Empfehlungen zur Priorisierung von Modernisierungsmaßnahmen in Bezug auf die Wärmeversorgung kommunaler Gebäude

Hauptautor: Tim Schaffitzel [1]

Co-Autor:innen: Markus Blesl [1], Laura Seitl [2], Felix Schweikhardt [3]

[1] Universität Stuttgart,
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

[2] Gebäudemanagement Reutlingen (GMR) der Stadt Reutlingen

[3] Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA BW),
Zukunft Altbau

Herausgeber:
Reallabor Klima-RT-Lab klimartlab.reutlingen-university.de/

Zielgruppe:
Beschäftigte, die im Gebäudemanagement kommunaler Gebäude tätig sind

September 2026

Inhalt

1 Einleitung 1
2 Analyse des Gesamtgebäudebestands 2
2.1 Mess- und Berechnungsgrößen 2
2.2 Fragestellungen und grafische Auswertung 3
2.3 Priorisierungskriterien 4
3 Maßnahmenüberblick und -abhängigkeiten 6
4 Modernisierungsmaßnahmen für Gebäude mit Einzelversorgung 7
4.1 Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs 7
4.2 Priorisierung von Einzelmaßnahmen im Maßnahmenfahrplan 10
5 Weitere Effizienzmaßnahmen 13
5.1 Trinkwarmwasserbereitstellung 13
5.2 Rohrleitungsdämmung 13
5.3 Heizungs-Regelung und Automatisierung 13

Abkürzungsverzeichnis

kWh	Kilowattstunde
PV	Photovoltaik
WRG	Wärmerückgewinnung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Von der Endenergie für Wärme zum Heizwärmebedarf 3

Abbildung 2: Spezifischer Raumwärmeverbrauch über absolutem Raumwärmeverbrauch (aufstei-gend geordnet) differenziert nach Energieträgern (links) oder Gebäudetyp (rechts) für einen fiktiven Gebäudebestand 4

Abbildung 3: Spezifischer Raumwärmeverbrauch über absolutem Raumwärmeverbrauch (Vier-Quadratenmatrix) differenziert nach Energieträgern (links) oder Gebäudetyp (rechts) für einen fiktiven Gebäudebestand 5

Abbildung 4: Überblick und Kategorisierung von Modernisierungsmaßnahmen bei einem Gebäude mit Einzelversorgung..... 6

1 Einleitung

Hintergrund und Motivation

Die Transformation von Bestandsgebäuden hin zur Klimaneutralität ist nicht zuletzt für kommunale Akteure eine große Herausforderung. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, bedarf es ausreichender Ressourcen an Personal und finanziellen Mitteln. Für öffentliche Verwaltungsgebäude in Deutschland wurden 2025 3,2 Mrd. € an Investitionen geplant[1]. Dem stehen jedoch sechsmal so hohe Investitionsrückstände von 19,5 Mrd. € gegenüber. Aufgrund des finanziellen und personellen Ressourcenmangels muss ein pragmatischer Ansatz im Umgang mit der Problematik gefunden werden. Somit stellt sich die Frage, wie sich verantwortliche kommunale Akteure ambitionierten Klimazielen mit möglichst geringen Kosten und Aufwand nähern können.

Zielsetzung

Das Dokument soll aufzeigen, welche technoökonomischen Überlegungen hilfreich sind, um einen kommunalen Gebäudebestand strategisch im Hinblick auf die Transformation zur Klimaneutralität weiterzuentwickeln. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei sowohl auf der Priorisierung der einzelnen Gebäude als auch den Maßnahmen je Gebäude.

Fokus

Der Weg zur Erreichung von Klimaneutralität im Betrieb unterscheidet sich für verschiedene Arten der Energiebereitstellung (Raumwärme, Warmwasser, Kühlung, Elektrizität) eines kommunalen Nichtwohngebäudes deutlich. Raumwärme nimmt den größten Anteil am Endenergieverbrauch eines Gebäudes ein[2], der zudem im Falle einer erdgas- oder heizölbasierten Wärmebereitstellung ausschließlich auf fossilen Energieträgern basiert. Die Klimaneutralität bei Elektrizität wird im Wesentlichen durch die Dekarbonisierung der Stromherstellung an anderer Stelle erreicht; unterstützt durch die Installation von Photovoltaik-Anlagen und Speichern.

Daher liegt der Fokus dieses Dokuments auf der Verringerung und der Dekarbonisierung des Energieverbrauchs für Raumwärme.

[1] KfW Kommunalpanel 2025

[2] AG Energiebilanzen e.V.

2 Analyse des Gesamtgebäudebestands

2.1 Mess- und Berechnungsgrößen

In der Regel sind Messgrößen auf die Abrechnung von Energieträgern zurückzuführen. Erdgas wird in Kubikmetern gemessen und nach Multiplikation mit der Zustandszahl und dem Brennwert in Kilowattstunden abgerechnet. Um den Fernwärmeverbrauch in Kilowattstunden (mit dem Arbeitspreis) abzurechnen, werden die Temperaturen des Vor- und Rücklaufs gemessen sowie der Volumenstrom des Heizwassers. In Verbindung mit der Dichte und der spezifischen Wärmekapazität des Heizwassers ergibt sich die Energiemenge in kWh. Durch die leitungsgebundene Versorgung bei Erdgas und Fernwärme liegen in der Regel relativ präzise Jahresendenergieverbräuche vor. Heizöl wird wie Erdgas volumetrisch, in Litern, gemessen und durch Verrechnung mit dem Brennwert in Kilowattstunden umgerechnet. Da Heizöl am Verbrauchsort gelagert wird und um den Liefertermin abgerechnet wird, sind kalenderjahrbezogene Verbräuche nicht verfügbar, sofern keine gesonderten Ölzähler vorhanden sind oder Ölmessstände aufgenommen und umgerechnet werden.

Zur Bestimmung des Potenzials zur Verringerung der Endenergie für Raumwärme muss die Nutzenergie für Raumwärme bestimmt werden. Dazu kann entweder auf Basis der DIN V 18599 der Heizwärmebedarf ausschließlich rechnerisch bestimmt werden oder auf Basis der Endenergie an Wärme, die abgerechnet wird, der Heizwärme- bzw. Raumwärmeverbrauch messtechnisch ermittelt werden. Für die Berechnung nach Norm sind eine Reihe von Gebäudedaten wie Abmessungen oder U-Werte der Außenbauteile notwendig. Liegen Gebäudeabmessungen nicht in Plänen vor, können sie messtechnisch erhoben werden. Bei nicht verfügbaren U-Werten kann auf Literaturwerte von Typgebäuden zurückgegriffen werden. Nutzungsbezogene Daten wie die Luftwechselrate und die Belegungszeiten müssen meist auch geschätzt werden. Bei nicht ausreichend guter Datenlage kann eine Berechnung auf Basis der Endenergie präziser sein. Diese muss jedoch um den Trinkwarmwasseranteil, die Verluste des Wärmeerzeugers und die Verluste der Rohrleitungen und Heizkörper bereinigt werden, was Abbildung 1 zeigt. Eine präzise Berechnung setzt u.a. eine gesonderte messtechnische Erfassung des Trinkwarmwasserverbrauchs voraus, die nicht immer gegeben ist.

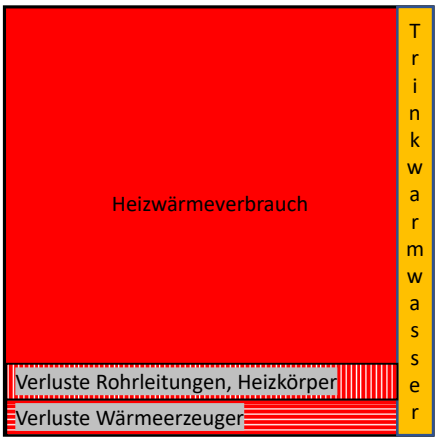


Abbildung 1: Von der Endenergie für Wärme zum Heizwärmeverbrauch

Bei mehreren Gebäuden pro Liegenschaft werden gebäudescharfe Wärmemengenzähler benötigt, um den Wärmeverbrauch der Liegenschaften zu differenzieren. Wird eine Liegenschaft durch einen gemeinsamen Wärmeerzeuger versorgt, liegen jedoch häufig keine gebäudescharfen Wärmeverbräuche vor. In diesem Fall können diese anteilig über den Anteil der beheizten Fläche an der gesamten beheizten Fläche der Liegenschaft abgeschätzt werden.

Fazit: Die Installation von Messgeräten zur Gewährleistung eines gebäudebezogenen jährlichen Energieverbrauchs mit Differenzierung in Raumwärme und Trinkwarmwasser sowie die digitale Erfassung der Gebäude mit ihren Abmessungen und weiteren Parametern verbessert sowohl das Monitoring als auch die Grundlage für technoökonomische Analysen von Modernisierungsmaßnahmen.

2.2 Fragestellungen und grafische Auswertung

Grundlage eines Maßnahmenfahrplans, der sowohl Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs als auch zur Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung beinhaltet, sind die Endenergie für Raumwärme (und Trinkwarmwasser) und die Nutzenergie für Raumwärme (Heizwärmebedarf). Für die Analyse eines Gebäudebestands werden beide Angaben gebäudescharf benötigt. Weiterhin sollte die beheizte Fläche bekannt sein, welche dem Energieausweis entnommen werden kann, um den spezifischen Raumwärmeverbrauch in $\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{m^2}}$ ermitteln zu können. Die Auswertung des Datensatzes kann folgende Fragen beantworten:

- Wie heterogen ist der Gebäudebestand in Bezug auf den absoluten und spezifischen Heizwärmebedarf?
- Welche Energieträger liegen welchen Verbrauchswerten zugrunde?
- Welche Gebäudetypen haben auffällige (hohe/niedrige) Verbrauchswerte?

Eine entsprechende grafische Auswertung für einen fiktiven Gebäudebestand mit 10 Gebäuden zeigt Abbildung 2.

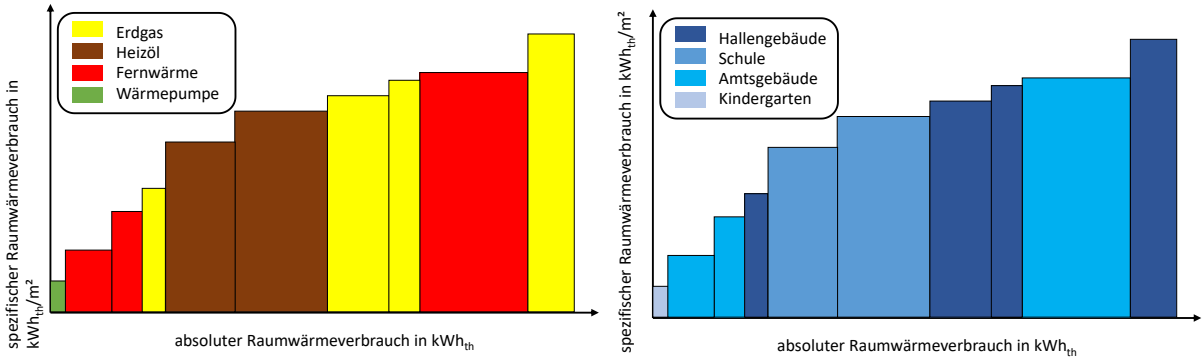


Abbildung 2: Spezifischer Raumwärmeverbrauch über absolutem Raumwärmeverbrauch (aufsteigend geordnet) differenziert nach Energieträgern (links) oder Gebäudetyp (rechts) für einen fiktiven Gebäudebestand

2.3 Priorisierungskriterien

Für die Priorisierung einzelner Gebäude im Gebäudebestand in Bezug auf Modernisierungsmaßnahmen kommen unterschiedliche Kriterien in Frage. Unabhängig von der Energieversorgung ist der *Instandhaltungszustand* ein wichtiges Kriterium, welcher häufig mit dem Baualter korreliert. Werden Instandhaltungsmaßnahmen und energetische Modernisierungsmaßnahmen verknüpft, können Synergien bei Planung und Invest gehoben werden. Der *Energieträger der Wärmebereitstellung* kann ebenfalls als Priorisierungskriterium dienen, bedarf aber aufgrund seines verbalen Charakters eines Rankings. Klimaneutrale Energieträger wie Biomasse oder Elektrizität mit niedrigem Emissionsfaktor können niedrig, Erdgas und Heizöl hoch gerankt werden. Fernwärme kann aus Gebäudesicht als klimaneutraler Energieträger gerankt werden. In Abhängigkeit der angestrebten Netztemperaturen des versorgenden Wärmenetzes, welche gebäudeseitig Maßnahmen zur Absenkung der Vorlauftemperaturen erfordern können, kann Fernwärme ein höheres Ranking zugewiesen werden.

Ausgehend von den Energieverbrauchskosten für die Wärmebereitstellung wäre der *absolute Raumwärmeverbrauch* ein geeignetes Kriterium. Die Wahrscheinlichkeit für eine hohe Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs korreliert mit dem *spezifischen Raumwärmeverbrauch* und kann vor diesem Hintergrund ein Priorisierungskriterium darstellen. Da sowohl ein hoher absoluter mit einem geringen spezifischen Raumwärmeverbrauch (z.B. großes modernes Gebäude) als auch ein niedriger absoluter mit einem hohen spezifischen Raumwärmeverbrauch (z.B. unsaniertes kleines Gebäude) einher gehen, eignen sich beide Verbrauchsangaben einzeln betrachtet nicht zur Priorisierung. Werden absoluter und spezifischer Raumwärmeverbrauch im Sinne eines zweidimensionalen Kriteriums verknüpft, kann die Priorisierung in Form einer Vier-Quadranten-Matrix durchgeführt werden (Abbildung 3).

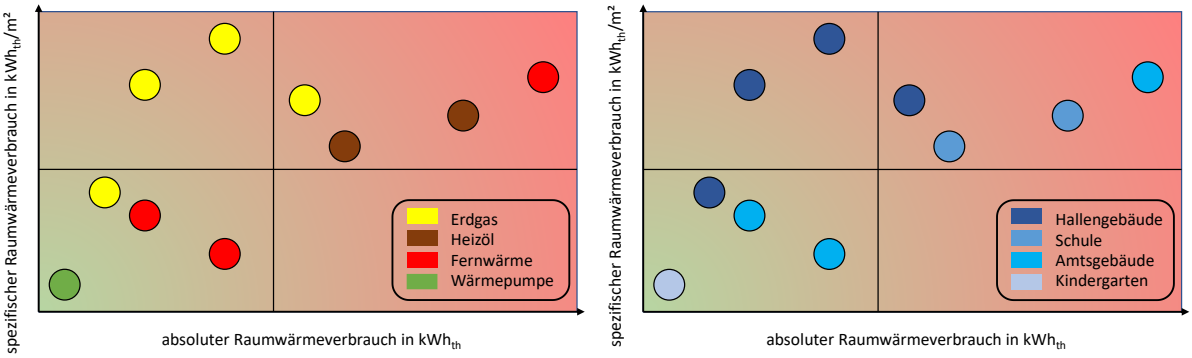


Abbildung 3: Spezifischer Raumwärmeverbrauch über absolutem Raumwärmeverbrauch (Vier-Quadratenmatrix) differenziert nach Energieträgern (links) oder Gebäudetyp (rechts) für einen fiktiven Gebäudebestand

Je weiter rechts und je weiter oben sich ein Gebäude wiederfindet, desto höher ist die Priorität und das Potenzial zur Senkung des Verbrauchs bzw. der CO_2-Emissionen bei fossil-basierter Wärmebereitstellung, was die Farbgebung mit grün (geringe Priorität) und rot (hohe Priorität) unterstreicht. Vor dem Hintergrund von Klimazielen sind auch die CO_2-Emissionen ein mögliches Priorisierungskriterium. Dieses Kriterium kombiniert die beiden vorherigen Kriterien *absoluter Raumwärmeverbrauch* und *Energieträger* im Sinne des Emissionsfaktors.
Tabelle 1 fasst die genannten Priorisierungskriterien in Bezug auf Gebäude innerhalb eines Gebäudebestands zusammen.

Tabelle 1: Eignung von Priorisierungskriterien für die Anwendung auf Einzelgebäude im Gebäudebestand

Priorisierungskriterium	**Eignung für Anwendung auf Einzelgebäude im Gebäudebestand**
Instandhaltungszustand*	Ja, berücksichtigt Energie
Energieträger der Wärmebereitstellung	Ja, mit zusätzlichem Ranking (z.B. Emissionsfaktor)
Raumwärmeverbrauch absolut	Nein, da keine Korrelation mit Raumwärmeverbrauch spezifisch
Raumwärmeverbrauch spezifisch	Nein, da keine Korrelation mit Raumwärmeverbrauch absolut
Raumwärmeverbrauch absolut und spezifisch (zweidimensional)	Ja, mit Hilfe von Vier-Quadranten-Matrix
CO_2-Emissionen	Ja, verbindet Energieträger (Emissionsfaktor) und Raumwärmeverbrauch absolut

*speziell für Wärmeerzeuger: Installationsjahr, Abgängigkeit

Die Wahl des richtigen Priorisierungskriteriums bleibt den Beschäftigten im Gebäudemanagement überlassen und sollte mit kommunalpolitischen Zielen abgestimmt werden. Im Idealfall wird mehrstufig priorisiert. So kann beispielsweise zunächst eine Priorisierung nach CO_2-

Emissionen durchgeführt werden. Anschließend findet für die höchst priorisierten Gebäude eine zweite Priorisierung nach Instandhaltungszustand statt. Wird pro Priorisierungsstufe ein Score vergeben, ergibt sich die finale Priorisierung aus der Summe der Scores.

Finanzielle Budgets sollten erst bei der Priorisierung von einzelnen Maßnahmen einbezogen werden. Eine zu frühe Berücksichtigung der Finanzmittel birgt das Risiko einer ineffizienten Priorisierung im Hinblick auf Bedarfe und Einsparungspotenzial von Kosten und Energie. Ein Praxistest, der u.a. die Gebäudenutzung und -peripherie mitberücksichtigt, ist abschließend unumgänglich und kann die kriterienbasierte Priorisierung nochmals verändern.

Die Auflistung der genannten Priorisierungskriterien erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

3 Maßnahmenüberblick und -abhängigkeiten

Zu einem vollständigen Maßnahmenfahrplan gehören sowohl Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung als auch Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs, wobei bei letzteren zwischen Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (Verringerung der Transmissionsverluste) und der Installation oder Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung (WRG) der Lüftungsanlage (Verringerung Lüftungswärmeverluste) unterschieden werden kann. Bei einzelversorgten Gebäuden und Gebäudenetzen wird die Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung durch einen Wärmeerzeugerwechsel vollzogen, der in der Regel mit einem Energieträgerwechsel einher geht. Abbildung 4 gibt für diesen Fall einen Überblick über die einzelnen Modernisierungsmaßnahmen. Wenn ein Gebäude an ein Wärmenetz angeschlossen ist, erfolgt die Dekarbonisierung indirekt durch den Wärmenetzbetreiber.

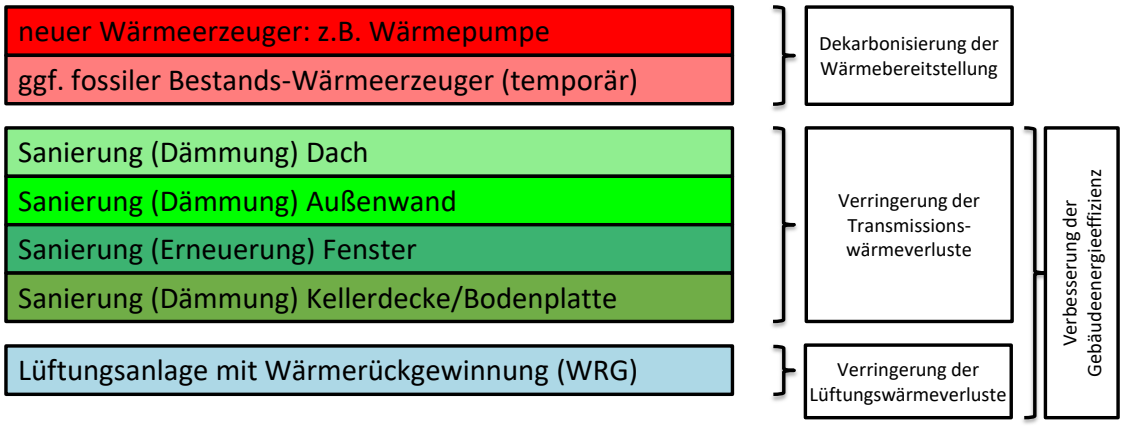


Abbildung 4: Überblick und Kategorisierung von Modernisierungsmaßnahmen bei einem Gebäude mit Einzelversorgung

Bei den Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung ist das Konzept von hybriden Heizsystemen berücksichtigt. Dabei wird der fossile Bestandskessel temporär parallel mit dem neuen Wärmeerzeuger, z.B. einer Wärmepumpe, betrieben. Der neue

Wärmeerzeuger wird so ausgelegt, dass er das Gebäude vollständig versorgen kann, nachdem die gemäß Maßnahmenfahrplan vorgesehenen Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs umgesetzt sein werden.

Auch wenn bei Gebäuden, die an ein Wärmenetz angeschlossen sind, die Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung in der Verantwortung des Netzbetreibers liegt, kann Handlungsbedarf an der Hausübergabestation bestehen, wenn diese aufgrund ihres Alters ersetzt werden muss oder wenn ein Wechsel von einer direkten zur einer indirekten Hausübergabestation ansteht. Die Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs können zur Verbrauchsreduktion umgesetzt werden. Für eine Absenkung der Temperaturen im Wärmenetz sind Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle förderlich oder sogar notwendig.

Bei den technischen Anlagen (Wärmeerzeuger/Hausübergabestation, Lüftungsanlagen mit WRG) ist der notwendige Platzbedarf zu beachten. Bei der Nutzung verfügbarer Flächen muss die Statik des Gebäudes, insbesondere bei Dachaufbauten oder PV, beachtet werden. Die Erschließung neuer Leitungswege kann notwendig sein, wenn verfügbare Flächen nicht in der Nähe der Bestandsanlagentechnik liegen; wenn schadstoffbehaftete Gebäudeteile durchdrungen werden müssen steigt der Aufwand. Durch eine sinnvolle Kombination von Modernisierungsmaßnahmen können auch Synergieeffekte entstehen. Bei der in Baden-Württemberg bestehenden PV-Pflicht nach einer grundlegenden Dachsanierung können sich Synergien beim Gerüstbau ergeben, was auch bei einer Kombination aus Dach- und Außenwandsanierung der Fall ist.

4 Modernisierungsmaßnahmen für Gebäude mit Einzelversorgung

4.1 Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs

Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs lassen sich unterscheiden in Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (Verringerung der Transmissionsverluste) und der Installation oder Nachrüstung einer WRG der Lüftungsanlage (Verringerung Lüftungswärmeverluste) (vgl. Kapitel 3). Zu den Sanierungsmaßnahmen der Gebäudehülle gehören mindestens die Sanierung von Dach, Außenwand und Fenstern, welche die Gebäudehüllflächen mit Kontakt zur Umgebungsluft darstellen. Zusätzlich können auch die Gebäudehüllflächen mit Kontakt zu unbeheizten Gebäudeteilen, sofern vorhanden, saniert werden, was der Sanierung der obersten Geschossdecke oder der untersten Geschossdecke (Kellerdecke) entspricht. Vergleicht man die Kostenstruktur und das Potenzial zur Energie- bzw. Kosteneinsparung, ergeben sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede, die in Tabelle 2 dargestellt sind.

Tabelle 2: Vergleich von Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und der Installation oder Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage

Aspekt	Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle	Installation oder Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage
Kenngröße Invest (spez.)	Einheit: € / m²	Einheit: € / m³/h
Fixe Kosten im Betrieb	vernachlässigbar / keine	Komponentenwartung der Lüftungsanlage
Variable Kosten im Betrieb	keine	Stromkosten für Hilfsstromverbrauch
Energieeinsparung	Raumwärme	Raumwärme; Strom im Falle einer Verbrauchsreduktion durch Effizienzsteigerung/Betriebsoptimierung der Neuanlage
Kosteneinsparung	Vermiedener Energieträgerbedarf durch gesenkten Raumwärmeverbrauch	Vermiedener Energieträgerbedarf durch gesenkten Raumwärmeverbrauch; ggf. vermiedener Strombedarf

Für Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarf sind der absolute Invest und das Potenzial der Raumwärmesenkung die zentralen Größen, die gemeinsam mit der Preisentwicklung des Energieträgers für die Raumwärmebereitstellung über die Wirtschaftlichkeit entscheiden. Die folgenden Korrelationsaussagen spiegeln die wichtigsten Zusammenhänge wieder.

- Je **größer** der spezifische Invest, desto **höher** der Invest.
- Je **größer** die Fläche der Gebäudehülle, desto **höher** der Invest der Sanierungsmaßnahme.
- Je **höher** die erforderliche Luftleistung, desto **höher** der Invest der Lüftungsanlage mit WRG.
- Je **größer** die Fläche der Gebäudehülle, desto **höher** das Potenzial zur Senkung der Transmissionswärmeverluste.
- Je **größer** die Differenz aus altem und neuen U-Wert des Gebäudehüllbereichs, desto **höher** das Potenzial zur Senkung der Transmissionswärmeverluste.
- Je **höher** der Wärmerückgewinnungsgrad der WRG der Lüftungsanlage, desto **höher** das Potenzial zur Senkung der Lüftungswärmeverluste.

Der absolute Invest berechnet sich als Produkt aus spezifischem Invest und der entsprechenden Bezugsgröße (Quadratmeter Gebäudehüllfläche oder erforderliche Luftleistung, vgl. Tabelle 2). Das Potenzial zur Raumwärmeminderung hängt neben den in den oben genannten Korrelationsaussagen genannten Größen von einigen weiteren Größen ab und lässt sich gemäß des Berechnungsverfahrens nach DIN V 18599 (vgl. Kapitel 2.1) ermitteln.

Zur Beantwortung der Frage, welche Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs als erstes umgesetzt werden sollten, ist eine Priorisierung notwendig. In Kapitel 2.3 bezog sich die Priorisierung auf die einzelnen Gebäude. Die Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarf, deren Priorisierung im Folgenden betrachtet wird, sind per se nicht gebäudespezifisch.

Durch den Einfluss von gebäudespezifischen Größen auf Priorisierungskriterien ergibt sich dennoch ein individueller Charakter der Maßnahmen je Gebäude.

Mit Blick auf kommunale Haushalte ist der Invest ein mögliches Priorisierungskriterium, wobei sowohl der *spezifische* als auch der *absolute Invest* denkbar sind. Eine Priorisierung nach spezifischem Invest erschwert die Vergleichbarkeit von Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und Lüftungsanlagen mit WRG aufgrund der unterschiedlichen Bezugseinheit (m² und m³/h). Bei Priorisierung nach absolutem Invest werden unter Umständen Sanierungsmaßnahmen priorisiert, die aufgrund des geringen Gebäudehüllflächenanteils nur geringfügige Raumwärmesenkungen nach sich ziehen. Das *Potenzial zur Senkung des Raumwärmebedarfs* ist ebenfalls ein mögliches Priorisierungskriterium. Aufgrund der Korrelation von Energie- und Kosteneinsparung durch die Energieträgerpreise ergibt sich hierbei eine Priorisierung nach Effektivität bezüglich Einsparung, wobei jedoch der notwendige Kapitaleinsatz unberücksichtigt bleibt. Durch eine Kombination der Priorisierungskriterien Invest und Potenzial zur Senkung des Raumwärmebedarfs kann die *spezifische Ausgabenannuität* abgeleitet werden.

$$\text{spezifische Ausgabenannuität}\left(\frac{€}{\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}\right) = \frac{\text{Invest (€)}\cdot\text{Annuitätenfaktor (a}^{-1}\text{)}}{\text{spezifische Raumwärmesenkung}\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\cdot\text{a}}\right)}$$

$$\text{Annuitätenfaktor} = \frac{i\cdot(1+i)^T}{(1+i)^T-1}$$

$$\text{spez. Raumwärmesenkung} = \frac{\Delta\text{Nutzenergie Raumwärme vor/nach Maßnahme (kWh)}}{\text{beheizte Fläche (m}^2\text{)}}$$

Diese ergibt sich aus dem Quotienten der Annuität des Invests und der spezifischen Raumwärmesenkung. Die Annuität des Invests berechnet sich durch Multiplikation der Investitionssumme mit dem Annuitätenfaktor, der vom Kalkulationszinssatz i und der technischen Lebensdauer T abhängt. Die spezifische Raumwärmesenkung in kWh/m²a ergibt sich als Differenz der Nutzenergie für Raumwärme, bezogen auf die beheizte Fläche, vor und nach der Maßnahmenumsetzung. Dadurch verbindet dieses Priorisierungskriterium Effektivität in Bezug auf eingesetztes Kapital und Senkung des Raumwärmeverbrauchs. Daneben sind auch die vermiedenen CO_2-Emissionen ein denkbares Priorisierungskriterium. Die Ermittlung der vermiedenen CO_2-Emissionen setzt aber voraus, dass sowohl der Emissionsfaktor des Energieträgers zur Wärmebereitstellung als auch dessen Verbrauchsmenge über die Lebensdauer der Maßnahme zur Raumwärmesenkung bekannt sind. Als alleiniges Priorisierungskriterium eignen sich die vermiedenen CO_2-Emissionen nicht, da keine Kostenkomponente berücksichtigt ist.

Tabelle 3 fasst die genannten Priorisierungskriterien in Bezug auf Gebäude innerhalb eines Gebäudebestands zusammen.

Tabelle 3: Eignung von Priorisierungskriterien für die Anwendung auf Erstmaßnahmen zur Raumwärmesenkung für ein Einzelgebäude

Priorisierungskriterium	Eignung für Anwendung auf Maßnahmen zur Raumwärmesenkung für ein Einzelgebäude
Invest (spezifisch)	Nein; Vergleich von Sanierungsmaßnahmen und Lüftungsanlagen wegen unterschiedlicher Bezugseinheit nicht möglich
Invest (absolut)	Nein; lässt die Effektivität (Maß der Raumwärmesenkung) unberücksichtigt
Potenzial zur Senkung des Raumwärmebedarfs	Nein; lässt absolute Einsparungen und Kosten unberücksichtigt.
Spezifische Ausgabenannuität	Ja; Verknüpfung von absolutem Invest und Potenzial zur Senkung des Raumwärmebedarfs
Vermiedene CO_2-Emissionen	Bedingt; Energieträger der Wärmebereitstellung und dessen Verbrauch und – v.a. bei Strom – der Emissionsfaktor sind langfristig unbekannt, finanzielle Auswirkungen sind nicht ausreichend berücksichtigt

4.2 Priorisierung von Einzelmaßnahmen im Maßnahmenfahrplan

Die Ausführungen zu den Priorisierungskriterien in Kapitel 4.1 haben den gegenseitigen Einfluss mehrerer Maßnahmen bei gestaffelter Umsetzung nicht berücksichtigt. Im Folgenden geht es darum, nicht nur die Frage zu beantworten, welche Maßnahme zur Raumwärmesenkung als erstes umgesetzt werden sollte sondern zu ermitteln, welche Modernisierungsmaßnahmen inklusive der Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung wann und in welcher Reihenfolge umgesetzt werden sollten.

Gegenseitige Wechselwirkungen der Modernisierungsmaßnahmen

Durch eine zeitlich gestaffelte Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen ergeben sich bei einer ganzheitlichen technoökonomischen Betrachtung gewisse Wechselwirkungen. Wenn Maßnahmen zur Raumwärmesenkung nach dem Einbau eines klimaneutralen Wärmeerzeugers umgesetzt werden, verringern sie zwar den Raumwärmeverbrauch und entsprechende Energieträgerkosten, vermeiden aber CO_2-Emissionen nur noch indirekt auf der Ebene von stromerzeugenden Kraftwerken, indem die (fossile) Spitzenlast fürs Stromnetz im Winter reduziert wird. Durch die zeitlich versetzte Umsetzung, ergibt sich ein dynamisch verändernder Gebäudezustand, der durch die Effekte von teilweise mehreren Modernisierungsmaßnahmen gleichzeitig beeinflusst wird, was zur gegenseitigen Beeinflussung aller Maßnahmen in Bezug auf Energieeinsparung/-bereitstellung und die entsprechenden Energieträgerkosten führt. Die Wirtschaftlichkeit einer einzelnen Maßnahme ist auch deswegen vom Umsetzungszeitpunkt abhängig, weil sich Preispfade verändern - sowohl bei Energieträgern als auch bei Materialien und Anlagen, was die Höhe der Investitionen beeinflusst.

Definition eines Maßnahmenfahrplans

Ein kostenoptimaler Maßnahmenfahrplan ist grundsätzlich immer der, bei dem alle Modernisierungsmaßnahmen zum nächstmöglichen Zeitpunkt umgesetzt werden, sofern sie einzeln

wirtschaftlich (Amortisationsdauer < technische Lebensdauer) sind. Dies ist aus vielerlei Gründen selten möglich. Es stellt sich daher vor allem die Frage, wann der Wechsel des Wärmeerzeugers eingeplant wird und wie viele Maßnahmen zur Raumwärmesenkung vorher/nachher umgesetzt werden. Die Priorisierung der ersten Maßnahme kann bereits im Voraus vorgenommen werden (Kapitel 4.1). Die weitere Maßnahmenreihenfolge kann durch folgende Auswahl an relevanten Gegebenheiten weiter eingegrenzt werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Fragestellungen mit Einfluss auf die Reihenfolge von Einzelmaßnahmen im Maßnahmenfahrplan

Fragestellung	Hintergrund
Wie viele Modernisierungsmaßnahmen können pro Jahr umgesetzt werden?	Höhe kommunaler Budgets
Bei welchen Teilen der Gebäudehülle besteht ohnehin Sanierungsbedarf?	Synergieeffekte
Wann erreicht der Bestandswärmeerzeuger voraussichtlich das Ende seiner Lebensdauer?	Vermeidung von Zwischenlösungen
Ist eine Sanierung des Dachs oder der Außenwand Voraussetzung für die Installation einer PV-Anlage?	Vermeidung von Lock-In-Effekten
Welche räumlichen Umnutzungen sind möglich?	Platzbedarf für Wärmebereitstellung und Lüftungsanlagen mit WRG

Ist der Maßnahmenfahrplan definiert, indem jeder Maßnahme ein Umsetzungsjahr zugeordnet ist, kann eine technoökonomische Betrachtung erfolgen.

Gestehungskosten als Bewertungsgröße für Einzelmaßnahmen in Abhängigkeit des Maßnahmenfahrplans

Zur technoökonomischen Bewertung der Wärmeerzeugung werden häufig Wärmegestehungskosten ermittelt. Sie sind eine technologieabhängige Bewertungsgröße, die durch eine Vollkostenbetrachtung zur energiewirtschaftlichen Vergleichbarkeit von Technologien dienen soll. Diesen Ansatz kann man zum einen auf Maßnahmen zur Raumwärmesenkung und zum anderen für den Wechsel eines Wärmeerzeugers adaptieren.

Für Maßnahmen zur Raumwärmesenkung wird dabei die Frage beantwortet, wie viel ct man aufwenden muss oder sparen kann, wenn 1 kWh Raumwärme vermieden wird (Gestehungskosten der eingesparten Raumwärme). Beim Heizungswechsel lautet die Fragestellung, wie viel ct man aufgrund des Wärmeerzeugerwechsels für 1 kWh Endenergie aufwenden muss oder sparen kann (Gestehungskosten des Wärmeerzeugerwechsels).

$$\text{Gestehungskosten der eingesparten Raumwärme } \left(\frac{\text{ct}}{\text{kWh}}\right) = \frac{\text{Kapitalwert (€)} \cdot \text{Annuitätenfaktor } (\text{a}^{-1})}{-\text{Einsparung Raumwärme pro Jahr } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{a}}\right)}$$

$$\text{Gestehungskosten des Wärmeerzeugerwechsels } \left(\frac{\text{ct}}{\text{kWh}}\right) = \frac{\text{Kapitalwert (€)}}{-\sum_{t=0}^{T} \text{Endenergie}_t \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{a}}\right)}$$

Das negative Vorzeichen im Nenner stellt sicher, dass wirtschaftliche Maßnahmen mit negativen Gestehungskosten korrespondieren und umgekehrt.

Die Gestehungskosten sind das bevorzugte Kriterium, um Einzelmaßnahmen im Maßnahmenfahrplan zu bewerten. Die oben beschriebene Ausgabenannuität eignet sich dagegen für die Priorisierung, der ersten oder nächsten Maßnahme aus einem Bündel mehrerer Maßnahmen, die zur Umsetzung sinnvoll sind.

Kapitalwert als Bewertungsgröße für den Maßnahmenfahrplan als Summe aller Einzelmaßnahmen

Um den Maßnahmenfahrplan als Ganzes hinsichtlich eines Vergleichs mit anderen Maßnahmenfahrplänen zu priorisieren, eignet sich der Kapitalwert aller Maßnahmen. Er vereint alle Kostenströme inklusive der negativen Kostenströme, die auf Einsparung durch Raumwärmesenkung oder Energieträgerwechsel zurückzuführen sind. Die Ermittlung der Kapitalwerte aller Maßnahmen ist auch Bestandteil der Ermittlung der oben beschriebenen Gestehungskosten. Die Summe aller Investitionen als Priorisierungskriterium wäre auch denkbar. Problem dabei ist, dass zur Vergleichbarkeit von Maßnahmenfahrplänen der neue Wärmeerzeuger nicht bezüglich seiner thermischen Leistung variieren sollte, da diese den Invest beeinflusst. Da die Auslegung der thermischen Leistung des Wärmeerzeugers jedoch von Art und Umfang der zuvor umgesetzten Maßnahmen zur Raumwärmesenkung abhängt und damit nicht konstant ist, eignet sich die Summe des Invests aller Modernisierungsmaßnahmen nicht als Priorisierungskriterium.

5 Weitere Effizienzmaßnahmen

5.1 Trinkwarmwasserbereitstellung

Neben der Raumwärme ist Trinkwarmwasser eine weitere Wärmeanwendung in Gebäuden. In Gebäuden mit gutem Dämmstandard ist die Vorlauftemperatur niedriger, als die Minimaltemperatur, die beim Trinkwarmwasser den Schutz vor Legionellen sicherstellt. Die Umstellung auf eine getrennte Bereitstellung von Raumwärme mit dezentraler Erzeugung von Trinkwarmwasser in Gebäuden mit geringem Warmwasserbedarf löst das Legionellenproblem und reduziert die großen Stillstandsverluste in großen zentralen Warmwasserspeichern.

5.2 Rohrleitungsdämmung

Durch die Erneuerung oder Verstärkung der Dämmung von Rohrleitungen können Wärmeverluste reduziert werden, die bei der Wärmeverteilung, also zwischen der Wärmebereitstellung beim Wärmeerzeuger und der Wärmeabgabe an den Heizflächen auftreten. Dies senkt den Endenergieverbrauch an Wärme, ohne dass der Heizwärmebedarf durch Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs verringert wird.

5.3 Heizungs-Regelung und Automatisierung

Die Optimierung der Heizungsregelung und ein hydraulischer Abgleich sorgen dafür, dass die Wärme zur richtigen Zeit in der richtigen Menge am richtigen Ort zur Verfügung gestellt wird und Überheizungen vermieden werden. Hierin liegt ein großes Potential für Einsparungen. Das Verhalten der Nutzenden in Gebäuden hat einen großen Einfluss auf den tatsächlichen Wärmeverbrauch. Durch Heizungs-Regelung und Automatisierung kann es den Nutzer:innen erleichtert werden, sich energiesparend zu verhalten, da damit Ineffizienzen durch das Verhalten der Nutzer:innen verringert werden. Für ein Monitoring von Maßnahmen zur Senkung des Raumwärmebedarfs hinsichtlich der Frage, ob die erwartete Senkung des Raumwärmebedarfs und der entsprechenden Energiekosten tatsächlich eintreten, können Regelungs- und Automatisierungsanwendungen die notwendige Datengrundlage bereitstellen.

Haftungsausschluss

Die Inhalte dieses Dokuments wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte wird keine Gewähr übernommen.

Urheber- und Nutzungsrecht

Die durch den Herausgeber erstellten Inhalte und Werke auf diesen Seiten unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Dieses Dokument steht unter einer Creative Commons Lizenz 4.0 BY. Das bedeutet, dass sie vervielfältigt, verbreitet, bearbeitet und auf sonstige Arten genutzt werden dürfen, sofern dabei stets die Urheber, die Quelle des Textes und die o.g. Lizenz genannt wird.

Das Klima RT-Lab wird gefördert von

Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST