte und Anlagen. Dies ist verständlich, da in Geräte integrierte Effizienzanzeigen, die überwiegend vor- oder nachgelagerte Effizienzprobleme oder Einbau- und Einstellungsfehler Dritter diagnostizieren, im ersten Schritt dem Gerätehersteller angelastet werden. Die Verweigerung eines Problembewusstseins hemmt jedoch die Entwicklung und Markteinführung von Effizienzkontrollen. In den aktuellen Digitalisierungskonzepten spielt die laufende Effizienzüberwachung von Geräten und Anlagen bisher kaum eine Rolle. Notwendig ist ein Wandel in der Herangehensweise hin zum verbrauchsbasierten Ansatz, der die gemessene Effizienz zum anerkannten Bewertungsmaßstab von Geräten und Anlagen macht. Effizienzkontrollen sind als Chance und Themenfeld der Digitalisierung zu begreifen, die Herstellern neue Geschäftsfelder erschließen. Eine aktive Mitwirkung der Hersteller am Prozess der Etablierung von Effizi-

enzanzeigen ist einzufordern. Dabei sollte die Integration von Effizienzkontrollen und -anzeigen in Geräten und Anlagen im Rahmen der Digitalisierung zum Standard werden.

- **Einbindung der Nutzerinnen und Nutzern:** Feedback hat einen positiven Effekt auf Energieeinsparungen. Damit dieser Effekt auch eintritt, ist es notwendig, Schnittstellen sorgfältig zu gestalten. Neben der Berücksichtigung von Erfolgsfaktoren der Mensch-Maschine-Interaktion ist es wichtig, (potenzielle) Nutzer bei der Produktentwicklung und Pretestung einzubeziehen, „relevantes“ Feedback leicht verständlich anzubieten sowie konkrete Handlungsanweisungen zu geben.
- **Ordnungsrechtlicher Rahmen:** Die verpflichtende Implementierung eines Effizienzmonitorings ist am einfachsten über Anforderungen an Neugeräte zu realisieren. Hierbei bietet es sich an, die Anforderungen im Rahmen des **EU-Ökodesign** zu integrieren, da die diesem zugrunde liegenden Richtlinien in regelmäßigen Perioden novelliert werden. Im Rahmen des Projekts wurde ein Papier erarbeitet (vgl. Abschnitt 6.2), das in den laufenden Prozess eingespeist wurde.
- Auf nationaler Ebene ist ein Einstieg über verpflichtende Anforderungen in **Förderprogrammen** sinnvoll. Schwerpunktmäßig wird effiziente Heiz- und Anlagentechnik aktuell im „Marktanreizprogramm“ (Wärmepumpen, Solarthermieanlagen und Holzheizkesseln) und in den KfW-Programmen „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ (Brennwertkessel) gefördert. Im Projekt wurden Textbausteine für die Anpassung der einschlägigen Programme erarbeitet (Abschnitt 5.3). Bis Ende 2019 sind die Mindestanforderungen in die neue „Förderstrategie Energieeffizienz und Wärme aus erneuerbaren Energien“ zu integrieren. Bei der Anpassung sind Übergangsfristen für die Hersteller zu berücksichtigen, da wegen des zusätzlichen Platzbedarfs für Zähler eine neue Gerätegeneration notwendig sein wird, um die Anforderungen zu erfüllen.
- Anforderungen an Geräte und Anlagen könnten auch **in nationales Ordnungsrecht** umgesetzt werden. Dabei bietet sich, soweit das Anliegen im Rahmen des EU-Ökodesigns nicht oder nur unzureichend zum Tragen kommt, das künftige Gebäudeenergiegesetz (GEG) an. Der verworfene erste Entwurf des GEG aus dem Jahre 2017 enthielt in § 38 bereits die Anforderung an eine Überwachung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen. Im Rahmen des Projekts wurde ein Paragraph für die Messtechnikausstattung von Lüftungs- und Klimaanlage entworfen (vgl. Abschnitt 6.3). Die EU-Richtlinie 2018/844 gibt für Nichtwohngebäude mit Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen größer 290 kW ab 2025, soweit wirtschaftlich vertretbar, eine Ausstattung mit Systemen zur Gebäudeautomatisierung und Steuerung vor. Aufgabe dieser Systeme ist insbesondere das in diesem Projekt beschriebene Effizienz- und Verbrauchsmonitoring. Die Mitgliedstaaten können diese Anforderung auf Wohngebäude ausdehnen. Somit besteht die Möglichkeit, dass die im Projekt beschriebenen Mindestanforderungen mindestens für große Neugeräte- und -anlagen bis spätestens 2025 verpflichtend in nationales Recht umgesetzt werden.
- Das **Effizienzmonitoring von Bestandsanlagen** wird durch Anforderungen an Neugeräte nicht abgedeckt. Eine einfache Möglichkeit dieses zu integrieren, bestünde darin, die

im Rahmen der Heizkostenabrechnung erhobenen Daten für ein solches Monitoring zu nutzen. Notwendig wäre dafür die verpflichtende Vorgabe eines zusätzlichen Wärmezählers für den Heiz- bzw. Kesselkreislauf. Ein solches Vorgehen würde ein flächendeckendes Effizienzmonitoring im vermieteten Gebäudebestand auf Jahresbasis, sowie bei Einführung unterjähriger Abrechnungen auch quartals- oder monatsweise, ermöglichen. Die Ergebnisse könnten Eigentümern, Verwaltern und Bewohnern im Rahmen einer „Zusatzinformation“ zugänglich gemacht zu machen. Hierzu wäre im ersten Schritt die gesetzliche Abstützung der HeizkostenV anzupassen, um übergeordnete Transparenzinformationen bzw. Energiespar- und Klimaschutzaspekte als Verordnungszweck zu ergänzen (vgl. Abschnitt 6.5).

- **Weiterführender Forschungsbedarf:** Im Projekt wurden Empfehlungen für eine einheitliche Bewertung der Effizienz von Geräten und Anlagen entwickelt, indem in drei Stufen zwischen guter, mäßiger und schlechter Effizienz differenziert wird (vgl. Abschnitt 5.2). Zu den Algorithmen von Effizienzanzeigen besteht weiterführender Forschungsbedarf. Dieser betrifft insbesondere die zu verwendenden Referenzwerte (z.B. für den optimal zu erwartenden Jahresnutzungsgrad) und die Parameter, die diese beeinflussen. Wie beeinflussen Gerätetyp, Anlagenkonfiguration sowie der Zustand der vor- bzw. nachgelagerten Anlage und weitere Einflüsse die Referenzwerte (vgl. Abschnitt 6.1)? Solche offenen Fragen dürfen nicht dazu führen, die Einführung von Effizienzanzeigen zu verzögern. Softwareupdates der Gerätesteuerung oder bei Internetanbindung der Bedien-App können genutzt werden, um die Genauigkeit und Aussagefähigkeit von Effizienzanzeigen nachträglich anzupassen.

2 Executive summary

After installing or renewing building services equipment and systems, predicted reductions in consumption are often not achieved. The reasons for these deviations are very often of a technical and organisational nature, and can be determined by good planning (appropriate dimensioning and suitable consideration of the system environment), energy-optimal adjustment, regular maintenance and early detection of defects.

Efficiency monitoring of appliances and systems, for example based on the annual fuel utilisation efficiency in the case of boilers, can make such deviations immediately visible to users or operators and enables measures to be initiated to eliminate the defects. To this end, technical precautions must be taken in the products and interfaces integrated. Data that is collected anyway for controlling and regulating the products can be used for this purpose. By cost-effectively integrating additional sensors and extending the calculation logic of the control system for data processing, consumption values can be generated which form the basis for efficiency evaluations (e.g. output to input comparison). With the aid of reference values, it is possible to provide classifying efficiency monitoring in the appliance display.

The aim of the project was to define minimum equipment for appliances (e.g. integrated gas and heat meters for gas boilers) that are economical at the same time. The product groups addressed were air conditioning units, room heaters, water heaters, solid fuel boilers, individual room heaters as well as air conditioning and ventilation systems. In addition to efficiency monitoring requirements, recommendations for consumption monitoring and implementing functional checks, interfaces and energy-saving control modes were also defined. The consumption monitoring can predominantly use data that has already been collected for efficiency monitoring. Requirements for functional checks are mainly limited to the retention of data (e.g. measured values from sensors, states of actuators) for later assessment.

When automatically generated feedback texts are displayed to users or operators, psychological mechanisms must be taken into account so that the feedback actually contributes to efficient operation or user behaviour. Factors for providing successful feedback and prototypical design recommendations for efficiency indicators for room heaters were developed as part of the project.

For the economic efficiency analysis, the appliance and lifecycle costs for necessary additional equipment were determined as part of the market research. These costs were compared with the average savings resulting from the expected improvements in efficiency over the lifecycle of the additional equipment.

An estimation of the possible savings potential for the space heating consumption of residential and non-residential buildings, which includes most appliance groups, as well as the electricity and heat consumption of air conditioning and ventilation systems was used to estimate the reductions in consumption and emissions by 2030. For space heating alone, an additional savings potential of approximately 18 PJ final energy (see Section 7) was identified in 2030 and recommended for implementation by including the minimum requirements in the EU Eco-design Directive, national subsidy programmes or alternative national laws (e.g. Germany's future Building Energy Act – GEG).

Superordinate results

Status quo: Existing efficiency problems with appliances and systems are known in principle, but have not been precisely quantified owing to a lack of measuring equipment. There has therefore been no systematic detection and leveraging of the existing efficiency potential of existing appliances – including when renewing equipment.

Efficiency monitoring of appliances and systems has not yet been established at the appliance level, although it is mandatory in some sub-markets (integration of electricity and heat meters in heat pumps as a requirement of the market incentive programme). At most, energy efficiency services that address such issues are being developed, for example as part of the “Energy Saving Meters Pilot Programme”.

In close coordination with the clients, the contractors propose establishing a new type of permanent efficiency monitoring using classifying **efficiency indicators** to be integrated into the operator display. These would compare the current efficiency of the appliance with reference values and communicate deviations and need for action to the users in an understandable manner. The efficiency indicators should be available offline and, if the appliance is connected to the Internet, must be integrated into the top level of the operating app.

Insofar as the permanent efficiency monitoring proposed above for appliances and systems would only be technically possible at great expense and/or would not be economical, preliminary stages are defined, in particular the data retention of measured values for manual functional checks. These enable the efficiency to be subsequently assessed as part of inspections and maintenance that are already carried out. In the future, manufacturers should automate such functional checks as part of their digitalisation strategies and use them for efficiency indicators or for **cause diagnosis**.

Recommendations

- **Involving appliance manufacturers:** Manufacturers and associations still refer solely to the normative efficiency of their appliances and systems. This is understandable, since efficiency indicators integrated in appliances predominantly diagnose upstream or downstream efficiency problems, or installation and setting errors by third parties, which are then initially blamed on the appliance manufacturer. The lack of awareness or refusal to acknowledge the problem is inhibiting, however, the development and market introduction of efficiency controls. In the current digitalisation concepts, the ongoing efficiency monitoring of appliances and systems has so far hardly played a role. What is needed is a change in approach towards a consumption-based approach that makes measured efficiency the recognised benchmark for assessing appliances and systems. Efficiency controls should be seen as an opportunity and a digitalisation topic that will open up new areas of business for manufacturers. Manufacturers should be actively involved in the process of establishing efficiency indicators. The integration of efficiency controls and indicators in appliances and systems should become standard as part of digitalisation.
- **Involving users:** Feedback has a positive effect on energy savings. In order for this effect to occur, it is necessary to carefully design interfaces. In addition to considering the success factors of human-machine interaction, it is important to involve (potential) users

in the product development and pre-testing, offer “relevant” feedback in an easily understandable way and give concrete instructions for action.

- **Regulatory framework:** The easiest way to implement efficiency monitoring in an obligatory manner is to provide requirements for new appliances. It makes sense to integrate the requirements within the framework of the **EU’s Ecodesign Directive**, as the underlying guidelines are amended at regular intervals. As part of the project, a paper was prepared (see Section 6.2), which was fed into the ongoing process.
- At the national level, it makes sense to introduce mandatory requirements in **funding programmes**. Efficient heating and system technology is currently mostly promoted in the “Market Incentive Programme” (heat pumps, solar thermal systems and wood-fired boilers) and in the KfW’s “Energy Efficient Building and Renovation” (condensing boilers) programmes. Text modules for adapting the relevant programmes were developed in the project (Section 5.3). The minimum requirements must be integrated into the new “Funding Strategy for Energy Efficiency and Heat from Renewable Energies” by the end of 2019. Transition periods for manufacturers must be taken into account when making adjustments, as the additional space required for meters will necessitate a new generation of appliances to meet the requirements.
- Requirements for appliances and systems could also be transposed **into national regulatory law**. The future Building Energy Act (Gebäudeenergiegesetz, GEG) would be an appropriate solution to the extent that the issue is not or is only insufficiently taken into account within the EU’s Ecodesign Directive. Section 38 of the rejected first draft of the GEG Act from 2017 already contained the requirement for monitoring the annual performance factor of heat pumps. As part of the project, a paragraph was drafted for equipping ventilation and air-conditioning systems with measurement technology (see Section 6.3).

EU Directive 2018/844 stipulates that, from 2025 onwards, non-residential buildings with heating, air-conditioning and ventilation systems greater than 290 kW must be equipped with building automation and control systems as far as this is economically justifiable. The main task of these systems is to monitor efficiency and consumption as described in this project. Member States may extend this requirement to residential buildings. This makes it possible for the minimum requirements described in the project to be bindingly implemented in national law by 2025 at the latest, at least for large new appliances and systems.

- The **efficiency monitoring of existing systems** is not covered by requirements for new appliances. A simple way of integrating this would be to use the data collected for billing heating costs for such monitoring. This would require the mandatory specification of an additional heat meter for the heating or boiler circuit. Such a procedure would allow comprehensive efficiency monitoring of the rented building stock on an annual basis, as well as quarterly or monthly monitoring in the case of interim invoicing. The results could be made available to owners, administrators and residents as “supplementary information”. To this end, the first step would be to adapt the statutory support for the Heating Costs

Ordinance in order to supplement superordinate transparency information or energy-saving and climate protection aspects as purposes of the ordinance (see Section 6.5).

- **Further research needs:** The project developed recommendations for uniformly assessing the efficiency of appliances and systems by differentiating between good, moderate and poor efficiency in three stages (see Section 5.2). The algorithms for efficiency indicators require further research. In particular, this concerns the reference values being used (for example for the optimal expected annual fuel utilisation efficiency) and the parameters that influence them. How do the appliance type, system configuration, condition of the upstream or downstream systems and other influences impact on the reference values (see Section 6.1)? Such open questions must not delay the introduction of efficiency indicators. Software updates for the appliance control systems or when connecting the operating app to the Internet can be used to subsequently adjust the accuracy and meaningfulness of efficiency indicators.

3 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die Projekt BfEE 06/2017 „Energiemonitoring und Informationsaustausch“ verfolgt das Ziel, zusätzliche Emissionsminderungspotenziale bis 2030 beim Strom- und Wärmeverbrauch in Gebäuden durch Effizienzsteigerungen beim Betrieb von gebäudetechnischen Geräten und Anlagen bzw. bei deren Nutzung aufzudecken und Handlungsempfehlungen zu geben, wie diese erschlossen werden können (Abbildung 1).

Im ersten Schritt erfolgte eine Technikrecherche auf Lösungs- bzw. Lösungsansatzebene, die Darstellung des europäischen und nationalen rechtlichen Rahmens, des Marktumfelds sowie der Bundes- und Landesförderprogramme. Ferner waren die psychologischen Wirkmechanismen („Faktor Mensch“) zu untersuchen, die ein aktives Mitwirken bei der Erschließung von Effizienzsteigerungspotenzialen ermöglichen oder fördern.

Ausgehend von den Ergebnissen der Technikrecherche fokussierte sich das Projekt im weiteren Verlauf auf die Definition von Mindestanforderungen an Geräte und Anlagen hinsichtlich eines Effizienz- und Verbrauchsmonitoring und den damit verbundenen Zusatzausstattungen (z.B. Integration von Zählern, Erweiterung des Funktionsumfangs von Steuerungen). Hierbei orientierten sich die Auftragnehmer an den Produktgruppen nach EU-Ökodesign:

- Klimaanlage bis 12 kW
- Raumheizgeräte
- Warmwasserbereiter
- Einzelraumheizgeräte
- Festbrennstoffkessel und
- Klima- und Lüftungsanlagen.

Bei der Darstellung der Klima- und Lüftungsanlagen wurde auf Ergebnisse des Projekts BfEE 03/2016 „Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050“¹ sowie auf Vorschläge des RLT-Herstellerverbands² zurückgegriffen.

¹ Offermann, M. Schiller, H. & Mai, R. (2018). Vorschlag für Ökodesign-Anforderungen an die Betriebsüberwachung von Klima/Lüftungsanlagen, erstellt im Rahmen des Forschungsvorhaben BfEE 03/2016 „Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050“. (unveröffentlicht)

² Herstellerverband RLT-Geräte e. V. (2018). Mindestausstattung von RLT-Anlagen mit Sensorik zur Erfassung / Bewertung der Energieeffizienz. (unveröffentlicht)

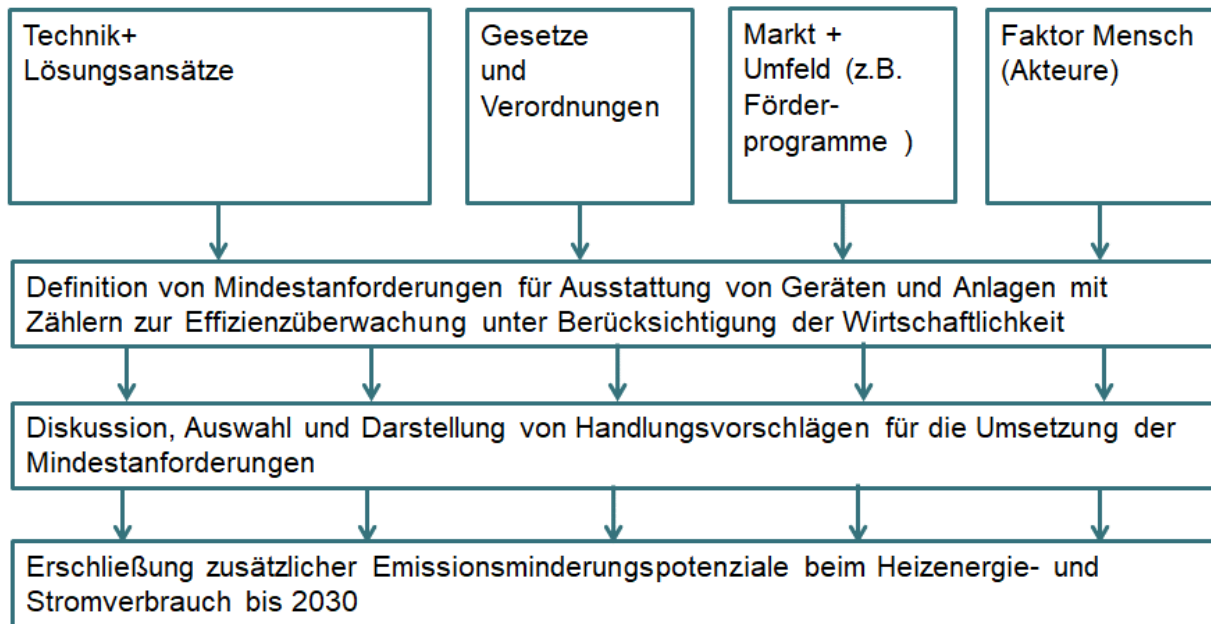


Abbildung 1: Aufgabenstellung Projekt Energiemonitoring

Bei der Definition der Mindestanforderungen wurden Wirtschaftlichkeitsaspekte berücksichtigt, indem die mit der Einführung verbundenen Zusatzkosten im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung den Einsparpotenzialen gegenübergestellt wurden. Hierbei wurde auf mittlere europäische Energiepreise abgestellt. Im Ergebnis entstand das in Abschnitt 5.3.1 und im Anhang 10.8 dargestellte Papier für einen deutschen Vorschlag, das Thema „Mindestanforderungen an die Überwachung der Energieeffizienz“ in den Ökodesign-Prozess einzubeziehen.

Parallel dazu wurde für die Auswahl der für Deutschland relevanten Geräte und Anlagen eine Abschätzung der Verbrauchs- und Emissionsminderungen bis und in 2030 vorgenommen. Dabei wurden notwendige Zeiträume, bis die Mindestanforderungen in EU-Richtlinien zum Ökodesign, Förderprogramme oder alternativ nationale Gesetze (z.B. künftiges Gebäudeenergiegesetz - GEG) implementiert werden, berücksichtigt.

Für die künftig in die Produkte zu integrierenden Effizienzanzeigen (vgl. Abbildung 2) wurden Mindestanforderungen an die Nutzerkommunikation exemplarisch für die Produktgruppe Raumheizgeräte entwickelt.

Die Projektergebnisse wurden nach Produktgruppen in Factsheets aufbereitet, die sich im Anhang 10.2 bis 10.7 befinden. In den Factsheets befinden sich exemplarische Formulierungsvorschläge, wie erarbeitete Anforderungen in bestehende Förderprogramme integriert werden können.



Abbildung 2: Beispiel für bereits umgesetzte Effizienzanzeigen: Bild links: Anzeige Jahresarbeitszahl bei Wärmepumpen, Quelle sbz-online.de / Viessmann; rechts: „Energieindikator“³ (Quelle: Siemens)

³ Mit dem »Energieindikator« von Siemens Building Technologies können Raumnutzer und Anlagenbetreiber ungünstige Einstellungen ihrer Anlagen in Bezug auf den Energieverbrauch sehr schnell erkennen, vgl. <http://www.elektro.net/8087/effizienzanzeige-fuer-raumnutzer-und-betreiber/>

4 Rechercheergebnisse

4.1 Psychologische Wirkmechanismen

4.1.1 Fragestellung und Vorgehen

Damit intelligente Geräte, Messtechniken und Zähler einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz leisten können, müssen sie effektiv mit Nutzerinnen und Nutzern kommunizieren (s. etwa Karlin et al., 2017). Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen von Literaturreviews zwei Leitfragen nachgegangen:

(1) Hat Feedback zum Energieverbrauch einen positiven Effekt auf Energieeinsparungen in Privathaushalten und am Arbeitsplatz?

(2) Welche Faktoren führen dazu, dass Informationen bzw. Feedback aus Zählern und intelligenter Messtechnik einen möglichst starken Effekt auf Nutzer ausüben, so dass diese über ihr Verhalten dazu beitragen, Energie zu sparen oder Energie effizient zu verwenden?

Für das Review wurde Literatur zu potenziell relevanten Forschungsfeldern (z.B. Informations- und Feedbacknutzung, Smart-Meter-Nutzung, Human-Computer Interaction, Technikakzeptanz) gesichtet. Zudem wurden Paper online in verschiedenen Datenbanken (z.B. SoWiPort, Psychinfo, Psychindex, google scholar) recherchiert⁴. Priorisiert (nach Evidenzniveau) wurde wie folgt: (1) Meta-Analysen zum Forschungsfeld, (2) qualitative Reviews/neue empirische Studien zum Forschungsfeld, (3) neuere theoriebasierte Papiere zum Forschungsfeld, sowie (4) Erfahrungswissen, theoriegeleitete Anregungen etc.. Nach der Prüfung der Fundstellen erfolgte die Auswertung der Studien in drei Schritten: (1) Analyse einzelner Studien in Bezug auf relevante Einflussfaktoren, (2) Aggregation/Clusterung der Einflussfaktoren zu „Erfolgsfaktoren“ (meist über mehrere Studien hinweg); wenn möglich wird auch die Stärke des Einflusses dargelegt. (3) Vorstellung der aggregierten Erfolgsfaktoren (s. Folgekapitel).

4.1.2 Ergebnisse zur Fragestellung „Hat Feedback zum Energieverbrauch einen positiven Effekt auf Energieeinsparungen in Privathaushalten und am Arbeitsplatz?“

Feedback hat einen Effekt auf Energieeinsparungen in Privathaushalten und am Arbeitsplatz. Der Effekt ist als mittlerer bis kleiner Effekt zu qualifizieren, dies zeigt sich besonders in den hochwertigen Meta-Analysen: Karlin et al. (2015) berichten ausgehend von 42 in ihrer Meta-Analyse einbezogenen Feedback-Studien, die private Haushalte untersuchen und zwischen 1976 und 2010 veröffentlicht wurden, einen kleinen Effekt:

$$r \text{ (bivariater Korrelationskoeffizient)} = .071 \text{ p (Signifikanzniveau) } < .001$$

Die Meta-Analyse von Delmas et al. (2013, s. dort Tabelle 1) zeigt auf der Grundlage von Studien aus den Jahren 1975 bis 2012 auch zu Haushalten in eine ähnliche Richtung (Abnahme des Energieverbrauchs durch Feedback-Interventionen = -8.5%). Ehrhardt-Martinez et al. (2010) berichten auf der Basis von 61 Primärstudien die 1974 und 2010 über ein „Meta-Review“ analysiert werden einen Einspareffekt von 4-12% (ebenfalls in privaten Haushalten). Serrenho et al. (2015) zeigen in ihrer Zusammenfassung von 118 Feedbackanwendungen

⁴ Keywords z.B.: Ambient visualization, building energy monitoring, conservation, eco feedback, electricity consumption, environmental energy feedback, feedback, feedback intervention theory, feedback visualization.

Effekte zwischen ca. -3% und +20 %. Studien (Carrico & Riemer, 2011; Chen et al., 2012; Murtagh et al., 2013; Siero et al., 1996; Zierler et al., 2017) zeigen auch Einspareffekte am Arbeitsplatz. Die Befunde liegen unter den Einsparergebnissen privater Haushalte. Dies ist zu erwarten, da Mitarbeiter ggf. weniger Einfluss auf Unternehmensverbräuche haben und keine direkten Kostenvorteile durch das Einsparen entstehen (Bedwell et al., 2014). Beide oben angeführten Meta-Analysen zeigen weitergehend, dass die Einspareffekte stark variieren. So zeigen z.B. 12% der von Karlin et al. (2015) analysierten Studien, dass Feedback zu einem Anstieg des Energieverbrauchs führen kann. Diese Befundlage deutet (ähnlich wie bei der Befundlagen zu Feedback ganz generell, s. Kluger & DeNisi, 1996) darauf hin, dass bestimmte Variablen (Moderatoren) dazu führen, dass Feedback entgegen den Erwartungen, gering oder sehr stark in die erwartete Richtung wirkt. Einige dieser Moderatoren werden im Folgekapitel aufgegriffen.

4.1.3 Ergebnisse zur Fragestellung „Welche Faktoren führen dazu, dass Informationen bzw. Feedback starken Effekt auf Nutzer ausüben?“

Aus den gesichteten Befunden wurden 13 Erfolgsfaktoren (EF) für die Wirkung von Feedback und Informationen aus Zählern und Messtechnik herausgearbeitet. Diese umfassen die Phasen der Produktentwicklung und -testung (1-4), der Markteinführung (5-7), die grundlegende Architektur (8) und die Detailgestaltung (9-13):

EF 1: Information und Feedback sind kein Selbstzweck: Einbindung von Nutzern nur da, wo auch Bedarf besteht - und wo möglich optional - anbieten. Der Bedarf für die Einbindung von Nutzern in das Thema Energiesparen bzw. Energieeffizienz über (technikbasierte) Informationen ist kritisch zu hinterfragen („Einbindung ist kein Selbstzweck“, Stichwort „Need Assessment“, Rossi et al., 2004). Bedarf kann bestehen, wenn die Einbindung für Nutzer einen Mehrwert bietet (etwa „mündiger“ oder wissender werden, Kontrolle ausüben zu können, Kosten zu reduzieren, *empowerment*) oder wenn durch die Einbindung dieser Zielgruppe Energiesparen überhaupt erst möglich wird (Kontrolle von Anlagen, Steuern von Anlagen).

EF 2: Der Umgang mit digitalen Informationen und Feedback ist „Arbeit“ (Arbeit 4.0) und sollte entsprechend als Arbeitstätigkeit gut gestaltet werden. Eine wichtige Option, die Arbeit mit digitalen Informationen und Feedback menschengerecht(er) zu gestalten, ist auf die Umsetzung zentraler arbeitspsychologischer Kriterien für die Gestaltung humaner Arbeit zu achten (Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Beeinträchtigungsfreiheit, Persönlichkeitsförderlichkeit, Hacker & Richter, 1980; s.a. Diebig et al., 2018).

EF 3: Aus der Forschung zu erfolgreicher Mensch-Maschine-Interaktion lernen: Schnittstellen nutzerfreundlich gestalten. In den letzten Jahrzehnten wurden für die Gestaltung von Benutzerschnittstellen Prinzipien benannt, die zu einer erfolgreichen (z.B.: effizienten) Interaktion von Mensch und Computer beitragen (s.a. DIN EN ISO 9241-210, 2011). Diese gilt es aufzugreifen.

EF 4: Entwickler allein kommen nicht weit: Anzustreben ist die Partizipation der (potenziellen) Nutzer bei Produktentwicklung und Pretestung (Wirkevaluation) der Technologie. Die Entwicklung neuer Technologien – auch im Bereich Energieeffizienz – ist ohne die Einbeziehung der potenziellen Nutzer (Handwerker, technisches Personal, Bewohner...) wenig erfolgsversprechend. Eine intensive Partizipation der Anwender erhöht u.a. die Wahrscheinlichkeit, dass das entwickelte Produkt die Akzeptanz der Nutzer genießt, weil Nutzer ihren eigenen Einfluss wahrnehmen, eigene Präferenzen einbringen und als Experten für ihre Tä-

tigkeit angesprochen werden. Zudem werden etwa innovative Lösungen oder eine höhere Aufgabenangemessenheit wahrscheinlicher (Karlin et al. 2017; König, 2012).

EF 5 Die Einführung neuer Technologien braucht eine systematische, zielgruppen-angepasste Begleitkampagne. Technik spricht nicht „für sich“, sie muss (auch nach einer partizipativen Entwicklung) breit vermittelt werden.

EF 6: Investitionen (primär von Hausbesitzern) in grüne Technologien brauchen finanzielle Förderung. Zur Frage, warum Geld in „grüne Technologien“ investiert wird, zeigt sich, dass folgende Variablen Investitionen fördern: (1) Strukturelle Variablen (Höhe des Haushaltseinkommens, junge Männer mit hohem Einkommen und Bildung sowie hohem technologischen Einsparpotenzial haben die höchste Neigung zur Annahme/Übernahme der neuen Technologie), (2) Merkmale der Technologie/des Produkts (niedrige Investitionskosten/finanzielle Förderung, hohes CO₂-Einsparpotenzial, verlängerte Garantielaufzeit, zuverlässige Funktionsweise; die Befundlage zur Relevanz eines hohen Kosten-Einsparpotenzials ist widersprüchlich), (3) Persönlichkeitsmerkmale (subjektives Wissen zum Thema, erwartete positive Konsequenzen, hedonistische Motive – gerade beim Heizen; Kastner & Matthies, 2016; Kastner & Stern, 2015).

EF 7: Akzeptiert werden intelligente Technologien eher, wenn sie als einfach zu bedienen und nützlich wahrgenommen werden. Es zeigt sich in ersten Befunden, dass die Akzeptanz von Smart Metern davon abhängt, inwieweit diese Technologie durch potenzielle Nutzer als nützlich (unterstützt effizientere Stromnutzung) und einfach in der Nutzung (leicht zu erlernen, Nutzung bedarf keiner Anstrengung) wahrgenommen wird (Toft et al., 2014).

EF 8: Eine stufenspezifische Gestaltung der Informationen (one size doesn't fit all) ist erfolgsentscheidend: Zielintention, Verhaltensintention und Implementationsintention aufbauen. Zur Gabe von „passenden“ Informationen aufgrund von Nutzermerkmalen erscheint der Ansatz „Unentschlossene“, „Grundsätzlich Motivierte“, „Konkret Motivierte“ und „Schon Aktive“ Feedbacknutzer differenziert anzusprechen sehr erfolgversprechend (Bamberg, 2013; Nacheiner et al., 2015).

EF 9: Lern- und Erlebnisumwelten schaffen: Positive Emotionen helfen, Gamification kann helfen. Die Wirkung von umweltschutz- und energiebezogenen Informationen steigt, wenn das Informationsangebot bzw. die Informationsbearbeitung mit positiven Emotionen (Spaß, Begeisterung, Flow-Erleben) verbunden sind (s. etwa Gaus & Müller, 2013).

EF 10: Feedback wirkt (nur) dann, wenn es auf eine für den Nutzer relevante Abweichung hinweist. Feedback-Anlässe schaffen! Nur wenn das Feedback über eine Abweichung vom IST- zum SOLL-Zustand informiert, die für den Nutzer auch relevant ist, wird er sein Verhalten ändern (Gölz, 2017; Kluger & DeNisi, 1996). Ein Ansatz könnte sein, Feedback anlassbezogen (nicht zeitbezogen) zur Verfügung zu stellen. Solche (eher selbst-relevanten) Anlässe könnten etwa unerwartete Mehrverbräuche aufgrund von technischen Störungen/Fehlern oder unüblichem Nutzerverhalten sein.

EF 11: Direktes, gerätespezifisches Feedback ist (vermutlich) besser als indirektes und unspezifisches Feedback. Zur Art des Feedbacks deuten die Befunde darauf hin, das zeitnahe, gerätespezifische, in das Gerät „eingebettetes“ Feedback besonders wirksam ist (s. etwa Armel et al., 2013; Ehrhardt-Martinez et al., 2010; Tiefenbeck et al., 2017).

EF 12: Welche Messdaten rückmelden? Fallbezogen entscheiden, Nutzer integrieren, nutzerfreundliche Gestaltung sicherstellen. Die Frage, welche „Fakten“ „gesendet“ werden sollten (Verbrauch, Wirkungsgrad, (gesparte) Kosten, (reduzierter) CO₂-Ausstoß, Temperatur etc.) ist komplex und kann nicht umfassend evidenzbasiert beantwortet werden.

EF 13: Wie sollte die Rückmeldung aufbereitet werden? Fallbezogen entscheiden, Nutzer integrieren, nutzerfreundliche Gestaltung sicherstellen. Für die Praxis ist auch hier der Vorschlag, die Visualisierung zurückzumeldender Messdaten in (a) Vorstudien auf ihre Zielgruppenpassung und Wirksamkeit hin zu prüfen und (b) eine Individualisierung der Anzeigen in Bezug auf ihre eigene Nutzerpassung hin zu ermöglichen.

Ausgehend von diesen Erfolgsfaktoren können weitere Unterfragestellungen des Projektes thesenartig beantwortet werden (s. Tabelle 1).

Unterfragestellung	Antworten
Welche Informationsanreize führen zu einer Steigerung der tatsächlichen Energieeffizienz oder einer Senkung des Energieverbrauchs?	Um über <i>Informationsanreize</i> Verhalten zu fördern, dass zu Energieeffizienz und zur Senkung des Energieverbrauchs beiträgt, sind besonders folgende Erfolgsfaktoren wichtig (EF 8, 10, 11, 13): <ul style="list-style-type: none"> • Zielgruppenangepasste Gestaltung der Information (Motive, Werte der Nutzer berücksichtigen) • Feedback muss subjektiv relevante Informationen umfassen • Feedback sollte zeitnah, gerätespezifisch erfolgen und mit korrigierenden Informationen versehen sein.
Wie müssen Informationen aufbereitet sein (z. B. Klassifizierung, Anwendung spieltypischer Elemente / „Gamification“), um größtmögliche Effizienzsteigerung bzw. Energieeinsparwirkung zu entfalten? Welche Ansätze hierzu gibt es (die ggf. aus anderen Bereichen übertragbar sind)?	Damit Informationen <i>wirksam aufbereitet</i> sind, sollten folgende Erfolgsfaktoren berücksichtigt werden (EF 4, 8, 9, 12): <ul style="list-style-type: none"> • Potenzielle Nutzer schon bei der Produktentwicklung zu Rate ziehen • Zielgruppenangepasste Gestaltung (ist davon auszugehen, dass Nutzer motiviert sind die Informationen zu sichten, dann umfangreiche Aufbereitung, sonst sehr knappe/einfache Aufbereitung) • Für Nutzer positive Nutzungserfahrungen ermöglichen (Spaß, Überraschung, Flow) • Auch Gamification ist einsetzbar, sie ist in der Entwicklung aber aufwendig, damit nicht nur Ablenkung entsteht und ein langfristiger Lernprozess ermöglicht wird • Grundsätzlich gilt: Aufmerksamkeit muss durch die Gestaltung geweckt werden, sie darf nicht durch die „Erlebnissgestaltung“ von der eigentlichen Aufgabe abgezogen werden • Vorsicht bei der Rückmeldung von Geld-Beträgen (Einsparerfolge etc.), dies kann zum Anstieg des Energieverbrauchs führen
Wie müssen die Nutzer und Betreiber eingebunden werden – also aktiv mitwirken oder passiv informiert werden?	Die Einbindung der Nutzer ist zentral und gestaltet sich in der Entwicklungsphase anders als in der Nutzungsphase (EF 2, 3, 4, 1, 8, 12): <ul style="list-style-type: none"> • In der Produktentwicklung auf jeden Fall (potenzielle) Nutzer einbeziehen, um (a) eine nutzerfreundliche Gestaltung zu erleichtern und (b) die Arbeit mit der Technologie human zu gestalten. • In der Nutzungsphase Einbeziehung nur da, wo es für Nutzer oder Anlage einen Mehrwert schafft • Bei der Einbeziehung immer darauf achten „one size doesn't fit all“, Informationen, Rückmeldungen etc. also an die Ziele der Nutzer anpassen

Unterfragestellung	Antworten
Unter welchen Voraussetzungen erlangen die Informationsmechanismen bei den relevanten Zielgruppen Akzeptanz? Was sind hierfür die Voraussetzungen und wo liegen die Grenzen?	<p><i>Die Akzeptanz</i> der Informationstechnologien wird wahrscheinlicher, wenn (EF 5, 6, 7, 8, 9) folgende Faktoren berücksichtigt werden:</p> <ul style="list-style-type: none">• Die Einführung der neuen Technologie sollte über eine zielgruppenangepasste Kampagne begleitet werden• Die finanzielle Förderung von (zusätzlichen) Investitionen kann sehr hilfreich sein• Wenn neue Technologien als leicht zu bedienen und nützlich wahrgenommen werden, werden Sie eher akzeptiert• Die Akzeptanz kann durch das Nichtvorhandensein der angesprochenen Erfolgsfaktoren abnehmen. Zudem kann etwa eine unklare Datenschutzzlage, uneindeutige Rückmeldungen („was soll ich jetzt tun?“), unerwarteter Arbeitsaufwand und unzuverlässiges Funktionieren die Akzeptanz schnell und stark einschränken

Tabelle 1: Thesen zu Unterfragestellungen

4.1.4 Diskussion

Die Sichtung einschlägiger Quellen zeigt, dass Feedback tatsächlich einen Effekt auf Energieeinsparungen in Privathaushalten und am Arbeitsplatz hat. Dieser ist – entsprechend den Forschungskonventionen - als mittlerer bis kleiner Effekt zu qualifizieren. Zudem variiert er stark. Die Wirkung hängt vom Vorhandensein bestimmter Bedingungen ab. Diese Bedingungen (Moderatoren) sind nur teilweise bekannt bzw. empirisch bestätigt. Vor diesem Hintergrund wurden die in der Literatur untersuchten Faktoren, die die Wirkung erhöhen, gesichtet und zu 13 „Erfolgsfaktoren“ gruppiert. Letztere sind zum Großteil Thesen, die weitere empirischen Untersuchungen brauchen.

Die Befundlage zur Wirkung von Informationen und Feedback ist nicht für alle Fragestellungen befriedigend. Zwar gibt es rege Forschungstätigkeiten und auch gelungene Versuche, das vorliegende Wissen – etwa über Meta-Analysen – aufzubereiten, aber diese Forschung kann angesichts der vielen Gestaltungsoptionen der Technik, der vielen beteiligten Akteursgruppen bzw. der vielen relevanten Verhaltensweisen letztlich in vielen Bereichen nur erste Denkanstöße geben. Zu wichtigen Fragen wie „Unter welchen Umständen nutzen Handwerker technologiebasierte Informationen?“, „Wie wirkt Feedback in öffentlich oder gewerblich genutzten Gebäuden?“ oder „Unter welchen Umständen geben Investoren – neben den Ausgaben etwa für eine Heizanlage – für (integrierte) intelligente Messtechnik zusätzlich Geld aus?“, liegen keine oder kaum Befunde vor. So bleiben (um nicht vorschnell falsche Antworten zu geben) viele grundlegende Fragen und Details offen, die erst im Entwicklungs- und Einführungsprozess neuer Technologien geklärt werden können. Vor diesem Hintergrund ist die Bedeutung der Erfolgsfaktoren, die sich auf die Produktentwicklung und -testung beziehen, noch einmal zu betonen. Noch wichtiger wird dieser Bereich, wenn man den schnellen technischen Wandel digitaler Technologie berücksichtigt (z.B. augmented reality). Scheinbar sicheres Wissen kann schnell veralten. Es mag unbefriedigend sein, aber – so eine zentrale These dieses Reviews – es ist nicht möglich, allein aufbauend auf vorliegenden Erkenntnissen, eine erfolgreiche Technologie zu entwickeln.

4.2 Technik, Lösungen, Lösungsansätze (Kursorische Liste)

Im Rahmen des Arbeitspakets 1b wurden mit Hilfe einer Desktopanalyse 82 für das Energiemonitoring relevante Techniken, Lösungen bzw. Lösungsansätze ermittelt. Eine Analyse der ermittelten Lösungsansätze ergab, dass viele theoretisch mögliche Lösungen in der Praxis noch nicht umgesetzt sind. Diverse Lösungsansätze wurden allenfalls in Fachartikeln bzw. Patenten beschrieben oder prototypisch im Labor umgesetzt. Die kursorische Liste mit einer Übersicht aller Lösungen befindet sich im Anhang 10.1.

Sie reicht von Verfahren für die Bewertung von Energieverbräuchen bis hin zu Komponenten, z.B. kostengünstigen Sensoren für die Messung des Gasverbrauchs (siehe Abbildung 3). Auf die Darstellung allgemein bekannter technischer Komponenten (z.B. „Wärmezähler“) wurde verzichtet. Soweit Verfahren auf andere Produktgruppen übertragbar waren, wurde entsprechend verwiesen.



Abbildung 3: Mikrothermische Gaszählermodule (Quelle Fa. Sensirion) erreichen MID-Genauigkeitsklasse 1,5 und sind nach EN 14236 für Erdgas, Typ H und L zertifiziert.

Die ermittelten Lösungen wurden im Rahmen des Projekts strukturiert (Abbildung 4). Rot eingrahmt sind jene Themen, die später im Projekt genauer analysiert und bearbeitet wurden.

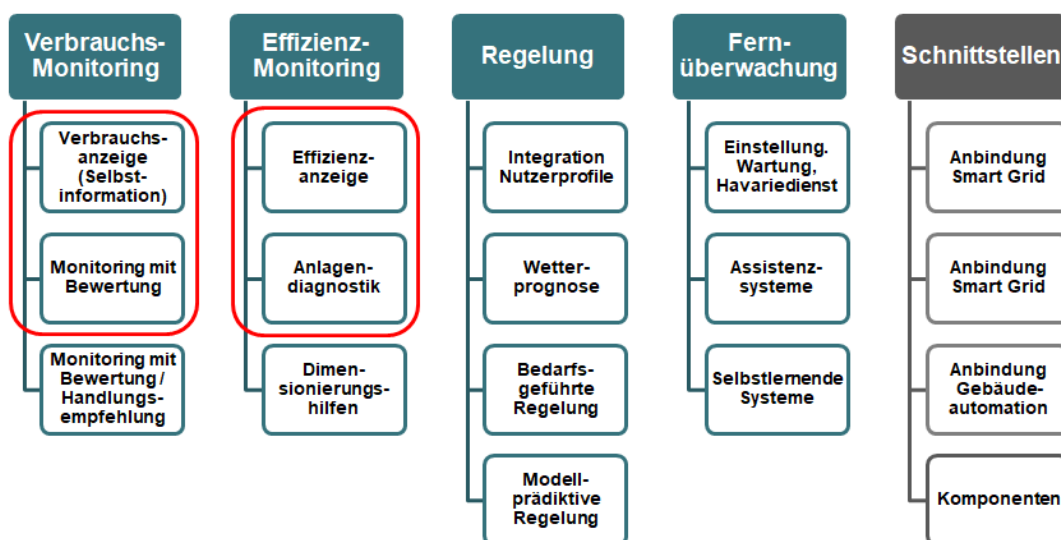


Abbildung 4: Clusterung der Technik, Lösungen, Lösungsansätze

Als wichtigstes Cluster im Sinne des Projekts kristallisierte sich das **Effizienzmonitoring** heraus. Effizienzmonitoring wird in diesem Projekt definiert als Summe aller Maßnahmen, die eine Effizienzkontrolle von Geräten und Anlagen umfassen, um bei unzureichender Effizienz Abhilfe in die Wege zu leiten. Besonders wichtig sind in diesem Zusammenhang Effizienzanzeigen, die dem Nutzer oder Betreiber die Effizienz eines Geräts oder einer Anlage als Effizienzanzeige am Gerät selbst oder als Performance-Indikator⁵ in der Anwendungssoftware visualisieren. Derzeit sind nur wenige Effizienzanzeigen auf dem Markt etabliert. Praktisch umgesetzt sind diese beispielsweise in Bordcomputern von Automobilen zur Visualisierung des aktuellen Kraftstoffverbrauchs in Liter je 100 km. Bei Wärmepumpen erfolgt die Ermittlung und Bewertung der Effizienz auf Basis der Arbeitszahl (vgl. Abbildung 2) durch den Vergleich des Energieoutputs (Wärme) zum Energieinput (Strom). Die Anlagendiagnostik ist der weitere wichtige Teil des Effizienzmonitoring. Soweit z.B. die Anzahl der Ein- und Ausschaltvorgänge einer Heizanlage deutlich über der Anzahl ähnlicher Anlagen liegt, kann auf schlechtere Effizienz infolge nichtoptimaler Einstellungen der Steuerung geschlossen werden.

Für ein Effizienzmonitoring ist in der Regel eine kontinuierliche Messung des End- und Nutzenergieverbrauchs notwendig. Damit können sowieso anfallende Verbrauchsdaten im Nebeneffekt für ein **Verbrauchsmonitoring** genutzt werden. Dies ermöglicht Nutzern und Betreibern, sich über den gemessenen Energie- und Ressourcenverbrauch eines Produktes zu informieren. Daher ist es sinnvoll, solche Daten sichtbar zu machen, wenn sie sowieso erhoben werden. Soweit eine Korrelation der Verbrauchswerte mit den dazugehörigen Einflussgrößen möglich ist, z.B. bei Raumwärme mit der Außentemperatur, ist eine unterjährige Bewertung von Verbrauchswerten (Abweichung vom Erwartungswert) möglich. Sehr oft werden solche Einflussgrößen in den Steuerungen von Geräten bereits erfasst (z.B. Außentemperaturfühler) oder können bei Onlineanbindung des Geräts bereitgestellt werden.

Die Cluster Regelung, Fernüberwachung und Schnittstellen werden hier nicht vertieft, da sich das Projekt auf das Effizienz- und begleitende Verbrauchsmonitoring fokussierte.

⁵ Vgl. <http://www.energiemanagement-und-energieeffizienz.de/energie-lexikon/energieleistungskennzahl> bzw. ISO 50001

4.3 Rechts- und Marktrahmen

Im Rahmen der Studie „Energiemonitoring und Informationsaustausch bei Geräten und Anlagen“ war die Aufgabenstellung des Arbeitspakets 1c, die rechtlichen (Teil 1) sowie die marktwirtschaftlichen (Teil 2) Rahmenbedingungen für die Einführung eines verstärkten Energiemonitorings zu untersuchen.⁶

4.3.1 Rechtlicher Rahmen

4.3.1.1 Europarecht

4.3.1.1.1 Primärrecht

Seit dem Vertrag von Lissabon verfügt die EU über eine spezifische Zuständigkeit für die Energiepolitik, die nach Art. 4 Abs. 2 lit. i des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) dem Kompetenzbereich der zwischen der EU und ihren Mitgliedstaaten geteilten Zuständigkeit zuzuordnen ist und daher der Geltung des Subsidiaritätsprinzips, Art. 5 Abs. 3 des Vertrags über die Europäische Union (EUV), unterfällt.⁷ In diesem Kontext normiert Art. 194 Abs. 1 lit. c Alt. 1 AEUV die „Förderung der Energieeffizienz und von Energieeinsparungen“ ohne weitere Differenzierung als Ziel der europäischen Energiepolitik. Dessen Verwirklichung erfolgt durch den Erlass von Sekundärrechtsakten auf Grundlage von Art. 194 Abs. 2 AEUV, so dass die EU über eine weitgehende Regelungskompetenz im Bereich der Energieeffizienz verfügt.

4.3.1.1.2 Sekundärrecht

Die durch das „Winterpaket“ kürzlich geänderte Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG⁸ (EEffRL) bildet den Kern des EU-Energieeffizienzrechts. Sie regelt allgemein und sektorübergreifend einige Anforderungen an die effiziente Nutzung von Energie. Sie sieht u.a. vor, dass für Endkunden „im Bereich Strom und Erdgas individuelle Zähler zu wettbewerbsfähigen Preisen erhalten, die den tatsächlichen Energieverbrauch des Endkunden genau widerspiegeln und Informationen über die tatsächliche Nutzungszeit bereitstellen“ (Art. 9 Abs. 1). Entsprechendes gilt für die Verbrauchserfassung für die Wärme- und Kälteversorgung sowie die Warmwasserbereitung für den häuslichen Gebrauch (Art. 9a). Sind in einem Gebäude mehrere Nutzungseinheiten vorhanden, sind individuelle Verbrauchsmessungen vorzunehmen (Art. 9b). Die installierten Zähler und Heizkostenverteiler müssen grundsätzlich nach dem 25. Oktober 2020 fernablesbar sein; eine Nachrüstung bereits installierter Zähler hat bis zum 1. Januar 2027 zu erfolgen (Art. 9c). Abrechnungs- und Verbrauchsinformationen müssen zuverlässig, präzise und für die Endnutzer kostenfrei sein sowie am tatsächlichen Verbrauch anknüpfen (Art. 10 ff.).

⁶ Die Analyse zu den rechtlichen Rahmenbedingungen (AP 1c, Teil 1) wurde durch Prof. Dr. Matthias Knauff, LL.M. Eur. erstellt. Autor der Analyse der marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (AP 1c, Teil 2) ist Laurenz Hermann, Senior Berater bei der co2online gGmbH.

⁷ Siehe dazu *Hackländer*, Die allgemeine Energiekompetenz im Primärrecht der Europäischen Union, 2010, S. 83 ff.; *Knauff*, ThürVBl. 2010, 217 (219).

⁸ ABl. 2012 L 315/1; zuletzt geändert durch Richtlinie (EU) 2018/2002, ABl. 2018 L 328/210. Für das Verständnis der Kommission vgl. deren Mitteilung „Durchführung der Energieeffizienzrichtlinie – Leitlinien der Kommission“, COM(2013) 762 final; ausführlich zu dieser Richtlinie *von Bredow*, Energieeffizienz als Rechts- und Steuerungsproblem. Unter besonderer Berücksichtigung der erneuerbaren Energien, 2013, S. 156 ff.

Die Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden⁹ bildet denjenigen Sekundärrechtsakt, dem die konkretesten Anforderungen für die Energienutzung in Gebäuden zu entnehmen sind. Sie wurde ebenfalls durch das „Winterpaket“ geändert und verpflichtet die Mitgliedstaaten u.a. im Hinblick auf die Gesamtenergieeffizienz zur Festlegung von Systemanforderungen für gebäudetechnische Systeme (insbesondere Raumheizung, Raumkühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung für den häuslichen Gebrauch, eingebaute Beleuchtung, Gebäudeautomatisierung und -steuerung) einschließlich selbstregulierender Einrichtungen zur separaten Regelung der Temperatur in jedem Raum (Art. 8). Überdies haben die Mitgliedstaaten „sicherzustellen, dass Nichtwohngebäude mit einer Nennleistung für eine Heizungsanlage oder eine kombinierte Raumheizungs- und Lüftungsanlage von mehr als 290 kW, sofern technisch und wirtschaftlich realisierbar, bis zum Jahr 2025 mit Systemen für die Gebäudeautomatisierung und -steuerung ausgerüstet werden.“ Derartige Systeme „müssen in der Lage sein, a) den Energieverbrauch kontinuierlich zu überwachen, zu protokollieren, zu analysieren und dessen Anpassung zu ermöglichen; b) Benchmarks in Bezug auf die Energieeffizienz des Gebäudes aufzustellen, Effizienzverluste von gebäudetechnischen Systemen zu erkennen und die für die Einrichtungen oder das gebäudetechnische Management zuständige Person über mögliche Verbesserungen der Energieeffizienz zu informieren; und c) die Kommunikation zwischen miteinander verbundenen gebäudetechnischen Systemen und anderen Anwendungen innerhalb des Gebäudes zu ermöglichen und gemeinsam mit anderen Typen gebäudetechnischer Systeme betrieben zu werden, auch bei unterschiedlichen herstellereigenen Technologien, Geräten und Herstellern“ (Art. 14 Abs. 4). Zusätzlich können die Mitgliedstaaten „Anforderungen festlegen, um sicherzustellen, dass Wohngebäude ausgerüstet sind mit: a) einer kontinuierlichen elektronischen Überwachungsfunktion, welche die Effizienz des Systems misst und den Eigentümer oder Verwalter des Gebäudes darüber informiert, wenn die Effizienz erheblich nachgelassen hat und eine Wartung des Systems erforderlich ist, und b) wirksamen Steuerungsfunktionen zur Gewährleistung der optimalen Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Nutzung der Energie“ (Art. 14 Abs. 5). Übereinstimmende Regelungen sind zudem für Klimaanlage und kombinierte Klima- und Lüftungsanlagen vorgesehen (Art. 15 Abs. 4 und 5).

Bedeutsam im vorliegenden Kontext sind des Weiteren die Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (ÖkodesignRL)¹⁰ und einige darauf bezogene Durchführungsverordnungen. Die ÖkodesignRL „schafft einen Rahmen für die Festlegung gemeinschaftlicher Ökodesign-Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte mit dem Ziel, den freien Verkehr solcher Produkte im Binnenmarkt zu gewährleisten“ (Art. 1 Abs. 1). Als grundlegende Anforderung sieht die Richtlinie vor, dass von Durchführungsregelungen erfasste Produkte nur in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn sie mit der CE-Kennzeichnung versehen sind und für sie eine EG-Konformitätserklärung ausgestellt wurde, mit der der Hersteller oder sein Bevollmächtigter zusichert, dass sie allen einschlägigen Bestimmungen der jeweils geltenden Durchführungsmaßnahme entsprechen (Art. 5). Derartige Durchführungsmaßnahmen bestehen u.a. für Heizgeräte¹¹, Klima- und Lüftungsgeräte¹², Umwälzpumpen¹³, Warmwas-

⁹ ABl. 2010 L 153/13; geändert durch Richtlinie (EU) 2018/844, ABl. 2018 L 156/75.

¹⁰ ABl. 2009 L 285/10; geändert durch Richtlinie 2012/27/EU, ABl. 2012 L 315/1.

¹¹ Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten, ABl. 2013 L 239/136.

serbereiter und Warmwasserspeicher¹⁴ sowie Wasserpumpen¹⁵. Sämtliche dieser Verordnungen regeln die Vornahme von Messungen¹⁶ in Bezug auf die Zulassungsfähigkeit der Produkte, nicht aber im Zusammenhang mit ihrer Nutzung.

Schließlich zielt das EU-Sekundärrecht auf die Verfügbarkeit von energieverbrauchsrelevanten Informationen für Endverbraucher im Hinblick auf Produkte ab. Im vorliegenden Kontext ist die Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2017 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU¹⁷ von Bedeutung, deren Konkretisierung für zahlreiche Produktgruppen durch – i.d.R. unmittelbar anwendbare – delegierte Rechtsakte der Kommission erfolgt, so für Warmwasserbereiter und -speicher¹⁸, Lüftungsgeräte¹⁹, Heizgeräte²⁰ sowie Festbrennstoffkessel und Verbundanlagen aus einem Festbrennstoffkessel, Zusatzheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen^{21 22}

Der weitgehende Verzicht auf konkrete und zwingend von den Mitgliedstaaten umzusetzende Vorgaben im einschlägigen Sekundärrecht führt in der Folge zu erheblichen Regelungsspielräumen auf nationaler Ebene, die sich allerdings nach Ablauf der im Winterpaket vorgesehenen Umsetzungs- und Übergangsfristen reduzieren.

4.3.1.2 Verfassungsrecht

4.3.1.2.1 Bundeskompetenz

Gemäß Art. 74 Abs. 1 Nr. 11 GG ist das Recht der Wirtschaft einschließlich der Energiewirtschaft Gegenstand der konkurrierenden Gesetzgebung. Der Begriff der Energiewirtschaft

¹² Verordnung (EU) Nr. 206/2012 der Kommission vom 6. März 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumklimageräten und Komfortventilatoren, ABl. 2012 L 72/7.

¹³ Verordnung (EG) Nr. 641/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von externen Nassläufer-Umwälzpumpen und in Produkte integrierten Nassläufer-Umwälzpumpen, ABl. 2009 L 191/35, geändert durch Verordnung (EU) Nr. 622/2012 der Kommission vom 11. Juli 2012, ABl. 2012 L 180/4.

¹⁴ Verordnung (EU) Nr. 814/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern, ABl. 2013 L 239/162.

¹⁵ Verordnung (EU) Nr. 547/2012 der Kommission vom 25. Juni 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Wasserpumpen, ABl. 2012 L 165/28.

¹⁶ Siehe insoweit die Änderung der vorstehend genannten Rechtsakte durch die Verordnung (EU) 2016/2282 der Kommission vom 30. November 2016 zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1275/2008, (EG) Nr. 107/2009, (EG) Nr. 278/2009, (EG) Nr. 640/2009, (EG) Nr. 641/2009, (EG) Nr. 642/2009, (EG) Nr. 643/2009, (EU) Nr. 1015/2010, (EU) Nr. 1016/2010, (EU) Nr. 327/2011, (EU) Nr. 206/2012, (EU) Nr. 547/2012, (EU) Nr. 932/2012, (EU) Nr. 617/2013, (EU) Nr. 666/2013, (EU) Nr. 813/2013, (EU) Nr. 814/2013, (EU) Nr. 66/2014, (EU) Nr. 548/2014, (EU) Nr. 1253/2014, (EU) 2015/1095, (EU) 2015/1185, (EU) 2015/1188, (EU) 2015/1189 und (EU) 2016/2281 im Hinblick auf die Anwendung von Toleranzen bei Prüfverfahren, ABl. 2016 L 346/51.

¹⁷ ABl. 2017 L 198/1.

¹⁸ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 812/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieeffizienzkennzeichnung von Warmwasserbereitern, Warmwasserspeichern und Verbundanlagen aus Warmwasserbereitern und Solareinrichtungen, ABl. 2013 L 239/83.

¹⁹ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1254/2014 der Kommission vom 11. Juli 2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch, ABl. 2014 L 337/27.

²⁰ Delegierte Verordnung (EU) Nr. 811/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energiekennzeichnung von Raumheizgeräten, Kombiheizgeräten, Verbundanlagen aus Raumheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen sowie von Verbundanlagen aus Kombiheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen, ABl. 2013 L 239/1; Delegierte Verordnung (EU) 2015/1186 der Kommission vom 24. April 2015 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Einzelraumheizgeräten, ABl. 2015 L 193/20.

²¹ Delegierte Verordnung (EU) 2015/1187 der Kommission vom 27. April 2015 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Festbrennstoffkesseln und Verbundanlagen aus einem Festbrennstoffkessel, Zusatzheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen, ABl. 2015 L 193/43.

²² Zum Messverfahren siehe die Änderungen durch die Delegierte Verordnung (EU) 2017/254 (Fn. 16).

erfasst dabei auch Energieverbrauchs-²³ und -einsparvorgaben,²⁴ so dass die Norm dem Bund umfassende Gestaltungsbefugnisse im Energieeffizienzrecht vermittelt.²⁵ Deren Nutzung wird durch die Erforderlichkeitsklausel des Art. 72 Abs. 2 GG auch unter Berücksichtigung der strengen Maßstäbe des Bundesverfassungsgerichts (BVerfG)²⁶ bereichsspezifisch kaum beschränkt.²⁷

4.3.1.2.2 Materiell-rechtliche Maßstäbe

Das in Art. 20a GG normierte Umweltstaatsprinzip bildet den wichtigsten verfassungsrechtlichen Anknüpfungspunkt für das Klimaschutzrecht und damit zugleich für das Recht der Energiewende einschließlich des Energieeffizienzrechts. Die Vorschrift legt zumindest nahe, dem Umweltschutz in der Rechtsordnung ein hohes Gewicht einzuräumen. Damit geht einher, dass der Gesetzgeber idealerweise ein wirkungsorientiertes und neue Erkenntnisse berücksichtigendes Regelungskonzept verfolgen soll. Im Lichte der Vorschrift gibt die tatsächliche Dynamik der Energiewende daher Anlass für eine stetige Verbesserung der darauf bezogenen Vorschriften im Sinne eines besseren Umwelt- und Klimaschutzes.

Den zentralen materiellen Maßstab für die Ausgestaltung des gebäudebezogenen Energieeffizienzrechts durch den Bundesgesetzgeber bildet das Eigentumsgrundrecht, Art. 14 GG. Dieses ist einer Ausgestaltung durch den Gesetzgeber in erheblichem Maße zugänglich, allerdings beansprucht der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts auch für Inhaltsbestimmungen Geltung.²⁸ Durch Übergangsregelungen, Härtefallklauseln und sonstige Ausnahmebestimmungen ist es den Normgeber in erheblichem Maße möglich, auch ehrgeizige Regelungsziele in Bezug auf die Energieeffizienz von Gebäuden grundrechtskonform zu verfolgen.

Das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung, Art. 2 Abs. 1 i.V.m. Art. 1 Abs. 1 GG, ist zu berücksichtigen, soweit eine energieeffizienzrechtliche Gesetzgebung die Erhebung und Nutzung personenbezogener Daten vorsieht. Das Grundrecht gewährleistet insbesondere die Selbstbestimmung des Grundrechtsträgers über persönliche Informationen.²⁹

4.3.1.3 Einfaches nationales Recht

4.3.1.3.1 Gebäudebezogene Vorgaben

Das Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) weist nur eine geringe Regulierungsdichte auf.³⁰ Es enthält jedoch zahlreiche Verordnungsermächtigungen. Im vorliegenden Kontext sind insbesondere bedeutsam die Ermächtigung der Bundesregierung, mit Zustimmung des Bundesrates Regelungen zu erlassen in Bezug auf zu errichtende Gebäude und Sanierungsmaßnahmen u.a. auf die Einrichtungen der Regelung und Steuerung der Wärme- und Kälteversorgungssysteme, die messtechnische Ausstattung zur Verbrauchserfassung sowie – generalklauselartig – weitere Eigenschaften der Anlagen und Einrichtungen, soweit dies im Rahmen der Zielsetzung des Absatzes 1 auf Grund der technischen Entwicklung erforderlich wird (§ 2 Abs. 2 S. 2 Nr. 4, 6, 8). Des Weiteren können Verordnungen erlas-

²³ Dazu *Dannecker/Spoerr*, DVBl. 1996, S. 1094 (1094 ff.).

²⁴ *Wittreck*, in: Dreier, GG II, 3. Aufl. 2015, Art. 74 Rn. 51; vgl. auch mit Bezug zum EnEG BT-Drs. 17/12619, S. 7.

²⁵ Vgl. *Pielow*, ZUR 2010, S. 115 (120); *Schulte*, in: FS Rengeling, 2008, S. 417 (420).

²⁶ BVerfGE 106, 62 (143 ff.); ausführlich zu Relevanz und Wirkung der Erforderlichkeitsklausel nach der Föderalismusreform *Heitsch*, JöR NF 57 (2009), S. 333 (334 ff.). Siehe dazu auch im energierechtlichen Kontext *Knauff*, ThürVBl. 2015, S. 257 ff.

²⁷ Ebenso *Schneider*, Landesenergierecht und Grundgesetz, 1997, S. 15; *Schulte*, in: FS Rengeling, 2008, S. 417 (420).

²⁸ BVerfGE 57, 107 (117); 58, 137 (150); 100, 226 (241).

²⁹ Grundlegend BVerfGE 65, 1 (42 f.).

³⁰ Vgl. auch *Müller-Kulmann/Stock*, in: Danner/Theobald, Energierecht, Stand 9/2018, Einführung EnEG Rn. 1.

sen werden über die Erfassung des Energieverbrauchs der Benutzer von heizungs-, kühl- oder raumluftechnischen oder der Versorgung mit Warmwasser dienenden gemeinschaftlichen Anlagen oder Einrichtungen sowie über regelmäßige, klare und verständliche Informationen der Benutzer über Daten, die für die Einschätzung, den Vergleich und die Steuerung des Energieverbrauchs und der Betriebskosten von heizungs-, kühl- oder raumluftechnischen oder der Versorgung mit Warmwasser dienenden gemeinschaftlichen Anlagen oder Einrichtungen relevant sind (§ 3a S. 1 Nr. 1, Nr. 3 lit. a). Jede Verordnungsgebung auf Grundlage des EnEG steht unter den Vorbehalten der technischen Erfüllbarkeit und wirtschaftlichen Vertretbarkeit und muss Härtefallregelungen vorsehen (§ 5 Abs. 1 und 2).³¹

Die auf Grundlage des EnEG erlassene Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV) enthält eine Vielzahl von Detailregelungen in Bezug auf die energieeffiziente Errichtung, Sanierung und Nutzung von Gebäuden. Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl- und Raumluftechnik sowie der Warmwasserversorgung sind vom Betreiber sachgerecht zu bedienen sowie fachgerecht zu warten und instand zu halten (§ 11 Abs. 3). Eingebaute Klimaanlage sind regelmäßig fachkundig zu inspizieren, wobei auch die Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf des Gebäudes zu bewerten ist (§ 12). Des Weiteren bestehen spezifische Vorgaben für Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumluftechnik sowie der Warmwasserversorgung (§ 13 ff.). Vorgesehen ist darüber hinaus ein Verbot des Betriebs bestimmter Heizungsanlagen, die älter als 30 Jahre sind (§ 10 Abs. 1).

EnEG und EnEV sollen – nach einem gescheiterten Versuch in der 18. Legislaturperiode³² – unter Aktualisierung und Verbesserung ihrer Regelungen in einem Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (GEG) zusammengeführt werden, das zudem den Regelungsinhalt des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) einbeziehen soll.³³ Das GEG wird damit künftig den gleichsam „natürlichen“ Rahmen für normative Anforderungen an gebäudeanlagenbezogene Messtechnik bilden.

4.3.1.3.2 Vorgaben für Produkte

Im Hinblick auf ein Energiemonitoring spielt das produktbezogene Energieeffizienzrecht insoweit eine Rolle, als zum Einbau oder zur Verwendung in Gebäuden vorgesehene Produkte betroffen sind.

Das Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EVPG) setzt im Wesentlichen die Vorgaben der ÖkodesignRL um. Über einen eigenständigen Regelungsgehalt verfügt es zudem (nur) insoweit, als der institutionelle Rahmen ausgestaltet wird. Die ergänzende Verordnung zur Durchführung des Gesetzes über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EVPGV) verweist deklaratorisch auf die einschlägigen delegierten Rechtsakte der Kommission.

Die Verordnung über das Inverkehrbringen von Heizkesseln und Geräten nach dem Bauproduktengesetz (BauPGHeizkesselV) legt – inhaltlich korrespondierend mit § 13 EnEV – Anforderungen an den Wirkungsgrad als Voraussetzung für das Inverkehrbringen von Geräten

³¹ Zur verfassungsrechtlichen Notwendigkeit *Knauff*, BauR 2016, Beilage zu Heft 3, S. 65 (69).

³² Referentenentwurf v. 23. Januar 2017 (abrufbar unter http://www.enev-online.eu/geg/referentenentwurf/text/17.01.23_GEG_Entwurf_fuer_Verbaendeanhoerung.pdf).

³³ Vgl. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/gebaeude-energieeinsparrecht.html> (26.2.2019).

und Heizkesseln, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und eine Nennleistung von 4 bis 400 kW haben, fest.

4.3.1.3.3 Vorgaben für Informationen und Messungen

Das Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG) enthält in Bezug auf die Abrechnung einige vorliegend relevante Vorgaben. Energielieferanten sind verpflichtet, in ihren Rechnungen für Energielieferungen an Letztverbraucher den ermittelten Verbrauch im – monatlichen oder jährlichen – Abrechnungszeitraum und bei Haushaltskunden den Anfangs- und den Endzählerstand des abgerechneten Zeitraums, den Verbrauch des vergleichbaren Vorjahreszeitraums, sowie bei Haushaltskunden unter Verwendung von Grafiken darzustellen, wie sich der eigene Jahresverbrauch zu dem Jahresverbrauch von Vergleichskundengruppen verhält (§ 40 Abs. 2 S. 1 Nr. 4 bis 6). Zudem haben Lieferanten, soweit technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar, für Letztverbraucher von Elektrizität einen Tarif anzubieten, der einen Anreiz zu Energieeinsparung oder Steuerung des Energieverbrauchs setzt, sowie mindestens einen weiteren Tarif, für den die Datenaufzeichnung und -übermittlung auf die Mitteilung der innerhalb eines bestimmten Zeitraums verbrauchten Gesamtstrommenge begrenzt bleibt (§ 40 Abs. 5). Der Letztverbraucher verfügt über ein freies Wahlrecht zwischen diesen Tarifen.³⁴

Das Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (MsbG) trifft u.a. Regelungen zur Ausstattung von Messstellen der leitungsgebundenen Energieversorgung mit modernen Messeinrichtungen und intelligenten Messsystemen, zu technischen Mindestanforderungen an den Einsatz von intelligenten Messsystemen, zur energiewirtschaftlichen Datenkommunikation und zur allgemeinen Datenkommunikation mit Smart-Meter-Gateways sowie zur Erhebung, Verarbeitung und Nutzung von Messwerten (§ 1 Nr. 1, 4 bis 6). Das MsbG weist dem Messstellenbetreiber einen zivilrechtlichen, gegen verpflichtete Nutzer gerichteten Anspruch auf den Einbau von in seinem Eigentum stehenden Messeinrichtungen, modernen Messeinrichtungen, Messsystemen oder intelligenten Messsystemen zu (§ 3 Abs. 3). Die zu verwendenden Messsysteme müssen zertifiziert sein und Datenschutz, Datensicherheit und Interoperabilität gewährleisten (§ 19). Für intelligente Messsysteme bestehen zusätzlich zahlreiche spezifische Anforderungen. Insbesondere müssen sie die zuverlässige Erhebung, Verarbeitung, Übermittlung, Protokollierung, Speicherung und Löschung von aus Messeinrichtungen stammenden Messwerten gewährleisten, eine Visualisierung des Verbrauchsverhaltens des Letztverbrauchers ermöglichen, u.a. um diesem den tatsächlichen Energieverbrauch sowie Informationen über die tatsächliche Nutzungszeit bereitzustellen, und ein Smart-Meter-Gateway beinhalten (§ 21 Abs. 1 Nr. 1, 2 und 4). Für die Durchführung des Messstellenbetriebs mit intelligenten Messsystemen statuiert das MsbG zahlreiche Anforderungen, u.a. die Übermittlung von – jederzeit einsehbarer – Informationen etwa über den tatsächlichen Energieverbrauch, die tatsächliche Nutzungszeit sowie abrechnungsrelevante Tarifinformationen und zugehörige abrechnungsrelevante Messwerte, an eine lokale Anzeigeeinheit oder über eine Anwendung in einem Online-Portal, welches einen geschützten individuellen Zugang ermöglicht, sowie die Bereitstellung der Informationen über das Potenzial intelligenter Messsysteme im Hinblick auf die Handhabung der Ablesung und die Überwachung des Energieverbrauchs sowie eine Softwarelösung, die Anwendungsinformationen zum intelligenten Messsystem, zu Stromsparhinweisen und -anwendungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik enthält, Ausstattungsmerkmale und Beispielanwendungen beschreibt und Anleitungen zur Befolgung gibt (§ 35 Abs. 1

³⁴ Vgl. *Hellermann*, in: Britz/Hellermann/Hermes (Hrsg.), EnWG, 3. Aufl. 2015, § 40 Rn. 45.

S. 1 Nr. 3 und 4). Schließlich formuliert das MsbG für den Umgang mit Daten umfangreiche und detailgenaue Anforderungen (§§ 49 ff.).

Die auf Grundlage von § 3a EnEG erlassene Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (HeizkostenV) zielt im Kern darauf ab, die Kosten der Versorgung mit Wärme und Warmwasser durch zentrale Heizungs- und Warmwasserversorgungsanlagen auf der Grundlage einer individuellen Verbrauchserfassung auf die einzelnen Nutzer zu verteilen (vgl. § 1 Abs. 1, § 4 Abs. 1, § 6 Abs. 1 S. 1). Als Voraussetzung hierfür hat der Gebäudeeigentümer die Räume mit Ausstattungen zur Verbrauchserfassung zu versehen, was von den Nutzern zu dulden ist (§ 4 Abs. 2 S. 1). Bei diesen Ausstattungen handelt es sich zur Erfassung des anteiligen Wärmeverbrauchs um Wärmezähler oder Heizkostenverteiler, zur Erfassung des anteiligen Warmwasserverbrauchs um Warmwasserzähler (§ 5 Abs. 1 S. 1). In technischer Hinsicht enthält sich die HeizkostenV konkreter Vorgaben an die Ausstattungen zur Verbrauchserfassung.

4.3.1.4 Bewertung

Eine Gesamtbetrachtung des einschlägigen Europarechts ergibt einen weitgehenden Verzicht auf konkrete und zwingend von den Mitgliedstaaten umzusetzende Vorgaben in Bezug auf die Energieeffizienz im Gebäudebereich, wenngleich das Winterpaket einige neue Verpflichtungen statuiert, die eine Ausstattung von Haustechnik mit (individuellen) Zählern erfordert und insoweit Umsetzungserfordernisse auf nationaler Ebene nach sich zieht. Die insgesamt gleichwohl eher zurückhaltende Ausgestaltung des einschlägigen EU-Sekundärrechts belässt den Mitgliedstaaten nicht unerhebliche Gestaltungsmöglichkeiten bei der Ausfüllung der in den Richtlinien enthaltenen Regelungsspielräume sowie bei einer ergänzenden autonomen Rechtsetzung. Anderes gilt zwar für die Ökodesign- und Informationsvorgaben; deren Beachtung ist bereits Voraussetzung für die Verkehrsfähigkeit der ihnen unterfallenden Produkte. Sie lassen zudem hinsichtlich ihres jeweiligen normativen Kerns keinen Raum für eine abweichende mitgliedstaatliche Rechtsetzung. Mittels EU-Ökodesignvorgaben könnten jedoch auch geräteintegrierte Effizienzanzeigen verpflichtend eingeführt werden.

Auch das nationale Recht, das noch nicht spezifisch an die Änderungen des „Winterpakets“ angepasst ist, beschränkt sich trotz der europarechtlich eröffneten Spielräume sowie des weiten verfassungsrechtlichen Rahmens auf wenige Vorgaben, welche die effiziente Nutzung von Energie im Zusammenhang mit Gebäuden betreffen. Damit stellen sich zwar derzeit keine grundrechtlichen Probleme; zugleich bedeutet dies einen weitgehenden Regelungsverzicht. Dies gilt selbst im Bereich der normativen Anreizsetzung. Auch spiegeln die bestehenden Vorschriften nicht den technischen Entwicklungsstand wider. Eine Ausnahme bildet das MsbG, das jedoch über einen begrenzten Anwendungsbereich verfügt. Um auf nationaler Ebene Mindestanforderungen Geräte und Anlagen für das Effizienz- und Verbrauchsmonitoring etablieren, bestehen – unter der Voraussetzung der Beachtung vorrangigen Europarechts und grundrechtlicher Grenzen – verschiedene Möglichkeiten für den Bund. Systematisch liegt eine Verankerung derartiger Regelungen in EnEG/EnEV bzw. dem künftigen GEG nahe. Eine alternative Ergänzung der HeizkostenV um eine Pflicht zum Einbau von Wärmezählern in die zentrale Heizungs-/Warmwasseranlage wäre auf Grundlage ihrer Rechtsgrundlage möglich, wenn diese einen Beitrag zur Erfassung der Heizkosten und ihrer Verteilung leisten, mithin wenn die mittels der Zähler erhobenen Daten geeignet sind, genauere Abrechnungen zu ermöglichen. Ein „bloßes“ Effizienzmonitoring erscheint im Regelungszusammenhang der HeizkostenV in ihrer derzeitigen Fassung dagegen als Fremdkörper und nicht der Zwecksetzung der Verordnung entsprechend. Anderes gilt jedoch dann,

wenn die gewonnenen Daten den Nutzern regelmäßig zur Verfügung gestellt und von ihnen genutzt werden können, um ihren Energieverbrauch besser einzuschätzen und zu steuern.³⁵ In diesem Falle wäre auch ein „bloßes“ Monitoring von der Ermächtigungsgrundlage des § 3a EnEG gedeckt und würde sich in den Regelungszusammenhangs der HeizkostenV einfügen; andernfalls bedarf es einer Anpassung der Zwecksetzung der HeizkostenV und damit zugleich deren (ggf. zusätzliche) Abstützung durch eine andere Ermächtigungsgrundlage.

4.3.2 Marktwirtschaftlicher Rahmen

Im Rahmen der marktwirtschaftlichen Analyse galt es darzustellen, welche wesentlichen Akteure und Akteursgruppen in den für Energiemonitoring und den Informationsaustausch bei Geräten und Anlagen wichtigen Teilmärkten relevant sind. Neben einer Einschätzung der Teilmärkte und ihrer Akteursgruppen sollten auch deren spezifische (Vertriebs-) Interessen und Einstellungen kenntlich gemacht werden, Marktkräfte und ihre Wirkung aufgezeigt und ist das Zusammenspiel der Akteure beschrieben werden.

Weiterhin sollten bestehende Dilemmata und Formen von Marktversagen aufgezeigt werden, die eine verstärkte Ausbildung von Energieeffizienzmärkten verlangsamen oder verhindern, sowie marktwirtschaftliche Anreize, die zu einer Verbesserung der marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen beitragen können.

Die Analyse der für Energiemonitoring relevanten Märkte zeigte eine große Heterogenität auf. Auf der Angebotsseite sind einerseits Anlagen- und Technikhersteller, weiterhin ‚beratende‘ Akteure wie Handel, Handwerk, Planer, Architekten und Bauingenieure, Energieberater aber inzwischen auch erste Start-ups vertreten, die Angebote im Bereich digitaler Energiedienstleistungen im Markt platzieren. Vorherrschend sind noch immer die traditionellen zwei- oder dreistufigen Vertriebskonzepte, auch wenn inzwischen neue Anbieter auf den Markt treten, die diese Trennung zu überwinden versuchen und integrierte Lösungen aus einer Hand anbieten.

Auf der Nachfrageseite sind die Gebäudeeigentümer die wichtigste Akteursgruppe, wobei hier zwischen gewerblichen oder institutionellen Akteuren (Wohnungswirtschaft, Unternehmen, Contractoren, Investoren) und individuellen Nutzern (Wohnungseigentümer, Mieter, Angestellte von Unternehmen) zu unterscheiden ist. Die entsprechenden Nachfragemärkte und die Motivationen der Akteure sind dabei sehr unterschiedlich, eine zielgruppenspezifische Herangehensweise ist bei der Konzeption von Lösungen unabdingbar.

Energieeffizienz ist nur selten das handlungsleitende Motiv bei den untersuchten Akteursgruppen, dies gilt gleichermaßen für die Angebots- wie auch die Nachfrageseite. Ein Eigeninteresse und damit eine besonders hohe Motivation zur Erhöhung der Energieeffizienz haben insbesondere Anbieter von Energiedienstleistungen (EDL), wie eine vertiefte Analyse des EDL-Marktes aufzeigte: Bei der Einführung von Energiemanagementsystemen oder der Umsetzung von Contracting-Projekten sind die Messung, Überprüfung und ggf. Optimierung des Energieverbrauchs unmittelbare Bestandteile der jeweiligen Dienstleistung. Die stärkere Marktdurchdringung von Produkten und Verfahren, die diese Messung und Verifizierung (M&V) erleichtern und/oder kostengünstiger gestalten könnten, würden gerade für Anbieter von EDL eine relevante Unterstützung darstellen. Insbesondere würden kostengünstige (weil ggf. vorinstallierte) Mess- und Visualisierungssysteme die Entstehung neuer EDL (z.B. im

³⁵ Nach BT-Drucks. 17/13527, S. 12, zielt die diesbezügliche Ermächtigung auf „Regelungen zur regelmäßigen unterjährigen Information des Nutzers über seinen anteiligen individuellen Verbrauch“ ab.

Bereich Energiemonitoring, Betriebsführung, Optimierung) erst ermöglichen, ggf. sogar für Endkundengruppen (z.B. EFH), in denen sich entsprechende Geschäftsmodelle bislang nicht wirtschaftlich darstellen lassen.

Um die verstärkte Markteinführung von Energieeffizienztechnologien und damit verbundenen Dienstleistungen und Geschäftsmodellen zu stärken bedarf es förderlicher Rahmenbedingungen auf verschiedenen Ebenen. Diese dienen – mittelbar oder unmittelbar – der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der am Markt angebotenen Produkte und Dienstleistungen. Nachfolgend die wichtigsten Rahmenbedingungen und Beispiele möglicher staatlicher Eingriffsmöglichkeiten zu deren Beeinflussung.

	Beschreibung	Eingriffsmöglichkeiten
Preis für Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Preisbildung über Angebot und Nachfrage • Zusätzlich: Steuern, Abgaben, Umlagen, Netzentgelte 	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung Emissionshandel • Steuerrecht (z.B. CO₂-Steuer)
Minderungsverpflichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Definiert auf internationaler, nationaler, teils kommunaler Ebene • Nicht jedoch (in DE) auf Ebene relevanter Marktakteure 	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung Verpflichtungssystem zu festgelegter jährlicher Energieeinsparung
Technische Standards	<ul style="list-style-type: none"> • Große Bandbreite, z.B. Mindestanforderungen an Produkte, Definition von Verfahren etc. • (Industrienormen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung Ökodesign-Richtlinie, Etablierung zusätzlicher (Effizienz-) Standards
Förderprogramme	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung energieeffizienter Technologien, Dienstleistungen, Gebäude etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Förderfähigkeit von Messtechnik / Effizienzanzeigen (heute schon weitgehend gegeben) • Messtechnik / Effizienzanzeigen als Voraussetzung zur Förderung (heute noch die Ausnahme) • Erfolgsbasierte Effizienzförderung (bedingt automatisch Messkonzepte)

Tabelle 2: Rahmenbedingungen für Energieeffizienz, Eingriffsmöglichkeiten

Die Hemmnis- und Anreizanalyse ergab, dass es diverse Arten von Marktversagen (Dilemmata) und Hindernissen gibt, die energieeffizientes Verhalten oder Investieren be- oder verhindern, da der wirtschaftliche Anreiz für den maßgeblichen Akteur nicht oder nicht hinreichend gegeben ist. Der wirtschaftliche Anreiz ergibt sich in einer Marktwirtschaft aus Angebot und Nachfrage und der sich daraus ergebenden Preisbildung wie auch aus den genannten Rahmensetzungen, die häufig (mittelbar) auf Preise, Angebot und Nachfrage wirken. Von staatlicher Seite können diese Rahmenbedingungen, zum Beispiel mittels Ordnungs- oder Förderpolitik, verändert werden.

Ein Treiber für die Verbreitung eines Energiemonitorings in Gebäuden ist der Trend zur Digitalisierung. Schon heute finden sich diverse Technik- und Dienstleistungsangebote im Kontext Energieeffizienz am Markt. Die absehbare breite Einführung von Smart Metern und Smart Home-Systemen wird die Voraussetzungen für entsprechende Geschäftsmodelle weiter stärken. Auch ist zu erwarten, dass eine verstärkte Nutzung selbstlernender Systeme (KI – Künstliche Intelligenz) in der Steuer- und Regelungstechnik zukünftig die Kosten für ein Energiemonitoring sinken lassen, wodurch die Wirtschaftlichkeit weiter steigt. Diesen Chan-

cen stehen jedoch auch neue Herausforderungen, insbesondere in den Themenfeldern Übertragungsstandards, IT-Sicherheit und Datenschutz gegenüber.

Eine weitere interessante Frage ist die Verantwortlichkeit für das Energiemonitoring. Diese liegt klassisch beim Gebäudeeigentümer bzw. den von ihm beauftragten Handwerkern oder Dienstleistern. Im Falle nicht-komplexer Systeme kommen für die energetische Systemüberwachung durchaus auch die Herstellerunternehmen selbst in Frage, die per Datenfernüberwachung ihre verkauften Anlagen zentral monitoren und dezentral (in Kooperation mit Handwerksunternehmen) warten lassen könnten, wie dies beispielsweise im Sektor Windkraftanlagen gut funktioniert. Die Rolle von Handwerksunternehmen in diesem Themenfeld muss angesichts des Fachkräftemangels als schwierig eingeschätzt werden. Eine Option können auch integrierte, digitale und plattformbasierte Vertriebskonzepte neuer Marktakteure sein, die perspektivisch die althergebrachten Vertriebsmodelle ablösen.

Bezogen auf den Projektfokus „Mindestanforderungen an Geräte und Anlagen für das Effizienz- und Verbrauchsmonitoring“ lässt sich folgendes Fazit ziehen:

- Ein geräteintegriertes Effizienzmonitoring ist bisher nicht etabliert, obwohl es auf Teilmärkten (Integration von Strom- und Wärmehzählern in Wärmepumpen als Anforderung des Marktanreizprogramms) verpflichtend vorgeschrieben ist. In Entwicklung sind allenfalls Angebote für Energieeffizienzdienstleistungen, die solche Themen aufgreifen, z.B. adressiert im Rahmen des „Pilotprogramms Einsparzähler“.
- Zunehmend häufiger anzutreffen sind bereits geräteintegrierte Verbrauchs- bzw. Ertragsanzeigen (z.B. bei Solarthermie). Die Anzeigen sind aber häufig sehr ungenau, da nicht gemessen, sondern gerechnet wird (vgl. Abbildung 5).
- Ein geräteintegriertes Effizienzmonitoring adressiert in erster Linie Hersteller, da einzelne Nachfrager keine Marktmacht entwickeln können, um entsprechend ausgestattete Geräte einzufordern. Hersteller und deren -verbände berufen sich überwiegend noch allein auf die normative Effizienz Ihrer Geräte und Anlagen. Dies ist verständlich, da in Geräten integrierte Effizienzanzeigen, die überwiegend vor oder nachgelagerte Effizienzprobleme oder Einbau- und Einstellungsfehler Dritter diagnostizieren, im ersten Schritt dem Gerätehersteller angelastet werden. Die Verweigerung eines Problembewusstseins hemmt die Entwicklung und Markteinführung von Effizienzkontrollen. In den aktuellen Digitalisierungskonzepten spielt die laufende Effizienzüberwachung von Geräten- und Anlagen bisher kaum eine Rolle.

5 Handlungsempfehlungen: Mindestanforderungen

5.1 Technikausstattung

5.1.1 Übergeordnete Kriterien

Bei den Mindestanforderungen für die Technikausstattung wurden folgende übergeordnete Kriterien berücksichtigt:

- **Mindestausstattung:** Die Anforderungen haben den Charakter einer Mindestausstattung. Jenseits dieser Mindestanforderungen sollen Produktentwickler und Hersteller aber auch motiviert werden, darüber hinausgehende Funktionalitäten zu entwickeln und damit den Wettbewerb in diesem Bereich anregen.
- **Nutzung vorhandener Daten / Sensoren:** Soweit möglich, wird auf bereits automatisch generierte Daten aus vorhandenen Sensoren zurückgegriffen. Wenn z.B. in einem Heizkessel bereits ein Sensor integriert ist, der die Vorlauftemperatur misst, kann dieser für die Wärmemengenmessung verwendet werden. Eventuell muss, um die Genauigkeitsanforderungen für eine Wärmemengenmessung einzuhalten, dabei ein Sensor mit höherer Güte verwendet werden.
- **Geräteintegration:** In der Regel sind für die Erfüllung der Mindestanforderung messtechnische Komponenten oder Zähler zu ergänzen. Diese sind in die Geräte zu integrieren. Dabei wird eine ggf. zustande kommende Doppelausstattung mit existierenden Zählern außerhalb des Gerätes (z.B. Gasheizung: EVU-Zähler, integrierter Gaszähler) bewusst in Kauf genommen, um die Funktionalität in jedem Fall sicherzustellen. Bei Nutzung externer Zähler wäre es nicht auszuschließen, dass eine Anbindung bei der Montage des Geräts nicht erfolgt. Die im Projekt recherchierten Preise für geräteintegrierbare Messgerätekomponten weisen infolge hoher Abnahmemengen geringe Stückkosten auf. Eine weitere Anforderung ist, dass die erhobenen Messwerte in der Regelung der Geräte zu verarbeiten, zu bewerten und für die Darstellung in der Effizienzanzeige aufzubereiten sind. Auch dadurch werden die Kosten geringgehalten.
- **Offline-Funktionalität:** Die Effizienzanzeige ist ebenfalls geräteseitig zu integrieren. (Weitere Gestaltungsanforderungen an die Anzeige befinden sich in Abschnitt 0Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) Alle Funktionalitäten üssen „offline“ verfügbar sind, um die Funktion auch bei fehlender Internetverbindung zu gewährleisten. Soweit eine Onlineanbindung besteht, ist die Effizienzanzeige dort ebenfalls verpflichtend einzubinden.
- **Herstellerneutralität:** Die Mindestanforderungen beinhalten keinen Zwang zur Nutzung bestimmter Techniken, Produkte, Services oder Datenquellen. Weg und Mittel zur Erfüllung der Anforderungen sind dem Gerätehersteller freigestellt.
- **Wirtschaftlichkeitsgebot:** Die Mindestanforderungen müssen wirtschaftlich darstellbar sein. Basis ist eine Lebenszyklusbetrachtung unter Berücksichtigung von Geräte-, Verbrauchs und Wartungskosten. Dem wurden die zu erwartenden Einsparungen

gegenübergestellt. Bei den Energiepreisen wurden mittlere EU-Preise³⁶ angesetzt. Nicht berücksichtigt bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde, dass die angesetzten Hardwarekosten von Zusatzausstattungen in Geräten ggf. mit einem Endkundenaufschlag versehen werden. Ein solcher Aufschlag dürfte ungefähr den Faktor 2-3 betragen. Ebenfalls nicht berücksichtigt wurde, dass die Integration zusätzlicher Sensoren und Zähler wegen des zusätzlichen Platzbedarfs grundlegende Änderungen am Produkt erfordern und daher ggf. erst im Rahmen einer neuen Produktgeneration umzusetzen sind.

- **Höhe der Energieeinsparung:** Die erwartete Energieeinsparung ist der wichtigste Parameter für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Beim Ansatz der Einsparung konzentrierten sich die Auftragnehmer auf die Effizienzsteigerung der Produktgruppen durch die Hauptanforderung „Effizienzüberwachung“. Sekundäre Effekte wie Verhaltensänderungen durch Verbrauchsmonitoring wurden nicht berücksichtigt. Der Ansatz bezieht sich nur auf Neugeräte, in die eine Effizienzüberwachung integriert wird. Differenziert wurde zwischen Neu- und Altbauten, in die die Geräte oder Anlagen eingebaut werden. Bei Neubauten sind geringere Effizienzpotenziale zu erwarten, da hier ausschließlich Neukomponenten zum Einsatz kommen. Im Ergebnis wurde die durch Effizienzüberwachung mögliche Einsparung für Neubauten mit 2,5% und für Altbauten mit 5% abgeschätzt. Eigene Untersuchungen und Quellen³⁷ ergeben, dass die in Beständen gemessenen Nutzungsgrade von Heizkesseln etwa 10-12 Prozentpunkte unter den zu erwartenden Normwerten liegen und zu erwartende Effizienzgewinne überwiegend in der Peripherie (z.B. korrekte eingestellte Heizkurven und Pumpen, hydraulischer Abgleich) begründet liegen. Da nicht jede Anlage ineffizient arbeitet bzw. nicht jedes aufgezeigte Effizienzpotenzial gehoben werden wird, ergibt sich das Einsparpotenzial von 5% bei Ansatz eines zu 50% ausgeschöpften Potenzials.
- **Vereinheitlichung (geräteübergreifend):** Es wurde angestrebt, für die Effizienzbewertung verschiedener Gerätegruppen, soweit möglich, vergleichbare Anforderungen aufzustellen. So erfolgt die Bewertung der Effizienz durch messtechnische Überprüfung der in Ökodesign vorgegebenen Effizienzparameter (z.B. Jahrnutzungsgrad bei Raumheizgeräten, spezifische Ventilatorleistung bei großen Lüftungsanlagen). Soweit eine Effizienzüberwachung technisch nicht möglich oder zu aufwendig ist, sind Ersatzverfahren anzuwenden, die zumindest eine mögliche Effizienzverschlechterung diagnostizieren (z.B. über auffällige Verbrauchssprünge). In einzelnen Fällen ist auch ein alleiniges Verbrauchsmonitoring sinnvoll (z.B. Stromverbrauch Durchlauferhitzer).

Bei komplexen Anlagen wurde generell die Datenvorhaltung (Regelzustände und Parameter der wichtigsten Sensoren und Aktoren) für manuelle Funktionskontrollen vorgegeben.

- **Genauigkeit von Messgeräten.** Um Effizienzpotenziale im einstelligen Prozentbereich diagnostizieren zu können, bedarf es einer hohen Messgenauigkeit. Praxisbeispiele belegen, dass derzeit in Geräte integrierte Messungen sehr ungenau sein können. Teilweise werden „Mondwerte“ angezeigt (Abbildung 5). Die Ursachen könnten darin begründet liegen, dass

³⁶ Strom 20 ct/kWh, Erdgas 6,4 ct/kWh, Heizöl, 6,1 ct/kWh, Festbrennstoffe 4 ct/kWh, vgl. <https://www.ecoboiler-review.eu/downloads/Presentation%2023%20Jan%202018%20BOILER%20TASK%202.pdf>, Seite 23

³⁷ Vgl. Lambrecht, K. (2017). Einsparungen von Endenergie und CO₂ beim Ersetzen alter Heizkessel durch Brennwertkessel – eine detaillierte Betrachtung von Einsparpotentialen in Abhängigkeit der Ausgangslage.

- sehr oft nicht gemessen, sondern gerechnet wird,
- keine hochwertigen Komponenten zum Einsatz kommen,
- das spezielle Know-How von Messgeräteherstellern (z.B. paarweises Ausmessen von Temperaturfühlern, damit sich Fehler ausgleichen, oder die Nichtbeachtung des Betriebsbereichs) nicht berücksichtigt wird.

Als Anforderung wurde festgelegt, dass Effizienzanzeigen grundsätzlich auf Messwerten zu basieren haben. Berechnungen auf Basis von z.B. der Normdrehzahlen von Pumpen sind nicht zulässig. Die integrierten Messgeräte müssen bezüglich der Genauigkeit den Anforderungen der Richtlinie EU 2004/22 / EG entsprechen (MID Konformitätserklärung). Eine Vorgabe bestimmter Messtechniken (z.B. Durchflussmessung ohne mechanische Komponenten bei Wärmezählern) erfolgt nicht. Der Ablauf der Eichdauer und damit eine Verschlechterung der Genauigkeit der Anzeigen während der Lebensdauer der Geräte muss hingenommen werden. Zum einen dürfte die technische Lebensdauer der Komponenten die Eichdauer in der Regel erheblich überschreiten. Weiterhin stellt ein verpflichtender Ersatz von Komponenten nach Ablauf der Eichdauer einen unverhältnismäßig hohen Aufwand dar. Als Anforderung an die Integration der Messgeräte wird allerdings festgelegt, dass ein zerstörungsfreier Ersatz bzw. ein Austausch der Geräte bzw. der Sensoren möglich sein sollte.



Abbildung 5: Ins Gerät integrierte Solarertragsanzeige einer 6m² Flachkollektor-Anlage nach 1,5 Jahren Solarthermie-Nutzung. Zu erwarten wäre ein Solarertrag von etwa 3.000 kWh (Quelle: [co2online](#))

5.1.2 Raumklimageräte bis 12 kW

Zu Gruppe der kleinen Klimageräte im Geltungsbereich der Verordnungen 2011/626 / EU und 2012/206 / EU gehören netzbetriebene Raumklimageräte mit einer Nennleistung bis 12 kW für Kühl- bzw. Heizzwecke. Ebenfalls (Komfort-)Ventilatoren mit einer elektrischen Ventilatorleistungsaufnahme bis 125 W. Zu den Raumklimageräten gehören insbesondere Monoblock- und Splitgeräte.

Die kleinen Klimageräte standen nicht im Fokus des Projekts, da Ihre Bedeutung trotz Rekordhitze im Sommer 2018 in Deutschland nur gering ist. Daher wurde auf eine detaillierte Betrachtung verzichtet. Für das in Abschnitt 5.3.1 beschriebene und im Anhang 10.8 dargestellte Ökodesign-Papier wurden Anforderungen an das Energie- und Effizienzmonitoring definiert. Dabei wird zwischen portablen und fest installierten Geräten differenziert. Für Kom-

fortventilatoren wurde wegen der geringen Leistungsaufnahme und des geringen Preises auf Anforderungen verzichtet. Die Anforderungen an Klimageräte werden im Folgenden zusammengefasst:

- **Überwachung des Stromverbrauchs** (alle Geräte außer Komfortventilatoren): Durch die Integration der Technik aus kostengünstigen Steckdosenmessgeräten (vgl. Abbildung 6, Kosten ab 5 €) wird es möglich, den aktuellen Stromverbrauch (Tag / Woche / Monat / Jahr) anzuzeigen und mit dem der Vorperiode zu vergleichen. Die meisten Klimageräte verfügen bereits über Displays, in die die Verbrauchsanzeige integriert werden kann.
- **Energiesparmodus:** Für fest installierte Klimageräte mit Kühlfunktion ist ein „Energiesparmodus“ vorzuschreiben, der die Innenraumsolltemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur flexibel anpasst. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Menschen bereits einen erheblichen Kühleffekt spüren, wenn das Temperaturniveau gegenüber der Umgebung um wenige Kelvin reduziert wird. Wird der „Energiesparmodus“ nicht verwendet, obwohl die Voraussetzungen vorliegen, müssen die Benutzer in geeigneter Weise zu dessen Nutzung motiviert werden. Notwendig hierfür ist die Ausstattung des Geräts mit einem zusätzlichen Temperatursensors in der externen Einheit (Materialkosten 5 €).



Abbildung 6: In Steckdosenmessgeräte verbaute genaue Messtechnik ist preisgünstig und genau
(Foto: Quelle Revolt)

Eine direkte Effizienzüberwachung auf der Grundlage von Leistungsfaktoren beim Kühlen und Heizen in Geräten dieser Leistungsklasse (12 kW) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund der Schwierigkeit und / oder der hohen Kosten für die Messung und Aufzeichnung des Heiz- und Kühlbedarfs wirtschaftlich nicht realisierbar. Um festzustellen, ob die im Folgenden vorgeschlagenen Mindestanforderungen praktikabel und wirtschaftlich darstellbar sind, bedarf es weiterführender Untersuchungen:

- **Überwachung der Energieeffizienz** (fest installierte Klimageräte): Durch die Überwachung der aus dem Stromverbrauch und der Zeit resultierenden mittleren Leistungsaufnahme des Geräts über die Außentemperatur (und möglicherweise der Innenraumtemperatur) könnte auf Effizienzverschlechterungen geschlossen werden.

Diese sind immer dann zu vermuten, wenn der mittlere Leistungsaufwand je Kelvin steigt. Ein analoges Verfahren für Heizenergie ist bereits Bestandteil deutscher Normen³⁸

- **Überwachung der Verschmutzung des Wärmetauschers** (fest installierte Klimageräte): Die Verschmutzung des Wärmetauschers ist eine typische Ursache für Effizienzverluste. Eventuell ist es daher möglich, bei fest installierten Klimaanlage die Verschmutzung des Wärmetauschers festzustellen, indem geeignete Parameter (z.B. Leistungsaufnahme des Lüfters) erfasst und bewertet werden. Ein solches Verfahren könnte bisher übliche feste Reinigungsintervallvorgaben ersetzen. Eine Verschmutzung sollte optisch und ggf. akustisch signalisiert werden.

5.1.3 Warmwasserbereiter

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an Warmwasserbereiter, Warmwasserspeicher und Verbundsysteme aus Warmwasserbereitern und Solarthermieranlagen im Geltungsbereich der Verordnungen 2013/812 / EU und 2013/814 / EU beschrieben. Für Warmwasserwärmepumpen wird hinsichtlich der Überwachung der Effizienz zusätzlich auf die Anforderungen in Abschnitt 5.1.4. verwiesen. Ebenso für Warmwasser- und Pufferspeicher, da diese immer in Kombination mit Raumheizgeräten eingesetzt werden. Für gasbeheizte Durchlauferhitzer und Speicher wurden keine Anforderungen festgelegt, da die Geräte über keinen Stromanschluss und keine elektronische Steuerung/Regelung verfügen³⁹ und diese daher wirtschaftlich nicht darstellbar sind.

Die im Folgenden dargelegten Anforderungen sind im Anhang 10.2 „Factsheet Warmwasserbereiter“ strukturiert dargestellt. Zusätzlich im Ökodesign-Papier im Anhang 10.8.

- **Schnittstelle für Steuerbarkeit und Datenaustausch** (Regler von Warmwasserbereitern, Warmwasserspeichern und Solarthermieranlagen, die mit Raumheizgeräten zu Verbundanlagen kombiniert werden können):
Um bei Verbundanlagen ein optimales Zusammenspiel aller Systemkomponenten in Bezug auf die Effizienz zu gewährleisten und die Überwachung von Effizienz und Verbrauch sowie Funktionskontrollen zu erleichtern, muss sichergestellt sein, dass ein übergeordneter Regler diese Funktionen erfüllt. Soweit der Regler diese Anforderung nicht erfüllt, muss er mit einer Schnittstelle zu den anderen Reglern ausgerüstet sein, die dies gewährleistet.
- **Überwachung der Effizienz** (elektrische Wärmepumpen, vgl. Abschnitt 5.1.4)
- **Monitoring des Strom- und Warmwasserverbrauchs** (elektrische Speicher und Durchlauferhitzer, Warmwasserwärmepumpen und Solaranlagen und Warmwasserspeicher mit elektrischer Nachheizung):
Auch hier ist wie bereits in Abschnitt 5.1.2 dargestellt die Integration kostengünstiger Stromesstechnik in alle Geräte möglich, um den aktuellen Stromverbrauch (Tag / Woche / Monat / Jahr) anzuzeigen und mit der Vorperiode zu vergleichen. Bei elektronischen Durchlauferhitzern sind bereits Geräte auf dem Markt, die sowohl den Strom- als auch den Warmwasserverbrauch überwachen. Daher wird die Anforderung der zusätzlichen Messung des Warmwasserverbrauchs auf diese Produktgrup-

³⁸ Vgl. DIN EN 12831 Beiblatt 2:2012-05:Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Beiblatt 2: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Gebäude-Heizlast und der Wärmeerzeugerleistung.

³⁹ Soweit neue Gerätegenerationen künftig elektronisch gesteuert werden, sind entsprechende Anforderungen zu ergänzen.

pe ausgedehnt. Da Strömungssensoren für wenige Euro erhältlich sind, ist im Rahmen des Ökodesign-Prozesses zu prüfen, ob auch bei elektrischen Speichern eine Wassermengenmessung wirtschaftlich sinnvoll ist.

- **Monitoring des Solarertrags und Funktionsprüfungen** (Solarregler, Solarstationen und Solaranlagen):

Die Messung und Anzeige des Solarertrags der aktuellen Periode (Tag / Woche / Monat / Jahr) und dessen Benchmarking mit dem prognostizierten Solarertrag oder Vorperiodenerträgen ermöglicht auf einfache Art und Weise eine Effizienzüberwachung von Solarthermieanlagen. Hierfür ist die Installation eines Wärmezählers (50 €) notwendig, der in den Regler und die Solarstation (Volumenmessteil, Temperaturfühler) integriert wird. Um die Ursachen unbefriedigender Erträge diagnostizieren zu können, muss der Regler die Parameter aller Sensoren und Aktoren der Anlage mit einer Auflösung von max. 5 Minuten für 1 Jahr erfassen und speichern (manuelle Funktionsprüfung). Dabei ist der Datenzugriff durch eine universelle Schnittstelle in einem maschinenlesbaren Format (z.B. csv) sicherzustellen. Im Rahmen des Ökodesign-Prozesses sind zusätzliche automatische Funktionsprüfungen zu definieren. Am Markt erhältlich sind bereits Regler mit Features wie „Selbstprüfung des Reglers und der Sensoren“, „Überwachung der Vor- und Rücklauftemperaturen im Solarkreislauf“ sowie für die Aufdeckung eventuell vorhandener nächtlicher „Fehlzirkulation“ im Solarkreis.

5.1.4 Raumheizgeräte

Dieser Abschnitt thematisiert Anforderungen an Raumheizgeräte, Kombiheizgeräte, Verbundanlagen aus Raumheizgeräten und Warmwasserspeichern sowie von Verbundanlagen aus Kombiheizgeräten und Warmwasserspeichern, die den Verordnungen 2013/811 / EU und 2013/813 / EU unterliegen

Die im Folgenden dargelegten Anforderungen sind im Anhang 10.3 „Factsheet Raumheizgeräte“ strukturiert dargestellt. Darüber hinaus im Ökodesign-Papier im Anhang 10.8. Anforderungen an konventionelle Brennkessel hinsichtlich der Anbindung erneuerbarer Energieanlagen thematisiert Abschnitt 6.4.

- **Überwachung der Effizienz** (Regler von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten): Für die Effizienzüberwachung eignet sich der Jahresnutzungsgrad η_s (klassifizierende Anzeige als Abweichung vom Erwartungswert, vgl. Abschnitt 5.2.1), der bei Wärmepumpen auch als Jahresarbeitszahl (SCOP) bezeichnet wird. Er ergibt sich aus der Division von Output und Input in einer gewissen Zeitperiode. Zur Bestimmung des Inputs müssen Messgeräte für die Endenergie und den Stromverbrauch in die Heizgeräte integriert werden. Der Gasverbrauch kann mit kostengünstigen Sensoren (vgl. Abbildung 3; Kosten ca. 30 €), gemessen werden, der Heizölverbrauch mit Durchflussmessern zu ähnlichen Kosten. Die Kosten für Stromzähler wurden in Abschnitt 5.1.3 (5 - 30 €) dargestellt. Den Output stellt die mit Hilfe von Wärmezählern (50 €) gemessene Wärmemenge dar. Soweit mehrere Heizkreise bzw. auch Warmwasserspeicher versorgt werden, kann die Wärmemessung so angeordnet werden, dass ein Zähler alle Mengen erfasst. Das Verfahren ist geeignet für die Effizienzbewertung von Elektro-, Gas- und Ölkesseln, Wärmepumpen und Bockheizkraftwerken (inkl. Brennstoffzellen). Wärmepumpen sind in Deutschland teilweise bereits mit Anzeigen der Jahresarbeitszahl ausgestattet (vgl. Abbildung 2).

Im Rahmen von Ökodesign sollte weiterführend untersucht werden, ob für Geräte, bei denen die Überwachung des Jahresnutzungsgrades nur mit sehr hohem technischen oder finanziellem Aufwand möglich ist, Alternativmethoden für die Effizienzüberwachung zum Einsatz kommen:

- Messung und Analyse der Kondensatmenge
- Messung und Analyse der Vor-/Rücklauftemperaturen
- Verbrauchsanalyse
- Messung und Analyse der Abgastemperatur und ggf. des Sauerstoffgehalts.

Die Verfahren werden im Ökodesign-Papier im Anhang 10.8 skizziert.

- **Monitoring des Endenergie- und Warmwasserverbrauchs** (Regler von Raumheiz- und Kombiheizgeräten): Da der Endenergieverbrauch und der Stromverbrauch bereits zur Effizienzüberwachung erfasst wird, kann er für das Verbrauchsmonitoring (aktuelle Periode Tag / Woche / Monat / Jahr, differenziert nach Aufwand Raumheizung und für die Warmwasserbereitung, Vergleich zur Vorperiode) aufbereitet werden. Bei Vorhandensein eines Außentemperaturfühlers ist der Verbrauch klimaschwankungsbereinigt (entsprechend dem im Ökodesignpapier im Anhang 10.8, S. 25 skizzierten Verfahren) darzustellen. Bei kombinierten Geräten zur Raumwärme und Warmwasserbereitung kann zusätzlich der Warmwasserverbrauch überwacht werden, der mit Durchflusszählern (30 €) ähnlich dem Heizölverbrauch ermittelt wird.
- **Regelstrategie „CO₂-optimierter Betrieb“** (Regler von Verbundanlagen mit mehreren Wärmeerzeugern, insbesondere sogenannter „Hybridanlagen“): Um die Nutzung eines möglichst hohen Anteils Heizwärme aus erneuerbaren Energien zu gewährleisten, ist eine entsprechende Regelstrategie vorzusehen und im Regler voreinzustellen (vgl. auch Abschnitt 6.4).
- **Monitoring des Anteils erneuerbarer Wärme** (Regler von Verbundanlagen mit mehreren Wärmeerzeugern, davon mindestens ein Gerät zur Nutzung erneuerbarer Wärme): Ein wichtiges Kriterium für die korrekte Funktion einer Verbundanlage ist die Einhaltung der veranschlagten regenerativen Deckungsrate (Tag / Woche / Monat / Jahr, Vergleich mit Prognose bzw. Vorperiodenwert). Signifikante Abweichungen geben Aufschluss über eine Fehlfunktion von Komponenten oder mangelhafte Interaktion. Ggf. vorgegebene Ausbauziele erneuerbarer Energien könnten so auf Anlagenebene überprüft werden. Die Aussagen können unter Verwendung der oben für die Effizienz- oder Ertragsüberwachung vorgeschriebenen Messgeräte getroffen werden.
- **Funktionskontrollen** (Regler von Verbundsystemen mit mehreren Wärmeerzeugern): Zusätzlich zu den bereits definierten Anforderungen an Verbundanlagen muss sichergestellt werden, dass die Einzelkomponenten solcher Anlagen im optimalen Einsatzbereich und nicht „gegeneinander“ arbeiten. Solche Funktionskontrollen sind von der Art der Verbundanlage abhängig und nicht allgemein definierbar. Hierfür bedarf es weiterführender Untersuchungen, z.B. im Rahmen des Ökodesign-Prozesses. Als Einstieg (manuelle Funktionskontrolle) wird die Aufzeichnung und Vorhaltung der Parameter sowie der für die Beurteilung der optimalen Betriebsweise der Verbundanlage notwendigen Sensoren und Aktoren (analog wie in Abschnitt 5.1.3 für Solarthermieranlagen beschrieben) vorgeschlagen.

5.1.5 Festbrennstoffkessel

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen für manuell und automatisch beladene Festbrennstoffkessel im Geltungsbereich der Verordnungen 2015/1187 / EU und 2015/1189 / EU beschrieben, bei denen hauptsächlich Holz und ggf. auch andere feste Brennstoffe (z.B. Kohle) verbrannt werden.

Die im Folgenden dargelegten Anforderungen sind im Anhang 10.4 „Factsheet Festbrennstoffkessel“ strukturiert dargestellt. Darüber hinaus im Ökodesign-Papier im Anhang 10.8.

- **Effizienzüberwachung** (Regler von Festbrennstoffkesseln):
Für automatisch bestückte Festbrennstoffkessel kann das bei den Raumheizgeräten in Abschnitt 5.1.4 vorgestellte Verfahren der Überwachung des Jahresnutzungsgrads η_s angewendet werden. Hierbei kann der Endenergieverbrauch näherungsweise über die Parameter der Fördermechanik ermittelt werden, z.B. bei Holzpelletkesseln über die Kapazität der Brennstoffzufuhr (Förderschnecke). Alternativ kann der Verbrauch über die Kesselleistung und die korrespondierenden Betriebszeiten ermittelt werden. In beiden Fällen werden keine Zusatzausstattungen benötigt. Die Kosten für die Messung des Outputs und des Betriebs- bzw. Reservestromverbrauchs liegen innerhalb der in den vorherigen Abschnitten dargestellten Größenordnung.

Bei allen anderen Heizgeräten, insbesondere manuell bestückten Kesseln, muss im Rahmen weiterführender Untersuchungen (z.B. Ökodesign-Prozess) beurteilt werden, ob die im Ökodesign-Papier im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 10.8, Abschnitt 10) skizzierte Mess- und Analyseverfahren für die Abgas-temperatur und den Sauerstoffgehalt geeignet ist, um Effizienzverschlechterungen durch regelmäßig im Betrieb auftretende Verschmutzung des Wärmetauschers zu erkennen.

- **Monitoring des Endenergieverbrauchs bzw. des Nutzenergieverbrauchs** (Regler von Festbrennstoffkesseln):
Die für die Effizienzüberwachung installierten Zähler erlauben in Kombination mit den für die Regelung erfassten Außentemperaturen analog wie im Abschnitt 5.1.4 bei den Raumheizgeräten beschrieben, ein ergänzendes, klimabereinigtes Verbrauchsmonitoring. Für alle weiteren Kessel ist eine Überwachung der abgegebenen Heizwärme (Output) sinnvoll, wobei sich die Kosten für die Integration des hierfür benötigten Wärmehäufigkeitszählers ebenfalls an bereits dargestellten Kosten orientieren.

5.1.6 Einzelraumheizgeräte

Nachfolgend werden Anforderungen an elektrische Einzelraumheizgeräte, Hell- und Dunkelstrahler sowie Einzelraumheizgeräte mit indirekter Heizfunktion (z.B. Pelletöfen mit Wassertasche) beschrieben, die den Ökodesign-Vorgaben der Verordnungen 2015/1185 / EU, 2015/1186 / EU und 2015/1188 / EU unterliegen. Von den Anforderungen ausgenommen sind nicht mit einem Stromanschluss ausgestattete Geräte (z.B. Gas- bzw. Ölöfen) sowie Festbrennstoff-Einzelraumgeräte ohne Wassertasche, da hier der technische und wirtschaftliche Aufwand zu hoch ist.

Die im Folgenden dargelegten Anforderungen sind im Anhang 10.5 Factsheet „Einzelraumheizgeräte“ strukturiert dargestellt. Darüber hinaus im Ökodesign-Papier im Anhang 10.8.

- **Effizienzüberwachung** (Regler von Einzelraumheizgeräten mit indirekter Heizfunktion):
Soweit eine weiterführende Prüfung das Verfahren zur Überwachung der Abgastemperatur und des Sauerstoffgehalts bei den Festbrennstoffkesseln entsprechend Abschnitt 5.1.5 positiv evaluiert, kann es auch für diese Gerätegruppe angewendet werden. Eine Effizienzüberwachung auf Basis des Jahresnutzungsgrades ist nicht möglich, da ein Teil der Wärme (15-20%) direkt in den Raum abgegeben wird und die Brennstoffzufuhr in der Regel manuell erfolgt.
- **Monitoring des Endenergieverbrauchs** (elektrische Raumheizgeräte, Hell- und Dunkelstrahler):
Es gelten die in den vorherigen Abschnitten dargestellten Anforderungen und Wirtschaftlichkeitsaspekte hinsichtlich Strom-, Gas-, und Ölmessung. Eine Witterungsreinigung mittels Außentemperatur wird wegen des diskontinuierlichen Betriebs der Geräte und fehlender Fühler nicht vorgeschrieben.

5.1.7 Lüftungs- und Klimaanlage

In diesem Abschnitt werden Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage, die den Verordnungen 1253/2014/EU, 1254/2014/EU sowie 2281/2016/EU unterliegen, thematisiert.

Zum einen geht es um kurzfristig umzusetzende Anforderungen, die auf den Empfehlungen der Lüftungsstudie (Offermann et al., 2018; Berger, 2018) basieren. Diese wurden bereits als Entwurf eines eigenständigen Paragraphen des GEG für die Messtechnikausstattung solcher Anlagen (vgl. Abschnitt 6.3) aufbereitet. Mittelfristig ist im Rahmen des Ökodesign-Prozesses zu definieren, wie Effizienzanzeigen in die übergeordnete Anlagenregelung zu integrieren sind.

Die kurzfristig umzusetzenden Anforderungen werden im Factsheet „Große Lüftungs- und Klimaanlage“ (Anhang 10.6) thematisiert. Darauf aufbauende erweiterte Anforderungen, die mittelfristig auszugestalten sind, werden im Ökodesign-Papier im Anhang 10.8 dargestellt.

5.1.7.1 Klima- und Lüftungsanlagen ab 4.000 m³/h

Kurzfristig umzusetzende Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage mit einem Volumenstrom von mehr als 4.000 m³/h⁴⁰:

- **Messgeräteausstattung:** Für die Bewertung der Effizienz von Lüftungs- und Klimaanlage sind der Stromverbrauch und die Volumenströme (über den Wirkdruck an der Einlaufdüse) der Zu- und Abluftventilatoren zu erfassen. Aus der Leistungsaufnahme und den Volumenströmen kann die spezifische Ventilatorleistung SVL (englisch: SFP) berechnet und eine Einstufung in die Klassen entsprechend EN 16798-3 erfolgen. Außerdem ist eine manuelle Vorrichtung zur Messung der statischen Druckerhöhung über die Ventilatoren und optimaler Weise der Wärmerückgewinnung (WRG) vorzusehen. Unter Zuhilfenahme von Standardwerten für weitere Druckverluste (z.B. für das Kanalsystem und saubere Luftfilter) kann die innere spezifische Ventilatorleistung SFP_{int} nach Richtlinie 1253/2014 /EU ermittelt und bewertet werden. Durch die Messung der Enthalpiedifferenzen (jeweils Temperatur- und Feuchte) über die WRG und die gesamte Zuluftkonditionierung bis zum Geräteaustritt, sind die thermischen Energieumsätze für Lufterwärmung, Kühlung und Be- bzw. Entfeuchtung berechenbar. Bei Anlagen ohne Luftbefeuchtung genügt die Erfassung der entsprechenden Temperaturen. Eine solche Ausstattung ermöglicht insbesondere die Über-

⁴⁰ Entspricht Grenze für Anforderungen nach EnEV und künftigen GEG

prüfung der Einhaltung der Wärmerückzahl von WRG-Anlagen nach Richtlinie 1253/2014 / EU. Ein Teil der benötigten Sensoren gehört bereits zur Standardausstattung von Neuanlagen (Wirkdruckmessung, Ablufttemperaturfühler, Leistungsmessung bei Ventilatoren mit Drehzahlregelung).

- **Datenspeicherung für manuelle Funktions- und Effizienzkontrollen:**
Durch die Speicherung der erhobenen Messwerte mit mindestens stündlicher, besser 15 minütiger Auflösung in einem zur Weiterverarbeitung geeigneten Format (z.B. csv) und der Zugriffsmöglichkeit über eine genormte universelle Schnittstelle (z.B. USB oder Speicherkarte) kann im Rahmen von Anlagenwartungen bzw. -inspektionen eine Datenauswertung vorgenommen werden. Dafür ist der Datensatz durch den Inspektor individuell weiterzuverarbeiten und ggf. mit externen Daten anzureichern (z.B. Außentemperatur des Standorts). Auf dieser Basis und durch Vergleich mit den oben dargestellten Normwerten sind Effizienzaussagen und Aussagen zur Betriebsweise der Anlage (z.B. Vergleich Anlagenlaufzeiten mit den Zeiten der tatsächlichen Gebäudenutzung) möglich. Die berechneten thermischen Energieumsätze können zusätzlich in die Bewertung vorgelagerter Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen einfließen.

Im Rahmen des Ökodesign-Prozesses sind die Anforderungen weiterzuentwickeln. Ziel muss es sein, dass mit Hilfe der erfassten Messwerte und in die Steuerung zu hinterlegende zusätzliche Parameter die oben dargestellten Effizienzparameter und Energieumsätze ermittelt und wie bei den in den vorherigen Abschnitten behandelten Geräten im Bediendisplay der Regelung dargestellt und bewertet werden können. Hierfür sind in weiterführenden Untersuchungen die Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit folgender Anforderungen zu überprüfen:

- **Schnittstellen für den Datenaustausch** (zentrale Regler bzw. Anlagenkomponenten von individuell geplanten Lüftungsanlagen oder Lüftungsgeräten):
Schnittstellen für die Übergabe aller für das Effizienz- und Verbrauchsmonitoring notwendigen Parameter und Daten sowie Messwerte, Übergabe ggf. zusätzlich gemessener Verbrauchsdaten für Wärme, Kälte und Strom, Weitergabe der Daten sowie der Effizienz- und Verbrauchsmonitoring-Ergebnisse an die Gebäudeleittechnik (soweit vorhanden).
- **Effizienzmonitoring** (zentrale Regler von individuell geplanten Lüftungsanlagen oder Regler von Lüftungsgeräten): Berechnung und klassifizierende Bewertung der Effizienzparameter spezifische Ventilatorleistung SVL (SFP) bzw. SFP_{int} und der Wärmerückzahl (soweit eine WRG vorhanden) im Bediendisplay der Regelung.
- **Monitoring des Stromverbrauchs und der thermischen Energieumsätze** (zentraler Regler von individuell geplanten Lüftungsanlagen oder Regler von Lüftungsgeräten):
Berechnung und Darstellung der gemessenen oder berechneten Energieumsätze für Ventilatorstrom, Lufterwärmung, Kühlung sowie Be- und Entfeuchten und Vergleich mit den Vorjahresperioden, wie in den vorherigen Abschnitten beim Verbrauchsmonitoring erläutert.

5.1.7.2 Klimaanlage mit einem Kältebedarf größer 12 kW

Es gelten folgende kurzfristige Anforderungen für Anlagen mit einem Kältebedarf größer 12 kW⁴¹:

- **Schnittstellen für die Datenaustausch:** Die bereits im Gerät vorhandenen analogen Ausgangssignale der Messeinrichtungen für Verdampfungs- und Kondensationsdruck

⁴¹ Entspricht Grenze für Anforderungen nach EnEV und künftigen GEG

und die Betriebsmeldungen des Verdichters sind für die energetische Inspektion zugänglich zu machen und kontinuierlich bereitzustellen. Aus ungewöhnlich hohen oder niedrigen Druckniveaus kann auf mangelnde Effizienz geschlossen werden, hervorgerufen z.B. durch Verschmutzungen des Wärmeübertragers oder Undichtigkeiten. Aus den Betriebsmeldungen können Informationen zu Betriebszeiten und Taktung gewonnen werden.

- **Messgeräteausstattung** (Klimaanlagen mit Kältebedarf größer 400 kW⁴²): Für die Effizienzüberwachung ist bei großen Anlagen eine Messung des für die Kälteerzeugung benötigten Stromverbrauchs sowie der von der Anlage bereitgestellten Kältemenge wirtschaftlich.
- **Datenspeicherung für manuelle Funktionskontrollen:** Die zuvor aufgeführten Messwerte und Betriebsmeldungen sind analog wie in Abschnitt 5.1.7.1 dargestellt zu speichern und zugänglich zu machen.

Im Rahmen des Ökodesign-Prozesses wird vorgeschlagen, mindestens für Anlagen mit mehr als 400 kW Kältebedarf eine Effizienzbewertung in die Regelung der Lüftungs- und Klimaanlage bzw. der Kälteanlage zu integrieren:

- **Effizienzmonitoring** (übergeordnete Regler von individuell geplanten Lüftungsanlagen oder Regler der Kälteanlage): Berechnung und klassifizierende Bewertung der Jahresarbeitszahl (SEPR) der Kältemaschine im Bediendisplay der Regelung.

5.1.8 Zusammenfassung

In den vorherigen Abschnitten wurden Mindestanforderungen definiert, die in Tabelle 3 zusammengefasst sind. Es kann generell differenziert werden zwischen Anforderungen an

- das **Effizienzmonitoring**: Prinzipiell wurde eine Bewertung auf Basis des Jahresnutzungsgrades, also ein Output/Input-Vergleich, angestrebt. Soweit dies nicht möglich war, können andere Effizienzparameter zum Einsatz kommen (z.B. Rückwärmezahl bei der Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen). Außerdem können (klimaschwankungsbereinigte) Verbrauchssprünge auf eine Effizienzverschlechterung hindeuten. Ebenfalls, sofern bei der Anlagenplanung in der Anlagensteuerung hinterlegte Anteile regenerativ erzeugter Energie (z.B. Ertrag Thermosolaranlage) nicht erreicht werden.
- das **Verbrauchsmonitoring**: Soweit ein Effizienzmonitoring auf gemessenen Verbrauchswerten basiert, können die erhobenen Daten für das Verbrauchsmonitoring genutzt werden. Mit Hilfe der Daten der Außentemperatursensoren können die Verbräuche klimabereinigt werden und somit korrekt mit dem Verbrauch von Vorperioden verglichen werden. Wenn eine Verbindung mit dem Internet besteht, können auch externe, eventuell genauere Klimadaten, für die Bereinigung herangezogen werden. Da das Messequipment insbesondere für die einphasige Strommessung sehr kostengünstig ist (5 €), macht in vielen Fällen ein Verbrauchsmonitoring auch dort Sinn, wo ein Effizienzmonitoring nicht sinnvoll oder möglich ist (z.B. elektronische Durchlauferhitzer). In diesen Fällen können Einsparpotenziale durch Adressierung des Nut-

⁴² Entspricht Grenze der Richtlinie 2281/2016/EU

zerverhaltens realisiert werden (z.B. Verbrauch einer elektrisch betriebenen Zusatzheizung).

- **Funktionskontrollen:** Es ist äußerst sinnvoll und kostengünstig, für eine manuelle Funktions- bzw. Effizienzkontrolle die wichtigsten Parameter der Aktoren und Sensoren der Regelung, gemessene Verbrauchswerte oder Betriebszustände in einer Auflösung von Stunden-, besser 15-Minutenwerten, gespeichert vorzuhalten. Diese können über eine universelle Schnittstelle (z.B. Speicherkarte oder USB) zugänglich gemacht und in einem maschinenlesbaren Format (z.B. csv) vorgehalten werden. Automatische Funktionskontrollen sind insbesondere bei Solarthermieanlagen verbreitet: Basisfunktionalitäten wurden als Mindestanforderungen definiert. Perspektivisch sollten, im Rahmen der Digitalisierung, automatische Funktionskontrollen die Ursachen von Effizienzproblemen diagnostizieren.
- **Regelungsmodi:** In ausgewählten Fällen wurden auch energiesparende Regelungsmodi vorgegeben, z.B. beim Betrieb von Klimageräten oder bei Hybridheizungen.
- **(Messgeräteausstattung):** Die notwendige Messgeräteausstattung wurde im Zusammenhang mit den oben dargestellten Effizienz- und Verbrauchsmonitoring-Anforderungen definiert. Einen Sonderfall stellen hier die Lüftungs- und Klimaanlage dar, wo durch Rückgriff auf Empfehlungen anderer Untersuchungen im ersten Schritt eine Messgeräteausstattung in Kombination mit Datenspeicherung für manuelle Funktionskontrollen favorisiert wird. Hier sollten höherwertige Anforderungen im Rahmen des Ökodesign-Prozesses definiert werden.

Gerätegruppe	Gerät	Effizienzmonitoring	Verbrauchsmonitoring	Funktionskontrollen	Regelungsmodi
Raumklimageräte < 12 kW	Klimageräte (mobil)	-	Stromverbrauch	-	-
	Klimageräte (fest installiert)	prüfen: Effizienzverschlechterung bzw. Verschmutzung	Stromverbrauch	-	Energiesparmodus
	Komfortventilatoren	-	-	-	-
Warmwasserbereiter	Verbundanlagen				Schnittstelle Steuerbarkeit Datenaustausch
	Solarthermieanlagen	Solarertrag	-	manuell: Zustände Aktoren & Sensoren prüfen: automatische FK	-
	Warmeasserbereiter elektrisch bzw. mit Nachheizung		Stromverbrauch, ggf. Warmwasserverbrauch		
Raumheizgeräte	Raumheizgeräte Kombiheizgeräte	Nutzungsgrad	Endenergieverbrauch, witterungsbereinigt		
	Kombiheizgeräte (zusätzlich)		Warmwasserverbrauch		
	Verbundanlagen (zusätzlich)			manuell: Zustände Aktoren & Sensoren prüfen: automatische FK	

Gerätegruppe	Gerät	Effizienz- monitoring	Verbrauchs- monitoring	Funktions- kontrollen	Regelungs- modi
	Verbundanlagen mit regenerativer Komponente (zusätzlich)	erneuerbare Deckungsrate			Regelstrategie „CO ₂ -optimierter Betrieb“
Festbrennstoffkessel	automatisch bestückt	Nutzungsgrad	Endenergieverbrauch, witterungsbereinigt		
	alle anderen (insb. manuell bestückt)	prüfen: Abgas-temperatur, O ₂ -Gehalt	Wärme-Output, witterungsbereinigt		
Einzelraumheizgeräte	elektrisch		Stromverbrauch		
	Hell- und Dunkelstrahler		Endenergieverbrauch		
	Feststofföfen mit Wassertasche	prüfen: Abgas-temperatur, O ₂ -Gehalt	Wärme-Output		
Lüftungs- und Klimaanlage	RLT > 4.000 m ³ /h	prüfen (Öko-design) SFP, SFP _{int} Rückwärmezahl	Stromverbrauch Ventilatoren; Berechnung thermischer Energieumsätze	manuell: Stromverbrauch, Volumenstrom, Parameter Luft- und Feuchte-sensoren	
	mit Kälteteil > 12 kW	-	-	manuell: Betriebs-meldungen Verdichter, Verdampfungs- und Kondensa-tions-druck	-
	mit Kälteteil > 400 kW zusätz-lich	prüfen (Öko-design) Nutzungsgrad (Arbeitszahl)	Stromverbrauch Kälteverbrauch		-

Tabelle 3: Übersicht der im Rahmen des Projekts definierten Anforderungen nach Geräteklassen und Geräten

5.2 Zusammenstellung und Usability-Test von Gestaltungsvorschlägen für Nutzerfeedback zur Geräteeffizienz

(Heiz-)Technologien können einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz leisten. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass diese über Schnittstellen mit potenziellen Nutzerinnen und Nutzern so kommunizieren, dass aus einem passiven Nutzer ein langfristig zuverlässiger aktivierbarer Nutzer wird, der z.B. das Feedback der Heizungsanlage aufgreift.

Im Folgekapitel (5.2.1) werden, basierend auf den Befunden zum Energie-Feedback (s.a. Kapitel 4.1), Gestaltungsvorschläge benannt, die die Nutzung von feedbackgebenden Schnittstellen fördern sollen.

Im Projekt gesetzte Rahmenbedingungen für diese Schnittstellen-Gestaltungsvorschläge sind:

1. Informationen visuell vermitteln,
2. Informationen zur Geräteeffizienz fokussieren,
3. geringe Kosten verursachen,
4. (auch) offline basiert funktionieren,
5. kompatibel mit anderen Funktionen (insbesondere Störungsmeldungen) der Anlage sein und
6. Kommunikation differenziert für Nutzer (Laien) und Handwerker ermöglichen

Nach der Vorstellung der Gestaltungsvorschläge wird über eine Studie berichtet (5.2.2) in der die Nutzerfreundlichkeit dieser Vorschläge mittels Prototyping in der Praxis erkundet wurde.

5.2.1 Gestaltungsempfehlungen von visuellen Schnittstellen zur Kommunikation der Geräteeffizienz am Beispiel Raumheizgeräte

*Schnittstellen*⁴³ haben aus psychologischer Sicht gemeinsam, dass sie *Informationen*, insbesondere *Rückmeldungen*, Nutzern verfügbar machen. Unter *Rückmeldung* (Feedback, Feedback Intervention) wird hier der Prozess verstanden, über den intelligente Messsysteme Informationen zum Zustand eines technischen Systems geben. Diese Information kann zur Modifikation des technischen Systems oder des Nutzerverhaltens genutzt werden (s. Karlin, Ford & Squiers, 2014; Zvingilaitė & Togeby, 2015).

Nutzer müssen Informationen bzw. Feedback suchen, finden, aufnehmen, Relevantes auswählen, organisieren, verstehen, speichern und in relevanten Situationen abrufen sowie ggf. in Handlungen umsetzen (Mangold, 2015). Grundannahmen sind dabei, dass dieser Prozess

⁴³ Unter „*Schnittstellen*“ versteht man ganz allgemein „Teile einer Maschine oder eines Computerprogramms, mit denen Informationen an den Nutzer vermittelt werden“ (Vollrath, 2015, S. 160). Im Sinne der DIN EN ISO 9241-210 (2010, S. 7) bezeichnen Benutzungsschnittstellen (Human-Maschine-Interface, HMI) alle Bestandteile eines interaktiven Systems (Software oder Hardware), die Informationen und Steuerelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um eine bestimmte Arbeitsaufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen.

kein „Selbstläufer“ ist und das Nutzende und Mess-Technik interagieren, d.h. sich wechselseitig beeinflussen.

Bei der Betrachtung von Informationen bzw. Feedback aus Zählern und Messtechnik zur Förderung von Energieeffizienz, sind eine Fülle potenziell wirkrelevanter (technischer) Gestaltungsfaktoren zu berücksichtigen. Tabelle 4 gibt hierzu einen Überblick.

Gestaltungsfaktoren	Erläuterung/Beispiele
Medium bzw. Interface/Schnittstelle	Display im Gerät eingebaut oder eigenständig vorhanden (Computer, Smartphone, App, Display im Haus, Web-Page, Datenbrille...)
Schnittstellenmerkmale	Größe, Positionierung, Helligkeit, Kontrast, Auflösung
Quelle der angebotenen Daten	Netz/vom Versorger, mittels Sensor von der Technologie selbst (Heizung, Warmwasser, Strom), von anderen (Haushalts-) Geräten, aus Räumen
Interaktionsstile/ Handlungsoptionen	keine, Kommandos, Dialoge, Suchen und Browsen, direkte Manipulation/Steuerung, interaktive Visualisierung
Eingabeoptionen	Text/Tastatur, Sprache, Touchpad
Fokussierte Adressaten	„Laien“ (Mieter) bzw. „Novizen“ oder Experten (etwa Handwerker); Einzelne oder Gruppen
Inhalt der Information	Systemzustand, An/Aus, Verbrauch, Effizienz, Effektivität, (gesparte) Kosten, CO ₂ -Ausstoß, Temperatur, Informationen zur Wartung oder zum Energiesparen
Bezugsgröße der Informationen	kein Vergleich, Vergleich zur Vergangenheit (Stunde, Tag, Woche, Monat, Jahr), Vergleich zu anderen Akteuren (Nachbarn, andere Teams...), Vergleich zu gesetzten Zielen
Aufbereitung/Sinnes-Kanal der Information	akustisch, verbal, visuell (Zahl, Grafik, Bild, Icon, Text [Typographie etc.]
Anordnung der Informationen	Bildschirmaufbau, Bildschirmunterteilung (Gliederungsebenen/ -tiefe, erforderliche „Klickzahl“)
Handlungsaufforderung	Anlage steuern, überwachen, warten; Verhalten ändern (siehe hierzu Tabelle 2)
„Erlebnisangebot“	gering (z.B. „nur Text“) bis hoch („Gamification“)
„Anlieferung“ der Information	Passiv (Nutzer muss Informationen selbst einholen), aktiv (Technologie meldet sich aktiv z.B. über eine „Push-Nachricht“)
„Anlass“ der Information	Ereignisbasiert (etwa bei Störungen oder ungewöhnlichen Werten), ereignisunabhängig (zeitbasiert)
Häufigkeit	laufend, stündlich, wöchentlich ...
Auflösungsgrad	Haus, Etage, Raum, einzelnes Gerät
Individualisierbarkeit der Darbietung	etwa durch Auswahl der Art der gezeigten Messwerte oder der Feedback-Häufigkeit
Dauer der Darbietung	kurzfristig, längerfristig, dauerhaft

Tabelle 4: Potentielle Gestaltungsfaktoren von Informationen bzw. Feedback aus Zählern und Messtechnik (Butz & Krüger, 2017; Karlin, Ford & Squiers, 2014; Vollrath, 2015)

Im Folgenden werden Gestaltungsempfehlungen für einzelne der in Tabelle 4 vorgestellten Gestaltungsmerkmale der Nutzerschnittstelle am Beispiel Raumheizgeräte formuliert. Die Vorschläge werden im Factsheet „Mindestanforderungen an Visualisierung und Nutzerkommunikation“ im Anhang 10.7 vertieft. Grundgedanke ist es, eine visuelle Schnittstelle zu gestalten, die den Nutzer einfach, schnell, mit wenig Aufwand, intuitiv und jederzeit wahrnehmbar über den Status der Geräteeffizienz bzw. den Nutzungsgrad informiert und im Bedarfsfall konkrete Handlungsanleitungen für Laien (z.B. Bewohner) und Experten (Installateure) bereitstellt.

Diese Information über die Geräteeffizienz soll dabei auf vertraute Reize (z.B. Farben) zurückgreifen und kompatibel mit anderen Kommunikationsfunktionen der Heizung (z.B. Information zu einer Störung) sein. Informationen werden nicht nur farblich codiert, sondern auch

textlich dargestellt. So können Probleme für Nutzer mit Farbfehlsichtigkeiten vermieden werden.

Gestaltungsempfehlungen:

- Zur Übertragung der Informationen zur Geräteeffizienz sollte das Display mindestens eine Bildschirmdiagonale von 12 cm/4.6 Zoll umfassen.
- Die Effizienzanzeige sollte in der obersten Benutzerebene liegen, um jederzeit sichtbar zu sein.
- Der Systemzustand muss einfach erkennbar sein (Ampelsystem, siehe EF 7, Kapitel 4.1).
- Text/Grafik sollten sehr gut lesbar dargestellt werden (gute optische Auflösung, gutes Kontrastverhältnis von Zeichen und Hintergrund, keine Flimmererscheinungen, Schriftgröße mind. 11 pt.).⁴⁴
- Um die Nutzungswahrscheinlichkeit zu erhöhen, sollten zeitnahe, konkrete, anlassbezogene (s. EF 10 und 11 in Kapitel 4.1) Kommunikationsinhalte geboten werden.
- Um Laien (Mietern, Bewohnern) den Status der Geräteeffizienz vermitteln zu können, wird vorgeschlagen, drei Systemzustände differenziert darzustellen:
 - Fall 1: „Effizienz gut“ [Trifft zu, wenn Nutzungsgrad der Heizung weniger als 7,5% unter dem Idealwert von 95% liegt, Farbcodierung: Grün⁴⁵].
 - Fall 2: „Effizienz mäßig“ [Trifft zu, wenn Nutzungsgrad der Heizung mehr als 7,5% und weniger als 15% unter dem Idealwert von 95% liegt, Farbcodierung: Gelb].
 - Fall 3: „Effizienz schlecht“ [Trifft zu, wenn Nutzungsgrad der Heizung mehr als 15% unter dem Idealwert von 95% liegt, Farbcodierung: Gelb blinkend⁴⁶].
- Diese drei Falldarstellungen sind Informationen für den „Laien“. Für Experten sind auf einer tieferen Ebene zusätzliche Informationen und Anweisungen zu hinterlegen. Diese im „Wartungsmodus“ hinterlegten Informationen, betreffen z.B. (a) Fehlerursachen, welche durch die Systemdiagnose bereits als wahrscheinlich erkannt wurden, (b) mögliche Fehlerursachen und (c) Fehlerursachen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können.
- Im Sinne einer leichten Bedienbarkeit sollte die Schnittstelle interaktive Elemente besitzen (Schalter, Schaltflächen), mit denen Informationen ausgewählt und andere Systemfunktionen ausgelöst werden können (z.B. Wechsel in den „Wartungsmodus“ für Heizungsinstallateure).
- Mit der Schnittstelle sollten Usability-Tests umgesetzt werden (siehe EF4, Kapitel 4.1).

⁴⁴ Details der Gestaltung sind zudem der DIN EN ISO 9241(Ergonomie der Mensch-System-Interaktion) und der DIN 1450 (Schriften Leserlichkeit) zu entnehmen.

⁴⁵ Zu weiteren Informationen/Texten siehe im Folgekapitel

⁴⁶ Insbesondere dieser Punkt wurde in Folge der Usability-Studie (s. Kap. 4.2.2) überarbeitet.

5.2.2 Erkundung der Nutzerfreundlichkeit der Gestaltungsempfehlungen im Rahmen einer Usability-Studie

Basierend auf den oben vorgestellten Gestaltungsempfehlungen wurden „Prototypen“ entwickelt: Es wurden Bildschirmpräsentationen mit Farbcodierungen und Texten zur Kommunikation der drei Effizienz-Systemstände („Effizienz gut“, „Effizienz mäßig“, „Effizienz schlecht“, zudem noch: „Störung“) erstellt.

Diese wurden im Rahmen einer Usability-Studie (s. hierzu: Jacobsen & Meyer, 2017, Karlin et al., 2017; Richter & Flückiger, 2016; Sarodnick & Brau, 2016) potenziellen Nutzerinnen und Nutzern vorgelegt, um Schwachstellen und Nutzerwünsche zu erkunden.

5.2.2.1 Fragestellungen und Vorgehen

Im Rahmen der Studie wurden fünf Fragestellungen bearbeitet:

- 1) Wird mit den vorgesehenen Farbgebungen (Grün, Gelb etc.) eine angemessene Aktivierung von Nutzern erreicht?
- 2) Sind die vorgegebenen Textmeldungen verständlich?
- 3) Bestehen aus Nutzersicht Verbesserungsmöglichkeiten in Bezug auf die Texte?
- 4) Wird die Technologie als nützlich und leicht zu bedienen wahrgenommen?
- 5) Bestehen aus Nutzersicht Wünsche in Bezug auf das Display allgemein?

Vorgegangen wurde wie folgt:

- Teil-permutiertes Messwiederholungsdesign (jeder wurde zu allen Farben befragt, Startfarben waren unterschiedlich).
- Strukturierte Interviews, Antworten wurden protokolliert.
- Auswertung: Kategorisierung qualitativer Daten; deskriptive Statistik bei quantitativen Daten.
- Es wurden nur Personen befragt, die Zugang zu einem Kessel oder einer Therme haben und dafür verantwortlich sind (N = 12; Geschlecht: 10 männlich / 2 weiblich; Alter, Mittelwert = 51, Heizsystem der Interviewpartner: 9 mal Heizkessel / 3 mal Therme).

Im Rahmen des Interviews wurden vier Systemzustände auf einem Bildschirm präsentiert (s. Abbildung 7 und Abbildung 8).

Farbe	Texte (Ebene 1)
Grün	Die Heizungsanlage hat eine sehr gute Wirksamkeit. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff sehr gut, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei 95 % und entspricht dem Idealwert.
Gelb	Die Heizungsanlage arbeitet nicht so wirksam wie vorgesehen. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff nicht gut, um Wärme zu erzeugen. Sollte diese Meldung [vom 20.09.2018] die nächsten 2-3 Monate weiter bestehen, bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.
Gelb blinkend	Die Heizungsanlage arbeitet sehr unwirksam. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff schlecht, um Wärme zu erzeugen. Eine zeitnahe Wartung ist sinnvoll, bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.
Rot	Es liegt eine Anlagenstörung vor. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.

Abbildung 7: Beispiel der farblichen und textlichen Informationen zu den vier Systemzuständen, die im Rahmen der Usability-Studie potenziellen Nutzern und Nutzerinnen vorgelegt wurden (hier wird nur „Ebene 1“ dargestellt. Auf der zweiten Ebene wurden %-Angaben zur Effizienz und ggf. zur Einschaltung eines Handwerkers gegeben)

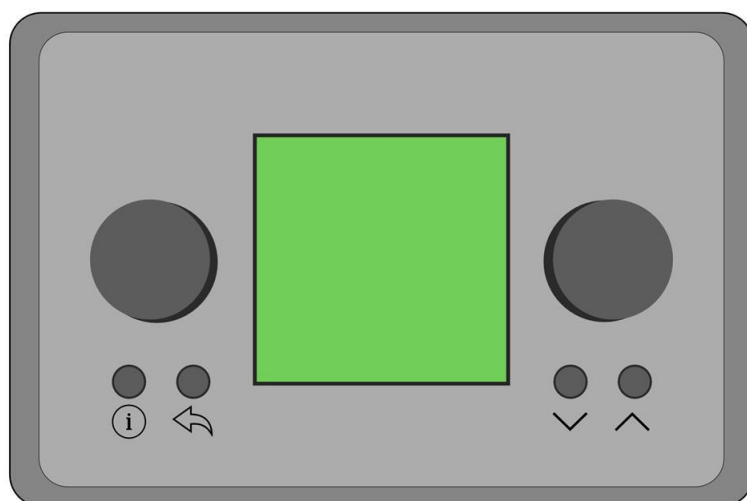


Abbildung 8: Im Rahmen der Usability-Studie vorgelegtes Display (hier das Beispiel für den Systemzustand „Grün“)

Zu jeder der vier Systemzustände wurden dann jeweils die in Tabelle 5 dokumentierten Fragen gestellt.

Nennen Sie bitte die ersten vier Gedanken, die Ihnen bei diesem Bild eines Heizungsdisplays durch den Kopf gehen.
<i>[Wenn Farbe nicht benannt wird, nachfragen]:</i> Nennen Sie bitte Gedanken, die Ihnen bei dieser Farbe auf dem Heizungsdisplay durch den Kopf gehen.
Schauen Sie sich bitte die zur Farbe X verfügbare Textmeldung in Ruhe an. Was geht Ihnen dabei durch den Kopf?
Ist diese Meldung für Sie verständlich?
<i>[Wenn ja, direkt zur Folgefrage]</i> Wenn nein, warum nicht?
Haben Sie Verbesserungsanregungen?

Tabelle 5: Beispiele für Interviewfragen im Rahmen der Usability-Studie (diese Fragen würden jeweils zu allen vier Systemzuständen gestellt)

5.2.2.2 Ergebnisse und Fazit

Die Ergebnisse werden in Tabelle 6 zu jeder der fünf Fragestellungen knapp zusammengefasst.

1) Wird mit den vorgesehen Farbgebungen eine angemessene Aktivierung von Nutzern erreicht?
→ Ja (Grün: „Alles in Ordnung“; Gelb: „Vorwarnung/ es gibt eine Störung / etwas stimmt nicht“; Gelb blinkend „Man muss jetzt handeln“; Rot: „Defekt / Ausfall / Störung“) → Ableitung: prüfen, ob „Rot“ auch pulsieren sollte oder ob „Gelb“ pulsieren muss
2) Sind die vorgegebenen Textmeldungen verständlich?
→ Grundsätzlich Ja (Grün: 8 „Ja“, 3 „Ja, aber“, 1 „Nein“; Gelb: 5 „Ja“, 6 „Ja aber“, 1 „Nein“, Gelb blinkend: 7 „Ja“, 5 „Ja, aber“, Rot: 7 „Ja“, 5 „Ja aber“)
3) Bestehen aus Nutzersicht Verbesserungsmöglichkeiten in Bezug auf die Texte? Verbesserungsoptionen:
→ Grün: kaum („Nutzungsgrad“ erklärungsbedürftig) → Gelb: Befragte warten ungerne- 2-3 Monate (wie die Textmeldung verlangt) → Gelb blinkend: kaum (-Fehlende Infos: „Fehler spezifizieren“, „Was kann ich tun?“) → Rot: kaum („Keine Information, ob die Heizung noch in Betrieb ist“)
4) Wird die Technologie als nützlich und leicht zu bedienen wahrgenommen?
→ Ja (Mittelwert 3.4 auf Skala von „1“ gar nicht nützlich bis „4 sehr nützlich“)
5) Bestehen aus Nutzersicht Wünsche in Bezug auf das Display allgemein?
→ Nicht sinnvoll, wenn das ganze Display aufleuchtet / nicht zu viel beleuchten → Genauere / konkretere Infos was nicht geht, warum es nicht so effizient ist, wie es sein soll → Datum wann genau eine Störung aufgetreten ist auch bei „Rot“ anzeigen

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt haben sich die vorgestellten Prototypen im Usability-Test bewährt. Kritik und Anregungen wurden bei der Weiterentwicklung der Nutzerkommunikation über folgende Empfehlungen aufgegriffen:

- Von einer farbig blinkenden gelben Signalgebung (Fall 3 „Effizienz schlecht“) wird abgeraten, da sie als zu störend empfunden werden kann.

- Stattdessen wird vorgeschlagen, die Farbe Rot für die schlechte Effizienz zu nutzen und andere Systemmeldungen (z.B. Störungen) anderweitig zu signalisieren.
- Die gelbe Warnmeldung zu einer nur mäßigen Effizienz soll erst nach Abschluss der ca. 2-3-monatigen Messperiode mit bereits konsolidierten Ergebnissen kommuniziert werden, und nicht bereits zu Beginn dieser Messperiode, wenn der Systemzustand noch nicht ausreichend klar ist (zu den finalen Gestaltungsempfehlungen s.a. das Factsheet „Anforderungen an die Visualisierung von Nutzerkommunikation“ im Anhang 10.7.

5.3 Ordnungs- und Förderrecht

Im Rahmen der Handlungsempfehlungen wird vorgeschlagen, die verpflichtende Implementierung der im Projekt definierten Mindestanforderungen in einem Kanon aus Ordnungs- und Förderecht umzusetzen. Dabei standen Neugeräte im Fokus.

5.3.1 EU-Ökodesign

Eine Verankerung ist am einfachsten im EU-Ökodesign möglich, da hier grundlegende Anforderungen an Produkte definiert werden und europaweit gültig sind. Dies ist insbesondere unter dem Gesichtspunkt relevant, dass viele der Produkte länderübergreifend hergestellt und verkauft werden. Nur national geltende Anforderungen – soweit für deren Erlass in Anbetracht der vorrangigen europarechtlichen Vorgaben überhaupt Spielräume bestehen – dürften wegen der dann vergleichsweise kleineren Stückzahlen kostentreibend sein. Außerdem werden europaweit geltende Anforderungen am Markt (Hersteller und Käufer) eher akzeptiert.

Die dem EU-Ökodesign zugrunde liegenden Richtlinien werden in regelmäßigen Perioden novelliert. Im Rahmen des Projekts wurde zunächst ein Papier zu den Produktgruppen „Raumheizgeräte, Kombiheizgeräte und Verbundanlagen“ sowie „Warmwasserbereiter und -speicher sowie Verbundanlagen“ erarbeitet (vgl. Abschnitt 6.2), das in den 2018 laufenden Prozess eingespeist wurde. Das Dokument wurde später noch um Empfehlungen zu weiteren vier Produktgruppen ergänzt, deren Konsultationen zeitlich später beginnen. Die Fristen, in denen die Richtlinien für die einzelnen Produktgruppen angepasst werden, werden in der Übersicht in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

5.3.2 Förderung

Um den Zeitraum bis zur möglichen Umsetzung der entsprechenden Ökodesign-Konsultationen bis ca. 2022 nicht ungenutzt verstreichen zu lassen, ist auf nationaler Ebene ein Einstieg über verpflichtende Anforderungen in Förderprogrammen sinnvoll. Hierbei geht es nicht darum, neue Förderprogramme oder Programmkomponenten zu initiieren, die die Mehrkosten notwendiger Zusatzausstattungen anteilig kompensieren. Bei bestehenden Programmen, die die Anschaffung energiesparender Neugeräte bzw. den Ersatz ineffizienter Altgeräte bezuschussen oder kreditieren, sind die Anforderungen an die geförderten Geräte um die hier definierten Mindestanforderungen zu erweitern. Die Hersteller sind dann dazu gezwungen, ihre Geräte entsprechend nachzurüsten, damit diese förderfähig bleiben. Bei der Anpassung der Förderprogramme sind Übergangsfristen zu berücksichtigen, da die In-

tegration der Messtechnikausstattung wegen des zusätzlichen Platzbedarfs neue Gerätegenerationen bedingt.

Schwerpunktmäßig wird effiziente Heiz- und Anlagentechnik (Wärmepumpen, Solarthermieanlagen und Holzheizkessel) aktuell im „Marktanreizprogramm“ (MAP) und in den KfW-Programmen „Energieeffizient Bauen und Sanieren“ (Brennwertkessel) gefördert. Für Solarthermieanlagen und Wärmepumpen bestehen bereits Anforderungen, die zu erweitern sind. Eine Besonderheit ist, dass KfW-Programme sehr oft auf die Anforderungen der BAFA-Programme verweisen. So reduziert sich der Anpassungsaufwand erheblich. Für ausgewählte Geräte wurden in den Factsheets im Anhang Textbausteine für die Anpassung bestehender Förderprogramme erarbeitet. Welche Programme anzupassen sind, ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

Förderprogramm (Fördergeber)	Verortung	Gerät	Anpassungsbedarf
MAP (BAFA)	Förderrichtlinie „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 11. März 2015 [geändert durch Bekanntmachung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) vom 4. August 2017] Allgemeines Merkblatt	Wärmepumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierliche Überwachung der Arbeitszahl für alle Wärmepumpen (bisher nur für Geräte ab 100 kW) • optional: kontinuierliche Überwachung des Verbrauchs in Abhängigkeit von der Außentemperatur (vgl. Abschnitt 5.1.3)
		Solarthermie	<ul style="list-style-type: none"> • verpflichtender Einbau eines Wärmezählers und kontinuierliches Monitoring des Solarertrags • Anpassung der Anforderungen an Funktionskontrollen (Datenspeicherung, optional Vorgabe automatischer Funktionskontrollen) (vgl. Abschnitt 5.1.4)
		Biomasseöfen und -kessel	(keine Anforderungen)
Kraft-Wärme-Kopplung (BAFA)	Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20 kWel vom 15. Dezember 2014	Mini-BHKW	<ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung mit zusätzlichen Zählern für Endenergie und Nutzwärme zur kontinuierlichen Überwachung des Nutzungsgrades (vgl. Abschnitt 5.1.3)
Energieeffizienz (BAFA)	Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen an Kälte- und Klimaanlageanlagen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kälte-Klima-Richtlinie) vom 1. Dezember 2016 KKI Fachtechnik Merkblatt	Kälte- und Klimaanlageanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Neuanlagen (stationär): Messtechnikausstattung und Datenspeicherung entsprechend GEG-Entwurf (vgl. Abschnitt 5.1.7 bzw. 6.3)

Förderprogramm (Fördergeber)	Verortung	Gerät	Anpassungsbedarf
Energieeffizienz und Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien in der Wirtschaft Modul1 Querschnittstechnologien (BAFA)	Richtlinie für die Förderung der Energieeffizienz und Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit („Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit“) (Fundstelle: BAnz AT 31.12.2018 B1) Merkblatt Technische Mindestanforderungen	Ventilatoren, Wärmehück-gewinnung	<ul style="list-style-type: none"> Bei Lüftungs- und Klimaanlage: Messtechnikausstattung und Datenspeicherung entsprechend GEG-Entwurf (vgl. Abschnitt 5.1.7 bzw. 6.3)
KfW Energieeffizient Sanieren (151/152/430)	Anlage - Technische Mindestanforderungen 600 000 3612	Wärmepumpen, Solarthermieanlagen, Biomassekessel	<ul style="list-style-type: none"> Verweis auf (dann geänderte) MAP-Anforderungen
KfW Energieeffizient Bauen (153/431)	Anlage - Technische Mindestanforderungen 600 000 3465	Mini-BHKW	<ul style="list-style-type: none"> Verweis auf (dann geänderte) Mini-BHKW-Richtlinie
		Brennwertkessel (Erdgas / Heizöl)	<ul style="list-style-type: none"> Ausstattung mit Zählern für Endenergie und Nutzwärme zur kontinuierlichen Überwachung des Nutzungsgrades Sensorik und Steuerung für Anbindung EE-Anlagen (vgl. Abschnitt 5.1.4 bzw.6.4)
Energieeffizient Bauen und Sanieren- Zuschuss Brennstoffzelle (433)	Merkblatt Energieeffizient Bauen und Sanieren - Zuschuss Brennstoffzelle 600 000 3811	Brennstoffzelle	<ul style="list-style-type: none"> Verweis auf (dann geänderte) Mini-BHKW-Richtlinie

Tabelle 7: Anpassungsbedarf bestehender Förderprogramme für die Implementation der Mindestanforderungen

Bis Ende 2019 soll die neue Förderstrategie „Energieeffizienz und Wärme aus erneuerbaren Energien“ umgesetzt werden. Dies bietet die Möglichkeit, die Mindestanforderungen in einer konzertierten Aktion in die dann entstehende neue Förderlandschaft zu integrieren.

5.3.3 Nationales Ordnungsrecht

Soweit die Mindestanforderungen im Rahmen von EU-Ökodesign nicht oder nur unzureichend integriert werden, sollten dies im nationalen Ordnungsrecht erfolgen. Der geeignete Platz ist das künftige Gebäudeenergiegesetz (GEG). Der verworfene erste Entwurf des GEG aus dem Jahre 2017⁴⁷ enthielt in § 38 bereits eine Anforderung an die Überwachung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen. Im Rahmen des Projekts wurde ein Paragraph für die Messtechnikausstattung von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen entworfen (vgl. Abschnitt 6.3), der bei einer künftigen Novellierung des GEG so oder in modifizierter Form in das Gesetz übernommen werden kann.

Die EU-Richtlinie 2018/844 zur Änderung der Gebäudeenergie-Richtlinie gibt für Nichtwohngebäude mit Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen größer 290 kW ab 2025, soweit wirtschaftlich vertretbar, eine Ausstattung mit Systemen zur Gebäudeautomatisierung und Steuerung vor. Aufgabe dieser Systeme ist insbesondere das in diesem Projekt beschriebene Effizienz- und Verbrauchsmonitoring. Die Mitgliedstaaten können diese Anforderung auf Wohngebäude ausdehnen. Auch diese Anforderungen wären im GEG zu verorten.

Effizienzmonitoring von Bestandsanlagen

Das Effizienzmonitoring von Bestandsanlagen wird durch Anforderungen an Neugeräte nicht abgedeckt. Analog zu Anforderungen an Neugeräte könnten auch Anforderungen an Bestandsanlagen, mit entsprechenden Übergangsfristen, ins GEG integriert werden.

Eine weitere Möglichkeit, solche Anforderungen für größere Heizungs- und Warmwasseranlagen im vermieteten Gebäudebestand zu realisieren, bestünde darin, die im Rahmen der Heizkostenabrechnung erhobenen Daten für ein solches Monitoring zu nutzen. Notwendig wäre dafür eine Anpassung der HeizkostenV. Durch die verpflichtende Vorgabe eines zusätzlichen Wärmezählers für den Heiz- bzw. Kesselkreislauf (im Hinblick auf die Verbesserung der Verbrauchsabrechnung) wäre auch ein jährliches Effizienzmonitoring (auf Basis des Nutzungsgrades) für alle der Verordnung unterliegende Heiz- und Warmwasseranlagen möglich. Soweit wie geplant durch eine Novellierung der HeizkostenV eine quartals- oder monatsweise Abrechnung eingeführt wird, auch kurzfristiger. Die Ergebnisse könnten Eigentümern, Verwaltern und Bewohnern im Rahmen einer „Zusatzinformation“ zugänglich gemacht werden.

Hierzu wäre im ersten Schritt die Ermächtigungsgrundlage (EnEG, künftig GEG) der HeizkostenV anzupassen, um übergeordnete Transparenzinformationen bzw. Energiespar- und Klimaschutzaspekte in der Heizkostenabrechnung zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 6.5).

5.3.4 Fahrplan für die Implementierung

In der Übersicht in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird vereinfacht argestellt, wo und wann die erarbeiteten Mindestanforderungen umgesetzt werden sollten. Ausgangspunkt sind die anstehenden Novellierungen der jeweiligen produktbezogenen Ökodesign-Durchführungsmaßnahmen sowie die Anforderung aus der EU-Richtlinie 2018/844 an große (>290 kW) Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlageanlagen. Das Zeitfenster bis

⁴⁷ Vgl. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/energieeinsparung_referentenentwurf_bf.pdf

zum In-Kraft-Treten ordnungsrechtlicher Maßnahmen ist für die wichtigsten Produktgruppen durch Integration der Anforderungen in Förderprogramme zu schließen.

Gerätegruppe	Gerät	Ordnungsrecht		Förderrecht
		Neugeräte	Bestand	Neugeräte
Klimageräte		ÖD (ab 2020)	-	-
Warmwasserbereiter	Verbundanlagen mit Speichern	ÖD (ab 2022)	Option: Novelle GEG und HeizkostenV für MFH	-
	Solarthermieanlagen	ÖD (ab 2022)	-	MAP
Raumheizgeräte	elektrisch	ÖD (ab 2022)	-	-
	Raumheizgeräte Kombiheizgeräte (Öl, Gas)	ÖD (ab 2022) >290 kW GEG 2025	Option: Novelle GEG und HeizkostenV für MFH	KfW Energieeffizient Bauen und Sanieren
	Wärmepumpen	ÖD (ab 2022) >290 kW GEG 2025	Option: Novelle GEG und HeizkostenV für MFH	MAP
Festbrennstoffkessel		ÖD (ab 2024) >290 kW GEG 2025	Option: Novelle GEG und HeizkostenV für MFH	-
Einzelraumheizgeräte		ÖD (ab 2024)	-	-
Lüftungs- und Klimaanlage		ÖD (2021), Option Novelle GEG >290 kW GEG 2025	Option Novelle GEG	Kälte- und Klimaanlage

Tabelle 8: Fahrplan für die Implementierung der Mindestanforderungen

6 Einzelthemen

Die hier dargestellten Einzelthemen wurden überwiegend im Rahmen des Arbeitspakets 5 (Ad-Hoc-Zuarbeiten) realisiert.

6.1 Themenvorschläge für 7. Energieforschungsprogramm

In Rahmen der vom Forschungsnetzwerk Energie initiierten Diskussion in Vorbereitung des 7. Energieforschungsprogramms war co2online aufgefordert, projektrelevante Themen einzubringen. Dazu wurde für die Arbeitsgruppen „AG 1 Schnittstelle Mensch – Technik“ und „AG 3 Energiemonitoring, Diagnoseverfahren“ jeweils ein Maßnahmenvorschlag für die inhaltliche Vertiefung und Konkretisierung der in den Arbeitsgruppen angesprochenen Themen erarbeitet:

1. Mensch-Maschine Interaktion im Bereich Energieeffizienz: Ansätze zur Förderung von Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft smarterer Steuerungen.
2. Entwicklung von Algorithmen für Effizienzanzeigen für Heiz- und Klimaanlage in Gebäuden.

6.2 Ökodesign-Papier

Die in Abschnitt 5.1 dargestellten Mindestanforderungen an Geräte und Anlagen wurden im ersten Schritt überwiegend im Rahmen des im Anhang 10.8 dargestellten Papiers erarbeitet. Dabei handelt es sich um den deutschen Vorschlag, das Thema „Mindestanforderungen an die Überwachung der Energieeffizienz“ in den Ökodesign-Prozess einzubeziehen. Anlass waren aktuell anstehende europäische Konsultationen mit dem Ziel, die Ökodesign-Durchführungsmaßnahmen für kleine Klimageräte, Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter zu überarbeiten.

6.3 Entwurf Gebäudeenergiegesetz für Technikausstattung Lüftungsanlagen

Die in Abschnitt 5.1.7 dargestellten Mindestanforderungen an eine Messtechnikausstattung großer Klima- und Lüftungsanlagen wurden im Rahmen einer Ad-Hoc-Aufgabe als möglicher „§ 67 Messeinrichtungen“ des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) ausformuliert. Der Paragraph fand im aktuellen GEG-Prozess bislang keine Berücksichtigung, kann aber bei einer möglichen, künftig anstehenden Novellierung des GEG als Vorlage für entsprechende Anforderungen dienen.

Die im Rahmen der Lüftungsstudie (Offermann et al., 2018) erarbeiteten Anforderungen wurden hierbei in eine Form gebracht, die juristisch klar und eindeutig ist. Bei den Fachtermini wurde sich an den Begrifflichkeiten des Messstellenbetriebsgesetzes – MsbG orientiert.

Der Textvorschlag befindet sich im Anhang 10.9.

6.4 Anforderungen an konventionelle Brennwertkessel hinsichtlich Anbindung Erneuerbarer-Energien-Anlagen

Brennwertkessel sollen künftig nur noch gefördert werden, wenn diese in der Lage sind, mit Anlagen zur Nutzung erneuerbaren Energien effizient zusammenzuarbeiten (EE-Ready). Solche Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Anlagen) werden auch als „Hybridheizungen“ bezeichnet. Für die Unterstützung der Arbeit der im BWMi mit der Umsetzung betrauten Ab-

teilung wurde ein Arbeitsvorschlag erstellt, der im Projektbeirat und mit einem Heizungshersteller diskutiert wurde. Das Ergebnis ist in Anhang 10.10, dargestellt.

In den Vorschlag wurden die in Abschnitt 5.1.4 dargestellten Mindestanforderungen an Raumheizgeräte integriert. Daneben wurden folgende zusätzliche Anforderungen definiert.

- Brennwertkessel sind als Modul einer künftigen Hybridanlage zu konzipieren. Von einer Nachrüstung zusätzlicher herstellereigener oder fremder Erzeugungskomponenten und mindestens eines Pufferspeichers ist auszugehen.
- Soweit die Regelung des Brennwertkessels die Systemregelung der Hybridanlage übernimmt, ist eine Regelstrategie „CO₂-optimierter Betrieb“ vorzusehen und voreinzustellen, um die Nutzung eines möglichst hohen Anteils Heizwärme aus erneuerbaren Energien zu gewährleisten.

Eine verpflichtende Kombination des Brennwertkessel mit einem Pufferspeicher oder der Vorrang von Pufferspeichern vor Warmwasser ist nicht Bestandteil der Anforderungen, obwohl solche Speicher i.d.R. notwendig sein werden, um EE-Anlagen einzubinden. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass Speicherverluste bei Anlagen ohne tatsächliche Anbindung erneuerbarer Energieanlagen vermieden werden sollen. Technisch ist eine Nachrüstung von Pufferspeichern unproblematisch.

6.5 Effizienzmonitoring im Rahmen der HeizkostenV

Ergänzend zu den in den vorherigen Abschnitten dargestellten Anforderungen an Neugeräte wurde die Möglichkeit geprüft, ein Effizienzmonitoring für Bestandsanlagen zu etablieren. Diese hätte den Vorteil, kurzfristig Einsparpotenziale zu realisieren, da sich die im Projekt formulierten Anforderungen überwiegend an Neugeräte richten und sich deren Wirkung erst im Laufe der Jahre stark auf dem Bestand auswirken wird. Die HeizkostenV adressiert mehr als 21,2 Wohnungen in 3,18 Mio. Gebäuden⁴⁸ mit mehr als zwei Wohneinheiten sowie vermietete Nichtwohngebäude. Für die Nutzungseinheiten in diesen Gebäuden wird eine jährliche Abrechnung erstellt. Eine verpflichtende unterjährliche Abrechnung / Verbrauchsinformation ist in Diskussion und könnte in 2019 durch eine Änderung der Heizkostenverordnung umgesetzt werden.

Die in der Heizkostenabrechnung vorhandenen Daten ermöglichen schon heute für Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung auch eine Effizienzbewertung der Warmwasseranlage. Für „gemischt“ genutzte Gebäude⁴⁹ zusätzlich eine Effizienzbewertung der installierten Raumheizgeräte auf Basis des Jahresnutzungsgrades analog Abschnitt 5.1.4.

Durch die verpflichtende Installation eines Zählers für die Erfassung des Raumwärmeverbrauchs neben dem bereits vorgeschriebenen Zähler für die Erfassung des Energieaufwands für die Warmwasserbereitung, könnte durch einen Vergleich mit dem eingesetzten Endenergieverbrauch (z.B. Erdgas) die Effizienz der Wärmeerzeugung überwacht werden. Die Effizienzinformation könnte im Rahmen einer „Zusatzinformation“, die sich an Gebäudeeigentümer bzw. Hausverwalter richtet, kommuniziert werden (vgl. Abbildung 9).

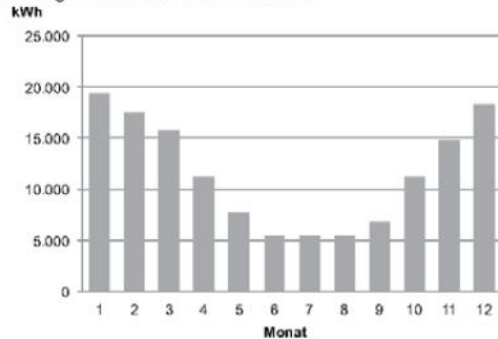
⁴⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt (2018). Bautätigkeit und Wohnungen. Bestand an Wohnungen, Seite 10

⁴⁹ Z.B. Gebäudeteile mit reiner Wohnnutzung (nur Heizkörper) sowie Gebäudeteile mit zentraler Klimatisierung

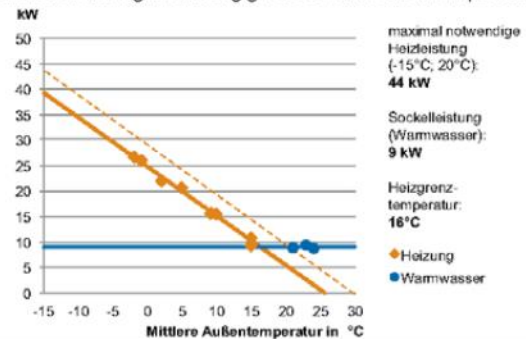
Eine rechtliche Kurzprüfung im Rahmen des Projekts ergab, dass die verpflichtende Erstellung einer „Zusatzinformation“ und das Effizienzmonitoring derzeit nicht durch den Zweck der HeizkostenV gedeckt sind.

Statistische Heizlastermittlung Gebäude

Heizenergieverbrauch nach Monaten

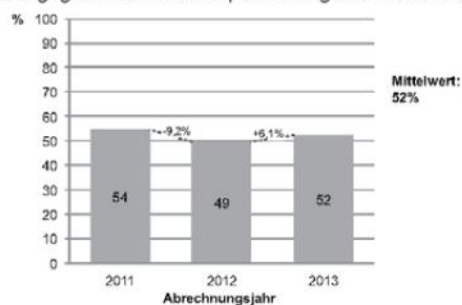


Stat. Heizlastermittlung in Abhängigkeit von der Außentemperatur

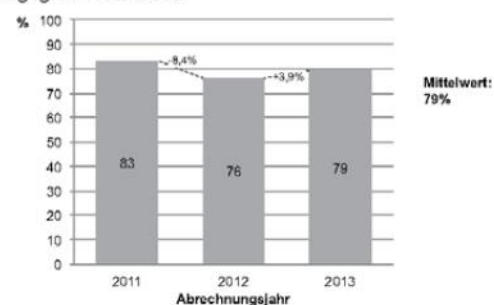


Effizienzbewertung

Nutzungsgrad Warmwasserpeicherung und -verteilung



Nutzungsgrad Heizkessel



Anmerkung: Erläuterungen und ein Glossar finden Sie in Abschnitt 7.

Abbildung 9: Ausschnitt Zusatzinformation mit Fokus Gebäudeeffizienz, erarbeitet im UBA-Projekt „Informative und transparente Heizkostenabrechnung“.⁵⁰

Daher wurde in einem 2. Schritt untersucht, ob der verpflichtende Einbau eines zusätzlichen Wärmehäblers, durch im Sinne der Verordnung liegende Gründe (z.B. Verbesserung der Genauigkeit der Abrechnung, Erhöhung der Motivation des Nutzers, seinen Energieverbrauch zu steuern und Energie zu sparen), gerechtfertigt ist. Die Untersuchung offenbarte eine Ungenauigkeit im Rechengang bei der Bestimmung des Warmwasserbedarfs, da derzeit die Verluste des Wärmeerzeugers allein der Raumwärme zugeordnet werden. Allerdings ist die damit verbundene Erhöhung der Genauigkeit mit sehr hohen Kosten verbunden. Da eine zusätzliche verbrauchssenkende Wirkung durch die Zählerausstattung nicht zu erwarten ist, ist die Wirtschaftlichkeit nicht ausreichend gegeben.

Die in diesem Abschnitt dargestellte Thematik wird vertiefend im Papier „Möglichkeiten Effizienzmonitoring im Rahmen der Heizkostenverordnung“ dargestellt, dass diesem Bericht im Anhang 10.11 beigelegt ist.

⁵⁰ Vgl. Keimeyer et al. (2015). Informative und transparente Heizkostenabrechnung als Beitrag für den Klimaschutz, S. 137.

7 Gesamtwirtschaftliche Einsparpotenziale

Ziel des Arbeitspakets 3 war die Ermittlung des primär- und endenergetischen Einsparpotenzials bis 2030 bezüglich der vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen. Hierbei gab es eine Fokussierung auf die Produktgruppen

- Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter
- Lüftungs- und Klimaanlage

und die diesbezüglichen Handlungsempfehlungen. Zu diesen zählten insbesondere die Empfehlungen zur Anpassung der entsprechenden Ökodesign-Regelungen sowie die vorgeschlagenen Mindestanforderungen bezüglich Zählerausstattung und Effizienzmonitoring, die im Rahmen angepasster Förderbedingungen bei verschiedenen Förderprogrammen des Bundes (BAFA, KfW) festzulegen wären.

Eine Anpassung der entsprechenden Ökodesign-Durchführungsmaßnahmen für die verpflichtende Umsetzung eines geräteseitigen Effizienzmonitorings hätte die mit Abstand stärkste Wirkung, da sie sich ab Inkrafttreten (voraussichtlich frühestens 2022) auf alle Neugeräte im europäischen Markt auswirken würde. Also bei 100% aller Neubauvorhaben sowie bei allen ab dem Datum vorzunehmenden Maßnahmen zum Anlagenersatz.

Eine Modifikation des Förderrechts würde, auch wenn es zeitlich schneller umgesetzt werden kann, nur eine deutlich geringere Wirkung entfalten, da sich nur für jenen Teil der Neuanlagen, die tatsächlich Fördermittel nutzten, ein unmittelbarer Einspareffekt ergeben würde.

Zur Ermittlung des zusätzlichen Einsparpotenzials wurde ein Business-As-Usual-Szenario (BAU) entwickelt, das sich sehr stark an die Energierferenzprognose von 2014 anlehnt (EWI et al., 2014). Diese Studie untersucht in verschiedenen Szenarien die absehbare Entwicklung energiebezogener Verbrauchsniveaus und Indikatoren und zeigt mögliche Entwicklungspfade bis 2030 und 2050 auf. Weitere Quellen, die für die Potenzialermittlungen herangezogen wurden, sind unter anderem die BMWi Energiedaten (2016), Erhebungen des Bundesamtes für Statistik (Statistisches Bundesamt, 2016; Statistisches Bundesamt, 2018), die Evaluation des Marktanreizprogramms (Fichtner et al., 2016), die Datenerhebung zum Wohngebäudebestand des IWU (Cischinsky & Diefenbach, 2018) sowie der dena-Gebäudereport (Bigalke et al., 2016).

Einsparpotenziale Raumwärmeerzeuger

Ausgehend vom in der Energierferenzprognose dargestellten Endenergieverbrauch für Raumwärme bis 2030 (BAU-Szenario) wurden über die in dieser und anderen Studien beschriebenen Prognosen für Neubau und Sanierungstätigkeit⁵¹ – differenziert nach Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) – jene Anteile am Energieverbrauch bestimmt, der bis 2030 sukzessive mit Neuanlagen erzeugt wird.

Auf diese Anteile bezogen wurden Endenergieeinsparungen von 2,5% (Neubau) bzw. 5,0% (Bestandssanierung) errechnet und bis 2030 betrachtet.

⁵¹ Die berücksichtigte Sanierungsrate von Wärmeerzeugungsanlagen liegt mit 3,05 % p.a. deutlich über der allgemeinen Sanierungsrate im Wohngebäudebestand, vgl. Cischinsky, H. & Diefenbach, N. (2018). Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, S. 87.

Bei einer über Ökodesign definierten Anforderung eines geräteseitigen Effizienzmonitorings / einer Effizienzanzeige wurden alle neu in den Markt kommenden Geräte bis 2030 betrachtet. Das entsprechende Einsparpotenzial hierfür wurde mit 17,09 PJ_{End} im Jahr 2030 ermittelt.

Alternativ käme bei Einführung einer verpflichtenden Effizienzanzeige bei mit Bundesmitteln geförderten Wärmeerzeugern (über Marktanzreizprogramm oder KfW) ab 2020 nur eine Einsparung von 3,58 PJ_{End} im Jahr 2030 zustande, da nur ca. 17%⁵² der Wärmeerzeuger tatsächlich unter Mitnahme der Förderung angeschafft und damit von den Anforderungen betroffen wären.

Betrachtet man die Wirkung beider Maßnahmen kumuliert, so liegt diese unterhalb der Summe der zwei Maßnahmen, da Überschneidungseffekte zum Tragen kommen. Die zusätzliche Wirkung der Förderprogramme würde sich auf jene 2 Jahre beschränken, in denen diese Programme bereits angepasst wurden, die Ökodesign-Durchführungsmaßnahmen jedoch noch nicht. Die kumulierten Einsparungen beider Maßnahmen wäre demnach 17,76 PJ_{End} bzw. 17,80 PJ_{Prim} im Jahr 2030. Die daraus resultierende Minderung an Treibhausgasemissionen läge bei 1,30 Mio Tonnen in 2030.⁵³

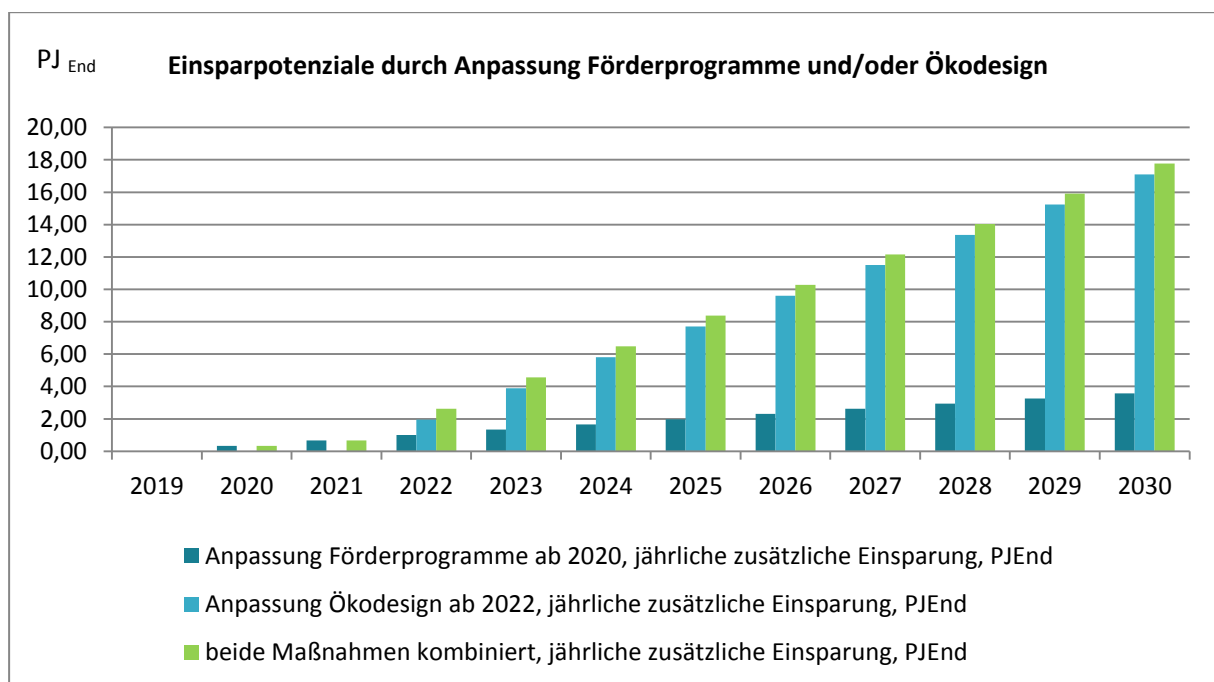


Abbildung 10: Einsparpotenziale durch Anpassung Förderprogramme und/oder Ökodesign, in PJ_{End}

⁵² Hierbei Orientierung an der Evaluation des Marktanzreizprogramms, vgl. Fichtner et al. (2016). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanzreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014, S. 30.

⁵³ Interpolation bzw. Berechnung der Primärenergiefaktoren sowie THG-Emissionsfaktoren aus: Prognos et al. (2015). Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude, S. 20 sowie EWI et al. (2014): Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, S.141f.

Einsparpotenziale Große Klimaanlage

Gemäß Absprache mit dem Auftraggeber wurde bei der Ermittlung der Einsparpotenziale eines Effizienzmonitorings bei großen Klimaanlage auf die (noch nicht veröffentlichten) Ergebnisse der so genannten Lüftungsstudie (Offermann et al., 2018) zurückgegriffen.

Die Autoren dieser Studie untersuchten 39 mögliche Maßnahmen, von denen sieben Empfehlungen einer vergleichenden Bewertung unterzogen wurden. Die Maßnahme

d) Zählerpflicht für Neuanlagen

entspricht weitgehend der zentralen Handlungsempfehlung für ein geräteseitiges Effizienzmonitoring der Zählerstudie, weshalb die entsprechenden Potenzialermittlungen hier übernommen werden. ECOFYS schreibt hierzu:

Die Zählerpflicht für Neuanlagen adressiert das grundlegende Problem bei der Beurteilung der Effizienz von RLT-Anlagen.

Durch eine Zählerausstattung von RLT-Anlagen soll eine Sensibilisierung der Nutzer / des Betreibers für die durch die Anlage verursachten Betriebskosten erreicht werden und eine Datengrundlage zur detaillierten Diagnose des Betriebsverhaltens geschaffen werden.

Vorgesehen ist die Ausstattung von Anlagen mit einem Nennvolumenstrom von über 3.000 m³/h mit einem Wirkenergiezähler für den Energieverbrauch des Zuluftventilators. Die Messdaten sollen höchstens als Viertelstundensummen über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr aufgezeichnet werden.

Die Implementierung könnte im Rahmen der EnEV (aktueller § 15 „Kühlen und Lüften“) bzw. des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) erfolgen. (ebenda, S. 5)

Die Höhe der erreichbaren Effizienzsteigerung hängt maßgeblich von der Art der Anlage ab. Bei Anlagen ohne Volumenstromregelung sind die Einsparpotenziale mit 6,7% etwa doppelt so hoch wie bei Anlagen, die über eine Volumenstromregelung verfügen. Überschlägig werden ca. zwei Drittel der Einsparungen auf der Stromseite erzielt, etwa ein Drittel wärmeseitig.

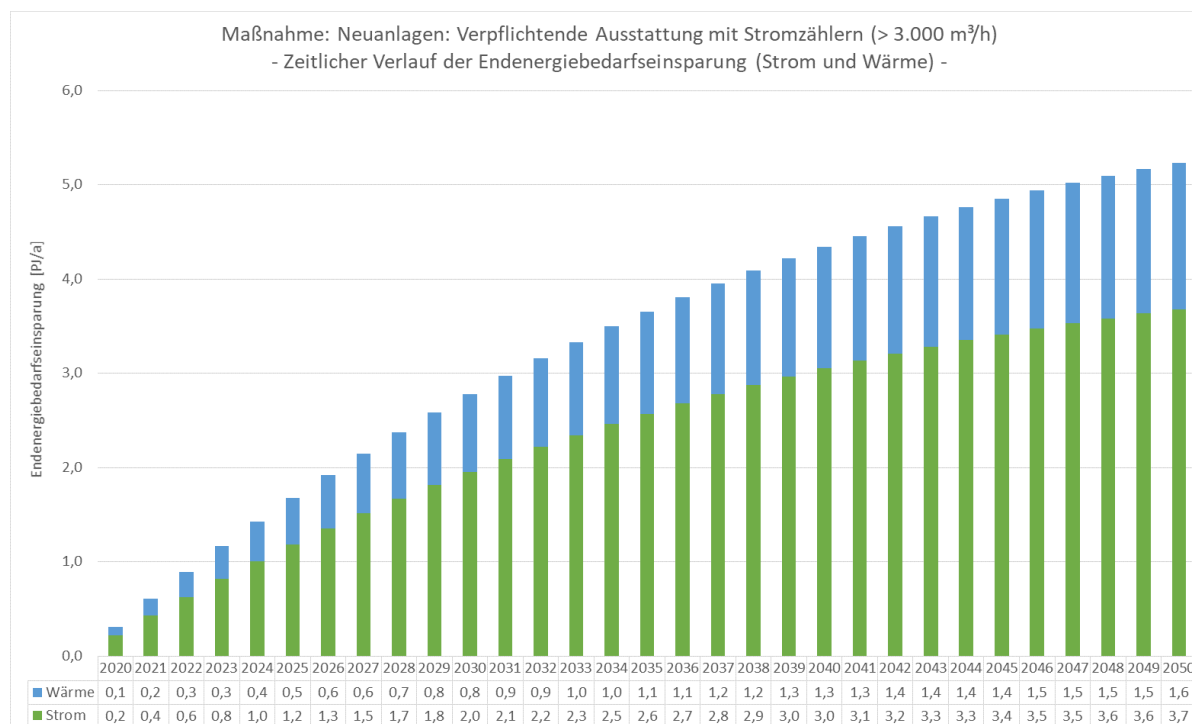


Abbildung 11: Endenergiebedarfseinsparung (Strom und Wärme) durch verpflichtende Ausstattung großer Klimaanlage mit Stromzählern (Quelle: Offermann et al., 2018, S. 40)

In 2030 erreicht die dargestellte Maßnahme Endenergieeinsparungen von 1,96 PJ_{End}/a im Strombereich sowie 0,83 PJ_{End}/a bei im Bereich Wärme, in Summe 2,79 PJ_{End}/a bzw. 2,68 PJ_{Prim}/a.⁵⁴ Dies entspräche einer Minderung von 0,254 Mio. Tonnen des Treibhausgases CO₂.

Diese Potenzialberechnung geht von der Implementierung einer diesbezüglichen Regelung im aktuellen Gebäudeenergiegesetz (GEG) aus, wofür die Zählerstudie Vorschläge erarbeitet hat (siehe Abschnitt 6.3), und die 2020 wirksam geworden wäre. Eine entsprechende Ergänzung des GEG wurde im bisherigen Gesetzgebungsverfahren jedoch (noch) nicht berücksichtigt, so dass eine Erreichbarkeit der dargestellten Potenziale aktuell unsicher ist.

⁵⁴ In der den Auftragnehmern vorliegenden Entwurfsfassung der Lüftungsstudie (Offermann et al., 2018) erscheint die Berechnung der Primärenergieeinsparung und der THG-Emissionen (Abb. 20 und 26 in der Studie) für die Maßnahme „verpflichtende Ausstattung großer Klimaanlage mit Stromzählern“ unplausibel. Sie wurde deshalb hier durch die Autoren unter Nutzung der in der Studie dokumentierten Endenergieeinsparung sowie der PEF und Emissionsfaktoren selbst berechnet.

8 Übertragbarkeit auf andere Bereiche / Ausblick / weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen des Projekts war die Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf private Haushalte und Unternehmen, insbesondere KMU, zu prüfen. Die in diesem Projekt erarbeiteten Mindestanforderungen für das Effizienz- und Verbrauchsmonitoring beziehen sich bereits auf Haushalte und Unternehmen, soweit hier die gleichen Gerätegruppen zum Einsatz kommen, welche also Raumwärme und Warmwasser erzeugen sowie Gebäudeteile belüften und klimatisieren. Durch die vorgesehene verpflichtende Geräteintegration besteht für die Zielgruppen nicht die Möglichkeit, die Ausstattung zu verweigern / abzulehnen. Die in Abschnitt 5.2 entwickelten Gestaltungsvorgaben für Effizienzanzeigen beziehen sich auf die Zielgruppe „Nutzer“, also ist eine Übertragbarkeit auf Haushalte gewährleistet. In diesem Kontext ist mittelbar durchaus auch die Zielgruppe Handwerk mit adressiert, die über die Effizienzanzeigen ebenfalls wertvolle Diagnosen erhalten können.

Elektrogeräte

Für kleine Klimaanlage, elektrische Warmwasserbereiter und elektrische Einzelraumheizgeräte (vgl. Abschnitt 5.1) wurden im Projekt Mindestanforderungen für das Monitoring des Stromverbrauchs durch Integration kostengünstiger Strommessgeräte definiert. Diese Messgeräte ermitteln auch die Leistungsaufnahme (gemessen in W bzw. kW). Durch Ausweitung des Einsatzes dieser Technik auf weitere Haushalts Großgeräte mit Jahresverbräuchen deutlich über 100 kWh (z.B. Kühlschränke, Geschirrspüler, Waschmaschinen und Trockner), kann neben dem Stromverbrauch auch die Normeffizienz (Vergleich tatsächliche Leistungsaufnahme mit im Effizienzlabel angegebener Leistungsaufnahme) der Geräte beurteilt werden. Mit Hilfe des gemessenen Stromverbrauchs und der Leistung könnte der Nutzer z.B. auf die Möglichkeit hingewiesen werden, bei Wasch- und Spülmaschinen den Energiesparmodus zu nutzen. Außerdem kann eine Effizienzverschlechterung im Laufe der Lebenszeit des Geräts erkannt (z. B. beim Kühlschrank durch Abnutzung der Türdichtungen) und eine Reparatur oder ein vorzeitiger Geräteersatz vorgeschlagen werden. Ggf. kann auch ein unmittelbar bevorstehender Geräteausfall (z.B. bei kurzfristig stark steigender Leistung) detektiert werden.

Industrie

Grundsätzlich ist es sinnvoll, die Effizienz von Industrieanlagen zu überwachen und hierfür Messwerte zu erfassen und zu bewerten. Die im Projekt definierten Mindestanforderungen sind nicht bzw. nur sehr eingeschränkt auf industrielle Prozesse übertragbar. Die im Projekt betrachteten Prozesse der Raumwärme- und Warmwasserbereitung sowie Gebäudelüftung und Klimatisierung sind im Jahresverlauf untereinander gut vergleichbar bzw. referenzierbar. Untersuchungen belegen, dass bei industriellen Prozessen eine systemische Betrachtung unter Berücksichtigung von Aufwand (z. B. Energieverbrauch), Nutzen (z. B. Menge hergestellter Produkte) und Einflussfaktoren (z. B. Temperatur der Ausgangsstoffe, Temperatur der Endprodukte) notwendig ist. Für die Effizienzbewertung ist ein Vorgehen entsprechend der ISO 50000er Reihe sinnvoll (Kubin et al., 2014)

Ausblick, Weiterführender Forschungsbedarf

- Im Rahmen des Projektes wurden ein Einstieg in das Effizienz- und Verbrauchsmonitoring für ausgewählte Produktgruppen definiert, das auf Effizienzanzeigen, Verbrauchsüberwachung, manuelle Funktionskontrollen, Ausgestaltung von Schnittstellen und energiesparenden Regelungsmodi beruht. Die Anforderungen zwischen den einzelnen Geräte- und Anlagengruppen sind noch weitgehend inhomogen. Nachdem in den Folgejahren nach Umsetzung erste praktische Erfahrungen gewonnen wurden, ist die Aufgabe anzugehen, die Anforderungen zwischen den Gruppen zu vereinheitlichen und zusätzlich automatische Funktionskontrollen zu etablieren.
- Die im Abschnitt 4.2 ermittelten Lösungen der Cluster „Regelung“ und „Fernüberwachung“ wurden im Projekt nicht vertieft. Im Bereich Regelung betrifft dies insbesondere die Potenziale der vorausschauenden „Wetterprognosesteuerung“ bei Heizanlagen, die hohe Energieeinsparpotenziale (nach Herstellerangaben i.d.R. 10% des Verbrauchs) erwarten lässt. Deren Nachrüstung ist für größere Gebäude (> 1.000 m² Nutzfläche) wirtschaftlich und sollte künftig zusätzlich in allen an das Internet angebotenen Anlagen verfügbar sein. Es bleibt Aufgabe eines kleineren Zusatzprojekts, hierfür Handlungsvorschläge zu entwickeln.
- Im Bereich „Fernüberwachung“ ist noch der Lösungsansatz „automatische, systematische Inbetriebnahme“ von Heizungsanlagen interessant, um den Handwerker (Stichwort „Fachkräftemangel“) bei der Inbetriebnahme der Heizung zu entlasten. Künftig sollten Anlagen, wie in Abschnitt 6.4 angerissen, mit „energieoptimalen Einstellungen“ (z.B. Brennwertkessel mit maximal 50°C Vorlauftemperatur, um den Brennwerteffekt sicherzustellen) ausgeliefert werden. Durch eine Selbstdiagnose der Heizanlage könnte die Regelung dann im Laufe der ersten Betriebswochen selbstständig weitere optimale Voreinstellungen vornehmen. Auch dieser Ansatz sollte im Rahmen eines eigenständigen oder Teilprojekts weiterverfolgt werden.
- Flankierend zu den Effizienzanzeigen sind automatisierte Funktionskontrollen zu entwickeln, um den Betreibern oder den mit Wartung der Anlagen beauftragten Firmen soweit möglich bei der Ursachendiagnose zu unterstützen.
- Nicht im Fokus des Projekts stand die Nutzung künftig häufiger anfallenden regenerativem Überschuss-Stroms und eine Flexibilisierung der Nachfrage. Mit Hilfe der hier definierten Anforderungen an Schnittstellen und der vorgesehenen Erfassung des Stromverbrauchs sollte es ermöglicht werden, Überschuss-Strom effizient zu nutzen und zu bilanzieren. Die definierte Messgeräteausstattung ermöglicht ebenfalls Bedarfsanalysen und darauf basierend Bedarfsprognosen, welche für eine Flexibilisierung der Nachfrage Voraussetzung sind.
- Weiterführender Forschungsbedarf besteht bei der Entwicklung von Algorithmen für Effizienzanzeigen, die auf einer Bewertung des gemessenen Jahresnutzungsgrads beruhen und ob in solchen Anzeigen Soll- bzw. Referenzwerte in Abhängigkeit von vor- bzw. nachgelagerten System berücksichtigt werden sollen (siehe Abschnitt 5.1).
- Eine vertiefte Anlagenanalyse in Ebene 2 (Handwerkermodus) einer Effizienzanzeige böte die Möglichkeit, vorhandene Defizite in der Qualität der Anlagenkonfiguration, -einstellung und -wartung durch das Handwerk zu unterstützen. Entsprechende automatische Analysen sind unter Nutzung der generierten Messwerte grundsätzlich

möglich, jedoch aktuell noch nicht am Markt verfügbar. Hierzu besteht akuter Forschungsbedarf.

- Ebenfalls noch zu erforschen ist die „Mensch-Maschine-Interaktion“ im Bereich Energieeffizienz. Hier sind mehrere offene Forschungsfragen zu benennen: Es gilt (1.) weiter zu untersuchen, wie es möglich ist, die Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft smarter Steuerungen durch den Nutzer zu erhöhen, da dies bisher nicht automatisch und längerfristig gewährleistet ist (siehe Abschnitt 4.1 und 6.1). Weitergehend stellen sich die Fragen, (2.) unter welchen Umständen auch Handwerker technologiebasierte Informationen optimal nutzen, ob (3.) Feedback auch in öffentlich oder gewerblich genutzten Gebäuden wirkt und wie (4.) die Wirkung von Effizienzfeedback in einer zunehmend digitalisierten Alltagswelt mit vielen technologiebasierten Rückmeldungen sichergestellt werden kann.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Literatur zu Abschnitt 3

- Herstellerverband RLT-Geräte e. V. (2018). Mindestausstattung von RLT-Anlagen mit Sensorik zur Erfassung / Bewertung der Energieeffizienz. (unveröffentlicht)
- Offermann, M., Schäfer, M., Dinges, K. & von Manteuffel, B. (2018). Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050 Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Entwurf Endbericht. Köln: Ecofys. (unveröffentlicht)

Literatur zu Abschnitt 4.1

- Armel, K. C., Gupta, A., Shrimali, G., & Albert, A. (2013). Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity. *Energy Policy*, 52, S. 213–234. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.062.
- Bamberg, S. (2013). Changing environmentally harmful behaviors: A stage model of self-regulated behavioral change. *Journal of Environmental Psychology*, 34, S. 151-159.
- Bedwell, B., Leygue, C., Goulden, M., McAuley, D., Colley, J., Ferguson, E., Banks, N. & Spence, A. (2014). Apportioning energy consumption in the workplace: a review of issues in using metering data to motivate staff to save energy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 26(10), S. 1196-1211., DOI: 10.1080/09537325.2014.978276
- Carrico, A. & Riemer, M. (2011). Motivating energy conservation in the workplace: An evaluation of the use of group-level feedback and peer education. *Journal of Environmental Psychology*, 31, S. 1-13.
- Chen, H., Lin, C., Hsieh, S., Chao, H., Chen, C., Shiu, R., Ye, S. & Deng, Y. (2012). Persuasive feedback model for inducing energy conservation behaviors of building users based on interaction with a virtual object. *Energy and Buildings*, 45, S. 106–115. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.029
- Delmas, M.A., Fischlein, M. & Asensio, O. (2013). Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. *Energy Policy*, 61, S. 729–739.
- Diebig, M., Jungmann, F., Müller, A. & Wulf, I.C. (2018). Inhalts- und prozessbezogene Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung im Kontext Industrie 4.0. Eine qualitative Interviewstudie. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 62 (2), S. 53–67. <https://doi.org/10.1026/0932-4089/a000265>
- DIN EN ISO 9241-210:2011-01. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2010); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2010.
- Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A., Laitner, J. A., (2010). Advanced metering initiatives and residential feedback programs: A meta-review for household electricity-saving opportunities. Tech. Rep. E105, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC.
- Gaus, H. & Müller, C. M. (2013). Das Internet als Instrument zur Klimaschutzauflklärung von Verbrauchern: Eine empirische Untersuchung zu Wirkung und Wirkungsweise eines Informationsportals. *Umweltpsychologie*, (17) (1), S. 36-59.
- Gölz, S. (2017). Does feedback usage lead to electricity savings? Analysis of goals for usage, feedback seeking, and consumption behavior. *Energy Efficiency*. DOI 10.1007/s12053-017-9531-6.
- Hacker, W., & Richter, P. (1980): Psychische Fehlbeanspruchung: Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Stress. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Karlin, B., Ford, R., & Zinger, J., (2015). The Effects of Feedback on Energy Conservation: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 141 (6)Vol. 141, No. 6, S. 1205–1227.

- Karlin, B., Koleva, S., Kaufman, J. Sanguinett, A. Ford, R. & Chan, C. (2017). Energy UX: Leveraging Multiple Methods to See the Big Picture. 6th DUXU: International Conference of Design, User Experience, and Usability. Held as part of *Human-Computer Interaction International 2017*, Vancouver, Canada, 9 - 14 July 2017.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-58640-3_33
- Kastner, I. & Matthies, E. (2016). Investments in renewable energies by German households: A matter of economics, social influences and ecological concern? *Energy Research & Social Science*, 17, S. 1-9.
- Kastner, I., & Stern, P. C. (2015). Examining the decision-making processes behind household energy investments: A review. *Energy Research and Social Science*, 10, S. 72–89.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, S. 254–284. Doi: 10.1037/0033-2909.119.2.254
- König, C. (2012). *Analyse und Anwendung eines menschenzentrierten Gestaltungsprozesses zur Entwicklung von Human-Machine-Interfaces im Arbeitskontext am Beispiel Flugsicherung*. Dissertation TU Darmstadt.
- Murtagh, N., Nat. M., Headley, W.R., Gatersleben, B., Gluhak, A., Alilman, M. Uzzell, D. (2013). Individual energy use and feedback in an office setting: A field trial. *Energy Policy*, 62, S. 717–728.
- Nachreiner, M., Mack, B., Matthies, E., & Tampe-Mai, K. (2015). An analysis of smart metering information systems: A psychological model of self-regulated behavioural change. *Energy Research & Social Science*, 9, S. 85–97.
- Rossi, P. H., Freemann, H. E. & Lipsey, M. W. (2004). Evaluation. A systematic approach (Seventh Edition). Thousand Oaks: Sage.
- Serrenho, T, Zangheri, P & Bertoldi, P. (2015). Energy Feedback Systems: Evaluation of Meta-studies on energy savings through feedback. *Energy Efficiency Directive Articles 9-11 on Feedback, Billing and Consumer information*. JRC-IET Renewables and Energy Efficiency Unit.
<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99716/Idna27992enn.pdf>
- Siero, F. W., Bakker, A. B., Dekker, B. & van den Burg, M. T. C. (1996). Changing organizational energy consumption behavior through comparative feedback. *Journal of Environmental Psychology*, 16, S. 235-246.
- Tiefenbeck, V., Goette, L., Degen, K., Tasic, V., Fleisch, E., Lalive, R. & Staake, T. (2016). Overcoming Salience Bias: How Real-Time Feedback Fosters Resource Conservation. *Management Science*, 10.1287/mnsc.2016.2646
- Toft, M.B., Schuitema, G. & Thøgersen, J. (2014) Responsible technology acceptance: Model development and application to consumer acceptance of Smart Grid technology. *Applied Energy*, 134, 392–400.
- Toth, N., Little L., Read J. C., Fitton, D. & Harton, M. (2013). Understanding teen attitudes towards energy consumption. *Journal of Environmental Psychology*, 34, S. 36-44.
- Zierler, R. Wehrmeyer, W. & Murphy, R. (2017). The energy efficiency behavior of individuals in large organizations: A case study of a major UK infrastructure operator. *Energy Policy*, 104, S. 38-49. DOI 10.1016/j.enpol.2017.01.033.

Literatur zu Abschnitt 4.2

- Batista, A.P., Freitas, M.E. & Jota, F. (2014). Evaluation and improvement of the energy performance of a building's equipment and subsystems through continuous monitoring. *Energy and Buildings*, 75, S. 368-381.
- Clauß, C., Fordran, E., Franke, M., Haufe, J., Majetta, K., Meyer, R. & Seidel, S. (2014). Entwicklung und Optimierung von Gebäude-Management-Systemen, in Tagungsband Fifth German-Austrian IBPSA Conference. RWTH Aachen. S. 166-173.
- Dunker, R. (2013). Effizienz-Elektronik für Wohnhäuser. *HLH*, 1.

- Ekwevugbe, T., Brown, N., Pakka, V. & Fan, D. (2017). Improved occupancy monitoring in non-domestic buildings. *Sustainable Cities and Society*, 30, S. 97-107.
- Ernst & Young (2013). Kosten-Nutzen-Analyse für einen flächendeckenden Einsatz intelligenter Zähler.
- Fraunhofer ISE (2011). Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsyste. Ergebnisbericht November 2011. Freiburg: Fraunhofer ISE.
- Fraunhofer ISE, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, ennovatis & Plenum Ingenieurgesellschaft für Planung Energie Umwelt (2013). Modellbasierte Qualitätssicherung des energetischen Gebäudebetriebs (ModQS). Abschlussbericht.
- GEWOFAG (2015). Forschungsprojekt Riem. Wichtige Erkenntnisse für zukünftige Bauvorhaben. München.
- Hacke, U. & Born, R. (2011). Wirkungs- und Akzeptanzanalyse von EDMpremium. Analyse des Aachener Feldversuches und Ableitungen für weitere Pilotprojekte. IWU.
- Hutter, A., Onillon, E., Malik, S. & Kraus, J. (2012). Neues Konzept für Heizungsregelung. *Bulletin*, 10, S. 19-23.
- IKZ-Fachplaner (2007). Energieeinsparung in Bürogebäuden durch elektronische Einzelraumregelung. *IKZ-Fachplaner*, Heft 8/9/2007, S. 30-32.
- Karg, L., Kleine-Hegemann, K., Wedler, M. & Jahn, C. (2014). E-Energy. Abschlussbericht. Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Evaluation der sechs Leuchtturmprojekte. Berlin/München: B.A.U.M. Consult.
- Karlin, B., Ford, R. & Squiers, C. (2013). Energy feedback technology: a review and taxonomy of products and platforms. *Energy Efficiency*, 7, S. 377-399.
- Kersken, M. & Sinnesbichler, H. (2013). IBP-Mitteilung: Simulationsstudie zum Energieeinsparpotenzial einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose. IBP-Mitteilung 527. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik
- Krzikalla, N., Achner, S. & Brühl, S. (2013). Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien. Aachen: BET.
- Kummerer, C. (2010). Automatischer hydraulischer Abgleich. Korrekter Volumenstrom mit elektronischer Einzelraumregelung. *Sanitär+Heizungstechnik*, 10/2010, S. 56-58.
- Mailach, B. & Oschatz, B. (2015). Kurzgutachten: Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO₂-Minderung. Dresden: ITG-Dresden.
- Mailach, B. & Oschatz, B. (2017). Kurzstudie Energieeinsparungen Digitale Heizung. Dresden: ITG-Dresden.
- Müller, C., Nicht, A., Marcinek, H. & Krieger, O. (2017). Bewusst heizen, Kosten sparen. Abschlussbericht „Verbrauchsauswertung und Mieterbefragungen in den Heizperioden 2012 bis 2016“. Berlin: dena.
- Oventrop (2017). „i-Tronic“ / „R-Tronic“. Energiesparen und Raumklima-Optimierung mit gering investiven Maßnahmen.
- Plessner, S. & Pinkernell, C. (2013). Aktive Funktionsbeschreibungen. Software zur Planung und Abnahme von Automationsfunktionen. *tab*, 7-8/2013, S. 60-63.
- Tödtli, J. (2011). Prädiktive Regelungen und Wetterprognosen in der Gebäudeautomation – Überlegungen im Vorfeld zweier Forschungsprojekte. *SGA Bulletin*, 59, S. 2-16.
- Von Scheven, A., Lutz, S., Völker, D. (2013). E-Energy. Evaluationsbericht.
- Weiß, U., Werle, M. & Pehnt, M. (2017). Realer Heizungsbetrieb: Handlungsfelder zur Steigerung der Energieeffizienz. Heidelberg: ifeu. (unveröffentlicht)
- Wolff, D., Teuber, P., Budde, J. & Jagnow, K. (2004). Abschlussbericht. Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln. Wolfenbüttel: Fachhochschule Braunschweig Wolfenbüttel.

Literatur zu Abschnitt 5.1

- co2online (2015). Wirksam Sanieren: Chancen für den Klimaschutz, Feldtest zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden.

- DIN EN 12831 Beiblatt 2. 2012-05: Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Beiblatt 2: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Gebäude-Heizlast und der Wärmeerzeugerleistung.
- Herstellerverband RLT-Geräte e. V. (2018). Mindestausstattung von RLT-Anlagen mit Sensorik zur Erfassung / Bewertung der Energieeffizienz. (unveröffentlicht)
- Lambrecht, K. (2017). Einsparungen von Endenergie und CO₂ beim Ersetzen alter Heizkessel durch Brennwertkessel – eine detaillierte Betrachtung von Einsparpotentialien in Abhängigkeit der Ausgangslage. Rottenburg: Econsult.
- Mailach, B. & Oschatz, B. (2017). Kurzstudie Energieeinsparungen Digitale Heizung. Dresden: ITG-Dresden.
- Offermann, M. Schiller, H. & Mai, R. (2018). Vorschlag für Ökodesign-Anforderungen an die Betriebsüberwachung von Klima/Lüftungsanlagen. Köln: Ecofys. (unveröffentlicht)
- Offermann, M., Schäfer, M., Dinges, K. & von Manteuffel, B. (2018). Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050 Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Entwurf Endbericht. Köln: Ecofys. (unveröffentlicht)
- Weiß, U., Werle, M. & Pehnt, M. (2017). Realer Heizungsbetrieb: Handlungsfelder zur Steigerung der Energieeffizienz. Heidelberg: ifeu. (unveröffentlicht)

Literatur zu Abschnitt 5.2

- Butz, A. & Krüger, A. (2017). Mensch-Maschine-Interaktion (2. Aufl.). Oldenburg: De Gruyter.
- Jacobsen, J. & Meyer, L. (2017). Praxisbuch Usability & UX. Rheinwerk: Bonn.
- Karlin, B., Ford, R., & Zinger, J. (2015). The Effects of Feedback on Energy Conservation: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 141 (6), S. 1205–1227.
- Karlin, B., Koleva, S., Kaufman, J. Sanguinett, A. Ford, R. & Chan, C. (2017). Energy UX: Leveraging Multiple Methods to See the Big Picture. 6th DUXU: International Conference of Design, User Experience, and Usability. Held as part of *Human-Computer Interaction International 2017*, Vancouver, Canada, 9 - 14 July 2017.
- Mangold, R. (2015). Informationspsychologie (2. Aufl.). Berlin: Springer.
- Richter, M. & Flückiger, M. (2016). Usability und UX kompakt. Produkte für Menschen (4. Aufl.). Springer: Berlin.
- Sarodnick, F. & Brau, H. (2016). Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. Bern: Hogrefe.
- Vollrath, M. (2015). Ingenieurspsychologie. Stuttgart: Kohlhammer.
- Zvingilaite, E & Togeby, M. (2015). Impact of Feedback about energy consumption.

Literatur zu Abschnitt 6

- Keimeyer, F., Kenkmann, T., Hennig, P., Jank, S., Metzger, S. (2015). Informative und transparente Heizkostenabrechnung als Beitrag für den Klimaschutz. UBA Climate Change, 01/2016. Dessau-Roßlau: UBA.
- Statistisches Bundesamt (2018). Bautätigkeit und Wohnungen. Bestand an Wohnungen. Fachserie 5, Reihe 3, 2017. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Literatur zu Abschnitt 7

- Bigalke, U., Armbruster, A., Lukas, F., Krieger, O., Schuch, C. & Kunde, J. (2016). Der dena-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Berlin: dena.
- BMW (2018). Energiedaten: Gesamtausgabe. Berlin: BMWi.
- Cischinsky, H. & Diefenbach, N. (2018). Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Darmstadt: IWU.

- EWI, GWS & Prognos (2014).: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose. Basel/Köln/Osnabrück.
- Fichtner, DLR, TFZ, IdE, DBI-Gas- und Umwelttechnik, TUHH – IUE & COMPARE Consulting (2016). Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014. Stuttgart: Fichtner.
- Offermann, M., Schäfer, M., Dinges, K. & von Manteuffel, B. (2018). Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050 Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Entwurf Endbericht. Köln: Ecofys. (unveröffentlicht)
- Prognos, ifeu & IWU (2015): Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Berlin/Heidelberg/Darmstadt.
- Statistisches Bundesamt (2016). Bauen und Wohnen. Mikrozensus - Zusatzerhebung 2014. Bestand und Struktur der Wohneinheiten. Wohnsituation der Haushalte. Fachserie 5, Heft 1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2018). Bautätigkeit und Wohnungen. Bestand an Wohnungen. Fachserie 5, Reihe 3, 2017. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Literatur zu Abschnitt 8

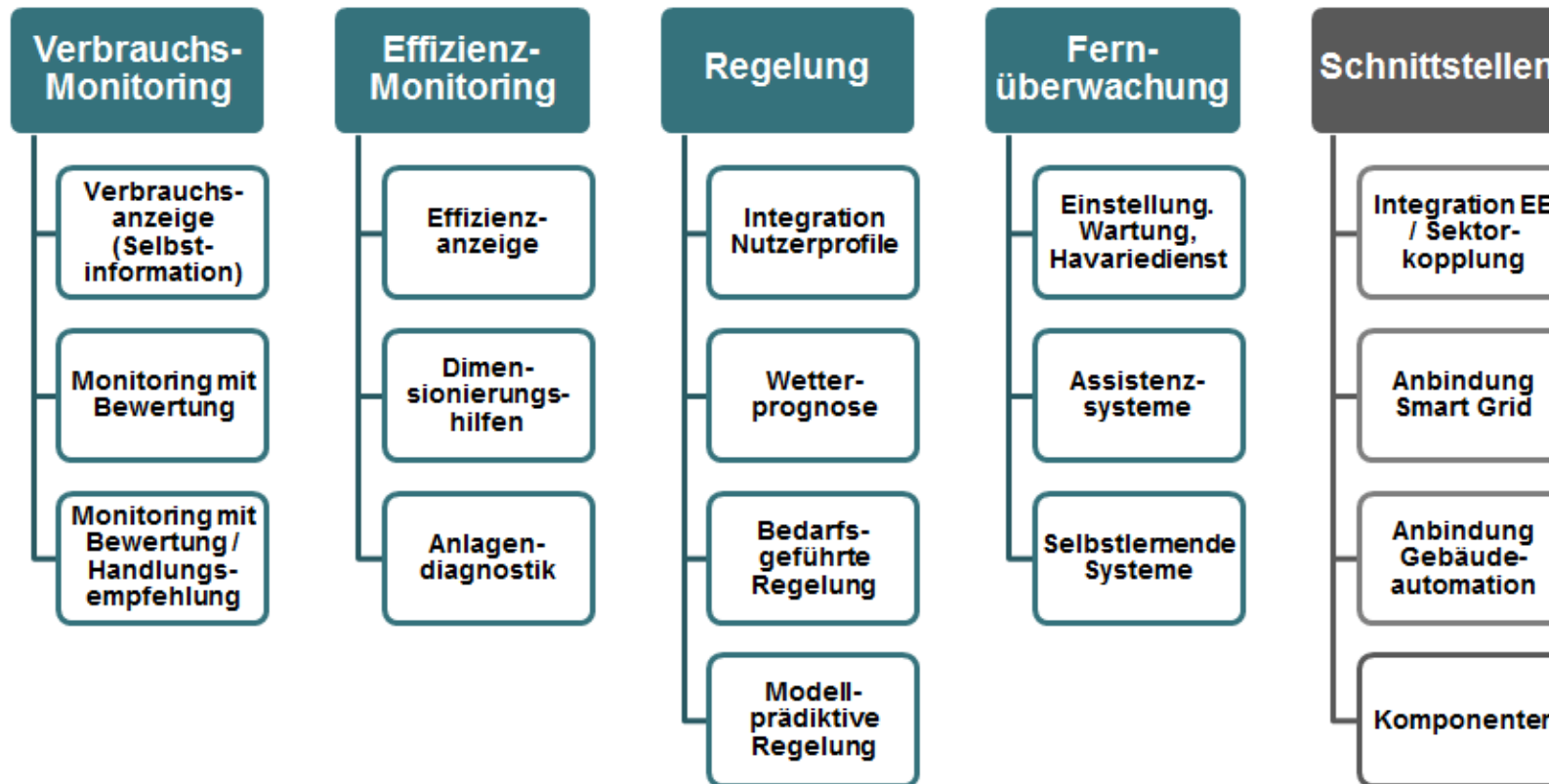
- Kubin, K., Ernst, C., Diehl, S., Melsheimer, J. (2014): Entwicklung einer Methodik zur Aufstellung von Energiekennzahlen zur Steigerung der Energieeffizienz in Unternehmen. Berlin: ÖKOTEC.

10 ANHANG

10.1 Liste der Techniken, Lösungen, Lösungsansätze

Energiemonitoring - Lösungsliste (81 Lösungen, Stand 26.02.2019)

Übersicht: Clusterung von Maßnahmen



Verbrauchsmonitoring

ID-L	Produkt-Gruppe	Lösung	Kurzbeschreibung	Priorisierung
1001	RHG+WW	Anzeige Endenergieverbrauch Gebäude (berechnet)	Berechnung in der Heizungsteuerung bzw. Regelung auf Basis von Brenneinstellungen, Betriebszeiten, Querschnitten, definierten Durchflussmengen, Temperaturniveaus, teilweise starke Abweichungen von gemessenen Verbrauchswerten	3
1002	RHG+WW	Anzeige Nutzwärmeverbrauch bei Wärmepumpen	In Wärmepumpen integrierter Wärmemengenzähler (Fördervoraussetzung aus BAFA Marktanreizprogramm)	2
1003	RHG+WW, Sonstige	Anzeige Solarertrag für PV- und Solarthermieanlagen (berechnet + gemessen)	Berechnung durch Wechselrichter oder Solaranlagensteuerung entsprechend Lösung 1001, bei Solarthermieanlagen alternativ auch Messung durch Zugriff auf Wärmezählerdaten, Anzeige am Gerät	2
1004	WW	Anzeige Stromverbrauch Durchlauferhitzer (berechnet)	Ausgabe des Warmwasserverbrauchs (m ³) und Stromverbrauchs (kWh) in elektronischen Durchlauferhitzern im Display	2
1005	Sonstige	Anzeige Stromverbrauch Umwälzpumpe (berechnet)	Ausgabe Momentanleistung und kumulierter Stromverbrauch an Gerät	2
1006	Sonstige	Anzeige Stromverbrauch Gerät (über Smart-Plug-In)	Fernsteuerbare Steckdosen (WLAN-fähig) oder Unterputzmodule sind mit Stromzählern ausgestattet, Anzeige des Stromverbrauchs in der Browserapplikation. Teilweise zusätzlich Messung der Raumtemperatur. Erweiterung um Energieeffizienzbewertung Gerät möglich.	2
1007	WW	"Intelligenter Duschkopf" mit Anzeige WW-Temperatur. und Dushdauer	Visualisierung der Warmwassertemperatur und der Dauer des Duschvorgangs	3
1008	KI/Lü	Anzeige Raumluftparameter und ggf. Luftqualität (CO ₂ -Gehalt)	Nutzerfeedback zur aktuellen relativen Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur, Minimal- und Maximalwertanzeige, ggf. auch CO ₂ -Gehalt und Schadstoffe (z.B. CO ₂ -Ampel Schulen), Warnmeldung bei Überschreitung von Standard-Parametern	2
1008	Sonstige	Verfahren - Identifikation des Stromverbrauchs von Geräte- und Anlagengruppen	Erkennung von Geräte- und Anlagengruppen durch hochauflösende Messung des Gesamtverbrauchs, basierend auf Algorithmen	3

1010	RHG+WW	Verfahren - Monitoring Endenergieverbrauch Heizanlagen	Auch "Energieanalyse aus dem Verbrauch": unterjährige Erfassung des Endenergieverbrauchs (z.B. Erdgas) und der dazugehörigen mittleren Außentemperaturen in den Messzeiträumen (z.B. Tages-, Wochen- oder Monatswerte), Modellbildung (Regression) des Zusammenhangs der resultierenden Leistung und Außentemperatur, Darstellung in Abhängigkeit von der Außentemperatur, Ergebnisse nutzbar für Verbrauchs-Monitoring, Erfolgskontrolle, Effizienzkontrolle sowie für Dimensionierungshilfen Am Markt sind Umsetzungen bzw. Teilumsetzungen der Lösung verfügbar.	1
1011	KI/Lü	Verfahren - Monitoring Endenergieverbrauch Klima- und Lüftungsanlagen	Anwendung Lösung 1010 auf Klima- und Lüftungsanlagen, z.B. mit Hilfe des "Luftenergiezählers" aus Lösung 5016- Verfahren ist noch zu entwickeln	2
1012	WW	Verfahren - Monitoring Warmwasserverbrauch	Mittels Warmwasserzähler, der vor dem zentralen Warmwasserspeicher installiert wird, Visualisierung des Verbrauchs bei Bezug auf die Nutzerzahl (Verbrauch je Nutzer und Tag), Vergleich des Verbrauchs unterschiedlicher Zeitabschnitte und externes Benchmarking möglich.	2
1013	RHG+WW	Monitoring des Raumwärme- und Warmwasserverbrauchs von Wohnungen in zentral beheizten Mehrfamilienhäusern	Visualisierung auf Basis unterjähriger Verbrauchsdaten von Wärmemessdienstleistern, Vergleich des Heizenergieverbrauchs (Raumwärme und Warmwasser) von einzelnen Wohnungen mit denen des Gebäudes auf Monats- und Jahresbasis, pädagogischer und wirksamer Anreiz zum sparsamen Umgang mit Heizenergie	2
1014	Sonstige	Monitoring des Stromverbrauchs von Haushalten	Unterjähriges Verbrauchsmonitoring mit Hilfe von Smart Metern oder Aufsätzen auf vorhandene Stromzähler, Vergleich auf Minuten-, Tages-, Monats- und Jahresbasis, ggf. externes Benchmarking mit ähnlichen Haushalten	2
1015	RHG+WW	Verfahren - Monitoring des Betriebsstromverbrauchs von Heizanlagen	Mittels vorhandenem Stromzähler z.B. für die Betriebsstromabrechnung in Mehrfamilienhäusern, Vergleich unterschiedlicher Zeiträume und externes Benchmarking möglich	2
1016	Sonstige	Verfahren - Monitoring des Stromverbrauchs von Geräten	z.B. von Umwälzpumpen, wenn die Daten aus vorhandenen Verbrauchsanzeigen (siehe Lösung 1005) verglichen und bewertet werden	2

Effizienz-Monitoring

ID-L	Produkt-Gruppe	Lösung	Kurzbeschreibung	Priorisierung
2001	RHG+WW	Effizienzanzeige bei Wärmepumpen auf Basis der Jahresarbeitszahl (nach §38 GEG-Entwurf vom 23.01.2017).	Anzeige, die neben der (vorgeschriebenen) Mindestjahresarbeitszahl direkt die von der Wärmepumpenanlage erreichte Jahresarbeitszahl als gemittelten Wert der letzten 12 Monate ausweist. Hierbei sind die notwendigen Strom- und Wärmeverbräuche durch Messung zu erfassen.	3
2002	RHG+WW	Effizienzanzeige bei Wärmepumpen auf Basis der Leistungs- und/oder Arbeitszahl (berechnet oder gemessen)	Angabe im Display der Wärmepumpensteuerung bzw. abrufbar in der Bedien-App, verfügbar bei ausgewählten Herstellern; oft ist der Menüpunkt bereits in der Steuerung vorgesehen, die Werte aber nicht verfügbar, weil Komponenten nicht integriert wurden.	2
2003	RHG+WW	Verfahren - Ermittlung des Jahres-Nutzungsgrads von Heizkesseln	Verfahren zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrads von Heizkesseln durch einen Vergleich des gemessenen Nutzenergieverbrauchs mit dem Endenergieverbrauch auf Basis unterjähriger Verbrauchsdaten, Weiterentwicklung der Lösung 1010 durch Einbeziehung des Nutzenergieverbrauchs, unterjährige Aussagen zur Verschlechterung der Effizienz möglich	1
2004	RHG+WW	Verfahren - Ermittlung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen	analog Lösung 2003 (Jahres-Nutzungsgrad von Heizkessel), zusätzlich Berücksichtigung der Abhängigkeit der Arbeitszahl von der Temperatur des Wärmeträgermediums (z.B. Außenluft) notwendig	1
2005	KI/Lü	Verfahren - Überprüfung der Effizienz von RLT-Anlagen	analog Lösung 2003 zu entwickeln, dabei wird der Nutzwärmebedarf z.B. mit Hilfe des Luftenergiemessers aus Lösung 5016 bereitgestellt	1
2006	RHG+WW	Verfahren - Überprüfung der Effizienz von Brennwertkesseln durch Analyse der Vor- und Rücklauftemperaturen	Monitoring der Vor- bzw. Rücklauftemperatur lässt auf Arbeit des Kessels in Brennwertbetrieb schließen (Brennwerteffekt ab Unterschreitung der Rücklauftemperatur von 57°C).	1
2007	RHG+WW	Verfahren - Überprüfung der Effizienz von Brennwertkesseln durch Kondensatmengenmessung	Monitoring der Kondensatmenge im Vergleich zum Brennstoffeinsatz lässt auf Arbeit des Kessels in Brennwertbetrieb schließen.	2

2008	WW	Verfahren - Überprüfung der Effizienz von Warmwasseranlagen (MFH)	Bestimmung der Verluste von Speichern und Zirkulationsleitungen durch einen Vergleich des gemessenen Warmwasserverbrauchs mit dem nach Heizkostenverordnung zu installierenden Wärmezähler für Warmwasser; auch als Effizienz- oder Nutzungsgrad darstellbar.	2
2009	RHG+WW	Verfahren - Überprüfung der Effizienz von Solarthermieanlagen	Abgleich des i.d.R. gemessenen Kollektorertrags mit den Solarstrahlungsdaten, z.B. der nächstgelegenen Wetterstation.	2
2010	RHG+WW	Verfahren - Überprüfung der Effizienz von Solarthermieanlagen auf Basis der Systemtemperaturen	Abgleich der Vor- und Rücklauftemperaturen des Solarkreises mit den Solarstrahlungsdaten, Verfahren basiert auf der Methodik des Solarwärme-Checks der Verbraucher-Zentralen bei Rückgriff auf die Temperatur-Daten aus der Regelung und Bereitstellung der Wetterdaten über die Bedien-App (Digitale Heizung)	1
2011	Sonstige	Verfahren - Effizienzmonitoring bei PV-Anlagen	Betrachtung des Wirkungsgrads: abgegebene elektrische Leistung im Verhältnis zur Strahlungsleistung. Die Strahlungsleistung wird mit einem Sensor (Pyranometer) gemessen; Verfahren ist noch zu entwickeln	2
2012	Sonstige	Autarkiegradanzeige bei PV-Anlagen	"Sofern bei einer PV-Anlage die Daten per SMA Homemanager erfasst werden, kann zusätzlich zu den Ertragswerten der Photovoltaikanlage auch die Energieeffizienz des Gebäudes bzw. den Autarkiegrad angezeigt werden." (Quelle SMA)	2
2013	RHG+WW	Dimensionierungshilfe - Ermittlung der Heizlast (statistisch) - Nennwärmeleistung Heizkessel	Mit Hilfe des Verfahrens aus Lösung 1010 kann der Leistungsbedarf bei Auslegungstemperatur (-10 bis -18°C, je nach Standort) ermittelt werden. Ziele: korrekte Dimensionierung von Heizkesseln (Nennwärmeleistung) bei Anlagenersatz, Anpassung von Brennerleistungen und damit Reduzierung der Bereitschaftsverluste ermittelbar, mit Verfahren sind weitere Parameter ermittelbar: u.a. Sockelleistung (Warmwasserbedarf), Heizgrenztemperatur	2
2014	KI/Lü	Dimensionierungshilfe - Ermittlung der Heiz- bzw. Kühllast (statistisch) bei RLT-Anlagen	Verfahren in Anlehnung an Lösung 2013, -Verfahren ist noch zu entwickeln	2
2015	Sonstige	Dimensionierungshilfe - Vereinfachung hydraulischer Abgleich	Hydraulischer Abgleich auf Basis der Kenntnis des tatsächlichen Wärmebedarfs, z.B. aus Heizkostenverteilern und Einzelraumregelungen. Hydraulischer Abgleich erfolgt dann konventionell durch Einstellung am den Thermostatventilunterteilen	2

2016	Sonstige	Dimensionierungshilfe - Umwälzpumpe	Moderne Hocheffizienzpumpen für größere Gebäude zeichnen die Betriebsparameter Förderhöhe und Volumenstrom als Verteilung über die Pumpenlaufzeit auf. Soweit sich daraus eine Überdimensionierung ergibt, kann bei Ersatz der Pumpe ein kleineres Modell mit geringerem Stromverbrauch verwendet werden.	2
2017	KI/Lü	Verfahren - Anlagendiagnostik - Automatische Aufforderung zum Filterwechsel bei RLT-Anlagen	a) Bei Verschmutzung des Filters erhöht sich der Betriebsstromverbrauch. Der Zustand des Filters wird regelmäßig (bspw. über einen Sensor) erfasst. Bei Verstopfung des Filters wird ein Alarm ausgelöst. b) Differenzdruckmessung im Kanal mit Sensor, um Filterwechsel anzuzeigen. Druckerhöhung weist auf Notwendigkeit des Filterwechsels hin.	2
2018	Sonstige	Verfahren - Anlagendiagnostik - Detektion eines fehlenden hydraulischen Abgleichs durch Analyse des Pumpenstromverbrauchs	Vergleich des Pumpenstromverbrauchs von Hocheffizienzpumpen in vergleichbaren Gebäuden, höherer Verbrauch lässt auf fehlenden hydraulischen Abgleich schließen; Verfahren ist noch zu entwickeln	2
2019	RHG, Sonstige	Verfahren - Anlagendiagnostik - Detektion eines fehlenden hydraulischen Abgleichs aus den Vor- und Rücklauftemperaturen von Heizanlagen	Aus der Auswertung von Vor- und Rücklauftemperaturen können Rückschlüsse auf einen fehlenden hydraulischen Abgleich gezogen werden - Verfahren ist noch zu entwickeln-	2
2020	RHG+WW	Verfahren - Anlagendiagnostik - Hinweis auf Fehleinstellungen	Diagnose des Betriebsverhaltens des Heizkessels durch den Vergleich mit dem Verhalten ähnlicher Anlagen (Benchmarking), Überschreiten von Sollwerten (z.B. Anzahl Ein- und Ausschaltvorgänge).	2
2021	RHG+WW	Verfahren - Anlagendiagnostik - Detektion der Verschmutzung des Wärmetauschers bei Ölkesseln	Sinken der Übertragungsleistung des Ölkessels lässt auf Verschmutzung des Wärmetauschers schließen, Empfehlung Reinigung; Verfahren ist noch zu entwickeln	2

Regelung

ID-L	Produkt-Gruppe	Lösung	Kurzbeschreibung	Priorisierung
3001	RHG	Nutzerprofile - bedarfsgerechtes Heizen durch Abwesenheitserkennung (Präsenzkontrolle) auf der Gebäudeebene	Abgleich der Geo-Position der Nutzers mit dem Gebäudestandort. Herunterfahren der Heizkörper / der Heizung bei Abwesenheit, bei Annäherung umgekehrt.	2
3002	RHG	Nutzerprofile - bedarfsgerechtes Heizen durch Abwesenheitserkennung (Präsenzkontrolle) auf der Raumebene	Präsenzsensoren (Bewegungsmelder) erkennen, ob sich Personen im Raum befinden und passen die Raumtemperaturen an.	3
3003	KI/Lü	Nutzerprofile - bedarfsgerechter Betrieb von RLT-Anlagen durch Abwesenheitserkennung (Präsenzkontrolle) auf der Gebäudeebene	Optimierung der Nacht- und Wochenendabsenkungen von RLT-Anlagen in Abhängigkeit von der Anwesenheit der Nutzer.	2
3004	KI/Lü	Nutzerprofile - bedarfsgerechter Betrieb von RLT-Anlagen durch Abwesenheitserkennung (Präsenzkontrolle) auf der Raumebene	Wenn keine Nutzer im Raum sind: Reduzierung der Luftwechselrate	2
3005	Sonstige	Nutzerprofile - Diagnose Fensterlüftung mit Heizungsunterbrechung	Automatische Schließung der Thermostatventile beim Öffnen der Fenster in der Heizperiode.	2
3006	WW	Nutzerprofile - zeitliche Optimierung der Warmwasser-Zirkulation	Zirkulation im Warmwassernetz in Abhängigkeit von der Nutzung, ggf. auf Basis eines selbstlernenden Systems oder unter Berücksichtigung der Geo-Position des Nutzers	1
3007	RHG	Wetterprognose bei Heizanlagen	Wird auch als sogenannte vorausschauende Regelung bezeichnet: Reduzierung des Heizenergieverbrauchs durch Berücksichtigung der thermischen Trägheit des Gebäudes bei der Regelung der Heizanlage, Orientierung des Heizanlagenbetriebs an der örtlichen Wetterprognose.	1

3008	KI/Lü	Wetterprognose (Teilaspekt) Ausnutzung der "freien Kühlung" bei RLT-Anlagen	An heißen Sommertagen werden die kühlen Nachtzeiten genutzt, um die Räume zu temperieren. Einsatzgebiet sind vor allem Nur-Luft-Systeme.	2
3009	RHG	Bedarfsgeführte Regelung - Heizanlagen (selbstadaptierende Heizkurveneinstellung)	Bedarfsgeführte Wärmebereitstellung in Abhängigkeit vom tatsächlichen Raumwärmebedarf, z.B. auf Basis der Lastanforderungen der Heizkörper, Ersatz/Überlagerung der vorhandenen Regelung.	2
3010	RHG	Bedarfsgeführte Regelung - Wärmepumpenanlagen in Kombination mit Flächenheizung	Kombination Wärmepumpenmanagement und Einzelraumregelung bei Fußbodenheizungen. Die Einzelraumregelung besteht aus einer Zentrale, Funk-Stellantrieben für den Anschluss an Radiatoren, Sensoren zur Erfassung der Raumtemperatur und einem Heizungscontroller für den Anschluss von Stellantrieben für die Fußbodenheizung. Die Kommunikation zwischen den Einzelkomponenten erfolgt über Funk. Die Zentrale des Systems wird über ein Protokoll an die Wärmepumpe angebunden. Dadurch wird ihr Betrieb besser auf die Anforderungen aus dem Gebäude abgestimmt und das Verteilsystem kann auf bestimmte Betriebszustände der Wärmepumpe bestmöglich reagieren	2
3011	KI/Lü	Bedarfsgeführte Regelung - RLT-Anlage	Anpassung des Volumenstroms anhand des tatsächlichen Kühl-, Wärme-, bzw. Luftbedarfs	1
3012	KI/Lü	Bedarfsgeführte Regelung - Berücksichtigung des Behaglichkeitsbereichs bei RLT-Anlagen	Regelung lässt zu, dass zeitweilig die Sollwerte für Raumtemperaturen- und -feuchten über- bzw. unterschritten werden (sogenanntes "Gleiten lassen"), wenn der Nutzer dies nicht bemerkt. Z.B. wird im Sommer bei sehr hohen Außentemperaturen > 30°C anstelle einer Raumluff-Solltemperatur von 22°C eine Solltemperatur von 25-26°C zugelassen. Daraus resultiert eine Energieeinsparung.	1
3013	KI/Lü	Bedarfsgeführte Regelung - Begrenzung der Außenluftrate bei tiefen und hohen Außentemperaturen	Zeitliche Reduzierung der Luftwechselrate zum Zwecke der Energieeinsparung bei gleichzeitiger Erhöhung des Umluftanteils an wenigen Tagen im Jahr, geringfügige Einschränkungen der Raumluffqualität werden dabei in Kauf genommen	2
3014	Sonstiges	Bedarfsgeführte Regelung - Optimierung der Eigennutzung des selbsterzeugten Stroms	Regelung für die optimale Eigennutzung des selbsterzeugten Stroms (z.B. PV-Anlage, Mini-BHKW und Brennstoffzelle)	1

3015	Sonstige	Bedarfsgerechte Regelung Wohnungen - Einzelraumregelung mittels elektronischen Thermostatventilen	Programmierbare Temperaturprofile für einzelne Räume oder Raumgruppen für bedarfsgerechte Heizung. Heizkörper-Thermostate mit zentraler bzw. dezentraler Steuerungseinheit (Abwesenheit, Raumtemperatur).	2
3016	Sonstige	Bedarfsgerechte Regelung - Berücksichtigung der Speicherfähigkeit auf Raumebene	Ergänzung zu Lösung 3015, sogenannte "Heiz-Antizipation": Mit Raumtemperatursensoren und Raumrücklaufregelung erkennt das System, wieviel Heizenergie im Raum schon gespeichert ist. Das System berechnet für den Raum den optimalen Zeitpunkt um die Heizung an- und auszuschalten, um Temperaturschwankungen zu vermeiden.	3
3017	Sonstige	Bedarfsgeführte Regelung - Automatischer hydraulischer Abgleich mittels elektronischen Heizkörperventilen	Begrenzung des maximalen Durchflusses je Heizkörper entsprechend des tatsächlichen Bedarfs, z.B. auf Basis von Informationen zur Raum und-Heizkörpertemperatur sowie des Wärmeverbrauchs des Heizkörpers.	3
3018	RHG+WW, KI/Lü	Modellprädiktive Regelung - Beheizung und Klimatisierung von großen Nichtwohngebäuden	Gebäudeleittechnik - prädiktive Regelung / Optimierung des Zusammenspiels von Heizungs- und RLT-Anlagen, Verknüpfung mit Bedarfsprofilen der Nutzung und Wetterprognose. Ggf. auch Einbeziehung Eigenerzeugung und Stromverbrauch.	2
3019	KI/Lü	Sonstige - Optimierung der Kompressorlaufzeit und Verringerung der Schaltzyklen bei Kältemaschinen	Softwarelösung, die die Kompressorzyklen, Schaltzeiten und Druckverhältnisse analysiert und archiviert. Effizienzsteigerung erfolgt durch Optimierung der Verdichterlaufzeiten. Effizienzanzeige am Gerät.	2
3020	RHG, KI/Lü	Sonstige (anlagenübergreifend) - Kommunikation zwischen Klima- und Heizanlage	Systemeinheit, die gleichzeitiges Heizen und Kühlen verhindert	1
3021	RHG+WW	Sonstige (anlagenübergreifend) - Regelstrategie für die optimale Einbindung von Solarthermieanlagen in Wärmepumpenheizungen mit Saisonspeicher	Lösung für die Raumwärme- und Warmwasserbereitung von Mehrfamilienhäusern: Durch die Erfassung u.a. der Temperaturen der Teilsysteme und dem daraus abgeleiteten aktuellen Bedarf an Raumwärme oder Warmwasser wurde eine Regelstrategie entwickelt, die eine optimale Nutzung des Solarertrags ermöglicht, indem die Solarwärme entweder für die Deckung des Warmwasserbedarfs, des Raumwärmebedarfs oder zur Vorwärmung der Wärmepumpensole genutzt wird. Alternativ erfolgt eine Einspeicherung in den Saisonspeicher.	1

Fernüberwachung

ID-L	Produkt-Gruppe	Lösung	Kurzbeschreibung	Priorisierung
4001	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Einstellung, Wartung, Havariedienst - Fernwartung	Möglichkeit der Anpassung von Einstellungen durch den Handwerker / Hersteller ohne Begehung der Anlage. Möglichkeit der Erkennung von Havarien, Möglichkeit des Neustarts des Systems	2
4002	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Einstellung, Wartung, Havariedienst - Anpassung der Heizkessel-einstellungen durch den Nutzer	Möglichkeit der energiesparenden Anpassung der Heizkessel-einstellungen durch Nutzer per Fernregelung über benutzerfreundliche Bedienungsfläche, z.B. bei längeren Abwesenheiten.	2
4003	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Verfahren - Assistenzsystem - Unterstützung Handwerker bei der Installation und Einstellung von Heizsystemen	In Steuerung integrierter Assistent als Hilfe für erfolgreiche Einstellungsoptimierung des Heizsystems für Handwerker. - Verfahren ist noch zu entwickeln.	2

Schnittstelle

ID-L	Produkt-Gruppe	Lösung	Kurzbeschreibung	Priorisierung
5001	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Integration Erneuerbarer Energien / Sektorkopplung: Schnittstelle Power to Heat - Stromnetz	Schnittstelle zur Nutzung negativer Regelenergie / räumlich und zeitlich begrenzten regenerativen Stromüberschüssen für Wärmezwecke; Schnittstelle noch zu entwickeln.	2
5002	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Integration Erneuerbarer Energien / Sektorkopplung: Schnittstelle Power to Heat - Gebäude	Schnittstelle zur Nutzung im Gebäude erzeugter regenerativer Stromüberschüsse für die Wärmezwecke; Schnittstelle noch zu entwickeln.	2
5003	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Anbindung Smart Grid - Label für Wärmepumpen	Label "Smart Grid Ready" für Wärmepumpen	2
5004	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Anbindung Smart Grid - Industriestandard VHPReady 4.0	offener Industriestandard	2
5005	RHG+WW	Anbindung Gebäudeautomation - Schnittstelle für Anbindung bedarfsgeführter Regelung bei Heizkesseln	Einbindung erfolgt über die Ausgabe eine Spannung (0-10V), Schnittstelle entweder bereits in der Regelung integriert oder mittels Erweiterungs-Kits des Herstellers integrierbar	2
5006	Sonstige	Komponente - Smart Meter + Gateway	Komponente für Verbrauchsmonitoring und Systemanbindung	2
5007	RHG+WW, KI/Lü	Komponente -S0-Schnittstelle für Gaszähler	Neuere Gaszähler verfügen bereits über eine Schnittstelle, über die eine Systemanbindung (z.B. über M-Bus) möglich ist	2
5008	Sonstige	Komponente -S0-Schnittstelle für Stromzähler	analog vgl. Lösung 5007	2
5009	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Komponente - Schnittstellen für Wärme- und Wasserzähler	Ausgewählte Zähler können herstellerseitig um Schnittstellen erweitert werden, die eine Systemanbindung ermöglichen	2
5010	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Monitoring - Aufsätze für analoge Zähler	Aufsätze auf vorhandene Strom oder Gaszähler (Opto-Koppler; QCR-Erkennung), semiprofessionell	3
5011	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Komponente - Aufsätze für analoge Zähler	Verbrauchsmonitoring mit Hilfe von Smart Metern oder Aufsätzen auf vorhandene analoge Stromzähler.	2
5012	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Komponente - Heizungsregler enthält „Wärmezähler“	Heizungsregler ausgewählter Hersteller funktioniert als "geeichter" Wärmezähler, wenn diese um eine Komponente zur Durchflusserfassung ergänzt wird. Es können die Wärmemengen mehrerer Heizkreise erfasst werden.	2

5013	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Komponente - Umwälzpumpe enthält „Wärmezähler“	z.B. Pumpe "Grundfos Magna3", derzeit aber noch nicht für die Verrechnung zugelassen, Weiterentwicklung möglich	
5014	KI/Lü	Komponente - Sensor für Einbeziehung Sonnenschutz	Komponente für die intelligente Jalousieregelung zur Ersparnis von Kühl- und Beleuchtungs-Energie einerseits und passiven Solarwärmegewinn andererseits.	2
5015	RHG+WW	Komponente - Gassensor	Sensor ermöglicht bei Integration in eine Messstrecke eine genaue Gasverbrauchsmessung und kann damit einen konventioneller Gaszähler ersetzen. Der Sensor ist für die Integration in Heizkessel. Bei Abnahme hoher Stückzahlen sind niedrige Kosten möglich.	2
5016	KI/Lü	Komponente - "Luftenergiezähler" bei RLT-Anlagen	Sensor und Rechenwerk zur Messung des Energiegehalts der Luft in Zu- bzw. Abluftkanälen von zentralen RLT-Anlagen unter Berücksichtigung der Enthalpie, ermöglicht Effizienzbewertungen von RLT-Anlagen	1
5017	RHG+WW, KI/Lü, Sonstige	Sonstiges - Archivierung von Verbrauchs- und Anlagendaten	Softwareanwendung, die bei der Archivierung von Verbrauchs- und Anlagendaten unterstützt. Archivierte Daten können zu einem späteren Zeitpunkt als „Dimensionierungshilfen“ verwendet werden.	2
5018	RHG+WW, KI/Lü Sonstige	Sonstiges - Plattform digitale Gebäudetechnik	Im Gebäude installierter Smart Home Server ermöglicht die Verknüpfung und Steuerung von Produkten verschiedener Hersteller. (Z.B. Produkt Fa. "Wibutler": Angebunden sind bereits 150 Produkte von mehr als 28 Herstellern.)	2

Legende

Produktgruppe	
KI/Lü	Klima- und Lüftungsanlagen
RHG	Raumheizgeräte
Sonstige	Sonstige, nicht im Fokus des Projekts stehende Produktgruppen oder Anwendungen
WW	Warmwasserbereiter

Priorisierung aus techn. Sicht	
1	hohe Priorisierung
2	mittlere Priorisierung
3	niedrige Priorisierung

10.2 Factsheet „Warmwasserbereiter“

Energiemonitoring: Maßnahmenvorschlag Warmwasserbereiter

<p>1. Zusammenfassung:</p> <p>Anwendungsbereich (Geräte)¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbundanlagen mit Warmwasserspeichern • Elektrische Warmwasserbereiter und -speicher • Warmwasserbereiter mit elektrischer Nachheizung • Solarthermieanlagen 	<p>Gliederung:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zusammenfassung 2. Prinzip 3. Technische Anforderungen 4. Anforderungen zur Visualisierung 5. Anpassungen im Ordnungsrecht 6. Anpassungen im Förderrecht 7. Wirtschaftlichkeit 8. Prognose Einsparpotenzial
<p>Hauptanforderungen</p> <p>Warmwasserbereiter/-speicher, Geräte mit elektrischer Nachheizung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung der Produkte mit geeigneten Mitteln zur Messung und Anzeige des Stromverbrauchs (und ggf. Warmwasserverbrauchs) der aktuellen Periode • Vergleich des Verbrauchs der aktuellen und der vorherigen Periode <p>Solarthermieanlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messung, Anzeige und Bewertung des Solarertrags der aktuellen Periode • Speicherung der Zustände der wichtigsten Aktoren und Sensoren (1 Jahr, Auflösung 1 Stunde) und Bereitstellung über offene Schnittstelle in universellem Datenformat (csv) 	<p>Nebenanforderungen</p> <p>Verbundanlagen mit Warmwasserspeichern:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schnittstellen für Steuerbarkeit und Datenaustausch (ermöglicht optimale Zusammenarbeit Komponenten, Funktionskontrollen, Übergabe Parameter Effizienz- und Verbrauchsmonitoring) <p>Solarthermieanlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Automatische Funktionskontrollen
<p>Wirtschaftlichkeit²</p> <p>5 € Zusatzkosten</p>	<p>Gestaltung der Effizienzanzeige</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zahlenwerte / Referenzwerte • Bewertung: keine verbindlichen Vorgaben
<p>Wirtschaftlichkeit²</p> <p>5 € Zusatzkosten</p>	<p>Gesamtwirtschaftliches Energiesparpotenzial in 2020³</p>

¹ Anforderungen Warmwasser-Wärmepumpen und Kombiheizgeräte siehe Anhang 10.3 (Factsheet Raumheizgeräte)

² Berechnung für kleinste Geräteklasse (Stromverbrauchsmessung elektrische Warmwasserbereiter/-speicher in den Verbrauchsklassen XXS-S)

³ Bei Anpassung des Förderrechts und des Ordnungsrechts

151 € Einsparpotential

0,83 PJ Endenergie

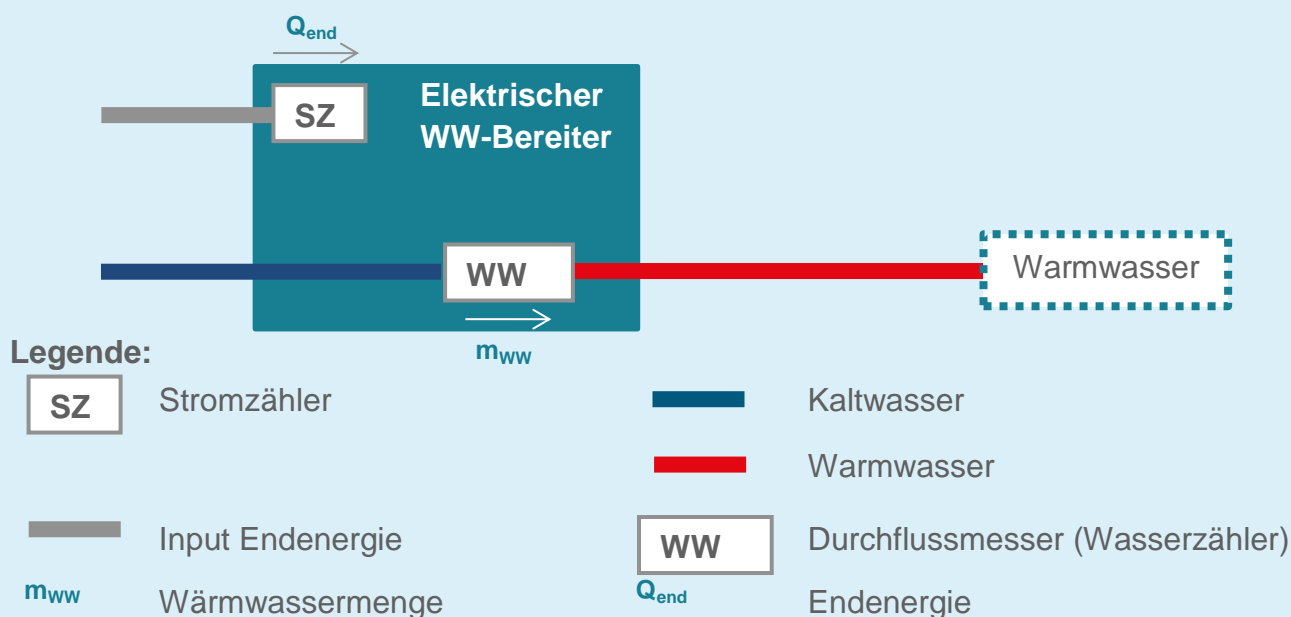
2. Prinzip

Warmwasserbereiter/-speichern

Verbrauchsmonitoring Strom (ggf. Warmwasser)

- Messung des Stromverbrauchs Q_{end} mittels Stromzähler (SZ)
- Ggf. Messung des Warmwasserverbrauchs m_{WW} mittels Wasserzähler
- Bewertung durch Bezug auf Verbrauch der Vorperioden (Tag, Woche, Monat, Jahr)

Prinzipschaltbild Verbrauchsmonitoring



Solarthermieanlagen

Monitoring Solarertrag

- Messung des Solarertrags mittels Wärmehzähler (WMZ) im Kollektorkreis
- Bewertung durch Bezug auf hinterlegte Prognosen
- Vergleich der aktuellen und der vorherigen Periode

Funktionskontrollen (manuell)

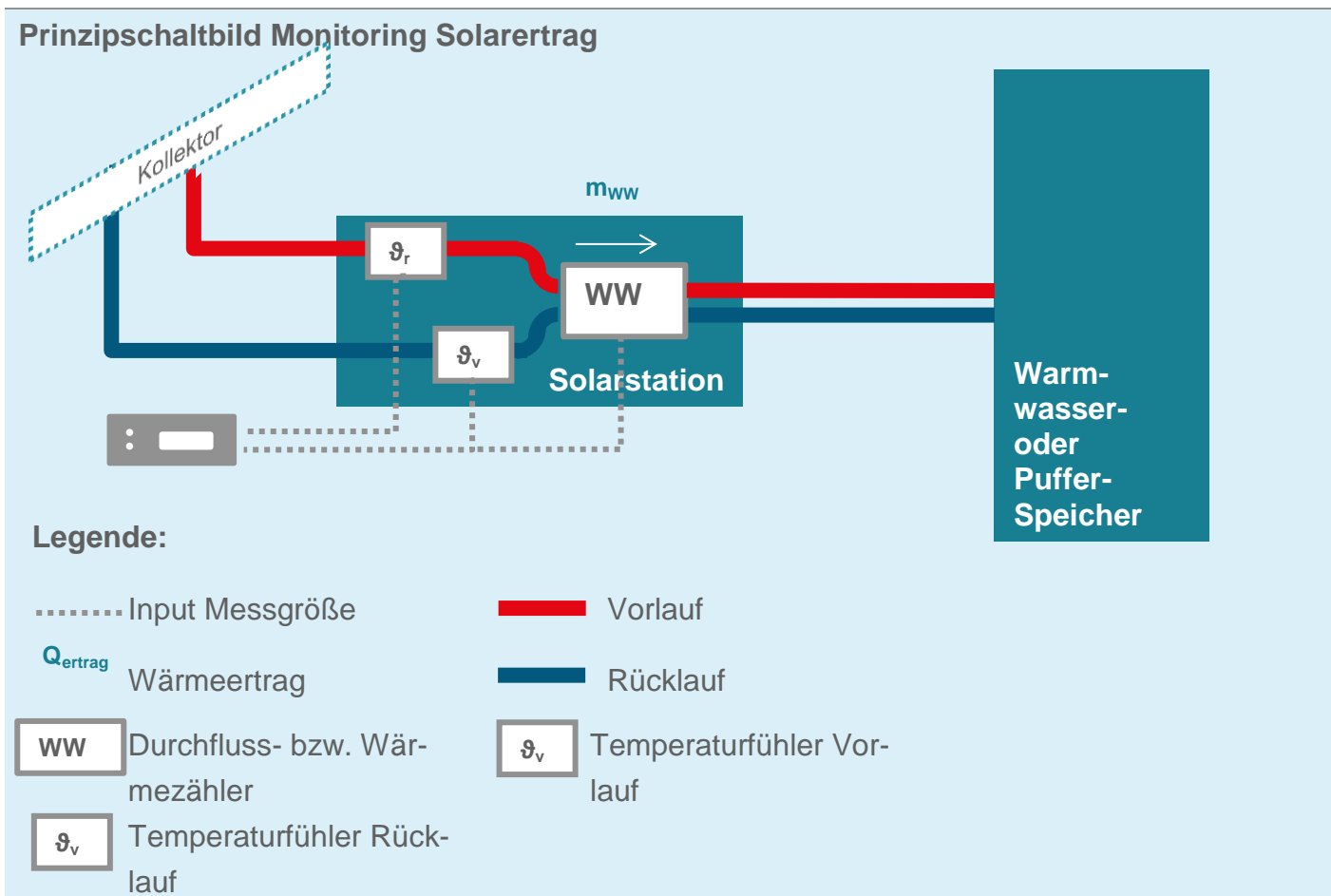
- Speicherung der Zustände der wichtigsten Aktoren und Sensoren (1 Jahr, Auflösung 1 Stunde) und

Bereitstellung über universelle Schnittstelle (z.B. USB, Speicherkarte) in maschinenlesbaren Datenformat (z.B. csv)

Funktionskontrollen (automatisch)

- Integration von automatisierten Plausibilitätskontrollen, mindestens
 - Selbstkontrolle Regler und Sensoren
 - Überwachung der Vor- und Rücklauftemperatur im Solarkreis
 - Aufdeckung vorhandener nächtlicher Fehlzirkulation

- Signalisierung von Fehlern im Display der Regelung oder in der Nutzeranwendung



3. Technische Anforderungen

Sensoren und Messgeräte

Gerät	Vorhanden	Zu ergänzen
Warmwasserbereiter/-speicher	<ul style="list-style-type: none"> • Ggf. Durchflussmesser für Steuerung WW-Temperatur 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromzähler • Ggf. Durchflussmesser (Wasserzähler)
Solarthermieanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Vorlauftemperatur • Ggf. Wärmemähler • Ggf. Funktionskontrollen⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchflussmesser • Zweiter Sensor für Wärmemähler (Rücklauf) • Speichereinheit (Daten)

⁴ Funktionskontrollen für Solarthermieanlagen werden bereits in der Richtlinie VDI 2169, Teil 1 beschrieben.

Erweiterung des Funktionsumfangs der Regelung

Gerät	Zu ergänzen
Warmwasserbereiter/-speicher	<ul style="list-style-type: none">• Berechnung und Bewertung des Stromverbrauchs- und ggf. der Warmwassermenge
Solarthermieanlagen	<ul style="list-style-type: none">• Berechnung und Bewertung des Solarertrags in Abhängigkeit von hinterlegten Prognosen• Integration bzw. Erweiterung von Funktionskontrollen• Integration eines Speichers für die Datenvorhaltung und einer Schnittstelle für die Datenübernahme zur manuellen Funktionskontrolle

4. Anforderungen zur Visualisierung

Gestaltung der Schnittstelle

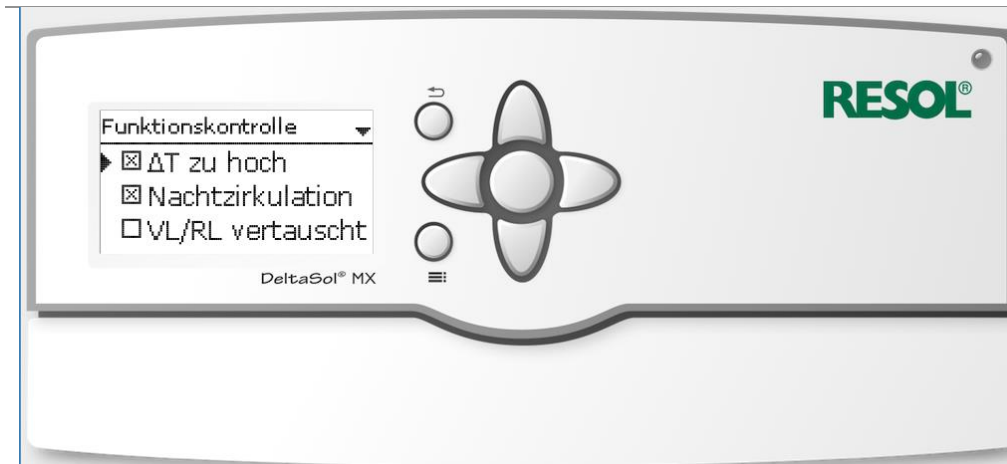
- Verortung im Bedienmenü, zusätzlich in der Online-Anwendung (bei an das Internet ange-bundenen Kesseln)
- Gut sichtbare Montage
- Effizienzanzeige (Solarertrag) in der obersten Menüebene
- Integration/Abgrenzung zu bestehenden Störungsmeldungen

Effizienzmonitoring Solarertrag – Anlassbezogene Kommunikation

Eine Bewertung des Effizienzparameters Solarertrag ist wegen klimatischer Schwankungen zwi-schen den Jahren (Globalstrahlung) und dem Einfluss des Nutzerverhaltens (Warmwasserbrauch) nur eingeschränkt möglich. Daher wird auf verbindliche Vorgaben verzichtet.

Automatische Funktionskontrollen

Beispiel: Visualisierung der Ergebnisse automatischer Funktionskontrollen in der Regelung (Quelle Resol)



5. Anpassungen im Ordnungsrecht

Relevantes Ordnungsrecht

- EU Ökodesign 812/2013
- EU Ökodesign 814/2013
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Relevantes Förderrecht

BAFA: Heizen mit erneuerbaren Energien (MAP)
 KfW – Energieeffizient Sanieren (151/152/430)
 KfW – Energieeffizient Bauen (153/431)

Vorschlag zur Ergänzung des Ordnungsrechts: EU-Ökodesign

Empfehlungen für Ergänzungen des EU-Ökodesigns sind dokumentiert in Anhang 10.10 des Schlussberichts:

Mindestanforderungen zur messtechnischen Überprüfung der Effizienz von Produkten der Gebäudetechnik: Eingabe zum Ökodesign-Prozess der Produktgruppen Klimageräte, Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter seitens Umweltbundesamt (UBA) und Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

6. Anpassungen im Förderrecht (Solarthermieranlagen)

Vorschlag für Anpassung des BAFA-„Marktanreizprogramm“ (MAP)

Anzupassende Dokumente

- ✓ [Richtlinien zur Förderung \[...\] erneuerbarer Energien im Wärmemarkt](#) vom 11.03.15
- ✓ Änderung durch [Bekanntmachung des BMWi vom 4. August 2017](#)
- ✓ [Allgemeines Merkblatt](#)

Gerät	Anpassung
Solarthermieranlagen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verpflichtender Einbau eines Wärmezählers und kontinuierliches Monitoring des Solarertrags ✓ Anpassung der Anforderungen an Funktionskontrollen (Datenspeicherung, optional Vorgabe automatischer Funktionskontrollen)

Textvorschlag für Anforderungen in Modifizierung der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ (am Beispiel große Solarkollektoranlagen)

Abschnitte

1.4. Technische Fördervoraussetzungen für Solarkollektoranlagen

5.2. Technische Fördervoraussetzungen für Solarkollektoranlagen in der Innovationsförderung

1) Förderfähige Anlagen müssen, mit Ausnahme von Luftkollektoren, mit einem geeigneten Funktionskontrollgerät bzw. mit einem Wärmemengenzähler im Kollektorkreislauf ausgestattet sein. Bei Vakuumröhrenkollektoren und Vakuumflachkollektoren ab 20 m² oder Flachkollektoren

ab 30 m² ist mindestens ein Wärmemengenzähler im Kollektorkreislauf erforderlich. Im Bedien-
display der Regelung ist der Solarertrag der aktuellen Periode anzuzeigen und mit hinterlegten
Ertragsprognosen bzw. Vorperiodenwerten (Tag / Woche / Monat / Jahr) zu vergleichen. Für ei-
ne manuelle Funktionskontrolle sind die Zustände der wichtigsten Aktoren und Sensoren eines
Jahres in einer Auflösung von maximal Stundenwerten zu speichern und über eine universelle
Schnittstelle in einem maschinenlesbaren Datenformat bereitzustellen.

Vorschlag für Anpassung der KfW-Programme

Anzupassende Dokumente

- ✓ Energieeffizient Sanieren: Anpassung der [Technischen Mindestanforderungen](#) (600 000 3612)
- ✓ Energieeffizient Bauen: Anpassung der [Technischen Mindestanforderungen](#) (600 000 3465)

Gerät	Anpassung
Solarthermieanlagen	<ul style="list-style-type: none">• Verweis auf (dann geänderte) MAP-Anforderungen

7. Wirtschaftlichkeit

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird als das Verhältnis aus der Einsparung während der Lebensdauer des Gerätes und den Lebenszykluskosten definiert. Die Lebenszykluskosten ergeben sich als Summe des Gerätepreises, der Verbrauchskosten und den Wartungs-/Instandhaltungskosten. Selbst wenn man von einer Marge von 2 oder 3 ausginge, wäre die Zusatzausstattung noch wirtschaftlich.

Annahmen

Es wird angenommen, dass die Energiepreise konstant auf dem heutigen Niveau bleiben.

Beispiel für die kleinste Geräteklasse

Bei elektrischen Warmwasserspeichern oder Durchlauferhitzern ist von einem Nutzenergiebedarf von 2,1 kWh pro Tag bei einer Auslastung von 80% und einem Nutzungsgrad von $\eta_s=35\%$ auszugehen. Bei 5% Energieeinsparung besteht ein Kostenspielraum von 151 €. Bei der Berechnung wurde ein Strompreis von 28 ct/kWh und eine Gerätelebensdauer von 15,4 Jahren unterstellt.

Gerät	Zusatzkosten
Warmwasserbereiter/-speicher (elektrisch)	5-30 €
Solarthermieanlagen	70 €

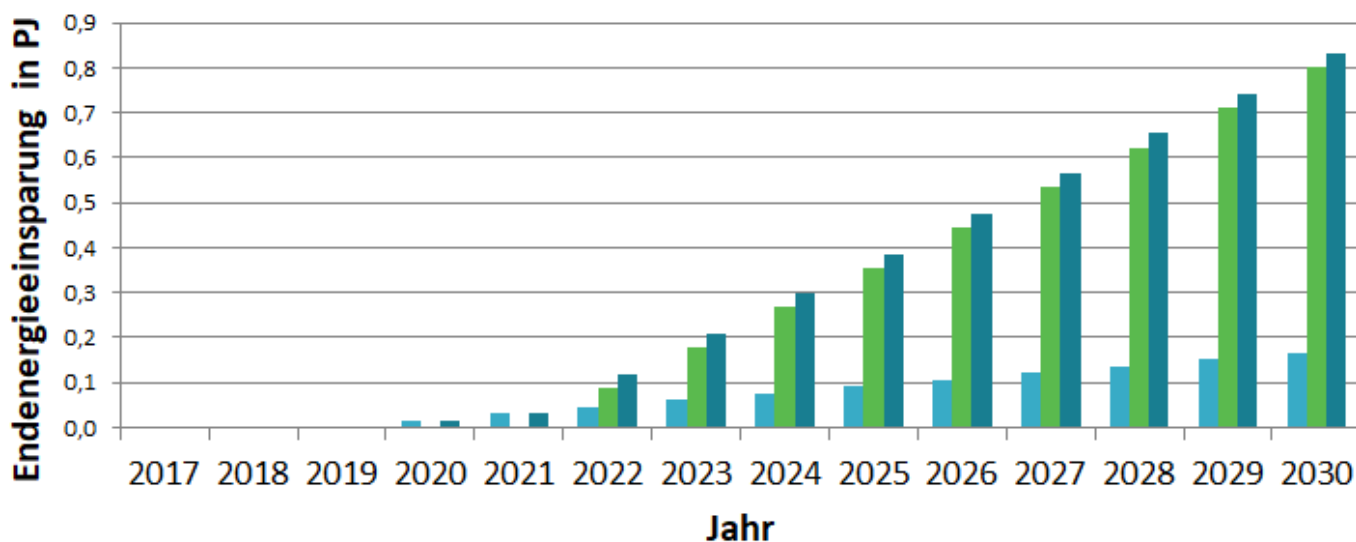
8. Prognose Einsparpotenzial (Warmwasser, Wohnen)⁵

Einsparpotential gesamtwirtschaftlich:

Maßnahme	Einsparung Endenergie im Jahr 2030	Einsparung Primärenergie im Jahr 2030	Einsparung CO ₂ -Emissionen im Jahr 2030
Anpassung Ordnungsrecht (Ökodesign), wirksam ab 2022	0,80 PJ	0,82 PJ	0,06 Mio T CO ₂ /a
Anpassung Förderrecht, wirksam ab 2020	0,03 PJ	0,03 PJ	0,002 Mio T CO ₂ /a
Beides	0,85 PJ	0,85 PJ	0,06 Mio T CO₂/a
Effizienzsteigerung Neubau 2,5 %	Effizienzsteigerung Bestand 5,0 %		

Ansatz Umsetzung: 50 % der identifizieren Ineffizienzen

Einsparpotential Endenergie



- Einsparungen Förderprogramme
- Einsparungen Ökodesign
- Einsparungen Förderprogramme + Ökodesign

⁵ Eigene Berechnungen, Vorgehen analog Abschnitt 7 im Endbericht

10.3 Factsheet „Raumheizgeräte“

Energiemonitoring: Maßnahmenvorschlag Raumheizgeräte

1. Zusammenfassung	
<p>Anwendungsbereich (Geräte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heizkessel bis 400 kW • Kombigeräte • Wärmepumpen • Blockheizkraftwerke 	<p>Gliederung:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zusammenfassung 2. Prinzip 3. Technische Anforderungen 4. Anforderungen zur Visualisierung 5. Anpassungen im Ordnungsrecht 6. Anpassungen im Förderrecht 7. Wirtschaftlichkeit 8. Prognose Einsparpotenzial
<p>Bewertungsbasis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gemessene Jahresnutzungsgrade η_s 	<p>Gestaltung der Effizienzanzeige</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampelfarben • Textmeldungen
<p>Hauptanforderung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung mit geeigneten Zählern für End- und Nutzenergieverbrauch zur kontinuierlichen Überwachung der Energieeffizienz • Integration der Effizienzüberwachung in die Regelung und Anzeige im Bediendis- play 	<p>Nebenanforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speicherung der Zustände wichtigsten Aktoren und Sensoren zur manuellen Funktionskontrolle (1 Jahr, Auflösung 1 Stunde) und Bereitstellung über universelle Schnittstelle in einem maschinenlesbaren Datenformat (z.B. csv) • Anzeige des Endenergieverbrauchs der aktuellen Periode, Vergleich der aktuellen Periode mit der vorherigen und Bewertung durch Korrelation mit der Außentemperatur • Fähig zum Hybridbetrieb mit Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Wärme (EE-Ready): Übergeordnete Regelung in Gerät integriert oder Nachrüstbarkeit gewährleistet • Schnittstellen für die Integration bedarfsgeführter Regelungen oder Witterungsprognosesteuerungen
<p>Wirtschaftlichkeit¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • 180 € Zusatzkosten 	<p>Gesamtwirtschaftliches Energiesparpotenzial in 2030²</p>

¹ Berechnung für kleinste verfügbare Geräteklasse (Raumheizgerät mit 5 kW Leistung)

² bei Anpassung des Förderrechts und des Ordnungsrechts

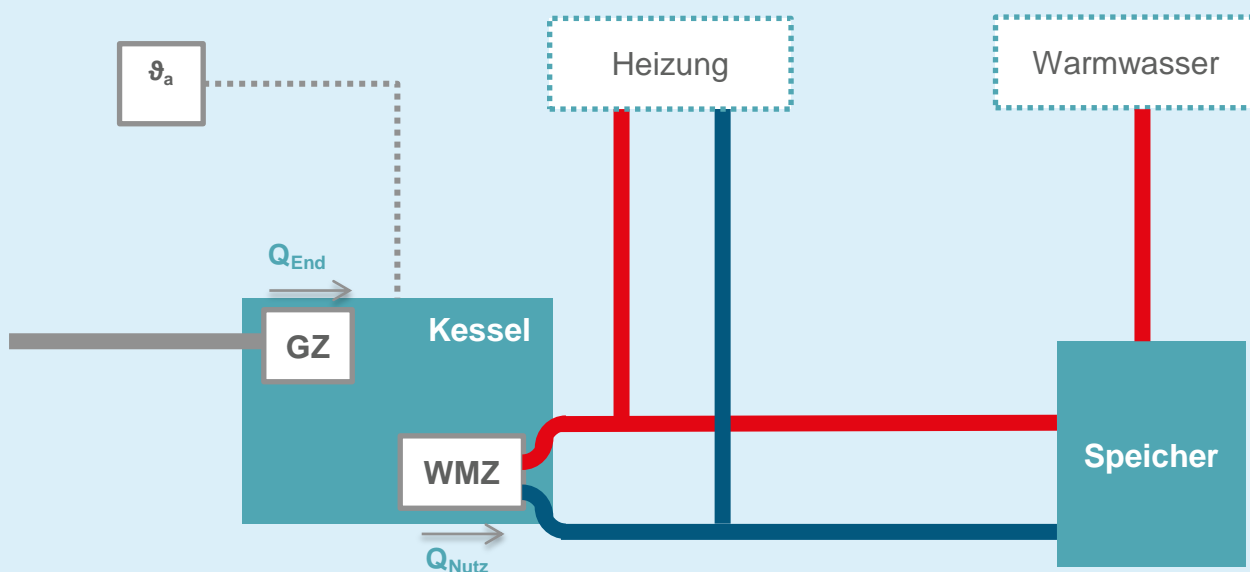
- 575 € Einsparpotential

17,76 PJ Endenergie (Raumwärme, Wohnen)
 anteilig 13,46 PJ Endenergie (Produktgruppe)








2. Prinzip (Beispiel: Gas-Brennwertkessel mit zentraler Warmwasserbereitung)

- Messung des Endenergieverbrauchs Q_{End} mithilfe eines Gaszählers (GZ) und des Wärmeoutputs Q_{Nutz} durch eines Wärmemengenzählers (WMZ)
- daraus: Bestimmung des Jahresnutzungsgrades: $\eta_s = \frac{Q_{Nutz}}{Q_{End}}$
- Anordnung des WMZ so, dass nur ein Zähler verbaut werden muss (vor der Verteilung an mehrere Heizkreise und den Warmwasserstrang)
- Vorhandener Außentemperaturfühler liefert Daten für die Bereinigung des Endenergieverbrauchs um Witterungseinflüsse (Nebenbedingung)
- Bei Kombigeräten zur Erzeugung von Strom und Wärme: zusätzlich Erfassung der erzeugten Strommenge

Prinzipschaltbild



Legende:

	Gaszähler		Außentemperaturfühler
Q_{End}, Q_{Nutz}	Endenergie, Nutzenergie		Vorlauf
	Wärmemengenzähler		Rücklauf
	Input Endenergie		Input Messgröße

3. Technische Ausstattung

Sensoren und Messgeräte

Gerät	Vorhanden	Zu ergänzen
Heizkessel	<ul style="list-style-type: none"> • Außentemperaturfühler • Temperaturfühler Vorlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor bzw. Durchflussmesser (Endenergie) • Durchflussmesser und Temperaturfühler Rücklauf (Wärmezähler Nutzenergie)
Kombigeräte für Raumwärme und Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. Außentemperaturfühler • Temperaturfühler Vorlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. Außentemperaturfühler • Sensor bzw. Durchflussmesser (Endenergie) • Durchflussmesser und Temperaturfühler Rücklauf (Wärmezähler Nutzenergie) • Durchflussmesser (Warmwasserverbrauch)
Wärmepumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Außentemperaturfühler • Wärmezähler (Nutzenergie) • Stromzähler (Endenergie) 	
Blockheizkraftwerke (BHKW)	<ul style="list-style-type: none"> • Außentemperaturfühler • Stromzähler (Nutzenergie 1) • Temperaturfühler Vorlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor bzw. Durchflussmesser (Endenergie) • Durchflussmesser und Temperaturfühler Rücklauf (Wärmezähler Nutzenergie 2)

Erweiterung des Funktionsumfangs der Regelung

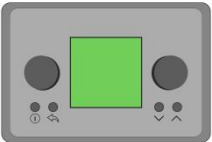
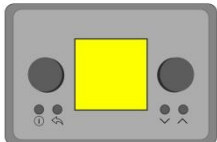
- Integration eines Speichers für die Datenvorhaltung und einer Schnittstelle für die Datenübernahme zur manuellen Funktionskontrolle
- Berechnung der Wärme- und Endenergiemengen, Berechnung und Bewertung des Jahresnutzungsgrades, Klimabereinigung des Endenergieverbrauchs
- Softwareupdate zur Ergänzung des Menüführung im Bediendisplay um Effizienzanzeige und Verbrauchsmonitoring
- Integration von Schnittstellen für bedarfsgeführte Regelung und Witterungsprognosesteuerung

4. Anforderungen Visualisierung (Effizienzanzeige)³

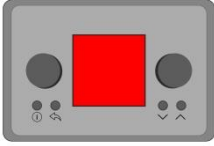

Gestaltung der Schnittstelle

- Verortung im Bedienmenü, zusätzlich in der Online-Anwendung (bei an das Internet ange-bundenen Kesseln)
- Gut sichtbare Montage
- Effizienzanzeige in der obersten Menüebene
- Integration/Abgrenzung zu bestehenden Störungsmeldungen

Anlassbezogene Kommunikation

Anlass	1. Ebene (Farbe)	2. Ebene (Text)	3. Ebene (Text)
Abweichung <7,5 %	Grün 	Die Heizungsanlage hat eine sehr gute Wirksamkeit. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff sehr gut um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei 95% und entspricht dem Idealwert.	--
Abweichung >7,5 – 15 %	Gelb 	Die Heizungsanlage arbeitet nicht so wirksam wie vorgesehen. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff nicht gut um Wärme zu erzeugen. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.	Der Nutzungsgrad der Heizung liegt nur bei xy %, der Idealwert ist 95 %.

³ Vgl. auch Factsheet zur Nutzerkommunikation in Anhang 9.7

<p>Abweichung >15 %</p>	<p>Rot</p> 	<p>Die Heizungsanlage arbeitet sehr unwirksam. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff schlecht, um Wärme zu erzeugen. Eine zeitnahe Wartung ist sinnvoll, bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.</p>	<p>Der Nutzungsgrad der Heizung liegt nur bei xy %, der Idealwert ist 95 %.“</p>
<p>Störung</p>		<p>Es liegt eine Anlagenstörung vor. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.</p>	<p>--</p>

5. Anpassungen im Ordnungsrecht

Relevantes Ordnungsrecht

- EU Ökodesign 813/2013
- EU Ökodesign 811/2013
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)
- Heizkostenverordnung (HeizkostenV)

Relevantes Förderrecht

- KfW – Energieeffizient Sanieren (151/152/430)
- KfW – Energieeffizient Bauen (153/431)
- BAFA: Heizen mit erneuerbaren Energien (MAP)
- BAFA: Kraft-Wärme-Kopplung (Mini-KWK-Zuschuss)

Vorschlag zur Ergänzung des Ordnungsrechts: EU-Ökodesign

Empfehlungen für Ergänzungen des EU-Ökodesigns sind dokumentiert in Anhang 10.8 des Schlussberichts:

Mindestanforderungen zur messtechnischen Überprüfung der Effizienz von Produkten der Gebäudetechnik: Eingabe zum Ökodesign-Prozess der Produktgruppen Klimageräte, Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter seitens Umweltbundesamt (UBA) und Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

Diskussionspapier zur Ergänzung der Heizkostenverordnung

Das Diskussionspapier ist dokumentiert in Anhang 10.11 des Schlussberichts:

Möglichkeiten eines Effizienzmonitorings im Rahmen der Heizkostenabrechnung

6. Anpassungen im Förderrecht

Vorschlag für Anpassung der KfW-Programme

Anzupassende Dokumente

- Energieeffizient Sanieren: Anpassung der [Technischen Mindestanforderungen](#) (600 000 3612)
- Energieeffizient Bauen: Anpassung der [Technischen Mindestanforderungen](#) (600 000 3465)

Gerät	Anpassung
Brennwertkessel (Erdgas/Heizöl)	<ul style="list-style-type: none"> • Ergänzung um die in diesem Factsheet dargestellten Anforderungen, dokumentiert in Anhang 8.10 des Schlussberichts: <i>Anforderung an konventionelle Brennwerttechnik hinsichtlich der Anbindung erneuerbarer Energien-Anlagen (EE-ready)</i> • Optional: kontinuierliche Überwachung des Endenergieverbrauchs in Abhängigkeit von der Außentemperatur
Wärmepumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Verweis auf (dann geänderte) Mini-BHKW-Richtlinie
BHKW	<ul style="list-style-type: none"> • Verweis auf (dann geänderte) Mini-BHKW-Richtlinie

Vorschlag für Anpassung des BAFA-„Marktanreizprogramm“ (MAP)

Anzupassende Dokumente

- [Richtlinien zur Förderung \[...\] erneuerbarer Energien im Wärmemarkt](#) vom 11.03.15
- Änderung durch [Bekanntmachung des BMWi vom 4. August 2017](#)
- [Allgemeines Merkblatt](#)

Gerät	Anpassung
Wärmepumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierliche Überwachung der Arbeitszahl für Wärmepumpen aller Größenklassen (bisher nur für Wärmepumpen > 100 kW) • Einhaltung der Anforderungen der Richtlinie 2014/32/EU bezüglich der Genauigkeit der installierten Messgeräte • Optional: kontinuierliche Überwachung des Endenergieverbrauchs in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Textvorschlag für die Modifizierung der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ (am Beispiel große Wärmepumpen)

3.3. Technische Anforderungen an große effiziente Wärmepumpen

Außerdem müssen folgende technische Voraussetzungen erfüllt sein:

1) Für elektrisch angetriebene Wärmepumpen: Einbau eines Stromzählers zur Erfassung aller von der Wärmepumpe aufgenommenen Strommengen sowie mindestens eines Wärmemengenzählers. Die Messung aller durch die Wärmepumpe abgegebenen Wärmemengen wird verbindlich gefordert. Falls notwendig, sind hierzu mehrere Wärmemengenzähler vorzusehen.

2) Für gasbetriebene Wärmepumpen: Einbau eines Gaszählers zur Erfassung aller von der Wärmepumpe aufgenommenen Brennstoffmengen sowie mindestens eines Wärmemengenzählers. Die Messung aller durch die Wärmepumpe abgegebenen Wärmemengen wird verbindlich gefordert. Falls notwendig sind hierzu mehrere Wärmemengenzähler vorzusehen.

(3) Die installierten Messgeräte haben bezüglich ihrer Genauigkeit die Anforderungen der Richtlinie 2014/32/EU zu erfüllen.

...

8) Fördervoraussetzung ist, dass eine klassifizierende Anzeige ~~automatische Fernauslese und Speicherung der für die Ermittlung~~ der Jahresarbeitszahl im Bediendisplay des Geräts erforderlichen Messwerte installiert integriert ist, die eine kontinuierliche Überwachung der Arbeitszahl während des Betriebs und ein zeitnahes Erkennen von Optimierungsbedarf durch den Betreiber ermöglicht. ~~Damit sind eine kontinuierliche Überwachung der Arbeitszahl und ein zeitnahes Erkennen von Optimierungsbedarf durch den Betreiber gegeben.~~ Die Installation geeigneter Einrichtungen ist durch Beifügen der Rechnung und durch Fachunternehmererklärung zu bestätigen.

Vorschlag für Anpassung des Förderrechts: BAFA-Programm „Mini-KWK-Richtlinie“

Anzupassende Dokumente

✓ [Richtlinie zur Förderung von KWK-Anlagen bis 20kWel](#) vom 15. Dezember 2014

Gerät	Anpassung
BHKW	<ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung mit zusätzlichen Zählern für Endenergie und Nutzwärme zur kontinuierlichen Überwachung des Nutzungsgrades • Einhaltung der Anforderungen der Richtlinie 2014/32/EU bezüglich der Genauigkeit der installierten Messgeräte

7. Wirtschaftlichkeit

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird als das Verhältnis aus der Einsparung während der Lebensdauer des Gerätes und den Lebenszykluskosten definiert. Die Lebenszykluskosten ergeben sich als Summe des Gerätepreises, der Verbrauchskosten und den Wartungs-/Instandhaltungskosten. Selbst wenn man von einer Marge von 2 oder 3 ausginge, wäre die Zusatzausstattung noch wirtschaftlich.

Annahmen

Es wird angenommen, dass die Energiepreise konstant auf dem heutigen Niveau bleiben.

Beispiel für kleinste Geräteklasse

Bei einem Raumheizgerät mit einem Leistungsbedarf von 5 kW (beispielsweise für ein neu gebautes Gebäude mit 120 m² Fläche) und 1.800 Nutzungsstunden pro Jahr, einer Gerätelebensdauer von 20 Jahren und einem Gaspreis von 0,064 € per kWh können über die Lebensdauer des Geräts 575 € eingespart werden. Bei einem Leistungsbedarf von 10 kW (beispielsweise für ein Bestandsgebäude mit 120 m² Wohnfläche) beträgt die Energieeinsparung bereits 1.150 €.

Gerät	Zusatzkosten ⁴
Heizkessel	30-180 €
Kombigeräte für Raumwärme und Warmwasser (Thermen)	80-100 €
Wärmepumpen	-
Blockheizkraftwerke	80-100 €
Verbundanlagen mit Trinkwasserspeicher	30 €

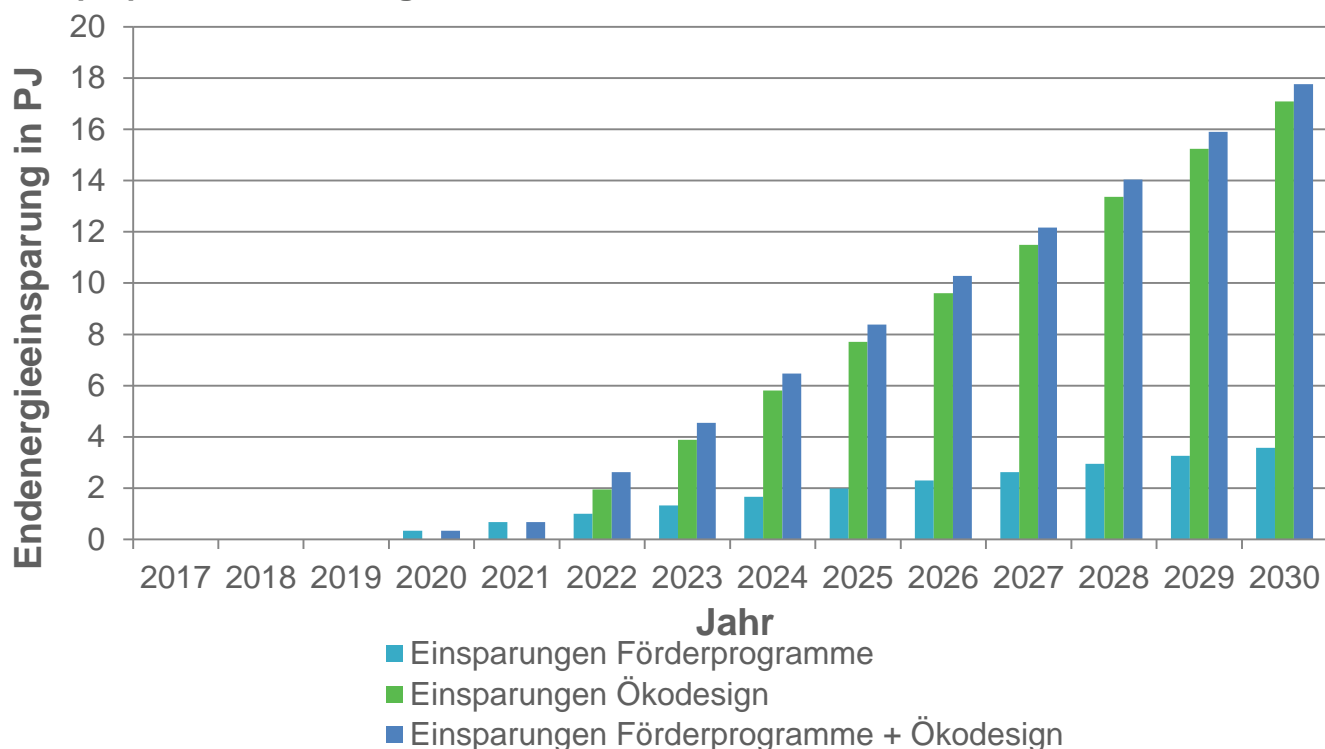
⁴ Ergebnis der Recherche ausgewählter Marktanbieter, siehe Anhang 10.8. im Endbericht

8. Prognose Einsparpotenzial (Raumwärme, Wohnen)⁵

Einsparpotential gesamtwirtschaftlich:

Maßnahme	Einsparung Endenergie im Jahr 2030	Einsparung Primärenergie im Jahr 2030	Einsparung CO ₂ -Emissionen im Jahr 2030
Anpassung Ordnungsrecht (Ökodesign), wirksam ab 2022	17,09 PJ	17,11 PJ	1,21 Mio T CO ₂ /a
Anpassung Förderrecht, wirksam ab 2020	3,58 PJ	3,60 PJ	0,25 Mio T CO ₂ /a
Beides	17,76 PJ	17,8 PJ	1,26 Mio T CO ₂ /a
Effizienzsteigerung Neubau 2,5 %		Effizienzsteigerung Bestand 5,0 %	

Einsparpotential Endenergie



Abgrenzung Einsparpotenzial Raumheizgeräte

76% des Wärmeverbrauchs in 2030: 13,46 PJ Endenergie

⁵ Eigene Berechnungen, siehe Abschnitt 7 im Endbericht

10.4 Factsheet „Festbrennstoffkessel“

Energiemonitoring: Maßnahmenvorschlag Festbrennstoffkessel

<p>1. Zusammenfassung:</p> <p>Anwendungsbereich (Geräte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heizkessel für feste Brennstoffe, insbesondere für Holzpellets und Hackschnitzel bis 500 kW <hr/> <p>Bewertungsbasis</p> <p>Gemessene Jahresnutzungsgrade η_s</p> <hr/> <p>Hauptanforderungen</p> <p>Automatisch beladene Festbrennstoffkessel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung mit geeigneten Zählern für End- und Nutzenergieverbrauch zur kontinuierlichen Überwachung der Energieeffizienz¹ • Integration der Effizienzüberwachung in die Regelung und Anzeige im Bediendisplay <p>Manuell beladene Festbrennstoffkessel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung der Produkte mit geeigneten Zählern zur Messung des Nutzenergieverbrauchs der aktuellen Periode <hr/> <p>Wirtschaftlichkeit²</p> <p>55 € Zusatzkosten</p> <p>378 € Einsparpotential</p>	<p>Gliederung:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zusammenfassung 2. Prinzip 3. Technische Anforderungen 4. Anforderungen zur Visualisierung 5. Anpassungen im Ordnungsrecht 6. Anpassungen im Förderrecht 7. Wirtschaftlichkeit 8. Prognose Einsparpotenzial <hr/> <p>Nebenanforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anzeige des End- bzw. Nutzenergieverbrauchs der aktuellen Periode • Vergleich des End- bzw. Nutzenergieverbrauchs der aktuellen und der vorherigen Periode und Bewertung durch Korrelation mit der Außentemperatur <hr/> <p>Gestaltung der Effizienzanzeige</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampelfarben • Textmeldungen <hr/> <p>Gesamtwirtschaftliches Energiesparpotential in 2030³</p> <p>17,76 PJ Endenergie (Raumwärme, Wohnen) anteilig 2,59 PJ Endenergie (Produktgruppe)</p>
--	--

¹ soweit messbar

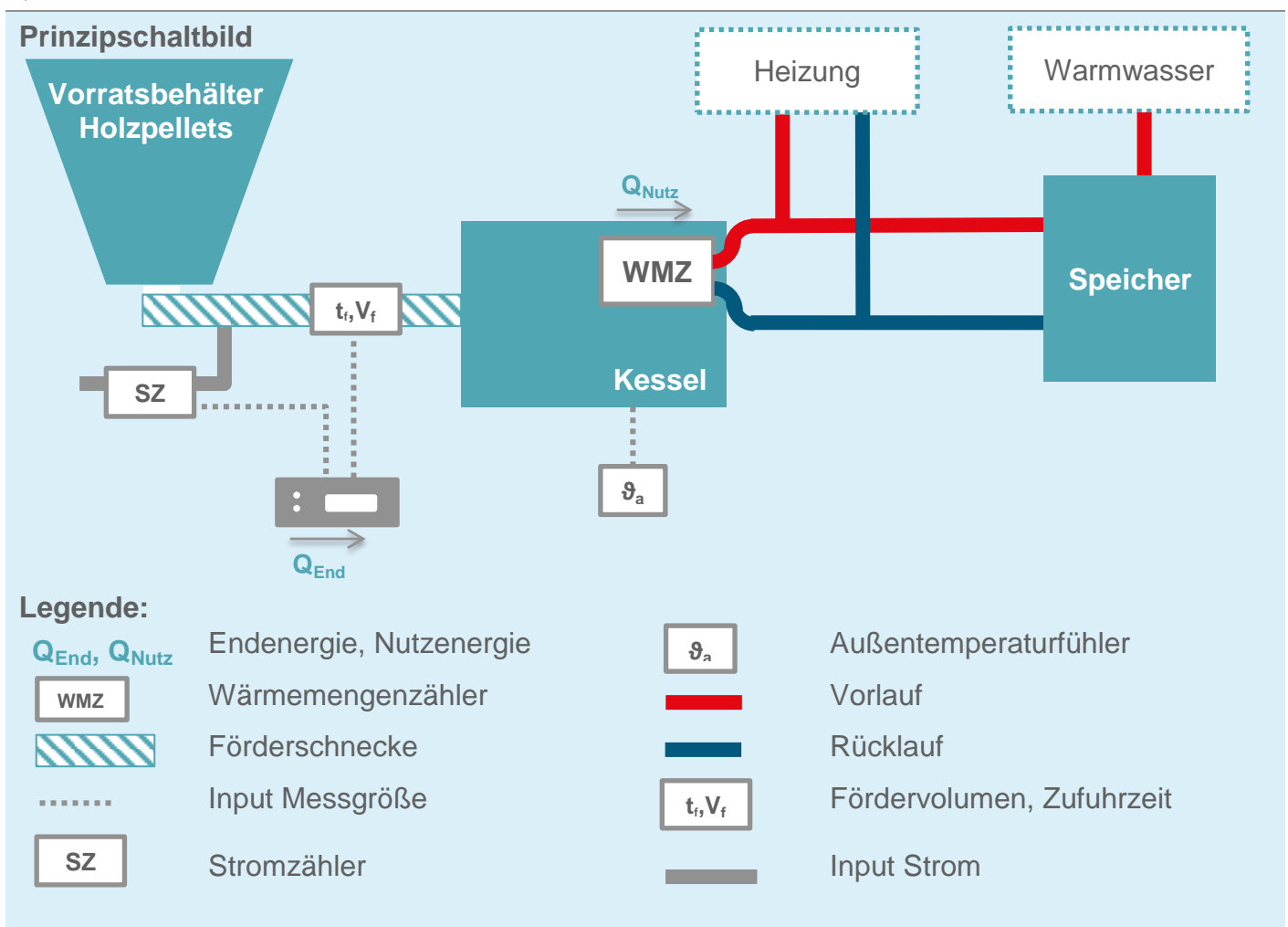
² Berechnung für kleinste Geräteklasse (Kessel mit 5 kW Leistung)

³ bei Anpassung des Ordnungsrechts

2. Prinzip (am Beispiel automatisch beladene Pelletkessel)⁴

- Bestimmung des Endenergieverbrauchs Q_{End} mithilfe über die Parameter der Fördermechanik (z.B. Förderschnecke) und eines Stromzählers, Messung des Wärme-Outputs Q_{Nutz} durch einen Wärmemengenzähler (WMZ)
- daraus: Bestimmung des Jahresnutzungsgrades: $\eta_s = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{Q_{\text{End}}}$
- Anordnung des WMZ so, dass nur ein Zähler verbaut werden muss (vor der Verteilung an mehrere Heizkreise und den Warmwasserstrang)
- Vorhandener Außentemperaturfühler liefert Daten für die Bereinigung des Endenergieverbrauchs um Witterungseinflüsse (Nebenanforderung)

✓



⁴ Bei manuell bestückten Festbrennstoffkesseln ist perspektivisch zu prüfen, ob eine Effizienzbewertung anhand einer Messung und Analyse

- der Kondensatmenge
- der Systemtemperaturen oder
- von Abgastemperatur und Sauerstoffgehalt des Abgases

möglich ist. Eine genauere Beschreibung dieser Verfahren findet sich in Anhang 10.8 des Schlussberichts.

3. Technische Ausstattung

Sensoren und Messgeräte

Gerät	Vorhanden	Zu ergänzen
Automatisch beladene Kessel	<ul style="list-style-type: none"> • Parameter der Fördermechanik (Kapazität, Betriebszeiten) • Temperaturfühler Vorlauf • Außentemperaturfühler 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromzähler • Sensor bzw. Durchflussmesser und Temperaturfühler Rücklauf (Wärmemengenzähler Nutzenergie)
Manuell beladene Kessel	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. Temperaturfühler Vorlauf • Außentemperaturfühler 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor bzw. Durchflussmesser und Temperaturfühler Rücklauf und ggf. Vorlauf (Wärmemengenzähler Nutzenergie)

Weiterung des Funktionsumfangs der Regelung

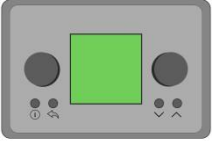
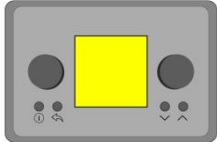
- Berechnung der Endenergie- und / oder Nutzenergiemengen,
- Berechnung und Bewertung des Jahresnutzungsgrades (automatisch beladene Kessel)
- Klimabereinigung des End- bzw. Nutzenergieverbrauchs
- Softwareupdate zur Ergänzung des Menüführung im Bediendisplay um Effizienzanzeige und Verbrauchsmonitoring

4. Anforderungen Visualisierung (Effizienzanzeige)⁵

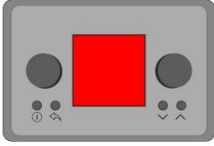

Gestaltung der Schnittstelle

- ✓ Verortung im Bedienmenü, zusätzlich in der Online-Anwendung (bei an das Internet ange-bundenen Kesseln)
- ✓ Gut sichtbare Montage
- ✓ Effizienzanzeige in der obersten Menüebene
- ✓ Integration/Abgrenzung zu bestehenden Störungsmeldungen

Anlassbezogene Kommunikation

Anlass	1. Ebene (Farbe)	2. Ebene (Text)	3. Ebene (Text)
Abweichung <7,5 %	Grün 	Die Heizungsanlage hat eine sehr gute Wirksamkeit. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff sehr gut um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei 95% und entspricht dem Idealwert.	--
Abweichung >7,5 – 15 %	Gelb 	Die Heizungsanlage arbeitet nicht so wirksam wie vorgesehen. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff nicht gut um Wärme zu erzeugen. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.	Der Nutzungsgrad der Heizung liegt nur bei xy %, der Idealwert ist 95 %.

⁵ Vgl. auch Factsheet Nutzerkommunikation, Anhang 10.7 im Endbericht

<p>Abweichung >15 %</p>	<p>Rot</p> 	<p>Die Heizungsanlage arbeitet sehr unwirksam. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff schlecht, um Wärme zu erzeugen. Eine zeitnahe Wartung ist sinnvoll, bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.</p>	<p>Der Nutzungsgrad der Heizung liegt nur bei xy %, der Idealwert ist 95 %.“</p>
<p>Störung</p>		<p>Es liegt eine Anlagenstörung vor. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.</p>	<p>--</p>

5. Anpassungen im Ordnungsrecht

Relevantes Ordnungsrecht

- EU Ökodesign 1187/2015
- EU Ökodesign 1189/2015
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)
- Heizkostenverordnung (HeizkostenV)

Relevantes Förderrecht

- KfW – Energieeffizient Sanieren (151/152/430)
- KfW – Energieeffizient Bauen (153/431)
- BAFA: Heizen mit erneuerbaren Energien (MAP)

Vorschlag zur Ergänzung des Ordnungsrechts: EU-Ökodesign

Empfehlungen für Ergänzungen des EU-Ökodesigns sind dokumentiert in Anlage 10.8 des Schlussberichts:

Mindestanforderungen zur messtechnischen Überprüfung der Effizienz von Produkten der Gebäudetechnik: Eingabe zum Ökodesign-Prozess der Produktgruppen Klimageräte, Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter seitens Umweltbundesamt (UBA) und Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

6. Anpassungen im Förderrecht

Eine Anpassung des Förderrechts wurde im Rahmen des Projekts vorerst nicht ins Auge gefasst.

7. Wirtschaftlichkeit

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird als das Verhältnis aus der Einsparung während der Lebensdauer des Gerätes und den Lebenszykluskosten definiert. Die Lebenszykluskosten ergeben sich als Summe des Gerätepreises, der Verbrauchskosten und den Wartungs-/Instandhaltungskosten. Selbst wenn man von einer Marge von 2 oder 3 ausginge, wäre die Zusatzausstattung noch wirtschaftlich.

Annahmen

Es wird angenommen, dass die Energiepreise konstant auf dem heutigen Niveau bleiben.

Beispiel für kleinste Geräteklasse

Für ein Gebäude mit 120 m² Wohnfläche ergibt sich mit einem Energiepreis von 5 ct/kWh für Festbrennstoffe ein Spielraum von 378 € für Neubauten (Kesselleistung 5 kW) und 864 € für Altbauten (Kesselleistung 10 kW).

Gerät	Zusatzkosten ⁶
Automatisch beladene Festbrennstoffkessel	55 €

⁶ Ergebnis der Recherche ausgewählter Marktanbieter, siehe Anhang 10.8 im Endbericht

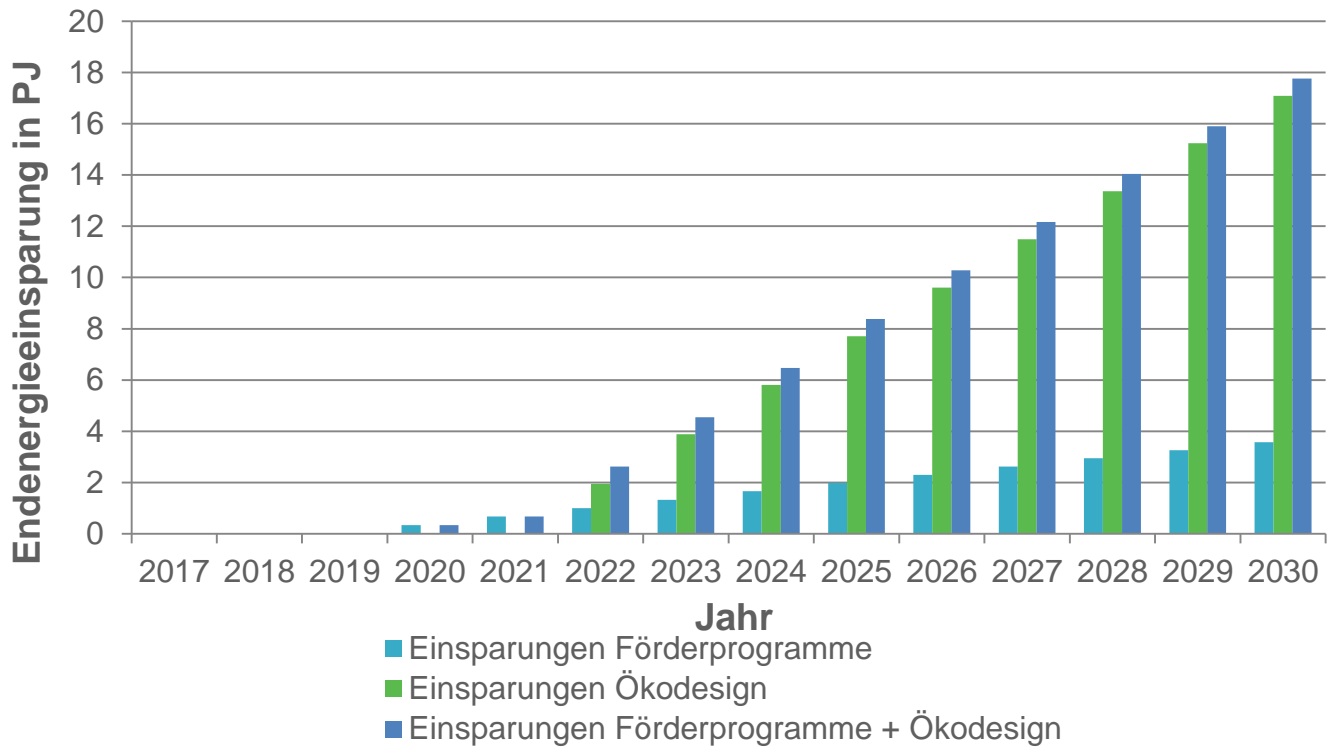
Manuell beladene Festbrennstoffkessel	55 €
--	------

8. Prognose Einsparpotenzial (Raumwärme, Wohnen)⁷

Einsparpotential gesamtwirtschaftlich:

Maßnahme	Einsparung Endenergie im Jahr 2030	Einsparung Primärenergie im Jahr 2030	Einsparung CO ₂ -Emissionen im Jahr 2030
Anpassung Ordnungsrecht (Ökodesign), wirksam ab 2022	17,09 PJ	17,11 PJ	1,21 Mio T CO ₂ /a
Anpassung Förderrecht, wirksam ab 2020	3,58 PJ	3,60 PJ	0,25 Mio T CO ₂ /a
Beides	17,76 PJ	17,8 PJ	1,26 Mio T CO ₂ /a
Effizienzsteigerung Neubau 2,5 %	Effizienzsteigerung Bestand 5,0 %		

Einsparpotential Endenergie



⁷ Eigene Berechnungen, siehe Abschnitt 7 im Endbericht

Abgrenzung Einsparpotenzial Festbrennstoffkessel

14% des Wärmeverbrauchs in 2030: 2,59 PJ Endenergie

10.5 Factsheet „Einzelraumheizgeräte“

Energiemonitoring: Maßnahmenvorschlag Einzelraumheizgeräte

<p>1. Zusammenfassung:</p> <p>Anwendungsbereich (Geräte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Einzelraumheizgeräte • Gewerblich genutzte Einzelraumheizgeräte (Hell- und Dunkelstrahler) • Festbrennstoff-Heizgeräte mit indirekter Heizfunktion, z.B. Pelletöfen mit Wasserta-sche <hr/> <p>Bewertungsbasis</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht möglich • Zu entwickeln (Festbrennstoff-Heizgeräte mit indirekter Heizfunktion) 	<p>Gliederung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusammenfassung • Prinzip • Technische Anforderungen • Anforderungen zur Visualisierung • Anpassungen im Ordnungsrecht • Anpassungen im Förderrecht • Wirtschaftlichkeit • Prognose Einsparpotenzial
<p>Hauptanforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messung und Anzeige des Endenergie-energieverbrauchs der aktuellen Periode • Ggf. Messung und Anzeige des Nutzenergieenergieverbrauchs der aktuellen Periode (Festbrennstoff-Heizgeräte mit indirekter Heizfunktion) • Vergleich der aktuellen Periode mit der vorherigen 	<p>Gestaltung der Effizienzanzeige</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zahlenwerte / Referenzwerte • Bewertung: keine verbindlichen Vorgaben
<p>Wirtschaftlichkeit¹</p> <p>5 € Zusatzkosten</p> <p>504 € Einsparpotential</p>	<p>Gesamtwirtschaftliches Energiesparpotential in 2030²</p> <p>17,76 PJ Endenergie (Raumwärme, Wohnen)</p> <p>anteilig 1,75 PJ Endenergie (Produktgruppe)</p>

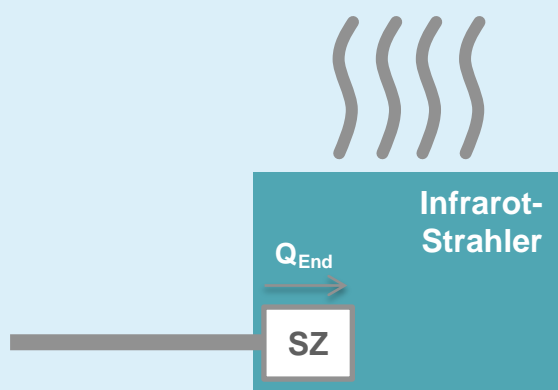
¹ Berechnung für kleinste Geräteklasse (elektrisches Einzelraumheizgerät mit 1 kW Leistung)

² bei Anpassung des Förderrechts und des Ordnungsrechts

2. Prinzip (Beispiel Infrarotstrahler)

- Messung des Endenergieverbrauchs Q_{end} mithilfe eines Stromzählers (SZ)
- Klimabereinigte Bewertung wegen i.d.R. nicht vorhandenem Außentemperaturfühler sowie nichtkontinuierlicher Nutzung nicht möglich
-

Prinzipschaltbild



Legende:

	Stromzähler
	Endenergie
	Input Endenergie

3. Technische Ausstattung

Sensoren und Messgeräte

Gerät	Vorhanden	Zu ergänzen
Elektro-Einzelraumheizgeräte		<ul style="list-style-type: none"> • Stromzähler
Hell- und Dunkelstrahler		<ul style="list-style-type: none"> • Heizöl- bzw. Gaszähler
Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte mit indirekter Heizfunktion	<ul style="list-style-type: none"> • Vorlauf-temperaturfühler 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor bzw. Durchflussmesser und Temperaturfühler Rücklauf und ggf. Vorlauf (Wärmemengenzähler Nutzenergie)

Erweiterung des Funktionsumfangs der Regelung

- ggf. Berechnung des Nutzenergieverbrauchs (Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte mit indirekter Heizfunktion)
- Softwareupdate zur Ergänzung des Menüführung im Bediendisplay um Verbrauchsmonitoring

4. Anforderungen Visualisierung

Gestaltung der Schnittstelle

- Verortung im Bedienmenü, zusätzlich in der Online-Anwendung (bei an das Internet angebundene Kessel)
- Gut sichtbare Montage
- Verbrauchsmonitoring in der obersten Menüebene

Verbrauchsmonitoring End- bzw. Nutzenergieverbrauch – Anlassbezogene Kommunikation

Eine klimabereinigte Bewertung des End- bzw. Nutzenergieverbrauchs ist wegen des i.d.R. nicht vorhandenem Außentemperaturfühler sowie nichtkontinuierlicher Nutzung nicht möglich. Daher wird auf verbindliche Vorgaben verzichtet.

5. Anpassungen im Ordnungsrecht

Relevantes Ordnungsrecht³

- EU Ökodesign 1185/2015
- EU Ökodesign 1186/2015
- EU Ökodesign 1188/2015

Relevantes Förderrecht (Festbrennstoff-Heizgeräte mit indirekter Heizfunktion)

- KfW – Energieeffizient Sanieren (151/152/430)
- KfW – Energieeffizient Bauen (153/431)
- BAFA: Heizen mit erneuerbaren Energien (MAP)

Vorschlag zur Ergänzung des Ordnungsrechts: EU-Ökodesign

Empfehlungen für Ergänzungen des EU-Ökodesigns sind dokumentiert in Anlage 9.8. des Schlussberichts:

Mindestanforderungen zur messtechnischen Überprüfung der Effizienz von Produkten der Gebäudetechnik: Eingabe zum Ökodesign-Prozess der Produktgruppen Klimageräte, Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter seitens Umweltbundesamt (UBA) und Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

³ Nationale Anforderungen im Ordnungsrecht wurden wegen der geringen Bedeutung der Produktgruppe im Rahmen des Projekts nicht ins Auge gefasst.

6. Anpassungen im Förderrecht

Eine Anpassung des Förderrechts wurde im Rahmen des Projekts nicht ins Auge gefasst.

7. Wirtschaftlichkeit

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird als das Verhältnis aus der Einsparung während der Lebensdauer des Gerätes und den Lebenszykluskosten definiert. Die Lebenszykluskosten ergeben sich als Summe des Gerätepreises, der Verbrauchskosten und den Wartungs-/Instandhaltungskosten. Selbst wenn man von einer Marge von 2 oder 3 ausginge, wäre die Zusatzausstattung noch wirtschaftlich.

Annahmen

Es wird angenommen, dass die Energiepreise konstant auf dem heutigen Niveau bleiben.

Beispielberechnung

Für einen Beispielraum, der mit einem elektrischen Einzelraumheizgerät beheizt wird, ergibt sich bei einem Leistungsbedarf von 1 kW und einem Strompreis von 28 ct/kWh eine Einsparung von 504 €.

Ein wassergeführter Pelletofen mit einer Leistung von 10 kW kann ein komplettes Gebäude mit Wärme versorgen. Bei einem Brennstoffpreis von 5 ct/kWh ergibt sich eine Einsparung von 900 €.

Bei einem gasbeheizten Strahlungsheizkörper mit einer Leistung von 50 kW und einer Betriebszeit von 400 Stunden pro Jahr sowie einem Gaspreis von 5 ct/kWh beträgt die Einsparung 1.000 €.

Gerät	Zusatzkosten ⁴
Elektro-Einzelraumheizgeräte	5-30 €
Hell- und Dunkelstrahler	30 €
Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte mit indirekter Heizfunktion	50 €

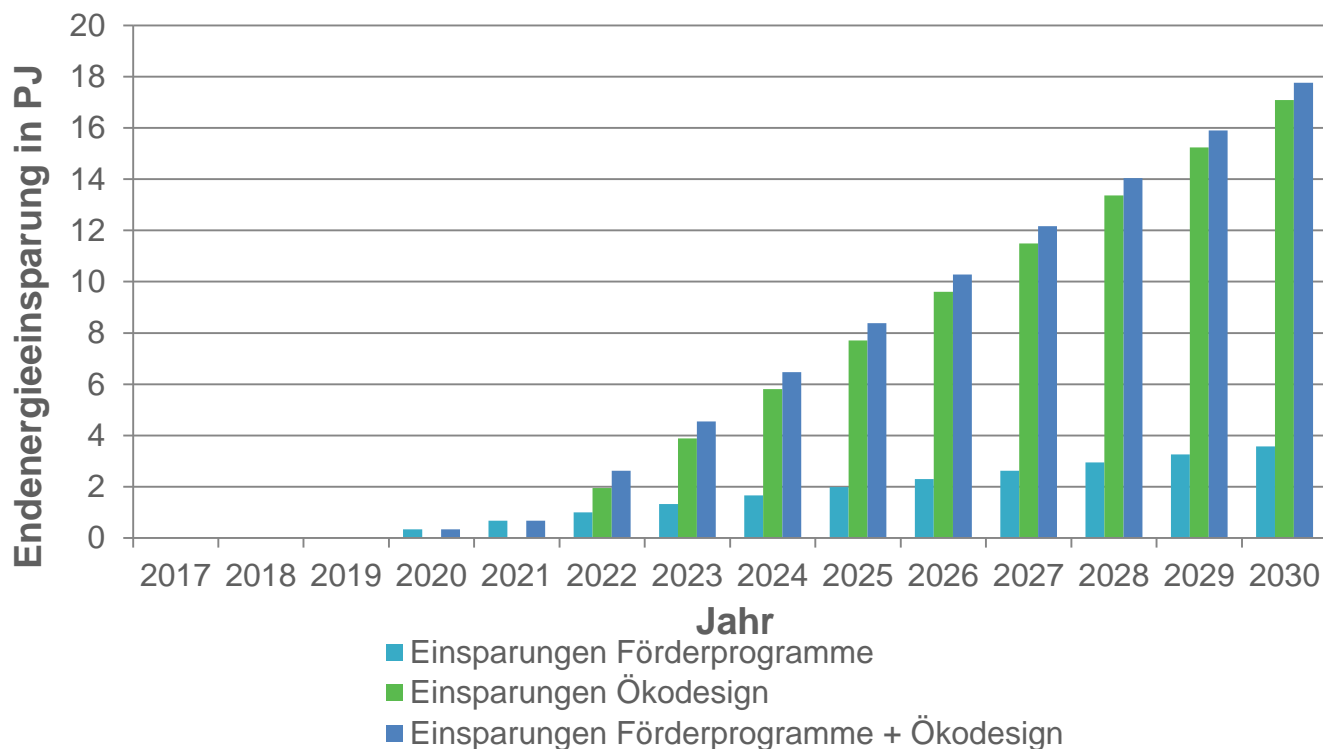
⁴ Ergebnis der Recherche ausgewählter Marktanbieter, siehe Anhang 10.8. im Endbericht.

8. Prognose Einsparpotenzial (Raumwärme, Wohnen)⁵

Einsparpotential gesamtwirtschaftlich:

Maßnahme	Einsparung Endenergie im Jahr 2030	Einsparung Primärenergie im Jahr 2030	Einsparung CO ₂ -Emissionen im Jahr 2030
Anpassung Ordnungsrecht (Ökodesign), wirksam ab 2022	17,09 PJ	17,11 PJ	1,21 Mio T CO ₂ /a
Anpassung Förderrecht, wirksam ab 2020	3,58 PJ	3,60 PJ	0,25 Mio T CO ₂ /a
Beides	17,76 PJ	17,8 PJ	1,26 Mio T CO ₂ /a
Effizienzsteigerung Neubau 2,5 %	Effizienzsteigerung Bestand 5,0 %		

Einsparpotential Endenergie



Abgrenzung Einsparpotenzial Einzelraumheizgeräte

10% des Wärmeverbrauchs in 2030: 1,75 PJ Endenergie

⁵ Eigene Berechnungen, siehe Abschnitt 7 im Endbericht

10.6 Factsheet „Große Lüftungs- und Klimaanlageen“

Energiemonitoring: Maßnahmenvorschlag Lüftungs- und Klimaanlageen

1. Zusammenfassung:

Anwendungsbereich

- Lüftungs- und Klimaanlageen mit einem Volumenstrom ab 4.000 m³/h
- Klimaanlageen mit Nennleistung für den Kältebedarf > 12 kW

Bewertungsbasis

- Noch zu entwickeln

Gliederung:

1. Zusammenfassung
2. Prinzip
3. Technische Anforderungen
4. Anforderungen zur Visualisierung
5. Anpassungen im Ordnungsrecht
6. Anpassungen im Förderrecht
7. Wirtschaftlichkeit
8. Prognose Einsparpotenzial

Hauptanforderungen

Lüftungs- und Klimaanlageen (> 4.000 m³/h)

- Ausstattung mit Messgeräten zur Erfassung der elektrischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren, der Volumenströme, manuellen Vorrichtungen zur Messung der statischen Druckdifferenz, Sensoren zur Messung der Enthalpiedifferenzen (thermische Energieumsätze)

Klimaanlageen mit Kältebedarf (12 kW)

- Kontinuierliche Bereitstellung analoger Ausgangssignale der Messeinrichtungen für Verdampfungs- und Kondensationsdruck sowie der Betriebsmeldungen des Verdichters

Klimaanlageen mit Kältebedarf (> 400 kW)

- Ausstattung mit Messgeräten zur Erfassung des Stromverbrauchs für die Kälteerzeugung und der Kältemenge

Nebenanforderungen

- Datenspeicherung der erhobenen Messwerte und ggf. Betriebsmeldungen (1 Jahr, Auflösung 1 Stunde) für manuelle Funktions- und Effizienzkontrollen, Bereitstellung über universelle Schnittstelle in einem maschinenlesbaren Datenformat (z.B. csv)

Gestaltung der Effizienzanzeige

- Entfällt (Effizienzbewertung noch zu entwickeln)

Wirtschaftlichkeit¹

950 € Zusatzkosten

Gesamtwirtschaftliches Energiesparpotenzial in 2030²

¹ Teilklimaanlage mit 4.000 m³/h entsprechend Abschnitt 7

2.440 € Einsarpotential

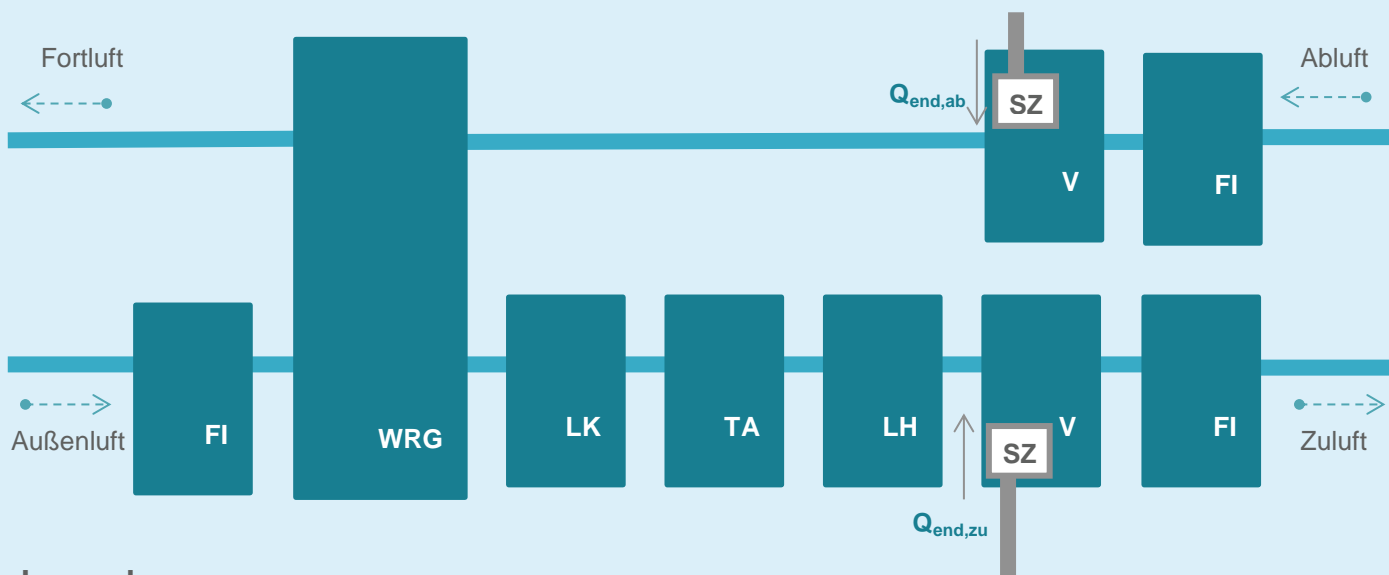
2,79 PJ Endenergie

2. Prinzip (am Beispiel einer Teilklimaanlage)










Elektrische Leistungsaufnahme Ventilatoren

- Messung der elektrischen Leistungsaufnahme (und damit des Stromverbrauchs Q_{end}) mittels Stromzähler (SZ)

Prinzipschaltbild: Leistungsaufnahme Ventilatoren



Legende:

	Luftstrom		TA	Tropfenabscheider
	Input Endenergie		LH	Lufterwärmer
	WRG	WRG	Wärmerückgewinnung	
	LK	LK	Luftkühler	
	V	V	Ventilator	
	FI	FI	Filter	
	SZ	SZ	Stromzähler	
		Q_{end}		Stromverbrauch Zu- bzw. Abluftventilator

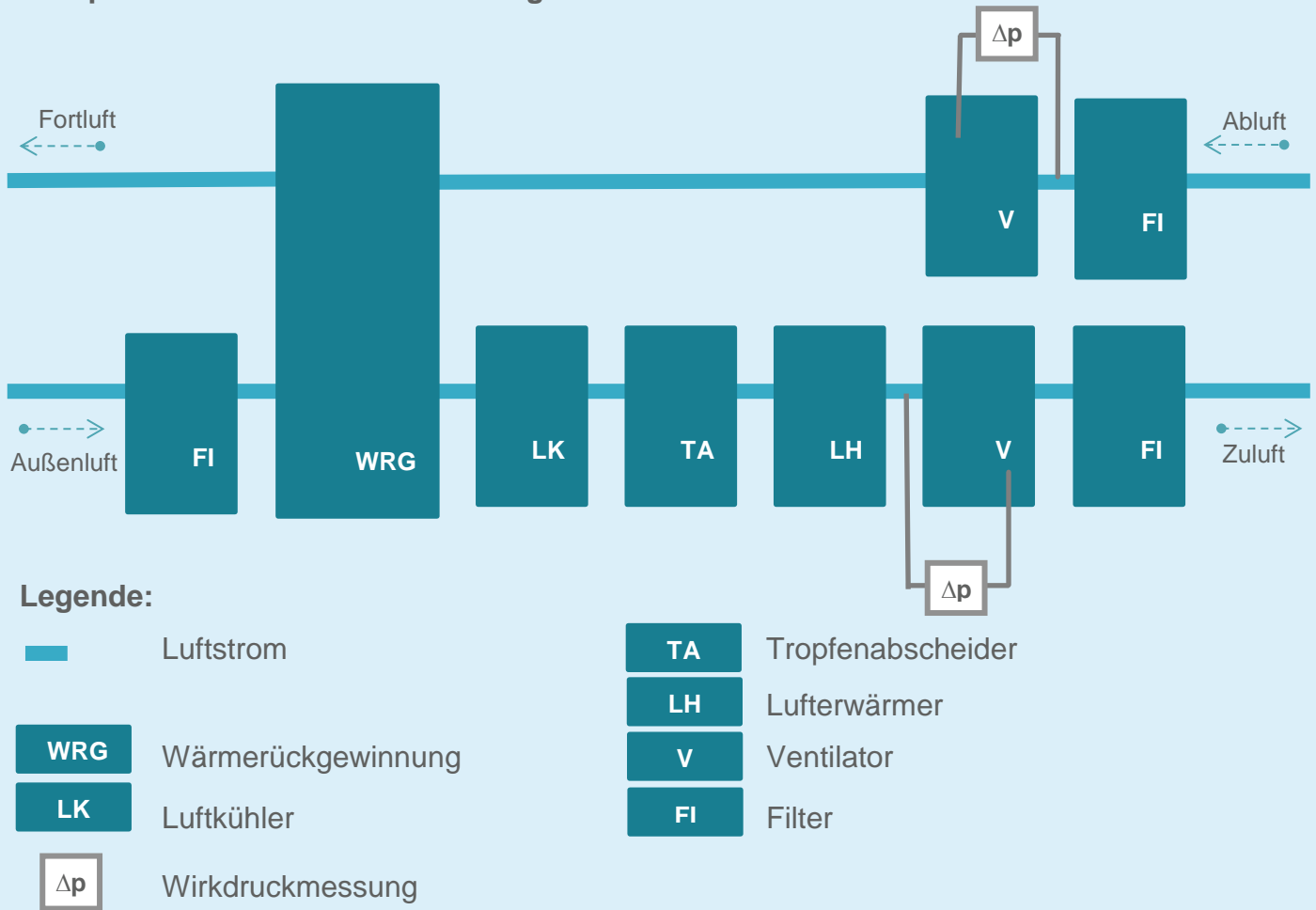
² Annahmen entsprechend Abschnitt 7

Bestimmung des Luftvolumenstroms

- Wirkdruckmessung an den Zu- und Abluftventilatoren
- Berechnung des Volumenstroms



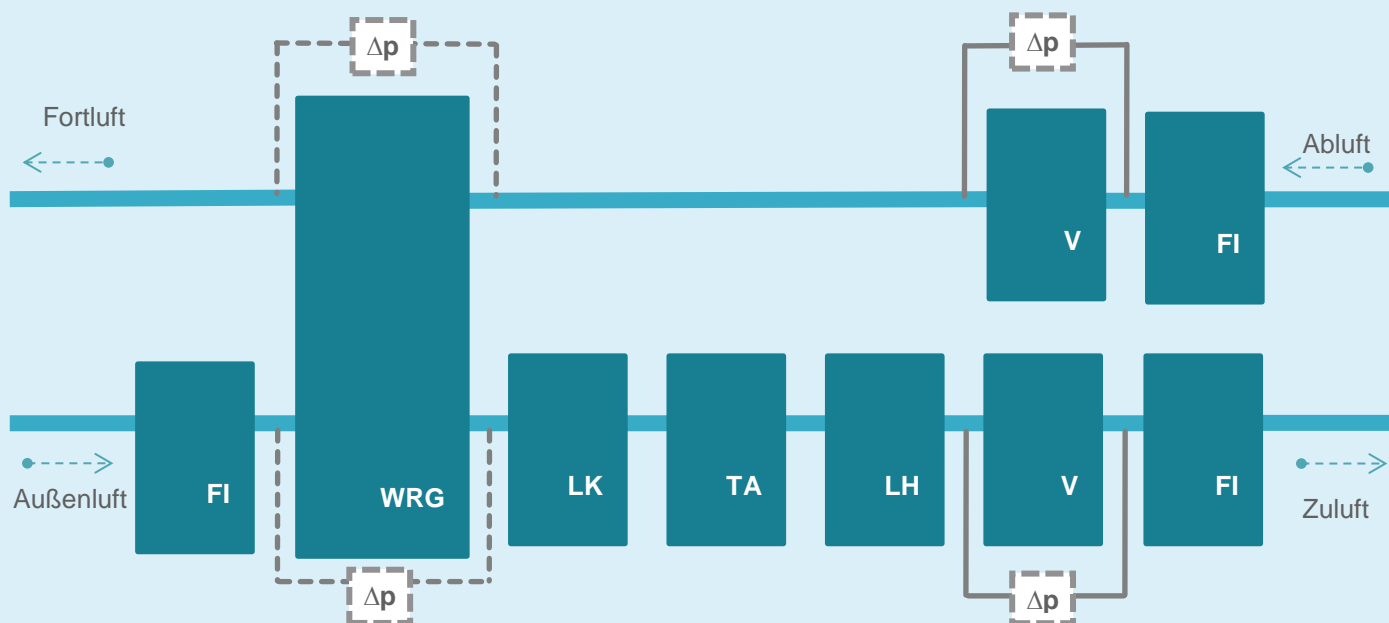
Prinzipschaltbild: Wirkdruckmessung











Manuelle Vorrichtungen zur Ermittlung der statischen Druckerhöhung (Differenzdrücke)

- Differenzdruckmessung an den Zu- und Abluftventilatoren sowie ggf. der Wärmerückgewinnung
- Differenzdrücke für (saubere) Filter (FI), das sonstige Lüftungssystem und ggf. der Wärmerückgewinnung (WRG) werden pauschaliert angesetzt

Prinzipschaltbild: Differenzdruckmessung



Legende:

	Luftstrom		TA	Tropfenabscheider
	ggf. vorzusehen		LH	Lufterwärmer
	WRG		V	Ventilator
	LK		FI	Filter
	Vorrichtung Differenzdruckmessung			

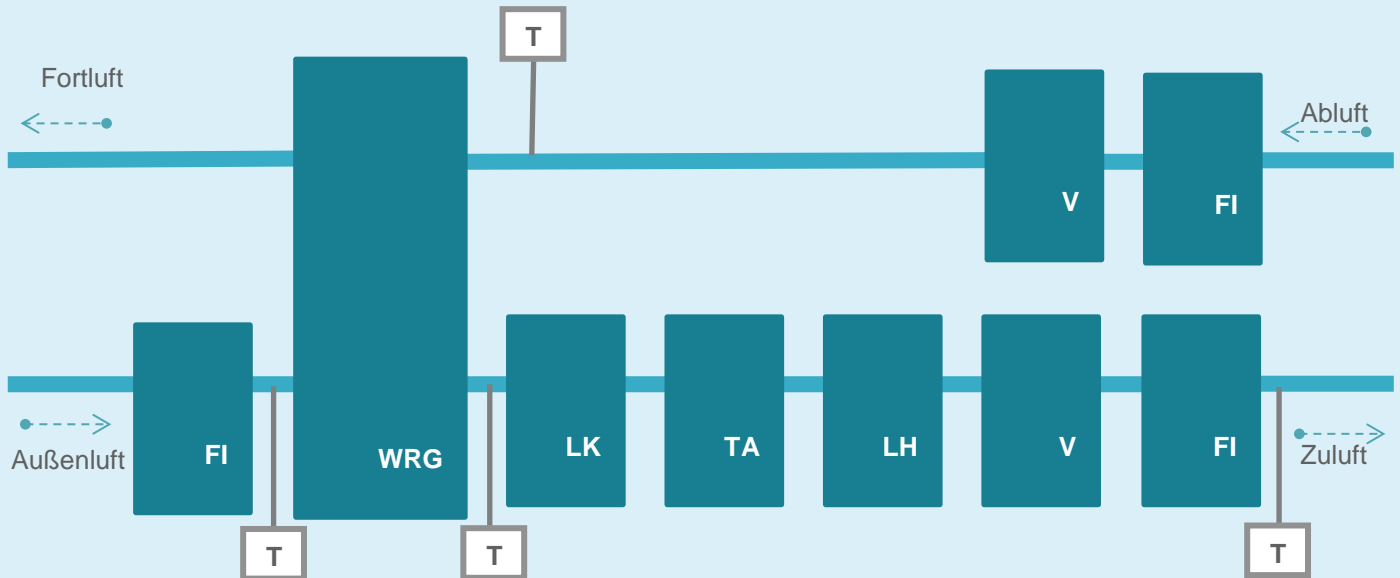
Berechnung der spezifischen Ventilatorleistung (SFP bzw. SFP_{int})

- Berechnung mittels der zuvor bestimmten Parameter
 - Elektrische Leistungsaufnahme Ventilatoren
 - Volumenstrom
 - (manuell gemessene) Differenzdrücke

Messung der Enthalpiedifferenzen

- Messung von Temperatur und Feuchte von Ab-, Zu- und Außenluft durch Temperatur- und Feuchtesensoren
- Berechnung der Enthalpien
- Berechnung der thermischen Energieumsätze aus Enthalpien und Luftmengen

Prinzipschaltbild: nur Temperaturmessung (Anlage ohne Befeuchtung)



Legende:

	Luftstrom		Tropfenabscheider
	Input Endenergie		Lufterwärmer
	Wärmerückgewinnung		Ventilator
	Luftkühler		Filter
	Temperaturfühler		





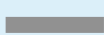
Messung des Stromverbrauchs und der Kältemenge (Klimaanlagen mit Kältebedarf > 400 kW)

- Messung des Stromverbrauchs Q_{End} mittels Stromzähler (SZ)
- Messung der erzeugten Kältemenge Q_{Nutz} mittels Wärme- bzw. Kältemengenzähler (KMZ)

Prinzipschaltbild: Strom- und Kältemengenmessung



Legende:

	Stromzähler		Vorlauf Klimaanlage
$Q_{\text{End}}, Q_{\text{Nutz}}$	Endenergie, Nutzenergie		Rücklauf Klimaanlage
	Kältemengenzähler		Input Endenergie (Strom)

3. Technische Ausstattung

Sensoren und Messgeräte

Gerät	Vorhanden	Zu ergänzen
Lüftungs- und Klimaanlage > 4.000 m³/h	<ul style="list-style-type: none"> • i. d. R. Wirkstrommessung • Wirkdrucksensoren • Außen-, Zu- und Fortluftsensoren für Temperatur und ggf. Feuchte 	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. weitere Temperatur- bzw. Feuchtesensoren • Messblenden für Differenzdrückmessung • ggf. Hardware zur Übertragung der Wirkströme an die Regelung • ggf. höherwertiger (mittelwertbildender) Zuluftsensor
Klimaanlagen > 12 kW Kältebedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Verdampfung und Kondensationsdruck-Sensoren • Betriebsmeldungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verdampfung und Kondensationsdruck-Sensoren zugänglich gestalten
Klimaanlagen > 400 kW Kältebedarf		<ul style="list-style-type: none"> • Stromzähler • Kältemengenzähler

Erweiterung des Funktionsumfangs der Regelung

- Integration eines Speichers für die Datenvorhaltung (Mess- und Sensordaten sowie ggf. Betriebsmeldungen) und einer Schnittstelle für die Datenübernahme zur manuellen Funktions- und Effizienzkontrolle

4. Anforderungen zur Visualisierung

Gestaltung der Schnittstelle

- Entfällt (nur Datenspeicherung)

5. Anpassungen im Ordnungsrecht

Relevantes Ordnungsrecht

- EU Ökodesign 1253/2014
- EU Ökodesign 1254/2015
- EU Ökodesign 2281/2016
- Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Relevantes Förderrecht

- BAFA: Energieeffizienz und Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien in der Wirtschaft (Modul1: Querschnittstechnologien)

Vorschlag zur Ergänzung des Ordnungsrechts: EU-Ökodesign

Empfehlungen für Ergänzungen des EU-Ökodesigns sind dokumentiert in Anhang 10.8 des Schlussberichts:

Mindestanforderungen zur messtechnischen Überprüfung der Effizienz von Produkten der Gebäudetechnik: Eingabe zum Ökodesign-Prozess der Produktgruppen Klimageräte, Raumheizgeräte und Warmwasserbereiter seitens Umweltbundesamt (UBA) und Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

Vorschlag zur Ergänzung des Ordnungsrechts: GEG

Empfehlungen für eine Ergänzungen des GEG, auch dokumentiert in Anhang 10.9 des Schlussberichts:

In § 67 des GEG könnte die Einrichtung von Messeinrichtungen für Klima- und Lüftungsanlagen wie folgt vorgegeben werden:

Messeinrichtungen § 67

(1) Anlagen nach § 64 Satz 1 mit Raumluftechnik müssen über die folgende technische Ausstattung verfügen:

- 1 Messeinrichtungen zur Erfassung der durch Zu- und Abluftventilatoren verbrauchten elektrischen Energie,
- 2 Messeinrichtungen zur Messung der Luftvolumenströme der Zu- und Abluftventilatoren,
3. Messeinrichtungen, welche die zuluftseitige Enthalpiedifferenz über Wärmerückgewinnungseinrichtungen und über die gesamte energetische Zuluftkonditionierung bis zum Geräteaustritt berechenbar machen und eine Ableitung der Enthalpiedifferenz zwischen Abluftzustand und Zuluftzustand an den Gerätegrenzen ermöglichen. Für Anlagen nach § 65 Satz 1 ohne Luftbefeuchtung können die Enthalpiedifferenzen mittels Temperaturmesswerten gebildet werden. Stehen Außenklimadaten aus anderen Quellen für den Standort zur Verfügung, ist anstelle der Erhebung von Messwerten eine Nutzung dieser Daten zulässig,

4 Vorrichtungen, die eine manuelle Messung der statischen Druckerhöhung durch die Zu- und Abluftventilatoren ermöglichen.

Die durch die Messeinrichtungen erhobenen Messwerte sind mindestens stündlich in einem zur Weiterverarbeitung geeigneten Format zu speichern. Sie sind für einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten vorzuhalten und müssen über eine genormte universelle Schnittstelle zugänglich sein.

(2) Anlagen nach § 64 Satz 1 mit Kältetechnik müssen über die folgende technische Ausstattung verfügen:

1. definierte Schnittstelle, über die analoge Ausgangssignale für den Verdampfungsdruck und den Kondensationsdruck kontinuierlich bereitgestellt werden können und

2. definierte Schnittstelle, über die digitale Ausgangssignale für die Betriebsmeldung des Verdichters kontinuierlich bereitgestellt werden können. Anlagen nach § 64 Satz 1 mit Kältetechnik und einer Mindestgröße von 400 kW Nennkälteleistung müssen zusätzlich mit einem Stromzähler und einem Kältemengenzähler ausgestattet sein. Die durch die Schnittstellen nach Satz 1 und Zähler nach Satz 2 übertragenen Messwerte sind für einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten vorzuhalten und müssen über eine genormte universelle Schnittstelle zugänglich sein.

6. Anpassungen im Förderrecht

Vorschlag für die Anpassung des BAFA Programms „Energieeffizienz und Prozesswärme aus Erneuerbaren Energien in der Wirtschaft: Modul 1 – Querschnittstechnologien“

Anzupassende Dokumente

[Merkblatt Modul 1 – Technische Mindestanforderungen](#)

Gerät	Anpassung
Ventilatoren	<ul style="list-style-type: none">• Verpflichtender Einbau von Stromzählern• Datenspeicherung, Schnittstelle
Wärmerückgewinnung	<ul style="list-style-type: none">• Verpflichtender Einbau der Sensoren für Temperatur bzw. Feuchte zur Bestimmung der Rückwärmerate der WRG• Datenspeicherung, Schnittstelle

Textvorschlag für die Ergänzung des Merkblatts

...

1.3 Ventilatoren

...

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt werden?

- Die elektrische Eingangsleistung des Ventilators darf 0,125 kW nicht unterschreiten und 500 kW nicht überschreiten. Für eine manuelle Funktions- und Effizienzkontrolle sind die elektrische Leistungsaufnahme bzw. der Stromverbrauch messtechnisch zu erfassen und in einer Auflösung von maximal Stundenwerten für 1 Jahr zu speichern und über eine universelle Schnittstelle in einem maschinenlesbaren Datenformat bereitzustellen.

...

Wärmerückgewinnung

- Wärmerückgewinnungseinrichtungen in raumluftechnischen Anlagen müssen mindestens den Anforderungen der DIN EN 13053 – Klasse H1 entsprechen. Für eine manuelle Funktions- und Effizienzkontrolle sind die für die messtechnische Überprüfung der Rückwärmehzahlen notwendigen Temperatur- bzw. Feuchtesensordaten zu erfassen, in einer Auflösung von maximal Stundenwerten für 1 Jahr zu speichern und über eine universelle Schnittstelle in einem maschinenlesbaren Datenformat bereitzustellen.

7. Wirtschaftlichkeit

Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird als das Verhältnis aus der Einsparung während der Lebensdauer des Gerätes und den Lebenszykluskosten definiert. Die Lebenszykluskosten ergeben sich als Summe des Gerätepreises, der Verbrauchskosten und den Wartungs-/Instandhaltungskosten.

Annahmen

Es wird angenommen, dass die Energiepreise konstant auf dem heutigen Niveau bleiben.

Beispiel

Für eine Teilklimaanlage mit den Funktionen, Lüften, Lufterwärmung und Kühlen (wie vorab dargestellt) mit einem Volumenstrom von 4.000 m³/h bei 50-100% variabler Volumenstromregelung und einer Betriebszeit von 13 Stunden pro Tag und 250 Tagen beträgt der Stromverbrauch für die Lüfter etwa 6.900 kWh pro Jahr.

Der Endenergiebedarf für die Lufterwärmung beträgt bei einer solchen Anlage 2.700 kWh pro Jahr, Wärmerückgewinnung mit einer Rückwärmezahl von 75% vorausgesetzt. Der Stromverbrauch für Kühlung beträgt bei einer Arbeitszahl der Kältemaschine (SEPR) von 4 etwa 1.650 kWh. Daraus ergeben sich bei einer Wärmebereitstellung über Erdgas (Gaspreis von 5 ct/kWh) und einem Strompreis von 20 ct/kWh bei einer Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren ein Spielraum durch Einsparungen beim Wärme- und Kältebedarf in Höhe von 2.440 €. Dabei wurde eine mögliche Einsparung durch manuelle Funktions- und Effizienzkontrollen in Höhe von 6,7% unterstellt.

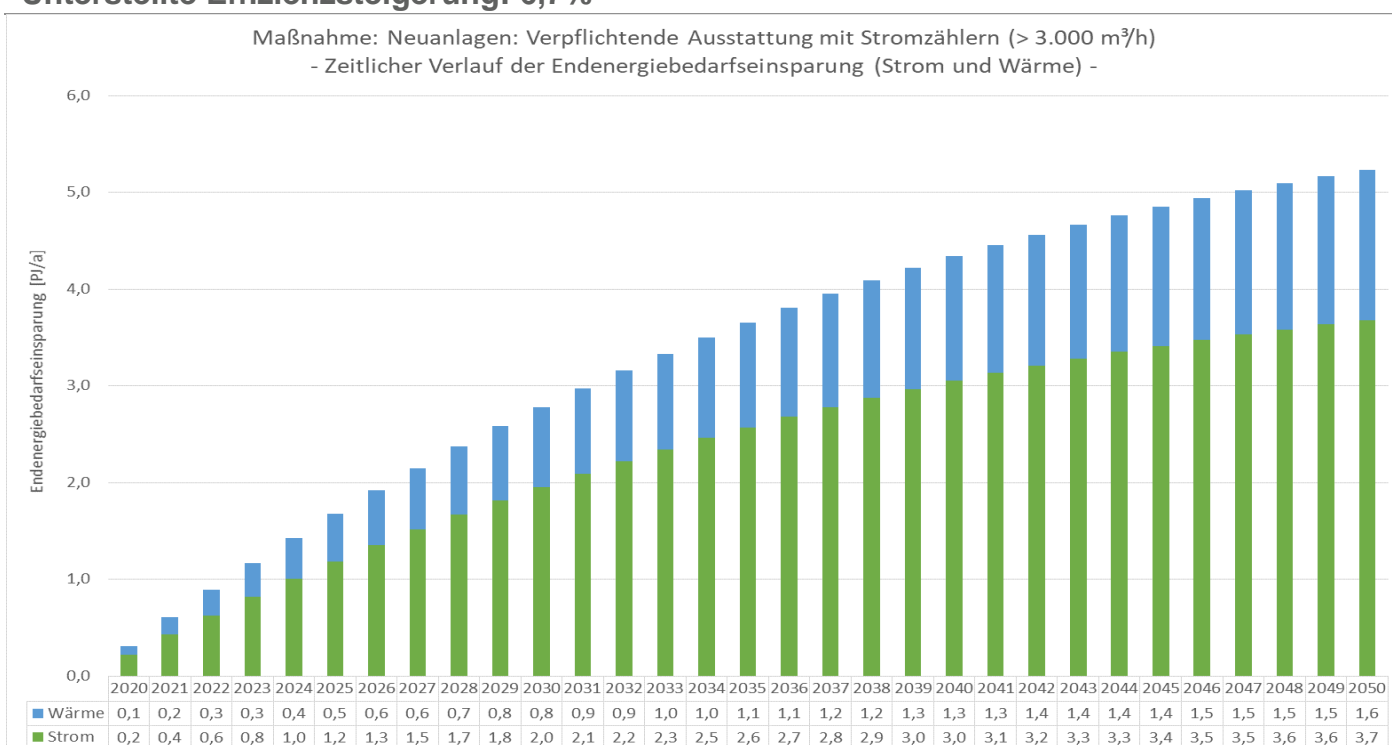
Gerät	Zusatzkosten
Lüftungs- und Klimaanlage > 4.000 m ³ /h	950 €
Klimaanlagen > 12 kW Kältebedarf	-
Klimaanlagen > 400 kW Kältebedarf	2.200 €

8. Prognose Einsparpotenzial³

Einsparpotential gesamtwirtschaftlich:

Maßnahme	Einsparung Endenergie im Jahr 2030	Einsparung Primärenergie im Jahr 2030	Einsparung CO ₂ -Emissionen im Jahr 2030
Verpflichtende Ausstattung mit Stromzählern	2,79 PJ	2,68 PJ	0,254 Mio T CO ₂ /a

Unterstellte Effizienzsteigerung: 6,7%



³ Quelle: Offermann, M., Schäfer, M., Dinges, K. & von Manteuffel, B. (2018). Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050 Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Entwurf Endbericht. Köln: Ecofys. (unveröffentlicht)

10.7 Factsheet „Mindestanforderungen an Visualisierung und Nutzerkommunikation“

Energiemonitoring: Maßnahmenvorschlag Nutzerkommunikation

1. Zusammenfassung:

Anwendungsbereich

- Effizienzbewertung von Raumheizgeräten (auf Basis des Jahresnutzungsgrades bzw. der Jahresarbeitszahl)
- Information von Nutzern über den Status der Geräteeffizienz

Hauptanforderungen

- Darstellung des Status der Geräteeffizienz (gute, mäßige und niedrige Effizienz)
- Bereitstellung konkreter Handlungsanleitungen

Gestaltung der Effizienzanzeige

- Farbliche Kodierung (Ampelfarben)
- Textmeldungen

Effizienzbewertung

- Abweichung Nutzungsgrad vom Erwartungswert:
 - gute Effizienz: < 7,5 %
 - mäßige Effizienz: >7,5 – 15 %
 - geringe Effizienz: >15 %

Gliederung:

1. Zusammenfassung
2. Gestaltungsprinzipien
3. Technische Anforderungen
4. Vorgaben für die Visualisierung
5. Muster

Nebenanforderungen

- Berücksichtigung ergonomischer Gestaltungsanforderungen
- Integration/Abgrenzung zu bestehenden Störungsmeldungen
- Durchführung von Usability-Tests bei der Schnittstellenentwicklung

Schnittstelle

- Verortung im Bedienmenü und zusätzlich in der Online-Anwendung
- Effizienzanzeige in der obersten Menüebene

Ausblick

- Adaptation auf andere Produktgruppen bzw. Effizienzparameter möglich
- 2. Ebene für Experten mit weiterführender Fehlerdiagnose und Handlungsanleitung zur Effizienzverbesserungen

2. Gestaltungsprinzipien

Es werden Anforderungen an die Nutzerschnittstelle einer Heizungsanlage benannt. Diese sollen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Nutzer und Nutzerinnen Effizienzmonitoring dauerhaft umsetzen. So soll zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizungsanlagen beigetragen werden.

Anforderungen werden dabei für mehrere Gestaltungsmerkmale der Nutzerschnittstelle formuliert. Grundgedanke ist es, eine visuelle Schnittstelle zu gestalten, die den Nutzer einfach, schnell, mit wenig Aufwand, intuitiv und jederzeit wahrnehmbar über den Status der Geräteeffizienz bzw. den Nutzungsgrad informiert und im Bedarfsfall konkrete Handlungsanleitungen für Laien (z.B. Bewohner) und Experten (Installateure) bereitstellt. Diese Information über die Geräteeffizienz soll dabei auf vertraute Reize (z.B. Farben) zurückgreifen und kompatibel mit anderen Kommunikationsfunktionen der Heizung (z.B. Information zu einer Störung) sein. Informationen werden nicht nur farblich codiert, sondern auch textlich dargestellt. So können Probleme für Nutzer mit Farbfehlsichtigkeiten vermieden werden.

3. Technische Anforderungen

Im Sinne einer guten „Nutzerkommunikation Effizienz“ müssen Hersteller, die Heizungsanlagen anbieten, sicherstellen, dass:

- die Heizungsanlage ein fest montiertes oder portables Display (im Bedienmodul verortet) besitzt, welches
- im Falle einer festen Montage in Augenhöhe
- auf der Frontseite
- gut sichtbar positioniert ist.
- Das Display muss mindestens eine Diagonale von 12 cm/4.6 Zoll umfassen und muss
- Text/Grafik farblich sehr gut lesbar darstellen (gute optische Auflösung, gutes Kontrastverhältnis von Zeichen und Hintergrund, keine Flimmererscheinungen, Schriftgröße mindestens 11 pt.).
- Die Effizienzanzeige muss in der obersten Menüebene des Bediendisplays angeordnet sein, bei Internetanbindung des Geräts auch in der obersten Ebene der Onlineanwendung bzw. der Bedienapp.
- Es sind regelmäßige Softwareupdates vorzunehmen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Messwerte zur Geräteeffizienz nicht überschrieben werden.

4. Vorgaben für die Visualisierung

Das Display muss (neben Meldungen zu Störungen) im Sinne der Kommunikation der Geräteeffizienz drei (Effizienz)-Systemzustände differenziert darstellen können:

- Fall 1: „Effizienz gut“ [Trifft zu, wenn Nutzungsgrad der Heizung weniger als 7,5% unter dem Idealwert von 95% liegt].

- Fall 2: „Effizienz mäßig“ [Trifft zu, wenn Nutzungsgrad der Heizung mehr als 7,5% und weniger als 15% unter dem Idealwert von 95% liegt].
- Fall 3: „Effizienz schlecht“ [Trifft zu, wenn Nutzungsgrad der Heizung mehr als 15% unter dem Idealwert von 95% liegt].

Die drei Systemzustände sind über das (Start-)Display wie folgt darzustellen:

- Fall 1, Displayfarbe: Grün
Displaytext: Die Heizungsanlage hat eine sehr gute Wirksamkeit. Die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff sehr gut, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei xx% [Wert einfügen] und damit nahe bei dem Idealwert von 95%.
- Fall 2, Displayfarbe: Gelb
Displaytext: Die Heizungsanlage arbeitet nicht so wirksam wie vorgesehen. Die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff nicht gut, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei xx% [Wert einfügen] und damit deutlich unter dem Idealwert von 95%. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.
- Fall 3, Displayfarbe: Rot
Displaytext: Die Heizungsanlage arbeitet sehr unwirksam. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff schlecht, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei xx% [Wert einfügen] und damit sehr deutlich unter dem Idealwert von 95%. Eine zeitnahe Wartung ist sinnvoll, bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.

Wenn an der Anlage etwas repariert wurde, ist die alte Systemdiagnose zu löschen (also „Fall 2“ oder „Fall 3“), das Display kann wieder „Fall 1“ (Grün) anzeigen. Nach der Reparatur gilt Fall 1 allerdings nur unter Vorbehalt, da Messwerte noch fehlen. Vor diesem Intergrund ist nach der Reparatur Fall 1 mit einem neuen Text zu versehen (Zusatztext Fall 1a):

- Fall 1a, Displayfarbe: Grün
Displaytext: Die Anlage wurde gewartet. Derzeit läuft eine Testphase um zu überprüfen, ob die Wartung erfolgreich war

Sonstiges

- Das Display ist immer aktiv. Systemzustände (Fall, 1, 2, 3 oder Störungen) sind auf dem „Startdisplay“ sichtbar.
- Diese drei Falldarstellungen sind Informationen für den „Laien“. Für Experten sind auf einer tieferen Ebene zusätzliche Informationen und Anweisungen zu hinterlegen. Diese im „Wartungsmodus“ hinterlegten Informationen, betreffen z.B. (a) Fehlerursachen, welche durch die Systemdiagnose bereits als wahrscheinlich erkannt wurden, (b) mögliche Fehlerursa-

chen und (c) Fehlerursachen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können.

- Im Sinne einer leichten Bedienbarkeit muss die Schnittstelle interaktive Elemente besitzen (Schalter, Schaltflächen), mit denen Informationen ausgewählt und andere Systemfunktionen ausgelöst werden können (z.B. Wechsel in den „Wartungsmodus“ für Heizungsinstallateure).
- Details der Gestaltung sind zudem der DIN EN ISO 9241 (Ergonomie der Mensch-System-Interaktion) und der DIN 1450 (Schriften Lesbarkeit) zu entnehmen.
- Mit der Schnittstelle sind Usability-Tests umzusetzen und zu dokumentieren.

Muster zur Visualisierung der drei Fälle:

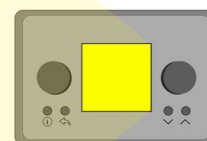
- Fall 1:

Die Heizungsanlage hat eine sehr gute Wirksamkeit. Die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff sehr gut, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei xx% [Wert einfügen] und damit nahe bei dem Idealwert von 95%.



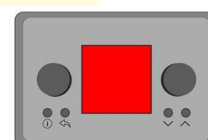
- Fall 2:

Die Heizungsanlage arbeitet nicht so wirksam wie vorgesehen. Die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff nicht gut, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei xx% [Wert einfügen] und damit deutlich unter dem Idealwert von 95%. Bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.



- Fall 3:

Die Heizungsanlage arbeitet sehr unwirksam. D.h. die Anlage nutzt zugeführten Brennstoff schlecht, um Wärme zu erzeugen. Der Nutzungsgrad der Anlage liegt bei xx% [Wert einfügen] und damit sehr deutlich unter dem Idealwert von 95%. Eine zeitnahe Wartung ist sinnvoll, bitte den Wartungsdienst benachrichtigen. Die Kontaktdaten des Heizungsinstallateurs sind meist an der Heizungsanlage oder im Wartungsvertrag zu finden.



28th February 2019

Minimum requirements on monitoring equipment for assessing the energy efficiency of heating, ventilation and air conditioning products

Submission by the Federal Environment Agency (UBA) and
the Federal Institute for Materials Research and Testing
(BAM) on the Ecodesign Process

Authors and contact

Jens Schuberth (UBA)
jens.schuberth@uba.de, Tel. +49 340 2103 2450

André Wachau (BAM)
andre.wachau@bam.de, Tel. +49 30 8104 4270

Peter Hennig, Laurenz Hermann, Christian Reher, Andreas Grondey (co2online
gGmbH)

Prof. Andreas Homburg (Fresenius University of Applied Sciences)

Axel Horn, Ing.-Büro solar energie information

Contents

1.	Executive Summary _____	3
2.	Introduction: Goals and approach _____	6
3.	Savings potential _____	8
3.1.	Energy savings of boiler retrofits in single and double family homes _____	8
3.2.	Seasonal coefficient of performance of heat pumps _____	8
4.	Focus topic: Psychological effect mechanisms _____	10
5.	Setting requirements for monitoring equipment - design principles _____	11
6.	Requirements for air conditioners with rated outputs up to 12 kW _____	12
7.	Requirements for water heaters _____	16
8.	Requirements for space heaters _____	21
9.	Requirements for solid fuel boilers _____	28
10.	Requirements for local room heaters _____	29
11.	Requirements for ventilation and air conditioning systems _____	32

Produced with the support of co2online as part of the “Energy Monitoring” project (BfEE 06/2017) on behalf of the Federal Office of Economics and Export Control (BAFA) for the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi)

1. Executive Summary

The goal of this paper is to provide input to the EU Ecodesign process on how to contribute to the efficient operation of heating ventilation and air conditioning (HVAC) products by device-integrated equipment for the monitoring of energy consumption and energy efficiency.

When installing or renewing HVAC products, predicted reductions in energy consumption are often not realized or the actual energy consumption even exceeds the rated standard consumption. Monitoring of energy consumption and energy efficiency can reveal deviations instantly, allowing operators to apply appropriate measures.

Energy consumption monitoring is a way for users and operators to learn about the measured energy consumption of the product.

Energy efficiency monitoring is the evaluation of the energy efficiency of a product provided for users or operators, to enable them to identify inefficient operation and take improvement measures. Relevant energy efficiency figures are directly measured or derived from controls or (integrated) sensors.

Implementing monitoring equipment requires sensors as well as an interface between the product and the user. Using data which is already collected for controlling the products or which can be collected with minimal effort reduces costs of the equipment.

Under the Ecodesign Directive preconditions for an efficient operation of products in the use phase should be created by applying minimum requirements on monitoring equipment already when the products are placed on the market. Furthermore, monitoring equipment would harness synergies with the inspection requirements in the Energy Performance of the Buildings Directive.

Psychological effect mechanisms have to be considered when providing automatically generated feedback to users or operators of the products, so that the feedback makes the best possible contribution to efficient operation and/or user behaviour.

With the exception of partial aspects that have yet to be evaluated, the additional costs seem economically reasonable.

Air conditioner: For air conditioners up to 12 kW, this paper argues that requirements for an electricity consumption monitoring should be further investigated in the preparatory study. Additional energy efficiency monitoring requirements should also be assessed for permanently installed (fixed) products. A thorough assessment of an energy saving mode is recommended.

Water heaters: Water heaters are distinguished based on the device categorisation in the preliminary study and the tap-use profile classes. Electricity consumption monitoring requirements are recommended for all electrically heated devices and storage tanks and electric heat pumps. The same applies for devices with electrical backup heating.

Monitoring of solar yield via heat quantity measurement and function checks is proposed for solar thermal systems. Tracking the parameters of all actuators and sensors of the temperature control system in a resolution of 5 minute values over one

year permits manual function checks of solar thermal systems. It also makes sense to monitor selected functions automatically: self-checks of the controller and the sensors, monitoring of the temperature spread or volume flow in the solar circulation circuit and detection of circulation faults in the solar circuit. As a result, a set of binding prescribed function checks must be defined.

An assessment is required of whether interfaces for controllability and data exchange must be defined for the temperature controllers of individual devices that can be combined to compound systems with space heaters, in order to ensure that the superordinate temperature control receives all parameters required to control the system and monitor efficiency and/or consumption.

Efficiency requirements for hot water heat pumps are derived from the requirements for the corresponding device group for space heaters.

Space heaters: For all space heaters and compound systems, efficiency monitoring is to be implemented based on annual use levels. For this purpose, the input and output of the devices is to be measured, incorporating the auxiliary energy consumption, and the use level is to be determined on this basis. For devices for combined generation of heat and electricity, the electricity generation must also be recorded and incorporated. Where the use level cannot be determined due to a lack of economic efficiency or space, alternative processes were presented. Their use requires further testing.

For all heat generators and combined devices, final energy consumption monitoring requirements make sense, as the efficiency monitoring equipment permits this. Where economically presentable and specifically attributable to a device, the hot water consumption must also be incorporated in the monitoring.

In compound systems with multiple heaters, in which part of the heat is supplied via renewable energy sources, monitoring of the renewable energy sources coverage rate is proposed. An assessment of whether further function checks are possible for compound systems with multiple heat generators, which guarantee the optimal use range and correct interaction of the components, is required.

Solid fuel boilers: Efficiency monitoring is also the top priority for solid fuel boilers. For automatically loaded boilers, the final energy consumption required for this can be determined via the mechanical system and operating hours. Where this is technically difficult to implement, or can only be implemented at great cost, such as for manually loaded boilers, an assessment is required of whether efficiency monitoring is possible for these device classes based on flue gas loss and, where applicable, the oxygen content of the combustion air. For this purpose, existing flue gas loss measurement and boiler control methods would have to be modified for efficiency monitoring. The final energy consumption can only be monitored for automatically loaded heaters. Alternatively, measurement of the heating energy generated must be assessed for manually loaded heaters.

Local room heating products: Efficiency monitoring for solid fuel local room heaters with indirect heating functions based on the flue gas temperature and oxygen content, like the solid fuel boilers, must be assessed.

For all permanently installed electrically-heated local room heating products, and luminous and radiant tube heaters, consumption monitoring must also be prescribed.

.

2. Introduction: Goals and approach

The goal of this paper is to provide input to the EU Ecodesign process on how to contribute to the efficient operation of heating ventilation and air conditioning (HVAC) products by device-integrated equipment for the monitoring of energy consumption and energy efficiency.

In principle, it is possible to operate HVAC products as efficiently as measured or declared by the manufacturer. However, modernisation of existing buildings or replacing existing devices and systems with highly-efficient new devices or systems often does not lead to the predicted energy consumption reductions or energy efficiency levels. In new buildings and refurbishments, the actual energy consumption often exceeds the rated standard consumption.

There are various reasons for these energy consumption deviations:

- Imprecise calculation methods, e.g.
 - unrealistic demand assumptions or standard consumptions that do not correspond to real use,
 - test laboratory measurement conditions deviate from real use,
 - in rare cases, old devices are more efficient than predicted.
- Deviations in use, e.g.
 - differences in intensity of apartment use,
 - high room temperature requirements (e.g. elderly people),
 - inappropriate/inefficient energy use behaviour.
- Untapped technical savings potential, e.g. via
 - appropriate dimensioning of devices and systems,
 - energy-optimised configuration of devices and systems,
 - regular maintenance,
 - appropriate consideration of the system environment.

In particular the second and third point can be addressed with suitable monitoring equipment: Deviations in use can be detected by measuring energy consumption in order to change the consumers' usage patterns. Technical savings potential can be tapped by analysing the energy efficiency of HVAC products in real life operation. It can be harnessed via good planning and control, – however, sufficient data is necessary. Providing consumption and efficiency data in virtual real time for HVAC products via suitable device-side interfaces is an important tool. Technology-neutral minimum requirements allow manufacturers to design best-fitted solutions.

While technology has been available for a couple of years, product-integrated monitoring equipment failed to enter the market. Consultation of different stakeholders indicates that a multiple market failure prevents manufacturers from offering this product feature: First, transparency in real life energy efficiency may contradict manufacturers' advertising messages of highly efficient products. Second, installers will prefer products without monitoring equipment, most likely, because it would reveal 'mistakes' in their installation and make customers complain. Third, missing information gives consumers a false sense of security and they don't know whether and how to request necessary

information and product features. In consequence, the first mover will suffer from marketing disadvantages when offering transparency tools. Mandatory requirements would provide a level playing field for all parties.

Improvement potentials in the energy efficiency of HVAC products during the use phase (see section 2 for more details) are the reason to conduct regular inspections of boilers and of air conditioners according to the Energy Performance of Buildings Directive since 2002. This kind of 'aftercare' is necessary because the products don't detect losses and potentials automatically. Especially in the case of air conditioners, it has been shown that it is very difficult to implement effective measures; even if an inspection is carried out, often relevant data or measuring points are missing.¹ Raising the threshold significantly from 12/20 kW to 70 kW in the recent review will reduce the impact of inspections further.

To ensure efficient operation of products, it appears more effective to set technical requirements on product level which apply when products are placed on the market, before they are put into operation. That is why precautionary requirements for HVAC equipment should be implemented under the Ecodesign Directive. These product features would then enhance EPBD inspections and alternative approaches by providing data and more useful information about operation. Further details should be thoroughly assessed by the respective pre-studies of HVAC products. The "Energy Monitoring" project (BfEE 06/2017) on behalf of the Federal Office of Economics and Export Control (BAFA) for the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi) assesses possibilities for regulation to set requirements on energy and efficiency monitoring. The presented results were obtained during the study. Further findings will be shared in the course of the study.

¹ See outcomes of the EPBD concerted action, for example
<http://www.epbd-ca.eu/outcomes/2011-2015/CA3-CT-2015-2-Inspections-web.pdf>

3. Savings potential

The energy savings potential is illustrated based on the examples of two studies.

3.1. Energy savings of boiler retrofits in single and double family homes

In a field test as part of the “Efficient refurbishment” project², the reductions of energy consumption from refurbishment measures in 180 single and double-family residential buildings were studied and evaluated. Here, the results for boiler retrofit by gas condensing boilers (without and with solar thermal collectors) are given in figure 1. The following conclusions can be drawn:

- Energy savings depend significantly on the energy consumption before refurbishment: the lower the energy consumption, the lower the saving.
- Even with the same initial conditions, i.e. with the same energy consumption before refurbishment, the energy savings fluctuate significantly from 0 to 40% (in extreme cases, energy consumption even increases): the gaps between the savings achieved and the optimum saving of 40 % can be considered as “lost opportunities” due to faults in the installation and operation of the condensing boilers.
- The overall distribution of energy savings of “heating and solar” cases is just slightly better than the “heating only” cases: Improvement potential through solar thermal installations may not be fully tapped.

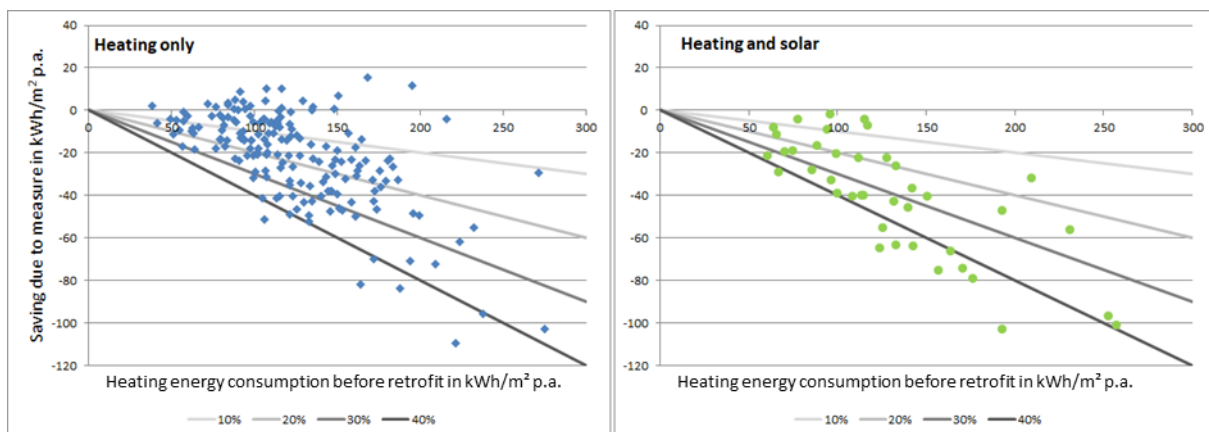


Figure 1 Impact analysis of modernisation cases of boiler retrofit²

3.2. Seasonal coefficient of performance of heat pumps

The Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) is the energy efficiency parameter for electric heat pumps. It is calculated from the ratio of the heat output to the heating system and the electricity consumption of the heat pump. Figure 2 shows the analysis of 8 field tests with a total of 385 units from the past 20 years as class averages

² See <https://www.wirksam-sanieren.de/fileadmin/ws/pdf/co2online-sanierungstest-studie.pdf>, Page 37, Fig. 25

(symbols) with the respective ranges (lines), for different heat sources and types of buildings.³

The SCOP ranges in the respective samples are very large: up to +/- 40 % of the average for similar applications. For example, air heat pumps in new buildings have average SCOPs of 2.8...3.2, best performing ones reach 4.2, whereas the worst performing ones have only 1.5. Most important reasons for these gaps are faults in installation, dimensioning and control settings. In contrast to other technologies, many heat pumps on the German market already state the SCOP, but it is often 'hidden' in sub-menus and/or not classified and difficult for users to understand. So the improvement potentials remain undetected.

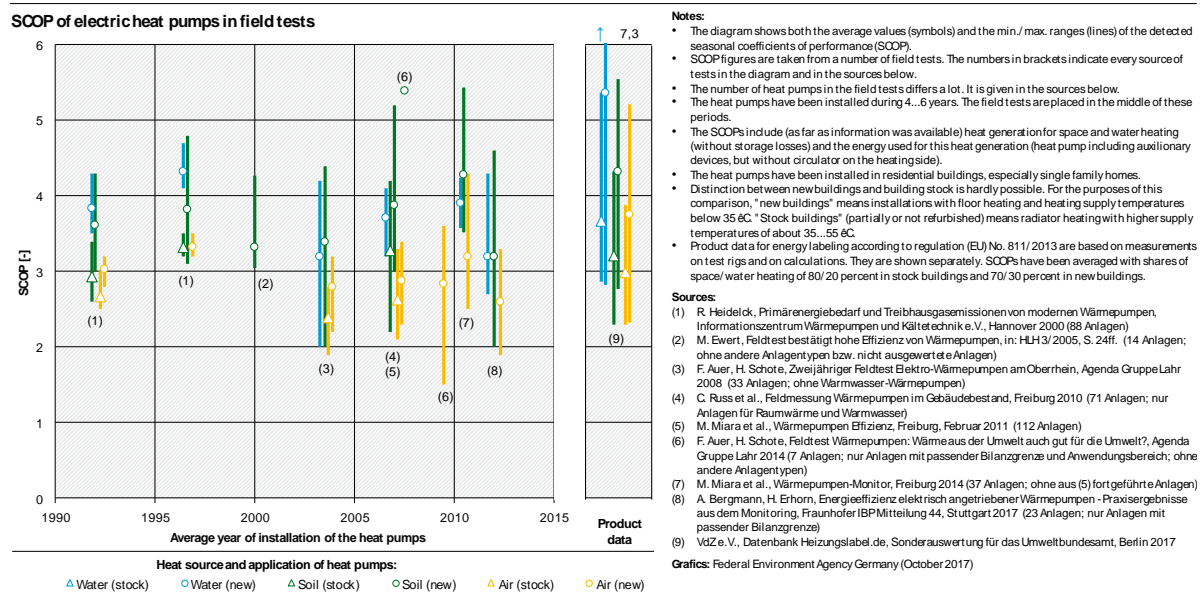


Figure 2 Seasonal coefficients of performance in field tests compared with the product specifications stated by manufacturers³

³ See <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#kennzahlen>

4. Focus topic: Psychological effect mechanisms

From a psychological point of view, the question is whether equipping the devices and systems with a feedback function for users helps to achieve potential consumption reductions to a greater extent. Research in recent literature on the effect of feedback delivers the following partial results:

Does (automatically generated) feedback contribute to energy savings?

Feedback helps to save energy in private households and in the workplace. According to findings from recent meta-analyses, the effect of feedback can be described as minor to medium.⁴ The effect of feedback on energy savings varies significantly (up to 20% savings, or up to 4% higher consumption in unfavourable cases⁵). Moderators are involved here, i.e. variables that can strengthen or weaken the effect. It can be assumed that automatically generated feedback (also) has a better effect in the energy sector than feedback from other people. Feedback from machines is more likely to be accepted, as it is often considered more objective⁶. The current findings also allow to derive the hypothesis that direct feedback (i.e. provided in real time) integrated in the devices (augmented) is particularly effective.⁷ The content and presentation of the feedback must be adapted to the motivational situation of the user.⁸

Do many people use feedback?

There are no recent studies on this question. Studies – such as on evaluating feedback via smart meters, web portals or written consumption information – reveal a high willingness to use such information⁹ among consumers. The number of users can likely be increased significantly if potential users consider this technology useful (e.g.

⁴ Karlin, B., Ford, R., & Zinger, J., (2015). The Effects of Feedback on Energy Conservation: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*. Vol. 141, No. 6, 1205–1227

Delmas, M.A., Fischlein, M. & Asensio, O. (2013). Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. *Energy Policy* 61,729–739.

⁵ Serrenho, T., Zangheri, P & Bertoldi, P (2015). Energy Feedback Systems: Evaluation of Meta-studies on energy savings through feedback. *Energy Efficiency Directive Articles 9-11 on Feedback, Billing and Consumer information* JRC-IET Renewables and Energy Efficiency Unit
<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC99716/Idna27992enn.pdf>

⁶ Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, 254–284. Doi: 10.1037/0033-2909.119.2.254

⁷ Armel, K. C., Gupta, A., Shrimali, G., & Albert, A. (2013). Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity. *Energy Policy*, 52, 213–234. DOI:10.1016/j.enpol.2012.08.062.

Ehrhardt-Martinez, K., Donnelly, K. A., Laitner, J. A., 2010. Advanced metering initiatives and residential feedback programs: A meta-review for household electricity-saving opportunities. Tech. Rep. E105, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC

Tiefenbeck, V., Goette, L., Degen, K., Tasic, V., Fleisch, E., Lalive, R. Staake, T. (2016) Overcoming Salience Bias: How Real-Time Feedback Fosters Resource Conservation. *Management Science*. 10.1287/mnsc.2016.2646

⁸ Bamberg, S. (2013b). Changing environmentally harmful behaviors: A stage model of self-regulated behavioral change. *Journal of Environmental Psychology*, 34, 151-159.

Nachreiner, M & Matthies, E. (2016). Enhancing informational strategies for supporting residential electricity saving: Identifying potential and household characteristics in Germany. *Energy Research & Social Science*, 11, 276–287

⁹ Sunderer, G., Götz, K. & Götz, S. (2011). Die Bewertung von Feedbackinstrumenten zum Stromverbrauch. In R. Defillia, A. Di Giulo & R. Kaufmann-Hayoz (Hrsg.), *Wesen und Wege nachhaltigen Konsums* (S. 397-413). Munich: Ökom.

“Supports more efficient electricity use”) and easy to use (easy to learn, takes no effort to use).¹⁰

How long is this feedback used?

Field studies¹¹ show that access to the feedback decreases significantly after 1-2 months. One central challenge for the feedback is probably to design it such that it attracts attention on a lasting basis.

How does the feedback need to be processed to make it understandable and easy to use?

Recent studies on feedback use and general findings on human-machine interaction reveal that feedback should be made simple and intuitive¹². Successful implementation probably includes visualisations that allow inefficient operation to be identified particularly quickly and also clearly show users what they should do in such cases.

5. Setting requirements for monitoring equipment - design principles

Monitoring equipment of HVAC products pursues two aims:

- **“Energy consumption monitoring”**: Users and operators are to be given an opportunity to learn about the product’s energy and resource consumption over a period, which might be compared with the corresponding previous period. For example, monitoring offers operators the opportunity to determine product malfunctions based on abnormally high consumption values and to inform the user about this.
- **“Energy efficiency monitoring”**: Evaluating the efficiency of products is intended to identify inefficient operation and to trigger measures for improvement. Efficiency evaluation can be based on measured (seasonal) efficiency figures, for instance. Where these efficiency evaluations are not appropriate due to excessive complexity, alternative methods are to be used that can at least diagnose efficiency deteriorations.

For monitoring to be effective consumption and efficiency data should be provided in virtual real time in HVAC products via suitable device-side interfaces.

¹⁰ Toth, N., Little L., Read J. C., Fitton, D. & Harton, M. (2013). Understanding teen attitudes towards energy consumption. *Journal of Environmental Psychology*, 34, 36-44.

¹¹ Gözl, S. (2017). Does feedback usage lead to electricity savings? Analysis of goals for usage, feedback seeking, and consumption behavior. *Energy Efficiency* DOI 10.1007/s12053-017-9531-6.

¹² Butz, A. & Krüger, A. (2017): Mensch-Maschine-Interaktion (2. Aufl.). Oldenburg: De Gruyter.

Herrmann, M., R., Brumby, D., P., Oreszczyn, T. & Gilbert X.M.P. (2017). Does data visualization affect users’ understanding of electricity consumption? *Building Research & Information*. Building Research & Information, DOI: 10.1080/09613218.2017.1356164.

Revell, M.A. & Stanton, N.A. (2018) Mental model interface design: putting users in control of home heating. *Building Research & Information* 46(3), 251-271.

Vollraht, M. (2015). *Ingenieurspsychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.

In order to define specific requirements, general criteria must be drawn up in advance and for multiple product groups. The recent and future pre-studies and Ecodesign regulations on HVAC products should follow the general criteria given below:

- The requirements are intended as minimum standards. They are to inspire product developers and manufacturers to think about additional useful functions and stimulate competition about best-fitted solutions.
- The requirements must be technology-neutral as well as manufacturer-independent and must not aim to promote use of proprietary technologies, products, services or data sources.
- The requirements are to be met with data that is collected anyway for controlling the products or which can be collected with minimal effort. This reduces costs of the equipment.
- Where additional equipment is required, the objective of economic feasibility must be taken into account. For each product group, life cycle costs have to be justified in detail. We follow two principles:
 - It isn't clear how much energy users will save actually with the technical monitoring features. This makes estimations of the economic feasibility very difficult. However, it is possible to re-calculate how much these features may cost without increasing the life cycle costs. For this purpose, energy (cost) savings of 1...5 % are assumed.
 - To ensure affordability of products, the additional purchase costs may not exceed roughly 3-5 percent of the investment costs of the product. This ensures as well that the additional purchase costs generally can be compensated through changed behaviour.

As these additional costs may be higher for small products if they are equipped without a suitable user interface, for instance, it can be useful to assess economic feasibility of requirements for different product categories separately.

- The information derived from monitoring shall be easy to understand for users, i.e. classified or rated, and well visibly on top-level of the product or its control menu – and eventually trigger appropriate improvement measures.
- All functions should be available “offline”, i.e. directly at the product or via operating units. Where remote control or remote monitoring of the product is implemented via the cellular network or the Internet, the consumption and efficiency monitoring results must also be transferred to these applications and presented visually there.

We will continue to investigate if further general requirements to meet the users' information needs and expectations are necessary and useful.

6. Requirements for air conditioners with rated outputs up to 12 kW

This section proposes requirements for monitoring equipment of products in the scope of the regulations 2011/626/EU and 2012/206/EU:

- Electricity consumption monitoring,
- Energy saving mode for cooling,

- Energy efficiency monitoring,
- Pollution monitoring.

As far as information is missing, further investigation should be carried out.

Comfort fans are in a price segment under € 100 and have very low energy consumption. This is why no energy monitoring is proposed for these products.

Ex ante: Economic feasibility

The preparatory study calculated annual energy costs of a reversible 3.5 kW split air conditioner of € 260 as base case and of € 200 at the least life cycle cost points (task 6 table 26). Given the product life time of 12 years, expenditure for monitoring equipment could be up to € 25...31 for 1 % energy saving (what would be very low) and € 125...155 for 5 % energy saving. Investment costs are between € 1,554 (base case) and € 1,867 (LLCC). These sizes should be kept in mind as benchmark.

Electricity consumption monitoring

Scope: Air conditioners (fixed and ducted)

Requirement: Measurement and display of electricity consumption of the current period (day/week/month/year). In addition: comparison of the consumption of the current and the previous period.

Justification: Consumption monitoring is implemented by measuring and displaying the electricity consumption. The measurement technology for this is available and standardised. For devices with single-phase electricity connections (alternating current) in the power range up to 3.6 kW, simple current measurement devices are available.¹³ These electricity meters contain additional functions like data storage or calculating energy costs from electricity rates. These measuring instruments are offered at prices of under € 10. It can be assumed that the costs for integrating the technology in products are far lower. As a result, costs of € 5 per device are estimated. Most products already have displays in the product itself or in the control unit. For devices with higher power and three-phase electricity connections, the current measurement cost is € 30.¹⁴

For consumers, it would also make sense to be able to compare the device's current electricity consumption with the consumption in a previous period, similar to the requirements for energy bills. As a result, additional storage and display of the consumption from a previous period would also be desirable. For this, the devices must be equipped with a non-volatile memory in the event of a power failure, which might increase the cost; a more thorough assessment of costs is recommended. Accordingly, a comparison of this kind would be available to users after the first measurement period. It should be possible to configure the measurement period flexibly to the users' needs.

Energy saving mode for cooling

¹³ See for example <https://www.pearl.de/a-SD2209-3102.shtml>

¹⁴ Vgl. <https://www.amazon.co.uk/XCSOURCE-Digital-Electricity-Accurate-TE750/dp/B071G2C7BG>

Scope: Fixed air conditioners with cooling function

Requirement: Products shall be equipped with an “energy saving mode” as default setting which adapts the target indoor temperature (comfort temperature) flexibly based on the outdoor temperature. Comparison of the outdoor and indoor temperature is used to assess whether the energy saving mode is activated.

Justification: Humans already feel a significant cooling effect when the temperature level is reduced by a few Kelvin compared to the outdoor temperature or to rooms without air conditioning. Indoor setpoint temperatures should therefore not be viewed as constant but should instead automatically be adapted to the prevailing temperature conditions. For fixed air conditioners with cooling function, an “energy saving mode” could to be made mandatory, which adapts the indoor setpoint temperature flexibly depending on the outdoor temperature (example: outdoor temperature 35°C, target temperature 22°C, adapted target/comfort temperature 24-26°C). Where the “energy saving mode” is not used, but the requirements for it are in place, the users should be reminded of the option of using the “energy saving mode” in an appropriate way. The additional costs add up to the costs of the additional external sensors, as far as they are not already present. The additional costs of a temperature sensor in the external unit are estimated to be € 5 (incl. cables for temperature sensor class B with 0.3 K deviation). Costs for installation and programming should be considered as far as appropriate.

Energy efficiency monitoring

Scope: Fixed air conditioners

Requirement: Products shall be equipped with appropriate means for continuous monitoring of the energy efficiency and indication of deviations on the control unit.

Justification: Direct efficiency monitoring based on performance factors in cooling and heating in devices of this performance class (12 kW) is probably not economically feasible due to the difficulty and/or the high cost of measuring and recording the heating and cooling requirements except on-board measurement is applicable. According to the preparatory study, further research may be necessary.

Efficiency monitoring can also be carried out by determining the deterioration of device performance by monitoring the correlation of outdoor (and possibly indoor) temperature and electrical power consumption. The correlations for heating operation already became part of German standards¹⁵ and are applicable for cooling as well. Figure 3 shows the correlation for a building in the USA¹⁶, where the air conditioner meets all cooling and heating demands. The efficiency of the system, depending on the building and its use, respectively, is reflected in the rises of the curves. To monitor the efficiency deterioration, the parameters required (actual operating periods, average power consumption, average outdoor temperature) must be saved for a sufficiently long period

¹⁵ Cf. national extension of EN 12831, Bbl.2 Heating systems in buildings - Method for calculation of the design heat load - Supplement 2: Simplified method for calculation of the design heat load and the heat generator capacity (<https://www.beuth.de/de/norm/din-en-12831-beiblatt-2/150360566>)

¹⁶ Own evaluation by co2online, unpublished

(baseline) and the actual increases of the average lines must be determined. Points above these baselines are efficiency losses (for example by pollution of the heat exchanger or high setpoint temperature), points below these baselines are efficiency gains (for example by low setpoint temperature). These deviations can be indicated on a display to warn users of high energy consumption. Where these devices communicate with the Internet, information on the average outdoor temperature at the location could also be sourced from weather data. Sensors for indoor and outdoor temperatures are usually already included in the controller; their quality probably has to be increased. Electricity meters are to be added. The additional costs for integrating this method comprise their integration in the existing controller, the additional data memory required, corresponding visualisation of an efficiency deterioration and potentially the costs for the additional outdoor temperature sensor required. See above for cost estimates. An evaluation of whether this method is precise enough to make the targeted efficiency statements is necessary.

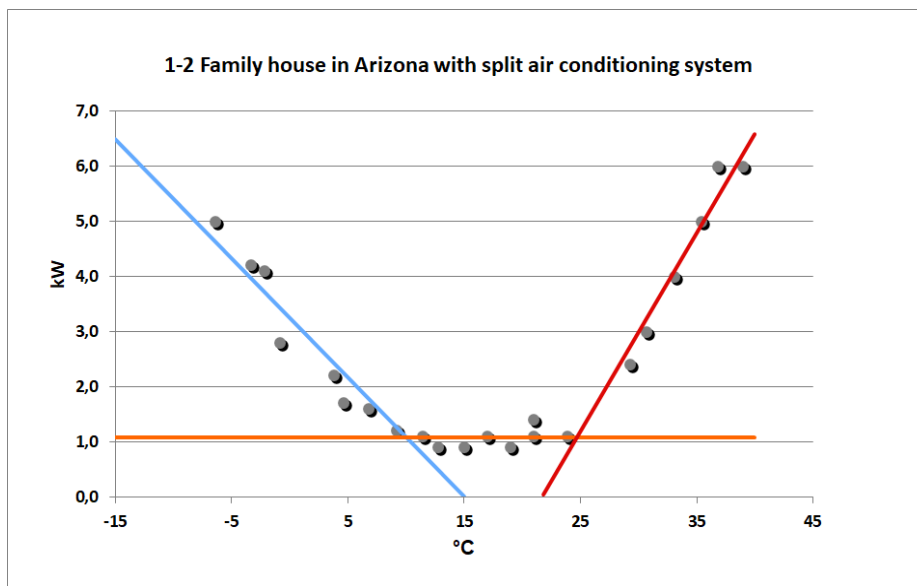


Figure 3: The correlation of electric power consumption and outdoor temperature in the cooling, heating and transitional periods as indication of gains or losses in energy efficiency

Pollution monitoring

Scope: Fixed air conditioners

Requirement: Products shall be equipped with a visual heat exchanger cleaning signal.

Justification: The principle is known from the visual filter change warning signal for ventilation units as required by the regulation 2014/1253/EU. Pollution of the heat exchanger is a typical cause of losses in efficiency. It can either be detected by the methods described above or based on other parameters (increase in fan power consumption, decrease in temperature exchange etc.). Further investigation on appropriate means is recommended.

7. Requirements for water heaters

Below, requirements are proposed for equipping products in the scope of validity of Regulations 2013/812 / EU and 2013/814 / EU for

- Interface for controllability and data exchange
- Efficiency monitoring
- Monitoring the electricity and hot water consumption
- Monitoring the solar yield
- Function checks.

Where requirements are missing, they should be supplemented and/or further investigations should be performed.

This section describes requirements for water heaters, hot water storage tanks and compound systems comprising water heaters and solar thermal systems¹⁷. Similar efficiency monitoring requirements apply for hot water heat pumps to those described in chapter 8.

Gas-heated instantaneous water heaters (GIWH) and gas-heated storage tanks (GSWH) are to be exempted from the requirements for monitoring and the efficiency monitoring. Neither of these device types have electrical connections and therefore have no electronic controls and display. An electricity connection is necessary to integrate low-cost gas sensors, as proposed in section 8 for heaters. Overall, it therefore does not appear feasible to set requirements for these device classes.

Ex ante: Economic efficiency

XXS to S: For electrical storage tanks (ESWH) and instantaneous water heaters (EIWH), a useful energy requirement of 2.1 kWh per day¹⁸ at a utilisation of 80% and a use level of $\eta_s = 35\%$ justifies additional expenditures of € 22 for 1% energy savings and € 108 at 5% of energy savings (electricity price of € 0.20 per kWh, service life 15.4 years)¹⁹. The investment and installation costs are between € 161 and € 245 for electrical instantaneous water heaters and electrical hot water storage tanks.

M (100 litres per day): For instantaneous water heaters (EIWH), the potential additional expenditures when applying the above values are € 60-299. The investment costs here are between € 332 and € 528. When using natural gas, indirectly heated storage tanks (indirect cylinders) are used in combination with space heaters. The range of potential savings for these devices is between € 21 and € 105 at a use level of $\eta_s = 80\%$. The device and installation prices are € 1,100.

¹⁷ The requirements always refer to complete solar thermal systems, as defined in the preliminary study. An attempt was made to attribute each of the requirements to a system component, i.e. to a "solar installation" per the Ecodesign Directive.

¹⁸ See <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0812&from=DE> Page 91ff

¹⁹ See <https://www.ecohotwater-review.eu/downloads/Presentation%2023%20Jan%202018%20WATER%20HEATER%20TASK%202.pdf> Page 24

Interfaces for controllability and data exchange

Scope of application: Temperature controllers of water heaters, hot water storage tanks and solar thermal systems that can be combined with space heaters to compound systems.

Requirement: Superordinate temperature controllers for compound systems can regulate all system components, transfer parameters from sensors and actuators, as well as yield and consumption data to the superordinate temperature control

Explanation:

In order to ensure optimal interaction of all system components in terms of efficiency, and facilitate efficiency and consumption monitoring, as well as function checks, it must be guaranteed that a shared temperature control performs these superordinate functions in compound systems. Where this temperature controller does not control all system components, an assessment is required of whether interfaces must be prescribed for the subordinate temperature controls to guarantee this.

Consumption monitoring for electricity and hot water, where applicable

Scope of application: Electrically operated devices and devices with electrical backup heating, in particular:

- Electric storage tanks and instantaneous water heaters (EIWH, ESWH)
- Hot water heat pumps (HPWH monobloc, HPWH split, GSHPWH)
- Solar energy systems with electrical backup heating (SOL-ESWH)

Requirement: Measurement and display of the electricity and, where applicable, the hot water consumption of the current period (day/week/month/year). In addition: Comparison of the final energy consumption of the current and previous period.

Explanation:

Equipment that permits monitoring of the electricity consumption via measurement and display of the electricity consumption is prescribed for all devices. The costs were estimated at € 5-30 in chapter 6.

For consumers, it would also be useful to be able to compare the device's current electricity consumption with the consumption in an earlier period. As a result, additional storage and display of the consumption from an earlier period would also be desirable. For this purpose, the devices must be equipped with non-volatile memory in the event of a power failure, which can increase the costs. An assessment is required of whether the additional costs of this supplemental equipment are reasonable. A comparison of this kind would be available to users after the first measurement period. It should be possible to configure the measurement period flexibly. The additional costs are economically reasonable for all product groups.

For instantaneous water heaters, there are already devices on the market that monitor both the electricity and hot water consumption²⁰. The existing flow sensor is used to determine the volume of water at which temperature is controlled for a variable water volume. Water volume monitoring allows the user to check his or her own consumption or consumption behaviour. For electric storage tanks, the preliminary study should evaluate whether water volume determination is also economically reasonable for this product group. Flow sensors are available for a few euros.²¹

Premium devices already communicate with the Internet. If there is a connection, the electricity and water consumption should also be displayed in the app or online application.

Monitoring the solar yield and function checks

Scope of application: Temperature controllers, solar stations²² and solar energy systems (SOL ESWH Central & North, SOL-COMBI)

Requirement:

- Measurement and display of solar yield of the current period (day/week/month/year). In addition: Comparison of the yield with the yield forecast in the superordinate controller of the compound system, based on the expected load profile. In the 2nd year, comparison of the current and previous period.
- For manual function checks: Recording and storing the parameters of all sensors and actuators of the temperature controller at a resolution of max. 5 minutes for 1 year, ensuring data access via an interface, must be possible to evaluate the log file with an Office program.
- Automatic function checks: at least self-check of the controller and sensors, monitoring the temperature spread or the volume flow in the solar circuit, detection of any potential circulation faults in the solar circuit at night

Explanation:

Measuring and displaying the solar yield: The heat meter facilitates monitoring of the solar yield and benchmarking with the yield calculated via simulation and forecast on

²⁰ See <https://www.vaillant.de/heizung/produkte/vollelektronisch-geregelter-durchlauferhitzer-electronicved-exclusiv-9473.html>

or

https://www.stiebel-eltron.de/de/home/produkte-loesungen/warmwasser/durchlauferhitzer/komfort-durchlauferhitzer/dhe_touch/dhe_touch_27.html

²¹ See <https://www.amazon.de/1-75Mpa-Durchlauferhitzer-Durchflusssensor-Durchflussmesser-Schwarz/dp/B0136NA796>

²² "Solar stations" are defined as largely standardised assemblies fitted between collector array and storage tank in smaller systems. They are pre-assembled, and make installing the solar energy system easier. The solar station contains the connections for the collector and storage tank (flow and return), thermometer for flow and return, a manometer, a safety valve with blower and the connection for the expansion vessel and, where applicable, a solar circuit controller and heat meter. The solar station is surrounded by thermal insulation.

installation, or the level of the previous year. The forecast could be based on the method for calculating the solar yield of the compound label. In addition, the collector orientation and load profile should be taken into account. The use of the comparison values facilitates a simple form of efficiency monitoring. In compound systems (SOL-COMBI), data is collected in the “solar station” and the data is evaluated and benchmarked in the superordinate controller of the compound system.

The additional equipment costs for fitting a heat meter are estimated at € 50 for integration of flow metering and temperature sensors for the collector flow and return, which may also be needed, in combination with the existing controller. In solar thermal systems, the lifecycle costs are largely determined by the device and installation costs. In the current preliminary study, they are between € 3,108 and € 12,604 for the tap-use behaviour classes M-3 XL. This shows that additional costs at this level are reasonable.

Manual function checks: Recording and storing parameters of all sensors and actuators of the temperature controller allows specialists to check the function manually. Specialists can see whether a system is working correctly based on the flow and return temperature curves of the collector circuit and its spread, compared with the date and time (Figure 4). The statement is even more precise if measured global radiation data or global radiation data from adjacent weather stations are added. As a result, it makes sense to store this data in fine resolution at an interval of max. 5 minutes for a period of one year for assessment by a specialist. Manual function checks always make sense when solar yield monitoring diagnoses a significant drop in yield.

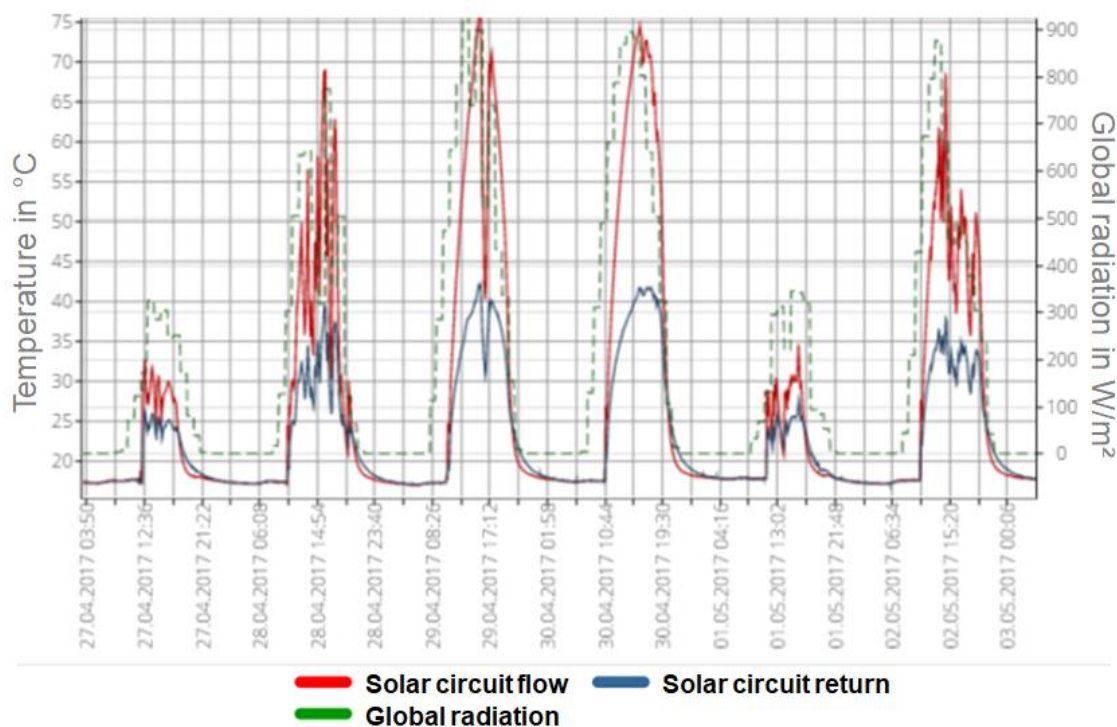


Figure 4: Measurement of the flow and return temperatures in a solar thermal system, combined with external local global radiation data. The system is working well: The correlation between the flow temperature and global radiation is clear. The good spread of the flow and return temperatures reveals that the solar thermal energy is being drawn from the collector. This type of function checks allows the following

faults to be detected, among others: No heat withdrawal from collector, or insufficient withdrawal, due to cracking of the solar fluid, for example. Too early stagnation of the system, as the solar storage tank is already full due to incorrect connection of the backup heating system. High collector temperatures at night indicate circulation problems, i.e. heat from the storage tank returns to the collector and is lost there.²³

To access the data, an interface (e.g. USB port, SD card or network) must be provided. The costs of data storage and the port are just a few euros. In order to evaluate the data, it must be stored in a file format (e.g. text file) that can be opened with a standard text or spreadsheet program.

Automatic function checks: A higher quality alternative to storing the data records is to integrate automated plausibility or evaluation algorithms in the temperature control, and to signal anomalies on the display of the controller or in the user app (Figure 5). Function controls of this kind are already available on the market²⁴.

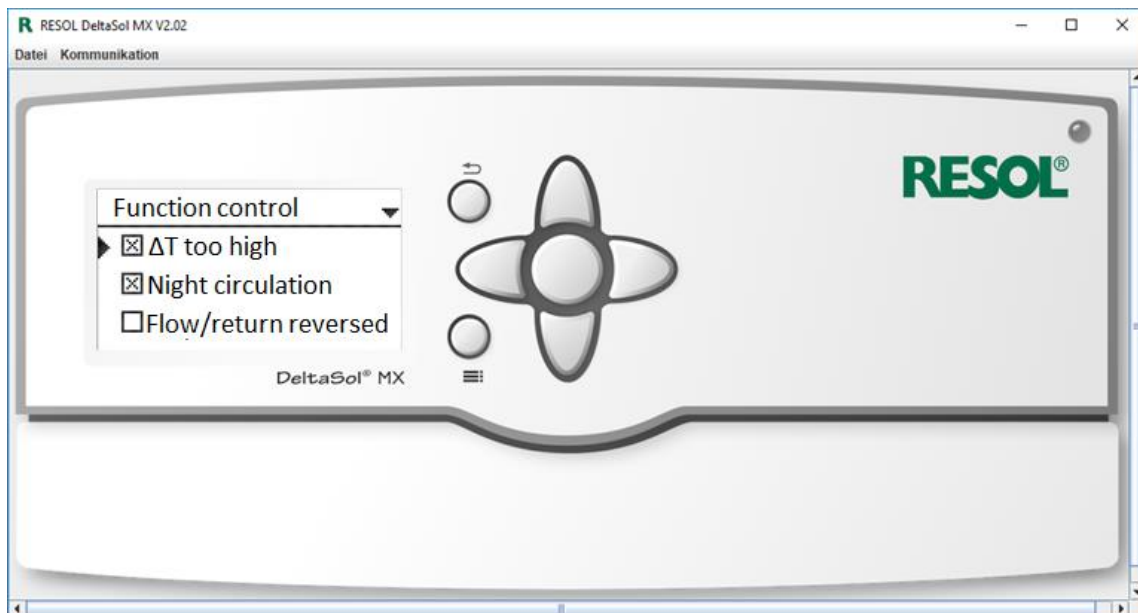


Figure 5: Automated function checks in the controller of a solar thermal system (source: Resol): Among other things, excessive temperature spread in the collector circuit, circulation problems during the night and flow and return lines on the collector swapped on installation can be diagnosed.

Function checks for solar thermal systems are already described in national German directive VDI 2169, Part 1.²⁵

²³ Source: "Solar Thermal Check" by Federation of German Consumer Organisations, see <https://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de/beratung/solarwaerme.html> and https://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de/assets/downloads/fohlen40jahre/Kafke_-_Solarwaerme-Check.pdf

²⁴ See <https://www.resol.de/en/produktdetail/69> or http://mam-prod.paradigma.de/pindownload/downloads/1527752615563/TH-2126_V1.3_0114_SystaSolar_Aqua_II_Bedienung_B.pdf

²⁵ See https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1717172.pdf

The costs for integrating corresponding routines in the controller must be incorporated, but should not be significant due to the high lifecycle costs of solar energy systems, with estimated costs of less than ten euros.

As part of the preliminary study, a set of the most important function checks for solar thermal systems is to be identified and prescribed as a requirement.

8. Requirements for space heaters

Below, requirements are proposed for equipping products in the scope of validity of Regulations 2013/811 / EU and 2013/813 / EU for:

- Efficiency monitoring
- Monitoring the final energy and hot water consumption
- Monitoring the percentage of renewable heat and
- Function checks for compound systems with multiple heat generators.

Where requirements are missing, they are to be supplemented and/or further investigations are to be performed.

This section discusses requirements for space heaters, combined heaters, compound systems consisting of space heaters and hot water storage tanks and compound systems of combined heaters and hot water storage tanks.

Ex ante: Economic efficiency

Based on a power demand of 5 kW (for example for a 120 m² new building) and 1,800 annual use hours for a space heater, a device service life of 20 years and a gas price of € 0.064 per kWh, there is a scope of € 115...575 for additional expenses for consumption and efficiency monitoring, depending on whether 1% or 5% savings are targeted. With a power demand of 10 kW (e.g. for an existing building with 120 m² of residential space), the scope is already € 230...1,150. Simple gas-fired water heaters are available from an estimated € 2,500 including installation, and floor-standing oil condensing boilers start at € 4,500.

Efficiency monitoring

Scope of application: Space and combined heaters, temperature controllers

Requirement: Temperature controllers must be equipped with suitable means of continuous monitoring of energy efficiency (annual use level η_s) and a classifying display of deviations in energy efficiency at the top operating level in the user menu, which displays significant deviations from the expected value from 15-20 percent (e.g. red traffic light) and conspicuous deviations from 7.5-10 percent (yellow traffic light).

The measuring instruments required to monitor efficiency (i.e. to record the final energy consumption and the heat emitted) must be integrated in the heater. If monitoring of this kind is technically very difficult to implement and/or increases the price of the device significantly, the following alternative efficiency monitoring methods can be applied:

- Measurement and analysis of the condensate quantity
- Measurement and analysis of the flow/return temperatures
- Energy analysis from the consumption and
- Measurement and analysis of the flue gas temperature and, where applicable, the oxygen content.

Explanation:

Efficiency monitoring based on the annual use level: The annual use level or the annual performance factor is derived by dividing the output and input in a certain period of time. The value determined is directly comparable with the requirements from the Ecodesign Directive or the data from the manufacturers' specifications. The output is the quantity of heat emitted by the device measured using heat meters. The input is calculated from the total of final energy and auxiliary energy consumption (electricity, excluding circulation pumps).

To determine the input, measuring instruments for final energy and current consumption must be integrated in the heaters. For example, gas sensors are available on the market to measure the natural gas consumption²⁶, at a price of significantly less than € 30 in corresponding quantities. The heating oil consumption can be determined with flow meters²⁷, at similar costs. The costs of electricity meters were presented in section 7 (€ 5 - 30).

The costs for installing a heat meter are estimated at € 50 in accordance with chapter 7 (solar yield monitoring). Where multiple heating circuits or a hot water storage tank can be connected, the heat measurement system can be positioned so that one meter records all quantities.

The temperature controllers of heaters have displays on which the results of the consumption monitoring can be displayed.

The process is suitable for evaluating the efficiency of

²⁶ See <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/humidity-sensors/gas-meter-modules-for-residential-smart-gas-metering-applications/>

²⁷ See <https://www.btflovmeter.com/en/flow-meter-products/flow-meters-lowflow-flowmeters-low-flow-turbine-flow-meter-fuel-flow-meters-diesel-fuel-flow-meter-watermeters-paddlewheel-flow-meter-oil-flow-meter-oilflowmeter-waterflowmeter-water-meters-turbineflowmeter-oilflowmeter/low-flow-flowmeters-fch-m-pom-series-0002-8-lpm/fch-m-pom-lc-08-lpm-97478617-lc.html>

- electrical, gas and oil boilers,
- heat pumps and
- combined heat and power (incl. fuel cells).

In Germany, some heat pumps are already equipped with displays of the annual performance factor (SCOP)²⁸.

The electricity quantity generated must also be recorded to monitor the efficiency of combined heat and power plants. The costs described in the previous sections (€ 5 - 30) apply for equipment with electricity meters. Existing billing or feed-in meters can be connected as alternatives. The annual use level η_s in accordance with 2013/813/EU already incorporates the electricity generation.

A comparison of the costs estimated for the additional equipment with the lifecycle costs from the economic efficiency section clearly shows that this kind of efficiency monitoring is economical for all devices. This also applies to small gas boilers, as no external sensors are required to monitor the use level. In spite of this, the economic efficiency should be reviewed again in detail as part of the preliminary study.²⁹

The following section describes other alternative efficiency monitoring processes to close potential gaps should adding measuring devices to heaters not be economically feasible or if there is no space for them. Moreover, the processes are also possibly of interest for efficiency evaluation of solid fuel boilers, which are discussed in section 9.

Measurement and analysis of the condensate quantity: The quantity of condensate is a sign of how well the condensing boiler uses the heat in the moist exhaust gas. Monitoring of the condensate quantity compared with the final energy input can therefore be used to evaluate efficiency. No other causes for a lack of efficiency can be diagnosed with this method. The process has not established itself on the market yet³⁰. It is suitable in principle for oil- and gas-fired condensing heaters.

Measurement and analysis of the system temperatures³¹: The energy efficiency of condensing boilers depends on the flow and return temperature. The lower the return temperature, the higher the condensing effect, the quantity of condensate produced, and thus the energy efficiency. An analysis of the flow and return temperatures of a

²⁸ e.g. Viessmann Vitotronic 200 controller for heat pumps, see <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/waermepumpe/sole-wasser-waermepumpen/vitocal-300-g.html>

²⁹ Where restrictions are determined, devices can be distinguished by performance class. For boilers, a limit that could be set is a nominal heat output of 30 kW. Higher output devices are unlikely to be used in apartments and single-family homes.

³⁰ The prototype of a measuring device is available, see <http://www.brennwert.info/index.asp?art=brenncon>

³¹ The "Condensing check" service by German Consumer Advice Centres, see https://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de/assets/downloads/studien/Aktion_Brennwertcheck_Langfassung_Juli_2011.pdf

heater therefore allows statements to be made in the energy efficiency. An additional temperature sensor that records the return temperature is required for analysis. Sensors of this kind cost roughly € 5. The process certainly seems to be less expensive to implement than measurement of the condensate quantity. The range of applications includes condensing boilers.

Energy analysis from consumption: To analyse the efficiency of space and combined heaters, the process already described in section 6 for air conditioning systems can be used. In the 1st step, the process correlates the final energy consumption with the outside temperature (Figure 3) and in the 2nd step diagnoses efficiency deterioration (Figure 6).

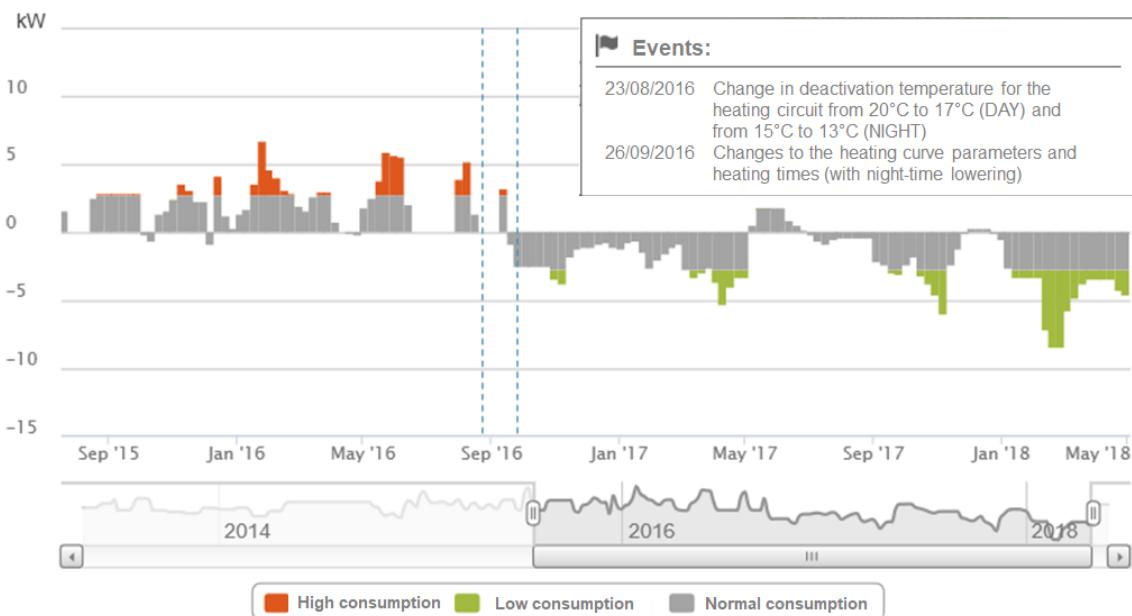


Figure 7: Sample implementation of the process. The zero line represents the expected final energy consumption, i.e. the baseline. Fluctuations around the zero line (grey area) are normal. Larger, lasting increases into the red and/or green area can be caused by deteriorations or improvements in energy efficiency. The example shows an efficiency improvement, which was achieved by reducing the heating threshold temperature (23/08/2016) and adapting the heating curve of the temperature controller (26/09/2016) (source: co2online)

The process has the disadvantage that no statements on the efficiency of the device are possible; the reference parameter is the average operation of the last comparison period, which can already contain systematic deficits in energy efficiency. Furthermore, a distinction can be made between causes related to the device and other causes (e.g. changes in use). The causes for jumps must therefore be determined separately retrospectively. The process can be implemented cost-effectively, as only the final

energy consumption and the outside temperature must be measured. The temperature controller can provide the outside temperature, if an outside temperature guided controller is used. For devices connected to the Internet, weather data from the Internet can be used as an alternative. The process is suitable for all heaters in which the final energy consumption can be measured and access to the outside temperature is possible. Use with solid fuel boilers and in space heaters not controlled based on the outside temperature is difficult and extremely costly.

Measurement and analysis of the flue gas temperature and oxygen content:

Measurement of the flue gas temperature allows conclusions to be made on flue gas losses of a heater. The flue gas loss is a major part of the difference between the output and input, and thus influences the use level.³² A flue gas temperature sensor is required for measurement. By combining this function with measurement of the oxygen content in the combustion chamber, full combustion can also be checked. Incomplete combustion reduces efficiency, as the fuel is partially converted to carbon monoxide (CO) instead of completely into carbon dioxide. Solid fuel boilers are available on the market that are controlled based on measurement of the flue gas temperature and oxygen content³³. The sensors already available in such cases could be used for efficiency monitoring.

The extent to which the process is suitable for ensuring continuous efficiency monitoring must be assessed. The process should be restricted to boilers whose final energy consumption is very difficult to record, i.e. for solid fuel boilers.

Monitoring of final energy consumption and potentially hot water consumption

Scope of application: Space heaters and combined heaters and their temperature controllers

Requirement: Measurement of the final energy consumption with measuring instruments integrated in the heaters. Display of the final energy consumption of the current period (day/week/month/year) for space heating and for water heating by the temperature controller; combined heaters also show the hot water consumption (if directly present in the device). Also: comparison of the final energy consumption of the current with the previous period. Evaluation of the final energy consumption depending on the outside temperature.

Explanation:

³² Chimney sweeps in Germany use the measurement principle for their annual emission measurements, to measure the stationary efficiency at full load and detect soiling of the heat exchanger or the burner. This does not incorporate the standby losses caused by switching on and off, which can be significant in some cases.

³³ See <https://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Wirtschaft/Staub-schadstoffarm-zuenden>

As the final energy consumption is already recorded for efficiency evaluation, there are no additional costs for consumption monitoring. The procedure for devices with temperature controllers that do not record the outside temperature must be considered. Further assessments are required for this.

The hot water consumption can be determined with flow meters similarly to the heating oil consumption. For combined heaters, integration is comparatively easy. In all cases, product-integrated sensors will not be possible. The procedure must be assessed in such cases.

The evaluation of final energy consumption based on the outside temperature is implemented on the basis of the “energy analysis from consumption” method, which was already presented in the efficiency monitoring section. Thresholds for additional consumption and savings could be set similarly to efficiency monitoring with significant deviations from the expected value from 15-20 percent (e.g. red traffic light) and conspicuous deviations from 7.5-10 percent (yellow traffic light).

Furthermore, an assessment of whether there is sufficient space in the housing to fit the additional equipment required is necessary. If the housing must be enlarged, the associated costs must be taken into consideration in the study.

Monitoring the percentage of renewable heat

Scope of application: Temperature controllers for compound systems with multiple heat generators, where the compound system contains at least one device for using renewable energy.

Requirement: Recording and display of the renewable coverage rate (day/week/month/year) by the temperature controller, which is suitable for use in a compound system. Comparison of the coverage rate with stored forecasts for the current and previous period.

Explanation:

In compound systems in which part of the heating energy demand is covered with renewable energy, statements can be made on correct function of the system based on the percentage of the generated heating energy accounted for by the renewable generation system. For this purpose, the forecast coverage percentages or previous year's values can be stored in the temperature controller and compared with the percentage actually achieved. Significant deviations provide information on a malfunction of the components or a lack of interaction. The statements can be made

using the meter equipment prescribed above for efficiency or yield monitoring. A procedure of this kind allows prescribed expansion targets for renewable energy sources to be evaluated at a system level, if their use and percentage of demand coverage is prescribed bindingly³⁴ or part of a subsidy.

Function checks for compound systems

Scope of application: Compound systems with multiple heat generators

Requirement: Monitoring of the optimal area of application and the optimal interaction of the individual components by the superordinate temperature controller. Declaration of temperature controllers as suitable for superordinate control of compound systems.

Explanation:

In complex systems with multiple generators, the optimal area of application of the individual components and the optimal interaction of the individual components must be guaranteed. For example, in a bivalent heating system, consisting of an air heat pump combined with a conventional heating boiler, it must be ensured that the air heat pump only works in an outside temperature range that guarantees high performance factors. Corresponding control systems are already available on the market³⁵.

In a system combination of gas heating, solar energy system and heat storage tank, it must be ensured that the heating does not fully heat the solar buffer storage tank for early morning hot water requirements, so that it has no capacity for holding solar energy during the day.

Accordingly, an assessment is required of whether function checks of this kind must be prescribed for compound systems, and how they must be designed in general, without going into every possible combination of devices.

In order to ensure that compound systems work properly, the manufacturer must specify whether temperature controllers can control multiple heat generators in a system.

³⁴ e.g. in Germany, the Renewable Energies Heat Act specifies that 15-30% of the heat requirements must be covered by renewable energy sources.

³⁵ See https://www.viessmann.de/content/dam/vi-brands/DE/PDF/Technologien/pr-hybrid-loesungen.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/pr-hybrid-loesungen.pdf or <http://de.rotex-heating.com/heizsysteme/waermepumpe/gas-hybrid-waermepumpe.html>

9. Requirements for solid fuel boilers

Below, requirements are proposed for equipping products in the scope of validity of Regulations 2015/1187 / EU and 2015/1189 / EU for:

- Efficiency monitoring and
- Monitoring the final energy consumption or useful energy consumption.

This section covers requirements for manually and automatically loaded solid fuel boilers, which burn primarily wood and coal.

Ex ante: Economic efficiency

For a building with a power requirement of 5 kW, at an energy price for solid of 4 ct/kWh, this leaves scope of € 72-360, or € 144-720 at 10 kW. Overall, the lifecycle costs are similar to comparable devices from chapter 8.

Efficiency monitoring

Scope of application: Solid fuel boilers, temperature controllers

Requirement: Temperature controllers must be equipped with suitable means of continuous monitoring of energy efficiency (annual use level η_s) and a classifying display of deviations in energy efficiency at the top operating level in the user menu, which displays significant deviations from the expected value from 15-20 percent (e.g. red traffic light) and conspicuous deviations from 7.5-10 percent (yellow traffic light).

The measuring instruments required to monitor efficiency (i.e. to record the final energy consumption and the heat emitted) must be integrated in the heater.

Explanation:

For automatically loaded solid fuel boilers, the direct energy efficiency monitoring process presented in section 8 could be used. The final energy consumption can be determined approximately via the delivery mechanism parameters, e.g. for wood pellet boilers via the fuel supply capacity (screw conveyor etc.). The final energy consumption can be determined from the resulting capacity and the corresponding operating hours. For this method of determining the final energy consumption, no additional equipment is required. The auxiliary energy and potentially the reserve current consumption³⁶ must be taken into account. For measurement of electricity consumption, € 5-30 is estimated in accordance with the calculations in the previous chapters. Similarly, integrating a heat meter for measuring useful energy consumption is estimated to cost € 50.

For all other heaters, especially manually loaded devices, it must be assessed whether the flue gas temperature and oxygen content measurement and analysis methods

³⁶ Backup heating prevents the heating water freezing when the system is not in operation, and thus irreparable damage to the device or system parts.

presented in chapter 8 are suitable for identifying efficiency deteriorations caused by soiling of the heat exchanger that occurs regularly during operations.

For this purpose, the flue gas temperature and, where applicable, the oxygen content must be recorded via sensors. The costs for the sensors to end customers are roughly € 40-50³⁷.

Monitoring the final energy consumption

Area of application: Manually and automatically loaded solid fuel boilers

Requirement: Determination or measurement and display of the final energy consumption or useful energy consumption of the current period (day/week/month/year), comparison of the consumption of the current and previous period.

Evaluation of the final energy consumption depending on the outside temperature. An alternative “determination” of the final energy consumption is approved. If measurement is too costly, the heating energy generated can be measured.

Explanation:

The final energy consumption can only be monitored for automatically loaded heaters. No additional costs are incurred. Alternatively, measurement of the heating energy generated must be assessed for manually loaded heaters to derive the final energy consumption. A heat meter must be installed for this purpose. The costs of this are roughly € 50.

10. Requirements for local room heaters

Below, requirements are proposed for equipping products in the scope of validity of Regulations 2015/1185 / EU, 2015/1186 / EU and 2015/1188 / EU for:

- Efficiency monitoring and
- Monitoring the final energy consumption.

This section discusses requirements for

- Electrical local room heaters
- Commercially used local room heaters (luminous and radiant tube heaters) and
- Solid fuel local room heaters with indirect heating functions.

No requirements for monitoring and efficiency monitoring are proposed for the following local room heaters:

³⁷ Oxygen sensor (lambda probe), see <https://de.aliexpress.com/item/Brand-New-High-Quality-LSM-11-O2-Oxygen-Sensor-for-Boiler-Lambda-Senor-0258104002-0-258/32810896022.html> and for flue gas temperature <https://www.turbozentrum.de/Exhaust-Gas-Temperature-Sensor>

- Local room heaters powered with gas or heating oil do not have electrical connections and therefore have no electronic controls and display. Integration of cost-effective sensors would require equipping these devices with electrical connections, and would probably not be economically feasible as discussed in chapter 7.
- Measurement of the final energy consumption or heat energy generation for solid fuel local room heaters (without water chambers) is technically only possible at very high cost, therefore does not make sense as a requirement.

Ex ante: Economic efficiency

For a room with a power requirement of 1 kW, there is a scope of € 72-360 for heating with an electrical local room heater. A water-based pellet stove with a capacity of 10 kW is capable of supplying a complete building with heat. In this case, the scope is € 144-720 (estimated costs similar to those in chapter 9). For a gas-heated radiant-tube heater with a capacity of 50 kW and for example 400 operating hours per year, the scope is € 256 to 1,280.

Efficiency monitoring

Scope of application: Solid fuel local room heaters with indirect heating functions, temperature controllers

Requirement:

Temperature controllers must be equipped with suitable means of continuous monitoring of energy efficiency (annual use level η_s) and a classifying display of deviations in energy efficiency at the top operating level in the user menu, which displays significant deviations from the expected value from 15-20 percent (e.g. red traffic light) and conspicuous deviations from 7.5-10 percent (yellow traffic light).

Explanation:

Solid fuel local room heaters with indirect heating functions are generally manually loaded. They are often also used as additional heaters and therefore not operated continuously. They emit some of their heat (15-20%) directly to the room in which they are installed. As a result, only the measurement and analysis of the flue gas temperature and oxygen content method presented in chapter 8 is possible. If the test recommended in chapter 9 is positive, the process could also be applied to solid fuel local room heaters with indirect heating functions.

Monitoring the final energy consumption

Area of application: Permanently installed electrical local room heaters, commercially used local room heaters

Requirement: Determination or measurement and display of the final energy consumption or useful energy consumption of the current period (day/week/month/year), comparison of the consumption of the current and previous period.

Explanation:

The aspects presented in the previous sections apply. For electrical devices, the required electricity measurement can be integrated cost-effectively (€ 5 - € 30). The scopes presented above based on the lifecycle costs justify the use of gas meters (€ 30) for luminous and radiant tube heaters.

No temperature adjustment of the final energy consumption is prescribed due to the largely discontinuous operation of these devices (used as secondary or backup heating, especially for commercial applications).

11. Requirements for ventilation and air conditioning systems

Requirements³⁸ are recommended below for the equipment of ventilation and air conditioning systems covered by Commission Regulations (EU) No 1253/2014, 1254/2014 and 2281/2016 with regard to:

- Interfaces for data exchange
- Efficiency monitoring
- Efficiency monitoring of cooling
- Monitoring of the power consumption of the fans
- Monitoring of the thermal energy turnover
- Functional checks.

This section focuses on the requirements for ventilation and air conditioning systems for residential and non-residential buildings, which have the following air treatment facilities, depending on the type of system:

- Air heating
- Cooling and
- Humidifying or de-humidifying.

Ex ante: efficiency

For a central living area ventilation system with heat recovery in a single family home with an average volume flow of 130 m³/h, with a specific fan power (SFP) of 0.30 W per m³/h, an electricity power requirement of 39 W results for the fans. With an operating duration of 24 hours over 250 days per year, with a service life of 20 years and an electricity price of 20 ct/kWh, there is room for manoeuvre of € 9-47 for energy monitoring with an estimate of 1-5% energy savings. The system and installation costs of a system of this type are an estimated € 5,000 for new building projects.

As an example of non-residential buildings, a partial air conditioning system at the site in Germany is presented with ventilation, air heating and cooling functions (see Figure 8) and with a volume flow of 4,000 m³/h with a 50-100% variable volume flow regulation and an operating period of 13 hours per day, 250 days per year. The power

³⁸ Based on the following sources:

Herstellerverband RLT-Geräte e. V., (2018): Mindestausstattung von RLT-Anlagen mit Sensorik zur Erfassung / Bewertung der Energieeffizienz ("Minimum equipment of HVAC systems with sensors for the recording/evaluation of energy efficiency"; not published)

Offermann, M. Schiller, H.; Mai, R. (2018): Recommendation for ecodesign standards for operation monitoring of air conditioning/ventilation systems, produced as part of the research project BfEE 03/2016 "Untersuchung der Potentiale von Klima- und Lüftungstechnik als Beitrag zur Umsetzung des klimaneutralen Gebäudebestandes 2050" ("Study of the potential of air conditioning and ventilation technology as a contribution to the implementation of the climate neutral building stock 2050"; not published)

consumption for the fans is around 6,900 kWh per year for typical fans with an SFP value for supply and exhaust air of 3.0 kW/m³. This results in potential savings with regard to the power consumption of the fans of € 157-787. Here, the above range of potential savings was assumed. The price of electricity was set at 11.4 ct/kWh for non-households, and the service life of the system at 20 years.

The energy requirement for air heating is 2,700 kWh per year for such a system, assuming thermal recovery with a recovery rate of 75%. The power consumption for cooling is around 1,650 kWh with a performance rate of the chiller (SEPR) of 4. With a heat generation via natural gas (gas price of 3.0 ct/kWh), this results in leeway through savings in heating and cooling requirements of € 54-270.

For the entire electrical and thermal energy turnover, the leeway over the service life of the system, without taking into account increases in energy prices, is € 212-1,058. An air conditioning system of this type would entail system and installation costs of € 20,000-30.000.

Interfaces for data exchange

Scope of application: Central regulators for individually planned ventilation and air conditioning systems and components of such systems, ventilation devices with integrated regulation

Requirement: Transfer of all parameters of sensors and actors of the system components required for efficiency and consumption monitoring to the overriding regulation, continued transfer of the consumption data for electricity, heat and cooling measured in the system (if measured). Forwarding of the parameters, data and in some cases the results of the efficiency and consumption monitoring defined below to the building control technology (if available), the operating app or the online interface of remote monitoring.

Explanation:

In non-residential buildings, ventilation systems are mostly individually planned, constructed of components from different manufacturers and combined with different regulator makes. As a result, such systems differ from serial products such as cars. The integration of such systems into existing building control technology is possible. Complete solutions for room air conditioning devices (such as precision air conditioning cabinets) with integrated control technology are also available on the market. Insofar as devices with integrated control technology are to be incorporated into central building control technology, the transfer of the parameters and results must be guaranteed.

The transfer of selected data and measurement values (e.g. transfer of the measurement values for the power output of the fans to the overriding control) is not guaranteed with the standard fittings of current systems of both types. The requirement serves to guarantee that this transfer is possible.

Efficiency monitoring

Scope of application: Central regulator of ventilation and air conditioning systems with a volume flow of more than 4,000 m³/h

Requirement: Regulators must be fitted with suitable means for the continuous monitoring of energy efficiency through monitoring of the specific fan power (SFP) or internal specific fan power SFP_{int} . For systems with heat recovery, the recovery rate is also monitored. The regulators must be fitted with a classifying display of deviations of energy efficiency at the highest operating level in the control system's user menu.

Explanation:

In order to evaluate the efficiency of ventilation and air conditioning systems, the power consumption and volume flows (via the effective pressure on the inlet nozzle) of the supply and exhaust air fans. The principle is illustrated in Figures 8 and 9. The specific fan power (SFP) can be calculated from the power uptake and volume flows and classified in conformity with EN 16798-3.

The measurement of the power uptake and thus of the power consumption of the fans is integrated into the fan control. Therefore, no added costs are incurred. For the transfer of the power consumption data to the control system, additional hardware may be required, which is estimated at a material cost of € 100.

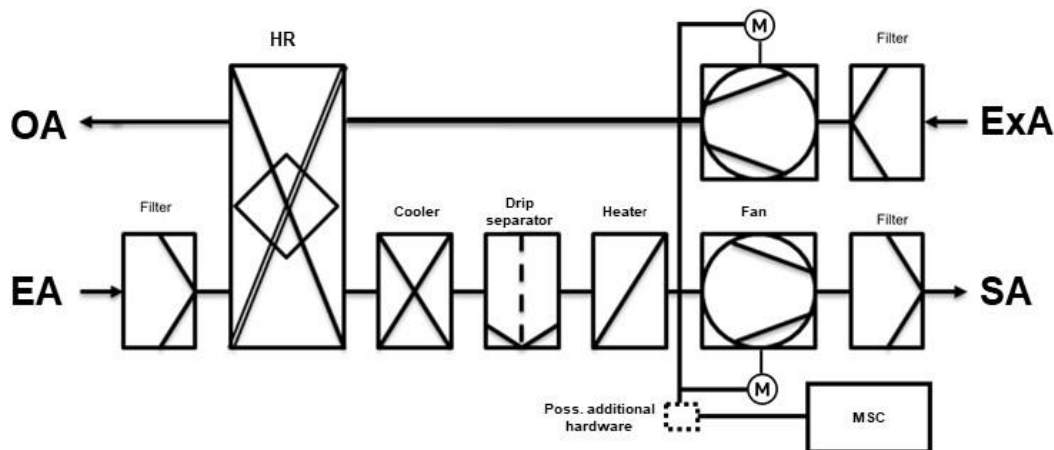


Figure 8: Existing measurement of the power uptake of the fans for speed control and possible necessary additional hardware (source: Herstellerverband RLT-Geräte e. V.)

Explanation of terms: OA = outgoing air; EA = external air; ExA = exhaust air; SA = supply air

The effective pressure measurement required to determine the volume flow is conducted via pressure sensors (Figure 9). These are part of the standard fittings of air conditioning systems. For this reason, again, no added costs arise.

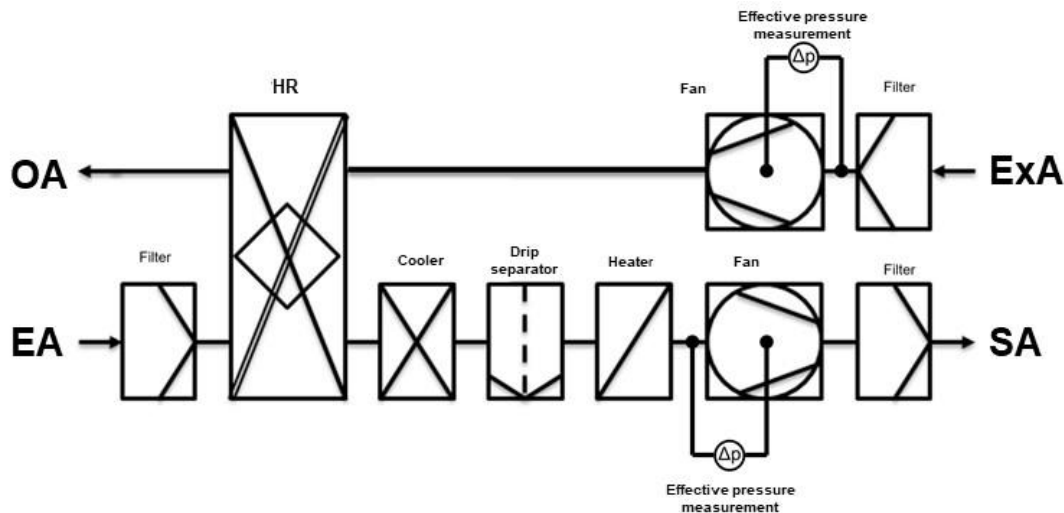


Figure 9: Volume flow determination via existing effective pressure measurement (source: Herstellerverband RLT-Geräte e. V.)

In order to evaluate the internal specific fan power SFP_{int} according to Commission Regulation (EU) No 1253/2014, further differential pressure measurements are required alongside the above-named parameters (Figure 10). The necessary differential pressure measurements must also be installed, with a cost estimate of $4 \times \text{€ } 150$. Alternatively, only the measurement shutters need to be provided. The measurement would then have to be taken manually and the values stored in the control system. The same applies to other pressure losses for the duct system and (clean) air filters. If necessary, further checks should be made as to whether the recommended simplification is sufficiently precise in order to evaluate efficiency.

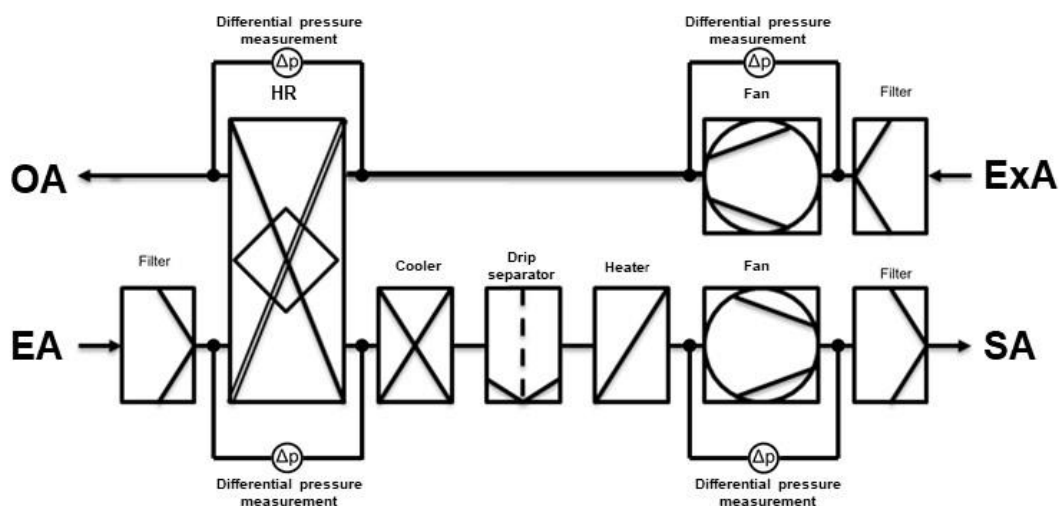


Figure 10: Differential pressure measurement for fans and heat recovery (source: Herstellerverband RLT-Geräte e. V.)

In order to monitor the heat recovery, the enthalpy differences (for temperature and humidity respectively) must be measured via the heat recovery. For systems without air humidifiers as shown in Figure 11, the enthalpy differences can be created by means of

temperature measurement values. The exhaust air temperature sensor and very often also the external air sensor are also included in the standard fittings of ventilation systems. Any sensors required that are not provided must be estimated at a material cost of € 50 each. For the supply air sensor behind the heat recovery, an averaging sensor with an appropriate rod length must be installed in order to achieve sufficiently precise results, which comes at an added cost of max. € 200.

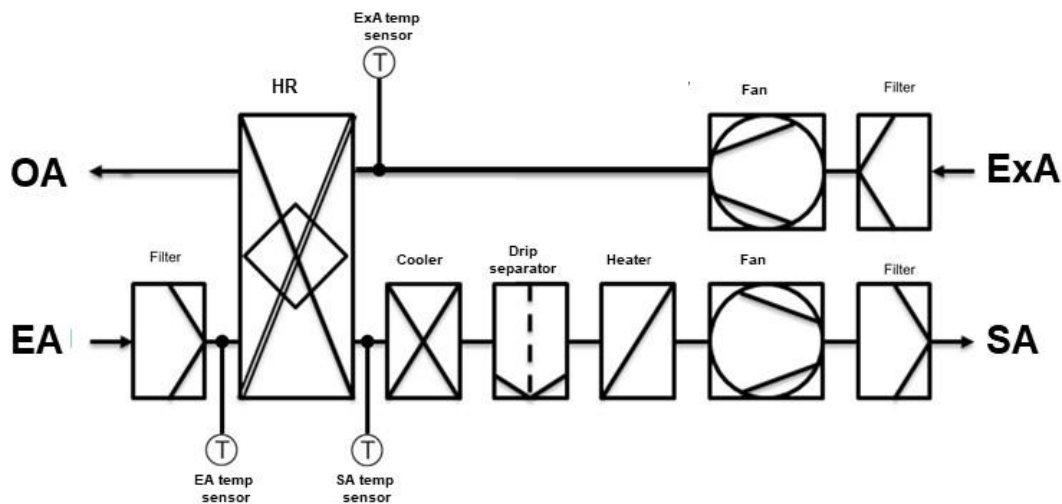


Figure 11: Temperature measurement for determining the heat recovery rate, exhaust air sensor and external air sensor are included in the standard fittings (source: Herstellerverband RLT-Geräte e. V.)

With regard to the evaluation of the efficiency parameters, a check should be made during further inspections as to whether the efficiency evaluation levels recommended in the previous chapters are also suitable for ventilation and air conditioning systems.

Efficiency monitoring of cooling

Scope of application: Central regulators of cooling systems with a cooling requirement of more than 400 kW

Requirement: Regulators must be fitted with suitable means for the continuous monitoring of energy efficiency through observation of the annual performance factor (SEPR) of the cooling system. The regulators must be fitted with a classifying display of deviations of energy efficiency at the highest operating level in the control system's user menu.

Explanation:

For the continuous monitoring of the annual performance factor, one three-phase electricity meter (material costs € 120-200) and one cooling meter (material costs € 2,000) should be provided. In contrast to the costs presented in the previous chapters, meters for ventilation systems are not integrated into devices, but instead,

finished end products are connected to the control system. This results in considerably higher costs.

Here, too, further inspections are required with regard to classification for the evaluation of efficiency.

Monitoring of the power consumption of the fans

Scope of application: Central regulators of ventilation and air conditioning systems

Requirement: The measurement and display of the power consumption of the fans in the current period (day/week/month/year). Also: Comparison of the final energy consumption of the current and previous period.

Explanation:

The economic efficiency analysis shows that it already makes sense to monitor power consumption for household systems. In Chapter 6, the costs of integrating the measurement were estimated at € 5-30.

For systems with volume flows of more than 4,000 m³/h, recourse can be made to the measurement device equipment for efficiency monitoring.

Monitoring of the thermal energy turnover for heating, cooling, humidifying and de-humidifying

Scope of application: Central regulator of ventilation and air conditioning systems with a volume flow of more than 4,000 m³/h

Requirement: Measurement or determination of the thermal energies from the parameters for air temperature, humidity and volume flow. Display of the measured or calculated final energy consumption values (day/week/month/year) for heating, cooling, humidifying, de-humidifying and for total turnover, comparison of energy consumption between the current and previous periods.

Explanation:

The thermal energy turnover makes it possible to balance the energy flows in the building. In addition, the data can flow into the evaluation of upstream heating and cooling generation facilities.

The measurement device equipment required to determine the energy turnover is partially provided with the standard fittings or must be retrofitted for the efficiency monitoring of the thermal recovery. For this reason, no additional costs arise.

Functional checks

Scope of application: Central regulators for ventilation and air conditioning systems

Requirement: Recording and storage of the most important parameters of the sensors and actors needed to monitor efficiency and consumption, particularly of

- the active power or power consumption of the supply and exhaust air fans
- effective pressure on the inlet nozzle or volume flow of the supply and exhaust air fan
- recorded temperature and humidity values
- external temperature (if recorded)
- final energy consumption values for air heating, cooling and humidifying (if measured using meters)
- analogue output signals of the vaporisation and condensation pressure and operating messages from the compressor of the cooling system (if provided)

in a format suitable for further processing, at a resolution of 1 hour, better 15 minutes, for one year. Securing of data access via a standardised universal interface.

Explanation:

In particular, the collection of the parameters enables the manual monitoring of the functioning and efficiency of systems that are not subject to the standards of efficiency and consumption monitoring.

The equipment required for storage and the costs arising were already presented in relation to the functional checks in Chapter 7.

Further inspections are required to determine whether a differentiation should be made according to system size with regard to the requirement relating to possible lack of efficiency.

10.9 Entwurf GEG Artikel zum Monitoring von Klimaanlage

IIB5

Berlin, den 24.08.2018

I. . Messeinrichtungen § 67

In § 67 könnte die Einrichtung von Messeinrichtungen für Klima- und Lüftungsanlagen wie folgt vorgegeben werden:

„(1) Anlagen nach § 64 Satz 1 mit Raumluftechnik müssen über die folgende technische Ausstattung verfügen:

1. Messeinrichtungen zur Erfassung der durch Zu- und Abluftventilatoren verbrauchten elektrischen Energie,
2. Messeinrichtungen zur Messung der Luftvolumenströme der Zu- und Abluftventilatoren,
3. Messeinrichtungen, welche die zuluftseitige Enthalpiedifferenz über Wärmerückgewinnungseinrichtungen und über die gesamte energetische Zuluftkonditionierung bis zum Geräteaustritt berechenbar machen und eine Ableitung der Enthalpiedifferenz zwischen Abluftzustand und Zuluftzustand an den Gerätegrenzen ermöglichen. Für Anlagen nach § 65 Satz 1 ohne Luftbefeuchtung können die Enthalpiedifferenzen mittels Temperaturmesswerten gebildet werden. Stehen Außenklimadaten aus anderen Quellen für den Standort zur Verfügung, ist anstelle der Erhebung von Messwerten eine Nutzung dieser Daten zulässig,
4. Vorrichtungen, die eine manuelle Messung der statischen Druckerhöhung durch die Zu- und Abluftventilatoren ermöglichen.

Die durch die Messeinrichtungen erhobenen Messwerte sind mindestens stündlich in einem zur Weiterverarbeitung geeigneten Format zu speichern. Sie sind für einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten vorzuhalten und müssen über eine genormte universelle Schnittstelle zugänglich sein.

(2) Anlagen nach § 64 Satz 1 mit Kältetechnik müssen über die folgende technische Ausstattung verfügen:

1. definierte Schnittstelle, über die analoge Ausgangssignale für den Verdampfungsdruck und den Kondensationsdruck kontinuierlich bereitgestellt werden können und

...

2. definierte Schnittstelle, über die digitale Ausgangssignale für die Betriebsmeldung des Verdichters kontinuierlich bereitgestellt werden können. Anlagen nach § 64 Satz 1 mit Kältetechnik und einer Mindestgröße von 400 kW Nennkälteleistung müssen zusätzlich mit einem Stromzähler und einem Kältemengenzähler ausgestattet sein. Die durch die Schnittstellen nach Satz 1 und Zähler nach Satz 2 übertragenen Messwerte sind für einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten vorzuhalten und müssen über eine genormte universelle Schnittstelle zugänglich sein.

Begründung:

Mit dem Vorschlag sollen Mindeststandards für die Ausstattung von Klima- und Lüftungsanlagen mit Zähler und Sensorik festgelegt werden.

10.10 Papier „Anforderungen an konventionelle Brennwertkessel (EE-ready)“

Anforderung an konventionelle Brennwerttechnik hinsichtlich der Anbindung erneuerbarer Energien-Anlagen (EE-ready)

<p>Hintergrund:</p> <p>Die Förderung konventioneller Brennwerttechnik soll künftig an die Bedingung geknüpft werden, dass solche Anlagen so mit Regelungstechnik, Zähler und Sensorik ausgestattet sind, um nachträglich erneuerbare Energien-Anlagen nachrüsten oder einbinden zu können (EE-ready). Solche Anlagenkombinationen werden als bivalente Heizsysteme oder „Hybridanlagen“ bezeichnet.</p> <p>Die Anpassung der Förderprogramme (KfW Programme Energieeffizient Bauen und Sanieren) wird durch die Abteilung BMWi IIC3 vorbereitet. Bei der Anpassung des Förderprogramms sind Übergangsfristen für Hersteller zu berücksichtigen</p> <p>In diesem Papier werden Mindestanforderungen definiert, die sich aus dem Projekt BfEE 06/2017 Energiemonitoring (Zählerstudie) an solche Geräte ergeben.</p>	
<p>Anforderung</p>	<p>Erläuterung</p>
<p>„vorbereitet für Hybridbetrieb“: Brennwertkessel sind als Modul einer künftigen Hybridanlage zu konzipieren. Von einer Nachrüstung zusätzlicher herstellereigener oder fremder Erzeugungskomponenten und mindestens eines Pufferspeichers ist auszugehen.</p>	<p>Hybridheizungen sind modular aufgebaut. Im Rahmen der Zusammenschaltung mehrerer Module muss eine Systemregelung die Steuerung der Gesamtanlage gewährleisten.</p> <p><i>Anforderungstext links eher erläutern als echte Anforderung</i></p>
<p>Systemregelung der Hybridanlage:</p> <p>Soweit die Regelung des Brennwertkessels die Systemregelung der Hybridanlage übernimmt, ist eine Regelstrategie „CO₂-optimierter Betrieb“ vorzusehen und vor einzustellen, um die Nutzung eines möglichst hohen Anteils Heizwärme aus erneuerbaren Energien zu gewährleisten.</p>	<p>Die Systemregelung (übergeordnete Regelung) einer Hybridanlage kann</p> <ul style="list-style-type: none"> a) über die vorhandene Regelung des Brennwertkessels erfolgen (ggf. im Rahmen eines Hard- und/oder Softwareupdates), b) die vorhandene Regelung wird durch eine neue Regelung (z.B. der nachgerüsteten EE-Anlage) ersetzt, c) die vorhandene Regelung und die Regelung der EE-Anlagen werden durch eine Kommunikationsschnittstelle miteinander verbunden, bei denen eine Regelung die Funktion der Systemregelung übernimmt. <p>Die dargestellten Varianten a-c) stellen den Status Quo der auf dem Markt gängigen Praxis da. Daher werden hier nur Anforderungen formuliert, die sich auf den Fall beschränken,</p>

	dass die vorhandene Regelung des Brennwertkessels zur Systemregelung wird.
<p>Werkseinstellung Regelung - Heizkurve</p> <p>Die Heizkurve ist zur Gewährleistung einer optimalen Brennwertnutzung in der Werkseinstellung so voreinzustellen, dass die Vorlauftemperatur im Auslegungsfall 50 °C nicht überschreitet.</p>	Diese Einstellung gewährleistet einen optimalen Brennwertbetrieb bei Nutzung von Heizkörpern für die Wärmeabgabe. Soweit das Heizsystem höhere Temperaturen erfordert, muss der Handwerker die Einstellungen aktiv ändern. Für Fußbodenheizungen ist ebenfalls eine Anpassung der Einstellungen nötig, da dann Vorlauftemperaturen von max. 35 °C ausreichend sind.
<p>Ausstattung des Brennwertkessels mit Zählern zur Effizienzüberwachung</p> <p>Brennwertkessel sind mit Zählern zur Erfassung des Endenergieverbrauchs (Erdgas, Heizöl) und der abgegebenen Wärme auszustatten.</p> <p>Die Messwerte sind in einem gängigen Standard-Datenübertragungsformat (z.B. M-Bus, LonWorks, EIB) am Eingang / Ausgang der Regelung als Schnittstelle vorzuhalten.</p>	Die Zählerausstattung ist Basis für die Effizienzüberwachung (siehe Anforderung „Integration Effizienzüberwachung“).
<p>Integration Effizienzüberwachung in die Regelung und Anzeige im Bediendisplay</p> <p>Regelungen müssen mit geeigneten Mitteln zur kontinuierlichen Überwachung der Energieeffizienz (Nutzungsgrad η) ausgestattet sein. Alle Bedieneinheiten, sowohl direkt am Gerät als auch entfernt (Fernbedienung, App, Online etc.), müssen mit einer klassifizierenden Anzeige der Abweichungen der Energieeffizienz auf der obersten Bedienebene im Nutzermenü ausgestattet sein, indem erhebliche Abweichungen vom Erwartungswert ab 15-20 Prozent (z.B. rote Ampelfarbe) und auffällige Abweichungen ab 7,5-15 Prozent (z.B. gelbe Ampelfarbe) angezeigt werden.</p> <p>Im Falle, dass die Regelung des Brennwertkessels die Funktion der Systemsteuerung des Hybridanlage über-</p>	Der Nutzungsgrad ist die Größe, auf deren Basis sich die Effizienz eines Heizkessels bemisst. Sie ergibt sich als Quotient aus abgegebener Wärmeenergie und eingesetzter Endenergie.

<p>nimmt:</p> <p>a) Erfassung und Anzeige der Beiträge der Wärmeerzeuger (Tag / Woche / Monat / Jahr), Vergleich der aktuellen Deckungsrate mit hinterlegten Prognosen oder den Raten der vorherigen Periode.</p> <p>b) Für manuelle Funktionskontrolle: Aufzeichnung und Vorhaltung der Parameter der für die Beurteilung der optimalen Betriebsweise der Hybridanlage notwendigen Sensoren und Aktoren der Regelung sowie der Messwerte der Zähler in einer Auflösung von maximal 5 Minuten für 1 Jahr; Gewährleistung des Datenzugriffs über eine genormte universelle Schnittstelle</p>	<p>Beiträge der Wärmeerzeuger: Die Effizienz einer Hybridanlage bemisst sich zu einem großen Teil dadurch, dass die vorab veranschlagten Deckungsanteile der verwendeten Wärmeerzeuger, darunter auch erneuerbare Energien, in der Praxis mindestens erreicht werden.</p> <p>Parallel dazu muss sichergestellt werden, dass die Einzelkomponenten einer Hybridanlage im optimalem Einsatzbereich und nicht „gegeneinander arbeiten“. Solche Funktionskontrollen sind von der Art der Hybridanlage abhängig und nicht allgemein definierbar. Als Einstieg wird die Vorhaltung der Parameter aller Aktoren und Sensoren für die manuelle Funktionskontrolle im Rahmen von Wartungen oder Inspektionen vorgegeben.</p>
<p>Anzeige der Effizienzüberwachung in der Online-Anwendung (bei an das Internet angebundenen Kesseln)</p> <p>Wiedergabe der Informationen von Effizienzüberwachung und Verbrauchsmonitoring in der Bedienoberfläche (Onlineanwendung oder App)</p>	<p>Die Ergebnisse sollen analog wie im Bediendisplay wiedergegeben werden.</p>
<p>Kombination des Brennwertkessels mit einem Pufferspeicher</p> <p>keine Anforderung</p>	<p>Hybridheizungen benötigen in der Regel einen Pufferspeicher, um mehrere Erzeuger sinnvoll zu kombinieren. Solche Speicher haben ein Volumen von mehreren 100 Litern und damit eine entsprechend große Oberfläche, die nicht unerhebliche Wärmeverluste mit sich bringt. Ein Speicher mit 1000 l Inhalt hat im Jahr etwa 1.000 kWh Speicherverluste. Ungünstige Anlagenkonzepte mit Pufferspeichern können zusätzlich dazu führen, dass der Nutzungsgrad des Brennwertkessels sinkt. Die verpflichtende Ausstattung eines Brennwertkessels mit einem Pufferspeicher ist daher erst sinnvoll, wenn wirklich ein zweiter regenerativer Erzeuger, der Speichermassen benötigt, nachgerüstet wird.</p>

Begründung: Die Anforderungen sind notwendig, um sicherzustellen,

- dass eine Nachrüstung einer EE-Anlage zu einem bestehenden Brennkessel auch im zeitlichen Abstand von mehreren Jahren möglich ist,
- die gesamte Hybridanlage effizient arbeitet,
- die mit der Nachrüstung einer EE-Anlage verbundene Erwartung an die Teilbedarfsdeckung durch erneuerbare Energien (regenerative Deckungsrate) erreicht wird,
- und zusätzlich die Teilkomponente Brennvorgang eine hohe Effizienz aufweist.

10.11 Papier „Möglichkeiten Effizienzmonitoring im Rahmen der Heizkostenverordnung“

Hintergrund

Die Heizkostenverordnung, die 1981 eingeführt wurde, betrifft allein ca. 18 Mio. Haushalte in Wohngebäuden und regelt die Pflicht zur verbrauchsabhängigen Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten. Die Einführung der HeizkostenV hat den Energieverbrauch von Gebäuden im Mittel um ca. 15 Prozent (%) gemindert¹.

Die im Rahmen der Heizkostenverordnung erhobenen Daten bieten schon heute die Möglichkeit, jährlich Aussagen zum energetischen Zustand des Gebäudes in Anlehnung an den Energieverbrauchsausweis nach EnEV bereitzustellen. Derzeit werden diese Möglichkeiten nicht genutzt. Zwar ermöglicht § 7 der Heizkostenverordnung, zur Erhöhung der Verständlichkeit der Heizkostenabrechnung eine „Verbrauchsanalyse“ zu erstellen. Die Verbrauchsanalyse muss jedoch von den Vermietern oder Hausverwaltungen als zusätzlicher kostenpflichtiger Service beauftragt werden, weshalb das Instrument nur wenig genutzt wird. Zudem wird in der Verbrauchsanalyse nur der Verbrauch der einzelnen Wohnung im zeitlichen Verlauf und im Vergleich zum Gebäude thematisiert.

Die HeizkostenV soll nach Aussage der DENEFF im Jahre 2019 novelliert werden. Aus einer Presseerklärung des Heizkostenverteilerunternehmens Minol² von Mitte 2018 ergibt sich, dass im Rahmen dieser Novellierung EU-Vorgaben bezüglich der Installation fernauslesbarer Zähler in die Verordnung integriert werden sollen. Solche Zähler sind notwendig, um unterjährige Verbrauchsinformationen bzw. Abrechnungen zu erstellen. Die Novellierung böte auch die Gelegenheit, verpflichtende Transparenzinformationen in die Heizkostenabrechnung zu integrieren.

Die Novellierung der Heizkostenverordnung sollte genutzt werden, um Gesichtspunkte des Effizienzmonitorings, die sich aus dem Projekt BfEE 06/2017 „Energiamonitoring“ ergeben, in die Heizkostenabrechnung zu integrieren. Auf Basis der ohnehin erhobenen Messwerte besteht schon heute die Möglichkeit, für den der Verordnung unterliegenden Gebäudebestand Aussagen zur Effizienz der Warmwasseranlage zu treffen. Für gemischt genutzte Gebäude sind ebenfalls schon Effizienzaussagen zum Wärmeerzeuger möglich. Durch die Ausstattung mit einem zusätzlichen Zähler³, der den Raumwärmeverbrauch erfasst, wären solche Aussagen künftig für den Gesamtbestand möglich. Die Integration eines Effizienzmonitorings in die Heizkostenabrechnung hätte eine große Wirkung, da es den Anlagenbestand adressiert. Bisherige Überlegungen des Projekts richteten sich vor allem an Neuanlagen, die künftig z.B. im Rahmen des EU-Ökodesign-Prozesses adressiert werden sollen.

Anwendung der Heizkostenverordnung auf Nichtwohngebäude

Der Anwendungsbereich der HeizkostenV bezieht sich allgemein auf Gebäude, die nicht nur durch einen Nutzer genutzt werden. Eine Beschränkung auf Wohngebäude ist nicht vorgesehen.⁴ Erforderlich ist allein, dass der Gebäudeeigentümer oder ein diesem nach § 1 Abs. 2 HeizkostenV Gleichgestellter eine Versorgung anderer Personen mit Wärme und Warmwas-

¹ Mitteilung der Regierung der Bundesrepublik Deutschland an die Europäische Kommission vom 5. Juni 2014 hinsichtlich der Umsetzung der Richtlinie 2012/17/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG („Notifizierung der EED“).

² Vgl. <https://www.minol.de/novellierung-der-eu-energieeffizienz-richtlinie.html>

³ Für einfache Anlagen mit einem Heizkreis. Bei komplexen Anlagen mit mehreren Heizkreisen sind ggf. mehrere Zähler notwendig bzw. der Zähler ist anders zu positionieren und im Kesselkreis anzuordnen.

⁴ OLG Braunschweig, Urteil vom 27. November 1998 – 5 U 85/98; *Schumacher*, in: Danner/Theobald, Energierecht, Stand 4/2018, § 1 HeizkostenV Rn. 4.

ser in dem betreffenden Gebäude vornimmt und keine Ausnahmen nach § 11 HeizkostenV vorliegt.

Ansatz Effizienzüberwachung im Rahmen der Heizkostenverordnung

Jahresnutzungsgrade sind ein Maß für die Effizienzbewertung von Heiz- und Warmwasseranlagen. Hierzu können aus ohnedies in die Heizkostenabrechnung einfließenden Verbrauchswerten jährliche bzw. künftig⁵ unterjährige Kennwerte gebildet werden. Eine Bewertung dieser Kennwerte durch

- Vergleich mit Benchmarks (Effizienz vergleichbarer Anlagen bzw. Neuanlagen)
- Vorjahresvergleich (Erkennung von Effizienzverbesserungen bzw. Verschlechterungen)

ermöglicht es, ineffizient arbeitende Anlagen oder Effizienzverschlechterungen zu erkennen. Solche Informationen würden die Motivation steigern, ineffiziente Anlagen zu optimieren oder vorzeitig durch Neuanlagen zu ersetzen. Sie würden sich vorwiegend an den Gebäudeeigentümer bzw. den Hausverwalter richten. Die Informationen könnten in einem Beiblatt oder als Zusatzinformation zur Heizkostenabrechnung kommuniziert werden. Ein solches Vorgehen wurde in einem UBA-Projekt zur „Informativen und transparenten Heizkostenabrechnung“⁶ aus dem Jahre 2016 empfohlen.

Soweit solche Informationen im Rahmen der Abrechnung auch den Bewohnern zugänglich gemacht werden, könnten diese zusätzlich auf den Gebäudeeigentümer bzw. Hausverwalter einwirken, Ineffizienzen abzustellen.

Effizienz der Warmwasserversorgungs- und Verteilungsanlage

In etwa 85% des Wohngebäudebestands wird das Warmwasser zentral über die Heizanlage erwärmt. Die für die Effizienzüberwachung notwendigen Parameter werden im Rahmen der Heizkostenverordnung erhoben⁷:

- Verbrauch der zentralen Warmwasseranlage [kWh]
- Warmwasserverbrauch in den Wohnungen als Summe der Zählerwerte [m³]
- Warmwassertemperatur am Speicherausgang, i.d.R. 60°C
- Kaltwassertemperatur, Ansatz 10 °C

Der Nutzungsgrad der Warmwasser-Anlage ergibt sich aus dem Nutzenergieverbrauch zum Endenergieverbrauch. Er diagnostiziert die Speicher- und Zirkulationsverluste.

$$\eta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{Q_{\text{End}}}$$

Dabei sind

$$Q_{\text{Nutz}} = 1,1632 * \text{Warmwasserverbrauch} * (\text{Warmwassertemperatur} - 10) \text{ [kWh]}$$

$$Q_{\text{End}} = \text{Verbrauch der zentralen Warmwasseranlage [kWh]}$$

⁵ Bei Einführung unterjähriger Abrechnungen bzw. Verbrauchsinformationen.

⁶ Vgl.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/climate_change_01_2016_informative_und_transparente_heizkostenabrechnung_als_beitrag_fuer_den_klimaschutz.pdf, Seite 135 ff

⁷ Soweit nicht Ausnahmen greifen und ein Wärmezähler nicht installiert wurde bzw. die Verteilung der Warmwasserkosten nicht anhand des Warmwasserverbrauchs erfolgt.

Effizienz des Wärmeerzeugers

Bei **gemischt genutzten Gebäuden** nach § 5 Absatz 2 Heizkostenverordnung muss zwischen Gebäudeteilen, die zentral belüftet oder klimatisiert werden und Gebäudeteilen, die nur mit statischen Heizflächen ausgestattet sind, differenziert werden. In solchen Fällen erfolgt nach der HeizkostenV eine Vorverteilung der Kosten über den Verbrauch der Nutzergruppen. Hierfür sind Wärmemesser installiert. Die Bilanzierung der Effizienz der Wärmeerzeugung ist für diese Gebäudegruppe auf Basis der im Rahmen der Heizkostenverordnung ohnehin erhobenen Daten möglich:

- Wärmeverbrauch der Nutzergruppen 1...n [kWh]
- Brennstoff – bzw. Energieverbrauch [Einheit Energieträger bzw. kWh]

Der Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers berechnet sich analog

$$\eta = \frac{Q_{Nutz}}{Q_{End}}$$

mit

Q_{Nutz} = Summe Wärmeverbrauch der Nutzergruppen [kWh]

Q_{End} = Brennstoff – bzw. Energieverbrauch [kWh]

Der Brennstoffverbrauch ist vorab in kWh umzurechnen.

Gebäude ohne Vorverteilung sind mit einem Zähler für die Erfassung des Raumwärmeverbrauchs nachzurüsten (Abb. 1). Folgende Daten gehen in die Nutzungsgradbestimmung ein

- Verbrauch der zentralen Warmwasseranlage [kWh]
- Verbrauch Raumwärme [kWh]
- Brennstoff – bzw. Energieverbrauch [Einheit Energieträger bzw. kWh]

Der Nutzenergieverbrauch ergibt sich bei diesen Gebäuden

$$Q_{Nutz} = Q_{Nutz1} + Q_{Nutz2}$$

mit

Q_{Nutz1} = Verbrauch der zentralen Warmwasseranlage [kWh]

Q_{Nutz2} = Verbrauch Raumwärme [kWh]

Gewerbliche Wärmeversorgung aus vorgelagertem Wärmeerzeuger:⁸ In diesem Fall rechnet der Lieferant auf Basis des gemessenen Nutzenergieverbrauchs mit dem Gebäudeeigentümer ab. Der Lieferant müsste in diesem Fall verpflichtet werden, die Information über den Brennstoff- bzw. Energieverbrauch bzw. direkt die Effizienz des Wärmeerzeugers für die Aufnahme in die Heizkostenabrechnung bereitstellen.

⁸ Ergänzende Darstellung eines weiteren Falls, bei dem die Zählerausstattung vorhanden ist. Es bedarf weiterführenden Prüfungen, ob eine solche Vorgehensweise möglich ist.

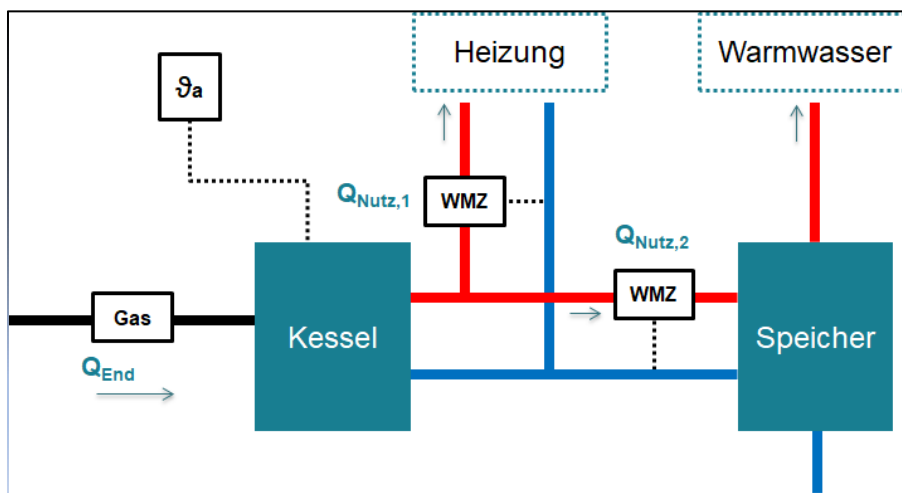


Abb. 1. Prinzipschaltbild für die Messung des Jahresnutzungsgrades bei einem gasbeheizten Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung: Für die Nutzungsgradbestimmung ist der Zähler $Q_{Nutz,1}$ nachzurüsten.

Juristische Bewertung der Ergänzung der HeizkostenV um Wärmezähler für die Erfassung des Raumwärmeverbrauchs zu nutzen

a) Existenz einer geeigneten Ermächtigungsgrundlage

Die Ergänzung der HeizkostenV um Wärmezähler setzt nach Art. 80 Abs. 1 GG eine entsprechende gesetzliche Ermächtigung voraus. Insgesamt findet die HeizkostenV ihre gesetzliche Grundlage im Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG). Dieses enthält u.a. sich z.T. überschneidende⁹ Ermächtigungen in Bezug auf:

- Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und ihren Bauteilen; diese können sich auf die Begrenzung des Wärmedurchgangs sowie der Lüftungswärmeverluste und auf ausreichende raumklimatische Verhältnisse beziehen. (§ 1 Abs. 2 S. 1, 2 EnEG)
- Anforderungen an die Beschaffenheit und die Ausführung von Heizungs-, raumlufttechnischen, Kühl-, Beleuchtungs- sowie Warmwasserversorgungsanlagen oder -einrichtungen, damit vermeidbare Energieverluste unterbleiben, einschließlich messtechnischer Ausstattung zur Verbrauchserfassung (§ 2 Abs. 1 S. 1, 2 Nr. 6 EnEG); für bestehende Gebäude gilt dies, soweit bisher nicht vorhandene Anlagen oder Einrichtungen eingebaut oder vorhandene ersetzt, erweitert oder umgerüstet werden. Zudem können Anforderungen zur Ergänzung der Anlagen und Einrichtungen mit dem Ziel einer nachträglichen Verbesserung des Wirkungsgrades und einer Erfassung des Energieverbrauchs gestellt werden (§ 2 Abs. 3 EnEG),
- die Erfassung des Energieverbrauchs der Benutzer von heizungs-, kühl- oder raumlufttechnischen oder der Versorgung mit Warmwasser dienenden gemeinschaftlichen Anlagen oder Einrichtungen; die Verteilung der Betriebskosten dieser Anlagen oder Einrichtungen auf die Benutzer so, dass dem Energieverbrauch der Benutzer Rechnung getragen wird; und der Vorgabe, dass die Benutzer in regelmäßigen Abständen auf klare und verständliche Weise Informationen erhalten über Daten, die für die Ein-

⁹ Dazu Müller-Kulmann, in: Danner/Theobald, Energierecht, Stand 4/2018, § 3a EnEG Rn. 3 f.

schätzung, den Vergleich und die Steuerung des Energieverbrauchs und der Betriebskosten von heizungs-, kühl- oder raumluftechnischen oder der Versorgung mit Warmwasser dienenden gemeinschaftlichen Anlagen oder Einrichtungen relevant sind (§ 3a S. 1 EnEG).

Aufgrund dieser gesetzlichen Ausgestaltung ist dem Ordnungsgeber eine Regelung über die Wärmemessung grundsätzlich möglich. Dies gilt uneingeschränkt für neue Gebäude und Anlagen, grundsätzlich aber auch für bestehende.

Potenzielle Grenzen inhaltlicher Natur ergeben sich aus § 5 EnEG. Danach müssen

- die Anforderungen nach dem Stand der Technik erfüllbar und für Gebäude gleicher Art und Nutzung wirtschaftlich vertretbar sein; dies ist der Fall, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können (Abs. 1),
- eine Befreiungsmöglichkeit zur Vermeidung unbilliger Härten vorgesehen wird (Abs. 2).

Die erstgenannte Anforderung setzt voraus, dass die zusätzlichen Messwerte in einem Umfang zu Energieeinsparungen führen können, dass sich die die Kosten der Wärmemessung (Beschaffung der Sensoren, Einbau, Wartung) innerhalb der üblichen Nutzungsdauer der Anlage¹⁰ amortisieren. Zu beachten ist, dass § 11 Abs. 1 Nr. 1 lit. b HeizkostenV dies für besonders energiesparende Gebäude¹¹ dahingehend konkretisiert, dass „unverhältnismäßig hohe Kosten [vor]liegen ..., wenn diese nicht durch die Einsparungen, die in der Regel innerhalb von zehn Jahren erzielt werden können, erwirtschaftet werden können“.

In verfahrensrechtlicher Hinsicht ist zu berücksichtigen, dass die Regelung in einer Verordnung der Zustimmung des Bundesrates bedarf.

b) HeizkostenV als Regelungsstandort

Auf das EnEG gestützte Bestimmungen über Anforderungen an gebäudetechnische Anlagen sind derzeit in den §§ 13 ff. EnEV enthalten. Dies schließt Vorgaben an die Regelungstechnik ein. Aus rechtssystematischer Sicht erschiene daher deren Ergänzung um Vorgaben in Bezug auf Wärmezähler nahe liegend, jedenfalls soweit diese – wenn auch ggf. mittelbar – auf eine effiziente Nutzung, insbesondere eine Einsparung von Energie abzielen.

Die HeizkostenV knüpft dagegen an die Ermächtigung des § 3a EnEG an und bezieht sich auf „die Verteilung der Kosten

1. des Betriebs zentraler Heizungsanlagen und zentraler Warmwasserversorgungsanlagen,
2. der eigenständig gewerblichen Lieferung von Wärme und Warmwasser, auch aus Anlagen nach Nummer 1, (Wärmelieferung, Warmwasserlieferung)

durch den Gebäudeeigentümer auf die Nutzer der mit Wärme oder Warmwasser versorgten Räume“ (§ 1 Abs. 1 HeizkostenV), zusätzlich „für die Verteilung der Kosten der Wärmelieferung und Warmwasserlieferung auf die Nutzer der mit Wärme oder Warmwasser versorgten Räume, soweit der Lieferer unmittelbar mit den Nutzern abrechnet und dabei nicht den für den einzelnen Nutzer gemessenen Verbrauch, sondern die Anteile der Nutzer am Gesamt-

¹⁰ Vgl. auch BR-Drucks. 570/08, S. 18.

¹¹ Näher *Lammel*, HeizKV, 4. Aufl. 2015, § 11 Rn. 16.

verbrauch zu Grunde legt“ (§ 1 Abs. 3 HeizkostenV). Dies zugrunde gelegt,¹² kann die HeizkostenV als Regelungsstandort für eine Pflicht zum Einbau von Wärmezählern in die zentrale Heizungs-/Warmwasseranlage dienen, wenn diese einen Beitrag zur Erfassung der Heizkosten und ihrer Verteilung leisten. Dies ist der Fall, wenn die mittels der Zähler erhobenen Daten geeignet sind, genauere Abrechnungen zu ermöglichen, als dies bislang der Fall ist. Ein „bloßes“ Effizienzmonitoring erscheint im Regelungszusammenhang der HeizkostenV in ihrer derzeitigen Fassung dagegen als Fremdkörper und nicht der Zwecksetzung der Verordnung entsprechend. Anderes gilt jedoch dann, wenn die gewonnenen Daten den Nutzern regelmäßig zur Verfügung gestellt und von ihnen genutzt werden können, um ihren Energieverbrauch besser einzuschätzen und zu steuern.¹³ In diesem Falle wäre auch ein „bloßes“ Monitoring von der Ermächtigungsgrundlage des § 3a EnEG gedeckt und würde sich in den Regelungszusammenhang der HeizkostenV einfügen.¹⁴

Diskussion der Argumente pro Zählerausstattung im Sinne der HeizkostenV

a) Erhöhung der Genauigkeit der Abrechnung

In § 9 „Verteilung der Kosten der Versorgung mit Wärme und Warmwasser bei verbundenen Anlagen“ wird vorgegeben, dass „der Anteil der zentralen Anlage zur Versorgung mit Wärme“ (Raumwärmeverbrauch) aus der Differenz von Brennstoffverbrauch (oder Energieverbrauch) und dem in der Regel gemessenen „Verbrauch der zentralen Warmwasserversorgungsanlage“ zu bilden ist. Bei dieser Differenzbildung entsteht ein Fehler, da die anteiligen Verluste des Heizkessels bei dieser Vorgehensweise vollständig dem Raumwärmeverbrauch zugeordnet werden. Zur Erhöhung der Genauigkeit der Verteilung sind die Verluste des Wärmeerzeugers (i.d.R. Heizkessels) anteilig dem Raumwärme- bzw. Warmwasserverbrauch zuzuordnen. Die Verluste können, soweit ein zusätzlicher Zähler für den Raumwärmeverbrauch installiert wird, wie folgt bestimmt werden (vgl. Abb. 1):

$$Q_{\text{Verlust}} = Q_{\text{End}} - Q_{\text{Nutz}}$$

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage der „Messrentabilität“. Dabei geht es um die Frage, welche Kosten sind für die Erhöhung der Verteilgenauigkeit angemessen sind, da eine Erhöhung der Verteilgenauigkeit noch keine zusätzliche Energieeinsparung bewirkt.

Beispiel: Soweit ein zusätzlicher Zähler installiert wird, ist bei Miete des Zählers mit Zusatzkosten in der Größenordnung von 150-250 € p.a. zu rechnen. Bei einem gasbeheizten Gebäude mit 1.000 m² Wohnfläche, einem pauschal nach Heizkostenverordnung angesetzten Warmwasserverbrauch von 32 kWh je m² Wohnfläche und Jahr und einem mittleren Jahresnutzungsgrad des Heizkessels für Bestandsanlagen von 80% beträgt die in den Bereich Warmwasser verschobene Wärmemenge etwa 8.900 kWh. Bei einem Gaspreis von 5 ct/kWh werden damit den Warmwasserkosten ein Betrag etwa 450 € zugeschlagen. Damit betragen die Kosten für die Erhöhung der Verteilgenauigkeit etwa 2,25 ct/kWh.

Aus dem Beispiel ist erkennbar, dass die Erhöhung der Verteilgenauigkeit mit sehr hohen Kosten verbunden und mit hoher Wahrscheinlichkeit keiner Wirtschaftlichkeitsbewertung standhält. Es ist zu prüfen, ob die Begrenzung der Nachrüstverpflichtung auf große Gebäude dem Wirtschaftlichkeitsargument Rechnung trägt: Die DENEFF fordert die Einführung eines

¹² Eine Änderung und Erweiterung des Regelungszwecks der HeizkostenV ist ebenfalls möglich. Erforderlich wäre insoweit zusätzlich zu den Bestimmungen über Wärmezähler eine entsprechende Ergänzung des § 1 HeizkostenV.

¹³ Nach BT-Drucks. 17/13527, S. 12, zielt die diesbezügliche Ermächtigung auf „Regelungen zur regelmäßigen unterjährigen Information des Nutzers über seinen anteiligen individuellen Verbrauch“ ab.

¹⁴ Vorzugswürdig und rechtssicherer wäre es jedoch, wenn sich argumentativ unmittelbar eine Verbindung zwischen der Datenerhebung und der Bestimmung der Heizkosten und ihrer Verteilung herstellen ließe.

zusätzlichen Zählers für Gebäude mit Wärmeerzeugern größer 100 kW bzw. mit mehr als 24 Wohneinheiten.¹⁵ Weiterhin ist zu prüfen, ob Einsparpotenziale durch das vorgeschlagene Effizienzmonitoring in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen werden können.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, warum die seit der letzten Novellierung der Heizkostenverordnung vorgeschriebene Installation eines Wärmezählers zur Ermittlung des Verbrauchs der zentralen Warmwasseranlage als wirtschaftlich erachtet wurde, obwohl auch der vorher übliche Rechengang hinreichend genaue Verbrauchsangaben liefert. Die hierfür in Auftrag gegebene Studie liefert dafür keine Anhaltspunkte¹⁶. Auf die Erhöhung der Verteilgenauigkeit wird im Gutachten aus dem Jahr 2009 ebenfalls nicht abgestellt.

b) Erhöhung des Anreizes, Energie zu sparen

Die Frage, ob durch eine genauere Verteilung der Heizkosten der Nutzer motiviert wird, mehr Energie zu sparen, muss verneint werden.

Beispiel: Wenn obiges Gebäude aus 10 Wohnungen à 100 m² besteht, würden sich die mittleren Warmwasserkosten pro Wohnung um 44 € pro Jahr erhöhen. Gleichzeitig würden sich die mittleren Kosten für Raumwärme um selbigen Betrag mindern.

Soweit die Nutzer in der Heizkostenabrechnung über die Effizienz der Heiz- und Warmwasseranlage informiert werden, kann das sowohl positive als auch negative Effekte hinsichtlich ihres Verhaltens auslösen. Auf jeden Fall wird eine geringe Effizienz einen nicht unerheblichen Teil der Bewohner dazu motivieren, vom Vermieter Verbesserungen einzufordern.

c) Weitere Aspekte

Im Folgenden sollen noch zwei Ansätze dargestellt werden, die eine Messung des Raumwärmeverbrauchs nötig machen würden:

Verteilung des Raumwärme- und Warmwasserverbrauchs nach kWh: Für die Erhöhung der Transparenz und zum besseren Verständnis bzw. zur besseren Vergleichbarkeit des Wärmeverbrauchs in Wohnungen macht es Sinn, den Verbrauch für Raumwärme und Warmwasser in Analogie zur Stromrechnung in kWh anzugeben. Soweit nach der Nutzwärmeabnahme verteilt würde, müsste dafür der Rechengang der Heizkostenabrechnung so angepasst werden, dass die Einheiten der Heizkostenverteiler über den gemessenen Nutzwärmebedarf in kWh umgerechnet werden. Beim Warmwasserverbrauch ist dies mit Hilfe des vorgeschriebenen Wärmezählers bereits heute möglich. Eine kWh-Angabe der Verbrauchswerte würde auch die Verständlichkeit unterjähriger Verbrauchsinformation oder angebotener zeitnaher Visualisierungen (z.B. in Apps bzw. Displays) erhöhen.

Heizkostensplittung zwischen Gebäudeeigentümern und Mietern: In Schweden werden 50% der Heizkosten vom Gebäudeeigentümer getragen. Dies erhöht den Anreiz des Gebäudeeigentümers, wärmetechnische Verbesserungen an Gebäuden durchzuführen bzw. die Anlagen effizient zu betreiben. In Abwandlung dieses Ansatzes für Deutschland könnten die Gebäudeeigentümer perspektivisch verpflichtet werden, die Verluste der Heiz- und Warm-

¹⁵ Vgl.

https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/plattform-energieeffizienz-arbeitspapier-waermelieferverordnung.pdf?__blob=publicationFile&v=2

https://www.bmiv.de/SharedDocs/Gesetzgebungsverfahren/Stellungnahmen/2018/Downloads/08022018_Stellungnahme_DEN_EFF,%20Gebaeudereiniger,GiH,%20VFW_RefE_MietAnpG.pdf?__blob=publicationFile&v=2

¹⁶ Vgl.

https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON042009.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Seite 94 ff

wasseranlagen selbst zu tragen. In diesem Fall wäre eine Untermessung des Raumwärmeverbrauchs ebenfalls notwendig.

Zusammenfassung

Effizienzinformationen zur Heiz- und Warmwasseranlage könnte zusammen mit Informationen zum Heizenergieverbrauch der Liegenschaft (in Anlehnung an den Energieverbrauchsausweis nach EnEV) in Form eines Beiblatts bzw. einer Zusatzinformation Bestandteil der jährlichen oder künftig unterjährigen Heizkostenabrechnung werden. Für ein solches Vorgehen ist eine schlüssige Begründung zu suchen, da ein Effizienzmonitoring nicht vordergründig der Zielsetzung der HeizkostenV entspricht. Die Effizienzinformationen haben keine steuernde Wirkung auf den Energieverbrauch der Bewohner, sondern adressieren vornehmlich Gebäudeeigentümer bzw. Hausverwaltungen. Die Potenziale hinsichtlich Effizienzerhöhung und Emissionsminderung werden im Projekt „Energienitoring“ BFEE 06/2017 dargelegt.

Für die meisten Gebäude sind Aussagen zur Effizienz der Warmwasserbereitung bereits auf Basis der heute erhobenen Daten möglich. Ebenfalls möglich sind Angaben zur Effizienz des Wärmeerzeugers für gemischt genutzte Gebäude, bei denen eine Vorerfassung im Sinne der HeizkostenV stattfindet.

Bei einem Großteil der Gebäude sind Informationen über die Effizienz des Wärmeerzeugers nur möglich, wenn der Raumwärmeverbrauch durch einen zusätzlichen Wärmezähler erfasst wird. Ein solcher Zähler erhöht die Verteilgenauigkeit der Heizkostenabrechnung und behebt einen systematischen Fehler im derzeitigen Rechengang. In diesem Fall hielte der zusätzlich erfasste Verbrauchswert Eingang in den Rechengang der Heizkostenverteilung. Die Verbesserung der Genauigkeit ist mit hohen Messkosten verbunden. Bei der Pflicht zur Messung könnte nach der Gebäude- und Anlagengröße differenziert werden. In diesem Zusammenhang ist der Vorschlag der DENEFF relevant, die den Einbau ab einer Wärmeerzeugergröße von mehr als 100 kW bzw. von Gebäuden mit mehr als 24 Wohneinheiten für sinnvoll hält. Weiterhin ist zu prüfen, ob die Kostenminderungspotenziale durch ein Effizienzmonitoring in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen werden können.

Soweit künftig Verbrauchswerte für Bewohner zur Erhöhung der Transparenz regelmäßig in kWh angegeben werden müssen (zusätzlich zur Anzahl Heizkostenverteilereinheiten bzw. m³ Warmwasser), wäre ein Wärmezähler, der den Raumwärmeverbrauch erfasst, hierfür ebenfalls eine Voraussetzung.