

Nr. 10

Veröffentlicht: 02/2024
Bestell-Nr.: 441

Nutzung von DX-Wärmepumpen in Split-Ausführung zur Unterstützung der Dekarbonisierung und zur kurzfristigen Gaseinsparung

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH
Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann
Dipl.-Ing. Anne Hartmann



Nutzung von DX-Wärmepumpen in Split Ausführung zur Unterstützung der Dekarbonisierung und zur kurzfristigen Gaseinsparung

Executive Summary

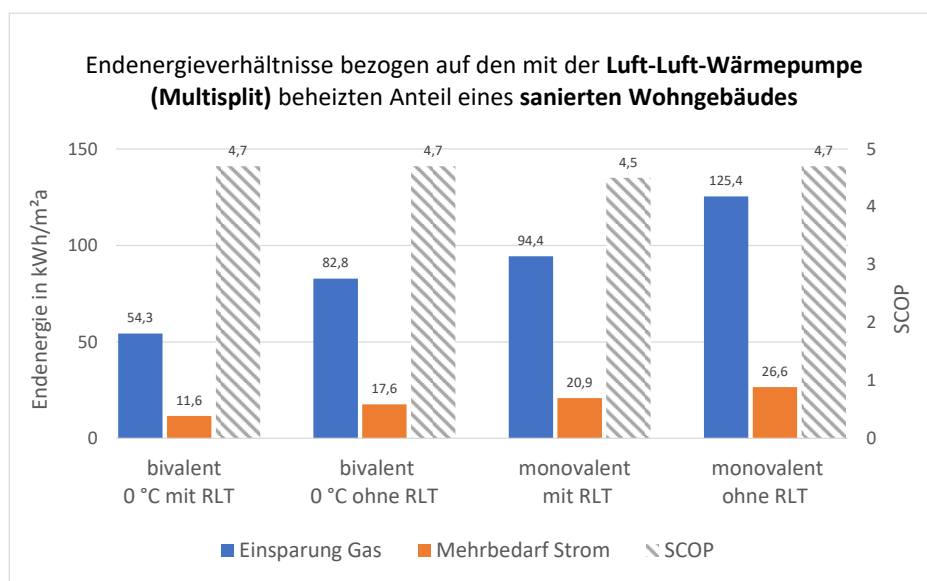
Luft-Luft-Wärmepumpen mit direkter Verdampfung (DX-Systeme) kamen in der Vergangenheit überwiegend für die Gebäudekühlung zum Einsatz. Sie arbeiten aber auch im Heizbetrieb sehr energieeffizient, da sie wie andere Wärmepumpen Energie aus der Umgebung nutzen. So sind beispielsweise die Mindestanforderungen der Ecodesign-Verordnung an die Effizienz im Heizbetrieb für Luft-Luft-Wärmepumpen mindestens so hoch wie die Anforderungen an wassergeführte Wärmepumpen.

Rechnet man die aktuell geltenden Mindestwerte nach BEG-Förderung für diese Wärmepumpen in einen SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) bzw. eine Jahresarbeitszahl nach EN 14825 um, so ergeben sich folgende Werte:

Luft-Luft-Wärmepumpen ≤ 12 kW $\eta_s \geq 181$ % SCOP $\geq 4,6$
 Luft-Luft-Wärmepumpen > 12 kW $\eta_s \geq 150$ % SCOP $\geq 3,8$

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines vom FGK geförderten Projekts am Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden (ITG Dresden) untersucht, wieviel bereits installierte Systeme zur Dekarbonisierung beitragen können, wenn sie im Heizbetrieb eingesetzt werden. Die Wissenschaftler stellten den Strombedarf für den Betrieb von Luft-Luft-Wärmepumpen der Einsparung an Gas (jeweils Endenergie) gegenüber. Betrachtet wurden ein Referenz-Einfamilienhaus sowie ein Referenz-Bürogebäude. Darüber hinaus wurde untersucht, welchen Gesamtbeitrag die Systeme zukünftig erreichen können, wenn für sie ein Marktwachstum zugrunde gelegt wird und der Heizfall im Vordergrund steht.

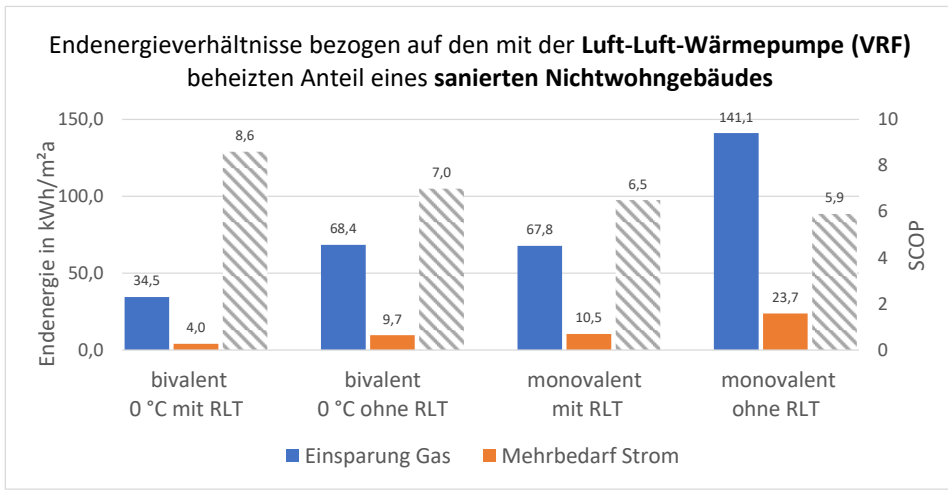
Die Ergebnisse belegen, dass Luft-Luft-Wärmepumpen mit direkter Verdampfung (DX-Geräte) einen erheblichen Beitrag zum Erreichen der Klimaziele und zum Verringern unserer Abhängigkeit von Energieimporten leisten können: Wenn mit den zwischen 2008 und 2022 installierten Split-Geräten auch geheizt würde, könnten sie demnach insgesamt etwa 13,3 MW Heizleistung bereitstellen. Der Bestand an VRF-Geräten könnte weitere etwa 5,1 MW Heizleistung beisteuern. Bei einer typischen Heizlast von 50 bis 100 W/m² im Gebäudebestand deckt dies etwa 3 bis 6 % der Heizlast von Wohngebäuden und rund 1 bis 3 % der Heizlast von Nichtwohngebäuden (Stand 2022). Bei DX-Geräten, die vor 15 Jahren eingebaut wurden, war die Nutzung zu Heizzwecken zwar die Ausnahme, in den letzten Jahren hat sie jedoch immer weiter zugenommen.



Berechnete Einsparung an Endenergie Gas (blau) und dafür notwendiger Strombedarf (orangerot) beim Einsatz eines Multi-Split-Systems zu Heizzwecken in einem sanierten Einfamilienhaus. Der SCOP (schraffiert) liegt in allen betrachteten Fällen über 4,5.

Für das betrachtete Referenz-Wohngebäude – ein saniertes Einfamilienhaus – ergaben die Berechnungen einen SCOP zwischen 4,5 und 4,7. Untersucht wurde der bivalente Betrieb eines Multi-Split-Systems in drei Räumen. Damit erreichen die Einsparungen bis zu 125 kWh/m²a.

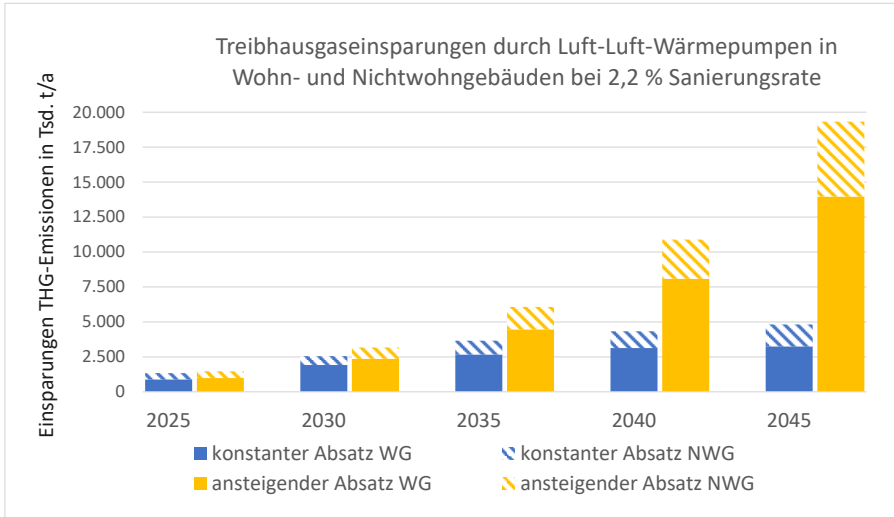
**Referenz-
Wohngebäude:
SCOP ≥ 4,5**



Berechnete Einsparung an Endenergie Gas und dafür notwendiger Strombedarf beim Einsatz eines VRF-Systems zu Heizzwecken in einem sanierten Bürogebäude. Die Grafik zeigt, dass die betrachteten VRF-Systeme einen SCOP von mindestens 5,9 erreichen.

Den Berechnungen für den Nichtwohngebäude-Bereich liegt ein Bürogebäude zugrunde, das nach GEG 2023 saniert ist. Die möglichen Einsparungen an Gas oder Heizöl erreichen bis zu 140 kWh/m²a, der Endenergiebedarf an Strom für die DX-Systeme ist mit 24 bis 27 kWh/m²a um den Faktor 4 bis 6 niedriger als die errechnete Einsparung an fossilen Brennstoffen. Daraus ergibt sich ein SCOP von rund 6.

**Referenz-
Nichtwohngebäude:
SCOP ≥ 5,9**



Die Prognose ergibt, dass im Jahr 2045 über 19.000 t an THG-Emissionen eingespart werden können, wenn der Absatz an DX-Wärmepumpen jährlich um 10 % steigt (gelb). Angenommen wurde eine hohe Sanierungsrate der Gebäudehülle von 2,2 % jährlich. Bei einer niedrigeren Sanierungsrate ist das Einsparpotenzial durch DX-Wärmepumpen noch höher.

Eine Prognose des Einsparpotentials für Deutschland ergab, dass im Jahr 2045 CO₂-Einsparungen von bis zu 20 Mio. t möglich sind, wenn der Geräteabsatz um jeweils 10 % jährlich steigt und das Potential im Wohn- sowie Nichtwohnbereich voll ausgeschöpft wird. Bezogen auf das Ziel der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen bis 2045 auf nahezu Null zu senken, entspricht dies einem Anteil von 20 % im Gebäudebereich.

**Im Jahr 2045 sind
CO₂-Einsparungen
von 20 Mio t möglich**



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Prof. Oschatz - Prof. Hartmann - Dr. Winiewska - Prof. Werdin

Nutzung von DX-Wärmepumpen in Split-Ausführung zur Unterstützung der Dekarbonisierung und zur kurzfristigen Gaseinsparung

Endbericht

Auftraggeber:

Fachverband Gebäude-Klima e.V.

Auftragnehmer:

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

(kurz: ITG Dresden)

Bearbeitung:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann

Dipl.-Ing. Anne Hartmann

Mai 2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Aufgabenstellung und Hintergrund	3
2 Arbeitspaket 1: Grundlagenermittlung	5
2.1 Hochrechnung Bestandsanlagen	5
2.2 Leistungsdaten im Heizbetrieb	7
2.3 Statistik Gebäudebestand und Aufteilung DX-Systeme	9
3 Arbeitspaket 2: Einsparpotenzial im Wohngebäudebestand	14
3.1 Gebäude	14
3.2 Anlagentechnik	15
3.3 Einsparpotenzial	15
4 Arbeitspaket 3: Einsparpotenzial bei Wohngebäudesanierungen	24
4.1 Gebäude	24
4.2 Anlagentechnik	24
4.3 Einsparpotenzial	25
5 Arbeitspaket 4a: Einsparpotenzial im Nichtwohngebäudebestand	34
5.1 Gebäude	34
5.2 Anlagentechnik	36
5.3 Einsparpotenzial	36
6 Arbeitspaket 4b: Einsparpotenzial bei Nichtwohngebäudesanierungen	41
6.1 Gebäude	41
6.2 Anlagentechnik	41
6.3 Einsparpotenzial	41
7 Arbeitspaket 5: Gesamtbewertung	45
7.1 Randbedingungen	45
7.2 Wohngebäude	45
7.3 Nichtwohngebäude	52
7.4 Gesamtbeitrag DX-Systeme	59
7.5 Netzbelastung	61
8 Zusammenfassung	62
Literaturverzeichnis	64

1 Aufgabenstellung und Hintergrund

Zur Sicherstellung der Gas- und Wärmeversorgung sind effiziente und kurzfristig verfügbare Heizsysteme notwendig, die den Gasverbrauch senken können und die nicht zu einem extremen Anstieg des Strombedarfs führen. Zusätzlich sind mittelfristige Sanierungslösungen (auch für Teilausstattung) mit hoch effizienten Wärmepumpen notwendig, die sich vergleichsweise einfach, schnell und ohne aufwendige Komplettsanierung kostengünstig installieren lassen.

DX-Raumklimageräte mit Wärmepumpenfunktion (Außenluft-Raumluft-Wärmepumpen) in Split-, Multi-Split- oder VRF-Ausführung sind hierbei mögliche Lösungsoptionen. Diese Geräte/Systeme stellen bis zu einer Außentemperatur von bis zu -25°C Heizenergie zur Verfügung und sind in der Effizienz durchaus vergleichbar mit Luft-Wasser-Wärmepumpen. Durch den Entfall des Wärmeübergangs auf das Wassersystem sind tendenziell sogar etwas höhere Effizienzen zu erwarten, dies gilt besonders im un- oder teilsanierten Gebäudebestand, wo Luft-Wasser-Wärmepumpen höhere Vorlauftemperaturen benötigen.

In Deutschland sind viele derartige Systeme installiert, diese wurden aber in der Vergangenheit nur selten für die Heizung genutzt. Je nach Auslegungsfall sind die Geräte auch geeignet, die notwendige Heizung monovalent zur Verfügung zu stellen (z. B. in Kombination mit Lüftungsanlagen mit WRG oder Trinkwasser-Wärmepumpen). Dies trifft auf den gesamten Gebäudebestand zu, da diese Systeme unabhängig vom installierten Heizverteilsystem arbeiten.

Mit der vorliegenden Studie soll das Potenzial des Einsatzes von DX-Wärmepumpen für die Gebäudebeheizung von Wohn- und Nichtwohngebäuden im Bestand und im Neubau im Rahmen der Dekarbonisierung und der Versorgungssicherheit betrachtet werden.

Im Einzelnen sollen folgende Aufgabenpakete bearbeitet werden.

Arbeitspaket 1: Grundlagenermittlung

- Hochrechnung der Bestandsanlagen aus den Verkaufszahlen der letzten Jahre
- Ermittlung der durchschnittlichen Leistungsdaten für die DX-Raumklimageräte im Heizbetrieb
- Abschätzung der Aufteilung auf Wohn- und Nichtwohngebäude

Arbeitspaket 2: Abschätzung des Einsparpotenzials im Wohngebäudebestand

- Einsatz der DX-Systeme (Split oder Multisplit) in einzelnen Wohnräumen (1 oder 3 im EFH) unter Weiterbetrieb der bestehenden Heizungsanlage (fossiler Energieträger)
- Variation der Bivalenztemperatur ($0/-5/-15^{\circ}\text{C}$)
- Abschätzung der Energie und CO_2 -Einsparungen

Arbeitspaket 3: Abschätzung des Einsparpotenzials bei Wohngebäudesanierungen

- Einsatz der DX-Systeme (Split oder Multisplit) in einzelnen Wohnräumen (1 oder 3 im EFH) bei Gebäudesanierung auf EH70 unter Weiterbetrieb der bestehenden Heizungsanlage (fossiler Energieträger)
- Variation der Bivalenztemperatur ($0/-5/-15^{\circ}\text{C}$)

Arbeitspaket 1: Grundlagenermittlung

- Abschätzung der Energie und CO₂-Einsparungen

Arbeitspaket 4a: Abschätzung des Einsparpotenzials im Nichtwohngebäudebestand

- Einsatz der DX-Systeme (VRF) in einer einzelnen Etage (Bürogebäude) unter Weiterbetrieb der bestehenden Heizungsanlage (fossiler Energieträger)
- Variation der Bivalenztemperatur (0/-5/-15°C)
- Abschätzung der Energie und CO₂-Einsparungen

Arbeitspaket 4b: Abschätzung des Einsparpotenzials bei Nichtwohngebäudesanierungen

- Einsatz der DX-Systeme (VRF) in einer einzelnen Etage (Bürogebäude) bei Gebäudesanierung auf EH 70 unter Weiterbetrieb der bestehenden Heizungsanlage (fossiler Energieträger)
- Variation der Bivalenztemperatur (0/-5/-15°C)
- Abschätzung der Energie und CO₂-Einsparungen

Arbeitspaket 5: Gesamtbewertung

- Kumulation der Einzelergebnisse
- Darstellung zusätzlicher Elektroenergiebedarf (Leistung und Arbeit) für typischen Wintertag

2 Arbeitspaket 1: Grundlagenermittlung

2.1 Hochrechnung Bestandsanlagen

Als Basis für die Abschätzung des Potenzials von DX-Wärmepumpen für die Gebäudebeheizung dienen Verkaufszahlen der Hersteller der Jahre 2015 bis 2022, die für die Jahre 2015 bis einschließlich 2017 jahresweise und anschließend quartalsweise vorliegen. Zusätzlich können die Verkaufszahlen für die Jahre 2012 bis 2014 basierend auf den Entwicklungen gegenüber den Vorjahren abgeschätzt werden. Es stehen somit Daten für einen Zeitraum von 11 Jahren in unterschiedlicher Detaillierung zur Verfügung. Diese müssen, da die Befragung nicht den kompletten Markt abdeckt, noch auf den Gesamtmarkt korrigiert werden. Dies erfolgt auf Basis einer abgeschätzten Marktabdeckung von 60 % für Split-/Multisplit-Geräte und 90 % für VRF-Geräte. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 für die Split-Außeneinheiten und in Abbildung 2 für die VRF-Außeneinheiten als gefüllte blaue Balken dargestellt. Es wird von einer mittleren Lebensdauer der Geräte von 15 Jahren ausgegangen, so dass für eine Prognose der aktuell in Betrieb befindlichen Geräte eine Rückrechnung bis 2008 notwendig ist. Für diese Jahre werden die mittleren Verkaufszahlen der Jahre 2012 bis 2014 angenommen.

Für die zukünftige Entwicklung werden zwei Szenarien betrachtet, die jeweils vermutlich extreme Fälle darstellen und damit den möglichen Bereich abdecken. Szenario 1 geht von 0 % Absatzsteigerung gegenüber dem mittleren Absatz der Jahre 2020 bis 2022 aus. Dieses Szenario ist in den Abbildungen in Rot dargestellt. Die gestrichelte Linie stellt dabei das Austauschgeschäft, also den Ersatz von Geräten, die die maximale Lebensdauer von 15 Jahren erreicht haben, dar. Die durchgezogene Linie sind die in den jeweiligen Jahren prognostizierten Verkaufszahlen. Der markierte Bereich dazwischen ist der Zuwachs an Geräten, der prognostiziert wird. Ein Zuwachs ist im Szenario mit 0% Steigerung ab dem Jahr 2038, also 15 Jahre nach Beginn der Prognose und damit dem Erreichen der Lebensdauer der neu eingebauten Geräte, nicht mehr vorhanden. Die Anzahl der im Betrieb befindlichen DX-Geräte bleibt dann konstant (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).

Szenario 2 beschreibt eine 10 % Absatzsteigerung jeweils gegenüber dem Vorjahr. Während das Austauschgeschäft zu Beginn für beide Szenarien identisch ist, steigen die Absatzzahlen im Steigerungsszenario schnell an und führen schnell zu einem Anstieg der Geräte in Betrieb.

Die Zahl der verkauften Split- und Multisplit-Außeneinheiten lag in den Jahren 2020 bis 2022 zwischen 156.000 bis 199.000 Einheiten. Diese werden mit 236.000 bis 289.000 Inneneinheiten kombiniert. Dies ergibt ein Verhältnis von etwa 1,5 Inneneinheiten pro Außeneinheit. Mit einer Lebensdauer von 15 Jahren befinden sich aktuell knapp 5,0 Millionen Außeneinheiten im Einsatz. Diese Zahl steigt in den Prognosen auf 6,5 Millionen Außeneinheiten ohne Absatzsteigerung und knapp 30 Millionen Außeneinheiten mit Absatzsteigerung. Mit einem mittleren COP nach Eurovent-Datenbank bei -7°C von 2,75 und einem EER von 3,6 ergibt sich eine installierte Heizleistung von etwa 13.300 MW. Unter Annahme einer mittleren Heizleistung zwischen 50 W/m^2 und 100 W/m^2 ergibt sich eine zu beheizende Nutzfläche von maximal 123 bis 246 Mio. m^2 .

Im selben Zeitraum (2020 bis 2022) wurden zwischen 14.300 und 15.100 VRF-Außeneinheiten verkauft. Für die VRF-Geräte ergibt sich ein Verhältnis von Innen- zu Außeneinheiten von etwa 6 bis 11 mit einem Mittelwert für die Jahre 2015 bis 2022 von 7,8. Unter Einbeziehung der Kälteleistung der einzelnen Geräte ergibt sich eine insgesamt installierte Kälteleistung von etwa 5.200 MW. Zur Abschätzung der korrespondierenden Heizleistung wird das Verhältnis des COP und des EER im Auslegungspunkt verwendet. Der COP bei -7°C liegt nach Eurovent-Datenbank bei 2,6 und der EER bei 2,9. Die mögliche Heizleistung ergibt sich damit zu 4.700 MW. Bei Annahme einer mittleren spezifischen Heizlast für den aktuellen Nichtwohngebäudebestand von 50 bis 100 W/m² können damit etwa 46 bis 92 Mio m² Nutzfläche beheizt werden.

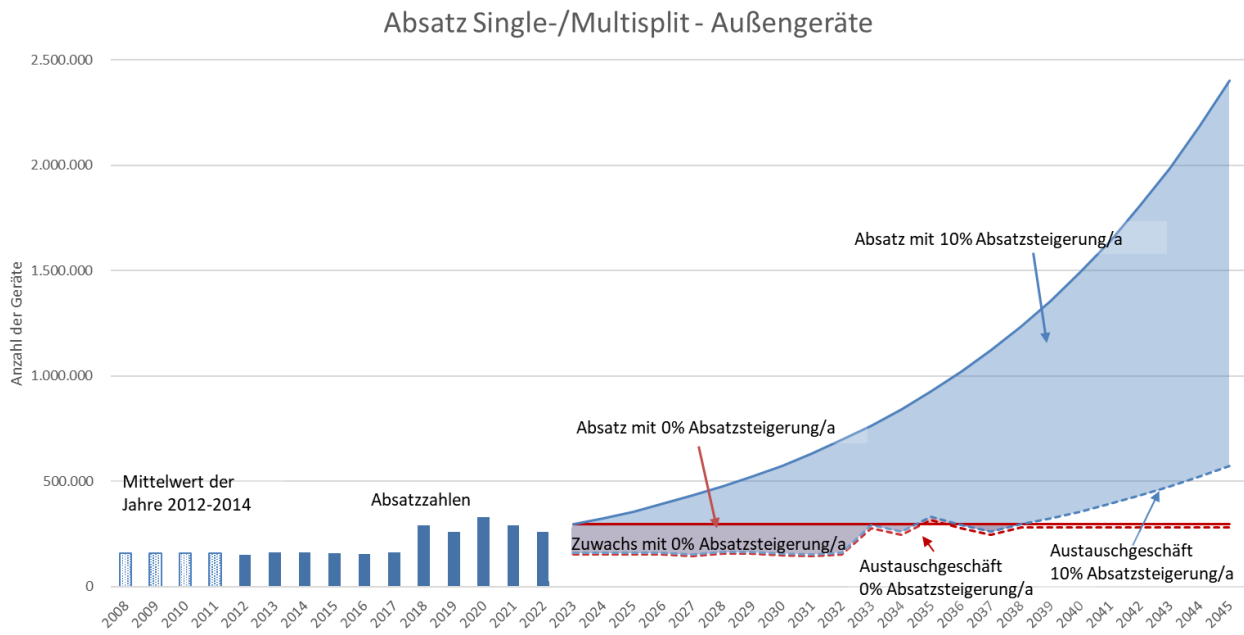


Abbildung 1: Absatz von Single- und Multisplit-Außeneinheiten inklusive von 2 Zukunftsszenarien für die Entwicklung bis 2045

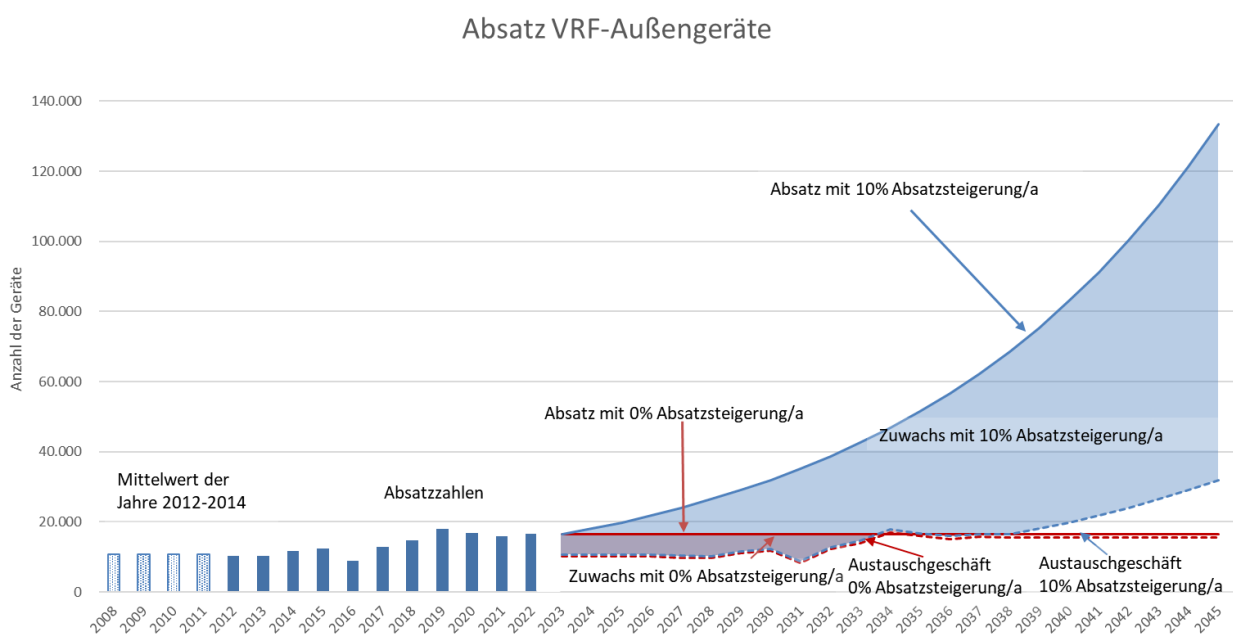


Abbildung 2: Absatz von VRF-Außeneinheiten inklusive von 2 Zukunftsszenarien für die Entwicklung bis 2045

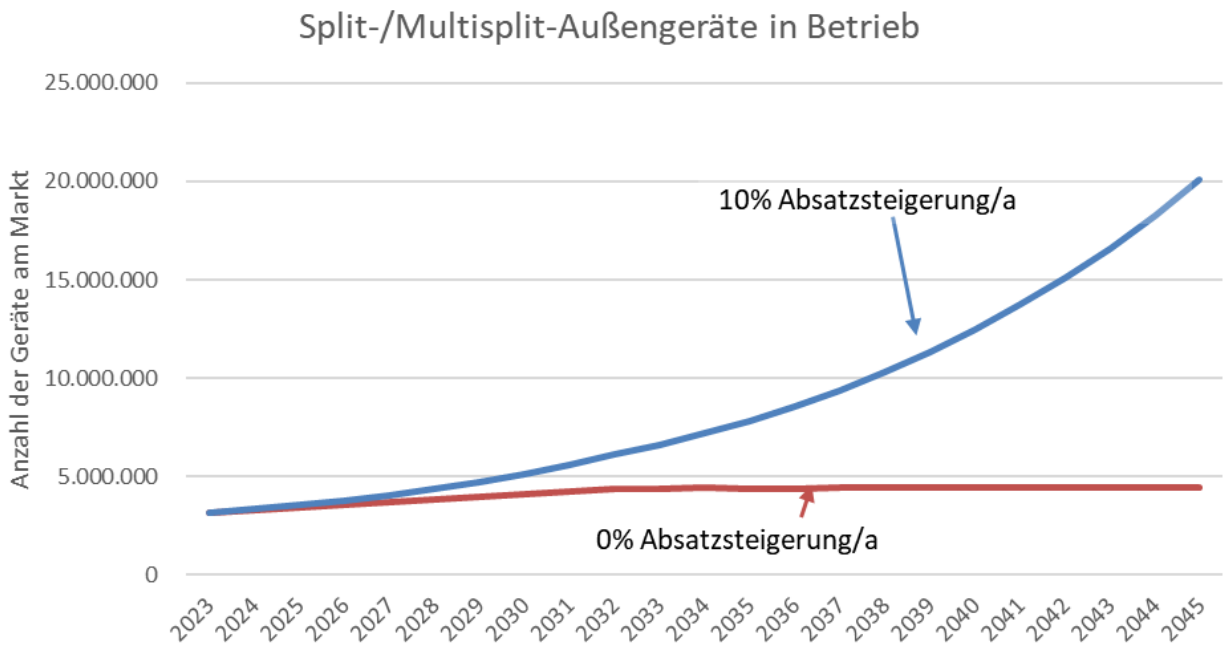


Abbildung 3: Anzahl der im Betrieb befindlichen Split- und Multi-Split-Geräte - Prognose auf Basis der aktuellen Absatzzahlen

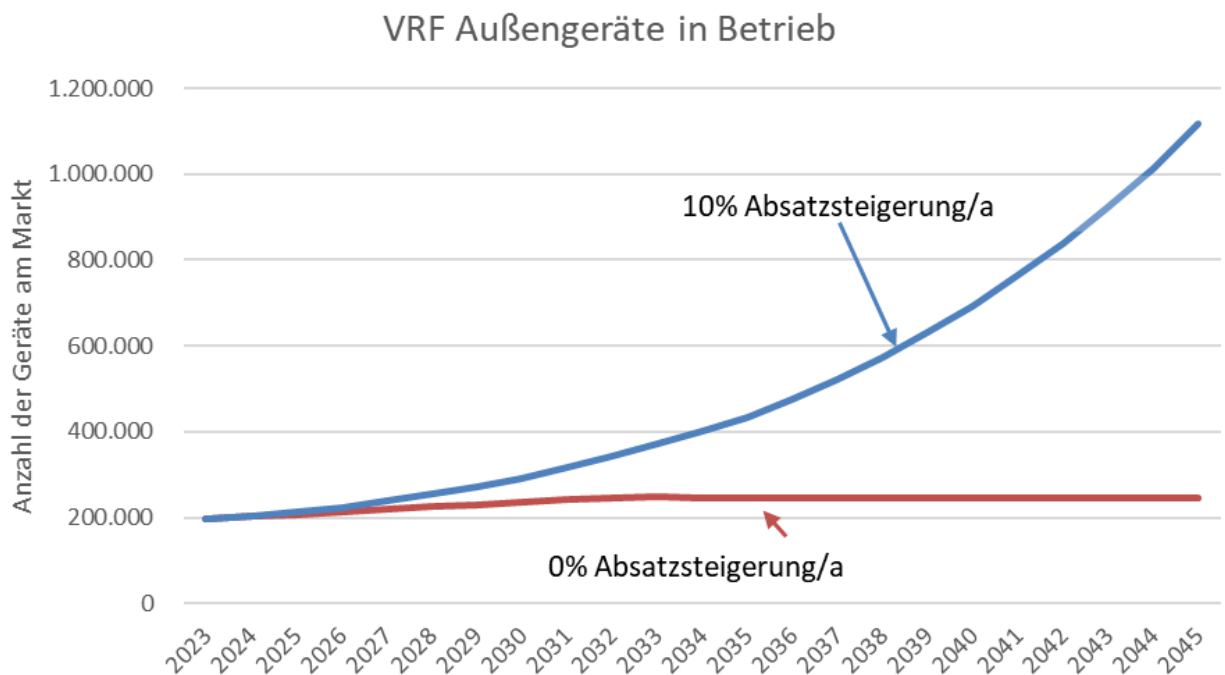


Abbildung 4: Anzahl der im Betrieb befindlichen VRF-Geräte – Prognose auf Basis der aktuellen Absatzzahlen

2.2 Leistungsdaten im Heizbetrieb

Neben den bereits erwähnten COPs nach Eurovent-Datenbank [Eurovent] werden die Daten aus der EPREL-Datenbank [EPREL] sowie nach DIN V 18599:5-2018-09 [DIN V 18599:5:2018-09] für die Ermittlung aktuell typischer Leistungskennzahlen verwendet. In der aktuellen Fassung der DIN V 18599:5:2018-09 [DIN V

18599-5:2018-09] werden die drei Systeme Split-, Multi-Split und VRF-Systeme unterschieden. Die zugehörigen COP sind in Tabelle 1 aufgelistet. Zukünftig ist eine Zusammenfassung zu einem System geplant. Die Werte sind ebenfalls in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: COP nach DIN V 18599 [DIN V 18599-5:2018-09]

		COP-7	COP2	COP7	COP10
DIN V 18599-5: 2018-09	Split-Geräte	3	3,2	3,5	3,8
	Multi-Split-Geräte	3	3,2	3,5	3,8
	VRF	3	3,3	3,5	3,7
DIN V 18599 Neufassung		2,4	3,5	5,4	x

In der Datenbank der Eurovent-Zertifizierung [Eurovent] stehen ebenfalls COP für die einzelnen Prüfpunkte und Gerätetypen zur Verfügung. Die Split-Geräte werden dabei noch in Geräte mit einer Kälteleistung < 12kW und einer Kälteleistung ≥ 12kW unterteilt. Es wurden sowohl die Mittelwerte aller verfügbaren Geräte der jeweiligen Klassen als auch die Mediane berechnet. Da nur sehr geringe Unterschiede zu finden sind, wird von einer Normalverteilung der Kennzahlen ausgegangen und der Median als repräsentativ angesehen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zu finden.

Tabelle 2: Median der COPs nach Datenbank der Eurovent-Zertifizierung [Eurovent]

	Anzahl	SCOP	COP	COP-7	COP2	COP7	COP12
Split <12kW	3795	4,1	3,8	2,8	4,1	5,4	6,6
Split ≥ 12kW	986	4,0	3,5	2,7	3,9	5,2	6,2
Multisplit <12kW	572	4,0	3,8	2,7	4,0	5,3	6,5
Multisplit ≥ 12kW	205	4,4	3,6	2,8	4,2	6,4	7,9
VRF	2943	4,2	3,7	2,6	3,9	6,3	7,7

Als weitere Quelle wird die EPREL-Datenbank [EPREL] ausgewertet. In einer Übersicht stehen dort die Energieeffizienzklassen zur Verfügung (siehe Tabelle 3). Die Mehrheit der Geräte liegt in den Klassen A, A+ und A++. Gemäß der aktuellen EU-Verordnung Nr. 626/2011 [EU626/2011] für Luftkonditionierer sind die jeweiligen Klassen mit SCOP korreliert. Es muss allerdings beachtet werden, dass eine Abstufung aufgrund eines hohen GWP erfolgt. Die Mehrheit der Geräte nutzt aber R 32 und kann daher entsprechend Tabelle 3 bewertet werden. Der mittlere SCOP der Datenbank beträgt dann 4,3. Der anzahlgewichtete Mittelwert nach Eurovent-Zertifizierung beträgt 4,2 und eine Umrechnung der COP in einen SCOP nach DIN EN 14825 [DIN EN 14825] ergibt einen SCOP von 3,8. Alle drei Werte liegen in einer ähnlichen Größenordnung. Da zusätzlich eine gute Übereinstimmung der COP der einzelnen Prüfpunkte zwischen der Neufassung der DIN V 18599-5 und der Eurovent-Datenbank [Eurovent] besteht, scheinen alle drei Datensätze für die weitere Verwendung geeignet. Da der Datensatz der Eurovent-Datenbank auf den aktuellen Zahlen basiert und des Weiteren die

notwendige Aufteilung in die Prüfpunkte aufweist, wird dieser in den weiteren Betrachtungen als Grundlage verwendet.

Tabelle 3: SCOP nach EPREL-Datenbank [EPREL]

Effizienzklasse	Anzahl	Minimaler SCOP	Maximaler SCOP	Gemittelter SCOP
A+++	415	5,1		4,3
A++	1570	4,6	5,09	
A+	8247	4,0	4,59	
A	2209	3,4	3,99	
B	2	3,1	3,39	
C	0	2,8	3,09	
D	0	2,5	2,79	
E	0	2,2	2,49	
F	0	1,9	2,19	
G	0		1,89	

2.3 Statistik Gebäudebestand und Aufteilung DX-Systeme

Gebäudebestand – Wohngebäude

Der Bestand an Wohnungen/Wohngebäuden wird in der Datenbank destatis durch das statistische Bundesamt jährlich fortgeschrieben. Unterteilt wird dabei in die Kategorien Ein- und Zweifamilienhaus (EFH/ZFH) und Mehrfamilienhaus (MFH). Der deutschen Wohngebäudebestand am 31.12.2021 ist aus Tabelle 4 ersichtlich. Neben der Anzahl an Gebäuden, ist auch die Anzahl an Wohneinheiten sowie die zugehörige Wohnfläche ablesbar.

Tabelle 4: Anzahl der Wohngebäude nach Gebäudetypen mit gesamter Wohnfläche in Deutschland

Stand 2021 aktualisiert auf Basis von [ITG/FIW21]

Gebäude- typ	Gesamtanzahl der Wohngebäude (Mio.)	davon Neubauten 2021	Wohneinheiten, gesamt (Mio.)	Wohnfläche, ge- samt (Mrd. m ²)
EFH/ ZFH	16,11	84.000/a	19,3	3,8
MFH	3,25	18.000/a	21,9	

Gebäudebestand – Nichtwohngebäude

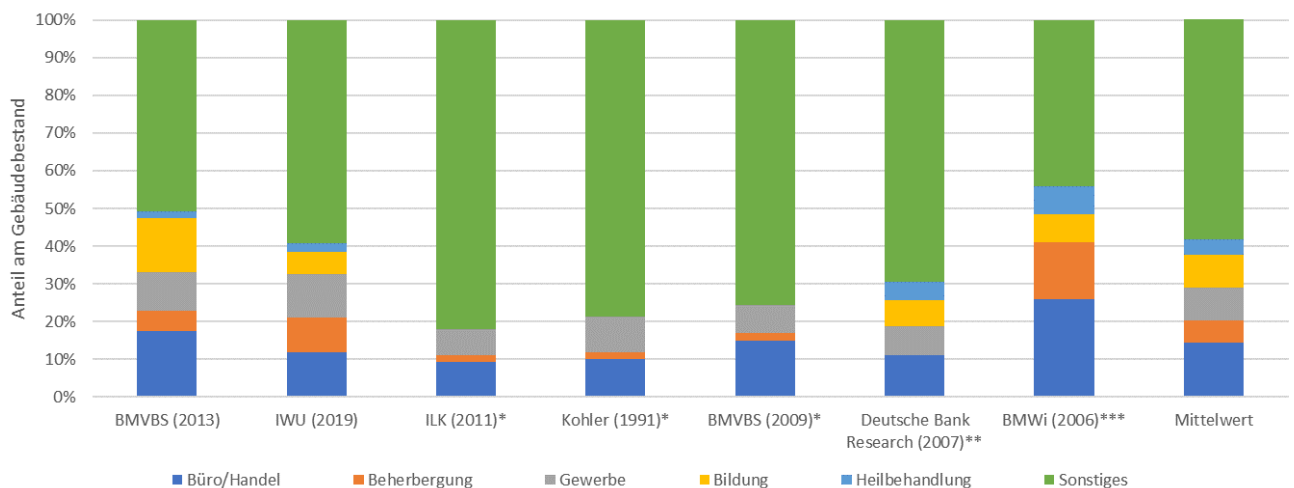
Die Nutzung von Nichtwohngebäuden wird in Deutschland nicht statistisch erfasst. Hinzu kommt, dass nicht alle Nichtwohngebäude energetisch relevant sind, also beheizt, gekühlt oder/und belüftet werden. Genaue Aussagen zum aktuellen Nichtwohngebäudebestand und dessen Nutzung sind daher schwierig. In Tabelle 5 und Abbildung 5 ist die Aufteilung auf die verschiedenen Nutzungen aus verschiedenen Studien zusammengefasst. Detailliert werden dabei nur aktuelle oder zukünftige Märkte für den Einsatz von VRF-Systemen dargestellt. Aktuell werden VRF-Systeme in Bürogebäuden, im Handel, in der Beherbergung und in einigen

Gewerbebereichen eingesetzt. Zukünftig ist auch der Einsatz in Bildungseinrichtungen sowie in Arztpraxen denkbar.

Tabelle 5: Anteil der Gebäudetypen am Nichtwohngebäudebestand in Deutschland

NWG in Deutschland	BMVBS 2013 [BMVBS13]	EnOB: dataNWG, 2022 [DataNWG]	ILK 2011 [ILK11]	Kohler 1991 [Kohler]	BMVBS 2011 [BMVBS11]	Deutsche Bank Research 2007 [Schiller]	BMWi [BMWi09]	Mittelwert
Büro und Verwaltung	17,4%	11,9%	9,3%	10,0%	15,0%	11,0%	26,0%	14,4%
Beherbergung	5,5%	9,3%	1,8%	2,0%	2,0%	keine Angabe	15,0%	5,9%
Gewerbe (anteilig)*	10,3%	11,4%	6,8%	9,3%	7,3%	7,7%	keine Angabe	8,8%
Bildung	14,3%	6,0%	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	7,0%	7,5%	8,7%
Arztpraxen (anteilig aus Heilbehandlung)	1,7%	2,1%	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	5,0%	7,5%	4,1%
Sonstige Nutzungen	50,9%	59,3%	82,1%	78,7%	75,7%	69,3%	44,0%	85,6%

* ... Gewerbe wird nur anteilig (zu 33%) als Einsatzgebiet für VRF-Systeme berücksichtigt



*...keine separate Angabe von Bildung und Heilbehandlung

**...keine separate Angabe von Beherbergung

***...keine separate Angabe von Gewerbe

Gewerbe immer nur zu 1/3 als Einsatzgebiet VRF berücksichtigt, Heilbehandlung nur Arztpraxen berücksichtigt

Abbildung 5: Anteil der verschiedenen Nutzungen am Nichtwohngebäudebestand

Der aktuelle dena-Gebäudereport [dena23] bezieht sich hinsichtlich der Anzahl der Nichtwohngebäude in Deutschland auf die Ergebnisse der EnOB:dataNWG-Studie [DataNWG]. Für die weiteren Betrachtungen wird die mittlere Aufteilung der Nutzungen auf den Nichtwohnbestand mit der in der EnOB:dataNWG-Studie

genannten Brutto-Grundfläche von 3.507 Mio. m² angewendet. Die angegebene Bruttogrundfläche wird über den Faktor 0,8 in eine Nettogrundfläche überführt.

Anlagenbestand – Wohngebäude

Nach aktuellen Erfassungen des BDEW, welche auch im Gutachten zur dena-Leitstudie verwendet werden (siehe Abbildung 6), werden aktuell knapp 50% des Gebäudebestandes mit Gas und 25% mit Öl beheizt. Während der Anteil der mit Öl beheizten Gebäude in den letzten 15 Jahre leicht rückläufig war, ist der Anteil der mit Gas beheizten Gebäude auf einem nahezu konstanten Niveau. Es ist zusätzlich ein Anstieg des Anteils an Elektrowärmepumpen zu erkennen.

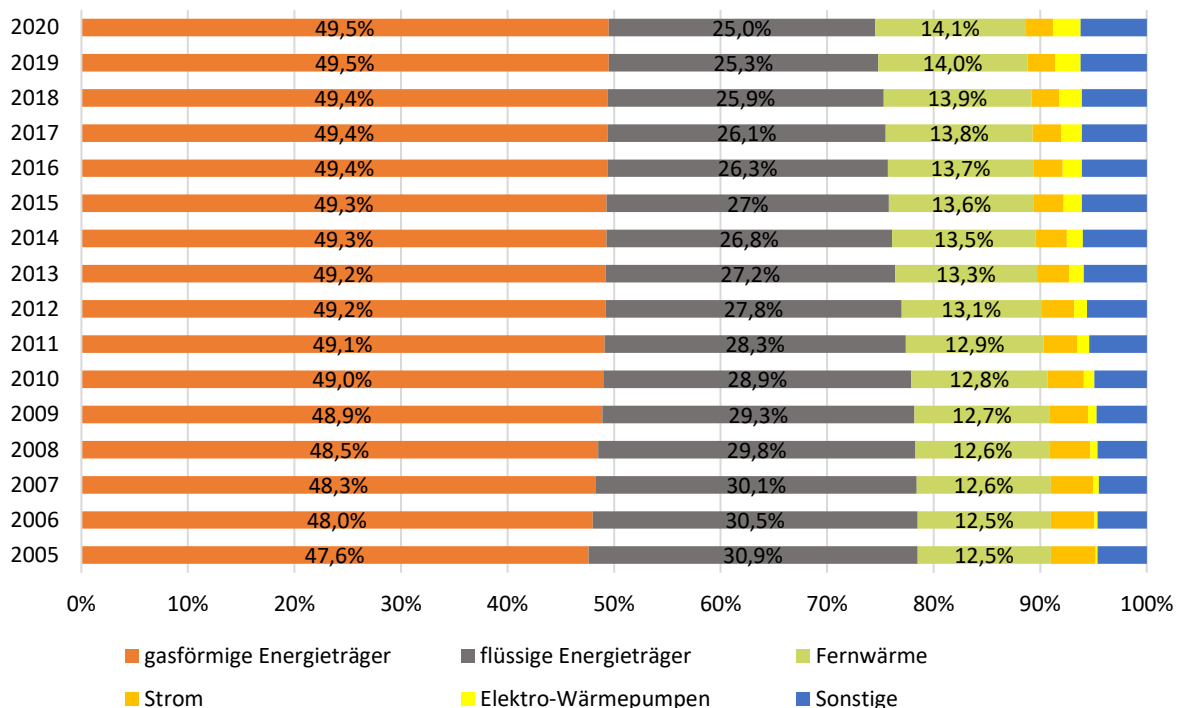


Abbildung 6: Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes [ITG/FIW21] nach BDEW

Der Anteil der mit Gas- und Öl beheizten Gebäude bezogen auf die Anzahl stimmt gut mit dem Anteil überein, der bezogen auf den Endenergiebedarf ermittelt wird (siehe Tabelle 6). Aktuell wird also etwa 75% des Endenergiebedarfs im Wohngebäudebereich mit Gas/Öl gedeckt. Strom für Wärmepumpen macht hingegen aktuell nur einen sehr geringen Anteil aus. Der Einsatz von Split-/Multi-Split-Geräten zum Ersatz von Gas- und Ölheizungen bietet daher ein großes Potenzial.

Tabelle 6: Aufteilung der Energieträger im Wohngebäudebereich nach Gutachten zur dena-Leitstudie [ITG/FIW21]

Energieträger	Endenergiebedarf, in TWh/a	Anteil am Gesamt-Energiebedarf, in %
gasförmige Energieträger	256	49
flüssige Energieträger	135	26
Strom für Wärmepumpen	6	2
Biomasse (Holz)	68	13
Nah-/Fernwärme	52	10
Summe	517	100

Mit der im Kapitel 2.1 abgeschätzten Heizleistung von 13.300 MW können etwa 3,1 bis 6,2% der Wohnfläche in Deutschland beheizt werden. Dieses Potenzial bleibt aktuell ungenutzt, wenn Geräte nur zum Kühlen verwendet werden.

Nach Tabelle 6 beträgt der Anteil der in Deutschland aktuell mit Wärmepumpen beheizten Gebäude etwa 6%. Split-/Multisplit-Geräte können dazu einen erheblichen Beitrag leisten, wenn sie auch zum Heizen verwendet werden.

Anlagenbestand - Nichtwohngebäude

Neben der Erfassung der Nutzung erfolgte im Forschungsprojekt „ENOB: dataNWG“ [DataNWG] auch eine Erfassung der haustechnischen Anlagen und verwendeten Energieträger. Die Energieträger für die als Markt für VRF nutzbaren Dienstleistungsgebäude sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Der Fokus dieser Studie liegt auf dem Ersatz von Gas und Öl, sodass einige Energieträger in Tabelle 7 zusammengefasst wurden.

Tabelle 7: Aufteilung der Energieträger im Nichtwohngebäudebereich nach ENOB: dataNWG [DataNWG]

Energieträger	Anteil bezogen auf alle GEG-relevanten Nichtwohngebäude, in %
Erdgas	51,6 ± 3,9
Flüssiggas	3,4 ± 1,0
Heizöl	14,6 ± 0,1
Bioöl, Biogas, Holz, andere feste Biomasse	7,4**
Kohle	0,03 ± 0,02*
Elektrischer Strom	6,0 ± 2,3
Nah- oder Fernwärme	16,9 ± 2,4
* Werte mit kleinen Stichproben oder hoher Standardabweichung	
** verschiedene regenerative Energieträger zusammengefasst, keine Angabe der Standardabweichung	

Im Gutachten zur dena-Leitstudie [ITG/FIW21] wird für 2020 die in Tabelle 8 dargestellte Verteilung der Endenergieverbräuche auf die Energieträger zugrunde gelegt. Im Gegensatz zu den in Tabelle 7 genannten Werten liegt der Bezug beim Endenergieverbrauch und nicht der Anzahl der Gebäude. Für die Hochrechnung der mit dem entsprechenden Energieträger beheizten Fläche ist Tabelle 8 daher besser geeignet.

Tabelle 8: Aufteilung der Energieträger im Nichtwohngebäudebereich nach Gutachten zur dena-Leitstudie [ITG/FIW21]

Energieträger	Endenergiebedarf, in TWh/a	Anteil am Gesamt-Energiebedarf, in %
gasförmige Energieträger	99	31
flüssige Energieträger	48	15
Strom	147	46
Biomasse (Holz)	19	6
Nah-/Fernwärme	6	2
Summe	319	100

Mit der in Kapitel 2.1 abgeschätzten aktuell installierten Heizleistungen können 46 bis 92 Mio m² Nettogrundfläche, also etwa 1 bis 2,5% der Nettogrundfläche versorgt werden. Ein alleiniger Einsatz der VRF-Geräte zum Kühlen lässt dieses Potenzial ungenutzt.

Insgesamt werden nach Tabelle 7 etwa 6% der GEG-relevanten Nichtwohngebäude mit elektrischem Strom beheizt, sodass basierend auf der Hochrechnung VRF-Systeme daran einen nicht unerheblichen Anteil haben. Der nach Tabelle 8 mit 46% des Endenergieverbrauchs deutlich höhere Stromverbrauch ist auf eine fehlende Aufteilung in Strom für Wärmepumpen und Strom für sonstige Anwendungen zurückzuführen. Eine Schlussfolgerung hinsichtlich des Anteils, der für die Beheizung mit Wärmepumpen verwendet wird, ist daher nicht möglich.

3 Arbeitspaket 2: Einsparpotenzial im Wohngebäudebestand

3.1 Gebäude

Für die Betrachtung wird ein Einfamilienhaus (siehe Abbildung 7) verwendet. Das Einfamilienhaus hat:

- ein Bruttovolumen von 465,0 m³
- ein Nettovolumen von 353,4 m³
- eine Nutzfläche von 148,8 m²
- und eine Nettogrundfläche von 121,0 m².

Das Gebäude ist nicht unterkellert und das Dach ist, wie in Abbildung 7 dargestellt, nicht ausgebaut.

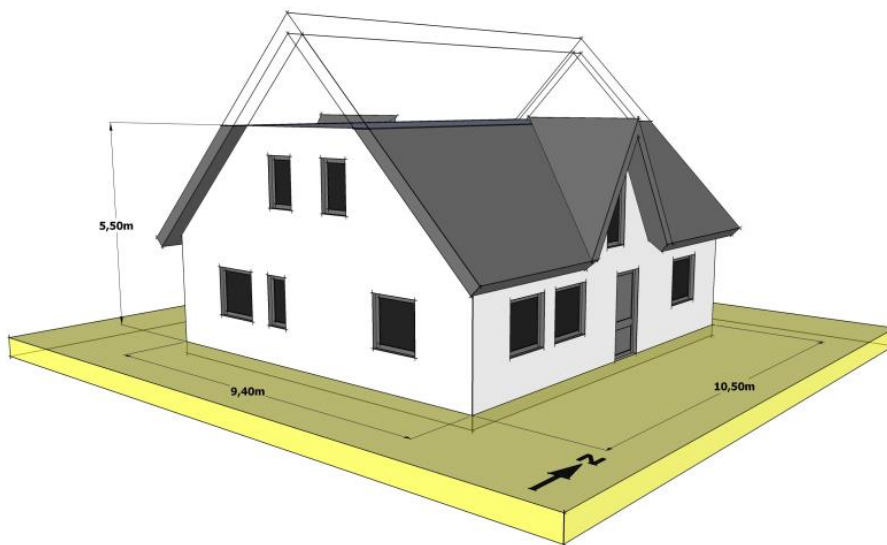


Abbildung 7: Darstellung des betrachteten EFH [ZUB10]

Für das Einfamilienhaus wird im Bestand von einem baulichen Wärmeschutz nach Wärmeschutzverordnung 1995 (siehe Tabelle 9) ausgegangen. Für das Einfamilienhaus wird im Bestand mit einem Wärmebrücken-zuschlag von 0,1 W/m²K gerechnet. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass für das Gebäude eine Dichtheitsprüfung unter Einhaltung der GEG-Vorgaben vorliegt und der Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung daher anrechenbar ist.

Tabelle 9: Überblick des baulichen Wärmeschutzes für das Einfamilienhaus im Bestand

(errichtet nach Wärmeschutzverordnung 1995)

Bürogebäude im Bestand		
U-Wert in W/(m ² ·K)	Außenwand	0,50
	Fenster	1,80
	Dach	0,30
	Bodenplatte	0,50
	Wärmebrückenzuschlag	0,10
Dichtheitsprüfung		mit

3.2 Anlagentechnik

Im Bestand ist das Einfamilienhaus mit einer Gas-Brennwertheizung mit einer Heizkörperauslegung auf 70°C Vor- und 55°C Rücklaufemperatur ausgestattet. Die Gas-Brennwertheizung wird auch für die Trinkwassererwärmung genutzt. Die Mehrheit der Gebäude im Bestand verfügen nicht über eine RLT-Anlage. Zusätzlich wird noch ein Fall mit einer Ausstattung des Einfamilienhauses mit einer Zu-/Abluftanlage mit verbesserter Wärmerückgewinnung ($\eta=72\%$) betrachtet.

Für die Nachrüstung des Split- bzw. Multisplit-Systems werden die beiden Fälle:

- Nachrüstung eines Split-Gerätes in einem großen Raum (20% der Fläche)
- Nachrüstung eines Multi-Split mit Inneneinheiten in drei Räumen (40% der Fläche)

berücksichtigt.

Es wird unterschieden in eine Auslegung im monovalenten Betrieb (Bivalenztemperatur -15°C) sowie zwei verschiedene bivalente Betriebsweisen (Bivalenztemperatur 0°C, -5°C).

3.3 Einsparpotenzial

Zur Berechnung des Einsparpotenzial wird das Einfamilienhaus mit der Software IBP:18599 HighEnd (Version: 0.8.1589, Kernel-Version 4.99.544.0) modelliert. Der Endenergiebedarf Strom sowie Gas steht dann als Ergebnis der Berechnungen zur Verfügung. Die Umrechnung in den Primärenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen erfolgt anhand aktueller bzw. im Rahmen der Prognose angenommener Faktoren.

Die absoluten Energiebedarfe sowie THG-Emissionen für den unsanierten Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum sind in Abbildung 8 zu sehen. In blau dargestellt ist jeweils das Referenz-Gas-Brennwert-System ohne Nachrüstung eines Split-Gerätes. Der orange (0°C) und graue (-5°C) Balken stellen die verschiedenen bivalenten und der gelbe Balken die monovalente Betriebsweise dar. Neben dem Endenergiebedarf, wobei Gas und Strom separat betrachtet werden, sind auch der Primärenergiebedarf und die THG-Emissionen (abzulesen auf der rechten Achse) dargestellt. Quantitativ sind zusätzlich die absoluten sowie die relativen, auf den Referenzfall bezogenen, Einsparungen dargestellt. Mit einem Sinken der Bivalenztemperatur steigt der Anteil des Heizwärmebedarfs, der durch das Singlesplit-System gedeckt wird und damit das mögliche Einsparpotenzial für Endenergie Gas. Dem entgegen stehen die zusätzlichen Aufwendungen des Endenergiebedarfs für Strom. Der relative Anstieg des Energiebedarfs Strom um bis zu 240% ist auf den sehr geringeren Strombedarf im Referenzfall zurückzuführen. In einem Einfamilienhaus ohne RLT sind lediglich notwendige Hilfsenergien für den Betrieb der Heizung und der Trinkwassererwärmung im Strombedarf enthalten. Dennoch sinken der Primärenergiebedarf und die THG-Emissionen bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum. Auch wenn die absoluten Einsparungen mit maximal knapp 300 kgCO₂/a eher gering sind, ist zu beachten, dass es sich hierbei lediglich um den Effekt für einen Raum in einem Einfamilienhaus handelt.

Dies zeigt sich besonders deutlich, wenn anstelle der absoluten die relativen, auf die Nutzfläche bezogenen Werte betrachtet werden (siehe Abbildung 9). Auf einen Quadratmeter Nutzfläche bezogen sind Primärenergieeinsparungen bis zu 16,2 kWh/m²a bzw. Reduktionen der THG-Emission um 2 kg/m²a möglich. Dies entspricht knapp 7% der einzusetzenden Primärenergie bzw. 4% des freigesetzten THGs.

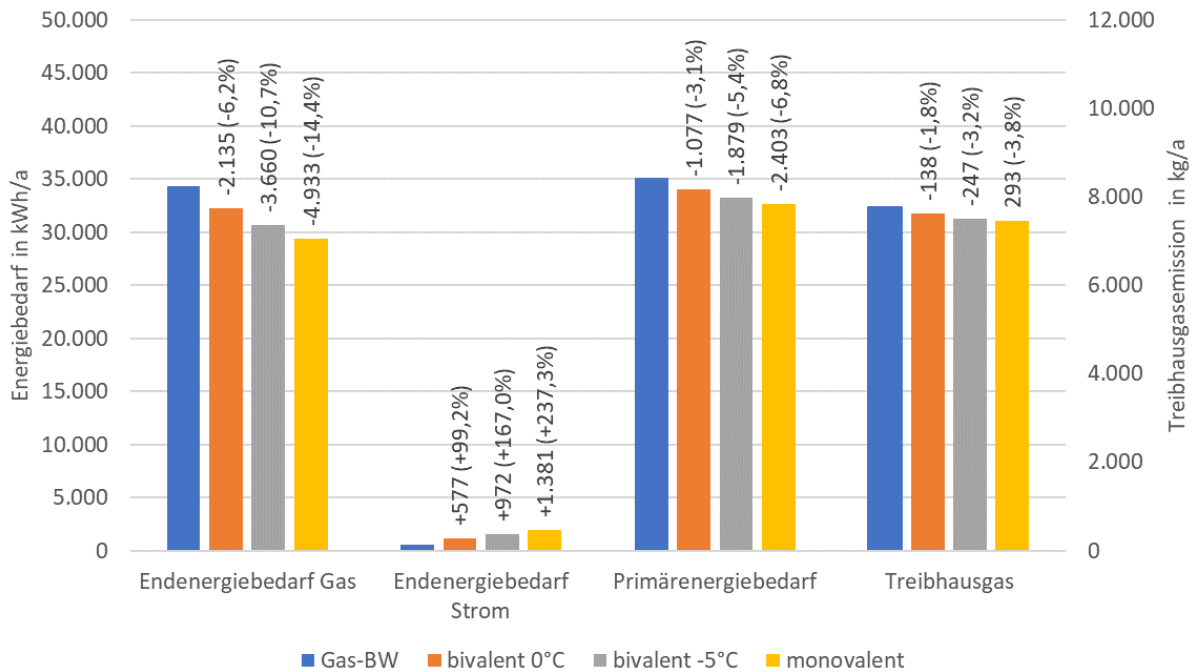


Abbildung 8: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum

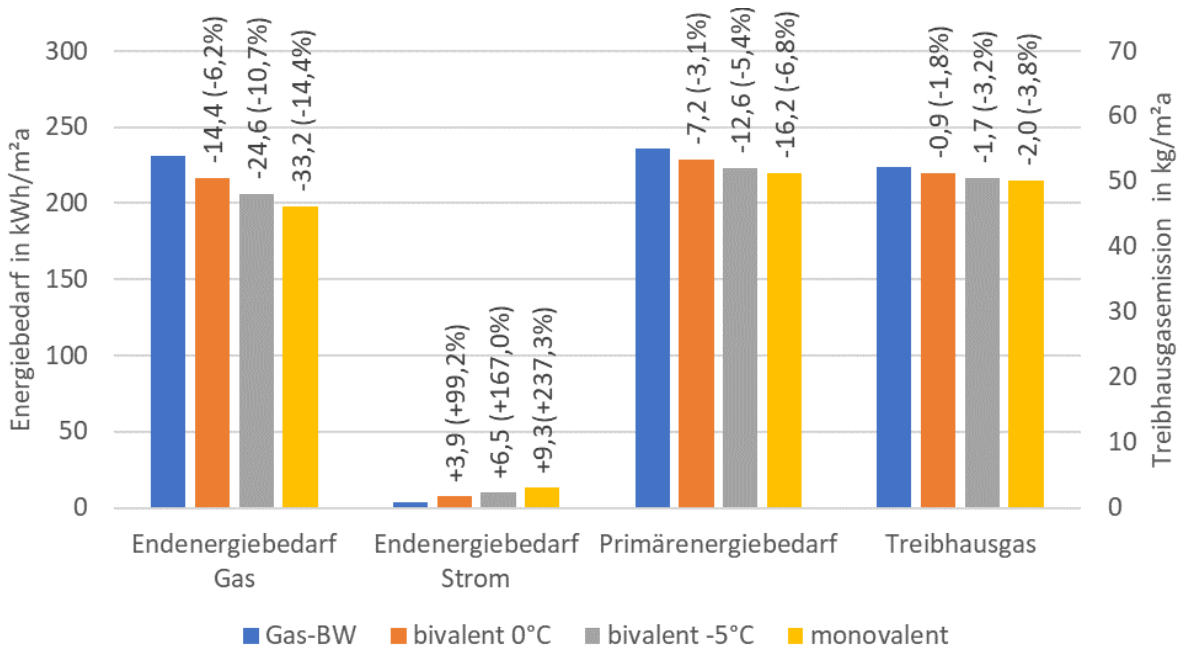


Abbildung 9: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum

Anstelle der Betrachtung der spezifischen Energieeinsparungen für das gesamte Gebäude ist in Abbildung 10 ein Bezug nur auf die tatsächlich mit einem Singlesplit-System ausgestattete Fläche vorgenommen worden. Basierend auf diesen Werten ist eine Aussage hinsichtlich der möglichen Einsparungen bei Ausstattung aller Räume mit einem Singlesplit-System möglich. Die maximal möglichen Einsparungen an Endenergie Gas liegen dann bei knapp 166 kWh/m²a, wobei der Endenergiebedarf Gas im Referenzfall bei etwa 230 kWh/m²a liegt. Dem stehen lediglich 46,4 kWh/m²a an zusätzlichen Endenergiebedarf Strom entgegen.

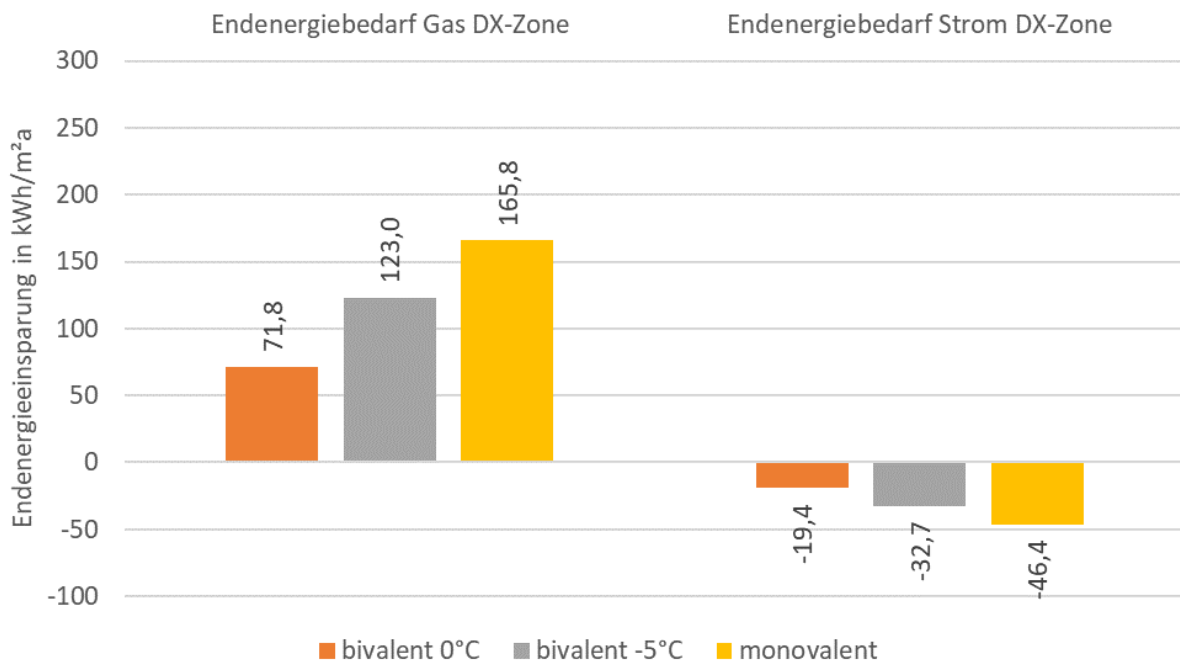


Abbildung 10: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Split-beheizten Anteil des Wohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage

Wird anstelle eines Singlesplit-Systems in einem Raum ein Multisplit-System in drei Räumen nachgerüstet, sind die in Abbildung 11 dargestellten absoluten Einsparungen möglich. Die absoluten Einsparungen sind im Vergleich zum Einsatz eines Singlesplit-Systems erwartungsgemäß größer. Dabei sind die Unterschiede zwischen den drei Betriebsweisen deutlich geringer als die Einsparung, die durch den Einsatz eines Multisplit-Systems generell auftreten (minimal 6.700 kWh/a, Differenz zwischen monovalent und bivalent max. 3.280 kWh/a).

Dies wird auch durch die spezifische Betrachtungsweise in Abbildung 12 unterstützt. Es werden Primärenergieeinsparungen zwischen 11,6 und 17,3% und eine Reduktion der THG-Emissionen zwischen 8,4 und 12,4% ermittelt.

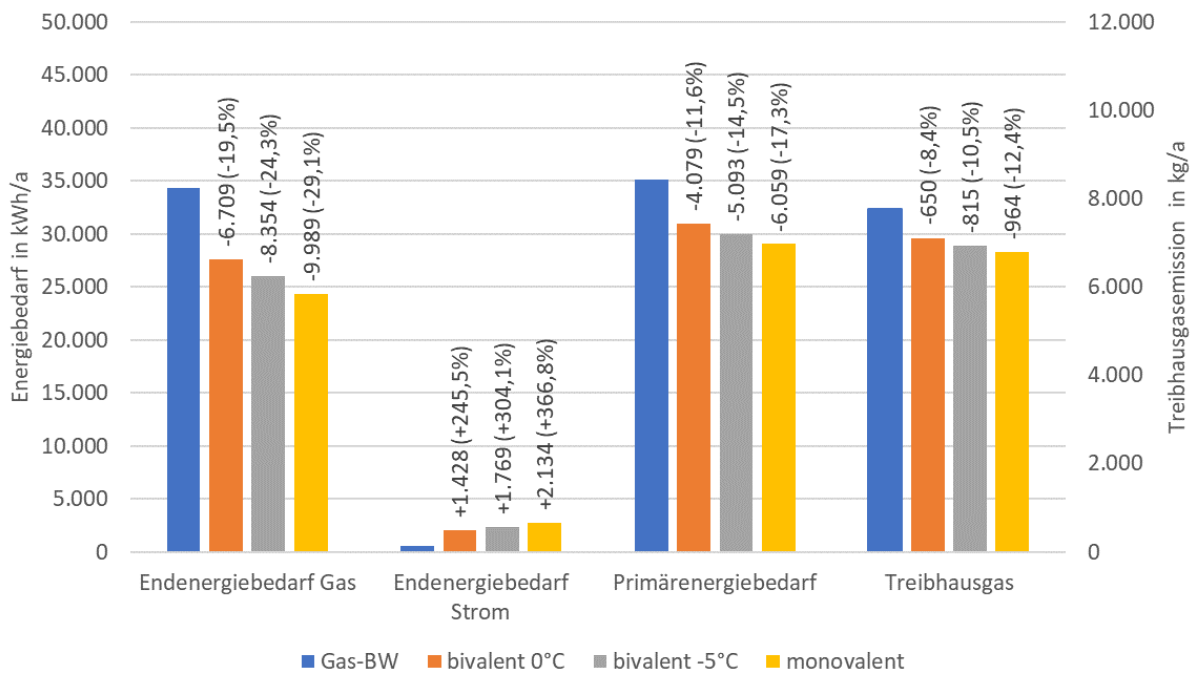


Abbildung 11: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

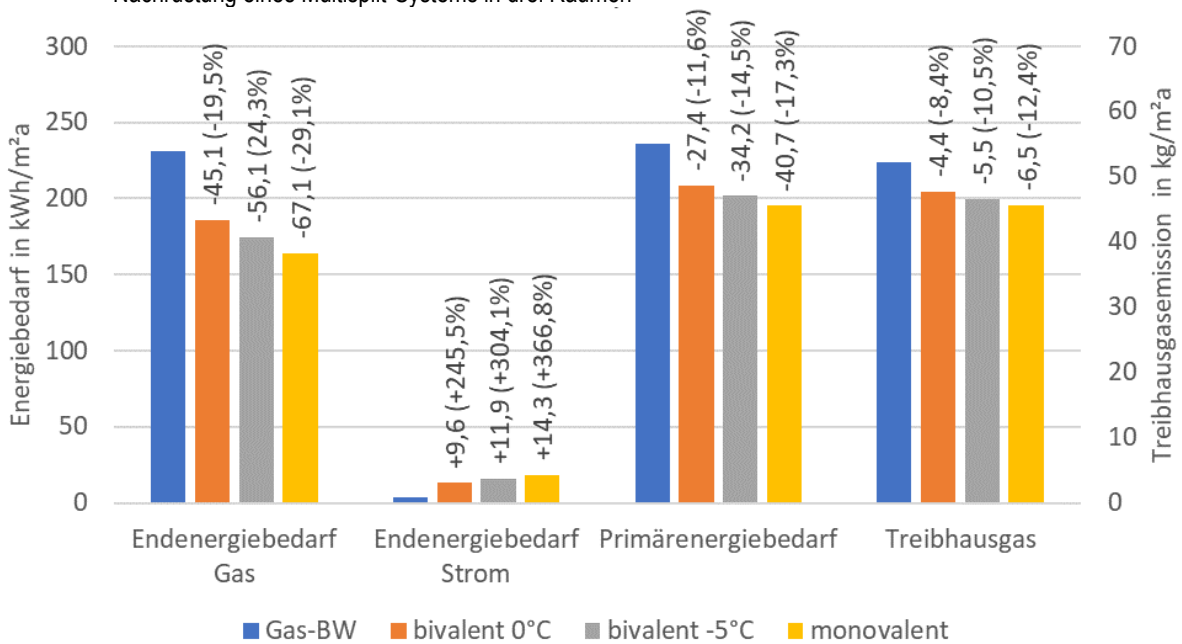


Abbildung 12: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

Wie bereits bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum zeigt sich auch bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen eine deutlich größere spezifische Einsparung, wenn nur die Bereiche berücksichtigt werden, welche mit einem Split-Gerät ausgestattet sind (siehe Abbildung 13).

Des Weiteren fällt auf, dass die auf die DX-Zone bezogenen Einsparungen mit Singlesplit- (Abbildung 10) und Multisplit-System (Abbildung 13) in einer vergleichbaren Größenordnung liegen. Entscheidend ist also,

ob ein Raum überhaupt mit einem DX-System ausgestattet ist und weniger, ob es sich dabei um ein Single-split- oder ein Multisplit-System handelt. Der Energiebedarf Strom ist etwas geringer, wenn ein Multisplit- anstatt eines Single-split-Systems verwendet wird.

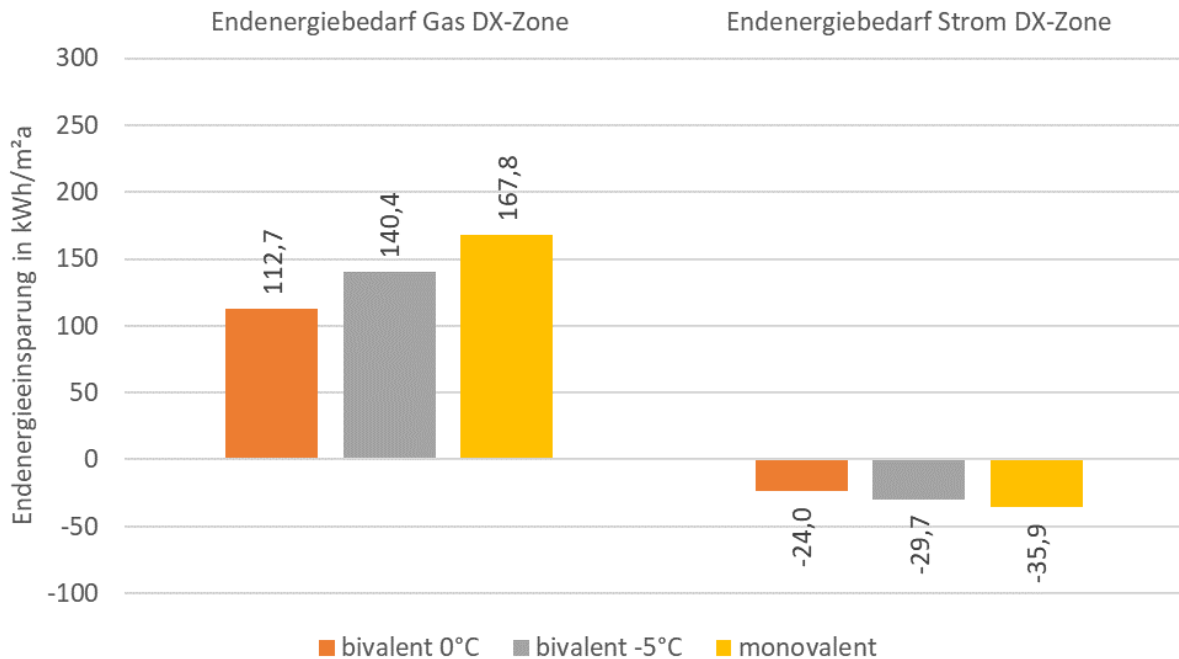


Abbildung 13: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Multisplit-beheizten Anteil des Wohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage

RLT-Anlagen spielen im Wohnungsbestand heute eher eine untergeordnete Rolle. Dennoch soll aufgezeigt werden, inwieweit sich der Betrieb einer RLT-Anlage und eines Single-split-/Multisplit-Systems hinsichtlich möglicher Energieeinsparungen gegenseitig beeinflussen.

Die absoluten Energiebedarfe sowie Treibhausgasemissionen für das betrachtete Einfamilienhaus mit einer RLT-Anlage sowie bei Nachrüstung eines Single-split-Systems in einem Raum sind in Abbildung 14 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass auch bei gleichzeitiger Nutzung einer RLT-Anlage und des Splitsystems ein Einsparpotenzial gegenüber dem Gas-Brennwert-Referenzsystem besteht. Die absoluten Einsparungen sind dabei nur geringfügig anders als im Fall ohne RLT-Anlage (siehe Abbildung 8). Im monovalenten Betrieb liegen die Einsparungen an THG-Emissionen ohne RLT-Anlage bei 293 kg/a und mit RLT-Anlage bei 299 kg/a. Die Primärenergieeinsparungen hingegen sind geringfügig größer ohne RLT-Anlage (2.403 kWh/a) als mit RLT-Anlage (2.159 kWh/a). Aufgrund des etwas geringeren Energiebedarfs bzw. der etwas geringeren Treibhausgasemissionen im Referenzfall mit RLT-Anlage sind die relativen Einsparungen mit Primärenergie (4,2 bis 6,9%) mit RLT-Anlage geringfügig höher als ohne RLT-Anlage (3,1 bis 6,8%). Bei den relativen Einsparungen stimmt der Trend auch mit dem Trend der höheren Einsparungen mit RLT-Anlage bei den THG-Emissionen überein (ohne RLT-Anlage: 1,8 bis 3,8 %, mit RLT-Anlage: 2,6 bis 4,2%).

Bezogen auf die Nutzfläche (siehe Abbildung 15) liegen die Primäreinsparungen mit RLT-Anlage zwischen 8,9 und 14,5 kWh/m²a und die Reduktion der THG-Emissionen bei 1,3 bis 2,0 kg/m²a.

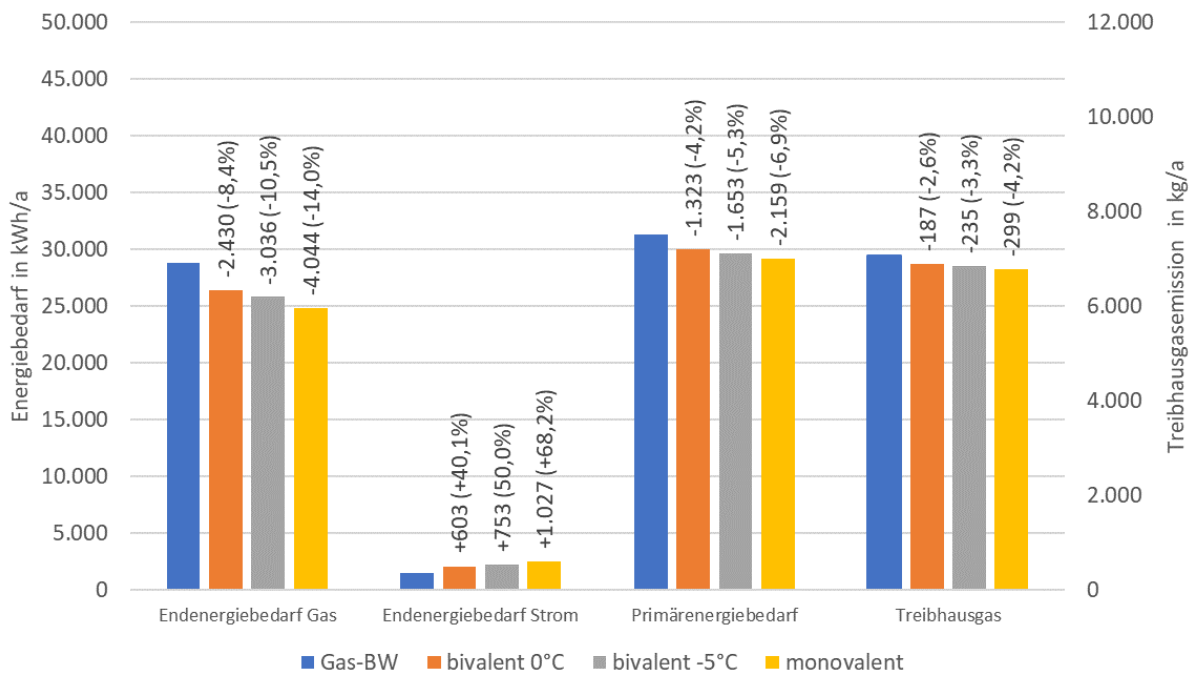


Abbildung 14: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum

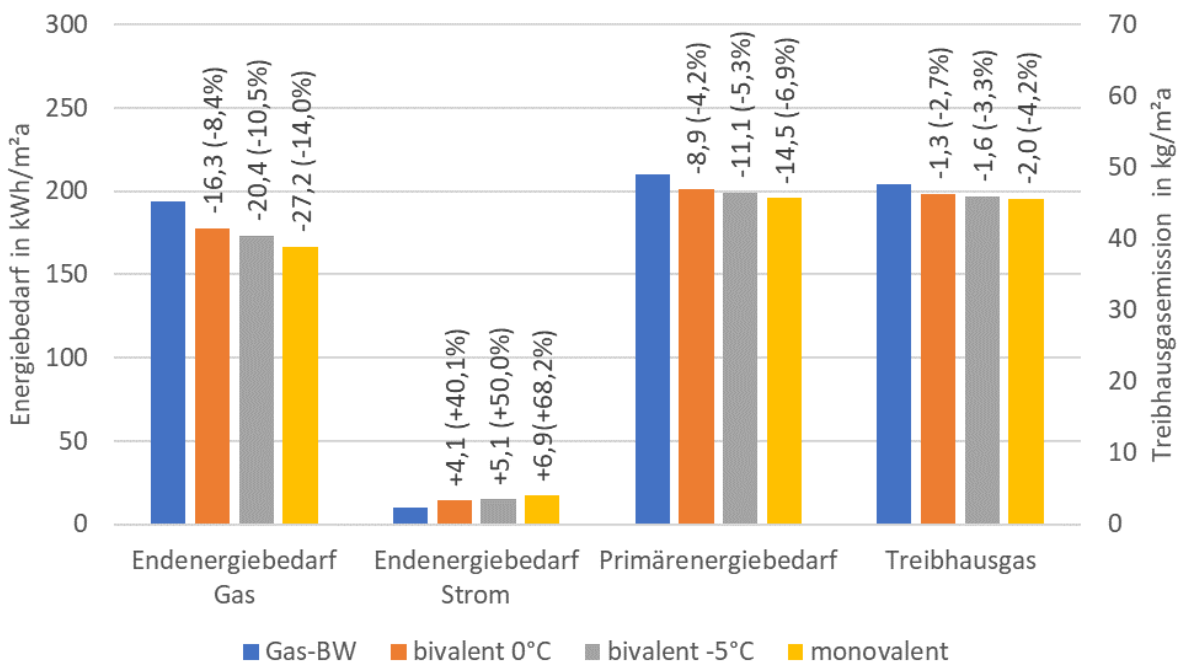


Abbildung 15: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum

Die erreichbaren Endenergieeinsparungen Gas sind im un- bzw. schlecht-sanierten Bestand bei einem gleichzeitigen Einsatz einer RLT-Anlage (monovalent 135,9 kWh/m²a) und eines Singlesplit-Systems etwas

geringer als ohne den Einsatz der RLT-Anlage (monovalent 165,8 kWh/m²a, siehe Abbildung 10). Der zusätzlich notwendige Endenergiebedarf Strom ist geringer als ohne den Einsatz einer RLT-Anlage.

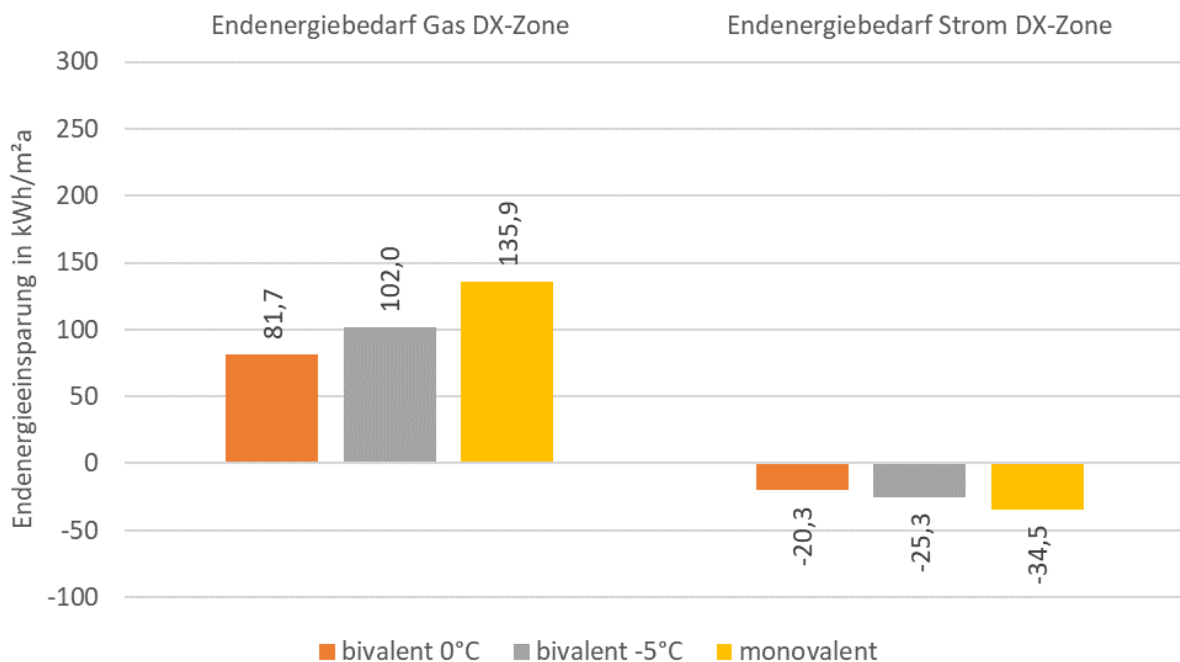


Abbildung 16: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Split-beheizten Anteil des Wohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage

Die absoluten Einsparungen beim gemeinsamen Einsatz eines Multisplit-Systems und einer RLT-Anlage sind in Abbildung 17 dargestellt. Die Einsparungen, die durch den Einsatz eines Multisplit-Systems in drei Räumen erreicht werden können, sind wie bereits im Fall ohne RLT-Anlage größer als die weitere Verbesserung, die durch den monovalenten Betrieb (8.059 kWh/a) anstelle eines bivalenten Betriebs (0 °C, 4.849 kWh/a) erreicht werden können. Es sollte allerdings beachtet werden, dass die ersten Maßnahmen (z.B. auch Dämmung eines Gebäudes) häufig einen größeren Einfluss haben, aber die letzten notwendigen Einsparungen sehr viel Aufwand bedeuten (z.B. eine Verdoppelung der Dämmstärke führt nicht zu einer Verdoppelung der Einsparungen), so dass auch kleine Schritte in diese Richtung im Zusammenspiel mit weiteren Maßnahmen einen großen Beitrag leisten können.

Die möglichen spezifischen Einsparungen bezogen auf die Nutzfläche des Einfamilienhauses sind in Abbildung 18 dargestellt. Die Primärenergieeinsparungen liegen je nach Betriebsweise zwischen 19,7 und 32,5 kWh/m²a (9,4-15,4% des Primärenergiebedarfs im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Heizung). THG-Emissionen können um 3,1 bis 5,1 kg/m²a (6,6 bis 10,8%) reduziert werden.

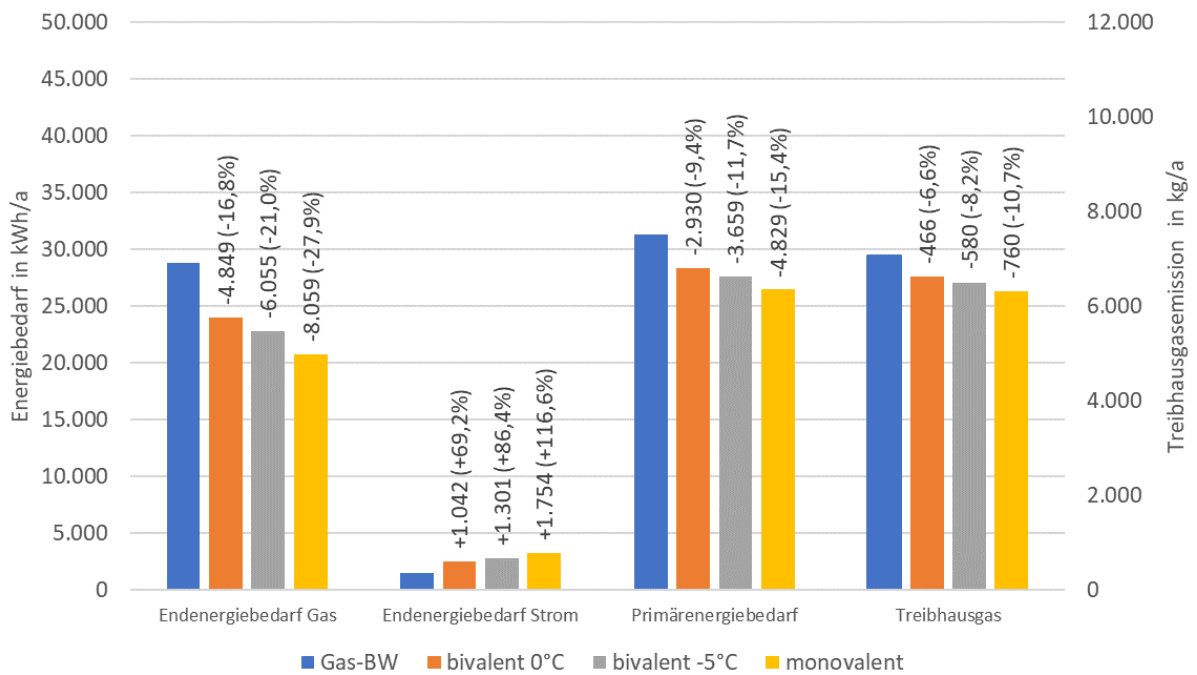


Abbildung 17: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

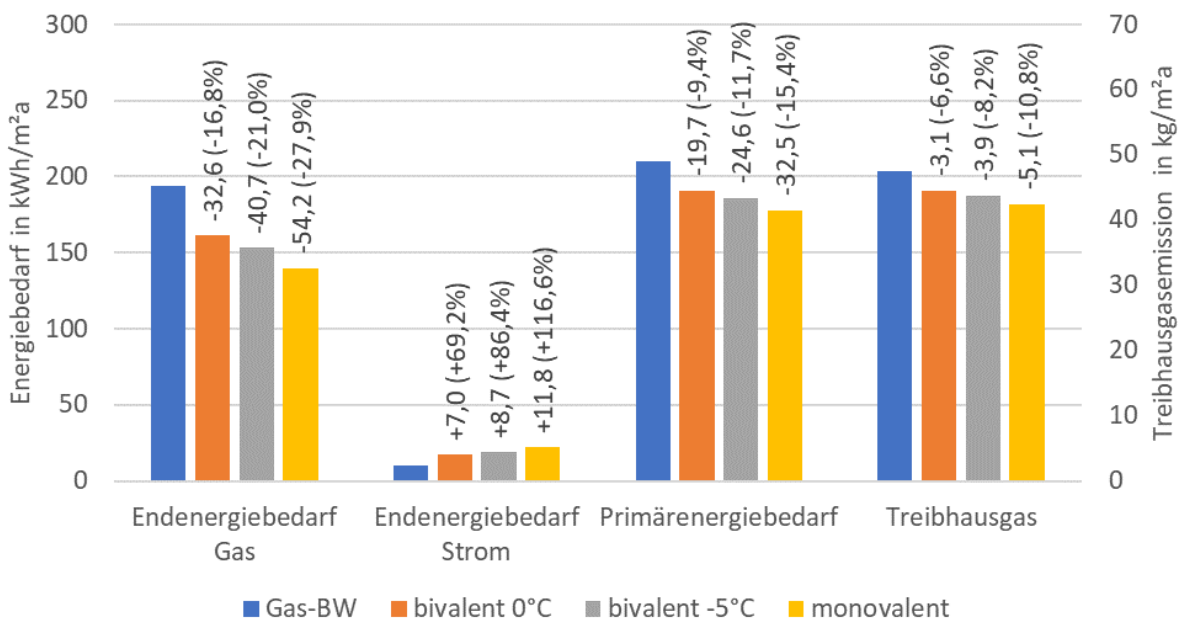


Abbildung 18: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

Die Einsparungen bei Endenergie Erdgas liegen auch im Fall mit RLT-Anlage in einer ähnlichen Größenordnung für die Singlesplit- und die Multisplit-Systeme. Der zusätzliche Endenergiebedarf Strom ist für Multisplit-Systeme etwas geringer als für Singlesplit-Systeme.

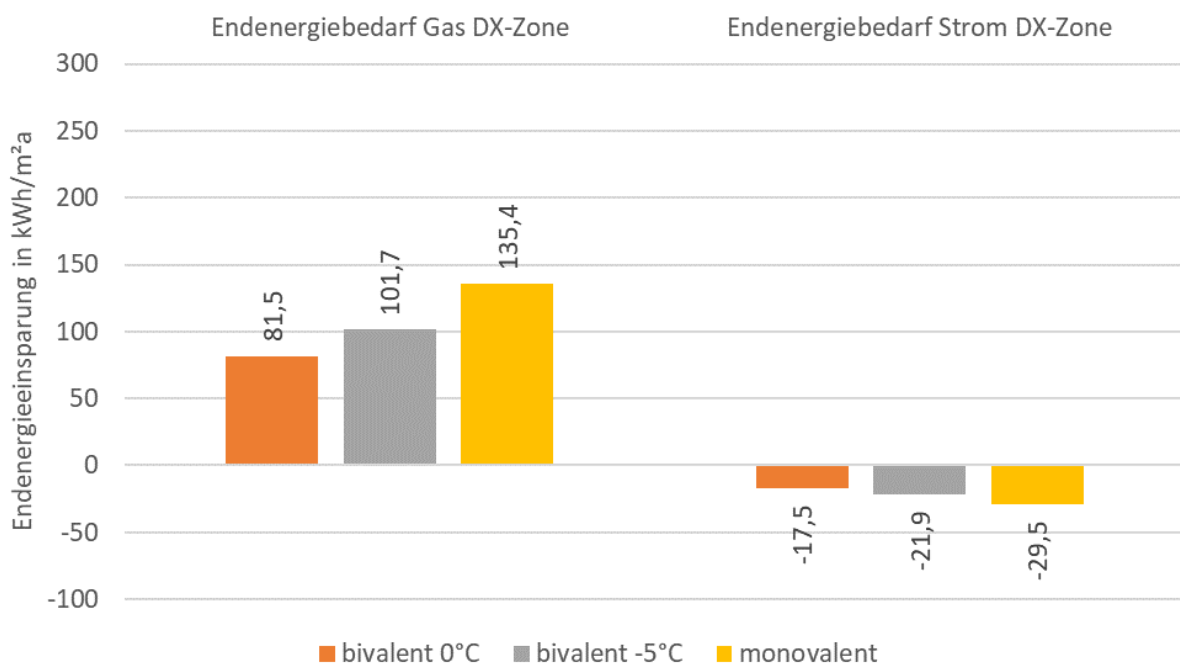


Abbildung 19: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Multisplit-beheizten Anteil des Wohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage

Die Auswertung der betrachteten Fälle hat gezeigt, dass bei der Nachrüstung von Singlesplit- bzw. Multisplit-Systemen deutliche Energieeinsparungen möglich sind. Die Reduktion des Endenergiebedarfs Gas bezogen auf die Fläche, die mit DX ausgestattet ist, ist dabei nahezu unabhängig davon, ob Singlesplit- oder Multisplit-Systeme verwendet werden. Multisplit-Systeme erweisen sich allerdings als etwas effizienter, was den für die Einsparungen notwendigen Endenergiebedarf Strom angeht.

Ein zusätzlicher Betrieb einer RLT-Anlage verringert das durch die Nachrüstung erreichbare Einsparpotenzial, allerdings sind die relativen Einsparungen bezogen auf den geringeren Energiebedarf des Referenzfalls mit Gas-Brennwerttechnik etwas höher.

4 Arbeitspaket 3: Einsparpotenzial bei Wohngebäudesanierungen

4.1 Gebäude

Für die Betrachtung eines sanierten Einfamilienhauses (siehe Abbildung 20) wird das gleiche Gebäude wie in Kapitel 3.1 verwendet. Das Gebäude hat:

- ein Bruttovolumen von 465,0 m³
- ein Nettovolumen von 353,4 m³
- eine Nutzfläche von 148,8 m²
- und eine Nettogrundfläche von 121,0 m².

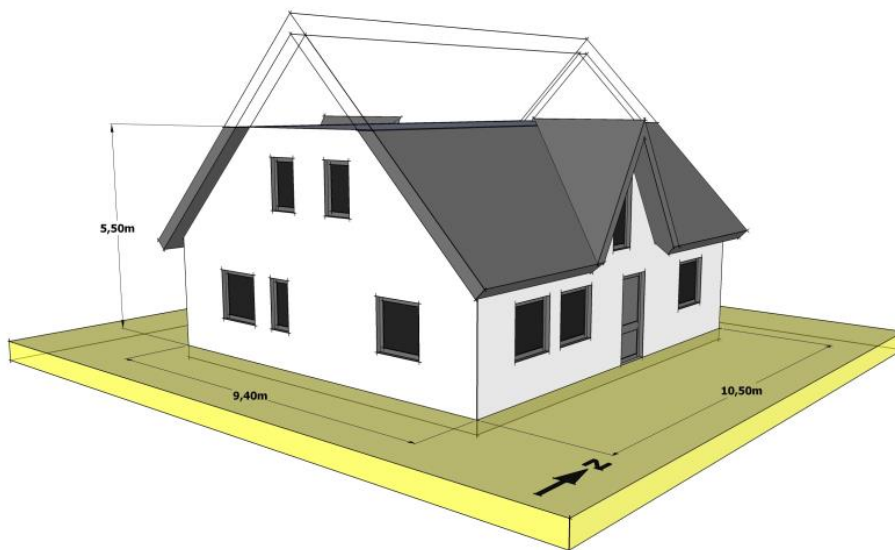


Abbildung 20: Darstellung des betrachteten EFH [ZUB10]

Im Gegensatz zum Gebäude im Bestand weist der sanierte Bestand verbesserte U-Werte sowie einen verringerten Wärmebrückenzuschlag auf (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Überblick des baulichen Wärmeschutzes für das Bürogebäude nach Sanierung (saniert nach GEG 2023 [GEG23])

Bürogebäude im sanierten Bestand		
U-Wert in W/(m ² ·K)	Außenwand	0,24
	Fenster	1,30
	Dach	0,24
	Bodenplatte	0,50
	Wärmebrückenzuschlag	0,05
Dichtheitsprüfung		mit

4.2 Anlagentechnik

Im sanierten Bestand wird davon ausgegangen, dass das Einfamilienhaus weiterhin mit einer Gas-Brennwertheizung betrieben wird. Die Gas-Brennwertheizung dient auch der Trinkwassererwärmung. Aufgrund der

Sanierung wird von niedrigeren benötigten Temperaturen von 55°C Vor- und 45°C Rücklaufemperatur gegenüber dem unsanierten Bestand ausgegangen. Hinsichtlich der Belüftung wird eine Variante mit freier Lüftung und eine Variante mit maschineller Lüftung mit Wärmerückgewinnung ($\eta=72\%$) untersucht.

Die Nachrüstung von Singlesplit-/Multisplit-Geräten erfolgt analog zum Bestand entweder in einem Raum (Singlesplit, 20% der Fläche) oder in drei Räumen (Multisplit, 40% der Fläche). Es wird unterschieden in eine monovalente und 2 bivalente (Bivalenztemperatur 0°C und -5°C) Betriebsweisen.

4.3 Einsparpotenzial

Die Berechnung erfolgt analog zum unsanierten Einfamilienhaus im Bestand mit der Software IBP18599.

In Abbildung 21 sind die absoluten Energieeinsparungen für das Einfamilienhaus im sanierten Zustand ohne RLT-Anlage und mit Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum dargestellt.

Der Energiebedarf im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Technik ist im sanierten deutlich geringer als im un- bzw. schlecht-sanierten Bestand. Die möglichen absoluten Einsparungen sind daher erwartungsgemäß etwas geringer (siehe Abbildung 8, Primärenergiebedarf 1.077 bis 2.403 kWh/a), während die relativen Einsparungen um etwa 1 bis 2% gegenüber dem unsanierten Bestand ansteigen (Primärenergiebedarf im unsanierten Bestand 3,1-6,8%). Treibhausgasemissionen im sanierten Bestand können bis zu 287 kg/a eingespart werden.

Dies entspricht einer Einsparung (siehe Abbildung 22) von bis zu 1,9 kg/m²a. Die spezifischen Primärenergieeinsparungen erreichen im betrachteten Einfamilienhaus eine Höhe von maximal 13,6 kWh/m²a.

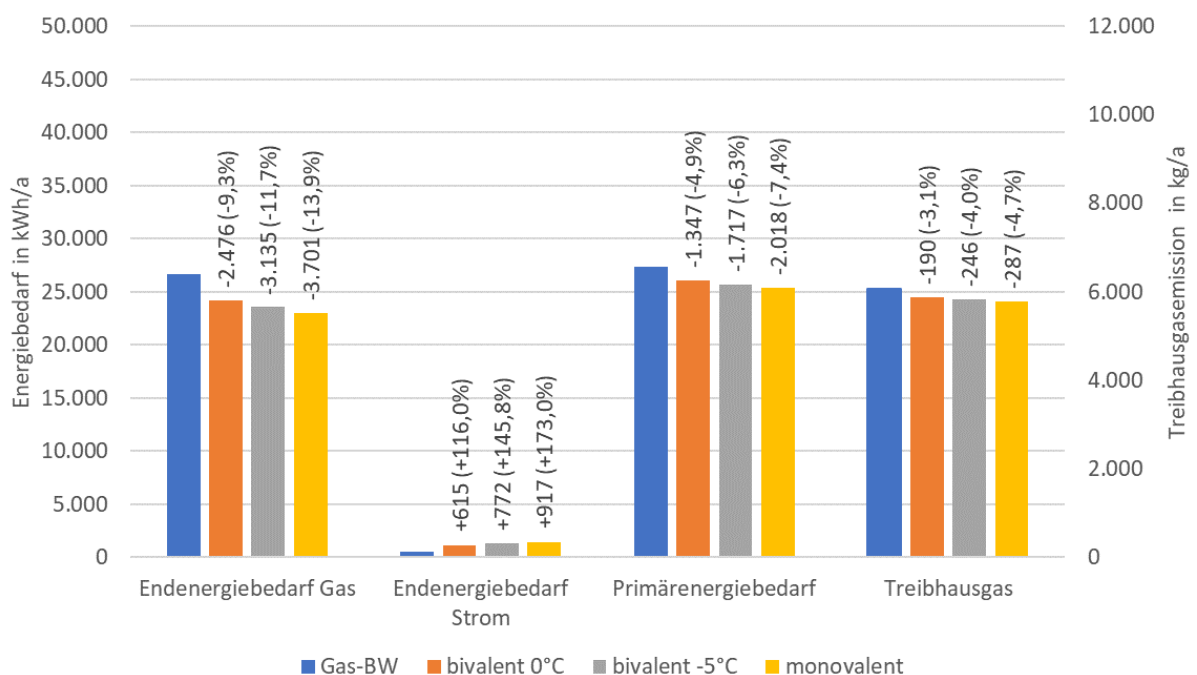


Abbildung 21: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Split-Systems in einem Raum

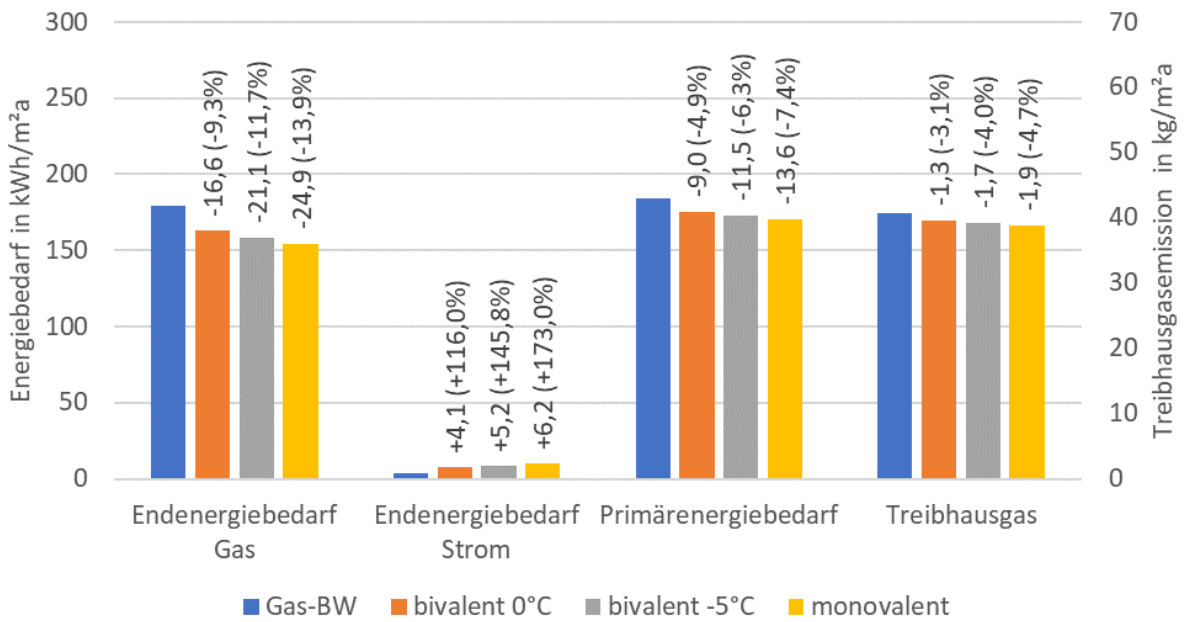


Abbildung 22: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Split-Systems in einem Raum

Die spezifischen Einsparungen bezogen auf den mit DX-ausgestatteten Bereich sind in Abbildung 23 dargestellt. Die Einsparungen Endenergiebedarf Gas sind geringer als im unsanierten Bestand ohne RLT-Anlage, aber auch als im unsanierten Bestand mit RLT-Anlage. Der Endenergiebedarf Gas im Referenzfall ist aber ebenfalls deutlich geringer, sodass das geringere Einsparpotential zu erwarten war. Auch der für die Einsparungen notwendige zusätzliche Endenergiebedarf Strom ist geringer als im Fall des unsanierten Einfamilienhauses.

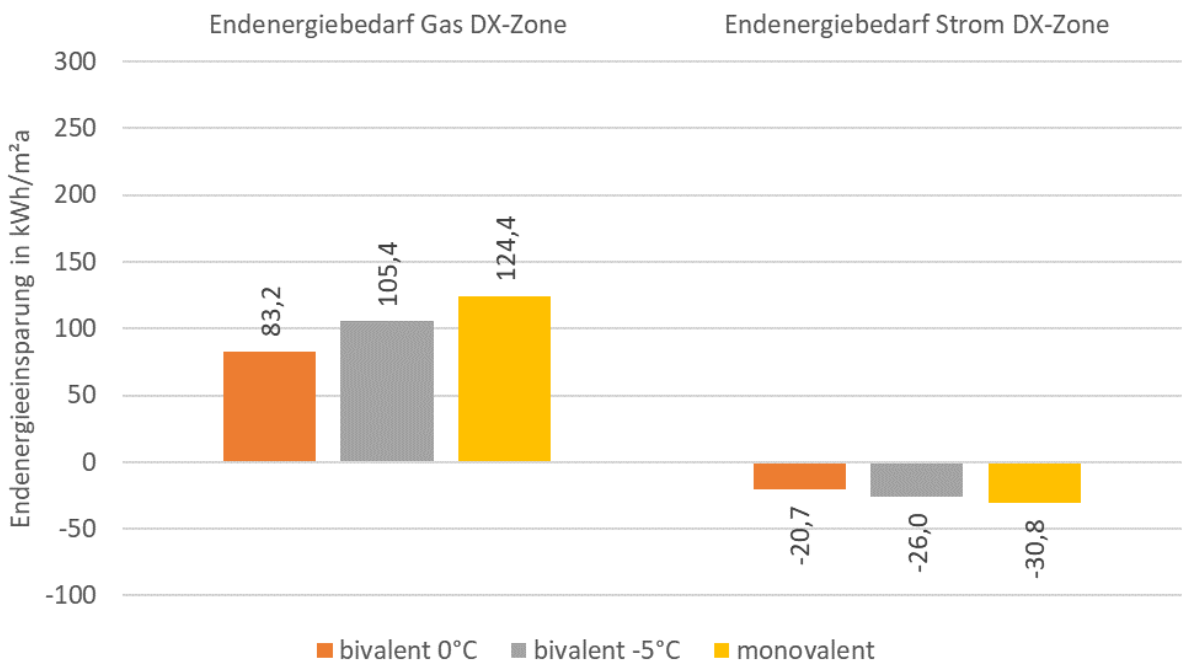


Abbildung 23: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Split-beheizten Anteil des Wohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage

Die absoluten Energiebedarfe und die zugehörigen Einsparungen für den Fall der Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen anstelle eines Singlesplit-Systems in einem Raum sind in Abbildung 24 dargestellt. Die Nachrüstung eines Multisplit-Systems mit bivalenter Betriebsweise (Bivalenztemperatur 0°C) reduziert den Endenergiebedarf Gas um 4.927 kWh/a (18,5%). Ein monovalenter Betrieb erzielt Einsparungen um bis zu 7.465 kWh/a, also eine weitere Reduktion um 2.538 kWh/a gegenüber dem bivalenten Betrieb. Dies sind höhere Einsparungen als im Fall des sanierten Einfamilienhauses mit Nachrüstung eines Singlesplit-Systems (siehe Abbildung 21), aber eine geringere Einsparung als im unsanierten Bestand bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems (Abbildung 11).

Die erreichbaren spezifischen Primärenergieeinsparungen (siehe Abbildung 25) liegen in Abhängigkeit von der Betriebsweise zwischen 20,2 und 30,6 kWh/m²a (8,1 bis 16,6% des Primärenergiebedarfs im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Heizung). Dies geht einher mit einer Reduktion der THG-Emissionen im Bereich von 3,2 bis 4,9 kg/m²a (7,9 bis 12,0%).

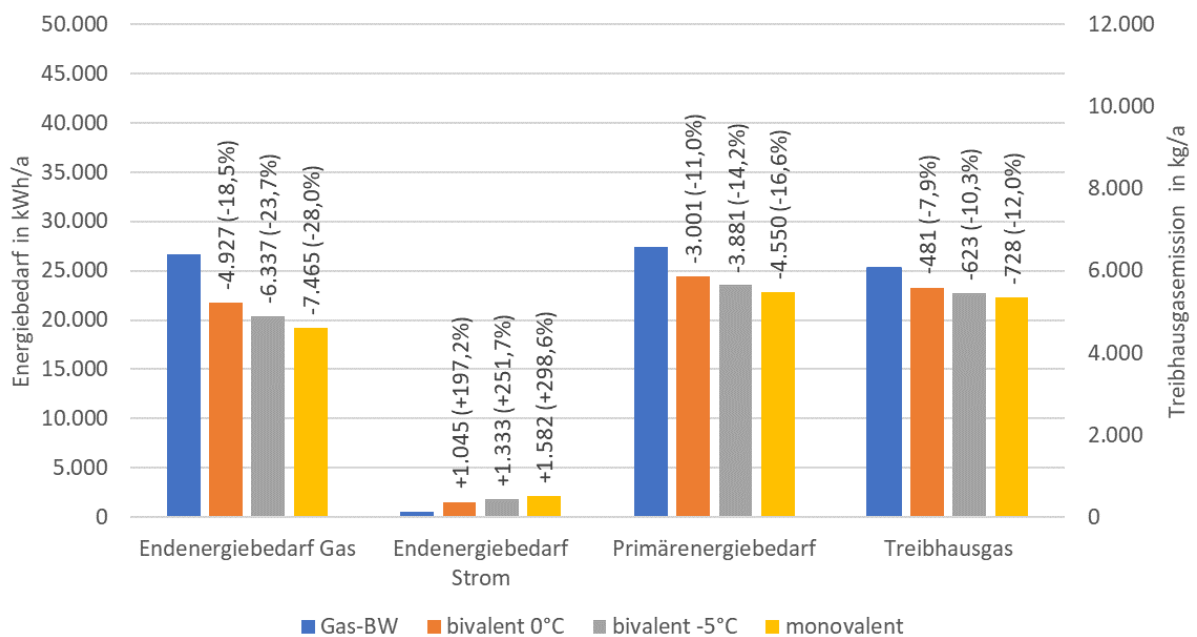


Abbildung 24: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

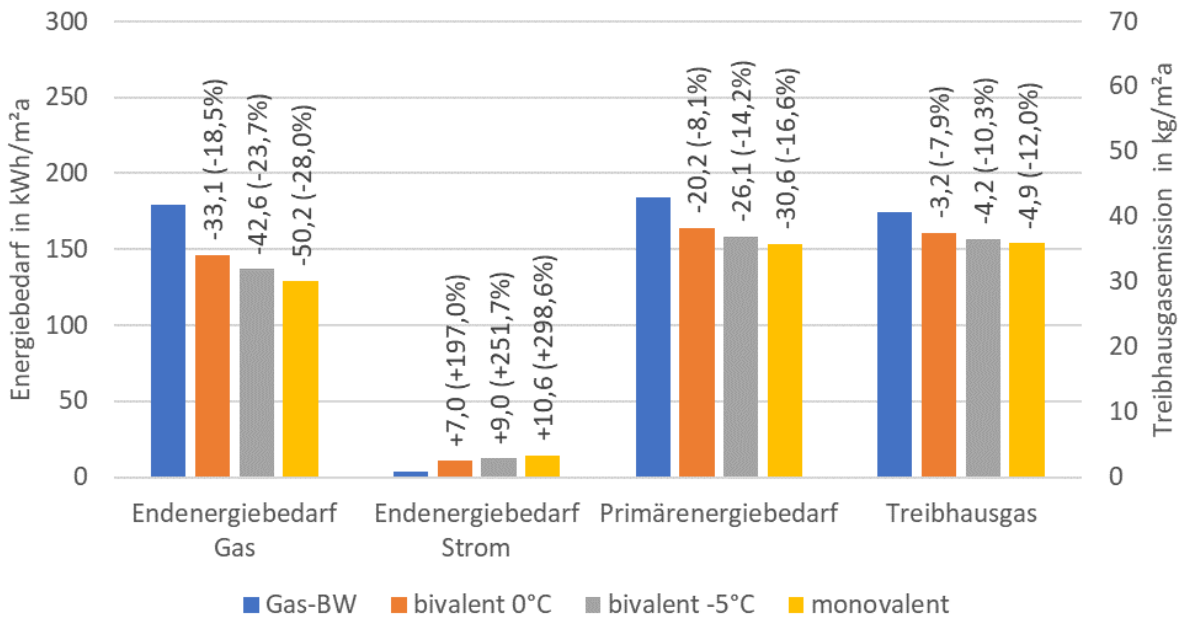


Abbildung 25: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

Die spezifischen Einsparungen bezogen auf die mit Multisplit-System beheizte Fläche sind in Abbildung 26 dargestellt. Die Endenergieeinsparungen Gas liegen im Fall des monoventen Betriebs mit 125,4 kWh/m²a nur minimal über den Einsparungen bei Einsatz eines Split-Systems (siehe Abbildung 23, 124,4 kWh/m²a). Der dafür notwendige Endenergieeinsatz Strom (26,6 kWh/m²a) ist etwas geringer als beim Singlesplit-System (30,8 kWh/m²a).

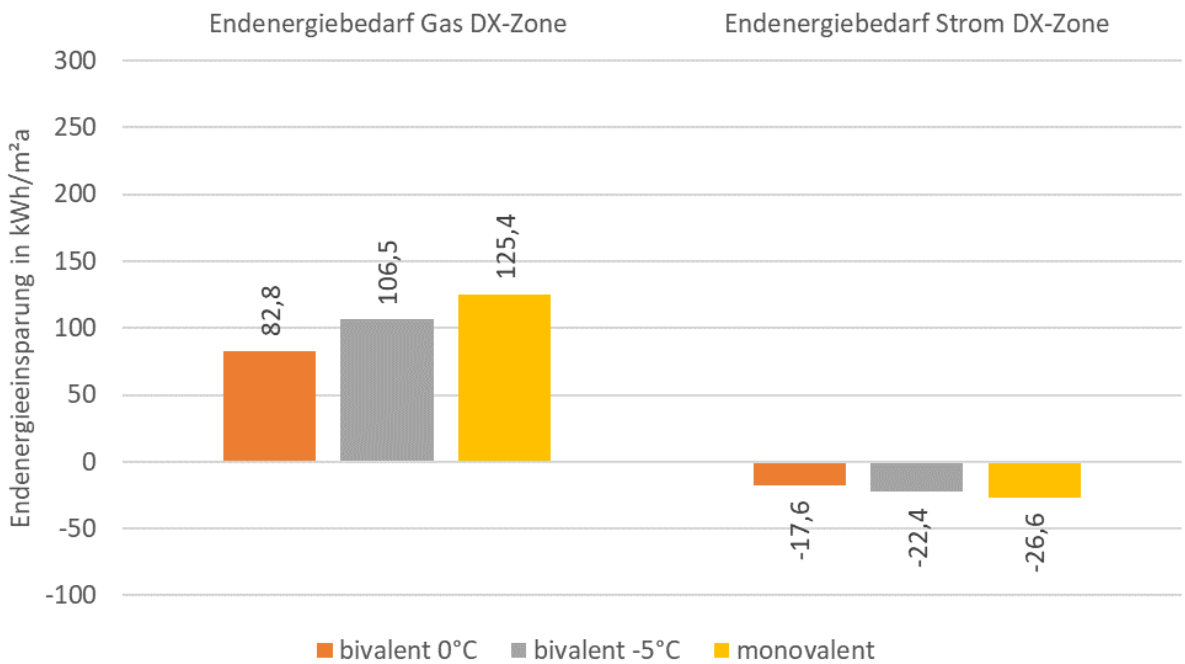


Abbildung 26: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Multisplit-beheizten Anteil des Wohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage

Im Neubau, aber auch zunehmend bei der Sanierung von Wohngebäuden werden RLT-Anlagen eingebaut bzw. nachgerüstet. Die möglichen absoluten Einsparungen im sanierten Bestand bei Vorhandensein einer RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung und bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems sind in Abbildung 27 dargestellt. Im Vergleich zum sanierten Einfamilienhaus ohne RLT-Anlage ist der Endenergiebedarf Gas im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Heizung um etwa 5.000 kWh/a geringer. Der zusätzlich notwendige Endenergiebedarf Strom ist mit maximal 606 kWh/a geringer als in allen anderen betrachteten Fällen für das Einfamilienhaus. Dies lässt sich zum einen auf die geringere mit Split ausgestattete Fläche (20%) und zum anderen auf den besseren Dämmstandard des sanierten Gebäudes und damit die geringere notwendige Heizleistung zurückführen.

Die spezifischen Einsparungen bezogen auf die Nutzfläche sind in Abbildung 28 dargestellt. Die spezifischen Primärenergieeinsparungen liegen im Bereich von 5,7 bis 11,4 kWh/m²a (3,6 bis 7,1% des Primärenergiebedarfs im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Heizung) und die Reduktion der THG-Emissionen bei 0,9 bis 1,8 kg/m²a (2,5 bis 4,9%). Sie liegen damit absolut niedriger als die möglichen Einsparungen bei Nachrüstung des Singlesplit-Systems ohne gleichzeitige Verwendung einer RLT-Anlage, aber relativ betrachtet in einer ähnlichen Größenordnung.

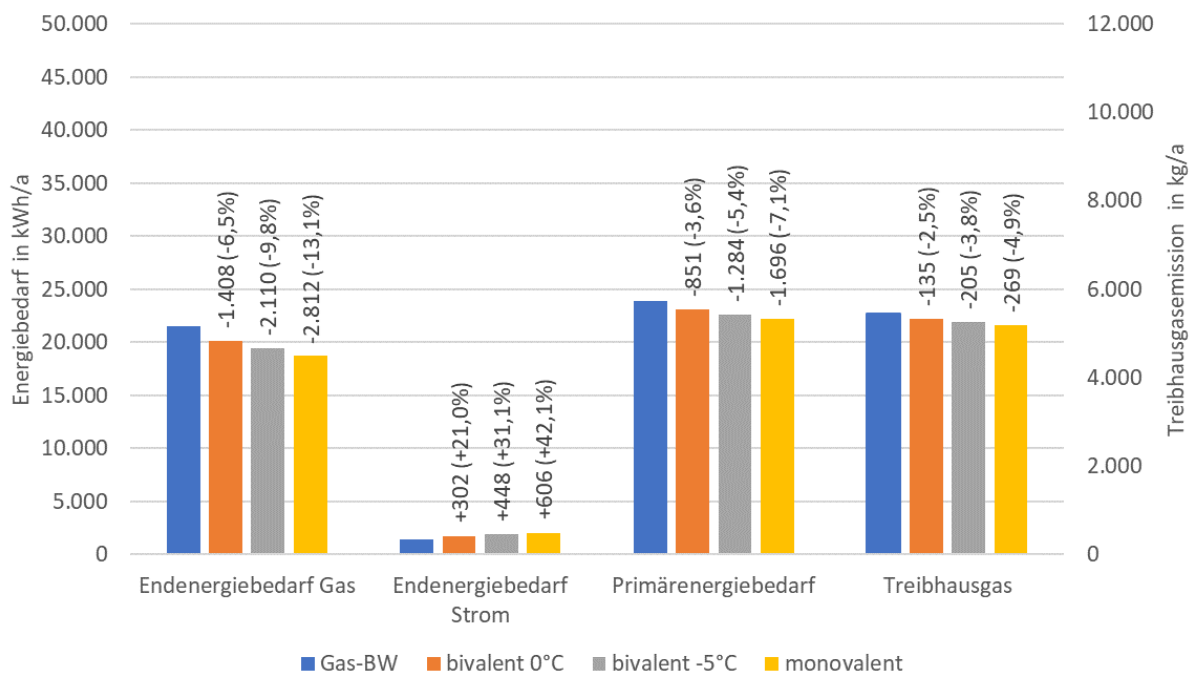


Abbildung 27: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum

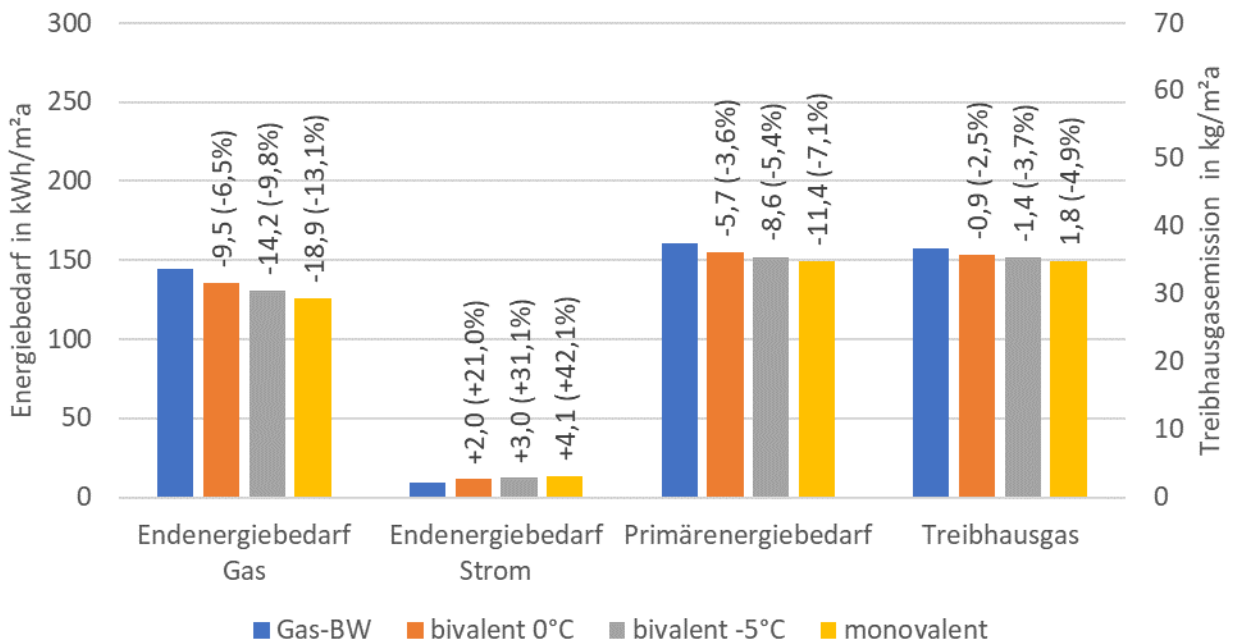


Abbildung 28: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum

Die spezifischen Einsparungen bezogen auf den mit Split-System ausgestatteten Wohnbereich sind in Abbildung 29 dargestellt. Die erreichbaren Einsparungen Endenergie Gas liegen mit 94 kWh/m²a deutlich niedriger als im unsanierten Bestand mit RLT-Anlage (siehe Abbildung 16) mit bis zu 135,9 kWh/m²a und im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage (siehe Abbildung 26) mit 125,4 kWh/m²a. Aber auch der dafür zusätzlich einzusetzende Endenergiebedarf Strom liegt mit 20,4 kWh/m²a deutlich niedriger als im Vergleichsfall im unsanierten Bestand (34,5 kWh/m²a) und im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage (26,6 kWh/m²a).

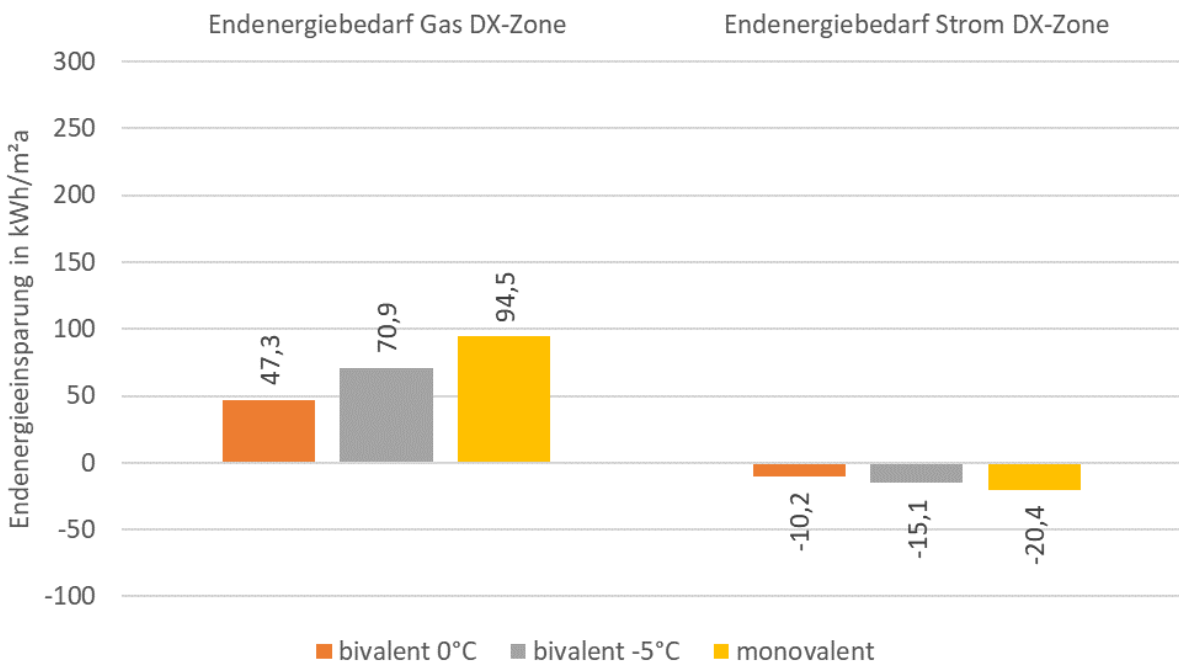


Abbildung 29: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Split-beheizten Anteil des Wohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage

Die Ergebnisse für die Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen des sanierten Einfamilienhauses mit RLT-Anlage sind aus Abbildung 30 abzulesen. Die Nachrüstung eines Multisplit-Systems kann den Endenergiebedarf Gas rechnerisch um bis zu 26,1% (5.619 kWh/a) reduzieren. Dementgegen steht eine Erhöhung des Primärenergiebedarfs Strom um bis zu 1.245 kWh/a. Daraus resultiert eine Primärenergieeinsparung von bis zu 3.326 kWh/a und eine Reduktion der THG-Emissionen um bis zu 518 kg/a.

Die spezifischen Einsparungen bezogen auf die Nutzfläche sind in Abbildung 31 dargestellt. Die Primärenergieeinsparungen liegen im Bereich von 13,2 bis 22,3 kWh/m²a (8,2 bis 13,9%) und die Reduktion der THG-Emissionen bei 2,1 bis 3,5 kg/m²a (5,7 bis 9,4%).

Die erreichbaren Einsparungen sind etwas höher beim Einsatz des Multisplit-Systems in drei Räumen des sanierten Einfamilienhauses als beim Einsatz eines Singlesplit-Systems in einem einzigen Raum (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28).

Der Einsatz der RLT-Anlage hingegen verringert das Potential zur Reduzierung der THG-Emissionen bei monovalenter Betriebsweise von 4,9 kg/m²a auf 3,5 kg/m²a.

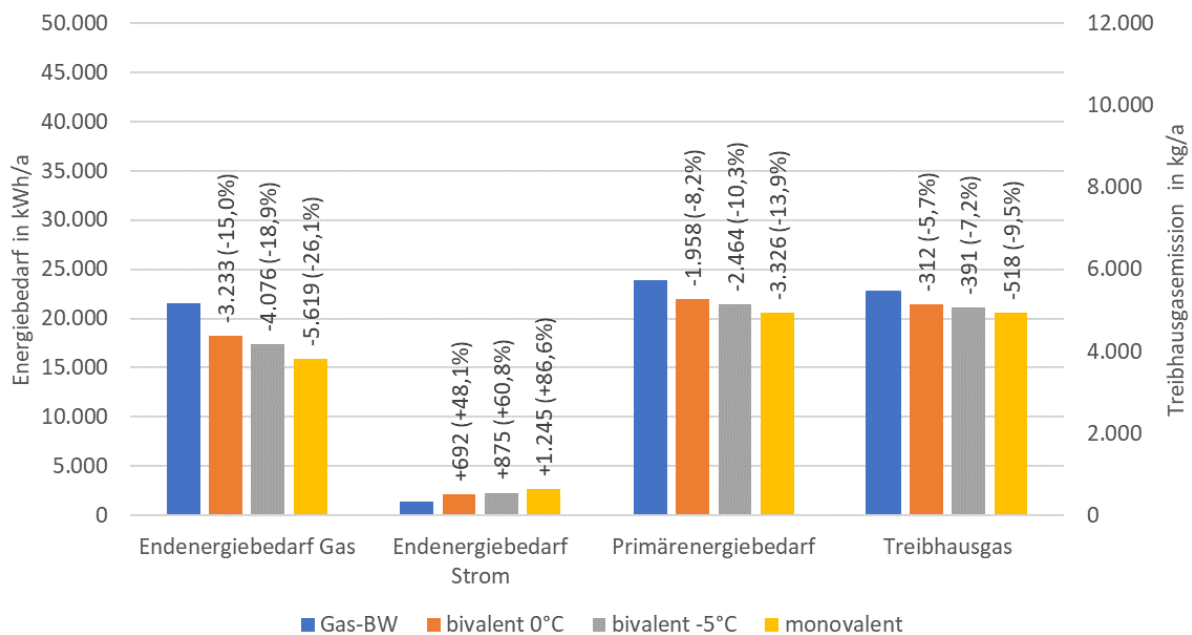


Abbildung 30: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

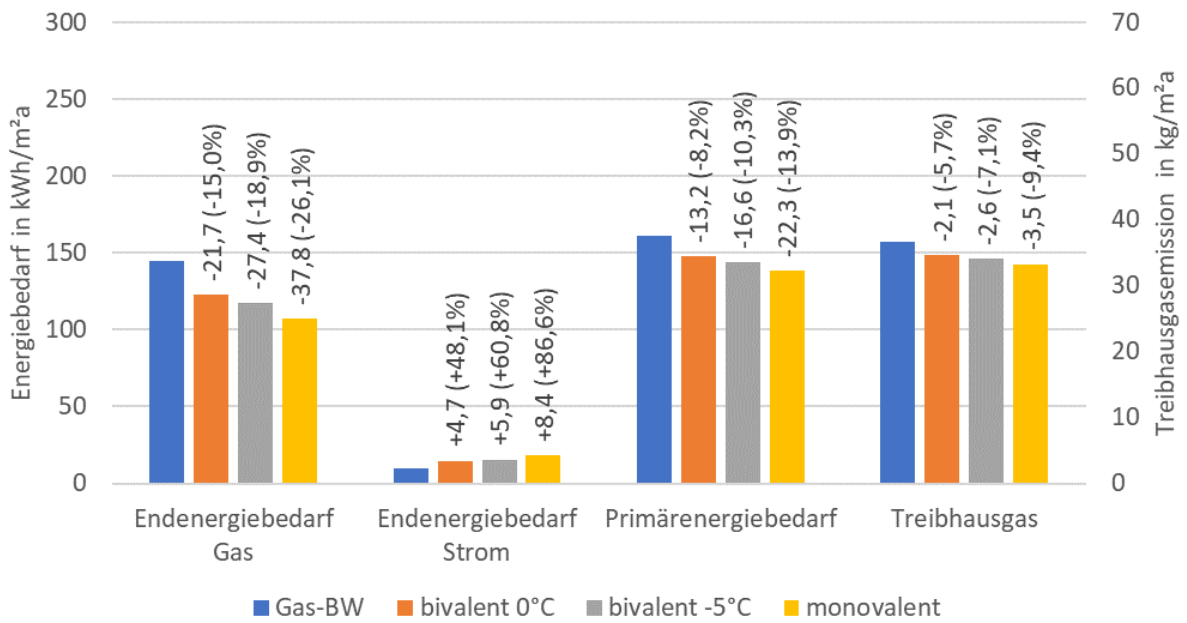


Abbildung 31: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Wohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage bei Nachrüstung eines Multisplit-Systems in drei Räumen

Die spezifischen Einsparungen bezogen auf den mit Multi-Split ausgestatteten Bereich von 54,3 bis 94,4 kWh/m²a und damit erneut sehr nah an den möglichen Einsparungen bei Einsatz eines Singlesplit- anstelle eines Multisplit-Systems. Auch der dafür notwendige zusätzliche Endenergiebedarf Strom unterscheidet sich zwischen Singlesplit- und Multisplit-System im betrachteten sanierten Einfamilienhaus nur minimal.

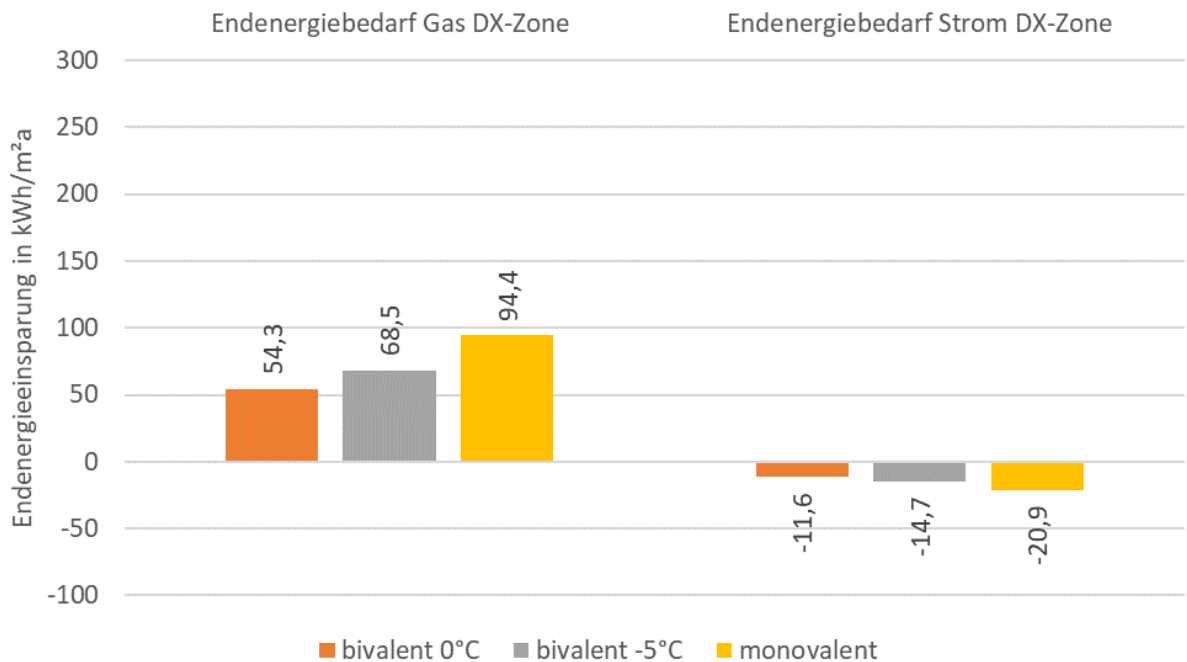


Abbildung 32: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit Multisplit-beheizten Anteil des Wohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage

Der Vergleich der betrachteten Fälle mit Nachrüstung eines Singlesplit-Systems in einem Raum (20% der Nutzfläche) und eines Multisplit-Systems in drei Räumen zeigt, dass die erreichbaren Einsparungen Endenergie Gas bezogen auf die tatsächlich mit dem System ausgestattete Nutzfläche jeweils in ähnlichen Bereichen liegen, aber bei Einsatz eines Multisplit-Systems für die gleichen Einsparungen ein geringerer zusätzlicher Endenergiebedarf Strom benötigt wird. Das Verhältnis von eingesparter Endenergie Gas zu zusätzlich aufzuwendender Endenergie Strom liegt in allen betrachteten Fällen im Einfamilienhaus (saniert sowie unsaniert) zwischen 3,6 und 4,7. Die Fälle mit Multisplit-Systemen weisen die etwas höheren Einsparungen bezogen auf eine kWh eingesetzter Endenergie Strom auf.

Der Einsatz einer RLT-Anlage reduziert den benötigten Energiebedarf im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Technik. Dies führt zu geringerem absolutem sowie spezifischem Einsparpotential bei Primärenergiebedarf und THG-Emissionen. Aufgrund des geringeren Bedarfs im Referenzfall sind die relativen Einsparungen meist höher als im Vergleichsfall ohne RLT-Anlage. Das gesamte Einsparpotential für die Kombination aus RLT-Anlage und Singlesplit-/Multisplit-System ist daher höher als der alleinige Einsatz eines der beiden Systeme.

Eine Verbesserung durch die Kombination verschiedener Maßnahmen kann auch beim Vergleich sanierter gegenüber unsaniertem Bestand festgestellt werden. Dies verdeutlicht, dass die Kombination verschiedener Maßnahmen (Dämmung + DX-System + RLT-Anlage) zwar das Potential für eine einzelne Technik schmälert, aber insgesamt den größten Beitrag zur Energieeinsparung sowie Reduktion von THG-Emissionen leistet.

5 Arbeitspaket 4a: Einsparpotenzial im Nichtwohngebäudebestand

5.1 Gebäude

Bei dem betrachteten Bürogebäude mit drei Büroetagen und einem sich über die halbe Grundfläche erstreckenden Technik-/Lagergeschoss in der vierten Etage handelt es sich um ein kleines freistehendes Gebäude (siehe Abbildung 33). Das Bürogebäude hat eine Netto-Grundfläche von ca. 1.700 m² und ist nicht unterkellert. Die Stirnseite mit dem Eingangsbereich ist großflächig verglast.

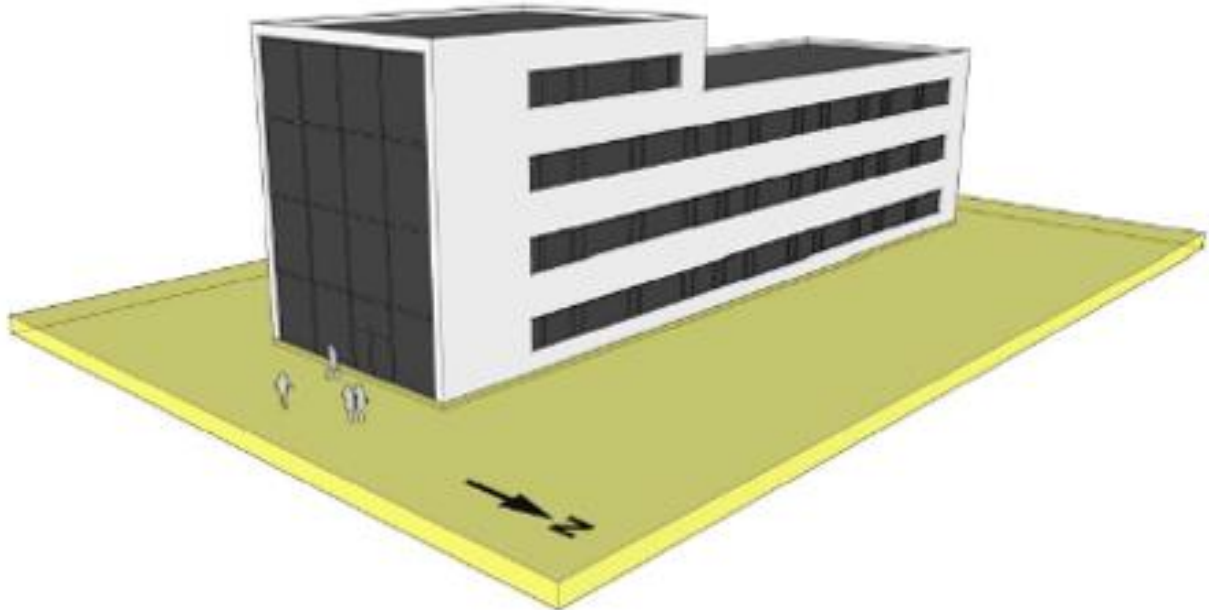


Abbildung 33: Darstellung des betrachteten Bürogebäudes [ZUB10]

Das Bürogebäude wird im Bestand mit dem in Tabelle 11 aufgeführten baulichem Wärmeschutz sowie mit den in Tabelle 12 aufgeführten wärmeübertragenden Hüllflächen ausgeführt.

Tabelle 11: Überblick des baulichen Wärmeschutzes für das Bürogebäude im Bestand
(errichtet nach Wärmeschutzverordnung 1995)

Bürogebäude im Bestand		
U-Wert in W/(m ² ·K)	Außenwand	0,50
	Fenster	1,80
	Flachdach	0,30
	Bodenplatte	0,50
	Wärmebrückenzuschlag	0,10
Dichtheitsprüfung		ohne

Tabelle 12: Wärmeübertragende Hüllfläche/Höhen für das Bürogebäude

Wärmeübertragende Hüllfläche	gesamt	Zone 1 Großraum- büro	Zone 2 Sitzung/Be- sprechung	Zone 3 Sanitär	Zone 4 Verkehrs- flächen	Zone 5 Lager, Technik, Archiv
Höhe Geschoss in m	3,70					
Höhe Gebäude in m	15,10					
Bodenplattenfläche in m ²	591,00	410,00	87,00	26,00	68,00	0,00
Brutto-Dachfläche in m ²	591,00	266,00	81,00	0,00	63,00	181,00
Netto-Dachfläche in m ²	591,00	266,00	81,00	0,00	63,00	181,00
Brutto-Wandfläche gesamt in m ²	1.517,60	661,00	269,40	55,60	398,60	133,00
Brutto-Wandfläche Nord in m ²	624,80	225,00	211,00	27,80	75,00	56,00
Brutto-Wandfläche Ost in m ²	189,00	0,00	39,00	0,00	136,00	14,00
Brutto-Wandfläche Süd in m ²	594,80	436,00	19,40	27,80	48,60	63,00
Brutto-Wandfläche West in m ²	139,00	0,00	0,00	0,00	139,00	0,00
Netto-Wandfläche gesamt in m ²	901,50	378,00	135,90	48,00	253,20	86,40
Netto-Wandfläche Nord in m ²	386,90	129,00	120,00	24,00	75,00	38,90
Netto-Wandfläche Ost in m ²	7,50	0,00	1,90	0,00	4,00	1,60
Netto-Wandfläche Süd in m ²	381,50	249,00	14,00	24,00	48,60	45,90
Netto-Wandfläche West in m ²	125,60	0,00	0,00	0,00	125,60	0,00
Fensterflächen gesamt in m ²	616,10	283,00	133,50	7,60	145,40	46,60
Fensterfläche Nord in m ²	207,90	96,00	91,00	3,80	0,00	17,10
Fensterfläche Ost in m ²	181,50	0,00	37,10	0,00	132,00	12,40
Fensterfläche Süd in m ²	213,30	187,00	5,40	3,80	0,00	17,10
Fensterfläche West in m ²	13,40	0,00	0,00	0,00	13,40	0,00

Das Bürogebäude wird als Mehrzoner mit 5 Zonen bilanziert (siehe Abbildung 34).

- Zone 1 – Großraumbüros (Nutzungsprofil Nr. 3 „Großraumbüro“)
- Zone 2 – Besprechung, Sitzung, Seminar (Nutzungsprofil Nr. 4 „Besprechung/Sitzungszimmer, Seminar“)
- Zone 3 – WC und Sanitärräume im Nichtwohngebäuden (Nutzungsprofil Nr. 16 „WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden“)
- Zone 4 – Verkehrsflächen, wie z. B. Flure (Nutzungsprofil Nr. 19 „Verkehrsfläche“)
- Zone 5 – Lager, Technik, Archiv (Nutzungsprofil Nr. 20 „Lager/Technik/Archiv“)

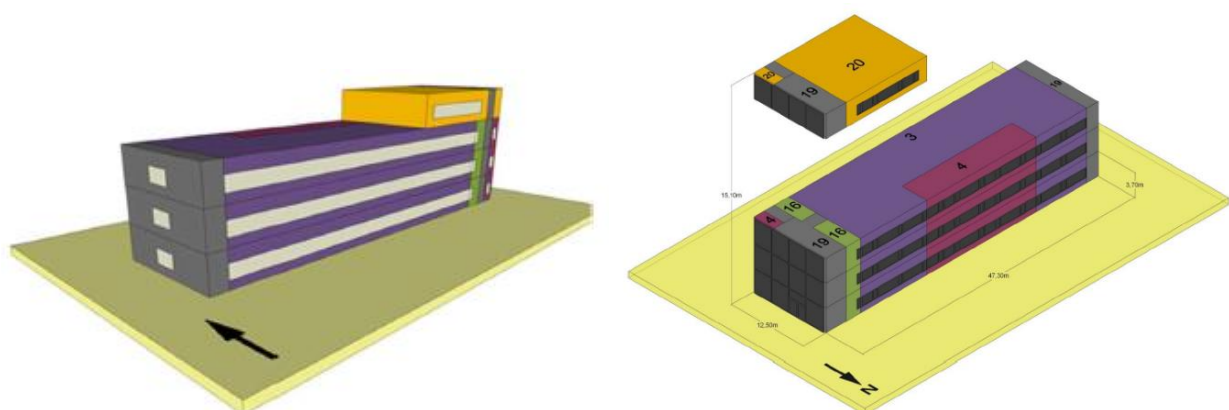


Abbildung 34: Bürogebäude – Darstellung der Zonen (links: Ansicht Süd-West, rechts: Ansicht Nord-Ost) [ZUB10]

5.2 Anlagentechnik

Das Gebäude wird im Bestand mit:

- einer Gas-Brennwertheizung
- Heizkörpern mit Auslegung 70°C/55°C
- und dezentral elektrischer Trinkwassererwärmung

betrieben. Zusätzlich werden 2 Fälle für die Belüftung des Gebäudes betrachtet. In einem Fall werden alle Zonen des Gebäudes durch eine RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung (73 %) und Kühlregister maschinell belüftet. Die Belüftung der Großraumbüros sowie der Verkehrsflächen erfolgt zeitabhängig, für die anderen Zonen ist eine präsenzabhängige Lüftung geplant. Im weiteren Fall entfällt sowohl die RLT-Anlage als auch die Kälteerzeugung komplett und die Belüftung erfolgt durch die Nutzer über Fensterlüftung.

Zur Ermittlung des Einsparpotenzials durch DX-Systeme wird die Nachrüstung eines VRF-Systems in der obersten Büroetage vorgesehen. Für die Fälle mit und ohne RLT-Anlage werden 3 verschiedene Betriebsweisen (monovalent, bivalent -5°C, bivalent 0°C) betrachtet. Der Weiterbetrieb der Gas-Brennwertheizung als 2. Wärmeerzeuger im bivalenten Betrieb erfolgt parallel.

5.3 Einsparpotenzial

In Abbildung 35 sind die Energiebedarfe sowie die Treibhausgasemission des unsanierten Bestandes mit RLT-Anlage dargestellt. Berücksichtigt werden dabei alle im Gebäude benötigten Energien für Beheizung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung, Lüftung und Kühlung. Während der blaue Balken jeweils den Referenzfall des Gas-Brennwertkessels zur Beheizung des gesamten Gebäudes darstellt, stellen die anderen drei Balken die verschiedenen Betriebsweisen des in einer Etage nachträglich installierten DX-Systems im Zusammenspiel mit dem Gas-Brennwertkessel in den übrigen Etagen bzw. bei bivalentem Betrieb auch teilweise in der mit VRF-beheizten Etage dar. Auf der linken Achse sind der Endenergiebedarf für Gas, für Strom sowie der Primärenergiebedarf (die 3 linken Balken-Blöcke) dargestellt. Die Treibhausgasemission (rechter Balken-Block) ist auf der rechten Achse dargestellt. Durch den teilweisen Einsatz des VRF-Systems ist eine deutliche Einsparung an Endenergie Gas möglich. Mit sinkender Bivalenztemperatur, also steigendem Deckungsanteil der Wärmepumpe, steigen die Einsparungen erwartungsgemäß an. Der Endenergiebedarf Strom des Referenzfalls basiert im Wesentlichen auf dem Betrieb der RLT-Anlage sowie der Berücksichtigung der Beleuchtung. Hinzu kommt die benötigte Hilfsenergie. Durch den Einsatz des VRF-Systems wird Strom auch für die Beheizung benötigt, sodass der Strombedarf etwas ansteigt. Mit sinkender Bivalenztemperatur, also steigender Laufzeit, steigt der zusätzliche Strombedarf an. Die Betrachtung des Primärenergiebedarfs zeigt, dass die Gaseinsparungen nicht durch den zusätzlichen Strombedarf ausgeglichen werden, sodass insgesamt eine Energieeinsparung erreicht wird. Diese Einsparung spiegelt sich auch in der Einsparung von Treibhausgasemissionen wider.

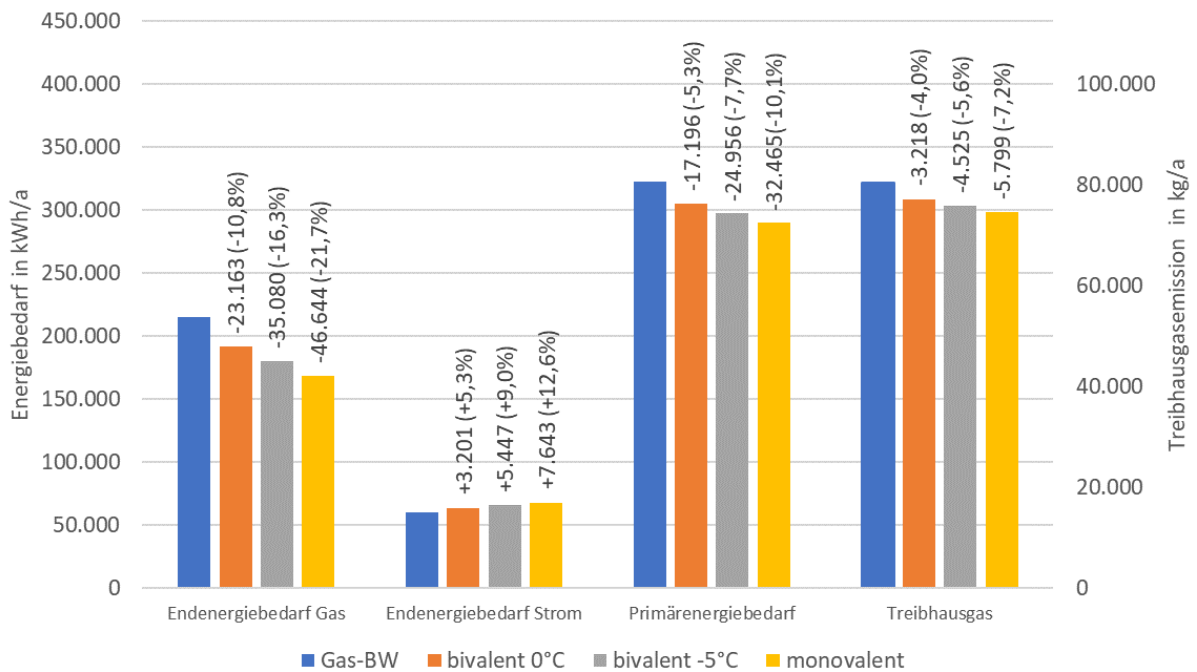


Abbildung 35: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage

Für die Hochrechnung auf den Gebäudebestand ist die Betrachtung von spezifischen Werten notwendig. Die Ergebnisse sowie das Einsparpotenzial sind in Abbildung 36 dargestellt. Durch den Einsatz der VRF-Systeme in 30 % der Fläche sind Primärenergieeinsparungen von etwa 10 % möglich.

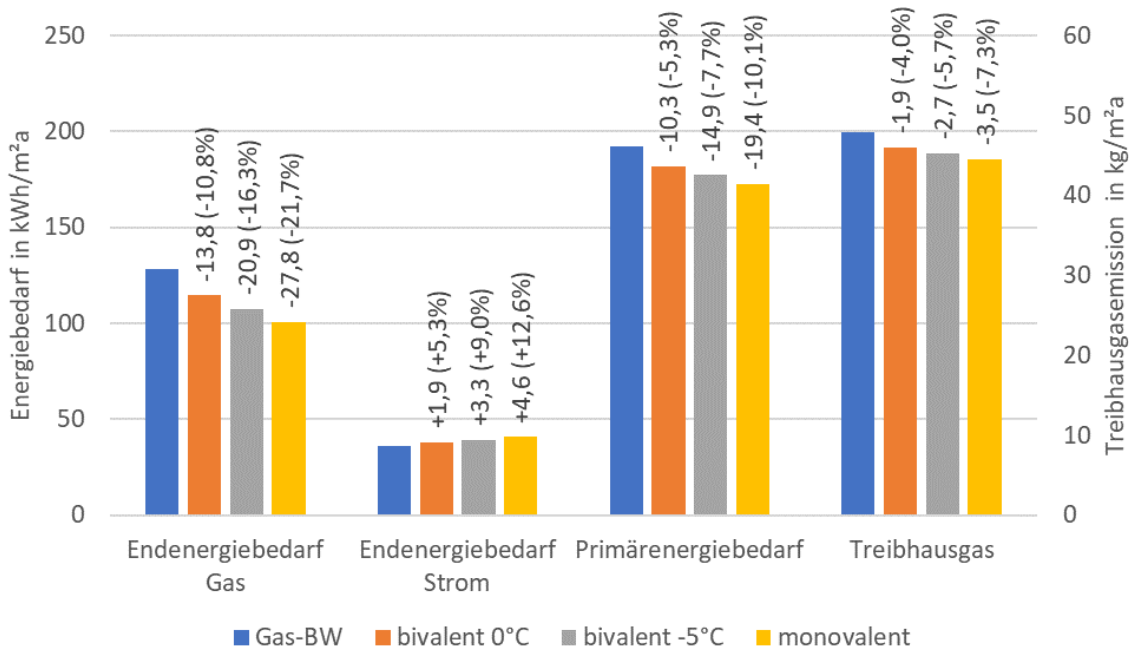


Abbildung 36: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage

Das Einsparpotenzial bezogen auf die mit VRF ausgestattete Fläche ist in Abbildung 37 dargestellt. Da der Bedarf für Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung unverändert bleibt, sind im Einsparpo-

tenzial nur noch die Änderungen im Heizwärme- und Strombedarf enthalten. Basierend auf diesen Ergebnissen sind Abschätzungen des Einsparpotenzials für andere Gebäude mit einem variablen Anteil an mit VRF ausgestatteter Fläche möglich.

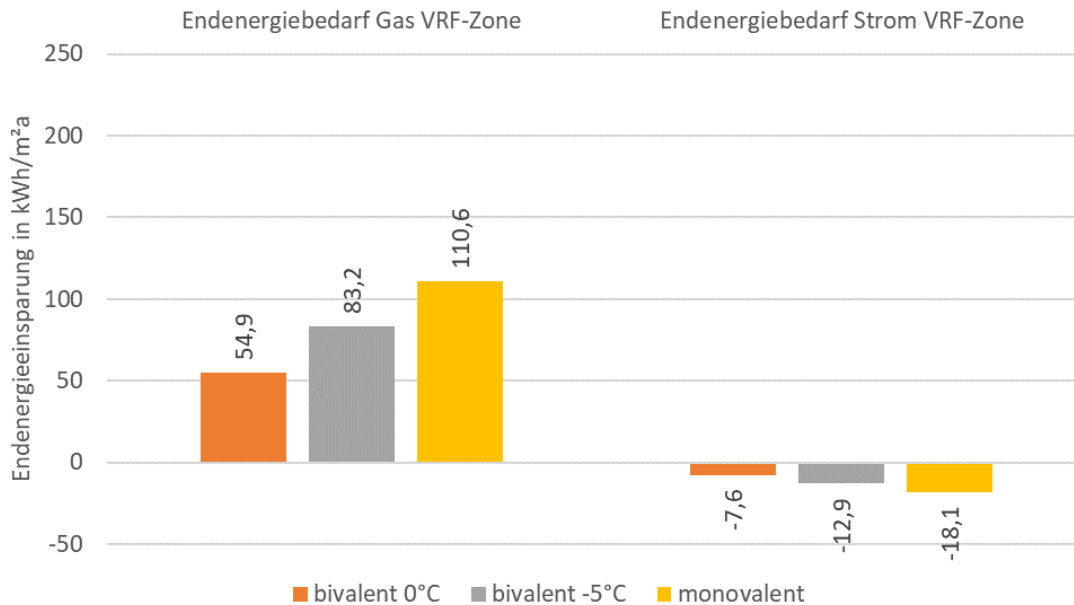


Abbildung 37: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit VRF-beheizten Anteil des Nichtwohngebäudes im Bestand mit RLT-Anlage

Die Ergebnisse der Berechnungen der Energiebedarfe und THG-Emissionen des gesamten Bürogebäudes ohne RLT-Anlage sind in Abbildung 38 bis Abbildung 40 dargestellt. In Gebäuden ohne RLT-Anlage sind größere absolute, spezifische sowie relative Einsparungen möglich. Es muss allerdings beachtet werden, dass der Energiebedarf des Gebäudes ohne RLT-Anlage deutlich höher ist als der Energiebedarf mit RLT-Anlage, sodass auch nach der Nachrüstung ein höherer Energiebedarf im Gebäude ohne RLT-Anlage benötigt wird als im Gebäude mit RLT-Anlage.

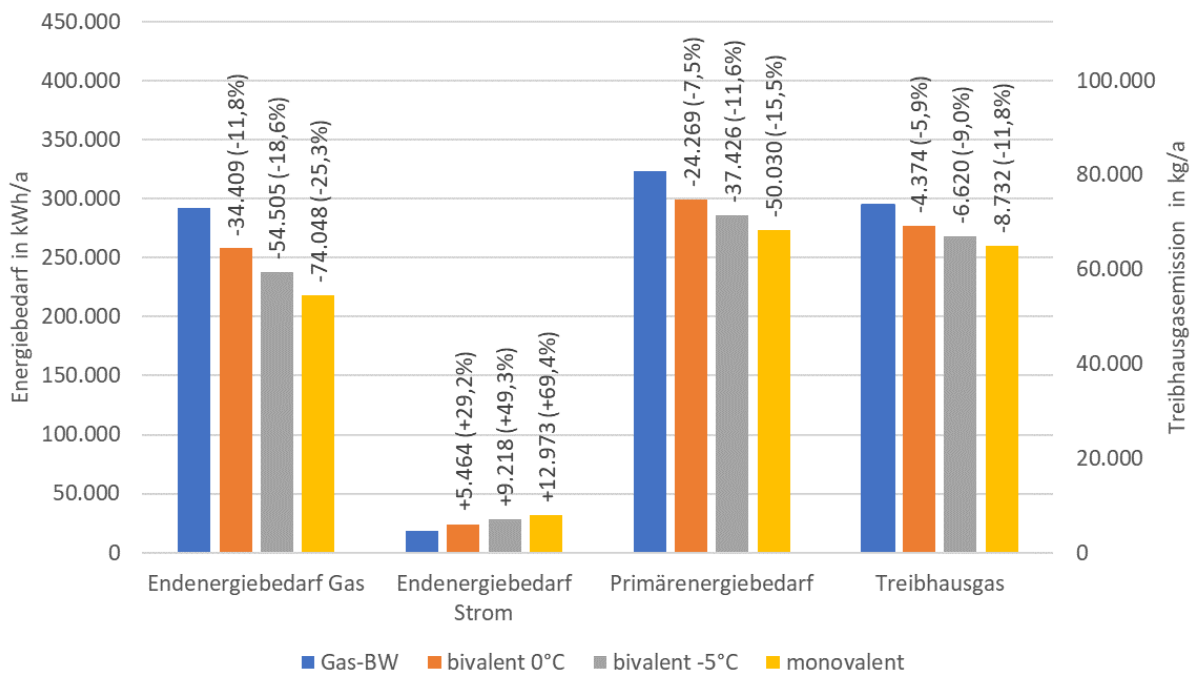


Abbildung 38: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage

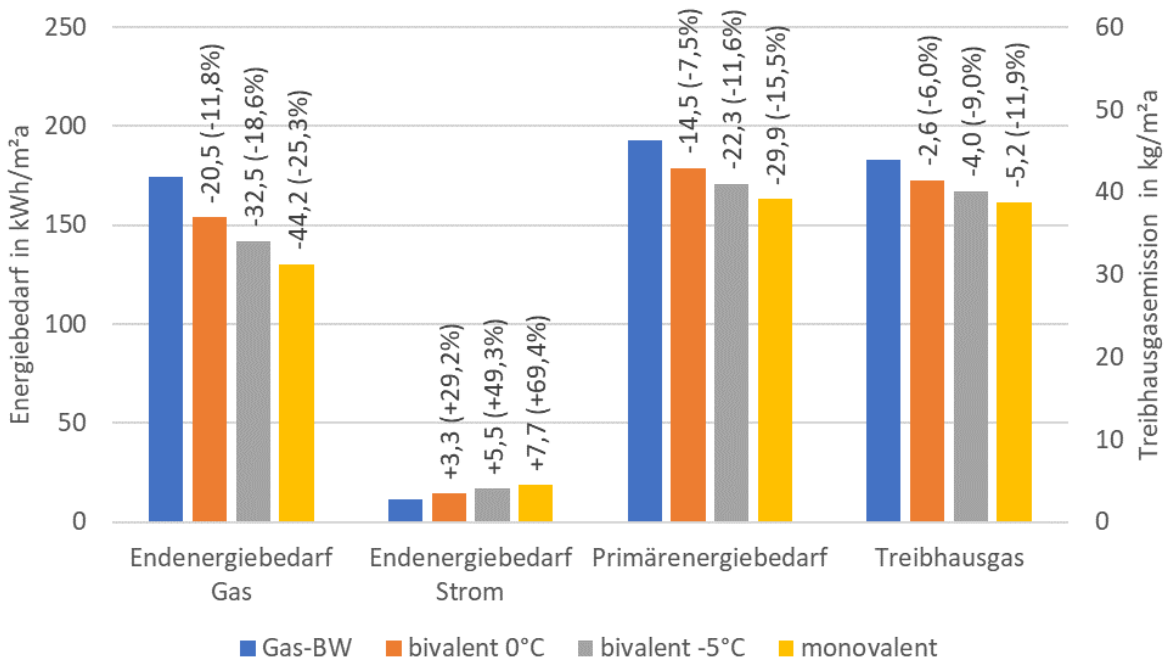


Abbildung 39: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage

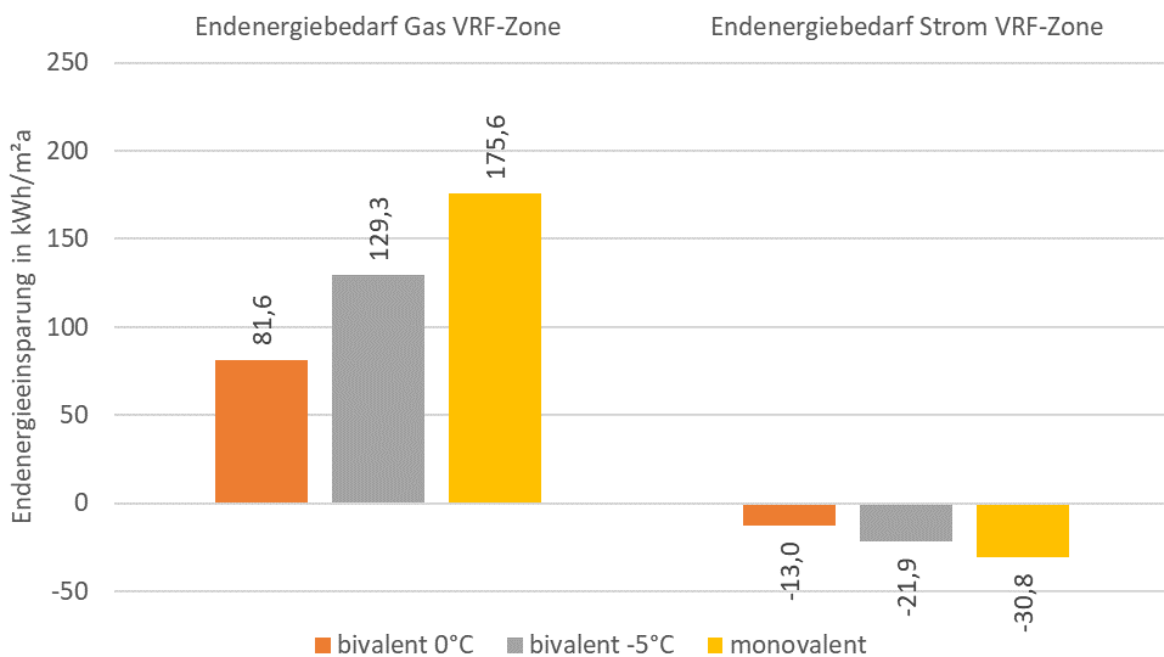


Abbildung 40: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit VRF-beheizten Anteil des Nichtwohngebäudes im Bestand ohne RLT-Anlage

Der Einsatz der VRF-Systeme im Bestand zeigt im Fall mit RLT-Anlage ein Potenzial von 5,3 bis 10,1% Primärenergieeinsparung (je nach Betriebsweise des VRF-Systems) und ohne RLT-Anlage von 7,5 bis 15,5%. THG-Einsparungen sind mit RLT-Anlage zwischen 4,0 und 7,3% und ohne RLT-Anlage zwischen 6,0 und 11,9% möglich.

6 Arbeitspaket 4b: Einsparpotenzial bei Nichtwohngebäudesanierungen

6.1 Gebäude

Für die Sanierung wird wieder das im Abschnitt 5.1 betrachtete Bürogebäude mit drei Büroetagen und einem sich über die halbe Grundfläche erstreckenden Technik-/Lagergeschoss herangezogen (siehe Abbildung 33, Abbildung 34 und Tabelle 12). Durch die energetische Sanierung auf EH70-Niveau ergeben sich neue U-Werte (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Überblick des baulichen Wärmeschutzes für das Bürogebäude nach Sanierung (saniert nach GEG 2023 [GEG23])

Bürogebäude im sanierten Bestand		
U-Wert in $W/(m^2 \cdot K)$	Außenwand	0,24
	Fenster	1,30
	Flachdach	0,24
	Bodenplatte	0,50
	Wärmebrückenzuschlag	0,05
Dichtheitsprüfung		mit

6.2 Anlagentechnik

Auch nach der Sanierung wird das Gebäude mit einer Gas-Brennwertheizung und dezentral elektrischer Trinkwassererwärmung betrieben. Im Gegensatz zum unsanierten Gebäude wird das Temperaturniveau auf 55°C/45°C abgesenkt.

Eine Nachrüstung einer Lüftungsanlage im Zuge der Sanierung ist nicht vorgesehen, sodass auch für den sanierten Fall ein Gebäude mit und ein Gebäude ohne RLT-Anlage berechnet wird. Die Betriebsweise der Lüftungsanlage sowie die Wärmerückgewinnung bleiben gegenüber dem Bestand unverändert.

Auch im sanierten Bestand wird der Einsatz eines VRF-Systems in der obersten Voll-Etage vorgesehen. Die Berechnung erfolgt für die 3 Betriebsweisen monovalent, bivalent -5°C und bivalent 0°C.

6.3 Einsparpotenzial

Die Energiebedarfe sowie die Treibhausgasemission für das Bürogebäude im sanierten Bestand sind in Abbildung 41 ersichtlich. Die Achsenskalierung sowie Zuordnung sind analog dem unsanierten Bestand. Auch im sanierten Bestand zeigt sich ein deutliches Einsparpotenzial durch den Einsatz der VRF-Systeme auf 30 % der Fläche. Sowohl die absoluten als auch die relativen Primärenergieeinsparungen sind im sanierten Bestand geringer als im unsanierten Bestand. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass Einsparungen im sanierten Bestand meist schwieriger zu erreichen sind als im unsanierten Bestand, aber auch diese weiteren Einsparungen ein wichtiges Potenzial bieten.

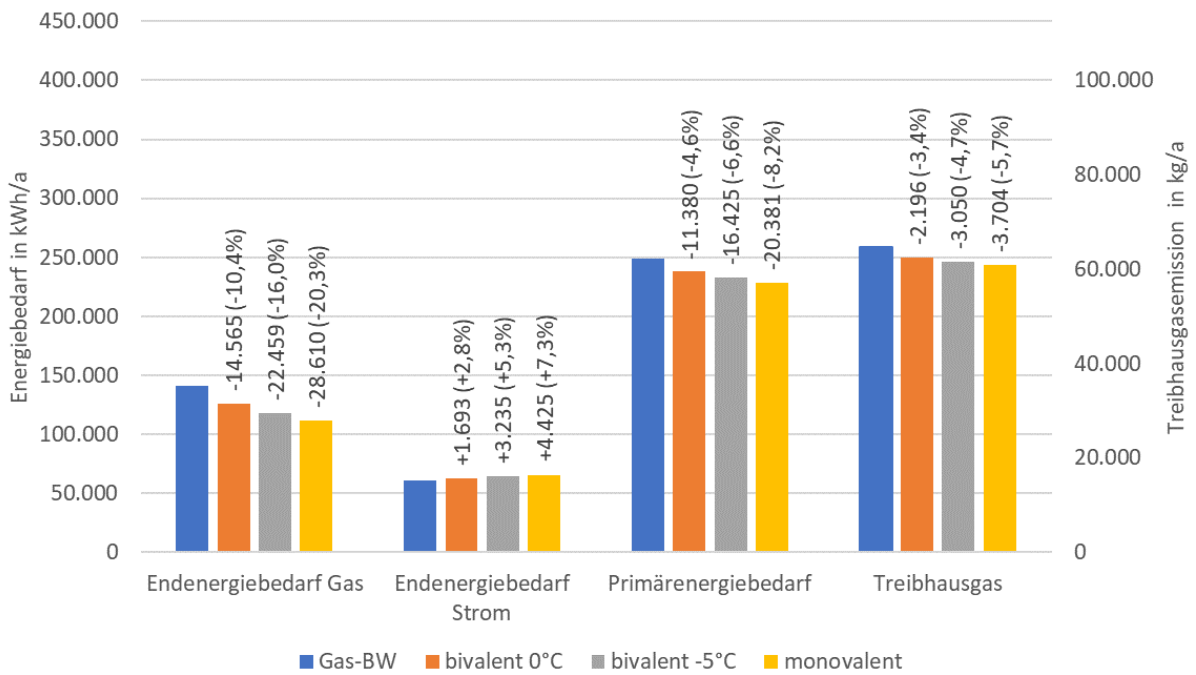


Abbildung 41: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage

Die Aussagen zu den absoluten Energiebedarfen sowie Einsparpotenzialen lassen sich auch auf die spezifischen Werte übertragen (siehe Abbildung 42).

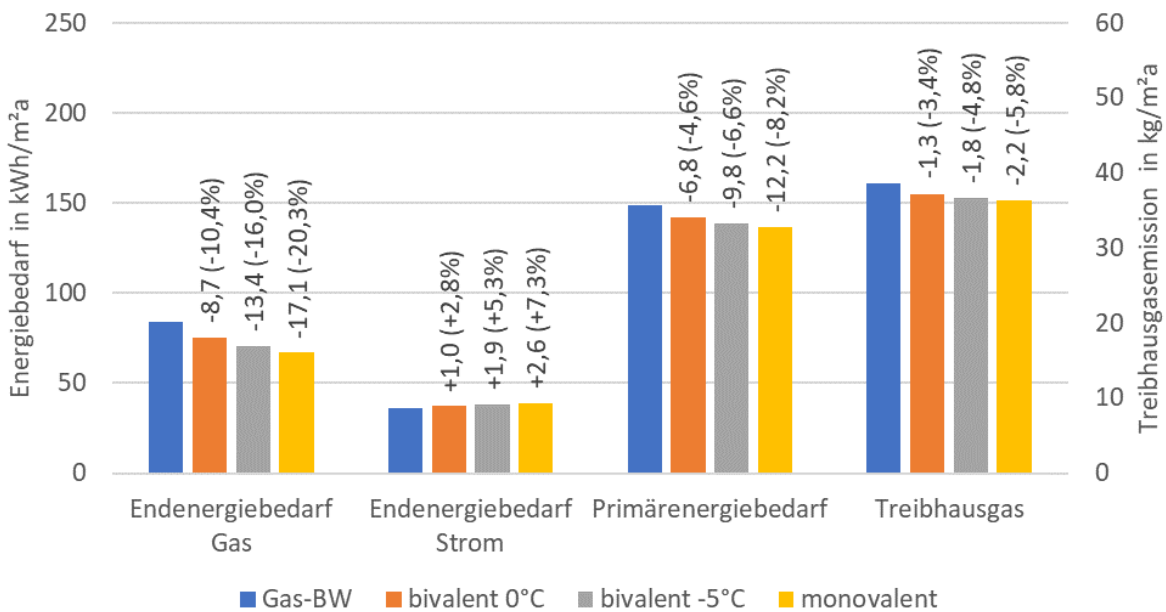


Abbildung 42: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage

Umgerechnet auf den Anteil der mit VRF-beheizten Nutzfläche ist ein deutliches Einsparpotenzial des Endenergiebedarfs für Beheizung erkennbar (siehe Abbildung 43).

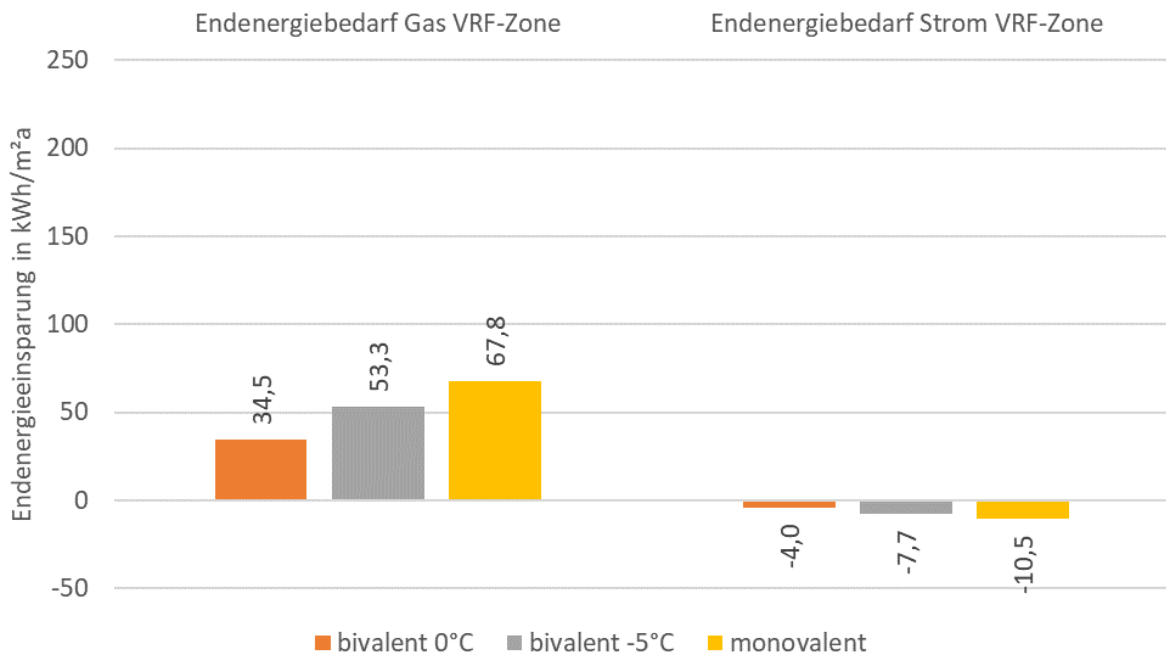


Abbildung 43: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit VRF-beheizten Anteil des Nichtwohngebäudes im sanierten Bestand mit RLT-Anlage

Im sanierten Gebäude ohne RLT-Anlage ist das Potenzial, bei höherem Energiebedarf, wieder etwas höher als mit RLT-Anlage. Die Ergebnisse sind in Abbildung 44 ersichtlich. Die spezifischen Ergebnisse sind in Abbildung 45 dargestellt und die spezifischen Ergebnisse bezogen auf die mit VRF-Systemen ausgestattete Fläche in Abbildung 46.

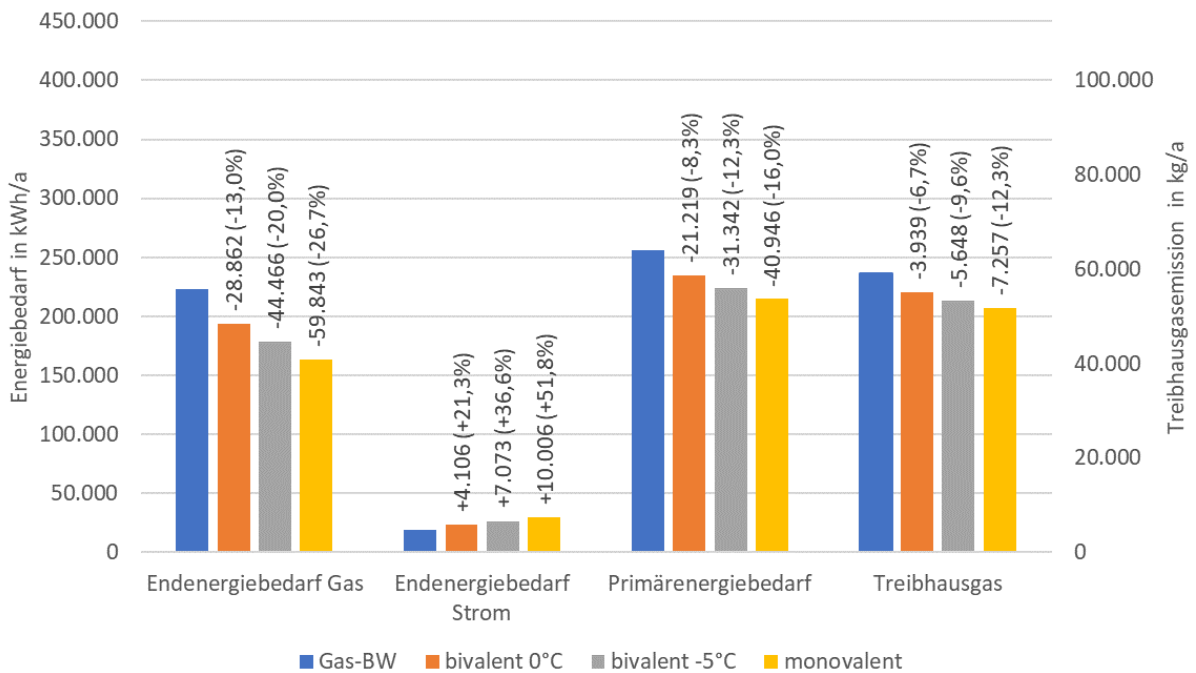


Abbildung 44: Absolute Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage

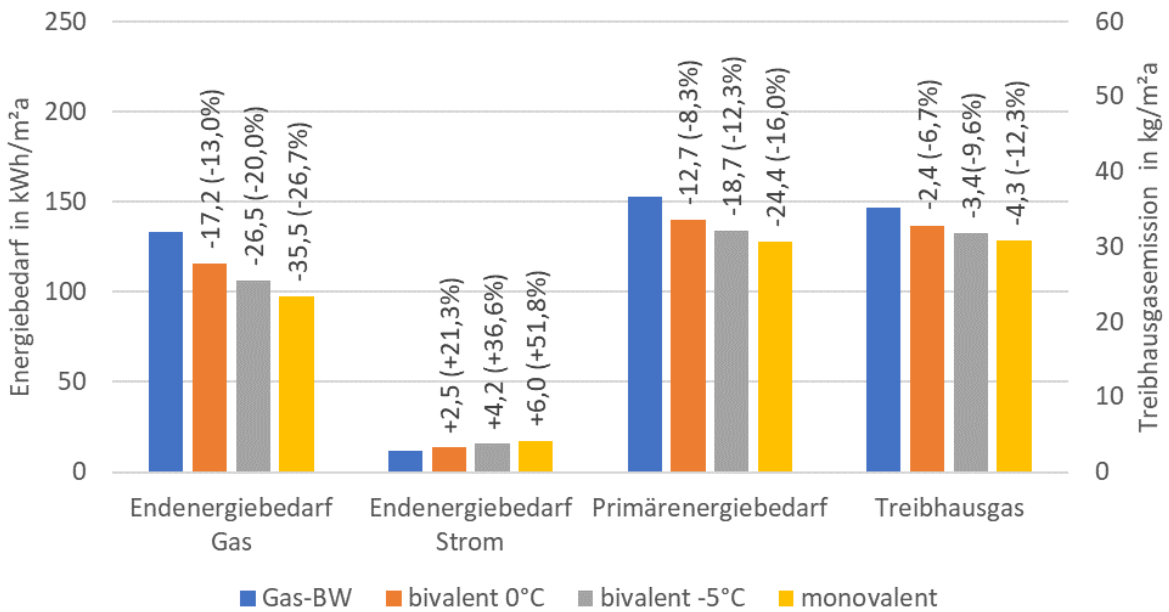


Abbildung 45: Spezifische Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen des Nichtwohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage

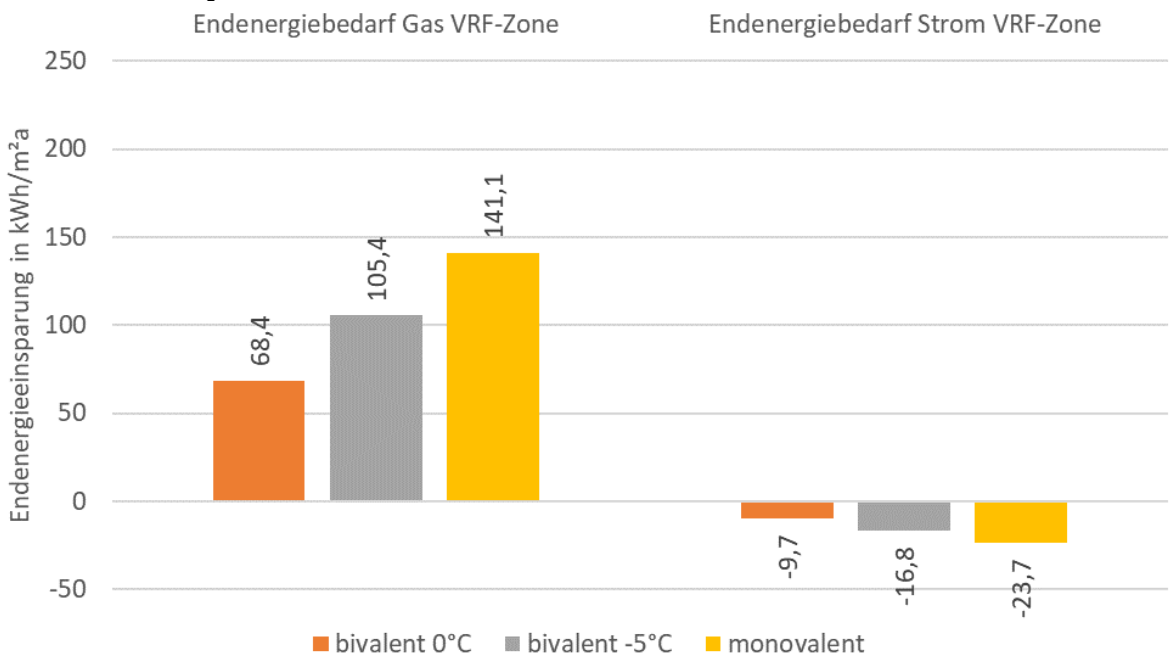


Abbildung 46: Spezifische Endenergieeinsparungen bezogen auf den mit VRF-beheizten Anteil des Nichtwohngebäudes im sanierten Bestand ohne RLT-Anlage

Das Einsparpotenzial an Primärenergie liegt im sanierten Bestand mit RLT-Anlage bei 4,6 bis 8,2% und ohne RLT-Anlage bei 8,3 bis 16,0%. Das Potenzial zur Einsparung von THG liegt mit RLT-Anlage zwischen 3,4 und 5,8% und ohne RLT-Anlage zwischen 6,7 und 12,3%.

7 Arbeitspaket 5: Gesamtbewertung

7.1 Randbedingungen

Für die primärenergetische Bewertung sowie die Prognose der THG-Emissionen wird eine zeitliche Entwicklung des Primärenergiefaktors sowie der THG-Emissionen von Strom angenommen. Für die zu ersetzenden Energieträger Öl und Gas wird von einem konstanten Faktor für die Primärenergie sowie die THG-Emissionen ausgegangen.

Beginnend mit den heute nach GEG [GEG23] gültigen Faktoren für THG-Emissionen von Strom von 560 g/kWh werden basierend auf der IINAS-Studie [IINAS] für 2030 THG-Emissionen von 268 g/kWh und für 2050 von 32 g/kWh angesetzt. Für den Primärenergieaufwand wird ein Primärenergiefaktor von 1,8 verwendet, der, ebenfalls basierend auf der IINAS-Studie [IINAS], für 2030 auf 0,8 und für 2050 auf 0,08 gesenkt wird. Für 2045 ergibt sich ein interpolierter Zwischenwert des Primärenergiefaktors von 0,26 und der THG-Emissionen von 91 g/kWh. Sowohl für den Primärenergiefaktor als auch die THG-Emissionen wird neben dem aktuell im GEG [GEG23] angegebenen Wert auch ein Szenario mit den in der IINAS-Studie [IINAS] für 2021 gegebenen Primärenergiefaktor 1,4 und THG-Emissionen 396 g/kWh gerechnet. Fehlende Zwischenwerte werden linear interpoliert. Für 2025 ergeben sich mit linearer Interpolation Primärenergiefaktoren von 1,52 mit Startwert nach aktuellem GEG und 1,18 nach IINAS-Studie. Die Werte nach IINAS-Studie liegen dabei etwas unterhalb des in der Novellierung der DIN V 18599 vorgesehenen Wertes von 1,3. Für THG-Emissionen ergeben sich für 2025 477 g/kWh mit Startpunkt aktuelles GEG und 348 g/kWh nach IINAS-Studie. Der geplante Wert nach DIN V 18599 liegt dabei mit 380 g/kWh wieder etwas oberhalb des nach IINAS-Studie berechneten Wertes, aber spiegelt den generellen Trend zur Absenkung gut wider.

7.2 Wohngebäude

Die in Kapitel 2.1 dargestellten Absatzzahlen beinhalten alle verkauften Geräte, darin enthalten sind daher sowohl Geräte, die im Neubau als auch Geräte, die im Bestand eingesetzt werden. Für die Abschätzung des Potenzials zur Einsparung von Energie sind allerdings nur die Geräte relevant, die im Bestand Einsatz finden. Basierend auf Rückmeldungen der am Projekt beteiligten Hersteller wird angenommen, dass 2023 etwa 80% der Singlesplit-/Multisplit-Geräte im Bestand eingesetzt werden und 2045 dann noch knapp 60% (siehe Abbildung 47). Fehlende Zwischenwerte werden für alle Hersteller-Rückmeldungen linear interpoliert.

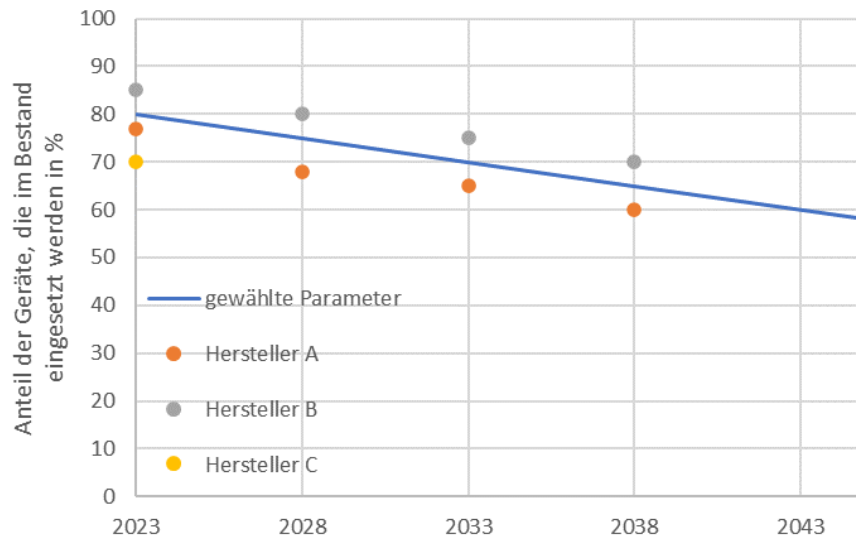


Abbildung 47: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil, der im Bestand eingesetzten Split-/Multisplit-Geräte

Singlesplit-/Multisplit-Geräte wurden zunächst häufig ausschließlich zum Kühlen von Gebäuden eingebaut. Ein stetig wachsender Anteil der Geräte wird mittlerweile auch für Heizzwecke verwendet. Dieser wird basierend auf Rückmeldungen der Hersteller wie in Abbildung 48 dargestellt, abgeschätzt. Während 2008 noch 90% der Geräte ausschließlich zum Kühlen eingebaut wurden, sind es heute noch etwa 60% und es wird eine Abnahme bis auf etwa 15% im Jahr 2045 angenommen.

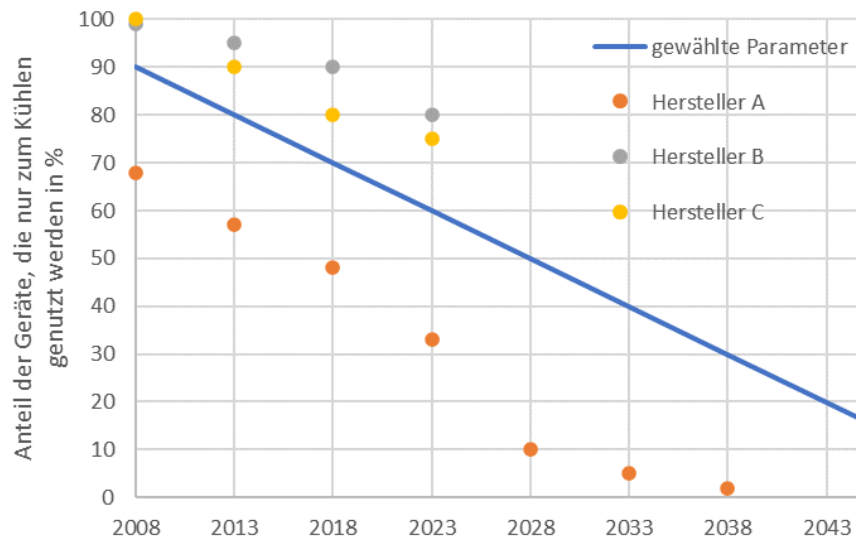


Abbildung 48: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil der Singlesplit-/Multisplit-Geräte nur zum Kühlen

Die Nachrüstung von Singlesplit-/Multisplit-Geräten ist sowohl als Einzelmaßnahme im unsanierten Bestand als auch im sanierten Bestand bzw. im Rahmen einer energetischen Sanierung des Gebäudes denkbar. Die Hersteller (siehe Abbildung 49) gehen davon aus, dass aktuell etwa 95% der Geräte als Einzelmaßnahme in einem Gebäude eingesetzt werden. Auch wenn mit einem geringen Anstieg gerechnet wird, sinkt der Anteil der Geräte, die im ungedämmten Bestand eingesetzt werden, nur auf knapp über 70%. Es ist allerdings zu

beachten, dass die im Rahmen der Modellierung davon ausgegangen wird, dass jedes Jahr Gebäude saniert werden, sodass auch die Einzelmaßnahme Gebäudedämmung möglich ist und der Fall der über mehrere Jahre verteilten Maßnahmen ebenfalls abgebildet ist. Für die Sanierung werden zwei verschiedene Raten, eine aktuell übliche Sanierungsrate von 1,3%/a und eine für die Erreichung der Klimaziele notwendige Steigerung der Sanierungsrate auf 2,2%/a, betrachtet. Beide Werte orientieren sich an den Prognosen, wie sie im Gutachten zur Dena-Leitstudie [ITG/FIW21] dokumentiert sind. Hinzu kommt, dass auch einige Gebäude im aktuellen Bestand bereits die Anforderungen nach GEG 2023 erfüllen, also im Rahmen der Modellierung als saniert gelten. Basierend auf den Auswertungen des Gutachtens zur dena-Leitstudie [ITG/FIW21] wird eine Rate von 19% bereits sanierter Wohngebäude als Startwert für 2023 genutzt.

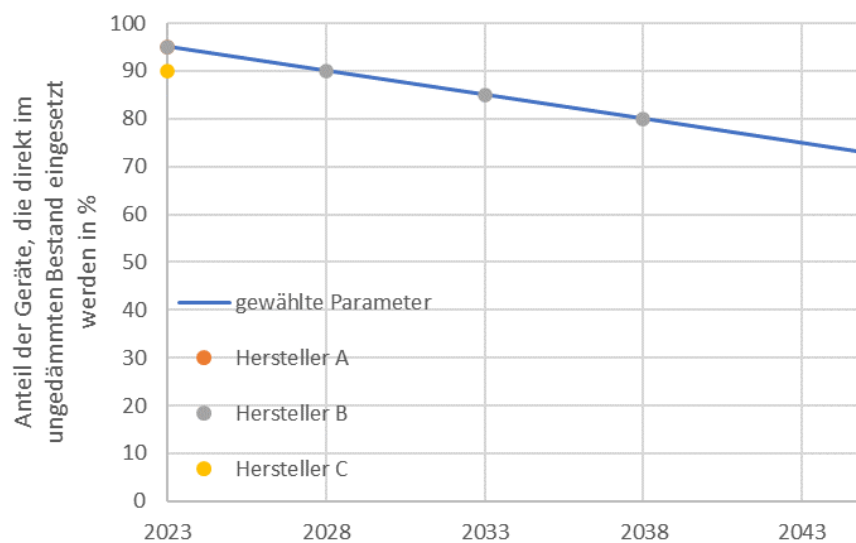


Abbildung 49: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil der Geräte, die als Einzelmaßnahme im ungedämmten Wohngebäudebestand eingebaut werden

In Kapitel 3 und 4 sind die Ergebnisse für das Einsparpotential bei Nachrüstung von Singlesplit-/Multisplit-Systemen im betrachteten Einfamilienhaus sowohl mit als auch ohne RLT-Anlagen dargestellt. Für die Modellierung des deutschen Wohngebäudebestandes hinsichtlich des aktuellen und zukünftigen Einsatzes von RLT-Anlagen werden sanierter und unsanierter Bestand getrennt betrachtet. Im unsanierten Bestand ist der Anteil der Wohnung mit RLT-Anlage vernachlässigbar gering und es wird davon ausgegangen, dass eine Nachrüstung einer RLT-Anlage nur im Rahmen einer größeren Sanierungsmaßnahme stattfindet. Daher wird der Anteil an Wohngebäuden im unsanierten Bestand, die eine RLT-Anlage haben sowohl 2023 als auch 2045 mit 0% angenommen. Im sanierten Bestand wird ausgehend von einem sehr geringen Anteil von 5% 2019 eine lineare Zunahme bis auf 50% 2045 unterstellt [FGK/BDH22].

Für jeden Fall wird die Nachrüstung von drei verschiedenen Betriebsweisen: bivalent 0°C, bivalent -5°C und monovalent berechnet. Für die Hochrechnung auf den Gebäudebestand wird daher auch die Aufteilung in die verschiedenen Betriebsweisen benötigt. Das zugehörige Herstellerfeedback ist in Abbildung 50 zu erkennen.

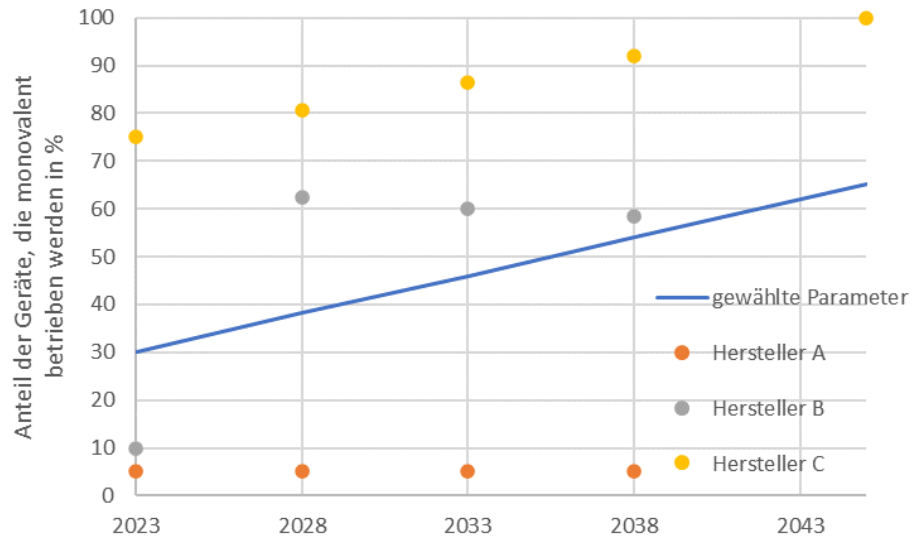


Abbildung 50: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil der Split-/Multisplit-Geräte, die monovalent betrieben werden

Anhand der Absatzzahlen kann das Verhältnis von verkauften Innen- zu verkauften Außeneinheiten auch für Singlesplit-/Multisplit-Geräte bestimmt werden. Mit Hilfe der Annahme, dass einem Multisplit-Gerät 3 Außeneinheiten zugeordnet werden wird das Verhältnis von Singlesplit- zu Multisplit-Systemen bestimmt. Der Anteil der Multisplit-Geräte bewegte sich dann in den vergangenen Jahren zwischen 16% und 26%. Da der Anteil an Multisplit-Geräten in den vergangenen Jahren zugenommen hat, wird ein weiterer Anstieg bis 2045 auf etwa 40% angenommen (siehe Abbildung 51).

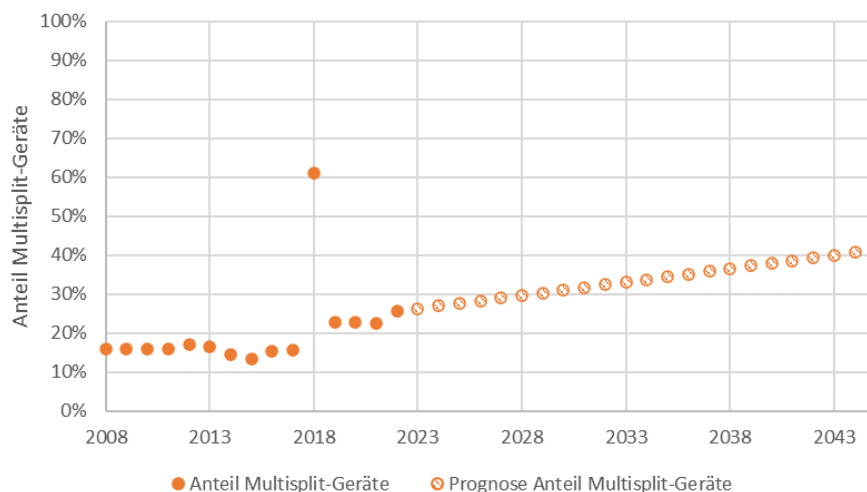


Abbildung 51: Anteil Multisplit-Geräte an den verkauften Außeneinheiten

Die Fläche eines Wohngebäudes ist meist zu einem großen Anteil beheizt, allerdings befinden sich insbesondere in Einfamilienhäusern auch unbeheizte Technik- und Lagerräume und im Mehrfamilienhaus Treppenhäuser in der Fläche. Da diese nicht als Einsatzbereich von Singlesplit-/Multisplit-Geräten zur Verfügung stehen, wird ein Korrekturfaktor von 0,95 auf die in Deutschland verfügbare Wohnfläche angewendet. Unter der Annahme, dass 95% der Fläche von Wohngebäuden nutzbar sind und etwa 75% der Fläche mit Gas

oder Öl beheizt wird, stehen für die Nachrüstung von Singlesplit-/Multisplit-Systemen aktuell etwa 2.200 Mio. m² zur Verfügung. Die basierend auf den Absatzzahlen auszustattende Fläche wird jeweils mit der zur Verfügung stehenden Fläche verglichen, um eine Überschätzung des Potenzials zu vermeiden. In keinem Fall ist die mit den in der Prognose verkauften Geräten beheizbare Fläche größer als die zur Verfügung stehende Fläche, sodass davon ausgegangen wird, dass ausreichend Einsatzfläche zur Verfügung steht.

In Kapitel 7.1 wird dargestellt, wie sich der zunehmende Einsatz regenerativer Energieträger auf den Primärenergiefaktor sowie die THG-Emissionen für Strom auswirken. Unter der Annahme, dass Split-/Multisplit-Geräte insbesondere dem Ersatz (ganz oder teilweise) von Gas- und Ölheizungen dienen, wird der THG-Emissionsfaktor für Gas entsprechend der Anteile in Tabelle 6 gewichtet. Es ergibt sich etwa ein Verhältnis von 2:1 und daher ein THG-Emissionsfaktor von 263 g/kWh.

In Abbildung 52 sind die durch die Nachrüstung von Singlesplit-/Multisplit-Geräten im Wohnbereich erreichbaren Einsparungen an Endenergie Gas dargestellt. Unter Nutzung der beschriebenen Randbedingungen werden basierend auf den Absatzzahlen Hochrechnung für den deutschen Wohngebäudebestand für vier verschiedene Szenarien vorgenommen. Neben der unterschiedlichen Entwicklung der Absatzzahlen (konstanter Absatz, ansteigender Absatz) werden auch die unterschiedlichen Sanierungsraten (1,3%/a und 2,2%/a) untersucht. Die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien sind im Jahr 2025 gering. Die möglichen Einsparungen liegen zwischen knapp 7.000 GWh/a und etwa 7.300 GWh/a. Im Jahr 2045 ist der Einfluss der Entwicklung der Absatzzahlen sehr deutlich zu erkennen. Ohne Anstieg der Absatzzahlen sind Einsparungen zwischen 13.000 GWh/a und knapp 15.000 GWh/a zu erwarten, während bei einer jährlichen Steigerung der Absatzzahlen von 10% aufgrund des exponentiellen Wachstums Einsparungen beim Endenergiebedarf Gas von knapp 63.000 GWh/a möglich sind.

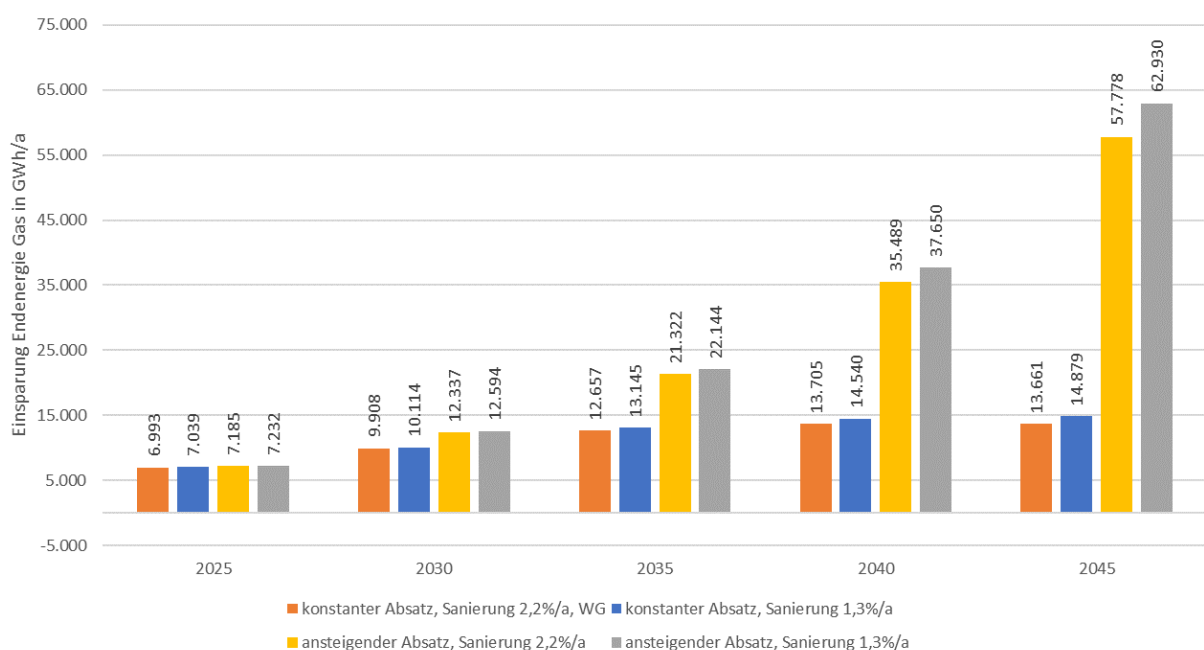


Abbildung 52: Endenergieeinsparungen Gas durch den Einsatz von Singlesplit-/Multisplit-Systemen

Für die Einsparungen ist die Deckung eines zusätzlichen Strombedarfs für die Singlesplit-/Multisplit-Systeme notwendig. Dieser beläuft sich im Jahr 2045 auf maximal knapp 15.000 GWh/a. Pro eingesetzter kWh Strom sind dann endenergetisch Einsparungen von etwa 4 kWh Gas möglich.

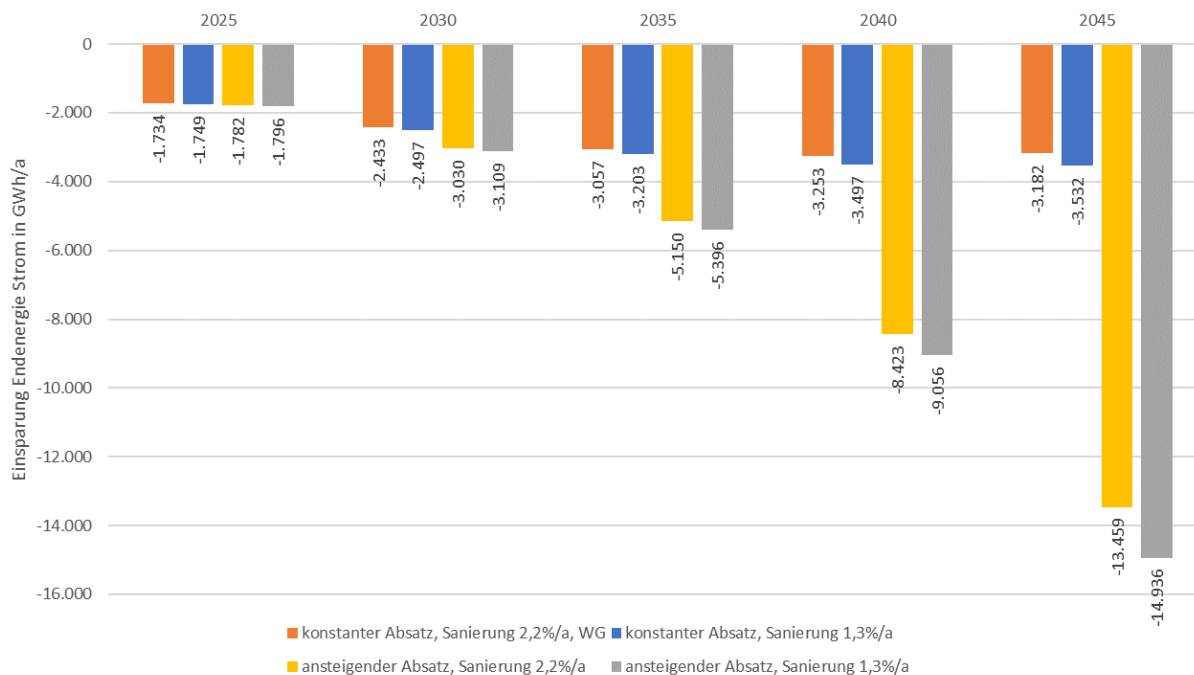


Abbildung 53: Zusätzlicher Endenergieeinsatz Strom durch den Einsatz von Split-/Multisplit-Systemen dargestellt als negative Einsparungen

Die daraus resultierenden möglichen Primärenergieeinsparungen sind in Abbildung 54 und Abbildung 55 dargestellt. Abbildung 54 fokussiert dabei auf das Jahr 2025 und den Einfluss der in Kapitel 7.1 erläuterten unterschiedlichen Primärenergiefaktoren nach aktuellem GEG [GEG23] und nach IINAS-Studie [IINAS]. Der Unterschied zwischen den einzelnen Szenarien ist sehr gering, es zeigt sich allerdings, dass eine Reduzierung des Primärenergiefaktors durch eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien das Einsparpotenzial erhöht. Die Reduzierung des Primärenergiefaktors um 22% führt zu einer Erhöhung des Primärenergieeinsparpotentials von etwa 26%.

Da für die Prognose die IINAS-Daten [IINAS] verwendet werden, spielen die genannten Unterschiede dann keine Rolle mehr. Durch die im Vergleich zum benötigten Stromeinsatz etwa viermal höheren Gaseinsparungen sind im Jahr 2045 Primärenergieeinsparungen von 60.000 GWh/a bis knapp 66.000 GWh/a bei einer jährlichen Steigerung des Absatzes um 10% möglich. Ohne Steigerung des Absatzes liegt das Potenzial lediglich bei 14.000 GWh/a bis 16.000 GWh/a.

Auch wenn eine Steigerung der Sanierungsrate das Einsparpotential durch Singlesplit-/Multisplit-Systeme verringert, sollte berücksichtigt werden, dass besser gedämmte Gebäude einen geringeren Energiebedarf haben und damit ebenfalls der Primärenergiebedarf reduziert wird.

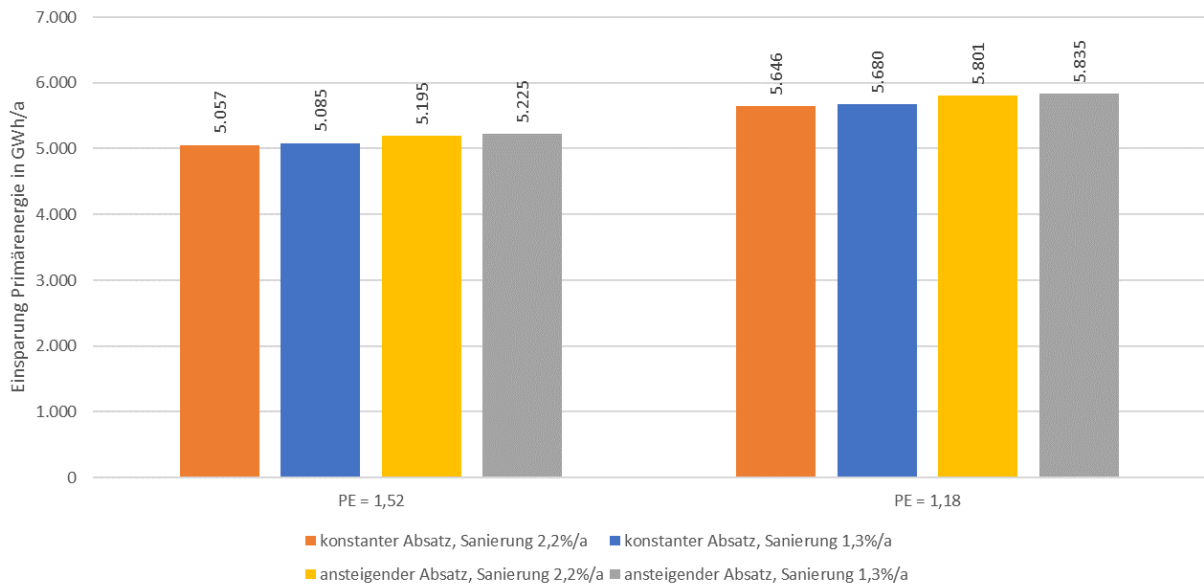


Abbildung 54: Primärenergieeinsparungen durch den Einsatz von Singlesplit-/Multisplit-Systemen für das Jahr 2025 unter Berücksichtigung verschiedener Primärenergiefaktoren

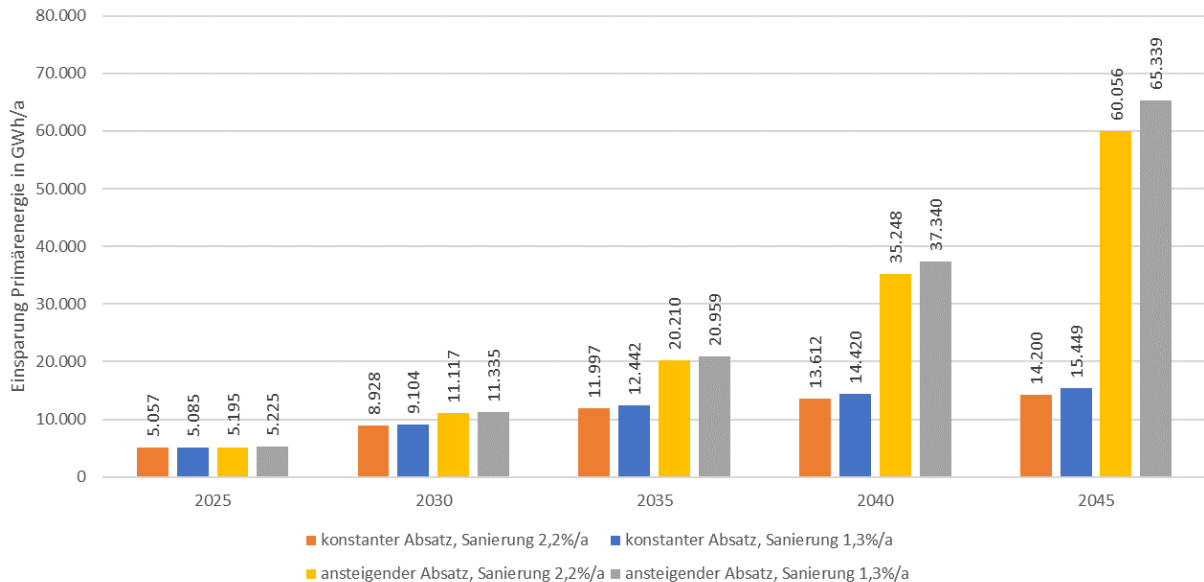


Abbildung 55: Primärenergieeinsparungen durch den Einsatz von Singlesplit-/Multisplit-Systemen

Basierend auf der Reduktion des Endenergiebedarfs Gas und des dafür notwendigen Endenergiebedarfs Strom können die in Abbildung 56 und Abbildung 57 abgebildeten Einsparungen an THG-Emissionen erreicht werden. Abbildung 56 bezieht sich dabei auf den Einfluss der verschiedenen Faktoren im aktuellen GEG [GEG23] und der IINAS-Studie [IINAS]. Der THG-Emissionsfaktor basierend auf der IINAS-Studie [IINAS] ist für 2025 dabei etwa 27% niedriger als nach aktuellem GEG [GEG23]. Der Unterschied in den für 2025 berechneten THG-Emissionen beträgt dann etwa 22%.

Die erreichbaren Einsparungen für die Jahre bis 2045 sind in Abbildung 57 dargestellt. Im Jahr 2045 sind bei einer jährlichen Steigerung des Absatzes um 10% THG-Einsparungen zwischen 14 und 16 Mio. t/a möglich. Bei gleichbleibendem Absatz nur 3,3 bis 3,6 Mio. t/a.

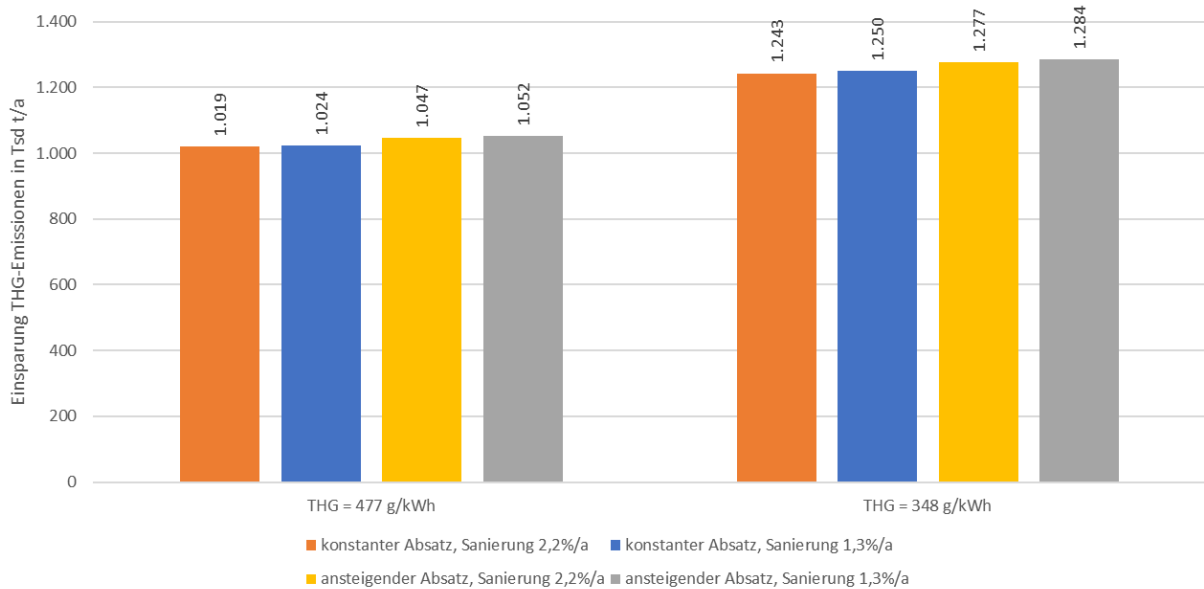


Abbildung 56: THG-Einsparungen durch den Einsatz von Singlesplit-/Multisplit-Systemen für das Jahr 2025 unter Berücksichtigung verschiedener Primärenergiefaktoren

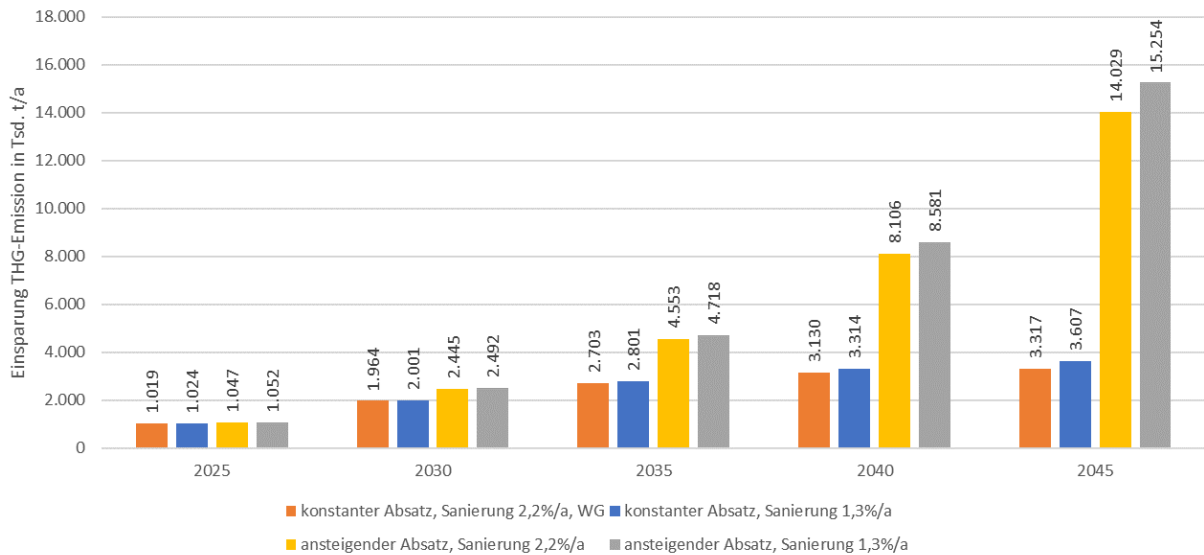


Abbildung 57: THG-Einsparungen durch den Einsatz von Singlesplit-/Multisplit-Systemen

Die kumulativen Einsparungen an THG-Emissionen durch die angenommene Nachrüstung von Singlesplit-/Multisplit-Geräten im deutschen Gebäudebestand beläuft sich im besten Fall bis 2045 auf etwa 125 Mio. t.

7.3 Nichtwohngebäude

Für die Hochrechnung des Einsparpotenzials des gesamten Nichtwohngebäudebestandes sowie der Prognose der zukünftigen Entwicklung werden verschiedene Annahmen getroffen.

Zunächst einmal werden die beiden zu Beginn definierten Szenarien des Geräteabsatzes (konstant, ansteigend) berücksichtigt. Basierend auf diesen Absatzzahlen sowie der mittleren jährlich abgesetzten Kälteleis-

tung von 27,6 kW wird, analog zum Vorgehen in Kapitel 5, die durch die verkauften Geräte beheizbare Nutzfläche berechnet. Dabei wird angenommen, dass Geräte, die im Neubau eingesetzt werden, keinen Beitrag zu Energieeinsparungen leisten können, aber aufgrund des immer grüneren Stromes auch keinen großen Einfluss auf den Primärenergiebedarf bzw. THG-Emissionen haben. Basierend auf Angaben von vier Herstellern (siehe Abbildung 58), dass heute etwa 30 % der verkauften VRF-Geräte im Neubau und 70% im Bestand eingesetzt werden, werden nur 70 % der verkauften Geräte für die Hochrechnung berücksichtigt. Für 2045 wird von einem Einsatz von 40 % der Geräte im Neubau ausgegangen. Die Zwischenwerte werden linear interpoliert.

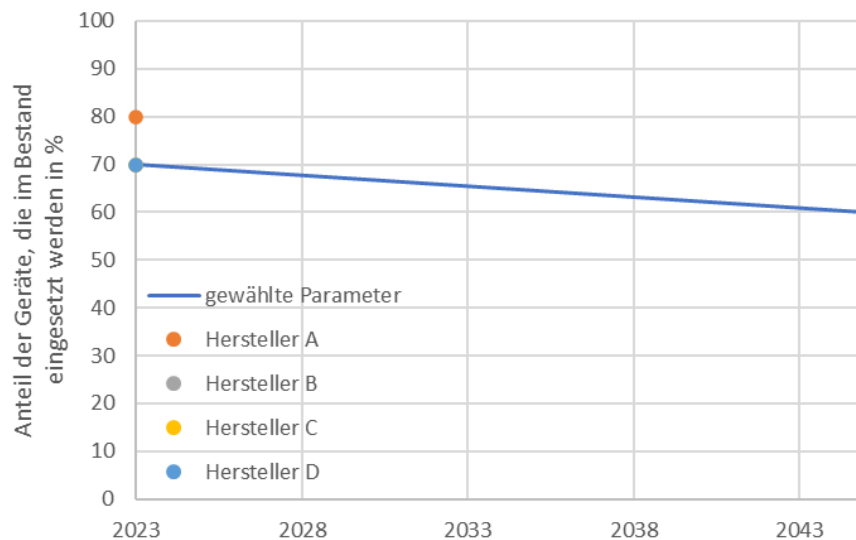


Abbildung 58: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil, der im Bestand eingesetzten VRF-Geräte

Die Geräte, die im Bestand eingesetzt werden, teilen sich auf in Geräte, die dem Ersatz von bereits vorhandenen Geräten dienen (Austauschgeschäft) und neu eingebaute Geräte (Zuwachsgeschäft). Da in der Vergangenheit nicht alle Geräte auch zum Heizen genutzt wurden, besteht aber auch im Austauschgeschäft noch ein Einsparpotenzial. Dies wird ebenfalls über eine Regression unter Verwendung verschiedener Stützstellen (siehe Abbildung 59) vorgenommen. Die gemittelten Angaben der vier Hersteller werden dabei gerundet. Zwischenwerte sowie Werte nach 2023 werden inter- bzw. extrapoliert.

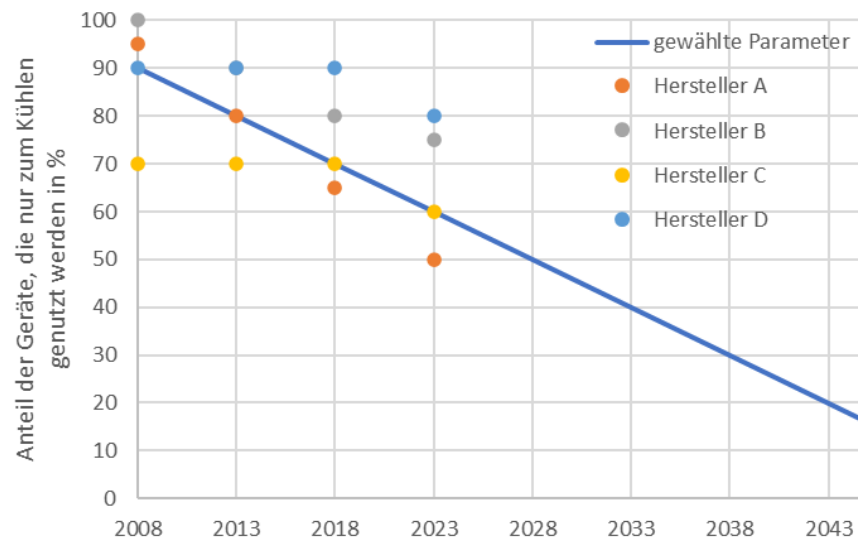


Abbildung 59: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil der VRF-Geräte nur zum Kühlen

Die sich daraus ergebende Fläche wird mit der im aktuellen sowie zukünftigen Markt verfügbaren Fläche verglichen. Dabei wird auch berücksichtigt, dass VRF-Geräte als Ersatz für Gas- und Ölheizungen Einsatz finden sollen und daher nicht die gesamte Nutzfläche zur Verfügung steht (siehe Tabelle 7). Des Weiteren wird nicht die gesamte Nutzfläche eines Nichtwohngebäudes beheizt (z.B. Treppenhäuser), sodass eine weitere Reduktion mit dem Faktor 0,85 erfolgt. Unter Nutzung des zukünftigen Marktes steht bis einschließlich 2045 für beide Szenarien (konstanter Absatz und ansteigender Absatz) ausreichend Fläche für die Nachrüstung zur Verfügung.

Zur Berechnung des Einsparpotenzials ist eine Aufteilung der Geräte auf die 4 untersuchten Fälle (Bestand mit RLT, Bestand ohne RLT, sanierter Bestand mit RLT, sanierter Bestand ohne RLT) sowie die 3 betrachteten Betriebsweisen (monovalent, bivalent -5°C, bivalent 0°C) notwendig. Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes ENOB:dataNWG sind aktuell 22% [DataNWG] der Nichtwohngebäude mit einer RLT-Anlage ausgestattet. Es wird davon ausgegangen, dass die Nachrüstung einer RLT-Anlage bei einer Sanierung eher die Ausnahme ist, daher bleibt dieser Anteil über die Zeit konstant.

Zusätzlich wird aus ENOB:dataNWG [DataNWG] abgeleitet, dass 12,5% der Bestandsgebäude entweder seit 2010 erbaut wurden oder nach Angaben von ENOB:dataNWG mindestens die Außenwand nachträglich gedämmt wurde. Angelehnt an [ITG/FIW21] werden 2 Szenarien für die Sanierungsrate berücksichtigt – 1,3%/a und 2,2%/a. Basierend auf Erfahrungen der Hersteller wird angenommen, dass aktuell 90% der VRF-Geräte als Einzelmaßnahme im Bestand ohne weitere Sanierung eingesetzt werden. Für 2045 wird von einem Einsatz von 80% im unsanierten Bestand ausgegangen (siehe Abbildung 60). Unbenommen davon wird mit einer zunehmenden Sanierung des Gebäudebestandes basierend auf den angenommenen Sanierungs-raten gerechnet.

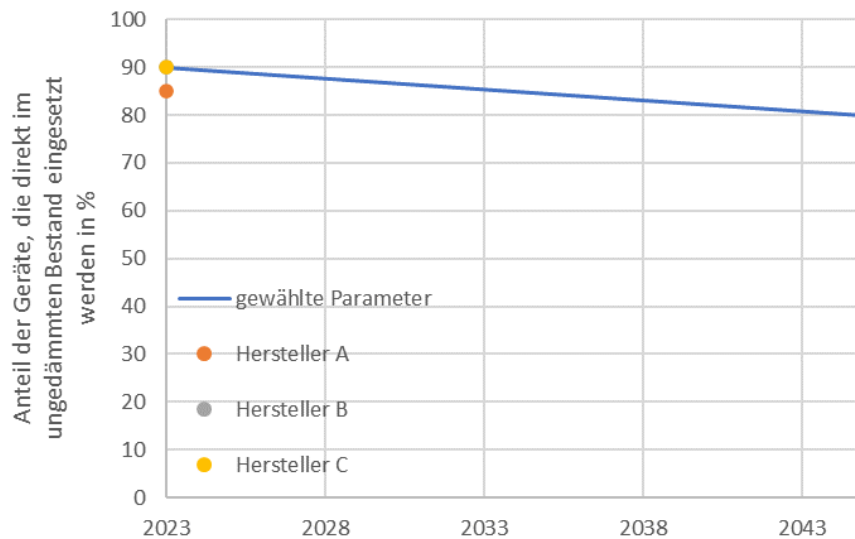


Abbildung 60: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil der Geräte, die als Einzelmaßnahme im ungedämmten Nichtwohngebäudebestand eingebaut werden

Nach Angaben der Hersteller finden etwa 50% der VRF-Geräte in monovalenter Betriebsweise Einsatz. Etwa 50% werden bivalent betrieben (siehe Abbildung 61). Der bivalente Betrieb berücksichtigt dabei nur die Ergebnisse mit der Bivalenztemperatur 0°C, da die Einsparungen im Vergleich zum zusätzlichen Aufwand für eine Bivalenztemperatur -5°C deutlich schlechter sind und dann nach Erfahrung der Hersteller eher monovalenter Betrieb bevorzugt wird. Für 2045 wird dann von einem vollständigen Einsatz im monovalenten Betrieb ausgegangen. Zwischenwerte werden linear interpoliert.

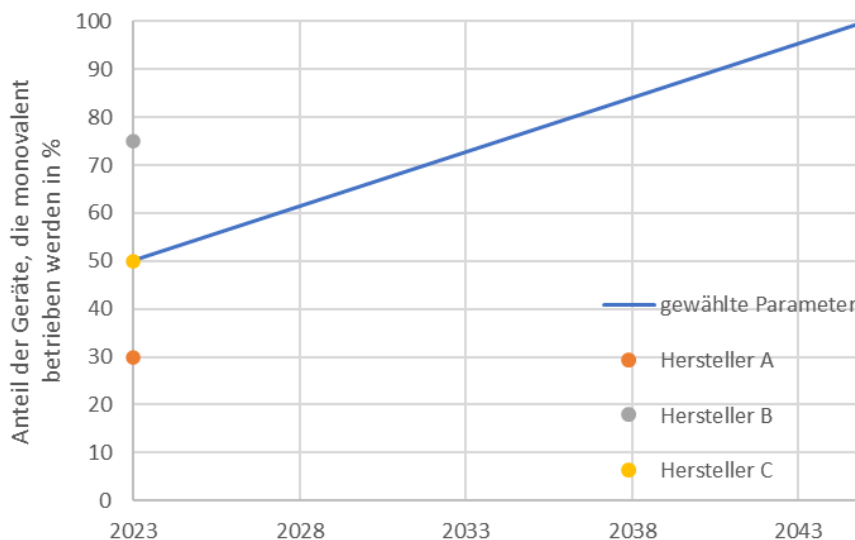


Abbildung 61: Hersteller-Rückmeldungen zum Anteil der VRF-Geräte, die monovalent betrieben werden

In Abbildung 62 und Abbildung 63 sind die Endenergieeinsparungen Gas und Strom durch den Einsatz von VRF-Systemen bis 2045 unter Annahme der ausgeführten Randbedingungen dargestellt. Dokumentiert sind

jeweils 4 Fälle (2 Sanierungsraten und 2 Absatzentwicklungen). Während 2025 nur ein sehr geringer Unterschied zwischen den einzelnen Szenarien zu erkennen ist, steigen diese insbesondere für die verschiedenen Absatzentwicklungen deutlich an. Wie bereits für das einzelne Gebäude gesehen, ist das Einsparpotenzial im unsanierten Bestand größer als im sanierten Bestand, sodass die Szenarien mit der geringeren Sanierungsrate etwas höheres Einsparpotenzial bieten als die Szenarien mit der höheren Sanierungsrate. Die Einsparungen im Szenario mit konstantem Absatz beruhen ab 2038 nur noch auf der Sanierung der Gebäude und dem zusätzlichen Einsatz von VRF-Geräten zum Heizen. Einen Zuwachs bei der Anzahl der eingesetzten VRF-Geräte gibt es dann nicht mehr. 2045 sind bei deutlich gesteigertem Absatz Gaseinsparungen von etwa 22.700 GWh/a gegenüber einem Weiterbetrieb mit Gas-Brennwert-Technik möglich, welchen ein Strommehraufwand von etwa 3.900 GWh/a entgegensteht.

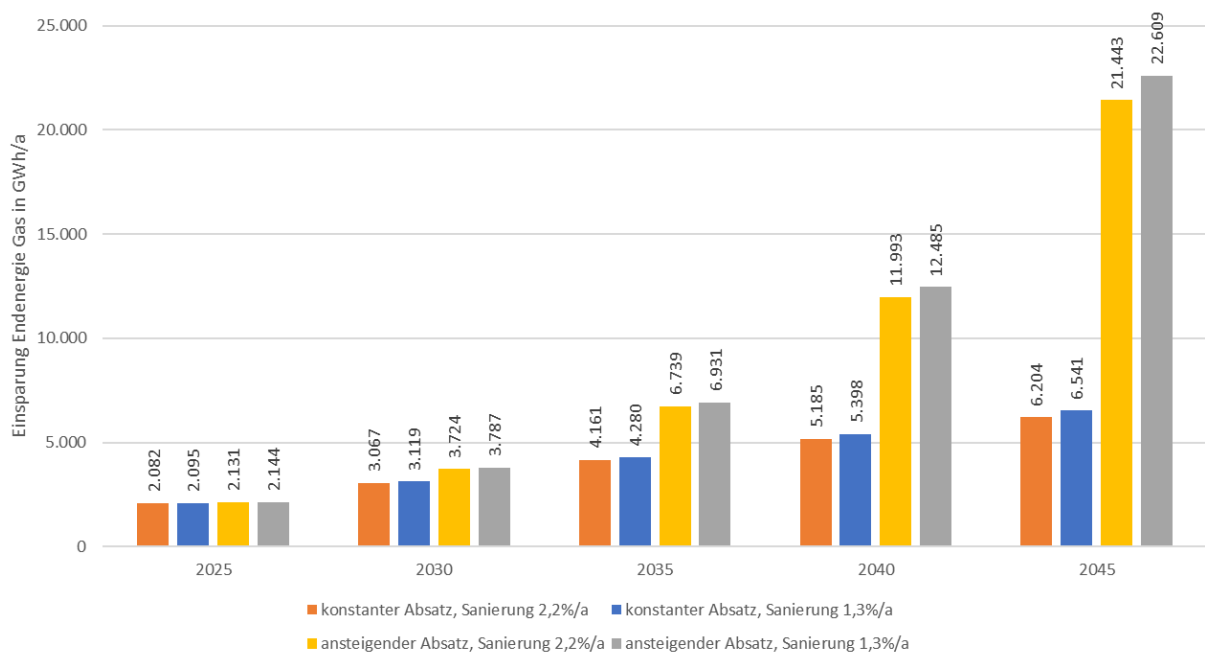


Abbildung 62: Endenergieeinsparungen Gas durch den Einsatz von VRF-Systemen

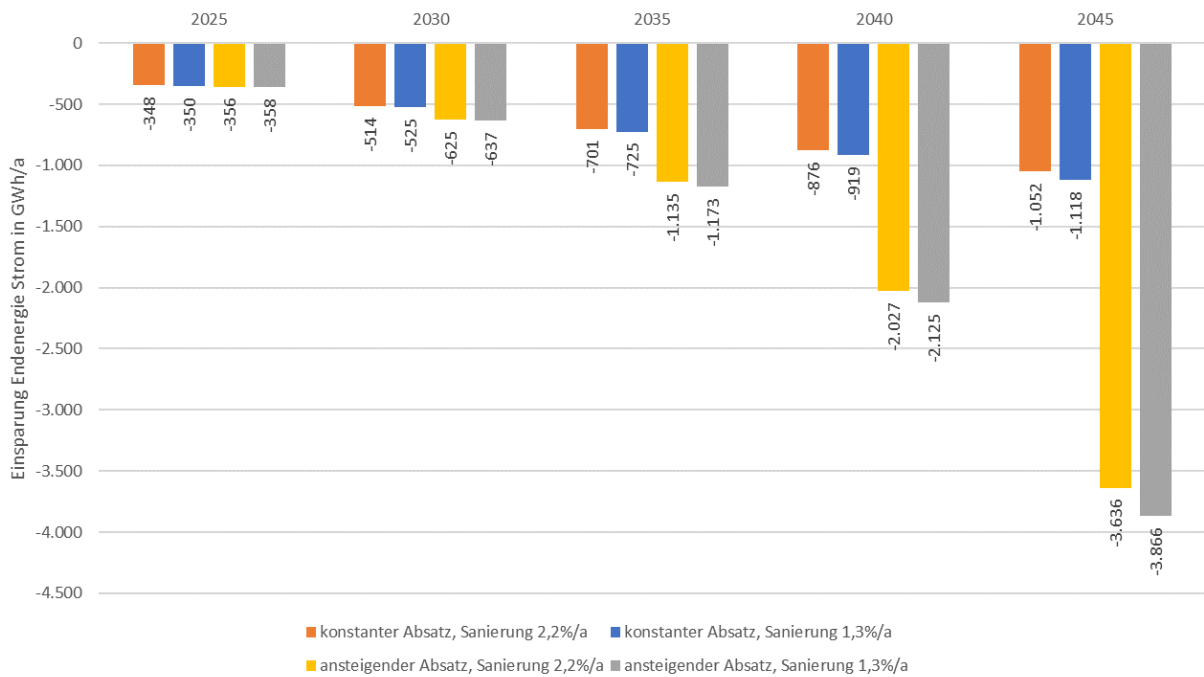


Abbildung 63: Zusätzlicher Endenergieeinsatz Strom durch den Einsatz von VRF-Systemen dargestellt als negative Einsparungen
 Unter Berücksichtigung der Entwicklung des Primärenergiefaktors für Strom können die in Abbildung 64 und Abbildung 65 dargestellten Primärenergieeinsparungen erreicht werden. Abbildung 64 stellt dabei die Ergebnisse für die unterschiedlichen Szenarien des aktuellen Primärenergiefaktors für 2025 gegenüber. Unter Verwendung des in der IINAS-Studie [IINAS] angegebenen Primärenergiefaktors von 1,4 für 2021 ist eine etwas höhere Einsparung möglich. Im Vergleich mit Abbildung 65 zeigt sich aber, dass die Einsparungen in den folgenden Jahren in allen Szenarien noch deutlich ansteigen. Mit weiter abnehmendem Primärenergiefaktor für Strom nimmt dessen Einfluss durch den zusätzlichen Strombedarf ab. Maximal sind 2045 knapp 24.000 GWh/a Primärenergieeinsparungen möglich.

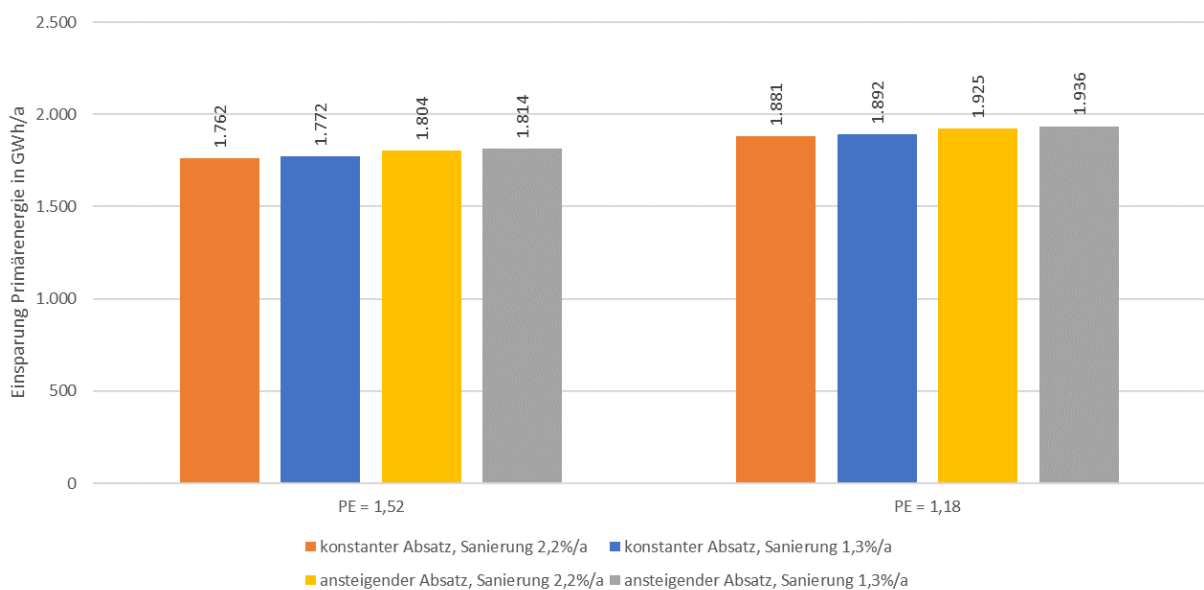


Abbildung 64: Primärenergieeinsparungen durch den Einsatz von VRF-Systemen für das Jahr 2025 unter Berücksichtigung verschiedener Primärenergiefaktoren

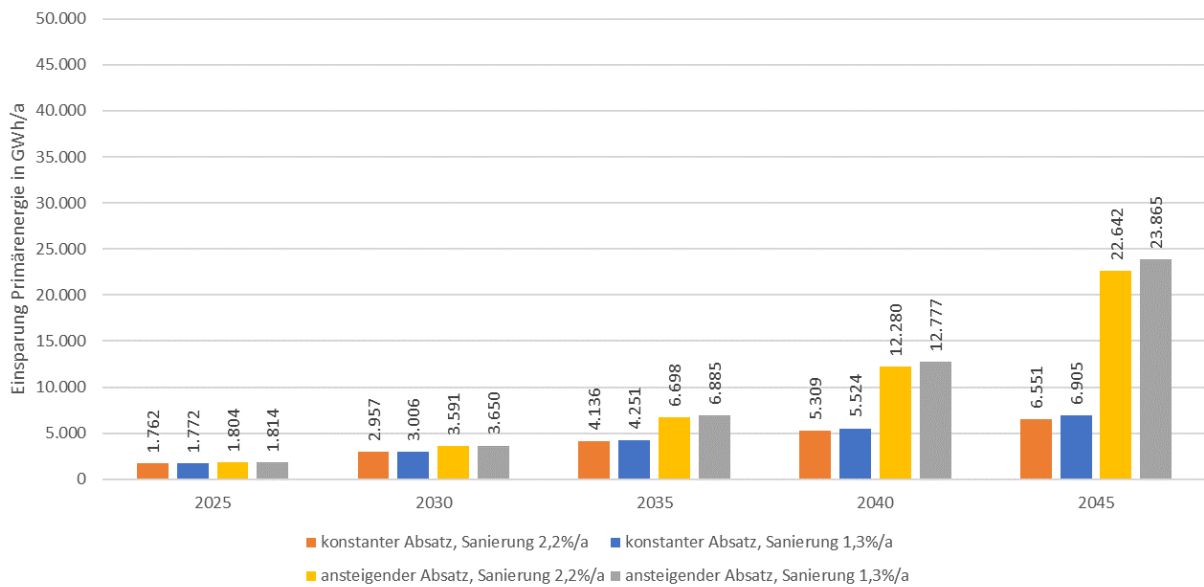


Abbildung 65: Primärenergieeinsparungen durch den Einsatz von VRF-Systemen

Die möglichen THG-Einsparungen sind in Abbildung 66 und Abbildung 67 dargestellt. Die Einsparungen für 2025 sind mit den in der IINAS-Studie angegebenen Werte für 2025 etwas höher als mit den Werten nach dem aktuellem GEG. Nach Abbildung 67 werden für 2045 maximal 5.600 Tsd t/a THG-Emissionen eingespart. Ohne Anstieg des Absatzes sind lediglich etwa 1.700 Tsd t/a erreichbar. Laut Klimaschutzgesetz dürfen 2023 102.000 Tsd t/a und 2030 67.000 Tsd t/a THG emittiert werden. Nach [ITG/FIW21] soll die THG-Emission bis 2045 auf 2.000 Tsd t/a reduziert werden. Die einsparbaren 7.900 Tsd t/a sind von den einzusparenden etwa 100.000 Tsd t/a knapp 8%.

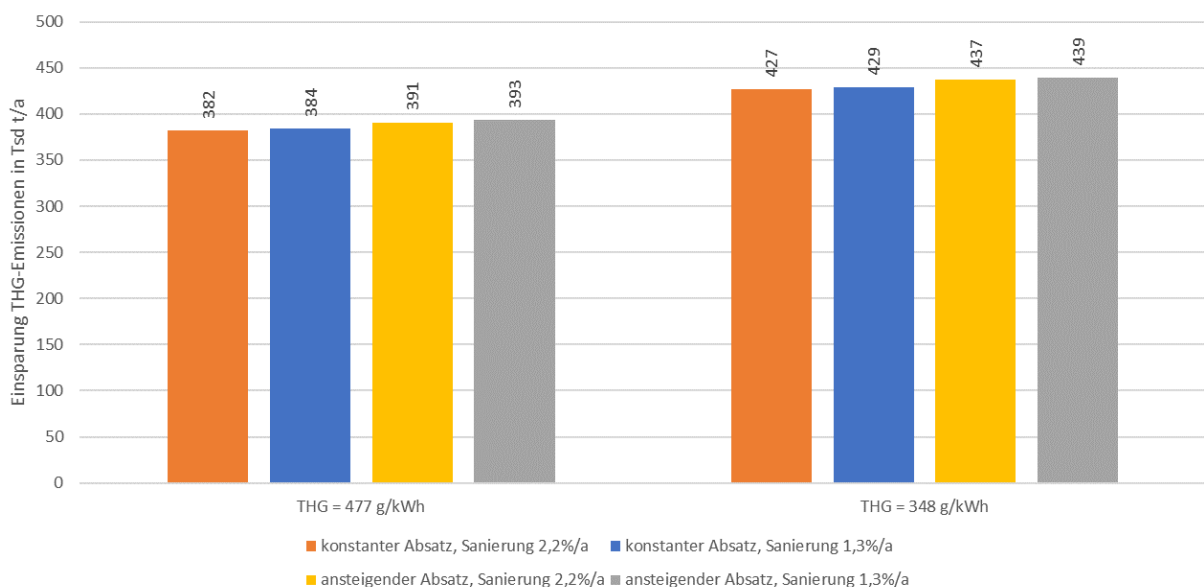


Abbildung 66: THG-Einsparungen durch den Einsatz von VRF-Systemen für das Jahr 2025 unter Berücksichtigung verschiedener Primärenergiefaktoren

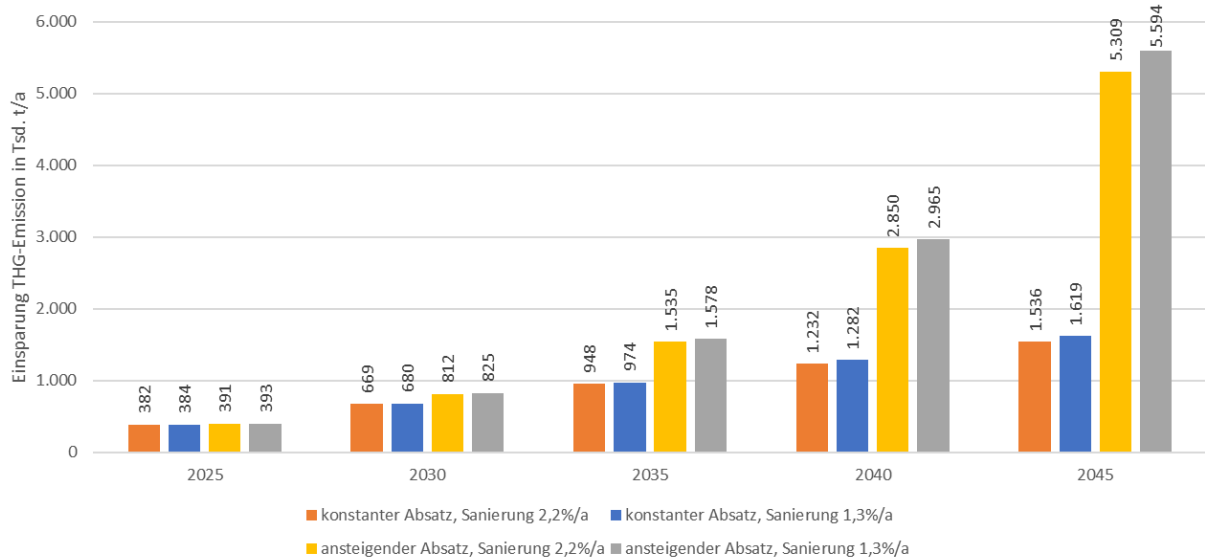


Abbildung 67: THG-Einsparungen durch den Einsatz von VRF-Systemen

Im besten Szenario (niedrigere Sanierungsrate und ansteigender Absatz) ergibt sich bis 2045 eine kumulative THG-Einsparung von etwa 44 Millionen t.

7.4 Gesamtbeitrag DX-Systeme

Zur Erreichung der im Klimaschutzgesetz geforderten Reduktion der THG-Emissionen ist im Gebäudebereich eine Kombination verschiedener Maßnahmen notwendig. Neben der energetischen Sanierung von Gebäuden spielt auch der zunehmende Einsatz von Wärmepumpen eine wichtige Rolle.

Laut Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpen wurden im ersten Quartal 2023 mehr als doppelt so viele Wärmepumpen (108.000) wie im Vergleichszeitraum des Vorjahres (49.000) verkauft. Zur Erreichung des von der Politik geforderten Einbaus von 500.000 Wärmepumpen pro Jahr ist dabei die Nutzung aller verfügbaren Wärmequellen notwendig. DX-Geräte haben den Vorteil, dass sie aufgrund der Luftheizung ohne einen unter Umständen im Bestand notwendigen Austausch von Heizkörpern auskommen.

Wie auch in dieser Studie betrachtet, bietet die Möglichkeit des teilweisen Ersatzes bzw. der Ergänzung einer bestehenden Anlage das Potenzial erneuerbare Energien für die Beheizung des Gebäudes zu nutzen, ohne diese unmittelbar mit einer aufwendigen Sanierung verknüpfen zu müssen.

Die Mehrheit, der bereits zur Kühlung eingebauten Geräte könnte, auch zu Heizzwecken genutzt werden, allerdings ist dies aufgrund der im Vergleich zum Gas hohen Strompreise meist nicht wirtschaftlich. Zur Nutzung dieses Potenzials sind demnach finanzielle Anreize notwendig.

In Abbildung 68 und Abbildung 69 sind die für den gesamten Wohn- sowie Nichtwohngebäudebestand errechneten Primärenergie- sowie THG-Emissions-Einsparungen dargestellt. Die gefüllt dargestellten Balken für die Wohngebäude tragen dabei etwa 2/3 des Potenzials bei. Insgesamt ist eine Reduktion des Primärenergiebedarfs im Bereich von 21.000 bis 90.000 GWh/a und eine Verringerung der THG-Emissionen um 5 bis 21 Mio. t/a möglich.

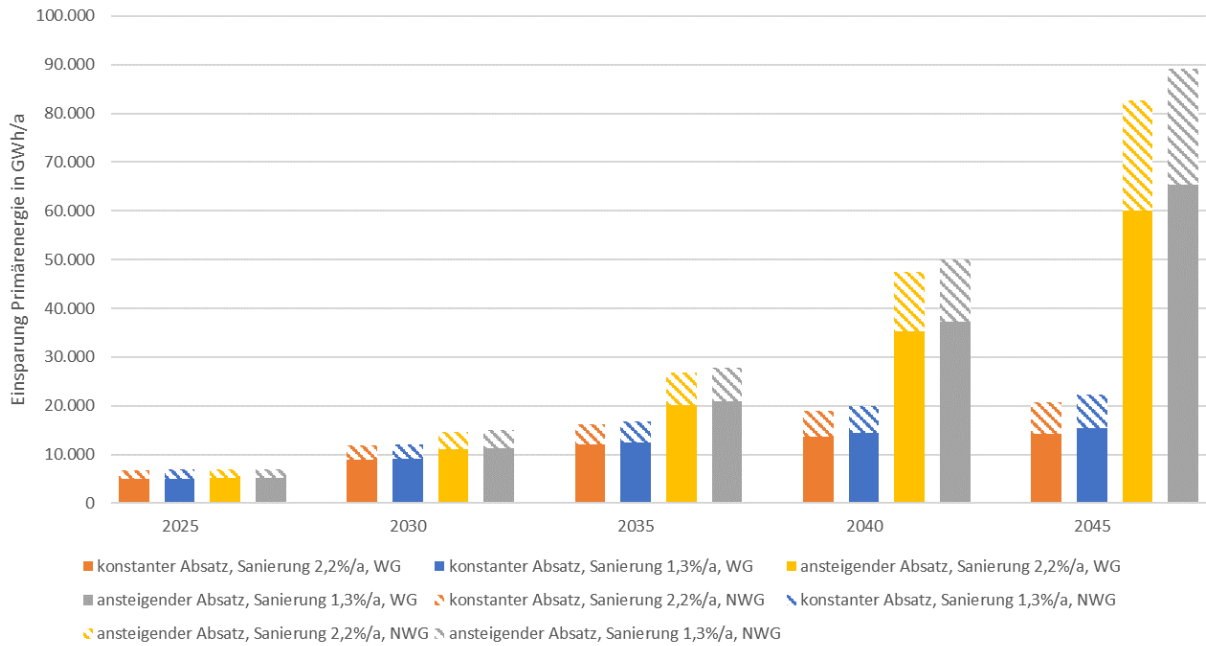


Abbildung 68: Primärenergieeinsparungen resultierend aus dem Einsatz von VRF im Nichtwohngebäudebereich und Singlesplit-/Multisplit-Systemen im Wohnbereich

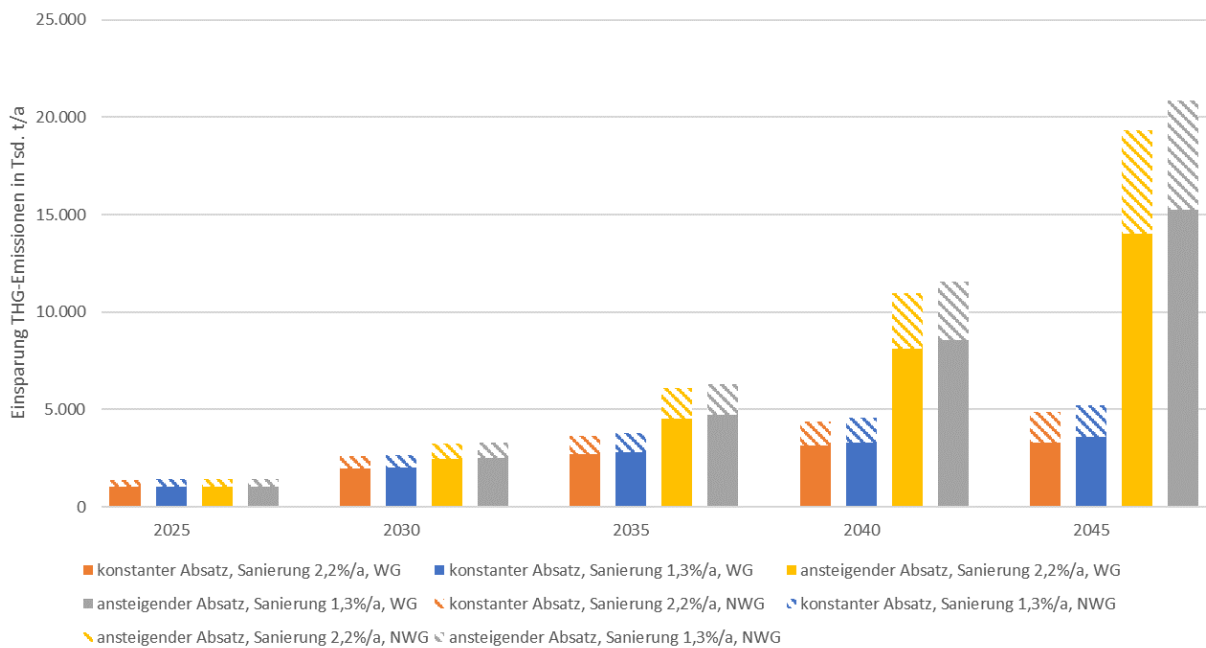


Abbildung 69: THG-Einsparungen resultierend aus dem Einsatz von VRF im Nichtwohngebäudebereich und Singlesplit-/Multisplit-Systemen im Wohnbereich

Das Klimaschutzgesetz fordert für das Jahr 2022 eine maximale Emission von THG im Gebäudesektor von 108 Mio t/a. Dieses Ziel wurde nach Angaben des Umweltbundesamtes mit 112 Mio t/a um etwas mehr als 4 Mio t/a überschritten. Zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 müssen die Treibhausgasemissionen

bis dahin bei nahezu 0 Mio. t/a sein. Das Gutachten zur dena-Leitstudie geht für 2045 von einer verbleibenden THG-Emission von 2 Mio t/a aus. Insgesamt sind bis dahin also noch THG-Einsparungen von knapp 110 Mio. t/a notwendig. Die erreichbaren Einsparungen können davon zwischen 5 und 20% decken.

Es ist davon auszugehen, dass die tatsächlich erreichbaren Einsparungen im dem abgesteckten Bereich liegen. Eine sofortige Umsetzung der Maßnahmen (z.B. Steigerung des Absatzes, Nutzung bereits vorhandener Geräte auch zum Heizen) ermöglicht es dabei das Potenzial möglichst gut auszunutzen. Aufgrund des exponentiellen Wachstums der Absatzzahlen und es damit einhergehenden Einsparpotentials führt eine Verzögerung der Maßnahmen zu erheblichen Potenzialeinbußen, wie auch das Szenario ohne Absatzsteigerung zeigt.

7.5 Netzbelastung

Wärmepumpen sollen zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Beheizung von Gebäuden leisten. Für den Betrieb von Wärmepumpen ist eine ausreichende Versorgung mit Strom sicher zu stellen. Der entsprechende Netzausbau ist daher kein alleiniges Problem von DX-Systemen, sondern muss für alle Wärmepumpen gemeinsam betrachtet werden.

Für DX-Wärmepumpen wird eine monovalente Auslegung angestrebt. In diesem Fall arbeitet die Wärmepumpe auch im Spitzenlastfall ohne Unterstützung eines Heizstabes. Dafür muss die Wärmepumpe zwar etwas größer ausgelegt werden, aber sie kann auch an kalten Wintertagen aus einer Kilowattstunde Strom etwa 2,6 bis 2,8 kWh Wärme (siehe Tabelle 2) zur Verfügung stellen. Ein im Fall des bivalenten Betriebs notwendiger Heizstab könnte aus einer Kilowattstunde Strom eine Kilowattstunde Wärme erzeugen und würde besonders an kalten Wintertagen zum Einsatz kommen.

Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu einer erheblichen Reduzierung des Endenergiebedarfs führt (siehe z.B. Abbildung 43 und Abbildung 45). Auch wenn durch den Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung das Einsparpotenzial des DX-Systems etwas geringer wird, kann dadurch die Belastung des Stromnetzes deutlich reduziert werden.

DX-Wärmepumpen stellen daher keine höheren Anforderungen an das Stromnetz als durch den geplanten Umstieg auf Wärmepumpen sowieso gedeckt und in diesem Kontext auch gemeinsam betrachtet werden muss.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wird das Einsparpotenzial zur Dekarbonisierung durch DX-Wärmepumpen aufgezeigt. An je einem typischen Wohn- und Nichtwohngebäude werden die Einsparpotenziale Endenergie Gas den dafür benötigten Endenergiebedarfen Strom gegenübergestellt. Zusätzlich erfolgt die Betrachtung des Primärenergiebedarfs und der THG-Emissionen. Für das Einfamilienhaus und das Bürogebäude wird je einmal der Gebäudestandard un- bzw. schlechtsaniert (WSchV95) und einmal gut saniert (GEG 2023) angenommen.

Unter der Annahme, dass Singlesplit-/Multisplit-Systeme im Wohnbereich und VRF-Systeme im Nichtwohnbereich bevorzugt Anwendung finden, wird deren Nachrüstung für typische Fälle:

- Singlesplit-System in einem Raum des Einfamilienhauses (etwa 20%)
- Multisplit-System in drei Räumen des Einfamilienhauses (etwa 40%)
- VRF-System in einer Etage des Bürogebäudes (etwa 30%)

untersucht.

Basierend auf Absatzzahlen (2012-2022) wird die durch DX-Systeme beheizbare Fläche abgeschätzt und mit der verfügbaren Wohnfläche bzw. Nutzfläche im Nichtwohnbereich verglichen. Im Nichtwohnbereich werden dabei neben Bürogebäuden auch Beherbergung, ein Teil des Gewerbes, Arztpraxen sowie Schulen als Einsatzfelder berücksichtigt.

Die Betrachtung der Variation der Randbedingungen (energetischer Gebäudestandard und mit/ohne RLT) zeigt, dass die verschiedenen Maßnahmen sich gegenseitig beeinflussen. So ist der Endenergiebedarf im Referenzfall mit Gas-Brennwert-Technik am niedrigsten bei Einsatz einer RLT-Anlage im sanierten Bestand gefolgt vom Fall ohne RLT-Anlage im sanierten Bestand. Am höchsten ist der Energiebedarf im unsanierten Bestand ohne RLT-Anlage. Bei einem niedrigeren Endenergiebedarf ist das Potenzial durch die Nachrüstung von DX-Systemen sowohl absolut als auch relativ geringer. Das Zusammenspiel der einzelnen Maßnahmen verringert so zwar das Potenzial welches allein aufgrund der Nachrüstung des DX-Systems erreicht werden kann, aber es leistet insgesamt den größten Beitrag zur Reduzierung der THG-Emissionen und zur Primärenergieeinsparung.

Die Einsparungen, die durch den Einsatz der Singlesplit-/Multisplit-Systeme im Wohnbereich erreicht werden kann, liegt, je nach Betriebsweise (bivalent oder monovalent), zwischen 94 und 167 kWh/m²a bezogen auf die mit DX ausgestattete Fläche. Der Bereich ist dabei etwas enger als bei Einsatz eines VRF-Systems im Bürogebäude (68 bis 176 kWh/m²a). Im Bürogebäude ist der Einfluss der Lüftungsanlage und der Dämmung aufgrund des deutlichen größeren Gebäudes und der größeren mit Luft zu versorgenden Fläche größer als im Wohnbereich. Singlesplit- und Multisplit-Systeme unterscheiden sich bei der einsparbaren Endenergie Gas dabei nur geringfügig, allerdings arbeiten Multisplit-Systeme etwas effizienter und für die Erreichung der Einsparung Endenergie Gas ist ein etwas geringerer Endenergiebedarf Strom notwendig.

Insgesamt können die DX-Systeme einen prognostizierten Beitrag von 5-21 Mio.t/a Reduktion der THG-Emissionen erreichen. Bezogen auf die bis 2045 laut Klimaschutzgesetz notwendigen Einsparungen von 100 bis 110 Mio. t/a entspricht dies etwa 5 bis 20%.

Zur Nutzung dieses Einsparpotenzials ist es notwendig, dass:

- finanzielle Hemmnisse zur Nutzung der eingesetzten Geräte auch für Heizzwecke abgebaut werden
- Absatzzahlen für DX-Geräte in den kommenden Jahren gesteigert werden
- Maßnahmen zeitnah umgesetzt werden, um einen kontinuierlichen Anstieg im Einklang mit dem Ausbau des Stromnetzes zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- [BMVBS11] BMVBS (Hrsg.): Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland.
BMVBS-Online-Publikation 16/2011
- [BMVBS13] BMVBS (Hrsg.): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation 27/2013.
- [BMWi09] Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre
2004 bis 2006. Projektnummer 45/05. Abschlussbericht an das BMWi; Karlsruhe 2009
- [DataNWG] M. Hörner, H. Cischinsky, N. Diefenbach (2022): „ENOB: dataNWG Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude – Teilbericht Strukturdaten: Stand und Dynamik der energetischen Modernisierung von Gebäudehülle und haustechnischen Anlagen im Bestand der Nichtwohngebäude“
- [dena23] S. Becker, A. Exner, J. Hagen, R. Krüger (2023): „Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand – dena-Gebäudereport 2023“
- [DIN EN 14825] DIN EN 14825:2019-07, Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung – Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der jahreszeitbedingten Leistungszahl
- [DIN V 18599-5:2018-09] DIN V 18599-5: 2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen
- [DIN V 18599-7:2018-09] DIN V 18599-7: 2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlüftung- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
- [EPREL] Luftkonditionierer (16.01.2023), <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/airconditioners>
- [Eurovent] Air conditioners (23.01.2023), https://www.eurovent-certification.com/de/advancedsearch/result?program=AC&product_type=&keyword=#access-results
- [EU626/2011] Richtlinie 626/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 04.05.2011, aktuelle konsolidierte Fassung 09.08.2020
- [FGK/BDH22] Fachverband Gebäude-Klima e.v., Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie, Beitrag der Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung

- zur Reduktion fossiler Energien und Reduktion der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor, März 2022
- [GEG23] Gebäudeenergiegesetz – Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden, erlassen 08.08.2020 BGBl. I S. 1728, letzte Änderung: Art 18a G vom 20.07.2022 BGBl. I. S. 1237, 1321
- [ILK11] U. Franzke, H. Schiller (2011): „Untersuchungen zum Energieeinsparpotenzial der Raumlufttechnik in Deutschland“, Fachbericht ILK-B-31-11-3667
- [IINAS] U. R. Fritsche, H.-W. Greß (2022): „Kurzstudie – Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2021 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050“
- [ITG/FIW21] B. Winiewska, B. Oschatz, A. Holm (2021): „Klimaneutralität 2045 – Transformation des Gebäudesektors“
- [Kohler] Kohler, Niklaus; Hassler, Uta; Paschen, Herbert (Hrsg.): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages“. Berlin/Heidelberg/New York 1999
- [Schiller] H. Schiller, R. Mai, C. Händel (2014): „Chancen der Energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche“, Fraunhofer IRB Verlag
- [ZUB10] Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e. V. (Hrsg.), 2010: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit. Endbericht

Glossar

DX-Wärmepumpe	Wärmepumpe mit direkter Kondensation im Innengerät
DX-Raumklimagerät	Raumklimagerät mit direkter Verdampfung im Innengerät
DX-Zone	Mit DX-System beheizte Zone in einem Gebäude
Luft-Luft-Wärmepumpe	System, das der Umgebungsluft (z. B. der Außenluft) Wärme entzieht und diese Umweltwärme auf eine höhere Temperatur bringt. Die Wärme wird über Innengeräte direkt auf die Raumluft übertragen – ohne Heizungswasser
Luft-Wasser-Wärmepumpe	System, das der Umgebungsluft (z. B. der Außenluft) Wärme entzieht, diese Umweltwärme auf eine höhere Temperatur bringt und damit Heizungswasser erwärmt, das diese Heizenergie über Heizkörper oder Flächenheizungen an das Haus abgibt
Singlesplit-Wärmepumpe	Wärmepumpe, die aus einer Außeneinheit und einer Inneneinheit besteht
Multisplit-Wärmepumpe	Wärmepumpe, die aus einer Außeneinheit und mehreren Inneneinheiten besteht
VRF	Variable Refrigerant Flow (variabler Kältemittelstrom)
monovalent	Bei monovalenter Betriebsweise der Heizung wird nur mit einem System geheizt.
bivalent	Bei bivalenter Betriebsweise der Heizung wird mit zwei Systemen geheizt, z. B. mit einer Gasheizung und einer Wärmepumpe
Bivalenztemperatur	Unterhalb der Bivalenztemperatur wird der zweite Wärmeerzeuger dazugeschaltet (bivalent parallel) oder auf den zweiten Wärmeerzeuger umgeschaltet (bivalent alternativ).
Auslegungspunkt	An seinem Auslegungspunkt erbringt ein technisches System, beispielsweise ein DX-System, seine beste Leistung
GWP	Global Warming Potential; Erderwärmungspotenzial
R 32	Kältemittel mit GWP 675, nicht ozonschädigend, schwer entflammbar, nicht toxisch
COP	Coefficient of Performance: Verhältnis der Wärmeleistung zur erforderlichen Antriebsenergie (Strombedarf)
COP-7	Verhältnis Wärmeleistung zum Strombedarf bei -7 °C Außentemperatur
COP2	Verhältnis Wärmeleistung zum Strombedarf bei 2 °C Außentemperatur
COP7	Verhältnis Wärmeleistung zum Strombedarf bei 7 °C Außentemperatur
COP10	Verhältnis Wärmeleistung zum Strombedarf bei 10 °C Außentemperatur
SCOP	Verhältnis aus eingesparter Endenergie Gas zu eingesetzter Endenergie Strom
EER	Energy Efficiency Ratio; Verhältnis der erzeugten Kälte- bzw. Wärmeleistung zur eingesetzten elektrischen Leistung
RLT	Raumlufttechnik
RLT-Anlage	Raumlufttechnische Anlage
WRG	Wärmerückgewinnung; wird die Lüftung mit Wärmerückgewinnung realisiert, verringern sich die Lüftungswärmeverluste erheblich
Eurovent-Datenbank	https://www.eurovent-certification.com/en/advancedsearch/counter
EPREL-Datenbank	https://eprel.ec.europa.eu/
EFH	Einfamilienhaus
ZFH	Zweifamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus
NWG	Nichtwohngebäude, z. B. für Beherbergung, Bildung, Büros, Gewerbe, Handel
EH70	Effizienzhaus 70
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient; je niedriger der U-Wert ist, desto besser ist die Dämmwirkung eines Bauteils
GEG2023	Gebäudeenergiegesetz 2023
WSchV1995	Wärmeschutzverordnung 1995
THG-Emissionen	Treibhausgasemissionen
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
TWh	Terawattstunden
W/m ²	Watt pro Quadratmeter
kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr
kWh/m ² a	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr
kg/m ² a	Kilogramm je Quadratmeter und Jahr

Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Hoferstraße 5
71636 Ludwigsburg
Telefon: +49 (0) 7141/25881-0
Telefax: +49 (0) 7141/25881-19
info@fgk.de
www.fgk.de



**Fachverband
Gebäude-Klima e.V.**