

Bericht zu AP 1.3

Technische Anforderungen an Energieversorgung und Gebäudehülle von Mehrfamilienhäusern



Der vorliegende Bericht ist Ergebnis der wissenschaftlichen Querspange »LowEx-Bestand Analyse« des thematischen Projektverbunds »LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden (LowEx-Bestand)«. In diesem Verbund arbeiten Forschungsinstitute mit Herstellern von Heizungs- und Lüftungstechnik und mit Unternehmen der Wohnungswirtschaft zusammen. Gemeinsam werden Lösungen entwickelt, analysiert und demonstriert, die den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, Wärmeübergabesystemen und Lüftungssystemen bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamiliengebäuden zum Ziel haben.

LowEx-Systeme arbeiten durch geringe Temperaturdifferenzen zwischen Heizmedium und Nutzwärme besonders effizient. Wärmepumpen haben dabei erhebliches Potenzial zur Absenkung der spezifischen CO₂-Emissionen bei der Wärmebereitstellung. Für die energetische Modernisierung von Mehrfamiliengebäuden ist der Einsatz solcher Systeme mit besonderen Herausforderungen und Anforderungen an die Übergabe der Raumwärme, die Warmwasserbereitung und die Nutzung von Umweltwärme verbunden. Diese Herausforderungen werden in LowEx-Bestand adressiert.

Projekt LowEx-Bestand Analyse

Bericht zu AP 1.3

Technische Anforderungen an Energieversorgung und Gebäudehülle von Mehrfamilienhäusern

Stand: 02.09.2021

Autoren: Benjamin Köhler (ISE), Michael Kropp (INATECH), Sven Auerswald (ISE),
Nicolas Carbonare (KIT, ISE), Raphael Vollmer (INATECH), Jeannette Wapler
(ISE), Arnulf Dinkel (ISE), Constanze Bongs (ISE), Stefan Hess (INATECH)

KIT - Die Forschungsuniversität in der Helmholtz- Gemeinschaft

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg - Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH)

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03SBE0001

www.lowex-bestand.de



Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit ist Teil des Verbundforschungsprojektes „LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden“ - Verbundprojekt „Analyse und Demonstration“ (LowEx-Bestand-Analyse).

Innerhalb des Arbeitspaketes 1.3 „Technische Anforderungen an Energieversorgung und Gebäudehülle von Mehrfamilienhäusern“ werden die technischen Anforderungen an die Anlagentechnik für Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung, Wärmequellenerschließung und Komfort sowie an die Gebäudehülle und Fassadenintegration der genannten Anlagentechnik definiert. Dazu wurden für die genannten Bereiche Anforderungen aus Gesetzen und Normen analysiert und zusammengefasst.

Energetische Anforderungen an die Gebäudehülle für Neubauten und Bestandsgebäude sind überwiegend im Gebäudeenergiegesetz GEG aufgeführt. Aufgrund der historischen Entwicklung des GEG sind Regelungen aus der ehemaligen Energieeinsparverordnung EnEV und dem ehemaligen Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz EEWärmeG sowie Neuerungen des GEG angegeben. Zusätzlich sind auch brandschutztechnische Anforderungen an die Fassade aufgeführt.

Zur Raumheizung in Gebäuden sind in Normen und Gesetzes Anforderungen an die Wärmebereitstellung (u.a. Effizienz, Emissionen, Aufstellung, Betrieb), Wärmeverteilung (u.a. Effizienz, Dämmung) und Wärmeübergabe (u.a. Betrieb von Flächenheizungen und Konvektoren, Regelung) angegeben. Vorgaben bei der Trinkwarmwasser-Erwärmung sind hauptsächlich bezüglich Temperaturniveau und Untersuchungspflicht. Für Raumheizung und Trinkwarmwasser wurden außerdem aktuelle Möglichkeiten und Anforderungen zur Temperaturabsenkung aufgezeigt. Im Bereich der Lüftung von Gebäuden sind eine Reihe von Gesetzen, Verordnungen und Normen relevant und zu beachten (in Deutschland v.a. DIN 1946-6:2019). Zentrale Parameter sind ausreichend Frischluft, der Mindestluftwechsel sowie Minimierung der Schallemissionen. Zusätzlich sind für Heizung, Trinkwarmwasser und Lüftung Vorgaben zur Energieeinsparung in den Öko-Design-Richtlinien der Europäischen Union aufgelistet.

Bei der Wärmequellenerschließung von Wärmepumpen sind Vorgaben abhängig von der Wärmequelle zu beachten. Bei Luft-Wärmepumpen müssen hauptsächlich Anforderungen an die Schallemission zu berücksichtigt werden. Da der Bohrvorgang bei der Erschließung der Wärmequelle von Erdreich- und Wasser-Wärmepumpen einen schädlichen Einfluss auf das Grundwasser haben kann, gibt es Einschränkungen für den Bau und Betrieb in bestimmten Schutzgebieten.

Neben diesen technischen Anforderungen sind Komfortkriterien bezüglich thermischer Behaglichkeit, Lufthygiene und Schallemissionen in Normen und Gesetzen festgelegt. Diese müssen durch die Energieversorgung und die Gebäudehülle eingehalten werden. Neben allgemeinen Anforderungen an die Fassade, wie Rauch und Brandschutz, statische Beanspruchung, Wärme-, Schall und Feuchteschutz sowie Luftdichtheit, gelten für die Fassadenintegration von Heizung, Lüftung und TWW die entsprechenden Normen und Richtlinien, die auch im Gebäudeinneren gelten.

Abstract

The present work is part of a composite research project on low exergy heating systems for the refurbishment of existing multifamily houses.

Within the work package 1.3 "Technical requirements for energy supply and building envelope of multifamily buildings" the technical requirements for the system technology for heating, domestic hot water, ventilation, heat source design and comfort as well as for the building envelope and façade integration of the mentioned system technology are defined. For this purpose, requirements from laws and standards were analyzed and summarized.

Energy requirements for the building envelope for new and existing buildings are mainly listed in the Building Energy Law GEG. Due to the historical development of the GEG, regulations from the former Energy Saving Ordinance (EnEV) and the former Renewable Energies Heat Act (EEWärmeG) as well as amendments to the GEG are given. In addition, fire protection requirements for the façade are also listed.

For space heating in buildings, standards and laws specify requirements for heat supply (including efficiency, emissions, installation, operation), heat distribution (including efficiency, insulation) and heat transfer (including operation of panel heaters and convectors, control). Specifications for domestic hot water are mainly regarding temperature level and examination obligation. For space heating and domestic hot water, current options and requirements for temperature reduction were also indicated. In the field of building ventilation, a number of laws, regulations and standards are relevant and must be observed (in Germany, primarily DIN 1946-6:2019). Central parameters are sufficient fresh air, the minimum air exchange rate and minimization of noise emissions. In addition, the European Union's eco-design guidelines list energy-saving requirements for heating, domestic hot water and ventilation.

For the design of heat pumps, specifications are to be observed depending on the heat source. In the case of air-source heat pumps, the main requirements to be considered are those relating to noise emissions. As the drilling process can have a detrimental effect on groundwater when developing the heat source of ground-source and water-source heat pumps, there are restrictions on construction and operation in certain protected areas.

In addition to these technical requirements, comfort criteria relating to thermal comfort, air hygiene and noise emissions are set out in standards and laws. These must be met by the energy supply system and the building envelope. General requirements for the façade are smoke and fire protection, static requirements, thermal, sound and moisture protection, and air tightness. The corresponding standards and guidelines for indoor operation also apply to façade integration of space heating, ventilation and domestic hot water.

Inhalt

Kurzfassung.....	V
Abstract	VI
Inhalt.....	VII
Nomenklatur	IX
1 Einführung	1
1.1 Untersuchungsgegenstand	1
1.2 Ziele	1
2 Gebäudehülle	3
2.1 Energetische Anforderungen (Gebäudeenergiegesetz)	3
2.2 Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden	8
3 Heizung	10
3.1 Wärmebereitstellung	10
3.2 Wärmeverteilung	16
3.3 Wärmeübergabe	18
4 Trinkwarmwasser	21
4.1 Vorgaben aus Normen, Gesetzen und Richtlinien	21
4.2 Weitere Vorgaben und Anforderungen	34
5 Lüftung	35
5.1 Vorgaben aus Normen und Gesetzen.....	35
5.2 Brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen	39
6 Wärmequellenerschließung	41
6.1 Luft-WP.....	41
6.2 Erdreich-WP	42
6.3 Wasser-WP	44
6.4 Weitere Vorgaben	47
7 Komfort.....	49
7.1 Thermischer Komfort.....	49
7.2 Lufthygiene	51
7.3 Schall.....	52
8 Fassadenintegration.....	56
8.1 Allgemeine Anforderungen Fassadenintegration	56
8.2 Systeme für Fassadenintegration, Integralfassaden	62
9 Literaturverzeichnis	65
10 Anhang	73
10.1 VIP-Fassade am Fraunhofer ISE	73
10.2 Ergebnisse der brandschutztechnischen Bewertung des FIHLS-Systems.....	76

10.3	Solarfassade mit Solarthermie	78
10.4	Solarfassade mit Photovoltaik	83

Nomenklatur

Abkürzung	Bedeutung
Abs.	Absatz
Abschn.	Abschnitt
AG	Arbeitsgericht
A _N	Nutzfläche
AP	Arbeitspaket
AT	Amtlicher Teil
AZ	Aktenzeichen
BAnz	Bundesanzeiger
BauPGHeizkesselV	Verordnung über das Inverkehrbringen von Heizkesseln und Geräten nach dem Bauproduktengesetz (Artikel 1 der Verordnung zur Umsetzung der Heizkesselwirkungsgradrichtlinie)
BBergG	Bundesberggesetz
BDH	Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.
BIPV	Building integrated PV (Gebäudeintegrierte Photovoltaik)
BK	Bauklasse
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BWP	Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.
CC	Umrechnungskoeffizient (entspricht nach Richtlinie 2012/27/EU dem geschätzten durchschnittlichen Wirkungsgrad der Stromerzeugung in der EU)
CE	Conformité Européenne (Kennzeichnung für „Europäische Konformität“)
cm ²	Quadratcentimeter
d	Tag
dB	Dezibel
ΔT	Temperaturdifferenz
DIN	Deutsches Institut für Normung
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
DZP	Dezentrale Pumpen-Systeme
η	Wirkungsgrad

η_t	Effizienz der Wärmerückgewinnung (thermisch)
η_{wh}	Warmwasserbereitungs-Energieeffizienz
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEl	Energieeffizienzindex
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung
EPS	Expandiertes Polystyrol
ErP	Energy related products
E_T	Aktivierungsenergie des Degradationsprozesses
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EWK	Erdwärmekollektor
EWS	Erdwärmesonde
FIHLS	Forschungsprojekt „Fassadenintegrierte Heizung+Kühlung, Lüftung und Sanitär“ (FKZ: 03ET1401 A/B/C/D)
FKZ	Förderkennzeichen
g-Wert	Energietransmissionsgrad
GED	Gebäude- und Energietechnik Deutschland
GEG	Gebäudeenergiegesetz
Gl.	Gleichung
GMH	Großes Mehrfamilienhaus - mehr als 12 Wohneinheiten
h	Stunde
H'_T	Spezifischen Transmissionswärmeverlust
IfSG	Infektionsschutzgesetz
ISO	International Organization for Standardization
K	Kelvin
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KGF	Konstruktionsgrundfläche/ Konstruktions- Grundfläche
KMH	Kleines Mehrfamilienhaus - 3- 6 Wohneinheiten
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde

KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWL	Kontrollierte Wohnungslüftung
kWp	Kilowatt peak
l	Liter
IEC	International Electrotechnical Commission
J	Joule
L_{Aeq}	Schallpegel am Empfänger
$L_{AF}(t)$	Schalldruckpegel
LagerstG	Lagerstättengesetz
λ	Wärmeleitfähigkeit [Lambda]
LG	Landgericht/ Landesgericht
log	Logarithmus
L_{WA}	Schallleistungspegel
L_{WAeq}	Schallleistungspegel der Schallquelle
LWC	Schallleistungspegel der Gehäuseabstrahlung einer Anlage
m	Meter
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
MBO	Musterbauordnung
mg	Milligramm
MHHR	Muster-Hochhaus-Richtlinie
min.	Mindestens
M-LüAR	Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie
mm	Millimeter
MM	MieterMagazin (die – auch juristische – Mitgliederzeitschrift des Berliner Mietervereins)
MMH	Mittleres Mehrfamilienhaus - 7- 12 Wohneinheiten
mol	Einheit der Stoffmenge
MVV	Musterverwaltungsvorschrift
NE	Nutzungseinheit
NT	Niedertemperatur
OKF	Oberkante Fertigfußboden
ORT	Operative Raumtemperatur
pers	Person

PMV	Predicted Mean Vote
P_N	Nennleistung
PPD	Predicted percentage of dissatisfied
PV	Photovoltaik
Q	Richtfaktor (Schall)
Q_{cor}	Umgebungstemperatur-Korrekturterm (Details siehe Verordnung (EU) Nr. 814/2013)
Q_{elec}	Stromverbrauch (für die Warmwasserbereitung)
Q_{fuel}	Brennstoffverbrauch
Q_{ref}	Bezugsenergie
r	Radius/ Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger
R	Ideale Gaskonstante
R_b	Bohrlochwiderstand
RLT	Raumluftechnik
s	Sekunde
S	Warmhalteverlust
SCF	Faktor zur Berücksichtigung einer smarten Regelung (Details siehe Verordnung (EU) Nr. 814/2013)
SEV	Spezifische Energieverbrauch
SFP	Specific fan power
SPI	Spezifische Leistungsaufnahme
T	Temperatur
TABS	Thermoaktive Bauteilsysteme
TA-Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TB	Technische Baubestimmungen
T_{eff}	Temperatur spezifisch
$\theta_{F,m}$	Mittlere Oberflächentemperatur
θ_i	Norm-Innentemperatur
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
th	thermisch
T_R	Temperatur für beschleunigte Alterung
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TWE	Trinkwassererwärmung
TWW	Trinkwarmwasser

U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient von Bauteilen
Urt.	Urteil
V	Volumen
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VdS	Vertrauen durch Sicherheit (Verlag VdS Schadenverhütung GmbH)
VIP	Vakuumisolierpaneel
W	Watt
WB	Wärmebrücke
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WE	Wohneinheit
WG	Wassergesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WM	Wohnungswirtschaft und Mietrecht (juristische Fachzeitschrift)
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
ZAbLS-D	Zu- und Abluftsystemen - Dezentrale Lüftungsanlage
ZLA	Zwei-Richtungs-Lüftungsanlage
ZVSHK	Zentralverband Sanitär Heizung Klima

1 Einführung

1.1 Untersuchungsgegenstand

In AP 1.3 werden technische Anforderungen an die Energieversorgung und Sanierungen der Gebäudehülle beschrieben und zusammengefasst. Diese sind Grundlage für die Simulationsarbeiten und die wirtschaftlichen Untersuchungen verschiedener Sanierungs-/ Maßnahmenoptionen. Basis hierfür sind die unterschiedlichen Sanierungstiefen, die in AP 1.1 (s. (Ebert 2020)) definiert wurden. Diese bestimmen zum einen den Energiebedarf (z.B. über den Umfang von Dämmmaßnahmen) und zum anderen teilweise die Systemtechnik (z.B. Umstellung auf zentrale Wärmeversorgung, Trennung Heizwärme/ Warmwasser, Einbau mechanische Lüftung etc.). Aus den definierten Rahmenbedingungen werden technische Anforderungen an die Energieversorgung und technische Ausstattung sowie Auslegungs- und Einsatzplanung unter besonderer Berücksichtigung innovativer LowEx-Technologien abgeleitet. Letzteres erfolgt in Zusammenarbeit mit den System- und Komponentenherstellern aus den Technologieprojekten des Verbunds und den Arbeiten in AP 2.

Für die Integration von Fassadenkomponenten in die Systemtechnik (z.B. Lüftung, Solarthermie) sollen die Wechselwirkungen betrachtet werden, und aus den Systemkonzepten sollen Anforderungen an die neuen Komponenten abgeleitet werden (z.B. Brandschutz).

Im Hinblick auf Materialauswahl und Konzeptfindung für eine Solarisierung der Gebäudehülle werden hier grundlegende Anforderungen an entsprechende Fassadenkomponenten ermittelt.

Aus Betriebsbedingungen im LowEx-System und geforderter Lebensdauer werden grundsätzliche Testanforderungen für innovative Fassadenkomponenten abgeleitet, nach denen z.B. in den Technologieprojekten neuentwickelte Komponenten bzgl. ihres Alterungsverhaltens untersucht werden können.

1.2 Ziele

Ziel des Arbeitspaketes ist die Definition der technischen Anforderungen an die Anlagentechnik für:

1. Heizung (u.a. Heizflächendimensionierung, Isolierung von Leitungen, Effizienz)
2. Trinkwarmwasser (u.a. Hygiene, Isolierung von Leitungen, Effizienz)
3. Lüftung (u.a. Schallschutz, Luftaustausch, Isolierung von Leitungen, Effizienz)
4. Wärmequellen- und -senkenerschließung (u.a. Schall, Wasser- und Bergrecht, Quellenkombination, Dimensionierung)
5. Komfort (u.a. Raumtemperatur, Luftqualität und -feuchte, Strahlungsasymmetrie)

Für die genannten Bereiche werden Anforderungen aus Gesetzen und Normen analysiert. Dabei werden auch zukünftig zu erwartenden Entwicklungen betrachtet, sofern hierzu valide Daten und Informationen verfügbar sind. Grundlage für die Definition der Anforderungen insbesondere an die Heizung ist die Normheizlast der Gebäudetypen und die jeweiligen Sanierungszustände. Die definierten Anforderungen sind die Grundlage für die Entwicklung geeigneter Systeme für die Typgebäude, die Grundlage für vergleichende Simulationen sind, die Arbeiten in den einzelnen Technologieprojekten, sowie die Planung der Demonstrationsprojekte. Sie fließen als Rahmen-, bzw. Richtparameter in die Simulationsstudien im Rahmen des weiteren Projektverlaufs ein.

2 Gebäudehülle

2.1 Energetische Anforderungen (Gebäudeenergiegesetz)

2.1.1 Übersicht der Anforderungen an die Gebäudehülle (Neubau und Sanierung)

Im Folgenden werden die wichtigsten Anforderungen aus dem Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) an Wohngebäude beim Neubau und bei Sanierungen zusammengefasst.

Anforderungen beim Neubau:

- Grundsätzlich als Niedrigstenergiegebäude zu planen und zu errichten
- Jahresprimärenergiebedarf $Q_P \leq 0,75 \cdot Q_{P,Referenzgebäude}$
- Spezifischer Transmissionswärmeverlust $H'_T \leq H'_{T,Referenzgebäude}$
- Nutzung Erneuerbarer Energien (oder Ersatzmaßnahmen)
- Sommerlicher Hitzeschutz
- Möglichst geringe Wärmeverluste durch Wärmebrücken
- Luftdichtheit der Gebäudehülle, Lüftungskonzepte

Anforderungen bei Sanierungen:

Änderung an einem bestehenden Gebäude (Veränderungen von Außenbauteilen die mehr als 10 % der gesamten Fläche der jeweiligen Bauteilgruppe betreffen):

- Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile
- Alternativ:
 - Jahresprimärenergiebedarf $Q_P \leq 1,4 \cdot Q_{P,Referenzgebäude}$
 - Spezifischer Transmissionswärmeverlust $H'_T \leq 1,4 \cdot H'_{T,Referenzgebäude}$

Erweiterung eines bestehenden Gebäudes um beheizte oder gekühlte Räume:

- Spezifischer Transmissionswärmeverlust des neu hinzukommenden beheizten oder gekühlten Raumes $H'_{T,Erweiterung} \leq 1,2 \cdot H'_{T,Referenzgebäude}$
- Ist die hinzukommende zusammenhängende Nutzfläche größer als 50 m², ist außerdem der sommerliche Hitzeschutz nachzuweisen.

2.1.2 Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Die Anforderungen an die energetischen Eigenschaften der Gebäudehülle (bei Neubau und Sanierung), sowie den gesamten Primärenergieverbrauch eines Gebäudes basieren auf der europäischen Richtlinie 2018/844, bzw. deren Vorgängerrichtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz (Richtlinie 2018/844/EU). Diese waren in Deutschland insbesondere in der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) umgesetzt, in welcher u.a. U-Werte für die Gebäudehülle, aber auch weitere Anforderungen an die Effizienz der Gebäudekonditionierung definiert waren. Da in den zuletzt geltenden Regeln und Verordnungen die europäischen Vorgaben zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden nicht vollständig umgesetzt und die Regelung des Niedrigstenergiegebäudes (Neubauten seit 2021 nur noch als Niedrigstenergiegebäude, öffentliche Neubauten bereits seit 2019) nicht integriert waren, mussten die Bauregeln erneut geändert

werden. In diesem Zuge wurde die EnEV sowie das bisherige Energieeinsparungsgesetz (EnEG 2013) und das „Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich - Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz“ (EEWärmeG 2015) in dem, seit 1. November 2020 geltenden, Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) vereint. Aufgrund der historischen Entwicklung des GEG aus EnEV und EEWärmeG und da das Anforderungsniveau für Neubauten und Sanierung nicht verschärft wurde (Vermeidung von weiteren Steigerungen der Bau- und Wohnkosten) wird im Folgenden der Einfluss der letztgültigen Fassungen der EnEV und des EEWärmeG sowie die wesentlichen Neuerungen in der aktuellen Fassung des GEG beschrieben.

2.1.1 Regelungen aus der ehemaligen Energieeinsparverordnung (EnEV)

Mit dem GEG müssen alle Neubauten grundsätzlich als Niedrigstenergiegebäude geplant und errichtet werden. Dieser Standard entspricht dem der Energieeinsparverordnung EnEV mit der Verschärfung ab 2016: Der Jahresprimärenergiebedarf darf nicht höher als 75 % des auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Wertes des entsprechenden Referenzgebäudes sein. Der Transmissionswärmeverlust darf den auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Wert des entsprechenden Referenzgebäudes nicht überschreiten (die gebäudetypologischen Anforderungswerte nach

Tabelle 3 entfallen für Neubauten). Die Anforderungen an das Referenz-Wohngebäude sind in Anlage 1 des GEG definiert (die Anforderungen an die maximalen U-Werte für Neubauten sind außerdem in Tabelle 1 dargestellt). Wärmeverluste durch Wärmebrücken sollen so gering wie möglich, jedoch wirtschaftlich vertretbar sein und werden in der Energiebilanz rechnerisch berücksichtigt. Die Gebäudehülle muss außerdem dauerhaft luftdicht und abgedichtet sein, jedoch einen Mindestluftwechsel für Nutzer und Heizung erlauben. Ein sommerlicher Hitzeschutz muss ebenfalls gewährleistet sein.

Sofern ein Gebäude freiwillig modernisiert wird, bestehen sogenannte „bedingte Anforderungen“, die durch eine bauliche Veränderung erreicht werden müssen. Dabei sind Mindeststandards für einzelne Bauteile vorgegeben, sofern diese neu errichtet oder ohnehin modernisiert werden sollen. Die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei Sanierung von Außenbauteilen sind in Anlage 7 des GEG festgelegt und die wichtigsten Bauteile in Tabelle 2 zusammengefasst. Alternativ zur bauteilbezogenen Einhaltung der Grenzwerte kann bei umfassender Sanierung des Gebäudes auch eine Gesamtbilanzierung, vergleichbar mit dem Neubau, durchgeführt werden. In diesem Fall darf der Jahresprimärenergiebedarf des Wohngebäudes und der maximale auf die wärmeübertragende Umgebungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust den Wert des Referenzgebäudes um nicht mehr als 40 % übersteigen. Als Änderungen an bestehende Wohngebäude gelten nach GEG Veränderungen von Außenbauteilen (Außenwand, Fenster, Türen, Decken, Dach) die mehr als 10 % der gesamten Fläche der jeweiligen Bauteilgruppe betreffen oder eine technische Anlage verändert wird. Die Anforderungen an die maximalen U-Werte für Neubauten (Ausführung des Referenzgebäudes) sind in Tabelle 1 dargestellt, die Höchstwerte für den maximalen spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T in

Tabelle 3.

Tabelle 1 – Ausführung des Referenzgebäudes – maximale U-Werte von Außenbauteilen bei neuen Wohngebäuden; Quelle: (GEG 2020).

Bauteile/Systeme	Referenzausführung/ -wert
Außenwand (inkl. Einbauten), Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken gegen unbeheizte Räume	$U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Fenster, Fenstertüren	$U = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
	$g_L = 0,60$
Dachflächenfenster	$U = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
	$g_L = 0,60$
Lichtkuppeln	$U = 2,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
	$g_L = 0,64$
Außentüren	$U = 1,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Wärmebrückenzuschlag	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Neben den Anforderungen an die U-Werte sind in der Anlage 1 für das Referenzgebäude auch Anforderungen an die Luftdichtheit der Gebäudehülle und Anlagentechnik definiert (s. auch in den folgenden Kapiteln).

Tabelle 2 – Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden (Auszug); Quelle (GEG 2020).

Bauteile/Systeme	Referenzausführung/ -wert
Außenwand, Dachschrägen, Steildach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten, Decken nach unten gegen Außenluft	$U = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte Wände und Decken gegen unbeheizte Räume (mit Ausnahme Dachräume), Bodenplatte	$U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Decke gegen unbeheizte Keller, Bodenplatte (wenn Aufbau bzw. Erneuerung auf beheizter Seite des Fußbodens erfolgt)	$U = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Flachdächer	$U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Fenster, Fenstertüren (maßgeblich ist der U-Wert des gesamten Fensters)	$U = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Dachflächenfenster	$U = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Verglasungen	$U = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
Außentüren	$U = 1,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tabelle 3 – Maximale spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverluste von neuen und sanierten Wohngebäuden; Quelle: (GEG 2020).

Gebäudetyp		Maximaler spezifischer Transmissionswärmeverlust H'_{T} [W/(m ² K)]	
		Neubau (entfällt)	Sanierung
Freistehendes Wohngebäude	Mit $A_N \leq 350 \text{ m}^2$	0,40	0,56
	Mit $A_N > 350 \text{ m}^2$	0,50	0,70
Einseitig angebautes Wohngebäude		0,45	0,63
Anderes Wohngebäude		0,65	0,91
Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäude		0,65	0,91

2.1.2 Regelungen aus dem ehemaligen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Neben den energetischen Anforderungen legt das GEG, wie zuvor im EEWärmeG, eine Nutzungspflicht für Erneuerbare Energien für die Wärme- und Kältebereitstellung im Neubau fest und definiert mögliche Ersatzmaßnahmen. Diese Nutzungspflicht gilt wie bisher ausschließlich für Neubauten sowie grundlegend renovierte öffentliche Gebäude. Neben den bisherigen Erfüllungsoptionen Solarthermie, Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie Fern- und Abwärme kann die Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energien künftig auch durch die Nutzung von gebäudenah erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energien erfüllt werden. Als weitere Neuregelung ermöglicht das GEG die Pflicht durch die Nutzung von gasförmiger Biomasse in einem Brennwertkessel zu erfüllen, was bislang nur bei der Nutzung in KWK-Anlagen möglich war. Diese Option besteht weiterhin. Im GEG entfallen die bislang in der Anlage des EEWärmeG enthaltenen technischen Anforderungen für Wärmepumpen (Jahresarbeitszahl, Installation von Zählern, Effizienzlabel) oder Biomassekessel mit Verweis auf die europäischen Ökodesign-Richtlinien. Die Ersatzmaßnahme „Einsparung von Energie“ ist künftig leichter zu erfüllen: Wie bisher ist eine Übererfüllung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz vorgesehen, die bisherige Übererfüllung des Jahresprimärenergiebedarfs entfällt.

Im Folgenden werden die Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien als auch die Ersatzmaßnahmen stichpunktartig zusammengefasst.

Solarthermie:

- Mindestanteil am Wärme- und Kälteenergiebedarf 15 %
- Wohngebäude mit ≤ 2 WE: 0,04 m² Kollektorfläche pro Quadratmeter Nutzfläche
- Wohngebäude mit > 2 WE: 0,03 m² Kollektorfläche pro Quadratmeter Nutzfläche

Strom aus erneuerbaren Energien:

- Mindestanteil am Wärme- und Kälteenergiebedarf 15 %
- Alternativ (gilt für PV): 0,03 kWp pro Quadratmeter Nutzfläche je Geschoss

Geothermie oder Umweltwärme (elektrisch oder mit fossilen Brennstoffen angetriebene Wärmepumpe):

- Mindestanteil am Wärme- und Kältebedarf 50 %

Mindestanteile an der Wärme- und Kälteenergiebereitstellung bei der Nutzung von Biomasse:

- Feste Biomasse (Pellets etc.) in einem Biomassekessel: 50 %
- Flüssige Biomasse (Biodiesel u.ä.) in einer KWK-Anlage oder in einem Brennwertkessel: 50 %
- Gasförmige Biomasse (Biogas u.ä.)
 - in einer KWK-Anlage: 30 %
 - in einem Brennwertkessel: 50 %

Ersatzmaßnahmen:

- Nutzung von Abwärme: Mindestanteile an der Wärme- und Kältebereitstellung 50 %
- Kraft-Wärme-Kopplung: Mindestanteile an der Wärme- und Kältebereitstellung 50 %
- Brennstoffzellenheizung: Mindestanteile an der Wärme- und Kältebereitstellung 40 %
- Fernwärme/ -kälte, die zu einem wesentlichen Teil aus erneuerbaren Energien, Abwärme (min. 50 %), KWK (min. 50 %) oder aus einer Kombination der genannten (min. 50 %) bereitgestellt wird
- Zusätzliche Energieeinsparung: Übererfüllung der Anforderung an den baulichen Wärmeschutz um 15 %

Die Länder der Bundesrepublik Deutschland sind darüber hinaus befugt eigene Gesetze zu erlassen, die über die Anforderungen auf Bundesebene hinausgehen. U.a. Baden-Württemberg hat hiervon Gebrauch gemacht und schärfere Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien an und in Gebäuden formuliert (EWärmeG 2015). Hier ist zum Beispiel auch beim Kesseltausch in Bestandsgebäuden die Nutzung erneuerbarer Energien (Mindestanteil 15 % an der Wärmebereitstellung oder Umsetzung von Ersatzmaßnahmen) Pflicht.

2.1.3 Neuerungen durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Weiterentwicklung des energetischen Standards

Entsprechend dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung sollen nach dem neu eingeführten § 9 des GEG die energetischen Anforderungen an Neubau und Gebäudebestand im Jahr 2023 überprüft werden. Außerdem sollen Ergebnisse von Forschungsprojekten zu Methodiken zur ökobilanziellen Bewertung von Wohn- und Nichtwohngebäuden vorgelegt werden und geprüft werden, auf welche Weise und in welchen Umfang synthetisch erzeugte Energieträger bei der Erfüllung der Anforderungen des GEG berücksichtigt werden sollen.

Niedrigstenergiegebäude ab 2019/2021

Seit 2021 sind nach den EU-Gebäuderichtlinien alle neuen Gebäude als Niedrigstenergiegebäude auszuführen (öffentliche Neubauten bereits seit 2019). Dieser Niedrigstenergiegebäude-Standard wurde mit § 10 des GEG für alle zu errichtenden Gebäude eingeführt. Eine Verschärfung der Anforderungen im Gegensatz zur bisher geltenden EnEV erfolgte nicht.

Primärenergiefaktoren

Hauptanforderungsgröße für die Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bleibt der Jahresprimärenergiebedarf. Die Primärenergiefaktoren bleiben weitgehend unverändert, werden aber direkt im GEG geregelt. Der bisherige Verweis auf DIN V 18599 entfällt.

Innovationsklausel

Mit § 103 enthält das GEG eine Innovationsklausel, die innovative Lösungen ermöglichen sollen. So ist es zum einen möglich die Anforderungen des GEG statt über den Primärenergiebedarf über die Treibhausgasemissionen nachzuweisen. Dabei darf der Endenergiebedarf des Wohngebäudes bei Neubauten 75 % des Endenergiebedarfs des Referenzgebäudes nicht überschreiten. Bei Sanierungen darf der Endenergiebedarf bis zu 40 % überschritten werden. Außerdem gelten geringere Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz. So dürfen die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes bis zu 20 % über dem Wert des Referenzgebäudes liegen. Zum anderen gibt es die Möglichkeit bei Sanierungen die Einhaltung der Anforderungen über eine gemeinsame Erfüllung im Quartier sicherzustellen. Mit Hilfe dieser Regelung im Zusammenspiel mit der Vereinbarung über eine gemeinsame Wärmeversorgung im Quartier werden quartiersbezogene Konzepte gefördert.

Anrechnung von Strom aus Erneuerbaren Energien

Im GEG erfolgt mit § 23 eine Ausweitung der Möglichkeit zur Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien in der energetischen Bilanzierung von Gebäuden (auf Ebene der Primärenergie) unter der Voraussetzung von gebäudenah erzeugten und vorrangig im Gebäude benutzen Strom. Dazu wurde ein neues Verfahren zur Ermittlung des anrechenbaren Stroms, welches zwischen Anlagen mit und ohne Speicher unterscheidet, eingeführt. Bei Wohngebäuden mit Anlagen ohne Stromspeicher dürfen pauschal 150 kWh je kW installierter Anlagennennleistung und mit Stromspeicher (min. 1 kWh Nennkapazität je kW Anlagennennleistung) 200 kWh je kW installierter Anlagennennleistung angerechnet werden. Zusätzlich darf bei einer Mindestgröße der Anlage (0,03 kWp pro Quadratmeter Nutzfläche je Geschoss) bei Anlagen ohne Speicher 70 % des Endenergiebedarfs der Anlagentechnik für Strom angerechnet gebracht werden, insgesamt jedoch maximal 30 % des Referenz-Primärenergiebedarfs für Neubauten (75%-Wert). Bei Anlagen mit Stromspeicher entsprechend 100 % des Endenergiebedarfs der Anlagentechnik für Strom und maximal 45 des Referenz-Primärenergiebedarfs (75%-Wert).

Verbot von Öl- und Kohleheizungen

Die bisherigen Regelungen zur Außerbetriebnahme für Heizkessel, die vor über 30 Jahre installiert wurden, bleiben erhalten (gilt nur für Nennleistungen zwischen 4 – 400 kW und nicht für Niedertemperatur- und Brennwertkessel). Das Inbetriebnahmeverbot von Öl- und Kohleheizungen wurde aufgrund des Klimaschutzprogrammes 2030 erweitert, enthält aber zahlreiche Ausnahmen:

- Bei Neubauten: die Anforderungen werden durch den Einsatz erneuerbarer Energien und nicht durch Ersatzmaßnahmen erfüllt
- Bei öffentlichen Bestandsgebäuden: die Anforderungen werden durch den Einsatz erneuerbarer Energien und nicht durch Ersatzmaßnahmen erfüllt
- Wenn erneuerbare Energien in Bestandsgebäuden eingesetzt werden
- Wenn bei Bestandsgebäuden kein Gas- oder Fernwärmenetz anliegt
- Unangemessener Aufwand oder unbillige Härte

2.2 Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden

Im Rahmen vom Technologieprojekt FIHLS (Förderkennzeichen FKZ: 03ET1401A) wurden in einer Abschlussarbeit (Hengstler 2018) die brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden wie im Folgenden beschrieben zusammengefasst. Die grundlegenden Gebäudeklassen sind in Tabelle 4 beschrieben.

Tabelle 4 – Beschreibung der für den Brandschutz relevanten Gebäudeklassen (GK); Quelle: (Hengstler 2018)

GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5
Freistehende Gebäude ≤ 7 m OKF*	Gebäude ≤ 7 m OKF*	Sonstige Gebäude ≤ 7 m OKF*	Gebäude ≤ 13 m OKF*	Sonstige Gebäude ≤ 22 m OKF*
(≤ 2 Nutzungseinheiten und insgesamt ≤ 400 m ²)	(≤ 2 Nutzungseinheiten und insgesamt ≤ 400 m ²)		(Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als ≤ 400 m ²)	
*OKF (Oberkante Fertigfußboden): „Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, über der Geländeoberfläche im Mittel“ (Hengstler 2018, S. 26)				

Beschreibung der Anforderungen nach (Hengstler 2018):

„Resümierend lässt sich für die Wärmedämmverbundsysteme festhalten, dass gemäß der Musterbauordnung (MBO 2016) nur wenige Anforderungen an Außenwandbekleidungen bei Wohngebäuden der Gebäudeklasse 1-3 bestehen. Sie müssen dort mindestens aus normalentflammbaren Baustoffen bestehen. Bei Wohngebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5 müssen Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwerentflammbar sein und dürfen nicht brennend abfallen oder abtropfen (DIN 4102-1:1998; DIN EN 13501-1:2010). Unterkonstruktionen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist, dass wirksame Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr noch möglich sind [...].“

Die [Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2017)] leitet unter Punkt A 2.1.5 hieraus ab, dass bei Wohngebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5 Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Dämmstoffen zusätzlich durch konstruktive Maßnahmen aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandriegel) geschützt werden müssen. Dies gilt vor allem im unteren Bereich der Fassade (Sockel) sowie an Stürzen oberhalb von Öffnungen. Auf letztere kann verzichtet werden, wenn umlaufend horizontal angeordnete konstruktive Maßnahmen vorhanden sind.

Auch nach den Ausführungen der (VdS 3461) und der (DIN 55699:2017) sind bei der Verwendung von [Wärmedämmverbundstoffen] WDVS mit EPS-Dämmstoffen mit einer Dicke > 100 mm als konstruktive Brandschutzmaßnahmen Brandbarrieren/Sturzschutz über jeder einzelnen Gebäudeöffnung (Fenster, Türen) oder alternativ alle zwei Geschosse ein umlaufender Brandriegel vorzusehen. Aussparungen, Querschnittsschwächungen und/oder Durchführungen (z. B. für Leitungen, Regenfallrohre) im Bereich der Brandriegel und Brandbarrieren sind nicht zulässig.

Bei Wohnhochhäusern sind diese konstruktiven Maßnahmen nicht notwendig, hier müssen gemäß der Muster-Hochhaus-Richtlinie (MHHR 2008) Außenwandbekleidungen in Gänze aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

Die Grunderkenntnisse aus Sicht des abwehrenden Brandschutzes zur Einhaltung der Schutzziele sind, dass die Brandausbreitung an der Außenwand vor dem Löschangriff der Feuerwehr eine Ausdehnung von mehr als zwei Geschossen bei einer Hilfsfrist von ca. 10 Minuten nicht überschreiten darf und eine Gefährdung der Einsatzkräfte durch großflächig abstürzende, brennende oder nichtbrennende Fassadenteile bzw. durch brennendes Abtropfen auszuschließen ist. Dies ist durch die im Vorfeld beschriebenen, konstruktive Maßnahmen sicherzustellen. Hier stellt explizit die häufige Brandentstehung vor dem Gebäude durch bewegliche Brandlasten wie z.B. Müllcontainer oder Fahrzeuge ein Problem dar. Hier sollten präventiv konstruktive Maßnahmen im unteren Fassadenbereich getroffen werden.

Beim WDVS wird die Dämmschicht durch die darüberliegenden Schichten, wie dem Putz, geschützt. Beschädigte oder noch nicht fertig gestellte Systeme sind deshalb sehr anfällig für Brandeinwirkung von außen. Beschädigungen am WDVS müssen zwingend zeitnah repariert werden. Auf Baustellen ist brennbares Material mit ausreichend Abstand zur Fassade zu lagern. Im Merkblatt des DIBts (Merkblatt WDVS 2015) wird ebenfalls nochmals auf die Instandhaltung der Fassade, die Vermeidung von Brandlasten an der Außenfassade sowie auf den Brandschutz während der Bauphase eingegangen.

Der Anhang 6 der [Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2017)] bezieht sich grundsätzlich nur auf hinterlüftete Außenwandbekleidungen, zu denen die Wärmedämmverbundsysteme im Normalfall nicht gehören, da sie ohne Hinterlüftung direkt auf die Wand aufgebracht werden. Jedoch werden hier geschossübergreifende Hohl- oder Lufträume behandelt und Maßnahmen gegen eine Brandausbreitung beschrieben.“

Tabelle 5 – Zusammenfassung der Anforderungen an Fassaden (BK = Bauklasse); (Hengstler 2018)

	Wohnhäuser der Gebäude- klasse I	Wohnhäuser der Gebäude- klasse II	Wohnhäuser der Gebäude- klasse III	Wohnhäuser der Gebäude- klasse IV	Wohnhäuser der Gebäude- klasse V	Wohnhoch- häuser (MHHR)
Anforderungen an die Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwand- bekleidungen	normal entflammbar	normal entflammbar	normal entflammbar, nicht brennend abtropfend (BK. B2 nach (DIN 4102- 1:1998) bzw. D-d0 nach (DIN EN 13501- 1:2010)).	schwer entflammbar, nicht brennend abtropfend (BK. B1 nach (DIN 4102- 1:1998) bzw. A2-d0, B-d0 od. C-d0 nach (DIN EN 13501- 1:2010)).	schwer entflammbar, nicht brennend abtropfend (BK. B1 nach (DIN 4102- 1:1998) bzw. A2-d0, B-d0 od. C-d0 nach (DIN EN 13501- 1:2010)).	nichtbrennbar (BK. A nach (DIN 4102- 1:1998) bzw. A1 oder A2- d0 nach (DIN EN 13501- 1:2010)).
Anforderungen an WDVS mit EPS- Dämmstoffen	normal entflammbar	normal entflammbar	normal entflammbar	konstruktive Maßnahmen aus nichtbrennbaren Baustoffen (MVV TB 2017; VdS 3461; DIN 55699:2017) [...].	konstruktive Maßnahmen aus nichtbrennbaren Baustoffen (MVV TB 2017; VdS 3461; DIN 55699:2017) [...].	EPS- Dämmstoff nicht zulässig

3 Heizung

Im Folgenden werden zentrale Rahmenparameter für die Auslegung und Effizienz von Heizungssystemen dargestellt. Dabei wird zwischen der Wärmebereitstellung, -verteilung und -übergabe unterschieden. Nach (Schramek 2011) sind Warmwasserheizungen, die als Pumpenwarmwasserheizung im Zweirohrsystem ausgeführt sind, in Deutschland am weitesten verbreitet, weshalb die folgenden Ausführungen sich in erster Linie hierauf beziehen. Es wird in (Schramek 2011) allerdings auch darauf hingewiesen, dass insbesondere in (älteren) Bestandsgebäuden auch noch Schwerkraftheizungen, offene Heizungen und Einrohrheizungen vorzufinden sind.

3.1 Wärmebereitstellung

3.1.1 Vorgaben aus Normen und Gesetzen

Effizienz

Die Anforderungen für das Inverkehrbringen von Heizkesseln sind in Deutschland in der „Verordnung über das Inverkehrbringen von Heizkesseln und Geräten nach dem Bauproduktengesetz (Artikel 1 der Verordnung zur Umsetzung der Heizkesselwirkungsgradrichtlinie) (BauPGHeizkesselV 1998)“ definiert. Diese gilt für Kessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden, sofern diese nicht stark von den marktüblichen Brennstoffen abweichen (z.B. nicht für Biogas- oder Industriegaskessel). Darüber hinaus gilt sie nur für Kessel mit einer thermischen Leistung zwischen 4 und 400 kW und nicht für Einzelraumlösungen. Zentraler Bestandteil der Verordnung ist die Pflicht der CE-Kennzeichnung für Geräte, die in den Markt eingeführt werden, sowie die Definition der Mindestanforderungen an den Wirkungsgrad, die in Anhang 1 der Verordnung festgeschrieben und in Tabelle 6 aufgelistet sind. Grundlage für die BauPGHeizkesselV ist die Richtlinie 92/42/EWG (Richtlinie 92/42/EWG), die zuletzt durch die Richtlinie 2008/28/EG (Richtlinie 2008/28/EG) geändert wurde.

Tabelle 6 – Wirkungsgradanforderungen von mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickte Heizkessel nach (BauPGHeizkesselV 1998) und (Richtlinie 92/42/EWG); Angaben bezogen auf den unteren Heizwert

Heizkesseltyp	Nennleistung P_n in kW	Wirkungsgrad bei Nennleistung		Wirkungsgrad bei Teillast	
		Mittlere Kesseltemperatur [°C]	Wirkungsgradanforderung [%]	Mittlere Kesseltemperatur [°C]	Wirkungsgradanforderung [%]
Standardheizkessel	4 – 400	70	$\geq 84 + 2 \log P_n$	≥ 50	$\geq 80 + 3 \log P_n$
Niedertemperaturkessel (*)	4 – 400	70	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$	40	$\geq 87,5 + 1,5 \log P_n$
Brennwertkessel	4 – 400	70	$\geq 91 + 1 \log P_n$	30(**)	$\geq 97 + 1 \log P_n$

(*) Inkl. Brennwertkessel für flüssige Brennstoffe

(**) Rücklauftemperatur/ Kesseleintrittstemperatur

In der Verordnung (EU) Nr. 813/2013 (Verordnung 813/2013/EU) sind im Anhang II die aktuell gültigen Anforderungen an Raumheizungs-Energieeffizienz der Ökodesign-Richtlinie für die Zeiträume seit dem 26.09.2015, ab dem 26.09.2017 und ab dem 26.09.2018 angegeben. Die seit dem 26.09.2015

geltenden Werte sind in Tabelle 7 aufgelistet. Anforderungen sind darüber hinaus für elektrische Raum- und Kombiheizgeräte definiert. Diese sind in den folgenden Tabellen nicht aufgeführt, da diese Geräte im Rahmen des Projekts nicht relevant sind. Die Ökodesign-Richtlinie ist für die Zukunft so ausgelegt, dass insbesondere in Neubauten ausschließlich Heizgeräte mit Brennwertnutzung zum Einsatz kommen können. Allerdings erlaubt sie insbesondere in bestehenden Gebäuden auch weiterhin den Einbau neuer „Heizwertgeräte“ v.a. im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen (Austausch von Altgeräten). Hintergrund ist u.a., dass bei einer Umstellung von Heiz- auf Brennwertgeräte weitere Anpassungsmaßnahmen z.B. an Kaminen erfolgen müssen, was mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Auch können Heiz- und Brennwertgeräte nicht an den gleichen Kamin angeschlossen werden, was im Falle von Etagen- oder Wohnungsheizgeräten die Umrüstung einzelner Geräte auf Brennwerttechnik erschwert, wenn am gleichen Kamin noch Heizwertgeräte angeschlossen sind (vgl. (Skorski)).

Tabelle 7 – Anforderungen an die seit dem 26.09.2015 gültigen jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz nach der Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission (Verordnung 813/2013/EU); Gesamtenergiezufuhr für die Berechnung des Wirkungsgrades als Brennwert und/oder Endenergie multipliziert mit dem Umwandlungskoeffizienten angegeben

Heizkesseltyp	Nennleistung P_n in kW	Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz [%]		
		Allgemein	Bei 100% der Nennleistung	Bei 30% der Nennleistung
Raum- und Kombiheizgeräte mit Brennstoffheizkessel (*)	≤ 70	≥ 86		
Heizkessel des Typs B1 (**)	≤ 10	≥ 75		
Kombiheizkessel des Typs B1 (**)	≤ 30	≥ 75		
Raum- und Kombiheizgeräte mit Brennstoffheizkessel	> 70 und ≤ 400		≥ 86	≥ 94
Raumheizgeräte mit KWK		≥ 86		
Raum- und Kombiheizgeräte mit Wärmepumpe (außer Niedertemperatur (NT)-Wärmepumpe)		≥ 100		
Niedertemperatur-Wärmepumpen		≥ 115		

(*) Ausnahmen: Heizkessel des Typs B1 mit $P_n \leq 10$ kW und Kombiheizkessel des Typs B1 mit $P_n \leq 30$ kW

(**) Typ B1: Heizgerät mit Brennstoffheizkessel, das mit Strömungssicherung zum Anschluss an eine Abgasanlage mit Naturzug ausgestattet ist. Die Abgasanlage befördert die Verbrennungsabgase aus dem Aufstellraum des Heizgeräts hinaus. Die Verbrennungsluft wird aus dem Aufstellraum angesaugt. (Verordnung 813/2013/EU), Anhang I Nr. 9 und Nr. 10

Ab dem 26.09.2017 gelten für Raumheizgeräte mit Kraft-Wärmekopplung, Raum- und Kombiheizgeräte mit Wärmepumpen (außer NT-Wärmepumpen) und NT-Wärmepumpen die in Tabelle 8 angegebenen, höheren Effizienzanforderungen.

Tabelle 8 – Anforderungen an die ab dem 26.09.2017 gültigen jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz nach der Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission (Verordnung 813/2013/EU); Gesamtenergiezufuhr für die Berechnung des Wirkungsgrades als Brennwert und/oder Endenergie multipliziert mit dem Umwandlungskoeffizienten angegeben

Heizkesseltyp	Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz [%]
Raumheizgeräte mit KWK	≥100
Raum- und Kombiheizgeräte mit Wärmepumpe (außer Niedertemperatur (NT)-Wärmepumpe)	≥110
Niedertemperatur-Wärmepumpen	≥125

Für die Effizienz der Warmwasserbereitung in Kombiheizgeräten gelten die in Tabelle 9 angegebenen Werte der Verordnung (EU) Nr. 813/2013 (Verordnung 813/2013/EU). Die Effizienz der Warmwasserbereitung in Warmwasserbereitern ist in Tabelle 12 angegeben.

Tabelle 9 – Anforderungen an die Warmwasserbereitungs-Energieeffizienz von Kombiheizgeräten seit dem 26.09.2015 und ab dem 26.09.2017 nach (Verordnung 813/2013/EU), Anhang II Nr. 2; Gesamtenergiezufuhr für die Berechnung des Wirkungsgrades als Brennwert und/oder Endenergie multipliziert mit dem Umwandlungskoeffizienten angegeben

Angegebenes Lastprofil	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Bezugsenergie Q_{ref}^1 [kWh]	0,345	2,100	2,100	2,100	5,845	11,66	19,07	24,53	46,76	93,52
η Seit 26.09.2015	22%	23%	26%	30%	30%	30%	30%	32%	32%	32%
η Ab 26.09.2017	32%	32%	32%	32%	36%	37%	37%	60%	64%	64%

Heizstäbe

Heizstäbe kommen insbesondere als Zusatzheizung in Wärmepumpensystemen zum Einsatz, können aber prinzipiell auch in Wärmespeicher integriert werden um z.B. in Zeiten einer hohen erneuerbaren Stromerzeugung überschüssigen Strom, der anderweitig nicht genutzt werden könnte und sonst abgeregelt würde, für die Wärmebereitstellung zu nutzen. In Wärmepumpensystemen werden Heizstäbe insbesondere bei sehr niedrigen Außentemperaturen oder für Abtauvorgänge zugeschaltet. Sie sollen nach (DIN EN 15450:2007-12) nicht mehr als 5 % der bereitgestellten Energie ausmachen.

Emissionen

Neben den Effizienzanforderungen gelten seit dem 26.09.2018 verschärfte Anforderungen an den Ausstoß von Stickoxiden ((Verordnung 813/2013/EU), Anhang II, Nr. 4 a). Diese sind in Tabelle 10 aufgelistet.

¹ „Bezeichnet die Summe des nutzbaren Energiegehalts von Wasserentnahmen in kWh für ein bestimmtes Lastprofil“ Quelle: Europäische Kommission

Tabelle 10 – Anforderungen an den Ausstoß von Stickoxiden verschiedener Heizgeräte nach (Verordnung 813/2013/EU), Anhang II, Nr. 4 a

Heizgerätetyp	Maximaler Stickstoffdioxid-Ausstoß pro kWh Brennstoffeinsatz als Brennwert [mg/kWh]	
	Gasförmige Brennstoffe	Flüssige Brennstoffe
Raum- und Kombiheizgeräte mit Brennstoffheizkessel	56	120
Raumheizgeräte mit Kraft-Wärme-Kopplung und äußerer Verbrennung	70	120
Raumheizgeräte mit Kraft-Wärme-Kopplung und Verbrennungsmotor mit innerer Verbrennung	240	420
Raumheizgeräte und Kombiheizgeräte mit Wärmepumpe und äußerer Verbrennung	70	120
Raumheizgeräte und Kombiheizgeräte mit Wärmepumpe und Verbrennungsmotor mit innerer Verbrennung	240	420

Maximalwerte für den Lärmpegel sind in der Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission ebenfalls festgeschrieben. Diese sind insbesondere für Wärmepumpen relevant. Diese Anforderungen werden in Kapitel 7.3 beschrieben.

Regelung / Steuerung

Wie schon in der Energieeinsparverordnung ((EnEV 2014), §14, Abs. (1)) definiert das Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) in §§61 f. Minimalanforderungen an die Regelung / Steuerung von Zentralheizungen. Danach müssen diese über zentrale, selbsttätig wirkende Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmeerzeugung aufweisen. Darüber hinaus müssen elektrische Antriebe zentral und selbsttätig wirkend ein- und ausgeschaltet werden können, wobei die Ein- und Ausschaltung in Abhängigkeit der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße (nicht genauer definiert) erfolgt. Eine stufenlose Regelbarkeit ist nicht gefordert. Ausgenommen von den Anforderungen sind Anschlüsse an Nah- oder Fernwärmenetze, sofern diese zentral über entsprechende Steuerungseinrichtungen verfügen.

Die Regelung des Wärmeerzeugers kann durch witterungsgeführte oder raumtemperaturabhängige Regeleinrichtungen erfolgen. Bei der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung wird die Vorlauftemperatur (bzw. die Betriebstemperatur bei voll gleitend betriebenen Wärmeerzeugern) in Abhängigkeit von der Außentemperatur (zumeist mit Erfassung von Windeinfluss) geregelt. Die raumtemperaturabhängige Regelung erfolgt durch einen Zweipunktregler, der in einem geeigneten Testraum angeordnet ist. Diese Regeleinrichtungen können um zusätzliche Regelfunktionen erweitert werden wie beispielsweise die Warmwasser-Vorrangschaltung, bei der der Heizbetrieb für die Nachladung eines Speicher-Wassererwärmers oder Durchlauf-Wassererwärmers unterbrochen wird. (Albers 2018)

3.1.2 Weitere Vorgaben und Anforderungen

Niedrig-Exergie-Systeme:

Da Gebäude für die Konditionierung nur einen niedrigen Exergiebedarf aufweisen, sollten sie nach Möglichkeit nicht mit hochwertigen / hochexergetischen Energieträgern versorgt werden. Darauf muss das gesamte Heizungssystem ausgelegt sein – von der Wärmebereitstellung bis zur Übergabe an den Raum. In Wohngebäuden wird i.d.R. eine Raumtemperatur von 20 °C angestrebt / gefordert (in einigen Bereichen, z.B. Bädern, auch etwas höhere Temperaturen, in Schlafzimmern und Küchen hingegen

etwas niedriger). Die durch das Heizungssystem bereitgestellte Wärme kann daher auf einem niedrigen Temperaturniveau sein, was auch für die (Raum-) Wärmebereitstellung bedeutet, dass diese auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau erfolgt. LowEx-Systeme eignen sich gut um erneuerbare Energien und insbesondere Umweltenergie für die Heizung zu nutzen. Um Umweltenergien möglichst effizient und umfassend zu nutzen ist die Einbindung eines thermischen Speichers essentiell, insbesondere um zeitliche Diskrepanzen zwischen Energiedargebot und –nachfrage (z.B. bei der Nutzung von Sonnenenergie, oder Luftwärmepumpen) zu überbrücken. Die Effizienz der Bereitstellung und die Einbindung von erneuerbaren Energien (EE) kann durch eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur im Heizkreis gesteigert/ verbessert werden.

Pufferspeicher:

Je nach Brennstoff und Brenner(bauart) muss ein Pufferspeicher in das Heizungssystem eingebunden werden. Nach (Albers 2018) kann auf diesen bei schnell regelbaren Kesseln (z.B. Öl- oder Gaskessel) verzichtet werden. Bei Festbrennstoffkesseln (z.B. Scheitholz, Koks, Briketts) ist die Regelbarkeit begrenzt und der Wärmeinhalt des im Brennraum befindlichen Brennstoffs oft nicht hinreichend genau bekannt, bzw. bei großen Anlagen auch oft größer als die momentane Abnahme, weshalb bei diesen Anlagen ein Pufferspeicher erforderlich ist. Nur bei kleinen Festbrennstoffkesseln kann teilweise auf einen Pufferspeicher verzichtet werden, wenn diese etwas besser regelbar sind und der Wärmeinhalt des im Brennraum befindlichen Brennstoffs nicht zu groß ist. Nach (Albers 2018) sollte die Kapazität des Pufferspeichers dem Heizwert des Brennstoffs in der Brennkammer entsprechen. Dabei muss auch der feuerungstechnische Wirkungsgrad berücksichtigt werden. Pufferspeicher müssen auch bei solarthermischen Anlagen in das Gesamtsystem integriert werden.

Wärmepumpen:

Wärmepumpen benötigen eine Mindestbetriebszeit. Um diese zu gewährleisten (möglichst wenige Schaltzyklen der Kompressoren) ist ein System mit einem ausreichend großen Wasservolumen oder einer Mindestabnahmeleistung sekundärseitig, oder ein in das System integrierter Pufferspeicher notwendig. Kein Pufferspeicher wird benötigt, wenn die Kompressoren regelbar sind, also direkt auf die Wärmenachfrage reagieren können. I.d.R. wird dies über Frequenzumformer (Inverter-Technik) oder impulsgesteuerte Kompressoren (Digital-Scroll-Verdichter) realisiert (vgl. (Schramek 2011)).

Wärmepumpen – und hier insbesondere Sole-Wärmepumpen – in Einfamilienhäusern mit Fußbodenheizungen haben heute meist keinen Pufferspeicher. Im Rahmen mehrerer Monitoring-Projekte des Fraunhofer ISE hatten insbesondere installierte und untersuchte Erdreich-Wärmepumpen oftmals keinen Pufferspeicher (55%), wohingegen nur 14% der Luft-Wärmepumpen keinen Pufferspeicher haben (vgl. (Günther et al. 2013)). Die verschiedenen Speicherkonzepte von Erdreich- und Luft-Wärmepumpen sind in Abbildung 1 abgebildet.

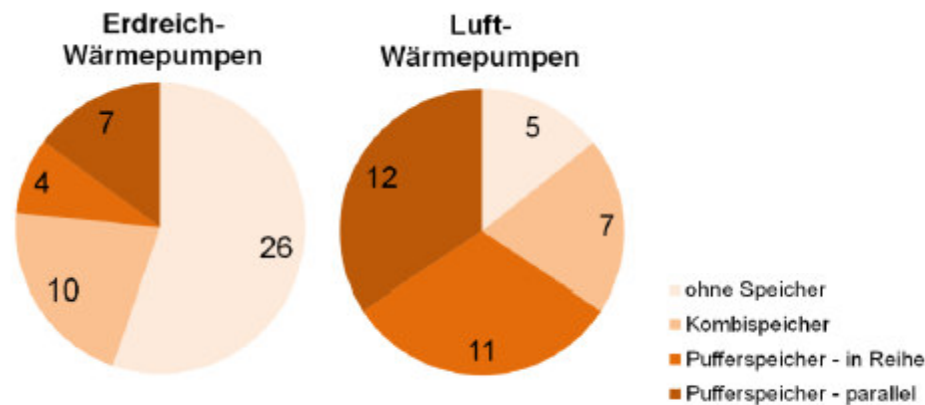


Abbildung 1 – Anteil verschiedener Speicherkonzepte an den untersuchten Erdreich- und Luft-Wärmepumpen. Quelle (Günther et al. 2013)

Pufferspeicher bei WP werden entweder parallel oder in Reihe eingebunden. Bei den in (Günther et al. 2013) untersuchten Erdreich- und Luft-WP sind parallel eingebundene Pufferspeicher am häufigsten vorzufinden. Bei der Reiheneinbindung kann der Pufferspeicher entweder in den Vor- oder Rücklauf eingebunden werden. Wie der Pufferspeicher eingebunden wird hängt von der im Einzelfall zu erbringenden Aufgabe des Speichers ab.

Solarthermische Anlagen:

Werden solarthermische Kollektoren zur Wärmebereitstellung (Trinkwarmwasser und/oder Heizungsunterstützung) installiert sind verschiedene Anforderungen an die Installation zu beachten. Die Kollektoren können entweder in das Dach integriert oder in einem Abstand von ca. 6 bis 8 cm über der Eindeckung installiert werden. Auf Flachdächern werden die Kollektoren meist aufgeständert um eine möglichst optimale Orientierung zur Sonne zu gewährleisten, was die Installation allerdings verteuert und die nutzbare Dachfläche aufgrund von Verschattungen reduziert (max. ca. 60 %). Darüber hinaus steigen durch Aufständigung die Anforderungen an die Statik wegen der höheren Windlasten. Die Anforderungen an die Statik und die Tragfähigkeit des Daches und des Gebäudes müssen im Einzelfall geprüft werden. Bei einer Aufständigung ist der optimale Neigungswinkel der Kollektoren bei Südausrichtung in Deutschland ca. 40° (bei Winkeln zwischen 20° und 60° reduziert sich die jährliche Einstrahlung jedoch nur geringfügig um ca. 5 %; vgl. (Schramek 2011)).

Wenn keine Wärmeabnahme vorhanden ist muss die Regelung der solarthermischen Anlage gewährleisten, dass die Stillstandstemperatur, also die Temperatur des Wärmeträgers im Kollektor, nicht zu hoch wird. Bei Flachkollektoren sollte die Temperatur 160 – 200 °C, bei Vakuumröhren 200 – 300 °C nicht übersteigen (vgl. (Schramek 2011)). Vakuumröhrenkollektoren mit Heat Pipes bieten den Vorteil, dass ihre Stillstandstemperatur maximal 130 – 150 °C beträgt, da dann der komplette Absorberinhalt verdampft ist und sich im Wärmetauscher befindet (s. (Schramek 2011)). Darüber hinaus muss darauf geachtet werden, dass die Isolierung auf der Kollektorrückseite hitzebeständig ist.

Speisen solarthermische Kollektoren in Nahwärmenetze, bzw. Mikro-Netze zur Versorgung mehrerer Gebäude ein, sollten die Netze auf eine Vorlauftemperatur von 55 – 65 °C und eine Rücklauftemperatur von 30 °C ausgelegt werden. Die hohe Temperaturspreizung reduziert den Pumpenstrom der Verteilung, eine gleitende Vorlauftemperaturregelung die Verteilverluste und insgesamt wird die Effizienz der Kollektoren erhöht (vgl. (Oliva und Köhler 2017)).

Aufstell- und Heizräume:

Um eine ausreichende Versorgung mit Verbrennungsluft von Feuerstätten zu gewährleisten muss bei einer Nennleistung von bis zu 35 kW_{th} eines der folgenden Kriterien erfüllt sein (Albers 2018; MFeuV 2007):

- Eine Öffnung ins freie mit einem lichten Querschnitt von min. 150 cm²
- Zwei Öffnungen ins freie mit einem lichten Querschnitt von je min. 75 cm²
- Leitungen ins Freie mit strömungstechnisch gleichwertigen Querschnitten
- Min. eine öffnbare Türe oder ein öffnbares Fenster ins Freie und ein Raumvolumen von min. 4 m³/kW
- Im Falle eines „Verbrennungsluftverbundes“ (mehrere Räume einer Nutzungseinheit mit Verbindung zur Außenluft, z.B. Wohnung): der Gesamtrauminhalt aller Räume mit Verbindung zur Außenluft muss min. 4 m³/kW betragen und zwischen den Räumen müssen Öffnungen von min. 150 cm² Fläche vorhanden sein.

Die genannten Anforderungen gelten insbesondere für einen raumluftabhängigen Betrieb. Bei einem raumluftunabhängigen Betrieb kann i.d.R. auf die entsprechenden Maßnahmen verzichtet werden, bzw. gelten die Anforderungen an das Raumvolumen und Öffnungen für die Gewährleistung der Frischluftzufuhr von außen nicht. Bei einer Leistung zwischen 35 und 50 kW_{th} muss eines der ersten drei in der obigen Auflistung angegebenen Kriterien erfüllt sein. Bei Leistungen über 50 kW_{th} muss der lichte Querschnitt 150 cm² für die ersten 50 kW_{th} betragen und für jedes weitere kW jeweils 2 cm² (bzw. Leitungen mit strömungstechnisch äquivalenten Querschnitten müssen vorhanden sein). Bei einer Leistung von min. 100 kW_{th} benötigen die Feuerstätten Aufstellräume, die nicht anderweitig genutzt werden (Wärmeerzeugung und ggf. zugehörige Installationen zur Lagerung von Brennstoffen), die nur durch Türen, die dicht- und selbstschließend sind, mit anderen Räumen verbunden sind (keine weiteren Öffnungen) und die gelüftet werden können.

Neben den Anforderungen an den Aufstellraum ist auch darauf zu achten, dass Wärmeerzeuger und Abgasanlage (insbesondere der Schornstein) aufeinander abgestimmt sind. Alte, bestehende Schornsteine sind i.d.R. nicht für die Abführung der Abgase moderner Heizgeräte wie Niedertemperatur- und Brennwertkessel geeignet (s. (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH) 2013)). In vielen Fällen ist der Querschnitt vorhandener Schornsteine für die Anforderungen modernerer Heizgeräte mit niedrigeren Abgastemperaturen und ggf. geringeren Abgasvolumenströmen zu groß. Ob Anpassungsmaßnahmen an bestehenden Schornsteinen beim Austausch des Wärmeerzeugers nötig werden ist im Einzelfall zu prüfen (es sei darauf hingewiesen, dass die im jeweiligen Bundesland gültigen Bestimmungen zu beachten sind). Mögliche Anpassungsmaßnahmen sind Nebenluftvorrichtungen oder querschnittsmindernde Maßnahmen, wie z.B. der Einsatz feuchteunempfindlicher, wärmegeprägter Einsatzrohre (z.B. aus „Edelstahl“) in den vorhandenen Schornstein (vgl. (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH) 2013)). Die Wärmedämmung ist nötig um Kondenswasserbildung im Einsatzrohr zu unterbinden.

3.2 Wärmeverteilung

3.2.1 Vorgaben aus Normen und Gesetzen

Bei der Wärmeverteilung sind insbesondere die Wärmeverluste und damit die Dämmung der Wärmeleitungen (Heizung und Warmwasser), sowie die Effizienz der benötigten Pumpen relevant.

Dämmung der Versorgungsleitungen:

Die Dämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen ist insbesondere bei außerhalb der thermischen Hülle, bzw. außerhalb von beheizten Räumen verlaufenden Leitungen relevant. Verlaufen

sie innerhalb dieser stellen die Wärmeverluste der Leitungen Wärmegewinne für die konditionierten Räume dar. Nach §71, Abs. (1) des derzeit gültigen Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) müssen bisher ungedämmte Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, sowie Armaturen in Bestandsgebäuden nachträglich gedämmt werden, wenn diese zugänglich sind und nicht in beheizten Räumen liegen. Die Anforderungen entsprechen den in Tabelle 11 aufgeführten Werten, die auch für Leitungen und Armaturen bei erstmaligem Einbau gelten.

Tabelle 11 – Mindestdicke der Wärmedämmung von Wärme-/ Kälteverteilungs- und Warm-/ Kaltwasserleitungen und Armaturen nach Gebäudeenergiegesetz, Anlage 8 (GEG 2020)

Nr	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht (bezogen auf Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser >22 mm und ≤35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser >35 mm und ≤100 mm	Wie Innendurchmesser
4	Innendurchmesser >100	100 mm
5	Oben aufgeführte Leitungen und Armaturen in Wand und Deckenbrüchen, im Leitungskreuzungsbereich, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	50 % der jeweils oben angegebenen Dämmdicke (je nach Innendurchmesser)
6	Oben aufgeführte Leitungen zur Wärmeverteilung, die nach dem 31.01.2002 in Bauteilen zw. Beheizten Räumen unterschiedlicher Nutzer verlegt werden	50 % der jeweils oben angegebenen Dämmdicke (je nach Innendurchmesser)
7	Oben aufgeführte Leitungen zur Wärmeverteilung im Fußboden, die nach dem 31.01.2002 in Bauteilen zw. Beheizten Räumen unterschiedlicher Nutzer verlegt werden	6 mm
8	Leitungen zur Kälte- und Kaltwasserverteilung sowie Armaturen von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen	6 mm

Pumpeneffizienz:

Eine wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Wärmeverteilung in Gebäuden sind effiziente und gut regelbare Pumpen. Nach der derzeit gültigen EnEV müssen die Umwälzpumpen bei Zentralheizungen mit einer thermischen Leistung von mehr als 25 kW mindestens in drei Stufen regelbar sein (vgl. (GEG 2020), §64, Abs. (1)). Dies bedeutet, dass die elektrische Leistungsaufnahme mindestens in drei Stufen an den betriebsbedingten Förderbedarf angepasst werden kann, solange diese Anpassung nicht sicherheitstechnischen Belangen des Heizkessels entgegensteht.

Eine Alternative zu zentralen Heizungspumpen stellen dezentrale Pumpen-Systeme (DZP) dar. Die Pumpen werden direkt an den Heizkörpern (im Rücklauf) installiert und es kann auf Thermostatventile verzichtet werden. Vorteile sind nach (Reiß et al. 2016):

- Bedarfsregelung jedes einzelnen Heizkörpers und die Abschaltung der Pumpen, wenn die Solltemperatur erreicht wurde,
- Bedarfsgeführte Wärmeverteilung und -übergabe im Gebäude,
- Verzicht auf Thermostatventile, Drosselventile und zentrale Heizkreispumpe,
- Verbesserung der Regelgüte,
- Reduzierung der Rohrnetzwidestände,
- Anlage ist in jedem Betriebszustand hydraulisch abgeglichen.

In Summe sind hohe Hilfsenergie- und Nutzwärme-Einsparpotenziale zu erwarten. Nachteile des Systems sind nach (G. Krier 2013) u.a.:

- Systeme können wegen Hydraulik nicht in Einrohrheizungsanlagen eingesetzt werden,
- Heizwasser sollte möglichst frei von Verschmutzungen und Ablagerungen sein damit Pumpen nicht blockieren,
- Noch vergleichsweise hohe Anschaffungskosten.

Die Öko-Designanforderungen an die Effizienz von Nassläufer-Umwälzpumpen (extern oder in Geräte integriert) ist in der (Verordnung (EG) Nr. 641/2009) definiert. Die Effizienz wird in Form des Energieeffizienzindex (EEI) angegeben. Der EEI wird nach einem in der genannten Verordnung definierten Verfahren bestimmt, auf das an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird. Alle betroffenen Umwälzpumpen müssen einen $EEI \leq 0,23$ erreichen. Ausgenommen sind nur integrierte Pumpen, die alte Pumpen in bestehenden Wärmeerzeugern ersetzen sollen. Diese Ausnahme ist bis 01.01.2022 befristet. Der Referenzwert für die effizientesten Pumpen, auf dessen Basis das Energieeffizienzlabel der Pumpen erstellt wird, ist $EEI \leq 0,20$.

3.2.2 Weitere Vorgaben und Anforderungen

Insbesondere in Bestandsgebäuden sind Einrohrheizsysteme immer noch vorzufinden. Dabei sind die Rohre i.d.R. ungedämmt und haben einen relativ großen Durchmesser. Im Falle einer Sanierung und Dämmung der Gebäudehülle kann dies dazu führen, dass die Wärmeabgabe aus diesen Rohren den Wärmebedarf der angrenzenden Räume übersteigt (vgl. (Schramek 2011), S. 680). Um eine Überversorgung zu vermeiden sollten derartige Systeme entweder auf Zweirohrsysteme umgebaut oder die Rohre nachträglich gedämmt werden (Schramek 2011).

Die Wärmeverluste und -abgabe der Heizsysteme können darüber hinaus durch ein Absenken der Vorlauftemperaturen gesenkt werden. Werden Bestandsgebäude nachträglich gedämmt reichen die vorhandenen Übergabesysteme (Radiatoren etc.) trotz ihrer vergleichsweise kleinen Oberflächen oftmals aus um die benötigte Wärme an den Raum zu liefern; ein Einbau von Flächenheizsystemen bei einer Absenkung der Vorlauftemperatur ist oftmals nicht nötig.

Generell sollte darauf geachtet werden, dass der Einsatz hochexergetischer Energie (also insbesondere Strom) minimiert wird. Eine Möglichkeit ist die Reduktion sowohl der Vor- und Rücklauftemperaturen als auch der Volumenströme auf das Nötigste. Dies ermöglicht zum einen die effiziente Einbindung von erneuerbaren Energien und Umweltenergie (Reduktion der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und -senke), zum anderen wird insbesondere durch geringe Volumenströme in der Heizungsverteilung der Hilfsenergiebedarf der Pumpen reduziert. Typische Vorlauftemperaturen in Heizungssystemen mit Flächenheizungen sind ca. 30 bis 35 °C (teilweise sogar noch niedriger), in Niedertemperatursystemen ca. 55 °C.

3.3 Wärmeübergabe

Um die Effizienz des gesamten Heizungssystems zu erhöhen und die Einbindung erneuerbarer Energien zu erleichtern ist es wichtig, dass die Wärmeverteilung und -übergabe an den Raum möglichst niedrig, also nah an den geforderten Raumtemperaturen ist. Insbesondere Flächenheizungen ermöglichen die Bereitstellung der benötigten Heizleistung im Raum bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen, da die wärmeübertragende Fläche wesentlich größer als z.B. bei Konvektoren ist. Im Folgenden werden daher insbesondere Wärmeübergabesysteme betrachtet, die eine Absenkung der Vor- und Rücklauftemperaturen im Heizsystem erlauben/ erleichtern. Auch werden Möglichkeiten und Einschränkungen der Temperaturabsenkung bei vorhandenen Wärmeübergabesystemen (insbesondere Konvektoren) betrachtet.

Nach (Techem Energy Services GmbH 2017) sind allerdings im Bestand Heizflächen für den stationären Betrieb und schnelle Aufheizvorgänge oft überdimensioniert. Dieser Effekt wird bei einer Hüllsanierung noch verstärkt (Reduktion der flächenspezifischen Heizlast). Demnach bietet die reale Heizflächendimensionierung Potenziale für den Betrieb mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen, wodurch LowEx-Technologien oft auch ohne (teure) Umbauten (z.B. nachträglicher Einbau einer

Fußbodenheizung) in Bestandsgebäuden eingesetzt werden können; nach (Techem Energy Services GmbH 2017) reichen die Dimensionierungsreserven oftmals für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen aus.

3.3.1 Vorgaben aus Normen und Gesetzen

Die Wärmeübergabe an den Raum erfolgt insbesondere in älteren Gebäuden meist über Radiatoren, bzw. Konvektoren. In neueren Gebäuden, aber auch zunehmend bei Sanierungen gewinnen Flächenheizsysteme an Bedeutung. Flächenheizsysteme in Wohngebäuden können in Wand- und Fußbodenheizungen unterteilt werden, Deckenheizungen spielen bisher in Wohngebäuden quasi keine Rolle (durch geringe Raumhöhe wären die warmen Oberflächen zu nahe an den Köpfen der Nutzer, was den Komfort erheblich beeinträchtigt; einige Hersteller arbeiten allerdings an technischen Lösungen). Bei beiden gelten – je nach Bereich – maximale Oberflächentemperaturen, um einen guten thermischen Komfort zu gewährleisten (Vermeidung Strahlungsasymmetrie, zu warme Füße, ...; s. Kapitel 7).

Detaillierte Informationen zur Ermittlung der Leistungsdichte, dem Konvektions- und Strahlungsverhältnis, der Auslegung von Wärmeübergabesystemen und weiteren relevanten Parametern sind im Meilensteinbericht zu AP 2.2 (Wärmeübergabesysteme und Raumkomfort) zu finden.

Flächenheizungen

Für Fußbodenheizungen gilt, dass die Oberflächentemperaturen im Aufenthaltsbereich auf eine maximale Oberflächentemperatur von 29 °C begrenzt sein muss, in Bädern sind bis zu 33 °C und in Randbereichen, insbesondere zur Erwärmung abfallender Kaltluft an Fenstern, sind bis zu 35 °C erlaubt (DIN EN 1264-2:2013-03); die optimale Oberflächentemperatur in Wohnbereichen beträgt 23 – 24 °C. Tendenziell werden die Oberflächentemperaturen heute weiter abgesenkt. Basis für die Berechnung der optimalen Oberflächentemperatur zur Gewährleistung der Solltemperaturen im Innenraum ist Gleichung (3.1) (DIN EN 1264-2:2013-03):

$$\dot{q} = 8,92 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K^{1,1}} \cdot (\theta_{F,m} - \theta_i)^{1,1} \quad (3.1)$$

Dabei ist $\dot{q}$ die Wärmestromdichte in W/m², θ_i die Norm-Innentemperatur in °C und $\theta_{F,m}$ die mittlere Oberflächentemperatur in °C. Nach dieser Gleichung ergibt sich für eine maximale Oberflächentemperatur von 29 °C und einer Rauminnentemperatur von 20 °C eine maximale Wärmestromdichte von 100 W/m² und bei einer spezifischen maximalen Heizleistung in heutigen Gebäuden von ca. 35 W/m² eine maximale Oberflächentemperatur von ca. 23,5 °C.

(Gebläse-) Konvektoren

Konvektoren geben den überwiegenden Teil ihrer Wärme als Konvektionswärme ab und der Strahlungsanteil an der Wärmeabgabe ist gering. Unterschieden werden Konvektoren mit natürlicher Luftumwälzung (statische Konvektoren) und Konvektoren mit einer erzwungenen Luftumwälzung (Gebläsekonvektoren). (Albers 2018)

Bei Gebläsekonvektoren wird Wärme mit Hilfe eines Gebläses im Raum verteilt (erzwungene Konvektion). Dadurch werden im Vergleich zu herkömmlichen Konvektoren geringere Vorlauftemperaturen möglich, wodurch die Einbindung von erneuerbarer Wärme (insbesondere Wärmepumpen und Solarthermie) erleichtert wird. Gebläsekonvektoren stellen insbesondere bei Sanierungen eine Alternative zu Flächenheizungen dar, deren nachträglicher Einbau oftmals nur mit großem Aufwand möglich ist. (Albers 2018)

Temperaturregelung

Im Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020), §63 ist eine Einzelraumregelung vorgeschrieben. Diese wird allgemein mit thermostatischen Heizkörperventilen realisiert und wird auch bei Fußbodenheizungen gefordert. Ausgenommen sind hiervon nur Räume mit weniger als 6 m² Grundfläche, die durch eine Fußbodenheizung konditioniert werden. Vorgaben an die Güte der Temperaturregelung enthält das GEG hingegen nicht.

3.3.2 Weitere Vorgaben und Anforderungen

Niedrig-Exergie-Systeme:

In Wohngebäuden wird i.d.R. eine Raumtemperatur von 20 °C angestrebt / gefordert (in einigen Bereichen, z.B. Bädern, auch etwas höhere Temperaturen). Die durch das Heizungssystem bereitgestellte Wärme kann daher auf einem niedrigen Temperaturniveau sein. Typische Vorlauftemperaturen für Flächenheizungen sind ca. 30 bis 35°C (teilweise niedriger), in Niedertemperatursystemen ca. 55°C. Niedrige Vorlauftemperaturen in den Wärmeübergabesystemen in den Räumen kann bedeuten, dass die Heizflächen entsprechend größer sein müssen um die benötigte Heizleistung im Raum und damit einen guten thermischen Komfort zu gewährleisten. In vielen Fällen reichen bei einer Sanierung der Gebäudehülle aber die vorhandenen Wärmeübergabesysteme und ihre Flächen aus um die benötigte Wärme an den Raum zu liefern; ein Einbau von Flächenheizsystemen bei einer Absenkung der Vorlauftemperatur ist oftmals nicht nötig.

Reichen die vorhandenen Flächen der Wärmeübergabesysteme nicht aus, ist die Möglichkeit die benötigten Heizflächen in den Räumen zu installieren (Fußboden, Wände, Decken) eine Voraussetzung für den Einsatz eines niedrigexergetischen Heizsystems. Limitierende Faktoren können hier u.a. nicht ausreichende lichte Raumhöhen sein. Die Installation einer Wandheizung ist hiervon unabhängig, kann aber zu einer Reduktion der Wohnfläche führen. Die minimale lichte Raumhöhe in Wohnungen ist in den jeweiligen Landesbauordnungen der Länder festgelegt und reicht von 2,20 bis 2,50 m (Musterbauordnung: 2,40 m). Je nach Ausführung beträgt die Aufbauhöhe beim nachträglichen Einbau von Fußbodenheizungen 20 bis >60 mm, wobei der Oberbelag noch nicht berücksichtigt ist. Die zusätzliche Höhe kann auch zu einem Anpassungsbedarf bei Türen führen. Alternativ kann der bestehende Bodenaufbau zunächst entfernt werden, was mit einem zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand verbunden ist. Alternativ zu Fußbodenheizungen können auch Deckenheizungen eingebaut werden. Allerdings ist hierfür eine größere lichte Raumhöhe erforderlich (min. 2,7 m), da sonst die Wärmeübertragungsfläche zu nah am Kopf der Nutzer ist, was den thermischen Komfort reduziert.

Neben der Installation von Flächenheizungen kann durch einen gezielten Austausch von einzelnen, zu knapp dimensionierten Heizkörpern die Heizkurve deutlich abgesenkt werden. Im Zusammenspiel mit Wärmepumpen kann es so zu einer erheblichen Steigerung von Energieeffizienz und CO₂-Einsparungen führen. (Lämmle et al. 2020)

4 Trinkwarmwasser

4.1 Vorgaben aus Normen, Gesetzen und Richtlinien

Trinkwasseranlagen müssen nach den rechtlichen Vorgaben und dem Stand der Technik geplant, ausgeführt, betrieben und betreut werden. Dazu sind für Planende, Installierende und Betreibende in gesetzlichen Regelungen, DVGW-Arbeitsblättern, DIN-Normen und VDI-Richtlinien bau-, verfahrens- und betriebstechnische Maßnahmen angegeben, um die gesundheitlichen Vorgaben und Komfortbedingungen einhalten zu können. Im Folgenden sind Bestimmungen aufgeführt, die im Kontext der Anforderungen an die Energieeffizienz, das Temperaturniveau und Legionellenprävention bei Trinkwarmwassersystemen stehen. Darüber hinaus ist eine Vielzahl weiterer Anforderungen zu beachten, um zu gewährleisten, dass die Nutzung des Trinkwassers keine Schädigung der menschlichen Gesundheit verursacht¹. Hierzu zählen u.a. Anforderungen an die Konzeption der Anlagen, an Materialien und Bauteile, die Behandlung von Trinkwasser und den Betrieb.

4.1.1 Begriffsdefinitionen

In den Richtlinien (z.B. Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) und (DVGW Arbeitsblatt W 551) werden Anlagen zur Trinkwassererwärmung TWE in zwei Kategorien, Großanlagen und Kleinanlagen, unterteilt. Eine Großanlage ist eine Anlage mit

- Speicher-Trinkwassererwärmer oder zentralem Durchfluss-Trinkwassererwärmer jeweils mit einem Inhalt von mehr als 400 l und/ oder
- einem Wasservolumen von mehr als 3 l in mindestens einer Rohrleitung zwischen Abgang des Trinkwassererwärmers und der Entnahmestelle (nicht berücksichtigt wird der Inhalt der Zirkulationsleitung)

Anlagen mit kleineren Wasservolumen gelten entsprechend als Kleinanlagen².

4.1.2 Energieeinsparung

Für die Effizienz der Warmwasserbereitung in Warmwasserbereitern gelten die in Tabelle 12 angegebenen Grenzwerte nach der Verordnung (EU) Nr. 814/2013³ (Verordnung (EU) Nr. 814/2013). Die Grenzwerte sind abhängig von dem Lastprofil, das in der Vermessung des Warmwasserbereiters angewendet wurde. Die Lastprofile umfassen einen 24-stündigen Messzyklus und sind ebenfalls in der Verordnung definiert. Die Verfahren zur Prüfung Warmwasserbereiter sind nach den einschlägigen Normen und Richtlinien durchzuführen. Nach Amtsblatt 2014/C 207/02 (Europäische Union 2014) ist für die Vermessung von elektrischen Wärmepumpen die EN 16147 (DIN EN 16147:2017-08) und von thermischen Wärmepumpen die EN 13203-2 ((DIN EN 13203-2:2015))⁴ anzuwenden. Die in der Tabelle aufgeführten Werte der Bezugsenergie Q_{ref} geben die Summe des nutzbaren Energiegehalts von den Wasserentnahmen im jeweiligen Lastprofil wieder.

¹ Anforderungen an die Trinkwasserqualität sind in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) §§ 5 bis 7 aufgeführt

² Zudem sind Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern unabhängig von dem Wasservolumen im TWE oder den Rohrleitungen als Kleinanlagen zu betrachten.

³ In dieser Verordnung werden Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung im Hinblick auf das Inverkehrbringen und/oder die Inbetriebnahme von Warmwasserbereitern mit einer Wärmenennleistung ≤ 400 kW und von Warmwasserspeichern mit einem Speichervolumen ≤ 2.000 l festgelegt, einschließlich Geräten in Verbundanlagen aus Warmwasserbereitern und Solareinrichtungen.

⁴ Diese Norm gilt für Geräte, die eine Nennwärmeleistung von 70 kW und eine Speicherkapazität von 300 Liter Wasser nicht überschreiten.

Tabelle 12 – Anforderungen an die Warmwasserbereitungs-Energieeffizienz η_{wh} von Warmwasserbereitern nach der Verordnung (EU) Nr. 814/2013 (Verordnung (EU) Nr. 814/2013), Anhang II Nr. 1;¹

Angegebenes Lastprofil	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Q_{ref} in kWh	0,3	2,1	2,1	2,1	5,8	11,7	19,1	24,5	46,8	93,5
η_{wh} Ab 26.09.2017	32%	32%	32%	32%	36%	37%	37%	37%	37%	38%
η_{wh} Ab 26.09.2018								60%	64%	64%

Zur Berechnung der Warmwasserbereitungs-Energieeffizienz ist für konventionelle Warmwasserbereiter (z.B. Gaskessel) und Wärmepumpenanlagen folgende Formel anzuwenden:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC \cdot Q_{elec}) \cdot (1 - SCF \cdot smart) + Q_{cor}} \quad (4.1)$$

Mit:

CC	-	Umrechnungskoeffizient ² $CC = 2,5$
Q_{elec}, Q_{fuel}	kWh	Brennstoffverbrauch bzw. Stromverbrauch für die Warmwasserbereitung während des angewendeten Messzykluses
$SCF, smart$	-	Faktoren zur Berücksichtigung einer smarten Regelung, welche die Warmwasserbereitung automatisch an individuelle Nutzungsbedingungen anpasst, um den Energieverbrauch zu senken (Details siehe (Verordnung (EU) Nr. 814/2013))
Q_{cor}	kWh	Umgebungstemperatur-Korrekturterm (Details siehe (Verordnung (EU) Nr. 814/2013))

Neben der Bereitstellungseffizienz definiert die Verordnung (EU) Nr. 814/2013 Maximalwerte für die Standverluste/ Warmhalteverluste S von Warmwasserspeichern mit dem Volumen V nach Gleichung (4.2). In Tabelle 13 sind diese geltenden maximalen Warmhalteverluste in W, sowie umgerechnet in kWh/d, für verschiedene Speichervolumina angegeben.

$$S = 16,66 + 8,33 \cdot V^{0,4} W \quad (4.2)$$

¹ Darüber hinaus bestehen Vorgaben für Warmwasserbereiter, die mit einer smarten Regelung betrieben werden.

² Der Wert des Umrechnungskoeffizienten CC entspricht dem in der Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments auf 40 % geschätzten durchschnittlichen Wirkungsgrad der Stromerzeugung in der EU

Tabelle 13 – Maximale Warmhalteverluste S von Warmwasserspeichern (gültig ab dem 26.09.2017) nach Verordnung (EU) Nr. 814/2013 (Verordnung (EU) Nr. 814/2013)

Speichervolumen in l	250	500	750	1.000	1.500	2.000
S in W	98	117	134	149	172	191
S in kWh/d	2,2	2,8	3,2	3,6	4,1	4,6

Nach Amtsblatt 2014/C 207/02 (Europäische Union 2014) ist für die Ermittlung der Warmhalteverluste einer der folgenden Normen anzuwenden: (DIN EN 12897:2016-12) oder (DIN EN 12977-3:2012-06) oder (DIN EN 15332:2008-01). Diese Normen unterscheiden sich in einigen Punkten hinsichtlich der Prüfverfahren und Prüfbedingungen (vgl. (Kliem et al.) Anhang C, (Türk et al. 2016)).

Vorschriften für die Energieeffizienzkenzeichnung von Warmwasserbereitern mit einer Wärmenennleistung von höchstens 70 kW, Warmwasserspeichern mit einem Speichervolumen von höchstens 500 Litern und Verbundanlagen aus Warmwasserbereitern mit einer Wärmenennleistung von höchstens 70 kW und Solareinrichtungen sind in der Verordnung (EU) 812/2013 (Verordnung (EU) Nr. 812/2013) formuliert.

Die Verordnung (EG) Nr. 641/2009 (Verordnung (EG) Nr. 641/2009) definiert Anforderungen an den Energieverbrauch von Umwälzpumpen, jedoch nicht für den Energieverbrauch von Zirkulationspumpen.

Während die o.g. EU Verordnungen Vorgaben an Geräte definiert, sind im Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) energetische Vorgaben zur Installation und dem Betrieb des Warmwassersystems gegeben. Nach §71, Abs. (1) müssen bisher ungedämmte Warmwasserleitungen, sowie Armaturen in Bestandsgebäuden nachträglich gedämmt werden, wenn diese zugänglich sind und nicht in beheizten Räumen liegen. Die Anforderungen entsprechen den in Tabelle 11 (Seite 17) aufgeführten Werten, die auch für Leitungen und Armaturen bei erstmaligem Einbau gelten. Die (DIN 1988-200:2012) formuliert Anforderungen an die Dämmstärke von Warmwasserleitungen, die in den Zirkulationskreislauf einbezogen oder mit einem Temperaturhalteband ausgestattet sind. Die Mindestdicken¹ sind identisch mit den Anforderungen der GEG². Für Warmwasserleitungen, die weder in das Zirkulationssystem eingebunden noch mit einem Temperaturhalteband ausgestattet sind (z.B. Stockwerks- oder Einzelzuleitungen mit einem Wasserinhalt ≤ 3 l) bestehen keine Dämmvorgaben³ gegen Wärmeverluste.

Zirkulationspumpen müssen beim Einbau in Warmwasseranlagen mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung ausgestattet werden (GEG 2020).

4.1.3 Gesundheit und Komfort

Temperaturen

In den Richtlinien bestehen zum einen aus hygienischen und zum anderen aus Komfort-Gründen Anforderungen an die Temperatur in der Trinkwarmwasserinstallation. Die Vorgaben aus unterschiedlichen Richtlinien sind im Folgenden zusammengetragen.

Nach (DIN 1988-200:2012) bestehen folgende grundlegenden Vorgaben an die Temperatur in Trinkwarmwasserinstallationen aus hygienischen Gesichtspunkten. Am Wasseraustritt des

¹ Die angegebenen Mindestdämmschichtdicken dürfen vermindert werden, wenn eine gleichwertige Begrenzung der Wärmeabgabe mit anderen Formen der Dämmungen sichergestellt werden kann. Der Hersteller hat die Gleichwertigkeit mit einer allgemein bauaufsichtlichen Zulassung nachzuweisen.

² Die DIN 1988-200:2012 enthält die Anforderungen aus Zeile 1 bis 5 der Tabelle 11 (Seite 20). Zeile 6 – 8 sind in der DIN 1988-200:2012 nicht enthalten.

³ Ausnahmen: Bei Unterputzverlegung ist eine Dämmung erforderlich (z. B. Verlegung als Rohr-in-Rohr oder 4 mm als mechanischer Schutz oder Korrosionsschutz).

Trinkwassererwärmers ist eine Temperatur von mindestens 60 °C aus hygienischen Gründen einzuhalten. Bei Rohrleitungsinhalten von > 3 l sind Zirkulationsleitungen oder selbstregelnde Temperaturhaltebänder einzubauen. In den zirkulierenden Trinkwasser-Installationen darf ein Temperaturabfall von 5 K nicht überschritten werden. Eine Ausnahme bei den genannten Anforderungen bilden Trinkwasser-Erwärmer mit hohem Wasseraustausch und dezentrale Trinkwasser-Erwärmer. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, auch mit anderen technischen Maßnahmen und Verfahren die Trinkwasserhygiene sicherzustellen. In diesen Fällen müssen die einwandfreien Verhältnisse durch mikrobiologische Untersuchungen nachgewiesen werden.

Im Folgenden sind die Anforderungen differenzierter ausgeführt:

- Bei Großanlagen¹ muss das Wasser am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers eine Temperatur von ≥ 60 °C einhalten. Kurzzeitige Absenkungen im Minutenbereich sind tolerierbar; systematische Unterschreitungen nicht akzeptabel. (DIN 1988-200:2012; DVGW Arbeitsblatt W 551)
- Der gesamte Trinkwasserinhalt von Vorwärmstufen ist einmal am Tag auf ≥ 60 °C zu erwärmen. (DIN 1988-200:2012; DVGW Arbeitsblatt W 551)
- Ausnahme von den o.g. Vorgaben bilden zentrale Trinkwassererwärmer mit hohem Wasseraustausch, z.B. in Ein- und Zweifamilienhäusern, oder Durchflusssysteme mit nachgeschalteten Leitungsvolumen > 3 l müssen so geplant und gebaut werden, dass am Austritt aus dem Trinkwassererwärmer eine Trinkwassertemperatur ≥ 60 °C und 55 °C am Eintritt der Zirkulationsleitung in den Trinkwassererwärmer möglich ist. Die Einstellung der Reglertemperatur am Trinkwassererwärmer ist auf 60 °C vorzusehen. Wird im Betrieb ein Wasseraustausch in der Trinkwasser-Installation für warmes Trinkwasser innerhalb von 3 d sichergestellt, können Betriebstemperaturen auf ≥ 50 °C eingestellt werden². Betriebstemperaturen < 50 °C sind zu vermeiden. Der Betreiber ist im Rahmen der Inbetriebnahme und Einweisung über das eventuelle Gesundheitsrisiko (Legionellenvermehrung) zu informieren. (DIN 1988-200:2012)
- Für Kleinanlagen wird eine Temperatur von 60 °C empfohlen; Betriebstemperaturen unter 50 °C sollten auf jeden Fall vermieden werden. (DVGW Arbeitsblatt W 551)
- Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer können ohne weitere Anforderungen verwendet werden, wenn das nachgeschaltete Leitungsvolumen 3 Liter nicht überschreitet. (DIN 1988-200:2012; DVGW Arbeitsblatt W 551)
- Dezentrale Trinkwassererwärmer, die der Versorgung einer Entnahmearmatur dienen (Einzelversorgung), können ohne weitere Anforderungen betrieben werden. Bei dezentralen Speicher-Trinkwassererwärmern, die der Versorgung einer Gruppe von Entnahmestellen dienen (Gruppenversorgung), z.B. innerhalb eines Badezimmers einer Wohnung, muss am Austritt aus dem Trinkwassererwärmer die Trinkwassertemperatur ≥ 50 °C betragen. (DIN 1988-200:2012)
- Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, auch mit anderen technischen Maßnahmen und Verfahren die Trinkwasserhygiene sicherzustellen. In diesen Fällen müssen die einwandfreien Verhältnisse durch mikrobiologische Untersuchungen nachgewiesen werden. (DIN 1988-200:2012; DVGW Arbeitsblatt W 551)
- Zirkulationsleitung:
 - In Großanlagen und Rohrleitungsinhalten > 3 l zwischen Abgang Trinkwassererwärmer und entferntester Entnahmestelle sind Zirkulationssysteme einzubauen. Alternativ zur Zirkulationsleitung können Begleitheizungen (selbstregelnde Temperaturhaltebänder) eingebaut werden.

¹ In DIN 1988-200:2012 wird nicht die Bezeichnung Großanlage verwendet. Die hier aufgeführten Anforderungen gelten in der DIN 1988-200:2012 für zentrale Trinkwassererwärmer.

² Den Autoren des Berichtes ist nicht bekannt, wie diese Regel in der Praxis nachzuweisen ist.

- Ausnahme: Stockwerks und/oder Einzelzuleitungen mit einem Wasserinhalt ≤ 3 l können ohne Zirkulationsleitung / Begleitheizung ausgeführt werden (DIN 1988-200:2012; DVGW Arbeitsblatt W 551)
- Das Zirkulationssystem¹ / die Begleitheizung ist so zu betreiben, dass die Wassertemperatur im System nicht um mehr als 5 K unter die Temperatur am Speicheraustritt sinkt.
- Bei hygienisch einwandfreien Verhältnissen können Zirkulationspumpen für maximal 8 Stunden in 24 Stunden abgeschaltet werden. (DIN 1988-200:2012; DVGW Arbeitsblatt W 551)

Vorgaben an die Temperatur in Trinkwarmwasserinstallationen aus Komfortgründen: Anforderungen an die Ausstoßzeiten (maximale Zeitspanne, bis Wasser mit Nutztemperatur aus der Entnahmestelle fließt):

- 30 s nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle sollte die Wassertemperatur nicht weniger als 60 °C für Warmwasserentnahmestellen betragen, sofern dem nicht örtliche oder nationale Regelungen entgegenstehen (DIN EN 806-2:2005)
- Bei bestimmungsgemäßem Betrieb muss maximal 30 s nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle die Temperatur des Trinkwassers warm mindestens 55 °C erreichen. Eine Ausnahme bilden die Trinkwassererwärmer mit hohem Wasserverbrauch und dezentrale Trinkwassererwärmer. (DIN 1988-200:2012)
- In (VDI 6003:2018) sind Komfortkriterien² für drei verschiedene Anforderungsstufen aufgeführt, so auch Ausstoßzeiten für die einzelnen Sanitärobjekte bei benannter Nutztemperatur, siehe Tabelle 14.
- Nach einem Gerichtsurteil des Amtsgerichtes Berlin-Schöneberg (Amtsgericht Berlin-Schöneberg, Urteil vom 29.04.1996, Aktenzeichen 102 C 55 / 94) warmes Wasser nach spätestens 10 Sekunden oder bei höchstens 5 Liter Wasserverbrauch, mit 45 °C aus der Entnahmestelle fließen.
- Nach Ansicht des LG Berlin (Landgericht Berlin, Urteil vom 26.05.1998, Aktenzeichen 64 S 266/97) ist eine Warmwasserversorgung einer Wohnung nur dann mangelfrei, wenn eine Warmwassertemperatur von 40 °C ohne zeitlichen Vorlauf gewährleistet ist.
- Nach dem AG Köln (Amtsgericht Köln, Urteil vom 24.04.1995, Aktenzeichen 206 C 251/94) ist die Zentralversorgung der Mietwohnung mit Warmwasser ganztägig aufrechtzuerhalten. Die Klausel im Formularmietvertrag, die dem Vermieter in den Nachtstunden ein Absenken der Temperatur unter 40 °C gestattet, ist unwirksam.
- Nach dem LG Berlin (Landgericht Berlin, Urteil vom 12.11.1991, Aktenzeichen 64 S 99/91) ist die Solltemperatur des Warmwassers (laut Mietvertrag waren dies 40 °C) nach spätestens 10 bis 15 Sekunden erreicht sein.

Tabelle 14 – Maximale Zeit bis zum Erreichen der Nutztemperatur nach (VDI 6003:2018)

Sanitärobjekt	Nutztemperatur ³	Anforderungsstufe		
		1	2	3
Waschtisch	40°C	60 s	18 s	10 s
Spüle	50°C	60 s	18 s	10 s
Dusche	42°C	26 s	10 s	7 s
Badewanne	45°C	26 s	12 s	9 s

¹ nach Wohnungswasserzählern dürfen keine Zirkulationsleitungen eingebaut werden.

² Komfortkriterien sind: Zeitlicher Abstand bei serieller Nutzung, Möglichkeit gleichzeitiger Nutzung zweier oder mehrerer Entnahmestellen, maximale Temperaturabweichung während der Nutzung, Mindestentnahmerate, Mindestentnahmemenge, maximale Zeit bis zum Erreichen der Nutztemperatur

³ Maximal zulässige Temperaturabweichung während der Nutzung: +/- 5 K, +/- 4 K, +/- 2 K in Anforderungsstufe 1, 2 bzw. 3

4.1.4 Ultrafiltration in der Trinkwasserinstallation

Die hohen geforderten Temperaturen bei der zentralen TWW-Bereitung stehen in einem Zielkonflikt mit den ambitionierten deutschen Klimaschutzzielen: sie beschränken das Potential zum verstärkten Einsatz von Wärmepumpen im Mehrfamilienhausbereich. Dies betrifft zwei Aspekte. Zum einen sinkt die Effizienz der Wärmebereitstellung der Wärmepumpe mit steigender Senktemperatur (hier TWW-Temperatur). Zum anderen können die erforderliche Vorlauftemperatur zur TWW-Bereitung heutzutage (Stand 2021) nur von wenigen marktverfügbaren Wärmepumpenfabrikaten bereitgestellt werden. Bei vielen Geräten liegt die vom Hersteller empfohlene maximale Auslegungs-Vorlauftemperatur unter 62 °C. Zur Gewährleistung der WW-Temperaturanforderungen sind WP-Vorlauftemperaturen in der Größenordnung von 66 °C bis 70 °C – je nach Art der TWE – erforderlich. Somit ist bei dem Einsatz von WP, die diese Temperaturanforderung nicht erreichen können, bei der TWE stets der ergänzende Betrieb eines zweiten Wärmeerzeugers (bspw. Heizstab oder Gaskessel) erforderlich. Das (DVGW Arbeitsblatt W 551) räumt jedoch explizit die Möglichkeit einer Temperaturabsenkung ein, wenn durch alternative technische Maßnahmen und Verfahren das Ziel hygienisch einwandfreies Trinkwasser eingehalten wird. Die möglicherweise höhere biologische Aktivität und Instabilität in Folge der Temperaturabsenkung muss durch andere wirksame Faktoren, wie einer kontinuierlichen Desinfektion, einer verbesserten Wasserdynamik oder physikalischer Reduzierung von organischen Materialien, effektiv und nachweislich kompensiert werden (van Treeck et al. 2019).

Nach (van Treeck et al. 2019) ist eine Temperaturabsenkung durch dauerhafte Desinfektion unter engmaschigen kontrollierten Bedingungen möglich. Aufgrund des hohen Aufwandes und des Prinzips des Minimierungsgebotes von chemischen Stoffen im Trinkwasser nach (TrinkwV 2001) kann die kontinuierliche Desinfektion nicht für den Einsatz zur Temperaturabsenkung empfohlen werden. Des Weiteren steht sie nicht im Einklang mit (DVGW Arbeitsblatt W 290). Durch eine Optimierung der wasserdynamischen Bedingungen hinsichtlich Wasseraustausch und Durchströmung ist nach (van Treeck et al. 2019) eine Temperaturabsenkung (mit intermittierenden täglich zwei halbstündigen Phasen mit Erwärmung auf 60 °C) ebenfalls möglich: In einem Pilotprojekt konnte diese durch Reduzierung des Rohrleitungsvolumens in Folge einer sorgfältigen Bedarfsanalyse, einer fest eingestellten Temperatur an den Entnahmestellen und automatischen Spülungen bei nicht bestimmungsgemäßem Betrieb erzielt werden. Diese Untersuchungen eines Einzelgebäudes erlauben keine abschließenden oder qualitativen Aussagen zur Wirksamkeit der Wasserdynamik. Außerdem lassen sich die restriktiven Vorgaben nur schwer auf die Situation im Wohnungsbau übertragen.

Als weitere Maßnahme zur Temperaturabsenkung bietet sich der Einsatz einer Ultrafiltrationsanlage an, die mit dem Ziel der Elimination von Mikroorganismen und Nährstoffen in der TWW-Installation von Gebäuden eingesetzt wird (vgl. auch (van Treeck et al. 2019; Solvis GmbH 2016; Grünbeck 2014)). Ultrafiltration ist ein mechanisches Verfahren zur Trennung von Stoffen im Bereich 0,1 – 0,01 µm. Zur Entfernung von Mikroorganismen in der TWW-Installation wird ein Ultrafiltrationsmodul, bestehend aus gebündelten, an beiden Enden in Hüllrohre eingegossene schlauchförmige Ultrafiltrationsmembrane mit einer Filterdurchlässigkeit von 0,01 – 0,02 µm, installiert (s. Abbildung 2). Durch die hydraulische Sperrung des Durchlaufes wird das Wasser durch die Wandung der Membran-Kapillare nach außen geleitet und damit die Trennwirkung erreicht. Das gereinigte Wasser (Permeat) wird anschließend dem Trinkwassernetz wieder zugeführt. Um das Verstopfen der Poren zu verhindern und um das Schmutzkonzentrat aus dem Filtermodul zu entfernen, wird der Filter regelmäßig und vollautomatisch durch Vor- und / oder Rückwärtsspülung gereinigt. Für einen dauerhaften hygienischen Betrieb muss die Verkeimung auf Permeatseite ausgeschlossen werden.

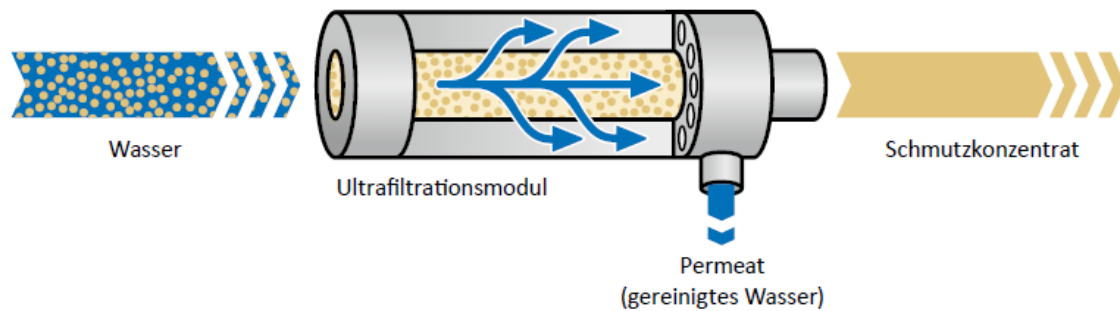


Abbildung 2 – Funktionsweise Ultrafiltration (Solvis GmbH 2016)

Neben dieser Entfernung von Bakterien und Viren bietet die Ultrafiltration weitere Vorteile wie gleichbleibende Filtratqualität, Trübstoff-Entfernung, chemiefreies Verfahren und einen geringen Energiebedarf. Nachteilig ist der Verlust des Rückspülwassers, die fehlende Depotwirkung und die mögliche Verschmutzung der Filtermembran (van Treeck et al. 2019). Da bisher keine fundierten Ergebnisse vorliegen, die die Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Ultrafiltrationstechnologie bei niedrigen Temperaturen nachgewiesen haben, wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) das Forschungsprojekt „Ultrafiltration als Element der Energieeffizienz in der Trinkwasserhygiene Ultra-F“¹ gefördert. Im Projekt „Analyse und Erarbeitung notwendiger Maßnahmen zur Absenkung der Trinkwarmwassertemperatur in Niedertemperatur-Versorgungssystemen Trans2NT-TWW“² werden u.a. Anlagen mit Ultrafiltrationsmodulen untersucht.

Es sind unterschiedliche Einbauorte für die Ultrafiltrations-Anlage möglich, wie z.B. am Anfang der Trinkwasser-Installation nach dem Hauswasserzähler oder direkt an der Entnahmestelle des Konsumenten (siehe Abbildung 3). Aufgrund des geringeren Wartungsaufwandes im Vergleich zu endständigen Filtern und der höheren trinkwasserhygienischen Effektivität im Vergleich zu Filtern am Anfang der TW-Installation (durch die Kontrolle der Konzentration möglicherweise zirkulierender Mikroorganismen im System) empfiehlt sich der Einbau der Ultrafiltration im Zirkulationssystem *UFC*. Durch einen Bypass-Betrieb kann die Filtrationsanlage vor Druckschlägen geschützt und der Filtrationsanteil variabel und damit betriebskostengünstig an die Belastungssituation angepasst werden.

¹ <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/forschung/forschungsprojekte/ultra-f>

² <https://www.iee.fraunhofer.de/de/projekte/suche/laufende/EnOB.html>

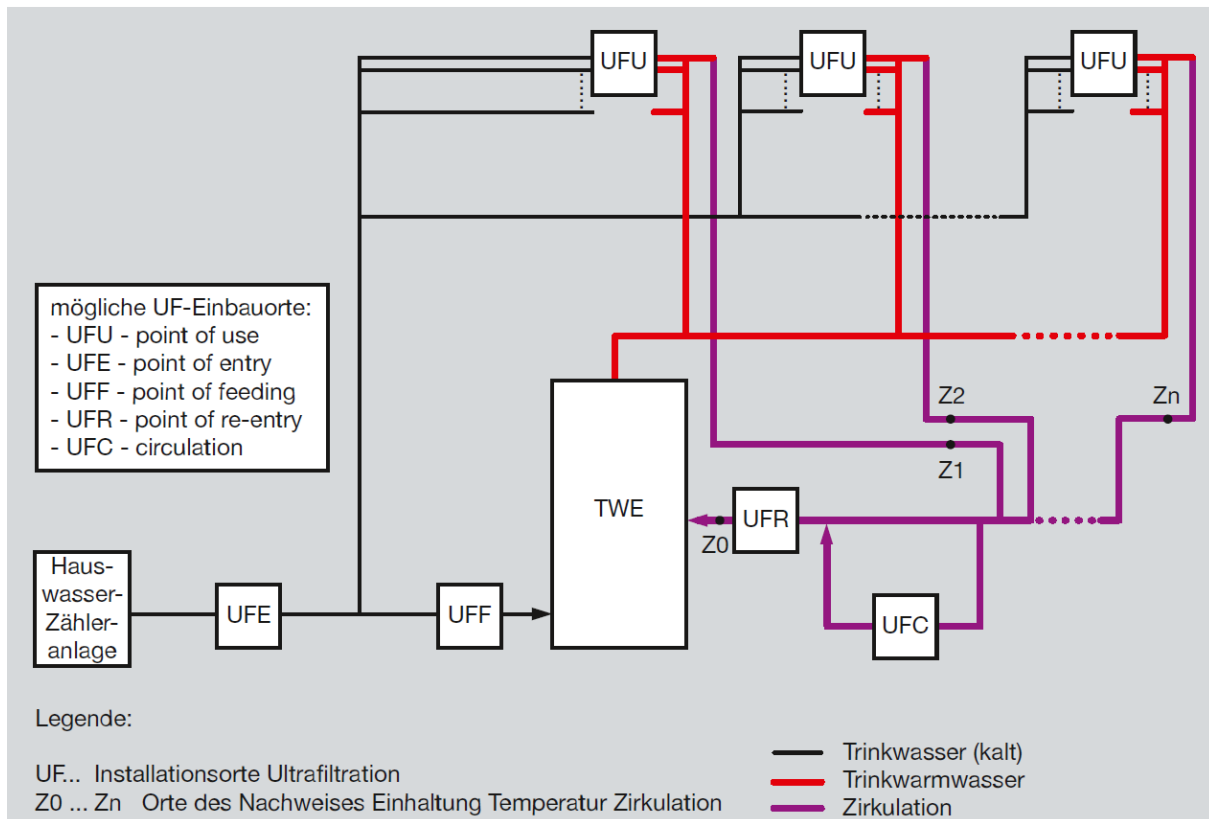


Abbildung 3 – Einbauorte von Ultrafiltrationssystemen in die Trinkwasserinstallation von Gebäuden
(van Treeck et al. 2019)

Da der Einsatz der Ultrafiltration bisher (Stand 06/2021) noch nicht ausreichend erprobt ist, sind Vorgaben zum Schutz der Verbraucher vorgesehen. Diese Vorgaben wurden durch den DVGW erarbeitet und in den Rahmenbedingungen für die wissenschaftlich begleiteten Feldversuche niedergelegt (DVGW 2018). Damit kann unter Praxisbedingungen die Leistungsfähigkeit und Sicherheit des Betriebs von Ultrafiltrationsanlagen zum Zweck der Verhinderung einer Legionellen-Kontamination bei abgesenkter Trinkwarmwassertemperatur untersucht und nachgewiesen werden. Die Vorgaben sehen in dieser Pilotphase eine aufwendige, sehr engmaschige Überprüfung vor. Dies ist mit hohem finanziellem Aufwand verbunden, die im Rahmen der Forschungsprojekte zu finanzieren sind. Nach einem „erfolgreichen“ Abschluss der Pilot/Einführungsphase, sind vom DVGW deutlich reduzierte Vorgaben zu entwickeln, die einen wirtschaftlichen und zugleich zuverlässig überwachten Betrieb der Ultrafiltration ermöglichen. Eine Übersicht zum Vorgehen bei der Installation einer Ultrafiltrationsanlage in einer TWW-Installation gemäß den Vorgaben des DVGW für die wissenschaftlich begleiteten Feldversuche ist folgend dargestellt (DVGW 2018):

- Ernennung eines Projektleiters und Projektteams mit Fachkenntnissen im Bereich Trinkwasserinstallation
- Überprüfung der erforderlichen Voraussetzungen:
 - In der Trinkwasserinstallation dürfen keine Legionellen nachweisbar sein
 - Die Trinkwasserinstallation muss den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen (hydraulisch abgeglichen, bestimmungsgemäßer Betrieb, Ausstattung mit allen benötigten Probenahmestellen)
- Anmeldung beim zuständigen Gesundheitsamt
- Schriftliche Information der Verbraucher
- Festlegung der zentralen und peripheren Probenahmestellen durch einen unabhängigen Sachverständigen
- Zu untersuchende Parameter:

- Erstuntersuchung: Koloniezahl bei 22 °C und 36 °C, Coliforme Bakterien / Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Legionella
 - Betriebsüberwachung: Legionella, Gesamtzellzahl (z.B. mit Durchflusszytometrie)
- Die Temperatur darf nur stufenweise gemäß der im Folgenden genannten Projektphasen reduziert werden:
 - Phase 0 (Zirkulationsrücklauf ≥ 55 °C): Erstuntersuchung ohne UF-Anlage
Betriebsüberwachung mit UF nach Woche 1
 - Phase I (Zirkulationsrücklauf ≥ 50 °C): Betriebsüberwachung mit UF nach Woche 1, 2, 6, 12
 - Phase II (Zirkulationsrücklauf ≥ 45 °C): Betriebsüberwachung mit UF nach Woche 1, 2, 6, 12, 24
 - Dauerbetrieb: halbjährige Betriebsüberwachung mit UF
- Bei Überschreitung eines Grenzwertes sind Korrekturmaßnahmen einzuleiten und das Gesundheitsamt in Kenntnis zu setzen. Eine Woche nach Abschluss der Korrekturmaßnahmen ist eine Kontrolluntersuchung durchzuführen. Ist diese ebenfalls auffällig, ist das Modellprojekt zu beenden, und die Trinkwasser-Installation ist wieder auf den Stand der Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik zu versetzen.

4.1.5 Untersuchungspflicht bei Großanlagen

Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001)^{1,2} legt Vorgaben zur Beschaffenheit, Aufbereitung und Überwachung des Trinkwassers fest und benennt Pflichten für Betreiber von Trinkwasserinstallationen. Die Betreiber von Trinkwasserinstallationen, in denen sich eine Großanlage zur Trinkwassererwärmung befindet, aus dieser Trinkwasser im Rahmen einer ausschließlich gewerblichen Tätigkeit abgegeben wird (z.B. in Mietshäusern), müssen das Trinkwasser alle drei Jahre routinemäßig untersuchen lassen. Werden Legionellenkonzentrationen über dem technischen Maßnahmenwert festgestellt, sind weitergehende Untersuchungen, eine Gefährdungsanalyse und Nachuntersuchungen sowie die Meldung an das Gesundheitsamt nötig.

Im (DVGW Arbeitsblatt W 551) sind Vorgaben zur hygienisch-mikrobiologische Untersuchung und Bewertung aufgeführt und auch die (VDI/BTGA/ZVSHK 6023 Blatt 2:2018) gibt Hilfestellungen zur fachgerechten Durchführung und Dokumentation einer Gefährdungsanalyse nach Trinkwasserverordnung.

Stagnation und Bestimmungsgemäßer Betrieb

Zu den Voraussetzungen zur Verminderung der Vermehrung von Mikroorganismen in Trinkwasser-Installationen zählen die Minimierung von Stagnation und der Rückbau von nicht mehr genutzten Leitungen und Anlagenteilen (DIN 1988-200:2012). Um Stagnation zu vermeiden, ist die Installation so zu planen, dass unter normalen Betriebsbedingungen eine regelmäßige Erneuerung des Trinkwassers erfolgt (DIN EN 806-2:2005). Entsprechend sind bei der Installation Entnahmearmaturen und Rohrleitungen so anzuordnen, dass die Stagnation verringert wird (DIN EN 806-4:2010).

Eine über einen längeren Zeitraum (sieben Tage nach (DIN EN 806-5:2012)) nicht genutzte Trinkwasser-Installation ist eine nicht bestimmungsgemäß betriebene Trinkwasser-Installation (DIN 1988-200:2012). Installationen, die länger als sieben Tage stillgelegt werden, sind am Hausanschluss

¹ Gesetzliche Grundlage ist neben der Trinkwasserverordnung das Infektionsschutzgesetz (IfSG), das am 01.01.2001 in Kraft getreten ist, ergänzt durch das Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz.

² Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) setzt die EG-Richtlinie zur Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Richtlinie 98/83/EG) in nationales Recht um.

(Hauptabsperrarmatur) abzusperren und zu entleeren oder das Wasser ist regelmäßig zu erneuern (DIN EN 806-5:2012).

Auslegung Rohrnetz, Speicher und Wärmeerzeuger

Ist eine Speicherung von Energie vorgesehen, sollte dies nicht im Trinkwasser erfolgen, sondern es ist der Technik der Energiespeicherung im Pufferspeicher der Vorzug zu geben. (DIN 1988-200:2012)

Trinkwassererwärmungsanlagen sind dem Bedarf an erwärmtem Trinkwasser entsprechend den allgemeinen anerkannten Regeln der Technik (z.B. (DIN 4708-2:1994; DIN EN 12831-3:2017)) auszulegen. Die Bemessung der Leitungen für Trinkwasser und Zirkulationsleitungen erfolgt nach (DIN 1988-300:2012). In Gebäuden mit bis zu sechs Wohnungen können Rohrleitungen auch nach dem vereinfachten Verfahren nach (DIN EN 806-3:2006) bestimmt werden (DIN 1988-300:2012).

Das (DVGW Arbeitsblatt W 553) bildet die Grundlage für die Bemessung von Zirkulationssystemen.

Informationen zum Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung sowie Erläuterungen zur Dimensionierung von Speichern und Wärmeerzeugern sind im Meilensteinbericht M 3.2 aufgeführt.

Aspekte zur Behandlung von Trinkwasser

„Die Bedingungen, wann Ablagerungen entstehen, sind schwer zu bestimmen. Die Neigung des Wassers zur Kalkabscheidung wächst jedoch mit steigender Wassertemperatur. Für den Fall, dass Steinbildung zu erwarten ist, kann eine Trinkwasserbehandlung in Betracht gezogen werden, z. B. Wasserenthärtung durch Ionenaustausch ..., Dosierung von Chemikalien ... oder mittels Kalkschutzgeräte ...“ (DIN 1988-200:2012). In der DIN-Norm werden Hinweise für Wasserbehandlungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der Calciumcarbonat-Massenkonzentration des Trinkwassers der Temperatur des Warmwassers gegeben.

4.1.6 Liste relevanter Normen und Richtlinien

Die folgende Tabelle listet die oben zitierten Normen und Richtlinien auf und führt einige ergänzende Normen und Richtlinien informativ auf.

Tabelle 15 – Relevante Normen und Richtlinien für die Trinkwassererwärmung

Europäische Gesetze	
Richtlinie 98/83/EG: 1998	Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch
Europäische Normen	
EN 806	Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen Teil 1 Allgemeines - 5/2001 • Ziel • Begriffe • Zuständigkeiten • Symbole und Kurzzeichen Teil 2 Planung - 6/2005 • Werkstoffe • Bauteile • Verteilung • Dämmung • Behandlung Trinkwasser • Korrosion • Wasserzähleranlagen • Schallschutz • Druck Teil 3 Berechnung der Rohrrinnendurchmesser - Vereinfachtes Verfahren - 7/2006 • Grundlagen der Berechnung • Verfahren der Berechnung; inkl. Beispiel • Verhältnis Spitzendurchfluss zu Summendurchfluss Teil 4 Installation - 6/2010 • Ausführung der Installation (Verbindung von Rohrleitungen, Anschluss an Behälter, Rohrverlegung, u.a.) • Kombination von verschiedenen Metallen • Inbetriebnahme (Befüllung, Spülung) • Desinfektion Teil 5 Betrieb und Wartung - 4/2012 • Betriebsunterbrechungen • Schäden und Störungen • Änderungen, Erweiterungen, Sanierung • Inspektions- und Wartungsverfahren und Intervalle
DIN EN 1717:2011-08	Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen; • Bestimmung von Risiken, Durchführung der Analyse, Auswahl von Schutzmaßnahmen • Sicherheitseinrichtungen

Tabelle 15 – Relevante Normen und Richtlinien für die Trinkwassererwärmung

	DIN EN 1717 und DIN 1988-100 sind gemeinsam anzuwenden
DIN EN 12831-3:2017-09	Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung
Deutsche Gesetze	
TrinkwV 2001	Trinkwasserverordnung ¹ - Beschaffenheit des Trinkwassers - Aufbereitung und Desinfektion - Pflichten des Betreibers - Überwachung des Trinkwassers - Straftaten und Ordnungswidrigkeiten
Deutsche Rechtsprechung	
AG Köln, 206 C 251/94, WM 1996, 701. 24. 4.1995	Formularvertragliche Ermächtigung des Wohnungs Vermieters zum Absenken der Warmwassertemperatur zur Nachtzeit
LG Berlin (64 S 99/91, MM 1992, 137. 12.11.1991	Instandsetzungsanspruch des Mieters bei Mängeln der Mietsache
LG Berlin, AZ: 64 S 266/97, 20.05.1998	Anforderungen an Heiz- und Warmwasserwärme mangels vertraglicher Regelung – Fensterundichte
Amtsgericht Berlin-Schöneberg Aktenzeichen 102 C 55/94, 29.04.1996	Mangel der Mietsache und Mietminderung bei unzureichender Temperatur des Warmwassers
Deutsche Normen	
DIN 1988	Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - ergänzt DIN EN 806 und DIN EN 1717:2011 Teil 100 Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte - 8/2011 - Rückfließen - Verbindung von Versorgungssystemen

¹ Neugefasst durch Bek. v. 10.03.2016 | 459; Zuletzt geändert durch Art. 99 V v. 19.06.2020 I 1328

Tabelle 15 – Relevante Normen und Richtlinien für die Trinkwassererwärmung

	• Äußere Einflüsse • Stagnation • Werk-, Betriebs-, Hilfsstoffe; • Trennung durch Einzel- und Doppelwände • Sicherheitseinrichtungen • Schäden durch Wartung Teil 200 Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe - 5/2012 • Werkstoffe • Bauteile • Verteilung • Dämmung • Behandlung Trinkwasser • Korrosion • Wasserzähleranlagen • Schallschutz • Druck Teil 300 Ermittlung der Rohrdurchmesser - 5/2012 • Berechnungsgrundlagen • Bemessung von Kalt- und Warmwasserleitungen • Bemessung von Zirkulationssystemen • Das angegebene differenzierte Berechnungsverfahren ist für alle Gebäudearten anzuwenden. Nur die Rohrdurchmesser in Gebäuden mit bis sechs Wohnungen können auch nach DIN EN 806-3 bestimmt werden.
DIN 2000	Zentrale Trinkwasserversorgung-Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen -02/2017
DIN 4708	Zentrale Wassererwärmungsanlagen Teil 1: Begriffe und Berechnungsgrundlagen– 04/1994 Teil 2: Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfs zur Erwärmung von Trinkwasser in Wohngebäuden – 04/1994 Teil 3: Regeln zur Leistungsprüfung von Wassererwärmern für Wohngebäude – 04/1994
Deutsche Richtlinien	
VDI 6003	Trinkwassererwärmungsanlagen - Komfortkriterien und Anforderungsstufen für Planung, Bewertung und Einsatz (2012)
VDI/DVGW 6023	Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung (2013-04)

Tabelle 15 – Relevante Normen und Richtlinien für die Trinkwassererwärmung

VDI/BTGA/ZVSHK 6023 -2	Blatt 2 Hygiene in Trinkwasser-Installationen – Gefährdungsanalyse: 2018-1: Diese Richtlinie liefert praxisrelevante Hilfestellungen zur fachgerechten Durchführung und Dokumentation einer Gefährdungsanalyse nach Trinkwasserverordnung. Es sind formale und inhaltliche Aspekte festgelegt und Qualifikationsanforderungen an den Sachverständigen definiert. Es werden die ereignisorientierte Gefährdungsanalyse nach UBA-Empfehlung bei Legionellenbefall und die elektiv als Schwachstellenanalyse durchgeführte systemorientierte Gefährdungsanalyse beschrieben.
VDI 6024	Wassersparen in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung: 2008-09
DVGW-W 551	Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Einrichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen -04/2004
DVGW-W 553	Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen- 12/1998

4.2 Weitere Vorgaben und Anforderungen

(VDI 2067 Blatt 12:2017) „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung“ 2017

Für Warmwasserspeicher mit einem Nennvolumen zwischen 50 und 3.000 Liter kann seit 2011 das Umweltzeichen des Blauen Engel erworben werden, wenn die definierten Anforderungen erfüllt werden. Es gibt auf dem Markt nur fünf Speicher, die dieses Umweltzeichen tragen (Stand 2017).

5 Lüftung

Ziel der Lüftung in Wohngebäuden ist es, Wohnungen mit ausreichend frischer Luft zu versorgen. Um die energetischen Anforderungen zu erfüllen, müssen die Lüftungsverluste begrenzt werden. Ein Baustein hierbei ist die Minimierung der Verluste durch Luftleckagen (hohe Dichtheit der Gebäude). Zusätzlich können die Energieverluste über den Einsatz einer Wärmerückgewinnung WRG reduziert werden. Im Wesentlichen zielen die Ansätze zur Minimierung der Energieverluste im Bereich der Lüftung auf eine Reduktion der mit der Umgebung ausgetauschten Luftmengen. Damit den Nutzern der Gebäude jedoch trotzdem ausreichend Frischluft garantiert wird muss der Luftaustausch effizient bewerkstelligt werden, dies kann bspw. durch eine bedarfsgerechte Lüftung erreicht werden. Eine bedarfsgerechte Lüftung mit Wärmerückgewinnung kann nur mithilfe einer mechanischen, kontrollierten Lüftungsanlage erfolgen, da nur so die Frisch- und Fortluft entsprechen geführt und in ausreichendem Maße bereitgestellt werden können. Verschiedene mechanische Lüftungskonzepte sind im Bericht zu AP 2.4 detailliert beschrieben. Im Folgenden werden ausschließlich normative Anforderungen an die Luftqualität und die Effizienz der Lüftung adressiert.

5.1 Vorgaben aus Normen und Gesetzen

Im Bereich der Lüftung von Gebäuden sind eine Reihe von Gesetzen, Verordnungen und Normen relevant und zu beachten. Von besonderer Bedeutung für die Lüftung von Wohnungen in Deutschland ist dabei die (DIN 1946-6:2019). Einen Überblick über relevante Normen gibt Abbildung 4. Diese und weitere Gesetze, Verordnungen und Normen werden im Folgenden genauer beschrieben.

Zentral für die Ausführung der Luftverteilung und -zufuhr zu den Nutzungsbereichen ist, dass ausreichend Frischluft speziell in den Aufenthaltszonen bereitgestellt wird. Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Mindestluftwechsel, welcher speziell den Bauwerksschutz in Bezug auf Feuchteschäden adressiert. Außerdem ist darauf zu achten, dass Schallemissionen minimiert werden.

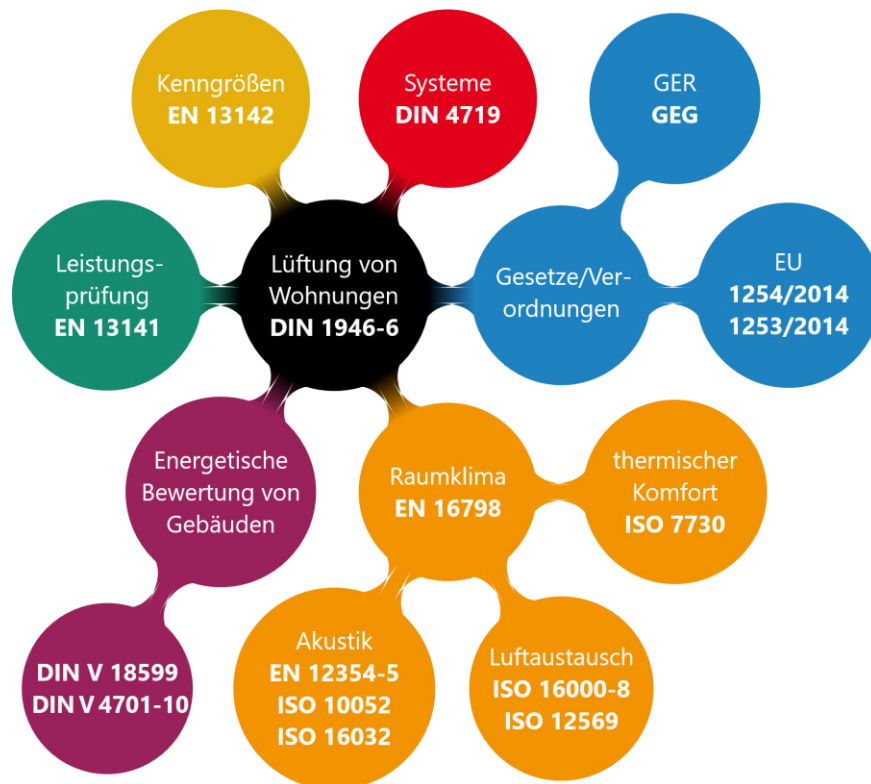


Abbildung 4 – Relevante Normen, Gesetze und Verordnungen für die Lüftung von Wohngebäuden (Auerswald 2021).

5.1.1 DIN 1946-6

Die Norm (DIN 1946-6:2019) wird als die zentrale Norm für die Lüftung von Wohngebäuden betrachtet. Laut der offiziellen Beschreibung „gilt [diese] für die freie und für ventilatorgestützte Lüftung von Wohnungen und gleichartig genutzte Raumgruppen (Nutzungseinheiten), die nach ihrer Zweckbestimmung überwiegend dem Wohnen dienen (...).“ „Diese Norm legt die Anforderungen an die Planung, die Ausführung und Inbetriebnahme, den Betrieb und die Instandhaltung der notwendigen Lüftungs-Komponenten (...) fest“.

Gemäß dieser Norm wird ein Lüftungskonzept entwickelt. Die unterschiedlichen Konzepte betreffen die Auswahl des Lüftungssystems. Dabei sind bauphysikalische sowie Lüftungs- und gebäudetechnische Grundlagen zu beachten. In einem Lüftungskonzept werden vier Lüftungsstufen definiert, für die ein Gesamt-Volumenstrom und ein durch die Lüftungstechnischen Maßnahmen bereitgestellter Volumenstrom berechnet wird. Beide sind abhängig von der Größe des Wohnraums, der geplanten Belegungsdichte (hoch & gering) und der erreichten Qualität des Wärmeschutzes des Gebäudes (hoch & gering). Ersterer berücksichtigt die Infiltration und die Frischluftzufuhr durch Fensteröffnen. Die auszulegenden Luftwechselraten der aktuellen (DIN 1946-6:2019) wurden dabei gegenüber der abgelösten alten Norm (DIN 1946-6:2009) für alle 4 Stufen reduziert.

1. **Lüftung zum Feuchteschutz** – Vermeidung von Bauschäden durch Luftfeuchtigkeit unter Abwesenheit und besondere Feuchtelasten (z.B. Wäsche trocknen)
2. **Reduzierte Lüftung** – „...Sicherstellung der gesundheitlichen Mindestanforderungen sowie des Bautenschutzes (Feuchte) bei reduzierter Anwesenheit der Nutzer oder geringerer Raumluftqualität ...“.
3. **Nennlüftung** – Gewährleistung der hygienischen und gesundheitlichen Standards bei normaler Nutzung der Wohnung.
4. **Intensivlüftung** – Hierbei wird auch die Behaglichkeit berücksichtigt. Lastspitzen durch Kochen, Waschen, etc. sollen abgebaut werden.

Die Stufen 1 und 2 müssen nutzerunabhängig und dauerhaft gewährleistet werden (unter Berücksichtigung von Infiltration), bei den Stufen 3 und 4 darf teilweise die aktive Fensterlüftung herangezogen werden. Die Lüftungsstufen müssen für jede Nutzungseinheit getrennt definiert werden. Für Neubauten ist grundsätzlich ein **Lüftungskonzept erforderlich**. Aber auch **bei der Sanierung** eines Mehrfamiliengebäudes wird ein Lüftungskonzept erforderlich, wenn mehr als 1/3 der Fenster einer Nutzungseinheit (NE) ausgetauscht werden. Sowohl mechanische als auch freie Lüftung ist als Lösung möglich. Die folgende Gleichung stellt die Nennlüftung dar:

$$q_{v,ges,NE} \left[\frac{m^3}{h} \right] = -0,002 A_{NE}^2 + 1,15 A_{NE} + 20 \quad (5.1)$$

Die notwendige Lüftung zur Sicherstellung des Feuchteschutzes (hohe Belegung) beträgt 30 % der Nennlüftung bei hohem und 40 % bei geringem Wärmeschutz. Die reduzierte Lüftung entspricht 70 %, Intensivlüftung 130 % der Nennlüftung. Für den Feuchteschutz sind in der (DIN 1946-6:2019) typische Werte für ein Mehrfamiliengebäude dargestellt (s. Tabelle 16).

Tabelle 16 – Mindestvolumenströme zum Feuchteschutz (hohe Belegung) nach (DIN 1946-6:2019)

Fläche der Wohneinheit [m²]	30	50	70	90	110	130	150	170	190
Lüftung zum Feuchteschutz [m³/h]	15	20	25	30	35	40	40	45	45
(hohe Wärmedämmung) [m³/h]	20	25	35	40	45	50	55	60	65

Daneben sind in der Norm weitere typische Werte bezüglich der Wohnungslüftung (mit Beispielen) dargestellt. Dies sind:

- Auslegungs-Luftwechsel und Differenzdruck
- Überström-Durchlässe
- Nutzerabhängige Luftvolumenströme
- Aufteilung der Zuluftvolumenströme
- Luftgeschwindigkeit

5.1.2 Energetische Bewertung:

Derzeit werden Lüftungsanlagen durch eine Reihe von Bewertungsmethoden mit unterschiedlichen Herangehensweisen und Schwerpunkten untersucht. Auf einige dieser Bewertungsmethoden wird im Folgenden eingegangen.

Eine der ersten erstellten und heute relevanten Normen ist die (DIN EN 308:1997). In dieser wird ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen beschrieben. Die Bewertung von Wärmerückgewinnungsanlagen erfolgt hier über die Berechnung des Temperatur- und Feuchteänderungsgrades auf der Zuluftseite. Für die Messung der relevanten Temperaturen und Feuchten werden außerdem Vorgaben für die Außenleckage, die innere Abluftleckage/-übertragung und den Druckabfall über das Gerät gestellt. Damit berücksichtigt diese Norm lediglich die Enthalpieströme der ausgetauschten Raumluft unter der Annahme trockener, inkompressibler Luft mit konstanter Wärmekapazität und stofflichen Mengenanteilen.

In der (DIN V 4701-10:2013) erfolgt die Bewertung der Lüftungsanlage als Bestandteil des Gesamtbilanzraums „Gebäude“. Dabei wird neben der Lüftung auch die Trinkwarmwasser- und Heizungsanlage berücksichtigt. Die Norm bewertet das Haus anhand einer Aufwandszahl, welche sich aus den berechneten Wärmeströmen der genannten drei Versorgungssysteme des Gebäudes ergeben. Die Berechnung der Wärmeströme kann dabei sowohl ausschließlich mit Tabellenwerten für die Betriebsparameter von typischen Einzelkomponenten erfolgen oder mithilfe der bekannten Herstellerwerte der jeweiligen Systemkomponenten (Anhang C.2.3.1). So sind in den Tabellen beispielsweise Standardwerte für den Wärmebereitstellungsgrad von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung η'_{WRG} wahlweise mit 0,6 oder 0,8 angegeben.

Im Tabellenverfahren nach (DIN 18599-12:2021) erfolgt die Bewertung der Lüftungsanlage indirekt über die Berechnung des Wärmetransferkoeffizienten des Gebäudes. Zur Berechnung des Wärmetransferkoeffizienten der Lüftung wird der Luftwechsel über Tabellenwerte für den Gesamtluftwechsel und Korrekturfaktoren mit Hilfe des Anlagennutzungsgrades bestimmt. Über den Wärmetransferkoeffizienten des Gebäudes wird anschließend die maximale Heizlast berechnet.

5.1.3 Komponenten:

Die (DIN EN 13141-7:2011) zur „Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen“ legt die gleichen Temperatur- und Feuchteverhältnisse der Zuluftseite zugrunde, wie die (DIN EN 308:1997). Ein wesentlicher Unterschied ist, dass die beiden Verhältnisse (Temperatur und Feuchte) noch mit dem Verhältnis der Zu- und Abluftmassenströme multipliziert werden. Die Massenströme sollen dabei innerhalb von einer maximalen Abweichung von 3 % vom Fortluftmassenstrom ausgeglichen sein. Für die Umgebungstemperatur während der Messungen gibt es in der Norm die Vorgabe, dass diese dieselbe Trockenkugeltemperatur haben muss wie die Abluft. Das ist in der Realität bei Zu- und Abluftsystemen - Dezentrale Lüftungsanlage (ZAbLS-D) jedoch anders, denn hier gibt es aufgrund der Integration in der Außenwand immer einen Temperaturgradienten über dem Gehäuse von innen nach außen. Außerdem beinhaltet die Norm Vorgaben für die Berücksichtigung einer Kombination des Lüftungsgerätes mit einer Fortluft/Außenluft-Wärmepumpe. Darüber hinaus enthält sie die Vorgabe, dass eine Prüfung der Akustik des Gerätes erfolgen muss (s. hierzu auch Kapitel 7.3). In der Norm (DIN 4719:2009) sind darüber hinaus in zur Ergänzung zur oben genannten Norm weitere Anforderungen an Geräte in Deutschland definiert.

5.1.4 Energielabel für Lüftungsanlagen:

Mit dem Inkrafttreten der (Verordnung (EU) Nr. 1253/2014) und der (Verordnung (EU) Nr. 1254/2014) zum 1. Januar 2016 greifen erstmals spezielle Ökodesign-Anforderungen an Wohnungslüftungsgeräte. Die Verordnungen definieren energetische Mindestanforderungen an Raumlüftungstechnik- (RLT-) Geräte, u.a. müssen diese ab Inkrafttreten mindestens so viel **Primärenergie einsparen** wie sie verbrauchen (EU 1253/2014) und außerdem ein Energieeffizienzlabel von A+ bis G tragen (EU 1254/2014). Ab dem 1. Januar 2018 werden die energetischen Mindestanforderungen nochmals erhöht. Bei Wohnungslüftungsgeräten muss dann mindestens die Effizienzklasse D erreicht werden. Die Richtlinien gelten für Lüftungsgeräte mit einer Mindesteingangsleistung von 30 W und weniger als 1.000 m³/h Nennluftvolumenstrom.

In der Richtlinie EU 1253/2014 (Verordnung (EU) Nr. 1253/2014) werden Mindestanforderungen an die Wärmerückgewinnung von bidirektionalen (Zwei-Richtungs-Lüftungsanlagen ZLA) RLT-Geräten über 1.000 m³/h festgelegt. Die Ökodesign-Richtlinie kennt dabei keine Ausnahmen auf Basis von individuellen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Für alle Anwendungen gemäß der Definition (Verordnung (EU) Nr. 1253/2014) Artikel 2.1 sind die Mindestanforderungen einzuhalten.

Der spezifische Energieverbrauch (SEV) bewertet den Energieverbrauch für die Lüftung pro Quadratmeter Wohnfläche in einem Jahr in kWh/(m²a). Dabei werden folgenden Verbräuche und Eigenschaften berücksichtigt:

- Stromverbrauch und Regelung der Ventilatoren
- Art und Güte der Wärmerückgewinnung
- Regelung der Geräte (manuell, zeit- oder bedarfsgesteuert mittels Luftqualitätssensoren)

Zusätzlich enthält das Energielabel **Informationen über den Nennluftvolumenstrom und den Schalleistungspegel** des Gerätes.

Neben der Forderung, dass RLT-Geräte mindestens die ab Januar 2018 geltenden Vorgaben der ErP-Verordnung Nr. 1253/2014 Anhang III Nummer 2 (Verordnung (EU) Nr. 1253/2014) erfüllen müssen, werden folgende spezifische Anforderungen gestellt:

- Wärmerückgewinnungsgrad η_r entsprechend EN 308 > 80 % (DIN EN 308:1997)
- SFP (specific fan power) < 1650 W/m³s (gesamte Zu- und Abluft).

5.1.5 Kenngrößen:

Die Norm (DIN EN 13142:2013) dient der Ermittlung von Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten von Lüftungsanlagen von Wohnungen. Ziel ist, die einzuhaltenden Behaglichkeitsbedingungen bezüglich Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Hygiene und Schall im Aufenthaltsbereich zu erreichen. Des Weiteren definiert diese Norm diejenigen Leistungskenngößen, die zu bestimmen, zu messen und darzustellen sind. Sie bietet zudem eine Klassifizierungsmethode für ventilatorgestützte Lüftung von Wohnungseinheiten oder einzelnen Räumen. Einige relevante Kenngrößen sind:

- Primärenergieeinsparung
- Massenstromausgleich (Ausgeglichene Systeme ≤ 3 % Abweichung)
- Spezifische Leistungsaufnahme (Tabelle 2)
- Temperatur-Verhältnis auf den Zu- und Abluftseiten
- Luftfeuchte-Verhältnis
- Wirkungsgrad der Lüftungseinheit
- Schalleistungspegel (Tabelle 3)

Darüber hinaus sind in der Norm verschiedene spezifische Leistungsaufnahme- (SPI-) Klassen definiert, die in Tabelle 17 aufgelistet sind sowie maximale Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung (s. Tabelle 18). Der Maßstab der elektrischen Energieeffizienz ist die spezifische Ventilatorleistung in Watt bezogen auf die geförderte Luftmenge in m³/h (SFP: specific fan power).

Tabelle 17 – Spezifische Leistungsaufnahme-(SPI-) Klassen nach (DIN EN 13142:2013)

SPI / Klasse	1	2	3	4	5	6	Außerhalb Klassifizierung
$W/(m^3 \cdot s^{-1})$	≤ 900	≤ 1.260	≤ 1.620	≤ 1.980	≤ 2.340	≤ 2.700	≥ 2.700
$W/(m^3 \cdot h^{-1})$	$\leq 0,25$	$\leq 0,35$	$\leq 0,45$	$\leq 0,55$	$\leq 0,65$	$\leq 0,75$	$\geq 0,75$

Tabelle 18 – Schalleistungspegel der Gehäuseabstrahlung einer Anlage (LWC)-Klassen nach (DIN EN 13142:2013)

Klasse	1	2	3	4	5	Außerhalb Klassifizierung
LWA [dB(A)]	<35	35 bis 40	40 bis 45	45 bis 55	55 bis 65	<65

Weitere Kriterien enthält die VDI Richtlinie 3803 (VDI Lüftungsregeln (VDI 3803:2010)). In Unterabschnitt 2 („Klimaanlagen und sonstige Anlagen der Raumluftechnik“) des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) werden Mindestanforderungen an die Wärmerückgewinnung (η_i) von RLT-Anlagen mit einem Volumenstrom über 4.000 m³/h festgelegt.

5.2 Brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen

Im Rahmen vom Technologieprojekt FIHLS (Förderkennzeichen FKZ: 03ET1401A) wurden im Rahmen von (Hengstler 2018) die brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen wie folgt zusammengefasst:

„Für die raumluftechnischen Anlagen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die Musterbauordnung (MBO 2016) erst ab der Gebäudeklasse 3 (vgl. Tabelle 4) konkrete Maßnahmen zum Brandschutz an Lüftungsanlagen bzw. Lüftungsleitungen stellt.

Die Anforderungen an die Lüftungsleitungen und deren Bekleidung, dass eine Brandentstehung und Brandweiterleitung nicht zu befürchten ist, sind laut MBO auch dann erst außerhalb von Wohnungen oder Nutzungseinheiten > 400 m² erforderlich. Dezentrale Lüftungssysteme sowie Lüftungsanlagen innerhalb von einzelnen Wohnungen/Nutzungseinheiten sind hiervon nicht betroffen.

„Ein Lüftungsgerät (z. B. dezentral in der Fassade angeordnet) ist keine Lüftungsanlage, da es unmittelbar aus dem Freien nur dem zu be- und entlüftenden Raum Luft zu- und/oder abführt“ (Lippe et al. 2016).

Über die Anforderungen der MBO (MBO 2016) hinausgehend, sind bei Hochhäusern, die dem Regelungsbereich der Muster-Hochhaus-Richtlinie (MHHR 2008) unterliegen, Maßnahmen gegen eine Ausbreitung von kaltem Rauch in Treppenträume, andere Geschosse und Brandabschnitte zu treffen.

Neben den Vorgaben aus § 41 MBO (MBO 2016) verweist die [Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB 2017)] zu Konkretisierung der Anforderungen auf die [Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie] M-LüAR (M-LüAR 2015). Auch die (DIN 1946-6:2009) enthält bezüglich des Brandschutzes nur Hinweise zu landesrechtlichen Vorschriften und zur M-LüAR (M-LüAR 2015). Somit ist die Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR 2015) das führende Regelwerk für die Anforderungen bei Lüftungsanlagen.

Grundsätzlich sind für die Herstellung von Lüftungsleitungen ab der Gebäudeklasse 3 nichtbrennbare Baustoffe, z.B. aus Blech, Aluminium oder Brandschutzbauplatten zu verwenden. Dies konkretisiert die M-LüAR im Punkt 3.2.1 (M-LüAR 2015).

Lüftungsleitungen, die ausschließlich innerhalb eines Brandabschnittes bzw. innerhalb von Brandbekämpfungsabschnitten verlegt werden, leisten keinen Beitrag bei der Brandübertragung in andere Bereiche. Entsprechend sind in diesen Fällen schwerentflammbare Baustoffe zulässig. Dies gilt gem. 3.2.2 der M-LüAR (M-LüAR 2015) auch für Beschichtungen, Bekleidungen und Dämmschichten.“

Tabelle 19 – Zusammenfassung der Anforderungen an Lüftungsanlagen (Hengstler 2018)

	Wohnhäuser der Gebäude- klasse I	Wohnhäuser der Gebäude- klasse II	Wohnhäuser der Gebäude- klasse III	Wohnhäuser der Gebäude- klasse IV	Wohnhäuser der Gebäude- klasse V	Wohnhoch- häuser (MHHR)
Anforderungen an zentrale Lüftungs- anlagen	Lüftungs- leitungen aus brennbaren Baustoffen zulässig	Lüftungs- leitungen aus brennbaren Baustoffen zulässig	Lüftungs- leitungen aus nicht- brennbaren Baustoffen	Lüftungs- leitungen aus nicht- brennbaren Baustoffen	Lüftungs- leitungen aus nicht- brennbaren Baustoffen	Lüftungs- leitungen aus nicht- brennbaren Baustoffen
	k.Anf.	k.Anf.	k.Anf.	Lüftungs- anlagen sind in Lüftungs- zentralen unterzubringen	Lüftungs- anlagen sind in Lüftungs- zentralen unterzubringen	Lüftungs- anlagen sind in Lüftungs- zentralen unterzubringen
Anforderungen an dezentrale Lüftungs- geräte	Keine (vgl. Kapitel 2.3.4.1 in (Hengstler 2018))	Keine (vgl. Kapitel 2.3.4.1 in (Hengstler 2018))	Keine (vgl. Kapitel 2.3.4.1 in (Hengstler 2018))	Keine (vgl. Kapitel 2.3.4.1 in (Hengstler 2018))	Keine (vgl. Kapitel 2.3.4.1 in (Hengstler 2018))	

6 Wärmequellenerschließung

Eine detaillierte Beschreibung der Quellenverfügbarkeit für Wärmepumpensysteme in Mehrfamilienhäusern ist im Meilensteinbericht zu AP 2.1 zu finden. In diesem Kapitel werden in erster Linie Vorgaben aus Normen und Gesetzen dargestellt, die den Rahmen für die Nutzungsmöglichkeiten verschiedener Wärmequellen bilden.

6.1 Luft-WP

6.1.1 Luft-WP

Die genehmigungsfreie Wärmequelle Luft wird von rechtlicher Seite in erster Linie durch die Schallemissionen der Wärmepumpe limitiert. Dabei werden ca. 90 % der Emissionen vom Ventilator verursacht. Weitere Schallquellen sind der Kompressor, Strömungs- und Umschaltgeräusche (Abtauvorgang) sowie Unwucht-Erregungen (Bongs et al. 2013, S. 78).

Bei Lärm wird nach Art bzw. Verursacher unterschieden. Die Schallemissionen einer WP fallen dabei unter die technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm 1998). Die Grenzwerte sind in Kapitel 7.3 detailliert beschrieben.

Um die Grenzwerte einzuhalten sind nach (Bongs et al. 2013, S. 79) mehrere Möglichkeiten zur Reduktion des Lärms möglich:

- Körperschallisolierte Geräteaufstellung (vgl. Punkte 1-4 in Abbildung 5)
- Entkopplung der Rohrleitungsanschlüsse (vgl. Punkt 2 - Segeltuchmanschette)
- Ausreichende Entfernung der Schallquellen von schutzbedürftigen Räumen
- Vermeidung von Reflexionen (bspw. Hauswände)
- Strömungsgünstige Ausführung von Luftkanälen
- Resonanz-Schalldämpfer in Lichtschächte einbauen
- Absorbierende Verkleidung von Luftkanälen (vgl. Punkt 5 und 6)
- Einbau von Schalldämpfern in Luftkanäle (vgl. Punkt 7)

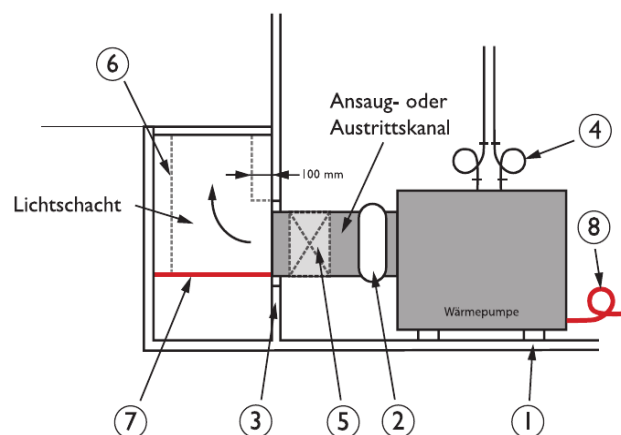


Abbildung 5 – Schallminderungsmaßnahmen (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. 2016)

6.1.2 Abluft-WP

Wie bei der Außenluft-WP ist vor allem auf den zulässigen Schalldruckpegel zu achten. Da sich Abluft-WP im Regelfall im Gebäude befinden, gelten die hierfür relevanten Grenzwerte von 25 dB(A) bei Nacht und 35 dB(A) bei Tag (s. auch Kapitel 7.3).

6.2 Erdreich-WP

6.2.1 Erdreich-WP – Erdsonden

Für die Errichtung und den Betrieb einer Erdwärmesonden (EWS)-WP sind nachfolgende Gesetze und Paragraphen zu beachten:

Wasserrecht:

- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Länderspezifische Gesetze (bspw. Wassergesetz (WG) für Baden-Württemberg)

Hierunter fällt beispielsweise die wasserrechtliche Anzeigepflicht nach § 37 WG.

Bergrecht:

- Bundesberggesetz (BergG)
- Lagerstättengesetz (LagerstG)

Als Beispiel für das Bergrecht muss jede Bohrung nach §4 LagerstG angezeigt werden, im Falle von Bohrungen > 100 m zusätzlich auch nach §127 BBergG. Ein detaillierter Überblick über die erforderlichen Anzeige- und Genehmigungsverfahren ist in Abbildung 6 zu finden.

Da der Bohrvorgang einen schädlichen Einfluss auf das Grundwasser haben kann gibt es Einschränkungen für den Bau und Betrieb von Wärmepumpen in bestimmten Schutzgebieten. Die thermische Nutzung des Erdreiches ist in folgenden Gebieten eingeschränkt:

Tabelle 20 – Einschränkungen für EWS-WP in bestimmten Gebieten (Umweltministerium Baden-Württemberg 2005, S. 18)

Gebiet	Einschränkungen für Grundwasser WP-Bau / -Betrieb
Schutzgebiet (Wasser- / Quellenschutzgebiet)	
Zone I	WP-Bau / -Betrieb verboten
Zone II	WP-Bau / -Betrieb verboten
Zone IIIA	Einzelfallprüfung – erlaubt mit wasserrechtlicher Zusatzanforderung wenn EWS außerhalb genutzten Aquifers
Zone IIIB	Einzelfallprüfung – mit wasserrechtlicher Zusatzanforderung
Kein Schutzgebiet	
Fallgruppe A ¹	WP-Bau / -Betrieb erlaubt
Fallgruppe B/1, B/2 ²	WP-Bau / -Betrieb erlaubt
Fallgruppe B/3	Einzelfallprüfung – evtl. wasserrechtliche Zusatzanforderung
Fallgruppe C ³	Einzelfallprüfung – mit wasserrechtlicher Zusatzanforderung
Engerer Zustrombereich sensibler Nutzungen (Heilquellen, private Wasserfassungen,...)	
Zustrombereich	Einzelfallprüfung – mit wasserrechtlicher Zusatzanforderung

Folgende Einschränkungen bzgl. des Abstandes der Bohrungen zu Objekten sind nach Koenigsdorff zu berücksichtigen (Koenigsdorff 2011, S. 102):

¹ Fallgruppe A: Untergrund für EWS hydrogeologisch günstig (geringe Durchlässigkeit, keine Stockwerksgliederung) – geringe Gefahr für Grundwasser durch Bau und Betrieb einer EWS-WP

² Fallgruppe B: Untergrund für EWS nur bis zu bestimmten Tiefen (200, 100, < 100 m) hydrogeologisch günstig – geringe Gefahr für Grundwasser durch Bau und Betrieb einer EWS-WP

³ Fallgruppe C: Untergrund für EWS nur eingeschränkt hydrogeologisch günstig bis problematisch (Hohlräume, Spülungsverluste) – Bau und Betrieb einer EWS-WP mit zusätzlichen Auflagen

- Abstand Bohrung zu Gebäude > 2 m
- Abstand Bohrung zu Versorgungsleitungen > 2-3 m
- Abstand Bohrung zu Grundstücksgrenzen > 5-10 m

Nach (VDI 4640 Blatt 2:2019) muss die Auslegung der WP-Anlage mit EWS so erfolgen, dass folgende Eintrittstemperatur des Wärmeträgerfluids in die EWS im Heizbetrieb nicht unterschritten werden:

- Dauerbelastung (Monatsmittel): 0 °C
- Spitzenbelastung: -5 °C

TYP	PROJEKTMERKMALE a) Bohrlochtiefe b) Grundstücksbezogenheit der Erdwärmeerschließung und -nutzung	ANZEIGE- UND GENEHMIGUNGSVERFAHREN BEI DEN ZUSTÄNDIGEN BEHÖRDEN	
		UNTERE VERWALTUNGSBEHÖRDE	LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU (LGRB)
I	a) kleiner 100 m b) Projekt grundstücks-bezogen	BOHRANZEIGE nach § 37 Abs. 2 WG • keine wasserrechtliche Erlaubnispflicht: kein förmlicher Bescheid oder wasserrechtliche Erlaubnis im vereinfachten Verfahren nach § 108 Abs. 4 WG: Es erfolgt eine entsprechende Mitteilung der Unteren Verwaltungsbehörde. oder • wasserrechtliche Erlaubnis im förmlichen Verfahren nach § 108 Abs. 3 WG: förmlicher Bescheid der Unteren Verwaltungsbehörde	BOHRANZEIGE nach § 4 Lagerstättengesetz keine schriftliche Rückäußerung der Behörde
II	a) größer 100 m b) Projekt grundstücks-bezogen	BOHRANZEIGE nach § 37 Abs. 2 WG • Regelfall: wasserrechtliches Verfahren wie oben (Projekttyp I) oder • Ausnahmefall: Bei bergrechtlicher Betriebsplanpflicht ist für das gesamte Anzeigeverfahren nach § 37 Abs. 2 WG und ggf. für die Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis im förmlichen Verfahren nach § 108 Abs. 3 WG die Bergbehörde zuständig (vgl. § 37 Abs. 5 WG und § 14 Abs. 2 WHG).	BOHRANZEIGE nach § 127 BBergG und § 4 Lagerstättengesetz • Regelfall: bergrechtlicher Freigabebescheid ggf. mit Nebenbestimmungen oder • Ausnahmefall: Betriebsplanpflicht Anforderung eines technischen Betriebsplanes durch die Bergbehörde und Zulassungsverfahren mit förmlichem Bescheid ; ggf. wasserrechtliches Erlaubnisverfahren mit förmlichem Bescheid (vgl. § 14 Abs. 2 WHG)
III	a) kleiner oder größer 100 m b) Projekt grundstücks-übergreifend	BOHRANZEIGE nach § 37 Abs. 2 WG • keine wasserrechtliche Erlaubnispflicht: kein förmlicher Bescheid oder • wasserrechtliche Erlaubnis im förmlichen Verfahren nach § 108 Abs. 3 WG: förmlicher Bescheid der Unteren Verwaltungsbehörde. Bei bergrechtlicher Betriebsplanpflicht ist die Bergbehörde für das Verfahren zuständig (vgl. § 14 Abs. 2 WHG).	ANTRAG AUF BERGRECHTLICHE GENEHMIGUNG nach §§ 6 ff. und 51 ff. BBergG; erfüllt gleichzeitig § 4 Lagerstättengesetz • bergrechtliches Genehmigungsverfahren mit förmlichem Bescheid und • bei Betriebsplanpflicht ggf. wasserrechtliches Erlaubnisverfahren in der Zuständigkeit der Bergbehörde im Einvernehmen mit der Unteren Verwaltungsbehörde mit förmlichem Bescheid (vgl. § 14 Abs. 2 WHG)

Abbildung 6 – Anzeige und Genehmigung von EWS am Beispiel Baden-Württembergs
(Umweltministerium Baden-Württemberg 2005, S. 16)

Zur Auslegung von Erdwärmesonden sind nach (VDI 4640 Blatt 2:2019) Rechen- und Simulationsverfahren einzusetzen, die den zeitlichen Verlauf der thermischen Belastung der EWS und die daraus resultierenden Temperaturen des Wärmeträgerfluids in der Sondenanlage sowie im Bohrloch hinreichend genau abbilden, sodass die Einhaltung vorgegebener Temperaturgrenzen überprüft werden kann. Hierfür sind der thermische Bohrlochwiderstand, die Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Untergrundes sowie Angaben zum Lastprofil mindestens als Eingangsgrößen notwendig. Zur Auslegung stehen verschiedene Verfahren, wie analytische Lösungen, Nomogramme und vereinfachte

Berechnungsverfahren, Simulationen mit Näherungsfunktionen sowie numerische Simulationen zur Verfügung.

Zur Vereinfachung der Auslegung von Kleinanlagen sieht die (VDI 4640 Blatt 2:2019) eine Berechnung mit Hilfe von Kennwerten, die auf Berechnungen aus Simulationen mit Näherungsfunktionen beruhen vor. Dazu müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Heizleistung bis max. 30 kW¹
- Jahresvolllaststunden zwischen 1.200 und 2.400 h
- Sondentiefe zwischen 50 und 200 m; max. 5 Sonden in linienförmiger Anordnung
- Je 6 m Abstand zwischen Sonden um thermische Wechselwirkungen zu verhindern
- Effektiver thermischer Bohrlochwiderstand $R_b = 0,12 \text{ K/(W/m)}$
- Annahme turbulenter Strömung (laminar: 15 - 21 % Einbußen)
- Annahme mittlerer Untergrundtemperatur über EWS von 11 °C

6.2.2 Erdreich-WP – Erdwärmekollektor

Durch den Einsatz der gleichen Frostschutzmittel in Erdwärmekollektoren (EWK) und -sonden gelten für Kollektoren ähnliche Vorschriften, beispielsweise bzgl. des Grundwasserschutzes (Koenigsdorff 2011, S. 124). In den Zonen IIIA und IIIB (Wasser- und Heilquellenschutzgebiete) dürfen unter bestimmten Voraussetzungen EWK installiert und betrieben werden. Als Bedingung hierfür gilt (Umweltministerium Baden-Württemberg 2008, S. 12):

- EWK darf nicht tiefer als 5 m liegen
- Kollektor darf keinen Kontakt zum Grundwasser haben
- 2 m starke Dichtschicht mit $k_f^2 < 10^{-6} \text{ m/s}$ (bspw. Lehm) muss unterhalb des Kollektors liegen - alternativ 1 m starke Dichtschicht mit $k_f < 10^{-8} \text{ m/s}$ (bspw. Ton)

Grundlegende Auslegungskriterien für WP mit Erdwärmekollektoren sind nach (VDI 4640 Blatt 2:2019) für den Rohrabstand sind die Gewährleistung einer minimalen Temperatur von -5 °C der zur WP zurückkehrenden Sole und die Gewährleistung eines ganzjährigen Versickerns von Schmelz- und Niederschlagswasser. Für einen verbesserten Wärmeübergang vom Boden in das Wärmeträgermedium sollte die Dimensionierung der Rohrquerschnitte so erfolgen, dass die Strömungsgeschwindigkeit im turbulenten Bereich liegt. Für die Auslegung gibt die Norm maximale flächenspezifische Entzugsleistungen und Jahresnutzenergie sowie die zugehörigen Rohrabstände abhängig von der Bodenart und der Klimazone an.

Der Abstand zu Grundstücksgrenze, Gebäuden und Versorgungsleitungen sollte 1 m nicht unterschreiten (Koenigsdorff 2011, S. 124).

6.3 Wasser-WP

Bei der Quelle Wasser kann zwischen Grund-, Oberflächen- und Abwasser unterschieden werden. Während das Grundwasser eine relativ konstante Temperatur zwischen 10 und 11 °C besitzt, variiert die Temperatur von Flüssen ähnlich der der Luft, wenn auch mit einer um 1,5 bis 2 K verminderten Amplitude (Cube 1977).

Eine Abschätzung der notwendigen Quellenleistung ist nach der (VDI 4640 Blatt 2:2019) mit Hilfe der nachfolgend gezeigten Tabelle 21 möglich. Die Temperaturspreizung gibt dabei den Temperaturunterschied zwischen Grundwasser und Kältemittel an.

¹ Entspricht ca. 4-6 Wohneinheiten (WE)

² Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f ist eine Größe zur Quantifizierung der Permeabilität des Bodens für Flüssigkeiten wie Wasser.

Tabelle 21 – Erforderliche Brunnenleistung (VDI 4640 Blatt 2:2019)

Leistung (grundwasserseitig) in kW	Temperaturspreizung ΔT in K			
	2	3	4	5
	Brunnenleistung in m ³ /h			
1	0,4	0,29	0,22	0,2
4	1,7	1,1	0,9	0,7
6	2,6	1,7	1,3	1,0
8	3,4	2,3	1,7	1,4
10	4,3	2,9	2,2	1,7
20	8,6	5,7	4,3	3,4
30	12,9	8,6	6,5	5,2

6.3.1 Grundwasser

Bei der Verwendung des Grundwassers als Wärmequelle sind Brunnen erforderlich und es müssen die hydrogeologischen Verhältnisse bekannt sein. Dies umfasst zum Beispiel die Mächtigkeit des Grundwasserleiters, die Ergiebigkeit, Strömungsverhältnisse oder auch chemische Eigenschaften des Wassers. Im Standardfall gibt es neben dem Saugbrunnen zur Wasser-Entnahme auch einen Rückgabeburinen zur Rückführung des Wassers. Um einen hydraulisch-thermischen Kurzschluss zu vermeiden muss der Schluckbrunnen stromabwärts platziert werden. Als Richtwert gilt für Kleinanlagen (Ein- bis Zweifamilienhäuser) ein Mindestabstand von 10 bis 15 m (Koenigsdorff 2011, S. 72). Des Weiteren wird in der VDI 4640 ein Abstand der Brunnen zum Gebäude von 2 m empfohlen (VDI 4640 Blatt 2:2019). Die Förderhöhe sollte bei kleineren Anlagen 15 m nicht überschreiten, da der Energiebedarf zur Förderung des Wassers die Anlage mit zunehmender Tiefe unwirtschaftlicher macht. Für größere Anlagen sind Tiefen bis zu 50 m denkbar (Koenigsdorff 2011, S. 69).

Aufgrund der hohen Bedeutung des Grundwassers für die Trinkwassergewinnung¹ wird das Grundwasser durch Gesetze wie das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und die Wassergesetze der jeweiligen Bundesländer geschützt. Folgende Paragraphen des WHG sind im Zuge einer Erdwärmenutzung mittels Wasserwärmepumpe zu beachten (WHG 2009, 7 ff.):

- § 5: Nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften gilt es zu vermeiden
- § 8: Die Benutzung eines Gewässers bedarf einer Erlaubnis / Bewilligung
- § 9: Benutzungen im Sinne des WHG sind:
 - das Einbringen / Einleiten von Stoffen in das Gewässer
 - das Entnehmen, Zutage fördern und Ableiten von Grundwasser
 - mögliche dauerhafte nachteilige Veränderungen der Wassereigenschaften

¹ Fast 75 % des deutschen Trinkwassers werden aus Grundwasservorkommen gewonnen (Umwelt Bundesamt 2012)

Tabelle 22 zeigt die Gebiete mit Einschränkungen der thermischen Nutzung des Grundwassers.

*Tabelle 22 – Einschränkungen für Grundwasser-Wärmepumpen in bestimmten Gebieten
(Umweltministerium Baden-Württemberg 2009, S. 11)*

Gebiet	Einschränkungen für Grundwasser WP-Bau / -Betrieb
Qualitative Schutzzone: Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete	
Zone I (Fassungsbereich)	WP-Bau / -Betrieb verboten
Zone II (Engere Schutzzone)	WP-Bau / -Betrieb verboten
Zone IIIA (Weitere Schutzzone)	WP-Bau / -Betrieb verboten
Zone IIIB (Weitere Schutzzone)	i. d. R. WP-Bau / -Betrieb möglich wenn Zwischenkreislauf mit Wasser als Wärmeträger
Quantitative Schutzzone: Heilquellenschutzgebiete	
Schutzzonen A, A/1, A/2	WP-Bau / -Betrieb verboten
Schutzzonen B, B/1, B/2	i. d. R. WP-Bau / -Betrieb möglich
Zustrombereiche sensibler Nutzungen	
Enger Zustrombereich	WP-Bau / -Betrieb verboten
Weiterer Zustrombereich	i. d. R. WP-Bau / -Betrieb möglich

Neben dem Wasserhaushaltsgesetz sind unter anderem folgende Gesetze zu beachten (Umweltministerium Baden-Württemberg 2009, S. 22 ff.):

- LagerstG (Lagerstättengesetz): Anzeige der Bohrung zwei Wochen vor Bohrbeginn
- BbergG (Bundesberggesetz): Greift, wenn Bohrtiefe > 100 m und / oder Erschließung und Nutzung der Erdwärme grundstücksübergreifend ist:
 - Bohrung > 100 m und grundstücksbezogenes Projekt: Bohranzeige nach §127 BbergG
 - Bohrung < / > 100 m und grundstücksübergreifendes Projekt: Antrag auf bergrechtliche Genehmigung nach §6 und §51 BbergG
- Länderspezifische Gesetze¹

Weitere Limitierungen bestehen im Bereich der Wiedereinleitung des Wassers (Umweltministerium Baden-Württemberg 2009, S. 16; VDI 4640 Blatt 2:2019):

- Das Wasser muss in das Stockwerk (Schicht) der Entnahme zurückgeführt werden und ist dabei unterhalb der Grundwasseroberfläche einzuleiten
- Der Schluckbrunnen muss ausreichend dimensioniert sein (sonst Vernässung)
- Die maximale Temperaturabweichung gegenüber dem ungestörten Wasser ist ± 6 K
- Die max. bzw. min. Temperatur der Rückführung liegt bei 20 °C bzw. 5 °C, da Fauna und Mikroorganismen sensibel auf Temperaturänderungen reagieren

¹ Beispiel Baden-Württemberg: Nach dem WG (Wassergesetz) muss die Bohrung bei der unteren Wasserbehörde angezeigt werden (Umweltministerium Baden-Württemberg 2009, S. 22). Die untere Wasserbehörde ist dabei als Verwaltungsteiles eines Landratsamtes zu verstehen, dass sich mit Wasserrecht und Wasserwirtschaft auseinandersetzt.

6.3.2 Abwasser

Bei der Wärmerückgewinnung (WRG) aus Abwässern wird zwischen einer zentralen Rückgewinnung aus dem öffentlichen Kanalisationsnetz und einer dezentralen Rückgewinnung auf privaten Grundstücken unterschieden (Brunk 2013, S. 2). Ein dritter möglicher Standort ist die Kläranlage selbst, jedoch liegt diese meist außerhalb von Siedlungsgebieten und wird daher nicht weiter betrachtet (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. et al. 2005, S. 24).

Bei der zentralen Variante wird die Wärme mittels flächiger, in die Kanalrohrwandungen integrierter, Wärmeübertrager dem Abwasser entzogen. Die Temperaturen des Abwassers liegen im Kanalisationsnetz im Schnitt zwischen 10 und 15 °C. Folgende Voraussetzungen sollten bei einer WRG erfüllt sein (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. et al. 2005, S. 9):

- Große Durchmesser der Kanäle ($> 0,8$ m)
- Geringe Entfernung zu Wärmesenken (< 300 m)
- Volumenstrom sollte auch bei trockenem Wetter hoch sein (> 15 l/s)
- Geradliniger Verlauf des Kanals (> 20 m)
- Keine zu tiefe Abkühlung, da sonst negative Folgen für Klärbetrieb (> 10 °C)

Mit dem Eintritt des Abwassers in die öffentliche Kanalisation geht auch rechtlich der Besitz an die Öffentlichkeit über. Zur Nutzung der Abwasserwärme ist das Einverständnis der Kläranlagen- und Kanalisationsbetreiber notwendig (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. et al. 2005, S. 31). In Deutschland gibt es keine spezifischen gesetzlichen Grundlagen bezüglich der Abwasserwärmenutzung. Je nach Bundesland gibt es jedoch eine Genehmigungspflicht für „sonstige Abwasseranlagen“ (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. et al. 2005, S. 31).

Durch die Abkühlung des Abwassers nimmt die Wachstumsgeschwindigkeit von Mikroorganismen und damit der Wirkungsgrad der Stickstoffbeseitigung ab. Von Abwasserfachleuten wird daher folgende Empfehlungen ausgesprochen um die Funktion der Kläranlage nicht zu beeinträchtigen (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. et al. 2005, S. 31; Buri und Kobel 2004, S. 9): Die Abwassertemperatur sollte am Einlauf der Kläranlage nicht unter 10 °C abfallen und die resultierende Abkühlung kleiner als 0,5 K sein.

6.4 Weitere Vorgaben

6.4.1 Quellenkombinationen/ Sonderformen

Ein Nachteil der Luft-Wärmepumpen liegt in der stark schwankenden Effizienz aufgrund der jahreszeitlichen Periodizität. Mithilfe von Luft-Erdwärmetauschern besteht die Möglichkeit die Zuluft der Wärmepumpe im Winter über das Erdreich vorzuwärmen und damit den Wirkungsgrad des Systems zu steigern. Umgekehrt ist auch eine Kühlung im Sommer über die Abgabe von Wärme an den Untergrund denkbar.

Bei der Verlegung der Zuluftrohre in einer Tiefe von ca. 1,5-2 m kann mit einer Temperatur von etwa 10 °C gerechnet werden. Ein typischer Durchmesser der verlegten Rohre liegt bei ca. 0,2 m und einer Länge von 30 m. Der Abstand der Rohre zueinander sollte dabei der Verlegungstiefe entsprechen. Diese Werte sind dem Wärmeübergang und Druckverlust geschuldet (Loose 2009, S. 100 ff.).

Aufgrund der Beeinflussung des Erdreiches durch die Luft entsteht ein System mit einer thermischen Rückkopplung. Nutzttemperaturhübe von bis zu 20 K sind möglich. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Lufteintrittstemperatur und Erdreichtemperatur ist, desto größer ist die übertragene Wärmeleistung. Somit dämpft ein Luft-Erdwärmetauscher hauptsächlich Spitzen ab (Koenigsdorff 2011, S. 132 ff.).

6.4.2 Dimensionierung der Wärmequelle

Abhängig von der Art der Wärmequelle für Wärmepumpen ergeben sich unterschiedliche Entzugspotentiale. Von den drei Umweltwärmequellen (Wasser, Erde, Luft) hat Wasser die höchste durchschnittliche Quellentemperatur und daher ist auch die größte Effizienz der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpe erreichbar. Das verfügbare Potential ist allerdings durch Gesetze und Vorkommen stark eingeschränkt (vgl. Abbildung 7). Bei der Nutzung des Erdreichs spielen die verfügbare Freifläche um ein Gebäude und die physikalischen Stoffeigenschaften des Bodens eine wichtige Rolle. Die Verfügbarkeit ist höher, die Effizienz allerdings aufgrund der niedrigeren Quellentemperatur schlechter. Im Zuge der Quellendimensionierung muss die in Frage kommende Quelle bzgl. ihrer benötigten Fläche (Erdreich) oder des benötigten Volumenstromes (Wasser, Luft) ausgelegt werden um den für die WP benötigten Bedarf zu decken.

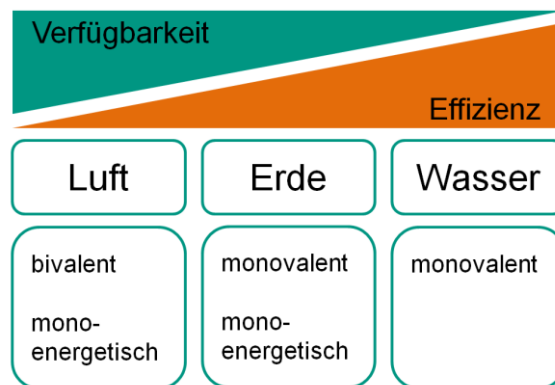


Abbildung 7 – Gegenüberstellung Verfügbarkeit und Effizienz von Umweltwärmequellen nach (EnergieAgentur NRW 2007, S. 21)

Je nach Quellenart / Wärmebedarf ist eine monovalente Betriebsweise¹ nicht möglich bzw. unwirtschaftlich. In diesem Fall müsste ein zweiter Wärmeerzeuger (bivalent) installiert werden. Wird die Zusatzheizung mit dem gleichen Energieträger wie die WP betrieben handelt es sich um eine monoenergetische Betriebsweise. Dies wäre bei einem elektrisch betriebenen Heizstab in Kombination mit einer Kompressionswärmepumpe der Fall.

Thermische Energie besitzt einen niedrigeren Exergieanteil als elektrische Energie. Aufgrund dessen ist auch die Leistungszahl thermisch angetriebener Wärmepumpen niedriger und folgerichtig wird bei diesem WP-Typ weniger Heizwärme aus der Wärmequelle entzogen und diese kann kleiner dimensioniert werden. Beim Vergleich zwischen einer Kompressions- und einer Absorptions-WP benötigt erstere eine ca. 70-80 % leistungsfähigere Quelle als die Absorptions-Wärmepumpe (Koenigsdorff 2011, S. 60–61).

¹ Wärmebereitstellung nur über die WP

7 Komfort

7.1 Thermischer Komfort

Im Kontext der Regeln zur Energieeinsparung und thermischen Behaglichkeit muss bei der Planung eines Gebäudes als rechtsverbindlich anzuwendende Vorschrift für alle Räume mit einer üblichen Innenraumtemperatur größer 19 °C der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes geführt werden (GEG 2020, § 14), der in der DIN 4108-2 (DIN 4108-2:2013-02) festgelegt ist. Das Nachweisverfahren der DIN 4108-2 sichert die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden unter standardisierten Nutzungsbedingungen, garantiert aber nicht, dass ein unkritisches sommerliches Temperaturverhalten in allen Teilen eines Gebäudes erwartet werden kann. Die Norm weist explizit darauf hin, dass Berechnungsergebnisse aufgrund standardisierter Randbedingungen nur bedingt Rückschlüsse auf tatsächliche Überschreitungshäufigkeiten erlauben. Eine kritische Überprüfung der Nutzungsbedingungen des Gebäudes hinsichtlich der Übereinstimmung mit denen im normativen Nachweisverfahren muss daher Bestandteil jeder Planung sein.

Die Europäische Norm (DIN EN 16798-1:2021) stellt mit zwei Komfortmodellen – dem PMV (Predicted Mean Vote) und dem adaptivem Modell – verbindliche Vergleichskriterien zur Bewertung des thermischen Komfort in der Heiz- und Kühlperiode zur Verfügung. Das erlaubt eine Klassifizierung der Räume in unterschiedliche Komfortklassen. Damit kann über die Anforderungen nach DIN 4108-2 hinaus ein planerisches Ziel definiert werden. Anforderungen an die lokale thermische Behaglichkeit, wie zum Beispiel Zugluft, vertikale Temperaturgradienten, Oberflächentemperaturen und Strahlungsasymmetrie, werden in der EN ISO 7730 beschrieben (DIN EN ISO 7730:2005).

Komfortmodelle

Die Bewertung des thermischen Komforts in der Heiz- und Kühlperiode erfolgt mit verbindlichen Vergleichskriterien nach der Europäischen Norm (DIN EN 16798-1:2021). Für jeweils vier Komfortklassen werden für die Heiz- und Kühlperiode minimale und maximal zulässige Raumtemperatursollwerte definiert. Die Komfortklassen stehen mit dem Maß an möglichen Erwartungen der Gebäudenutzer in Zusammenhang. Das durchschnittliche Maß an Erwartungen ist Kategorie II „mittel“. Während der Heizperiode wird eine Raumtemperatur von 22 °C mit einem Komfortband von $\pm 2,0$ K (Kategorie II) festgelegt (vgl. (DIN EN ISO 7730:2005)). Im Sommer werden Anforderungen an den thermischen Komfort gemäß des im Gebäude implementierten Kühlkonzeptes nach zwei Komfortmodellen definiert – dem adaptiven und dem PMV-Modell.

Adaptives Komfortmodell: Gebäude ohne maschinelle Kühlung, d.h. mit ausschließlich passiven Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz und freier Lüftung, werden mit einem adaptiven Komfortmodell bewertet, welches sowohl Änderungen des Außenklimas als auch die Einflussnahme sämtlicher Nutzer auf ihre unmittelbare Umgebung berücksichtigt. Der geforderte Sollwert für die operative Raumtemperatur (ORT) bestimmt sich in Abhängigkeit des gleitenden Tagesmittels der Außentemperatur als operative Raumtemperatur und einem Komfortband von +3 K und -4 K für Komfortklasse II. Es ist insbesondere für die Kühlperiode relevant.

PMV-Komfortmodell: Gebäude, die durch eine maschinelle Kühlung aktiv konditioniert werden, sollten festgelegte Raumtemperatursollwerte einhalten, unabhängig von den vorherrschenden Außentemperaturbedingungen: Sollwert für die operative Raumtemperatur von 24,5 °C und einem Komfortband von $\pm 1,5$ K für Komfortklasse II in der Kühlperiode und ein Sollwert von 22 °C und einem Komfortband von ± 2 K für die Komfortklasse II in der Heizperiode (vgl. (DIN EN ISO 7730:2005)).

„Maschinelle Kühlung“ wird in der (DIN EN 16798-1:2021) in Abhängigkeit der Erwartung der Nutzer an die Raumtemperatur im Sommer wie folgt definiert: Zuluftkühlung, Umluftkühlung, Kühlung von Raumumschließungsflächen (TABS), jede Form der maschinellen Lüftung. Das Öffnen von Fenstern wird dabei ausdrücklich nicht als maschinelle Kühlung gewertet, auch wenn dies kontrolliert und automatisiert erfolgt. In Anhang B der (DIN EN 16798-1:2021) sind die empfohlenen Kriterien für das

thermische Raumklima für verschiedene Nutzungsarten in Gebäuden beschrieben. Für die Auslegung maschinell gekühlter und geheizter Gebäude werden die in Tabelle 23, bzw. Tabelle 24 aufgelisteten Komfortkategorien und Temperaturbereiche empfohlen.

Tabelle 23 – Empfohlene Komfortkategorien für Wohnräume mit maschineller Kühlung und Heizung nach (DIN EN 16798-1:2021) (Schlafzimmer, Wohnzimmer, Küche etc.); PPD: predicted percentage of dissatisfied.

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Operative Raumtemperatur [°C]	
	PPD %	Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)	Mindestwert Heizperiode	Höchstwert Kühlperiode
I	<6	$-0,2 < PMV < +0,2$	21,0	25,5
II	<10	$-0,5 < PMV < +0,5$	20,0	26,0
III	<15	$-0,7 < PMV < +0,7$	18,0	27,0
IV	<25	$-1,0 < PMV < +1,0$	16,0	28,0

Aus den in Tabelle 23 angegebenen Mindest- und Höchstwerten ergeben sich die in Tabelle 24 angegebenen empfohlenen Innentemperaturbereiche für Energieberechnungen für die Heizung und Kühlung. Bei der Heizung sollte eine Temperatur von 25 °C nicht überschritten werden.

Tabelle 24 – Empfohlene Innentemperaturbereiche für Energieberechnungen für Wohngebäude/-räume nach (DIN EN 16798-1:2021) (Schlafzimmer, Wohnzimmer etc.).

Kategorie	Temperaturbereich Heizung [°C]	Temperaturbereich Kühlung [°C]
I	21,0 – 25,0	23,5 – 25,5
II	20,0 – 25,0	23,0 – 26,0
III	18,0 – 25,0	22,0 – 27,0
IV	17,0 – 25,0	21,0 – 28,0

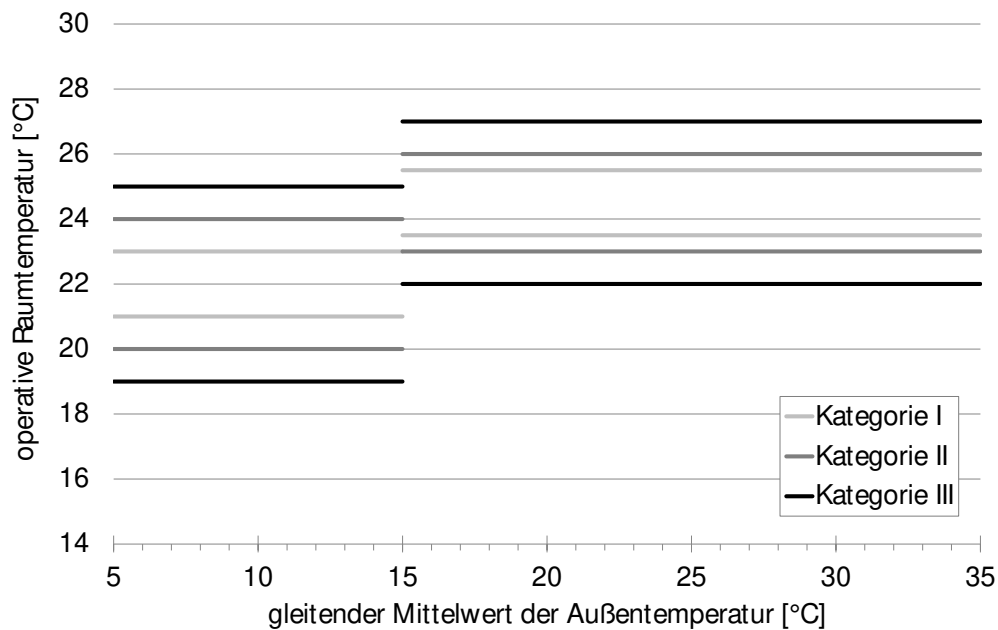


Abbildung 8 – Komfortgrenzen des PMV-Modells nach (DIN EN 16798-1:2021) und (DIN EN ISO 7730:2005) mit festgelegten Temperaturgrenzen für die Komfortklassen I bis III unabhängig von den vorherrschenden Außentemperaturbedingungen.

In Kapitel 3.3 sind die Anforderungen an die maximalen Oberflächentemperaturen von Flächenheizungen beschrieben worden. Abweichungen hiervon, bzw. große Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen raumumschließenden Flächen können eine Beeinträchtigung des thermischen Komforts verursachen (s. (DIN EN ISO 7730:2005)). Zu warme Fußboden- oder andere Flächenheizungen können zu einer lokalen Unbehaglichkeit führen. Eine Folge können unter anderem große vertikale Lufttemperaturunterschiede sein, wenn die Temperaturunterschiede zwischen Kopf und Fußgelenken im Raum zu hoch werden. Darüber hinaus führen Temperaturunterschiede der raumumschließenden Flächen zu unkomfortablen thermischen Bedingungen (Asymmetrie der Strahlungstemperatur).

7.2 Lufthygiene

Die Lufthygiene wird besonders von Personen, die ein Gebäude nutzen, und deren Aktivitäten beeinflusst. Darüber hinaus haben eingesetzte Materialien und besondere Nutzungen mit hohen Luftbelastungen (u.a. Wasserdampf), wie zum Beispiel Küchen, großen Einfluss auf die Luftqualität und den erforderlichen Mindestluftwechsel. Mindestluftwechselraten sind in der DIN V 18599-10 (DIN V 18599-10:2016) für unterschiedliche Gebäudezonen vorgegeben. Für Wohngebäude schreibt die Norm einen nutzungsbedingten Mindestluftwechsel bei bedarfsgeführter Lüftung von $n_{\text{nutz}} = 0,45 \text{ h}^{-1}$ und bei nicht bedarfsgeführter Lüftung von $n_{\text{nutz}} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ vor.

In der (DIN EN 16798-1:2021) sind darüber hinaus Luftwechselraten für Wohngebäude mit einer mechanischen Lüftung angegeben, die eine gute Luftqualität in einem Gebäude/ einer Wohnung gewährleisten sollen. Dabei werden vier Kategorien (Kategorie I: höchste zu erwartende Zufriedenheit) unterschieden. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 25 angegeben.

Tabelle 25 – Lüftungsraten von Wohnungen mit Lüftungsanlagen entsprechend Tabelle B.11 der (DIN EN 16798-1:2021)

Kategorie	Gesamtlüftungsrate der Wohnung	Wohn- & Schlafzimmer, hauptsächl. Außenluftstrom	Fortluftstrom (3 Haupträume im Wohnbereich) [l/s]		
	[l/(s*m²)]	[l/s, pers]	Küche	Bad	WC
I	0,49	10	42	21	14
II	0,42	7	30	15	10
III	0,35	4	21	10	7
IV	0,23	-	15	8	5

7.3 Schall

Bei Geräten, deren Betrieb Lärm/ Schall verursacht, sind die immissionstechnischen Anforderungen der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm), zuletzt geändert durch Bekanntmachung des BMUB vom 1. Juni 2017 (BANz AT 08.06.2017 B5) in Kraft getreten am 9. Juni 2017, zu berücksichtigen. Die TA-Lärm dient in erster Linie dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor Lärm, sowie der Vorsorge gegen Geräusche. Im Bereich der niedrigexergetischen Systeme für die Wärmebereitstellung in Mehrfamiliengebäuden ist die TA-Lärm insbesondere für (Luft-)Wärmepumpen relevant.

Die besonders relevanten Größen sind dabei der Schalldruckpegel $L_{AF}(t)$ und die Schalleistung, bzw. der Schalleistungspegel. Die Schalleistung wird durch Messungen in einem definierten Abstand zur Schallquelle ermittelt und beschreibt die Schallenergie in [W], die von einer Schallquelle in alle Richtungen abgegeben wird. Diese verteilt sich mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle auf eine immer größere Fläche. Der Schalleistungspegel ist die zugehörige und gebräuchlichere logarithmische Größe (angegeben in dB). Die wesentliche Größe für die Pegelbestimmung nach der TA-Lärm ist der Schalldruckpegel (am Empfänger).

In der TA-Lärm sind Immissionsrichtwerte für Orte innerhalb und außerhalb von Gebäuden festgeschrieben. Außerhalb von Gebäuden gelten die folgenden Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel (tags: 06:00 bis 22:00 Uhr, nachts: 22:00 bis 06:00 Uhr):

- In Industriegebieten: 70 dB(A)
- In Gewerbegebieten: tags 60 dB(A)
nachts 50 dB(A)
- In urbanen Gebieten: tags 60 dB(A)
nachts 45 dB(A)
- In Kern-, Dorf- & Mischgebieten: tags 60 dB(A)
nachts 45 dB(A)
- In allg. Wohn- & Kleinsiedlungsgebieten: tags 55 dB(A)
nachts 40 dB(A)
- In reinen Wohngebieten: tags 50 dB(A)
nachts 35 dB(A)
- In Kurgebieten, bei Krankenhäusern & Pflegeeinrichtungen: tags 45 dB(A)
nachts 35 dB(A)

Kurzzeitig dürfen die angegebenen Spitzen am Tag um bis zu 30 dB(A) und nachts um bis zu 20 dB(A) überschritten werden. Die Messung der Immissionen erfolgt mit einem Abstand von 0,5 m außen vor der Mitte des geöffneten Fensters des am stärksten von den Emissionen betroffenen schutzbedürftigen Raumes.

Innerhalb von Gebäuden betragen die Immissionsrichtwerte für den Bereitstellungspegel tagsüber 35 dB(A) und nachts 25 dB(A). Diese Werte gelten für schutzbedürftige Räume nach DIN 4109 (Wohn- und Schlafräume, Kinderzimmer, Arbeitsräume/ Büros, Unterrichts- und Seminarräume).

Im Außenbereich ist der Schalldruckpegel stark von der Schallleistung der Quelle sowie dem Aufstellort und den Gegebenheiten in der Umgebung abhängig. Der Schalldruckpegel und die Schallausbreitung sind insbesondere abhängig von:

- Massiven Hindernissen wie z.B. Häusern, Geländeformationen oder Mauern und die Abschattung durch diese
- Reflexion von Fassaden und anderen (schallharten) Oberflächen
- Absorption an absorbierenden Oberflächen wie z.B. Pflanzen, „weichen“ Oberflächen etc.
- Den örtlichen Luftverhältnissen wie Luftdruck, der Windrichtung und -geschwindigkeit oder Abminderung, bzw. Verstärkung durch Luftfeuchtigkeit

Abhängig von dem Aufstellort wird für die Beurteilung der Lärmbelastung in schutzbedürftigen Räumen der Schalldruckpegel rechnerisch berechnet. Dabei wird neben der Entfernung zwischen Lärmquelle und -empfänger das Raumwinkelmaß K_0 berücksichtigt, welches sich aus der Situation am Aufstellort ableitet und die Abstrahlbedingungen an der Schallquelle berücksichtigt. Das Raumwinkelmaß ist in Abbildung 9 illustriert und beschrieben. Der Beurteilungspegel für den Tagbetrieb ergibt sich nach (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. 2016) aus Gleichung (7.1).

$$L_T = L_{WAeq} + K_T + K_0 - 20 \cdot \log(s_m) - 11 \text{ dB(A)} + K_R \quad (7.1)$$

Dabei ist L_T der Beurteilungspegel im Tagbetrieb, L_{WAeq} der Schallleistungspegel der WP nach Herstellerangaben, K_T der Zuschlag für die Tonhaltigkeit nach Herstellangaben, K_0 das Raumwinkelmaß, K_R Zuschlag von 6 dB(A) für Zeiten mit erhöhter Empfindlichkeit und s_m der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger. Nach (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. 2016) kann der Beurteilungspegel auch mit einer kumulierten Dämpfung (Tabellenwerte) bestimmt werden (Gleichung (7.2)).

$$L_T = L_{WAeq} + K_T + \Delta L \quad (7.2)$$

Mit der Dämpfung durch Aufstellung und Entfernung ΔL (Tabellenwerte). Ein Auszug der Werte in Abhängigkeit von Raumwinkelmaß und Entfernung zum schutzbedürftigen Raum ist in Tabelle 26 aufgelistet.

Tabelle 26 – Änderung der Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Aufstellungssituation nach Abbildung 9 und der Entfernung zum schutzbedürftigen Raum (Tagbetrieb); Quelle: (Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. 2016)

Raumwinkelmaß K_0 nach Abbildung 9	Abstand von Schallquelle in [m]								
	3	4	5	6	7	8	9	10	15
	Änderung des Schalldruckpegels ΔL in [dB(A)]								
9	-5,5	-8	-10	-11,6	-12,9	-14,1	-15,1	-16	-19,5
6	-8,5	-11	-13	-14,6	-15,9	-17,1	-18,1	-19	-22,5
3	-11,5	-14	-16	-17,6	-18,9	-20,1	-21,1	-22	-25,5

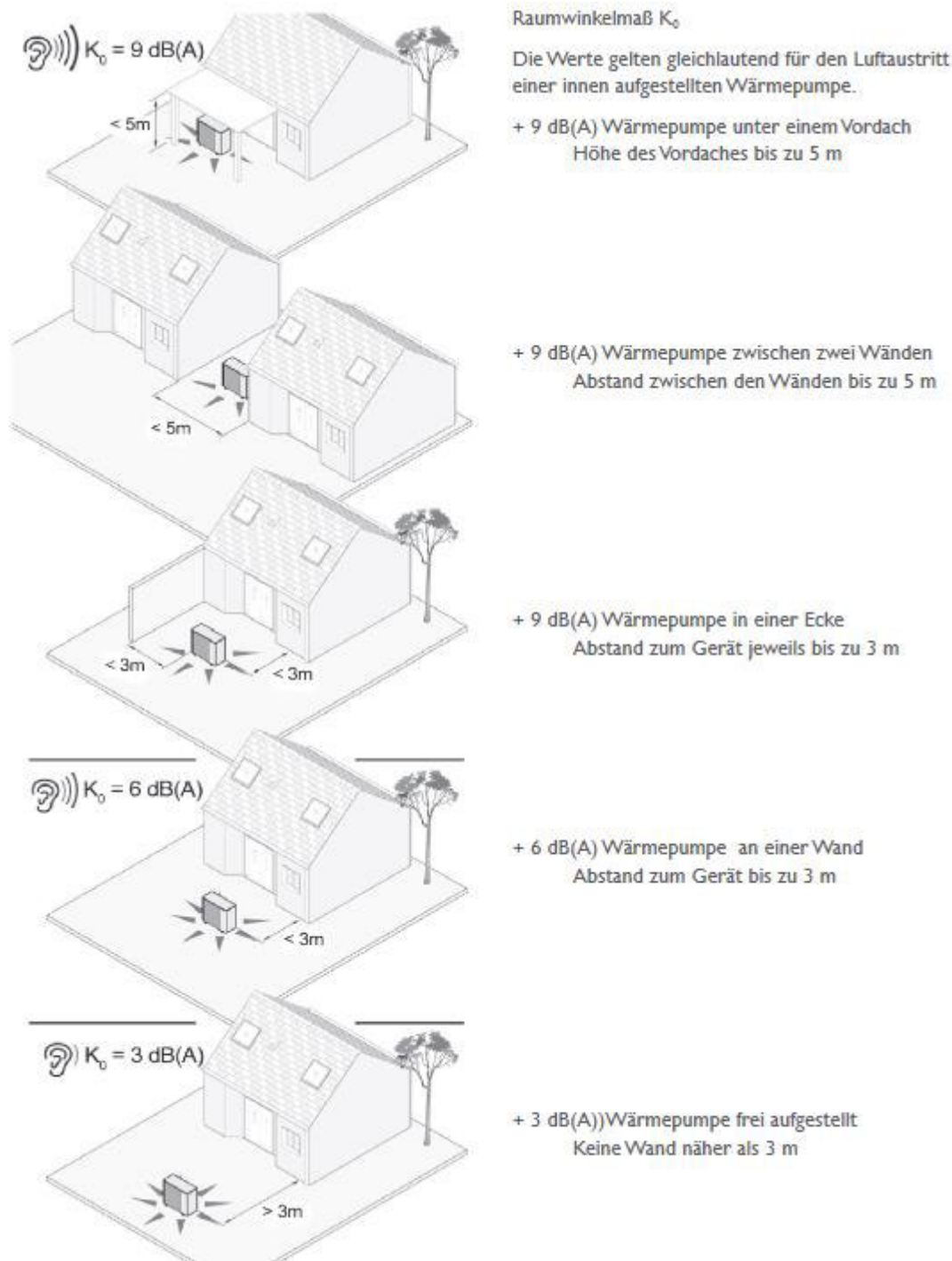


Abbildung 9 – Zuschläge für den Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Aufstellungssituationen
(Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. 2016)

Neben den Vorgaben für den Schalldruckpegel (beim Empfänger) gelten auch Maximalwerte für den Schallleistungspegel in Abhängigkeit von der thermischen Leistung von Wärmeerzeugern innen und außen. Diese sind in der Verordnung (EU) Nr. 813/2013, Anhang II Nr. 3 der Kommission (Verordnung 813/2013/EU) definiert und in Tabelle 27 aufgelistet. Diese Werte sind insbesondere für (Luft-) Wärmepumpen von besonderer Relevanz.

Tabelle 27 – Maximale Schallleistungspegel in Abhängigkeit von der thermischen Leistung von Wärmeerzeugern innen und außen; Quelle (Verordnung 813/2013/EU)

Wärmenennleistung ≤ 6 kW		Wärmenennleistung > 6 kW und ≤ 12 kW		Wärmenennleistung > 12 kW und ≤ 30 kW		Wärmenennleistung > 30 kW und ≤ 70 kW	
Schall- leistungs- pegel L_{WA} innen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} außen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} innen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} außen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} innen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} außen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} innen	Schall- leistungs- pegel L_{WA} außen
60 dB	65 dB	65 dB	70 dB	70 dB	78 dB	80 dB	88 dB

8 Fassadenintegration

Die Gebäudehülle hat diverse Aufgabenbereiche hinsichtlich des Wärme-, Feuchte-, Schallschutz, Schutz gegen UV-Strahlung, Belüftung, Dichtigkeit gegen Regenwasser etc., all diese Punkte machen die Fassade zu einem schwachen Punkt im Bauwesen.

Neben den Anforderungen an die Elemente in der Fassade und die Fassade selbst kann die Anbindung von fassadenintegrierten technischen Systemen an die Gebäudeenergiesysteme eine Herausforderung sein. Die Herausforderungen und mögliche Lösungen werden im Rahmen dieses Kapitels beschrieben.

Generell ist hier anzumerken, dass bei der Erstellung von komplexen Systemen der Planungsaufwand steigt und Planer gefragt sind, die sich in die Materie einarbeiten müssen. Die Systeme sind meistens noch nicht Stand der Technik und bedürfen tiefgreifender Erklärungen für die Projektpartner. Ebenso müssen an der Stelle viele Gewerke übergreifend zusammenarbeiten, was einen erhöhten Planungs- und Kommunikationsaufwand erfordert.

Neben diesen Herausforderungen ist festzustellen, dass es noch keine Planungswerkzeuge gibt, die diese Komponenten umfassend beinhalten und unterstützen. Einzelne Hersteller bieten kleinere Tools an zur Dimensionierung o.ä. Recherchen bei Planungssoftware Herstellern haben auch ergeben, dass es noch keine Upgrades für z.B. automatisierte Verlegeschemata für Medien in der Fassade gibt. Ähnliches gilt für Ausschreibungssoftware, die bisher nicht auf komplexe Fassadensysteme abgestimmt ist.

Eine weitere generelle Herausforderung stellt die Sicherstellung von Garantien für den Besteller von Sanierungsleistungen an der Fassade dar. Einzelne Hersteller von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) lehnen z.B. die Garantieleistungen ab für den Fall, dass andere Gewerke in/an ihrem System integriert sind. Auch hier gibt es vom Markt wenig Bestrebungen Lösungen vorzuschlagen.

Die technischen Anforderungen an die Energieversorgung im Zusammenhang mit der Fragestellung der Belastungen an die Bauteile in Fassaden hängen stark vom Standort und der Einbausituation ab. Die technischen Komponenten müssen für diese Anwendungen letzten Endes ausgelegt und qualifiziert sein. Ein wesentlicher Punkt ist die Identifikation der makroskopischen klimatischen Belastungsfaktoren wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und solare Einstrahlung auf die Bauteilebene.

In den letzten Jahren kamen immer wieder Aspekte wie Energiegewinnung, medialer Austausch (Interaktionen und mediale Informationen) oder die Individualisierung der städtebaulichen Erscheinungen hinzu. Der Trend im Fassadenbereich führt durch stetige technische Neuerungen und neue Anforderungen immer mehr in die Automatisierung der funktionalen Aspekte der Fassadenbauteile bis hin zu dynamischen Gebäudehüllen.

Für typische Anwendungen für Komponenten der Gebäudefassade sollen im nächsten Schritt Prüfungen zur Qualifizierung von Materialklassen erfolgen. Des Weiteren wird auf das Monitoring einer mit ca. 80 m² Vakuum-Isolationspaneelen wärmegeprägten Fassade zurückgegriffen, um für dieses Projekt reale Belastungsfaktoren zu quantifizieren (s. Kapitel 10.1). Die dafür relevanten Klimadaten werden in der Fassadenebene erfasst. In der Fassade verbaute Sensoren messen an verschiedenen Positionen im Wandaufbau Temperatur und Feuchte. Somit ist eine direkte Messung der Stressfaktoren in Abhängigkeit der klimatischen Belastung möglich. Ergänzend werden in der Heizperiode thermographische Messungen der Oberflächentemperaturverteilung durchgeführt.

8.1 Allgemeine Anforderungen Fassadenintegration

Die allgemeinen Anforderungen an die Integration von (Haus-) Technik in die Fassade umfassen die im folgenden beschriebenen Aspekte.

8.1.1 Rauch und Brandschutz

Eine Fassade hat hinsichtlich des Rauch- und Brandschutzes die Aufgabe, bei der Verminderung der Entstehung bzw. der Ausbreitung eines Brandes beizutragen. Notwendige Bedingung dafür sind die Zugänglichkeit des Objektes für die Feuerwehr, sowie die Ermöglichung der Brandmeldung. In der Regel wird von der zuständigen Baubehörde unter Berücksichtigung der Baustoffklassen mit den dazugehörigen Feuerwiderstandsklassen und den Anforderungen an eine Fassade und somit die Einordnung in die Feuerschutzklassen nach (DIN 4102-1:1998) Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen bzw. (DIN EN 13501-1:2010) Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihren Brandverhalten festgelegt.

Brandverhütung oder auch Verhinderung bzw. Verzögerung von Brandentwicklung und Ausbreitung gelten als grundlegende Anforderungen an Maßnahmen bei Fassaden.

In den Landesbauordnungen, sprich in den allgemeinen DIN und VDE-Vorschriften sowie in den Angaben der Bauaufsicht, sind detaillierte Angaben zu Maßnahmen, Regelungen und Vorkehrungen aufgelistet. Da die Regeln innerhalb Deutschlands von Bundesland zu Bundesland voneinander abweichen können, kommen beispielsweise auch Richtlinien des Instituts für Bautechnik (DIBt) sowie der regionalen Feuerwehr zum Einsatz.

In der (DIN 4102-3:1977) werden Fassadenverglasungen in die Brandschutzklassen F und G eingeordnet. Zur Verglasung zählen ebenso Rahmen, Befestigungselemente, Halterungen und Dichtungen, weshalb die Anforderungen jeweils auch an diese Bauteile gestellt werden. Die raumdichte Ausführung des Übergangs einer Fassade an den Rohbau durch geeignete Anschlüsse ist wichtig, da eine Ausbreitung von Rauch und Gas somit verhindert werden kann.

Innerhalb eines Fassadensystems entstehen Schwachstellen, beispielsweise bei einer vorgehängten Fassade durch ungeteilte Pfosten und Riegel im Deckenbereich oder Trennwände, sowie deren Anschlüsse an den Baukörper. Im Falle eines Brandes aufgrund hoher Temperaturen müssen Verformungen konstruktiv kompensiert werden. Um die Hitzeausbreitung reduzieren zu können, finden unter anderem Materialien Einsatz, die unter Hitze aufschäumen und abdichten oder auch Materialien, die verdampfen.

Bei der DIN 4102 wird zwischen nicht brennbaren (A) und brennbaren Baustoffen (B) unterschieden. Bei der Europäischen Norm DIN EN 13501 findet eine Unterteilung in sieben Euroklassen (A1, A2, B, C, D, E, D) sowie weitere für Rauchentwicklung (s=smoke, Klassen s1, s2 und s3) oder brennendes Abtropfen/Abfallen (d=droplets, Klassen d0, d1 und d2) und besondere Klassen für Bodenbeläge (fl=floorings) statt. Beide Normen sind gültig und gleichwertig, sie sind alternativ anwendbar (vgl. auch (BauNetz Media GmbH 2019a)). Mehr Details dazu sind in den Abschnitten 2.2 und 5.2 zu finden.

Beispiel: Fassadenintegrierte Lüftungsleitungen

Im Rahmen vom Technologieprojekt FIHLS (Förderkennzeichen FKZ: 03ET1401A) wurden im Rahmen von (Hengstler 2018) die brandschutztechnische Anforderungen an fassadenintegrierten Lüftungsleitungen untersucht. Dieses System besteht aus zentralen Lüftungsgeräten mit einer Luftverteilung in der Dämmebene der Fassade. Im Rahmen des europäischen Projekts Retrokit wurden diese Fassadenleitung schon im Feld getestet, integriert in Mineralwolle (s. Abbildung 10). Das System, das auch im Projekt FIHLS weiterentwickelt und bewertet wird, besteht aus vorgeschnittenen Dämmplatten mit Aussparungen, in welchen Lüftungsrohre aus nicht brennbaren Materialien eingeklemmt werden (vgl. Abbildung 11).



Abbildung 10 – Fassadennintegrierte Leitungen in Mineralwolle, vor Einbau der Mineralwolle-Deckplatte, Projekt RetroKit (RetroKit Project 2016).



Abbildung 11 – Lüftungsgeräte und fassadennintegrierte Leitungen in Mineralwolle, vor Einbau der Mineralwolle-Deckplatte, Projekt FIHLS (Rohrer 2018).

Das System wurde im Rahmen vom Projekt FIHLS brandschutztechnisch bewertet (Hengstler 2018). Die Grundlagen für diese Bewertung wurden wie folgt definiert: “Als Grundlage zur brandschutztechnischen Betrachtung des FIHLS-Projektes dienen die Schutzziele und Anforderungen an Fassaden und Lüftungssysteme gemäß der Musterbauordnung (MBO 2016), sowie die möglichen Brandszenarien, die auf diese Systeme einwirken können. Es muss sichergestellt sein, dass bei allen Brandszenarien die Anforderungen in den unterschiedlichen Gebäudeklassen eingehalten werden.

Da es sich beim FIHLS-Projekt um raumlüftungstechnische Anlagen handelt, die der kontrollierten Wohnungslüftung dienen (KWL-Geräte) und über Lüftungsleitungen verfügen, aber je Lüftungsgerät

immer nur eine Wohnung versorgen [...], finden die Vorgaben der Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR 2015) [...] nur bedingt Anwendung. Eine Ausführung, wie sie beim FIHLS-System geplant ist, wird in der Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR 2015) [...] bisher nicht betrachtet.“ Die Ergebnisse der brandschutztechnischen Bewertung des FIHLS-Systems an Wohngebäuden sind in Tabelle 28 im Anhang 10.1 zusammengefasst.

8.1.2 Statische Beanspruchung, Tragstruktur

Die Konstruktion betreffend müssen Fassaden für gewöhnlich nur Windlasten und ihr Eigengewicht auf die tragende Struktur übernehmen. In Sonderfällen übernehmen sie auch zusätzliche Lasten aus weiteren Bauteilen (z.B. Dächer, Wände etc.) oder aus zusätzlichen Ansprüchen in Bezug auf die Sicherheit (z.B. Absturz, Einbruch etc.). Die genannten Ansprüche können in einem Bauelement integriert sein oder in verschiedenen Schichten Teil der Fassade sein. Im Allgemeinen erfolgen folgende Lasten und Beanspruchungen in einem Bauwerk auf die Bauteile:

- Eigengewicht (bestehende Last aus Eigengewichten der Bauteile und Baustoffen)
- Verkehrslasten/ Nutzlasten (ruhende Belastungen durch die Nutzung des Bauwerkes z.B. durch den Aufenthalt von Menschen im Gebäude)
- Schneelasten und Eislasten
- Windlasten (Windsog als vorwiegende Last (horizontal) oder Winddruck)
- Dynamische Belastungen (Erschütterungen, durch Verkehr, Maschinenbetrieb, Erdbebenstöße etc.)
- Thermische Beanspruchungen (infolge Temperaturschwankung oder durch ungleichmäßige Temperatureinwirkung)
- Setzungen (wird die Tragfähigkeit eines Baugrundes falsch beurteilt oder es erfolgt eine ungleichmäßige Belastung, können u.a. Spannungen innerhalb einzelner Bauteile oder des gesamten Bauwerks entstehen)

Anhand der Planungsvorhaben müssen diese Beanspruchungen entsprechend den zugrunde zulegenden Bestimmungen ermittelt werden (z.B. durch DIN 1055, DIN EN 1990 und DIN EN 1991-1). Sie bilden die Grundlage für den Standsicherheitsnachweis.

Bauteile stehen unter folgenden Krafteinwirkungen:

- Druck
- Zug
- Scheren
- Schub
- Torsion

Unter Einfluss von äußeren Kräften weisen Baustoffe spezifische Verhaltensform auf:

- Elastisches Verhalten (innerhalb bestimmter Grenzen treten durch Krafteinwirkungen und Belastungen keine dauerhaften Verformungen auf. Bauteil „federt“ nach Entlastung in ursprüngliche Form zurück)
- Plastisches Verhalten (Grenzwerte für das elastische Verhalten werden überschritten und Belastungen entstehen, die zur Zerstörung führen, treten bei allen Bauteilen dauernde Verformungen auf)
- Fließen (Bauteile können unter Langzeitbeanspruchung – auch von den einwirkenden Temperaturen abhängig – dauernde Formveränderungen erfahren, die aus strukturellen Veränderungen der Baustoffe resultieren)

Bauteile oder auch ganze Bauwerke können durch äußere Kräfte verformt und in ihrer Standsicherheit beeinflusst werden. In Frage kommen folgende Auswirkungen:

- Kippen (Kippen eines Bauteils bzw. einem Bauwerk infolge einer Krafteinwirkung (Erddruck oder Winddruck))
- Knicken und Beulen (Bauteile, die schlank und stabförmig sind, knicken aus, flächige Bauteile beulen aus, wenn sie in Längsrichtung gedrückt werden)
- Biegen (Bauteil (punktuell oder linear gestützt) biegt sich zwischen den Stützpunkten durch, wenn es quer zur Längsachse durch Lasten beansprucht wird)
- Gleiten (verschoben werden kann ein Bauteil (insbesondere seitlich) wenn die Verbindung zu anschließenden Bauteilen oder auch zum Baugrund nicht durch Reibung oder besondere konstruktive Maßnahmen gesichert ist)

8.1.3 Bauphysikalische Anforderung Wärmeschutz

Beim Bau einer Fassade muss nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) sowie der (DIN 4108-2:2013-02) Wärmeschutz im Hochbau der Mindestwärmeschutz sichergestellt werden, da der Wärmeschutz Auswirkungen auf die Nutzerinnen und Nutzer sowie auf das Gebäude selbst hat. Somit kann die Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohner gefördert werden, indem das Raumklima hygienisch ist oder der Energieverbrauch bei Heizung und Kühlung verringert wird (vgl. auch (BauNetz Media GmbH 2019f)). Dies führt außerdem zu einer Verringerung der Kosten. Der Wärmeschutz soll auch vor Feuchteinwirkungen und daraus resultierenden Schäden schützen.

Will man den Wärmeschutz optimieren, sprich geringe Wärmeverluste im Winter und ein gutes Raumklima in den Sommermonaten, muss man eine Gesamtoptimierung der Fassade mit all ihren Bauteilen in Betracht ziehen. Dies erreicht man durch Verwendung geeigneter Materialien, die z.B. Wärmeleitungen reduzieren. Auch durch wärmegeämmte Rahmenkonstruktionen oder Isolierglas kann dies verhindert werden. Beim Planen sollte deshalb auf die Gesamtdurchlassenergie von Verglasungen, abhängig von der Größe und der Orientierung der Fenster, auf die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Bauteile oder auch auf die Sonnenschutzmaßnahmen geachtet werden.

Zahlreiche Schwachstellen beim Aufbau einer Fassade sind in den Fugen oder im Bereich der Befestigungspunkte vorzufinden. Wärmebrücken, die in diesen Bereichen entstehen, müssen beachtet werden. Solche Schwachstellen können sich auf die Innenoberflächen-Temperatur auswirken und beeinflussen somit die Schimmelpilzbildung. Kritisch bei der Umsetzung sind meist Innen- und Außenecken, Dichtungs- oder Dämmebenen sowie Vorsprünge.

Durch eine geeignete Wahl des Dämmmaterials und der Konstruktion bei der Planung einer Fassade wird die Heizleistung reduziert und auch die Investitions- und Betriebskosten können dadurch gesenkt werden. Ein positiver Nebeneffekt hiervon ist, dass die Heizungsanlage somit eine längere Lebensdauer erzielt.

8.1.4 Bauphysikalische Anforderung Feuchteschutz

Eine Fassade ist zuständig für ein angenehmes Raumklima. Eine grundlegende Voraussetzung hierfür ist die Ausbildung einer intakten Außenwand. Die Außenhülle eines Gebäudes sollte die Fähigkeit besitzen, Feuchte kontrolliert aufzunehmen und abzugeben. Folgender Wandaufbau gilt: extern wasserabweisend und intern dampfdicht. Falls Feuchte im System entsteht, kann diese durch Diffusion nach außen dringen.

Das Kondensationsrisiko wird innerhalb der Außenwände durch die Durchlässigkeit des Dampfes der einzelnen Schichten bestimmt. Fassadendetails, beispielweise extern liegende Profile oder schmale Außenecken an Gebäuden, können mögliche feuchtetechnische Schwachstellen hervorrufen. Ebenso besteht ein erhöhtes Kondensationsrisiko an raumseitigen Oberflächen von Wärmebrücken.

Bei einem mehrschaligen Wandaufbau muss deshalb erhöht darauf geachtet werden, wenn feuchte Raumluft auf kalte Oberflächen in Fassadenzwischenräumen trifft. Um dieses Risiko zu reduzieren, ist

besonders auf die Wärmedämmung der externen Schicht und auf die Durchlüftung des Zwischenraumes zu achten.

„Die Außenoberfläche der Fassade sollte im Hinblick auf Tauwasserbildung bei der Planung ebenfalls in Betrachtung gezogen werden, da sich das Risiko des Tauwasserausfalls durch die Qualität des Wärmeschutzes der Fassade steigert, beispielsweise bei der Nutzung von Dreifach-Isolierverglasung mit geringem Wärmedurchgang, deren Oberfläche sich kaum noch erwärmt“ (BauNetz Media GmbH 2019b). Dies führt dazu, dass das beschlagene Glas nicht mehr abtrocknen kann. So ist beispielsweise in Schwimmbädern die Raumluftfeuchte generell ausdrücklich höher (im Winter nur in klimatisierten Gebäuden) und das Tauwasserrisiko erhöht sich (vgl. auch (BauNetz Media GmbH 2019b)).

8.1.5 Bauphysikalische Anforderung Luftdichtheit

Durch die Einführung der (DIN 4108-7:2001): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden wurde zum ersten Mal ein Konzept zur luftdichten Gebäudehülle im Rahmen der Ausführungsplanung verpflichtend, in direktem Zusammenhang mit der ehemaligen EnEV und der DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (vgl. (BauNetz Media GmbH 2019c)). Beide Normen regeln ebenfalls Anforderungen an die Luftdichtheit von Außenbauteilen. Das angestrebte Ziel der Luftdichtheit ist es, ungewollte Wärmeenergieverluste z.B. auf Grund von Leckagen zu vermeiden.

Bei der Planung einer luftdichten Gebäudehülle können die Details und Vorgaben der DIN 4108-7 eine Grundlage sein, da diese Hinweise und Prinzip-Skizzen enthalten. Zu Beginn einer Planungsphase ist es wichtig, die Luftdichtheitsebene mit allen am Bau Beteiligten abzustimmen. Die Abdichtungsebene sollte immer raumseitig vor der Dämmebene integriert werden, damit die Dämmebene wirksam geschützt wird. Sämtliche Anschlussdetails und Baustoffe sind bei der Ausführungsplanung aufeinander abzustimmen. Gibt es im Gewerke Luftdichtheitsebenen, die dieses durchdringen, müssen diese bei der Planung berücksichtigt werden.

Das angestrebte Planungsziel sollte eine Minimierung von Schwachstellen bzw. Risiken sein, deshalb empfiehlt es sich, die Anzahl der Durchdringungen so gering wie möglich zu halten.

Jegliche Geräte und Verteilerdosen müssen so eingesetzt werden, dass diese luftdicht sind. Dies gilt ebenso bei notwendigen Rohrverbindungen, die z.B. als Anschluss von außen liegenden Bauteilen, wie Rollläden, Jalousien, oder Satellitenanlagen, vorkommen. Diese sind als luftdichte Anschlüsse auszuführen.

Das angestrebte Ziel von luftdichten Bauteilanschlüssen ist es, die Wärmeverluste zu reduzieren. Jedoch beugen sie ebenso auch einem Feuchteeintrag in die Dämm- oder Konstruktionsebene vor.

Das Risiko des Tauwasserausfalls in der Dämm- oder Konstruktionsebene wird verringert, indem der Eintrag von warmer Innenraumluft ausgeschlossen ist. Wird das Luftdichtheitskonzept umgesetzt, wird damit nicht nur die Dämmung geschützt. Es resultiert hieraus ebenso ein Schutz der Konstruktion. Tritt Feuchtigkeit in die Konstruktionsebene ein, kann dies zu einer Korrosion bei metallischen Baustoffen führen oder auch eine Grundlage für einen zerstörenden Pilzbefall bei Holz sein.

8.1.6 Bauphysikalische Anforderung Schallschutz

In Bezug auf den Schallschutz einer Fassade sind die Anforderungen unter den Gesichtspunkten des Außenlärms, sowie des tatsächlichen Geräuschpegels im Innenraum eines Gebäudes zu beurteilen (s. (BauNetz Media GmbH 2019d)). Die Mindestanforderungen an den Schallschutz werden durch die (DIN 4109-1:2018) Schallschutz im Hochbau geregelt. Gemessen und eingeordnet werden Fassaden nach (DIN 52210-6:2013) Bauakustische Prüfungen mit bewerteten Schalldämmmaßen in die Schallschutzklassen 1 - 6 nach VDI-Richtlinie 2719 Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. Diese Normen und Richtlinien geben Aufschluss über die einzuhaltenden Schalldämmmaßnahmen des Außenbauteils und den Lärmpegelbereich bei ungleichen Raumnutzungen, beispielsweise Büro- oder Schlafräume.

Für die geeignete Fassade sollte ermittelt werden, wie das Verhältnis der schallübertragenden Fläche der Fassade zur schallabsorbierenden Fläche des Innenraumes eines Gebäudes im Verhältnis ist. Auswirkungen auf die Schalldämmung haben auch Wandanschlüsse an Fassaden innerhalb von benachbarten Räumen. Deshalb sollten besonders die Fugen zwischen Fassadenelementen Beachtung finden, da diese vor allem bei Pfosten-Riegel-Konstruktionen, deren Fugen im Bereich der Decken- und Trennwandanschlüsse liegen, Auswirkungen auf die Übertragung von Schall haben und somit direkt Auswirkungen auf die Bemessung von Innenbauteilen.

Bereits bei der Planung einer Fassade lässt sich die schalldämmende Wirkung der Fassade und deren Anschlüsse steigern, z.B. in Form der Doppelschaligkeit der Außenhaut, sowie durch weitere konstruktive Maßnahmen und der Wahl von geeigneten Materialien (vgl. auch (BauNetz Media GmbH 2019d)).

8.1.7 Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz steht für eine Behaglichkeitsbedingung durch Vermeidung unzumutbarer Aufheizung des Raumes. In Abhängigkeit folgender Faktoren wird der sommerliche Wärmeschutz bestimmt:

- Gesamtenergiedurchlässigkeit der Verglasung
- Klimaregion
- Wirksamkeit der Sonnenschutzvorrichtung
- Verhältnis von Grundfläche des Raumes zu Fensterfläche
- Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Flächen
- Interne Wärmequellen
- Lüftung, insbesondere in der zweiten Nachthälfte
- Fensterorientierung und Fensterneigung

Eine Raumtemperaturerhöhung findet statt, sobald die Energieströme, die in den Raum eintreten, höher sind als die Energieströme, die den Raum verlassen. Eine der wesentlichen Wärmequellen stellen die Bewohnerinnen und Bewohner selbst durch ihre Aktivitäten dar. Hinzu kommen die warme Abluft der elektrischen Geräte und die Solarstrahlung, die in den Raum gelangt. Zur Erhöhung der Raumtemperaturen tragen auch noch weitere Wärmeabgaben bei, denn aufgewärmte, thermische Oberflächen können signifikant dazu beitragen.

Das Bestreben besteht darin, eine konstante und erträgliche Raumtemperatur zu schaffen. Dafür muss die Wärmebilanz für den betrachteten Raum über einen möglichst langen Zeitraum ausgeglichen werden (vgl. auch (BauNetz Media GmbH 2019e)).

8.2 Systeme für Fassadenintegration, Integralfassaden

Systeme für die Fassadenintegration verschiedener Techniken sind u.a.

- BiPV (Gebäudeintegrierte PV)
- Solarthermie wassergeführt
- Solarthermie luftgeführt
- Fassadenintegrierte Lüftung
- Heizleitungen, TWW Leitungen

Für die betrachteten Systeme mit PV und Solarthermie werden im Anhang (Kapitel 10.3 und 10.4) allgemeine Merkmale zusammengestellt und diese mit den allgemeinen Anforderungen an die Fassadenintegration überprüft. Darüber hinaus erfolgt eine erste Kosten-Nutzen-Abschätzung. Für Heizung, Lüftung und TWW gelten die entsprechenden Normen und Richtlinien, die auch im Gebäudeinneren gelten. Besonderheiten sind im Folgenden kurz zusammengefasst.

8.2.1 Fassadenintegrierte Lüftung

Für die Integration sind insbesondere die Brandschutzanforderungen relevant um den Brand/Rauchübertrag zwischen den Wohnungen bzw. den Brandabschnitten zu unterbinden. Insbesondere sollte vermieden werden Brand- und Rauchschutzklappen an unzugänglichen Stellen zu installieren. Diese müssen in engen Intervallen gewartet werden. Ebenso spielen die Lage und die Zugänglichkeit von Lüftungsgeräten und Filtern eine große Rolle bei der Bewirtschaftung der Gebäude. Hier haben dezentrale Wohnungsgeräte oder Einzelraumgeräte systemische Nachteile, bei welchen die Nutzer in die Wartung eingebunden werden müssen.

8.2.2 Heiz- und TWW-Leitungen

Eine Besonderheit entsteht an der Fassade dadurch, dass Dämmschichten um Rohrleitungen und Fassadendämmung sich regeltechnisch überschneiden. Wenn Fassaden modular und z.B. mit demontablen Außenflächen versehen werden, können die integrierten technischen Systeme systemisch einfacher gewartet werden als im Gebäudeinneren. Dieser Systemvorteil wird aber bisher nicht genutzt.

9 Literaturverzeichnis

- Albers, Karl-Josef (Hg.) (2018): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. 79. Auflage, 2019/2020. Augsburg: ITM InnoTech Medien GmbH (Recknagel Edition).
- Amtsgericht Berlin-Schöneberg, Urteil vom 29.04.1996, Aktenzeichen 102 C 55 / 94.
- Amtsgericht Köln, Urteil vom 24.04.1995, Aktenzeichen 206 C 251/94.
- Auerswald, Sven (2021): Dezentrale Fassaden-Integrierte Wohnungslüftungsgeräte. Kombinierte Bewertung des erzielten Luftaustausches und der Energieeffizienz. Dissertation zur Abgabe (BMW FKZ.: 03ET1540B). Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg im Breisgau.
- BauNetz Media GmbH (Hg.) (2019a): Brandschutz: Anforderungen an Fassaden. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/bauphysik/brandschutz-anforderungen-an-fassaden-1330629>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- BauNetz Media GmbH (Hg.) (2019b): Feuchteschutz: Anforderungen an Fassaden. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/bauphysik/feuchteschutz-anforderungen-an-fassaden-1447399>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- BauNetz Media GmbH (Hg.) (2019c): Luftdichtheit: Planungsgrundlagen und Normen. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/luft-und-lueftung/luftdichtheit-planungsgrundlagen-und-normen-4390891>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- BauNetz Media GmbH (Hg.) (2019d): Schallschutz: Anforderungen an Fassaden. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/bauphysik/schallschutz-anforderungen-an-fassaden-1447395>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- BauNetz Media GmbH (Hg.) (2019e): Sommerlicher Wärmeschutz: Anforderungen an Fassaden. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/bauphysik/sommerlicher-waermeschutz-anforderungen-an-fassaden-154559>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- BauNetz Media GmbH (Hg.) (2019f): Wärmeschutz: Anforderungen an Fassaden. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/bauphysik/waermeschutz-anforderungen-an-fassaden-1447403>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.
- BauPGHeizkesselV 1998, Zuletzt geändert durch Art. 5 G v. 05.12.2012 I 2449. Regierung der Bundesrepublik Deutschland: Verordnung über das Inverkehrbringen von Heizkesseln und Geräten nach dem Bauproduktengesetz (Artikel 1 der Verordnung zur Umsetzung der Heizkesselwirkungsgradrichtlinie). Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/baupgheizkesselv/BJNR079610998.html>.
- Bongs, Constanze; Günther, Danny; Helmling, Sebastian; Kramer, Thomas; Miara, Marek; Oltersdorf, Thore; Wapler, Jeannette (Hg.) (2013): Wärmepumpen. Heizen - Kühlen - Umweltenergie nutzen. FIZ Karlsruhe. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (BINE-Fachbuch). Online verfügbar unter <http://www.vlb.de/GetBlob.aspx?strDisposition=a&strIsbn=9783816790464>.
- Brunk, Marten F. (2013): Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser. [Abschlussbericht]. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl. (Bauforschung für die Praxis, 105).
- Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH) (Hg.) (2013): Abgasanlagen für moderne Wärmeerzeuger - Hinweise für Planung und Ausführung. Informationsblatt Nr. 5. Köln. Online verfügbar unter http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_05_Abgasanlagen_fuer_moderne_Waermeerzeuger_-_Hinweise_fuer_Planung_und_Ausfuehrung.pdf.
- Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. (2016): Leitfaden Schall. Überarbeitete Ausgabe 2016.
- Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.; Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Institut Energie in

- Infrastrukturanlagen (Hg.) (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser. Ratgeber für Bauherren und Kommunen.
- Buri, René; Kobel, Beat (2004): Wärmenutzung aus Abwasser. Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen. Hg. v. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute und Schweizerischer Städteverband - Fachorganisation für Entsorgung und Strassenunterhalt. Bern, Zürich.
- Cappel, C.; Streicher, W.; Hauer, M.; Lichtblau, F.; Szuder, T.; Kuhn, T.; Maurer, C. (2015): »AKTIFAS« Fassadenintegrierte Solarthermie: Bestandsaufnahme und Entwicklung zukunftsfähiger Konzepte. Freiburg im Breisgau (TAG1-ChM-1506-E02).
- Cube, H. L. v. (Hg.) (1977): Wärmepumpen. Grundlagen - Komponenten - Auslegung - Bau und Betrieb. Essen: Vulkan-Verlag.
- DIN 18599-12:2021: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil_12: Tabellenverfahren für Wohngebäude.
- DIN 1946-6:2009: Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung (05.2009). Online verfügbar unter <http://fhgonline.fhg.de/bibliotheken/ist/DIN1946-6-2009.pdf>.
- DIN 1946-6:2019: Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung (12.2019).
- DIN 1988-200:2012: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) – Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW (Mai 2012).
- DIN 1988-300:2012: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser; Technische Regel des DVGW.
- DIN 4102-1:1998: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (1998).
- DIN 4102-3:1977: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen (09/1977).
- DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (02/2013).
- DIN 4108-7:2001: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungshinweise sowie -beispiele (08/2001).
- DIN 4109-1:2018: Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen (01/2018).
- DIN 4708-2:1994: Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfs zur Erwärmung von Trinkwasser in Wohngebäuden.
- DIN 4719:2009: Lüftung von Wohnungen - Anforderungen, Leistungsprüfungen und Kennzeichnung von Lüftungsgeräten.
- DIN 52210-6:2013: Bauakustische Prüfungen - Luft- und Trittschalldämmung - Bestimmung der Schachtpegeldifferenz (07/2013).
- DIN 55699:2017: Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen mit Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum oder Mineralwolle (2017).
- DIN EN 1264-2:2013-03: Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung - Teil 2: Fußbodenheizung: Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung unter Benutzung von Berechnungsmethoden und experimentellen Methoden; Deutsche Fassung EN 1264-

2:2008+A1:2012 (03/2013).

- DIN EN 12831-3:2017: Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 3: Trinkwassererwärmungsanlagen, Heizlast und Bedarfsbestimmung, Module M8-2, M8-3; Deutsche Fassung EN 12831-3:2017.
- DIN EN 12897:2016-12: Wasserversorgung - Bestimmung für mittelbar beheizte, unbelüftete (geschlossene) Speicher-Wassererwärmer; Deutsche Fassung EN 12897:2016 (12/2016).
- DIN EN 12977-3:2012-06: Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen; Deutsche Fassung EN 12977-3:2012 (06/2012).
- DIN EN 13141-7:2011: Lüftung von Gebäuden - Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen - Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschließlich Wärmerückgewinnung) für mechanische Lüftungsanlagen in Wohneinheiten (Wohnung oder Einfamilienhaus); Deutsche Fassung EN 13141-7:2010.
- DIN EN 13142:2013: Lüftung von Gebäuden - Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen - Geforderte und frei wählbare Leistungskenngößen; Deutsche Fassung EN 13142:2013.
- DIN EN 13203-2:2015: Gasbeheizte Geräte für die sanitäre Warmwasserbereitung für den Hausgebrauch - Teil 2: Bewertung des Energieverbrauchs; Deutsche Fassung EN 13203-2:2015.
- DIN EN 13501-1:2010: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten (2010).
- DIN EN 15332:2008-01: Heizkessel - Energetische Bewertung von Warmwasserspeichersystemen; Deutsche Fassung EN 15332:2007 (01/2008).
- DIN EN 15450:2007-12: Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen; Deutsche Fassung EN 15450:2007 (2007).
- DIN EN 16147:2017-08: Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Prüfungen, Leistungsbemessung und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser; Deutsche Fassung EN 16147:2017 + AC:2017 (08/2017).
- DIN EN 16798-1:2021: Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019.
- DIN EN 308:1997: Wärmeaustauscher - Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen (06/1997).
- DIN EN 806-2:2005: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 2: Planung; Deutsche Fassung EN 806-2:2005.
- DIN EN 806-3:2006: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 3: Berechnung der Rohrrinnendurchmesser - Vereinfachtes Verfahren; Deutsche Fassung EN 806-3:2006.
- DIN EN 806-4:2010: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen - Teil 4: Installation; Deutsche Fassung EN 806-4:2010 (2010).
- DIN EN 806-5:2012: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 5: Betrieb und Wartung; (April 2012).
- DIN EN ISO 7730:2005: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (November 2005).
- DIN V 18599-10:2016: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil

- 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten (Oktober 2016).
- DIN V 4701-10:2013: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen (August 2003).
- DVGW (2018): DVGW-Position: Absenkung der Temperatur des Trinkwassers (warm) bei mikrobiologisch und technisch einwandfreien Trinkwasser-Installationen; Rahmenbedingungen für die hygienisch sichere Erprobung der Ultrafiltration bei wissenschaftlich begleiteten Feldversuchen innerhalb von Forschungsprojekten, die vom DVGW begleitet werden.
- DVGW Arbeitsblatt W 290: Trinkwasserdesinfektion; Einsatz- und Anforderungskriterien (2018).
- DVGW Arbeitsblatt W 551: Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen (April 2004).
- DVGW Arbeitsblatt W 553: Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen (Dezember 1998).
- Ebert, B. (2020): Systematische Analyse der Mehrfamilien-Bestandsgebäude. LowEx -Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden. Bericht zu AP 1.1. 2. überarbeitete Fassung. Unter Mitarbeit von B. Rodenbücher, O. Hörnle, S. Hess, F. Schmidt, A. Wagner, B. Köhler und C. Bongs. KIT Die Forschungsuniversität in der Helmholtz- Gemeinschaft; Albert-Ludwigs-Universität Freiburg - Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH); Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Karlsruhe, Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2018/08/Abschlussbericht-zu-AP-1.1-Systematische-Analyse-von-Mehrfamilien-Bestandsgeb%C3%A4uden.pdf>.
- EEWärmeG 2015, 20.10.2015. Regierung der Bundesrepublik Deutschland: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/eew_rmeg/.
- EnEG 2013: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz - EnEG).
- EnergieAgentur NRW (2007): Wärmepumpen. Leitfaden für die Wohnungswirtschaft.
- EnEV 2014, 18.11.2013: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/enev_2007/gesamt.pdf.
- Europäische Union (Hg.) (2014): Amtsblatt C 207 der Europäischen Union. 2014/C 207/02. Brüssel. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2014:207:FULL&from=DE>.
- EWärmeG 2015, 17.03.2015: Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz - EWärmeG) 2015. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Energieeffizienz/EWaermeG_BW/150317_Novelle_Erneuerbare_Waerme-Gesetz.pdf.
- Fechner, H.; Sehnaal, E.; Haas, R.; López-Polo, A.; Kletzan-Slamanig, D. (2009): Gebäudeintegrierte Photovoltaik Teil 1. Klima- und Energiefonds. Wien.
- G. Krier (2013): Travail de Candidature. Ausarbeitung von Laborversuchen zum Themenbereich "Energieeffizienz von haustechnischen Anlagen" für Ingenieurstudenten des geplanten Studiengangs "Efficacité Energétique et Economique" an der Universität Luxemburg. Lycee Technique du Centre Luxembourg. Luxembourg. Online verfügbar unter <https://portal.education.lu/DesktopModules/EasyDNNNews/DocumentDownload.ashx?portalid=14&moduleid=3328&articleid=7247&documentid=658>.
- GEG 2020: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden: Gebäudeenergiegesetz.

- Grünbeck (2014): Ultrafiltration Produktdatenblatt H 510. Ultrafiltrationsanlagen GENO®-Ultrafil 450/900. Hg. v. Grünbeck.
- Günther, D.; Miara, M.; Langner, R.; Helmling, S.; Wapler, S. (2013): „WP Monitor“ Feldmessung von Wärmepumpenanlagen. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg.
- Hengstler, Mike (2018): Brandschutztechnische Untersuchung von Gebäudefassaden mit integrierten Lüftungssystemen. Master thesis. Hochschule Kaiserslautern - University of Applied Sciences, Kaiserslautern. Fraunhofer Institut for solar Energy Systems.
- Kliem, F.; Steinweg, J.; Rockendorf, G.: Wärmeverluste durch Einrohrzirkulation Bewerten und Vermindern. 1. Aufl. Osnabrück, Hameln. Online verfügbar unter https://www.proklima-hannover.de/experten/studien/einrohrzirkulation/Waermeverluste_Einrohrzirkulation.pdf.
- Koenigsdorff, Roland (2011): Oberflächennahe Geothermie für Gebäude. Grundlagen und Anwendungen zukunftsfähiger Heizung und Kühlung. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl.
- Krutzsch, Jan (2021): Photovoltaik-Fassade: Wann sich eine PV-Fassade lohnt. Online verfügbar unter <https://wohnglueck.de/artikel/wann-sich-eine-pv-fassade-lohnt-58696>, zuletzt geprüft am 30.07.2021.
- Lämmle, M.; Wapler, J.; Kropp, M.; Hess, S.; Hahn, D.; David, G.; Herkel, S. (2020): Gezielter Heizkörper-Austausch in Wärmepumpen-Heizungsanlagen. In: *Deutsche Kälte- und Klimatagung 2019 Ulm* 20.-22. November 2019.
- Landgericht Berlin, Urteil vom 12.11.1991, Aktenzeichen 64 S 99/91.
- Landgericht Berlin, Urteil vom 26.05.1998, Aktenzeichen 64 S 266/97.
- Lippe, Manfred; Czepuck, Knut; Esser, Johann; Vogelsang, Peter (2016): Kommentar Muster-Lüftungsanlagenrichtlinien. 2. Auflage, revidierte Ausgabe. Köln: FeuerTRUTZ Network.
- Märtel, C. (2019): Die Kosten für eine Photovoltaikanlage. Hg. v. DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/kosten>, zuletzt aktualisiert am 06.02.2019.
- MBO 2016: Musterbauordnung (MBO).
- Merkblatt WDVS 2015. DIBt Deutsches Institut für Bautechnik: Merkblatt Empfehlungen zur Sicherstellung der Schutzwirkung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) aus Polystyrol.
- MFeuV 2007. Arbeitskreis Technische Gebäudeausrüstung der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU: Muster - Feuerungsverordnung.
- MHHR 2008. Fachkommission Bauaufsicht: Muster-Hochhaus-Richtlinie.
- M-LüAR 2015. DIBt Deutsches Institut für Bautechnik: Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie M-LüAR).
- MVV TB 2017. DIBt Deutsches Institut für Bautechnik: Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen.
- Oliva, A.; Köhler, B. (2017): Solarthermie Initiative Freiburg. Wesentliche Aspekte bei Planung und Umsetzung von solarthermischen Anlagen in MFH am Beispiel Emmendinger Straße. fesa-Event. fesa e.V. Freiburg, 21.07.2017.
- Reiß, J.; Lyslow, L.; Erhorn, H. (2016): EnEff:Stadt: CO₂-neutrale Energieversorgung der Wohnanlage Lilienstraße Nord in München. BMWi - Förderkennzeichen: 0327400L. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Stuttgart, Holzkirchen. Online verfügbar unter https://projektinfos.energiwendebauen.de/fileadmin/user_upload/Abschlussbericht_GWG_Lilienstrasse_final.pdf.
- RetroKit Project (2016): D6.4 - Demonstrations at building level. Retrokit system evaluation.
- Richtlinie 2008/28/EG, 11.03.2008. Europäischer Rat; Europäisches Parlament: Richtlinie 2008/28/EG

- des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. März 2008 zur Änderung der Richtlinie 2005/32/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG im Hinblick auf die der Kommission übertragenen Durchführungsbefugnisse.
- Richtlinie 2018/844/EU. Europäisches Parlament; Europäischer Rat: Richtlinie (EU) 2018/ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz.
- Richtlinie 92/42/EWG, 21.05.1992. Europäischer Rat: Richtlinie 92/42/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 über die Wirkungsgrade von mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickten neuen Warmwasserheizkesseln.
- Rohrer, Sebastian (2018): Entwicklung und Simulation von fassadenintegrierten haustechnischen Systemen im Hinblick auf die energetische Optimierung von Luftkanälen und Heizungsleitungen. Bachelor thesis. Hochschule Offenburg, Offenburg.
- Schmitz, J.; Volkmann, B. (2014): Ihr Photovoltaik-Ratgeber. Hg. v. Solaranlagen-Portal.de.
- Schramek, E.-R. (Hg.) (2011): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik. Unter Mitarbeit von H. Recknagel und E. Sprenger. 75. Aufl. München: Oldenbourg Industrieverlag GmbH.
- Skorski, D.: Gas-Heizwertgeräte. Modernisierungslösungen, die der Ökodesign-Richtlinie entsprechen. Hg. v. Bosch Thermotechnik GmbH Junkers Deutschland. Online verfügbar unter https://junkers-de.resource.bosch.com/media/de_nj/fachkunde/05_dokumentation/02_broschueren_und_flyer/02_broschueren/01_gesamtbroschueren_1/pr17796_--_junkers_--_broschuere_--_gas-heizwert_--_8_737_706_476_--_rzlowres.pdf.
- Solvis GmbH (2016): SolvisClean. Energieeffiziente Trinkwasserhygiene. Produktbroschüre. Online verfügbar unter <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/solvis-files/downloads/broschueren/solvisclean-produktbroschuere.pdf>.
- TA Lärm 1998: Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm.
- Techem Energy Services GmbH (2017): Techem Energiekennwerte 2017. Eschborn. Online verfügbar unter https://www.techem.de/fileadmin/user_upload/epaper-EKW-2017_lESEversion/epaper/ausgabe.pdf.
- TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung).
- Türk, O.; Brunner, A.; Bohren, A.; Haller, M. Y. (2016): Vergleich der Testmethoden für Wärmespeicher. 26. OTTI Symposium Thermische Solarenergie.
- Umwelt Bundesamt (2012): Bedeutung und Gefährdung des Grundwassers. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/grundwasser>, zuletzt geprüft am 19.06.2017.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2005): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2008): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmekollektoren.
- Umweltministerium Baden-Württemberg (2009): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen.
- van Treeck, Christoph; Kistemann, Thomas; Schauer, Christian; Herkel, Sebastian; Elixmann, Robert (2019): Gebäudetechnik als Strukturgeber für Bau- und Betriebsprozesse. Trinkwassergüte - Energieeffizienz - Digitalisierung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

- VDI 2067 Blatt 12:2017: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung (April 2017).
- VDI 3803:2010: Richtlinienreihe VDI 3803 "Raumluftechnik, Geräteanforderungen" (2010).
- VDI 4640 Blatt 2:2019: Thermische Nutzung des Untergrunds (2019).
- VDI 6003:2018: Trinkwassererwärmungsanlagen (August 2018).
- VDI/BTGA/ZVSHK 6023 Blatt 2:2018: Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Gefährdungsanalyse (2018).
- VdS 3461: Wärmedämmverbundsystem, Leitfaden zum Brandschutz (2015).
- Verordnung 813/2013/EU, 02.08.2013. Europäische Kommission: Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten Text von Bedeutung für den EWR.
- Verordnung (EG) Nr. 641/2009. Kommission der europäischen Gemeinschaften: Verordnung (EG) Nr. 641/2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von externen Nassläufer-Umwälzpumpen und in Produkte integrierten Nassläufer-Umwälzpumpen.
- Verordnung (EU) Nr. 1253/2014, 07.07.2014. Europäische Kommission: Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253&from=DE>.
- Verordnung (EU) Nr. 1254/2014, 11.07.2014. Europäische Kommission: Verordnung (EU) Nr. 1254/2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnraumlüftungsgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch.
- Verordnung (EU) Nr. 812/2013, 2013. Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 812/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieeffizienzkennzeichnung von Warmwasserbereitern, Warmwasserspeichern und Verbundanlagen aus Warmwasserbereitern und Solareinrichtungen. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0812&from=DE>.
- Verordnung (EU) Nr. 814/2013, 02.08.2013. Europäische Kommission: Verordnung (EU) Nr. 814/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/814/oj/deu>.
- WHG 2009: Wasserhaushaltsgesetz.

10 Anhang

10.1 VIP-Fassade am Fraunhofer ISE

An einem Gebäude des Fraunhofer ISE wurden 2005 Vakuumisolierpaneele (VIP) zur Demonstration und Vermessung dieses innovativen Dämmmaterials installiert. Das Fassadentestfeld umfasst 80 m² (128 VIP). Seit Februar 2005 erfolgt ein umfassendes Monitoring der Fassade.

10.1.1 Klimatische Belastungen in Fassaden

Materialien und Komponenten in der Fassade sind den Wirkungen von klimatischen und mikroklimatischen Bedingungen ausgesetzt. Die eingesetzten technischen Komponenten müssen für diese Anwendungen ausgelegt und qualifiziert sein. Neben den vom Standort und der Einbausituation abhängigen Belastungen können ggf. auch konkrete Systemparameter einen großen Einfluss auf die Belastungssituation haben.

Es werden insbesondere klimatische Belastungen in der Fassade (Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung) identifiziert. Diese sind stark abhängig von dem lokalen Klima, der Ausrichtung und dem Aufbau der Fassade.

Im Rahmen des Projekts werden Belastungskollektive für typische Anwendungen identifiziert. Als relevanter Belastungsfaktor wird im Folgenden beispielhaft der Einfluss der Bauteiltemperatur dargestellt. Als Zeittransformationsmodell wurde der Ansatz wie von Savante Arrhenius gewählt. Die hergeleitete Gleichung, die den Zusammenhang zwischen der Änderung eines Zustandes P und der Temperatur beschreibt, lautet:

$$\Delta P \sim \exp \left[\frac{E_T}{R \cdot T} \right] \quad (10.1)$$

Mit:

E_T	J/mol	Aktivierungsenergie des Degradationsprozesses gem. Arrhenius
R	J/(K·mol)	ideale Gaskonstante ($R = 8,314 \text{ J/(K·mol)}$)
T	K	Temperatur

Die 25 Jahre realer Exposition entsprechende beschleunigte Testdauer t_R bei einer konstanten Temperatur T_R wird beschrieben durch:

$$t_R = 25 \text{ years} \cdot \exp \left[-\frac{E_T}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_{eff}} - \frac{1}{T_R} \right) \right] \quad (10.2)$$

Mit:

E_T	J/mol	Aktivierungsenergie des Degradationsprozesses gem. Arrhenius
R	J/(K·mol)	ideale Gaskonstante ($R = 8,314 \text{ J/(K·mol)}$)
T_{eff}	K	Temperatur spezifisch
T_R	K	Temperatur für beschleunigte Alterung

In Abbildung 12 ist die Häufigkeitsverteilung der Temperatur für das Jahr 2017 dargestellt.

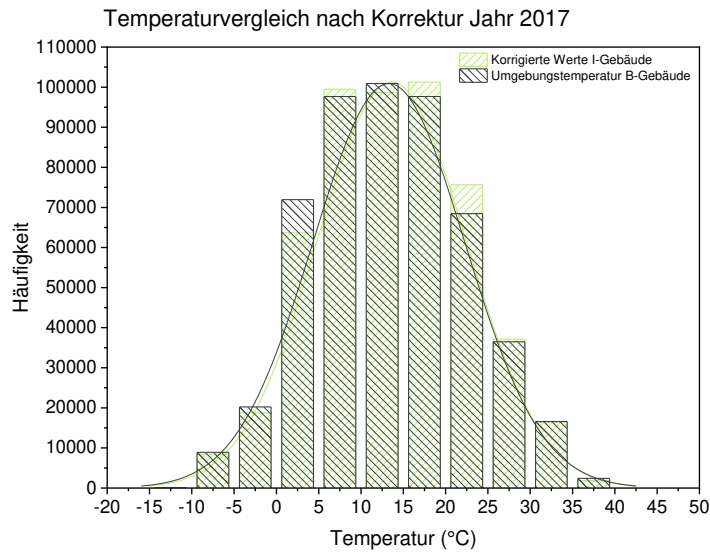


Abbildung 12 – Histogramm der VIP Fassadentemperatur, gemessen vor dem VIP und korrigiert

Die Messwerte wurden vorher auf Werte eines Referenzsensors korrigiert, da der Messumformer über die lange Messzeit seit 2005 im Vergleich zur Referenz eine Abweichung gezeigt hat.

Mit dem oben beschriebenen Ansatz lassen sich die Prüfzeiten in Abhängigkeit der Aktivierungsenergie und der gewählten Prüftemperatur bestimmen. In Abbildung 13 sind die Prüfzeiten für drei verschiedenen Prüftemperaturen dargestellt.

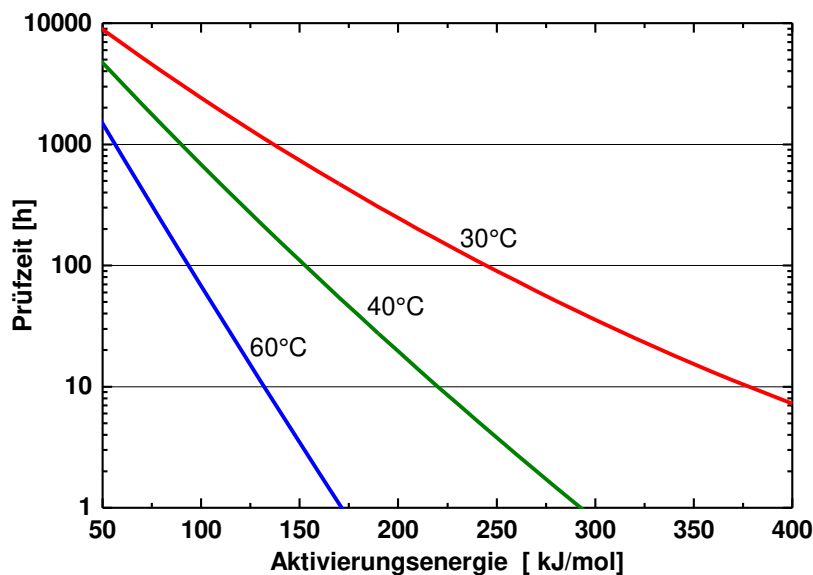


Abbildung 13 – Prüfzeiten [h] in Abhängigkeit der Aktivierungsenergie [kJ/mol] und der Prüftemperatur für 25 Jahre Temperaturbelastung der VIP Fassade

Unter der Annahme, dass die Aktivierungsenergie einen typischen Wert von 100 kJ/mol, und die Prüftemperatur 40 °C beträgt, ist eine Prüfzeit von 700 Stunden notwendig, um die Thermische Belastung von 25 Jahren abzubilden.

10.1.2 Monitoring

An einem Gebäude des Fraunhofer ISE wurden 2005 Vakuumisolierpaneele (VIP) zur Demonstration und Vermessung dieses innovativen Dämmmaterials installiert. Das Fassadentestfeld umfasst 80 m² (128 VIP). Seit Februar 2005 erfolgt ein umfassendes Monitoring der Fassade. Das Belastungsmonitoring umfasst die Erfassung der besonderen Stresskomponenten Strahlung, Temperatur und Feuchte und bildet die Datengrundlage für die Gebrauchsdauersanalyse. Insbesondere sind folgende Parameter über einen Zeitraum von über 12 Jahren erfasst:

- Makro: Klimadaten
- Mikro: Temperaturen vor und hinter VIP
- Feuchtigkeit vor und zwischen VIP
- Wärmestrommessungen

Die detaillierten Langzeit-Monitoringdaten wurden im Rahmen einer Studienarbeit umfassend analysiert. Durch die Daten können Rückschlüsse auf die Langzeitbelastungen von Fassadenelementen gezogen und auf andere, im Rahmen dieses Projekts betrachtete Fassadensysteme gezogen werden. Es können dadurch technische Anforderungen an Integralfassaden für Mehrfamiliengebäude abgeleitet und formuliert werden.

Die Belastungen in und an Fassaden sind insbesondere abhängig vom Standort (Einstrahlung) und der Einbausituation. Die detaillierte Analyse der Belastungen in dem Testfeld sollen die Ableitung und Übertragung der Belastungen auf andere Standorte erlauben.

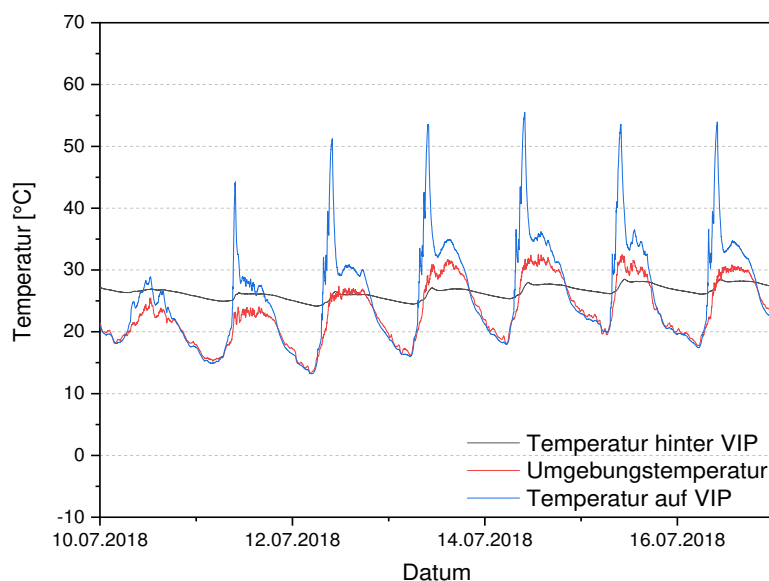


Abbildung 14 – Tagesverlauf der Temperaturen im Sommer an der VIP Fassade am Fraunhofer ISE (Auswertung der aufgezeichneten Daten)

Die Auswertung zeigte, dass eine Fassade Umgebungstemperaturen von ca. -10 °C bis ca. 40 °C standhalten muss, mit einer Feuchteeinwirkung, die im Bereich von 20 – 100 % variiert. Während die Fassade durch Einstrahlungen bis zu 500 W/m² belastete wurde, war die Höchsttemperatur, die auf dem VIP zu verzeichnen war, bei ca. 59 °C. Hinter dem VIP herrschte trotz hoher Temperatur auf dem VIP ein nahezu konstantes Temperaturband zwischen 17 °C und 27 °C mit jahreszeitlicher Variation.

10.2 Ergebnisse der brandschutztechnischen Bewertung des FIHLS-Systems

Tabelle 28 – Ergebnisse der brandschutztechnischen Bewertung des FIHLS-Systems an Wohngebäuden (Hengstler 2018).

Schutzziele/ Anforderungen	Maßnahme	Wohn- häuser der Gebäude- klasse I	Wohn- häuser der Gebäude- klasse II	Wohn- häuser der Gebäude- klasse III	Wohn- häuser der Gebäude- klasse IV	Wohn- häuser der Gebäude- klasse V	Wohn- hoch- häuser (MHHR)
Der Entstehung eines Brandes vorbeugen	Lagerung von brennbaren Materialien Mindestabstand 3 Meter zur Fassade	X	X	X	X	X	X
	Planung, Ausführung und Instandhaltung der Lüftungsanlage nach den geltenden Regeln der Technik	X	X	X	X	X	X
	Ausreichende Dimensionierung der Lüftungsanlage	X	X	X	X	X	X
	Führung der Lüftungskanäle so planen und einbauen, dass Ablagerungen vermieden werden	X	X	X	X	X	X
	Auf geringe Brandlast in der Fassade achten	X	X	X	X	X	
	Keine Brandlasten in der Fassade						X
Der Ausbreitung eines Brandes vorbeugen	ordnungsgemäße Instandhaltung des Wärmedämmverbundsys- tems	X	X	X	X	X	X
	FIHLS- Systemdämmplatte nichtbrennbar			X	X	X	X
	Lüftungsleitungen sowie deren Bekleidungen und Dämmstoffe müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen			X	X	X	X
	Lüftungsgeräte in der Fassade durch konstruktive Maßnahmen abtrennen				X	X	
	Bei zentralen Außenluft- und Fortluftleitungen für mehrere KWL Geräte ist die Zuluft gegen Eintritt von Rauch durch Brandschutzklappen mit Rauchauslöseeinrichtun- gen oder durch Rauchschutzklappen zu schützen			X	X	X	X

Tabelle 28 – Ergebnisse der brandschutztechnischen Bewertung des FIHLS-Systems an Wohngebäuden (Hengstler 2018).

Schutzziele/ Anforderungen	Maßnahme	Wohn- häuser der Gebäude- klasse I	Wohn- häuser der Gebäude- klasse II	Wohn- häuser der Gebäude- klasse III	Wohn- häuser der Gebäude- klasse IV	Wohn- häuser der Gebäude- klasse V	Wohn- hoch- häuser (MHHR)
Der Feuerwehr wirksame Lösch- maßnahmen ermöglichen	Erreichbarkeit der Lüftungsanlage				X	X	X
	konstruktiven Brandschutzmaßnahmen aus nichtbrennbaren Baustoffen				X	X	
	Fassade aus nichtbrennbaren Baustoffen						X
Anforderungen an die Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwand- bekleidungen	Normal entflammbar	X	X	X			
	Schwer entflammbar, nicht brennend abtropfend (BK. B1 nach DIN 4102 (DIN, DIN 4102-1 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, 1998) bzw. A2-d0, B-d0 oder C-d0 nach DIN EN 13501 (DIN, DIN EN 13501-1 - Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, 2010)				X	X	
	Nichtbrennbar (BK. A nach DIN 4102 (DIN, DIN 4102-1 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, 1998) bzw. A1 oder A2-d0 nach DIN EN 13501 (DIN, DIN EN 13501-1 - Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, 2010)						X
Anforderungen an WDVS mit EPS- Dämmstoffen	konstruktive Maßnahmen aus nichtbrennbaren Baustoffen (DIBt, 2017) (VdS) (DIN, DIN 55699 - Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen mit Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum oder Mineralwolle, 2017)				X	X	
	Brandriegel an der Unterkante des WDVS Brandriegel in Höhe der				X	X	

Tabelle 28 – Ergebnisse der brandschutztechnischen Bewertung des FIHLS-Systems an Wohngebäuden (Hengstler 2018).

Schutzziele/ Anforderungen	Maßnahme	Wohn- häuser der Gebäude- klasse I	Wohn- häuser der Gebäude- klasse II	Wohn- häuser der Gebäude- klasse III	Wohn- häuser der Gebäude- klasse IV	Wohn- häuser der Gebäude- klasse V	Wohn- hoch- häuser (MHHR)
	Decke des 1. Geschosses Brandriegel in Höhe der Decke des 3. Geschosses						
	Sturzschutz bzw. in jedem zweiten Geschoss ein horizontal umlaufender Brandriegel				X	X	
Anforderungen an die FIHLS-System-dämmplatte	Normal entflammbar	X	X				
	Nichtbrennbar			X	X	X	X
Anforderungen an Lüftungsleitungen	Lüftungsleitungen sowie deren Bekleidungen und Dämmstoffe müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen			X	X	X	X

10.3 Solarfassade mit Solarthermie

10.3.1 Bauformen

Beim Anbringen von Solarthermie an die Fassade stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. An Balkonbrüstungen werden unter anderem Vakuumröhren angebracht und an Hallen hauptsächlich Luftkollektoren. Am Weitesten verbreitet sind allerdings verglaste Flachkollektoren, weshalb im Folgenden der Fokus auf diese Technologie gelegt wird.

Man unterscheidet hier in drei Grundvarianten: hinterlüftete und nicht hinterlüftete Kollektoren in der opaken Wand sowie (semi-)transparente Kollektoren als Teil der Verglasung. Ein semitransparenter Kollektor ist aufgrund seines teiltransparenten Absorbers zwar kein klassischer Flachkollektor, zählt durch seine Verglasung aber trotzdem eher zu den Flachkollektoren als zu den Vakuumröhrenkollektoren oder unabgedeckten Kollektoren (vgl. (Cappel et al. 2015)).

- Hinterlüfteter Kollektor (vgl. Abbildung 15): Standardkollektor mit eigener Kollektordämmung und Kollektorrückwand

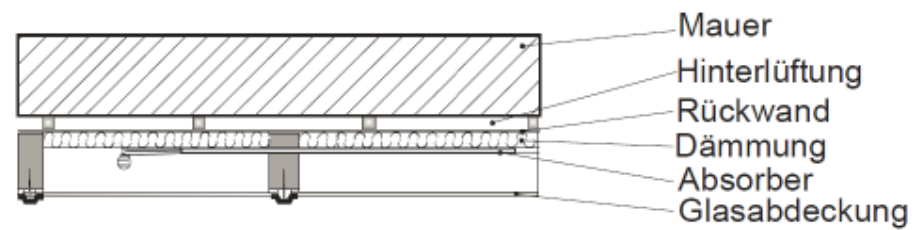


Abbildung 15 – Beispielhafte Bauart von einem hinterlüftet Fassadenkollektor; Quelle (Cappel et al. 2015)

- Nicht hinterlüfteter Kollektor (vgl. Abbildung 16): Der Absorber wird entweder direkt in die Gebäudedämmung als Teil der Fassade integriert oder über eine eigene Dämmung und eine Rückwand direkt auf die Gebäudedämmung aufgesetzt; vgl. (Cappel et al. 2015).

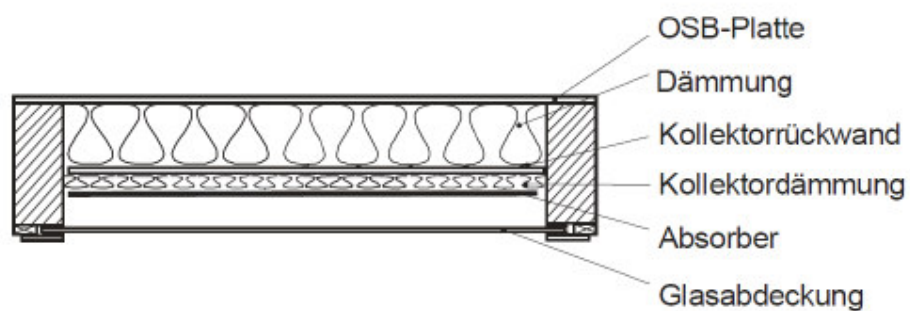


Abbildung 16 – Beispielhafte Bauart von nicht hinterlüftetem Fassadenkollektoren; Quelle (Cappel et al. 2015)

- Semitransparente thermische Kollektoren (vgl. Abbildung 17): Spezielle Bauform von Fassadenkollektoren stellen Teil der Verglasung dar.



Abbildung 17 – Semitransparente thermische Kollektoren System RobinSun (links), System Wicon (Behling, Hieber, rechts); Quelle (Cappel et al. 2015)

10.3.2 Technische Hemmnisse

Lebensdauerzyklus

In der Regel wird von einer Lebensdauer von mehr als 20 Jahren bei gewöhnlichen Kollektoren ausgegangen. Bei einer Untersuchung eines sechs Jahre alten Kollektors bezüglich seiner Haltbarkeit wurde eine Solar Keymark Prüfung durchgeführt (Cappel et al. 2015). Bei dieser Untersuchung wurden nur kleinere Auffälligkeiten gefunden, bei denen es sich um wenige tote Insekten im Gehäuse oder bei der Demontage nass gewordene Dämmung handelte. Diese haben aber weder einen Einfluss auf den Ertrag, noch würden sie sich auf die Gebäudeintegration auswirken. Der untersuchte Kollektor befand sich bei der Demontage in einem Kollektorfeld mit nicht senkrecht angebrachten Kollektoren. Da davon ausgegangen wird, dass senkrechte Kollektoren seltener in Sommermonaten in Stagnation geraten und somit seltener hohe Temperaturen erreichen, kann davon angenommen werden, dass Fassadenkollektoren eine längere Lebensdauer aufweisen als in gewöhnlichen Dachinstallationen (Cappel et al. 2015).

Verschattung

Es sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass die Kollektoren nicht von anderen Bauteilen (nebenstehende Gebäude, Pflanzen, Bäume und Dachvorsprünge) verschattet werden. Bei Fassadenkollektoren gilt dies besonders zu beachten. Bereits bei der Planung sollte darauf geachtet werden, dass mögliche Verschattungen in dieser Form nicht auftreten. Vor allem bei einer Renovierung von Gebäuden in dicht besiedelten Wohngebieten stellt die Verschattung ein ernstzunehmendes Hemmnis für die Fassadenintegration von Solarthermie dar (Cappel et al. 2015).

Energetische Erträge

Bei konventionellen Dachintegrationen steht meist die energetische Optimierung durch den erzielten Jahresenergieeintrag im Vordergrund. Dieser Fokus verschiebt sich bei der Fassadenintegration auf zahlreiche weitere Aspekte, je nachdem welche Anwendung sich als vorteilhaft erweist.

Durch das erhöhte Potential der Flächennutzbarkeit speziell bei solarer Heizungsunterstützung sowie geeigneten Bedingungen bei Prozesswärme kann bei einer direkten Kopplung eine Effizienzsteigerung

sowohl im Kollektorbetrieb, als auch im Heizbetrieb des Gebäudes erzielt werden. Durch den anliegenden Kollektor an die Außenwand wird diese schon temperiert, was bei einer geringeren Einstrahlung zu einer Reduktion der Transmissionswärmeverluste durch die Wand führt. Speziell in den Wintermonaten (November – März) ist das Strahlungsangebot auf der Fassade erhöht, auch ergeben sich dort die maximalen Systemerträge während der Heizperiode. Dies ermöglicht somit einen erhöhten Systemnutzungsgrad. In Regionen mit schneereichen Wintern kommt es durch Schneebedeckung zu keinem Winterausfall. Es ergibt sich vielmehr ein deutlicher Mehrertrag, da es zu einer erhöhten Bodenreflexion durch die weiße Schneedecke kommt (Cappel et al. 2015).

10.3.3 Ökonomische Hemmnisse

Große Hemmnisse für potentielle Kunden stellen die Investitionskosten dar, sowohl für Solarthermie allgemein als auch für Fassadenlösungen. Momentan können über den Ertrag nur erste Schätzungen abgegeben werden, da es kaum kommerzielle Produkte und nur wenig Erfahrungen über den Ertrag einer Solarintegration gibt. Diese werden an einem Beispiel durchgeführt. *Lichtblau Architekten* hat die Kosten der durchgeführten solarthermischen Aktivierung der Fassade offengelegt und mit einer reinen Effizienzmaßnahme verglichen. Das hier gezeigte Beispiel dient dem Vergleich mit gewöhnlichen Fassaden bzw. reinen Energieeffizienz-Maßnahmen. Es wurde also der Mehrpreis der solarthermischen Fassadenaktivierung berechnet (Cappel et al. 2015).



Abbildung 18 – Gebäude mit Solarthermiefassade - Gebäude zum Rechenbeispiel; Quelle (Cappel et al. 2015)

Tabelle 29 – Beispielrechnung Mehrkosten für eine Aktivierung der Fassade durch Solarthermie nach (Cappel et al. 2015)

Lage	Material	Kosten (netto)
Energieeffizienz		
1	Vakuum-Isolationspaneel (VIP) 40 mm, umlaufendes Komprimband zwischen Schichtholzlattung, Gewerke Zimmerei	90 €/m ²
2	Holzweichfaser 20 mm + Winddichtung, Gewerke Zimmerei	30 €/m ²
3	Außenhaut Dreischichtplatte Fichte lasert, über Aluwinkelprofile/ Gewindestäbe verschraubt, Gewerke Zimmerei	120 €/m ²
	Summe	240 €/m²
Solarthermische aktive Fassade		
1	Vakuum-Isolationspaneele (VIP) 2-lagig 15+15 mm zwischen V2A Rechteckrohr-Rahmen, Trennvlies 5 mm, Gewerke Zimmerei	200 €/m ²
2	Solarabsorber Alu, selektiv beschichtet, Gewerke Fa. Doma	280 €/m ²
3	Solar-Prismenglas ESG 4 mm, mit Pressleiste Alu über Gewindestäbe verschraubt, Gewerke Zimmerei	120 €/m ²
	Summe	600 €/m²

In dem oben stehenden Beispiel beträgt der Mehrkostenaufwand der solarthermischen Aktivierung 360 €/m². Hier in diesem Beispiel ist die Fassade demnach 150 % teurer als die Standardfassade (Energieeffizienz). Besonders ansprechende Vorhangfassaden können allerdings auch bis zu 1.500 €/m² kosten. Der hier gezeigte Preis für die Fassade liegt also unterhalb der Kosten für Vorhangfassaden. Eine gute Nachricht also, denn diese Lösungen sind durchaus bezahlbar (Cappel et al. 2015). Zum Vergleich: eine Aufdachanlage kostet je nach Dachgröße zwischen 172 und 216 €/m². Mit der effizienten Dämmung und einer Standard-Photovoltaik-Anlage liegen die Kosten bei 456 €/m² (vgl. (Märtel 2019)).

10.3.4 Förderung

2013 wurden Solaranlagen in Deutschland vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) mit 90 €/m² für kleine Anlagen (< 40 m²) gefördert. Da nur Anlagen eine Förderung erhalten die Solar Keymark zertifiziert sind, kommt hier das Problem auf, da dieses Zertifikat nur für Kollektoren erhältlich ist, welche nach EN 12975 genormt sind. Somit sind Fassadenintegrationen grundsätzlich ausgeschlossen und eine Zertifizierung einzelner individueller Kollektoren für Firmen finanziell nicht möglich. Verschiedene Kollektoren einer Serie mit verschiedenen Größen können allerdings möglicherweise zusammen zertifiziert werden, jedoch muss hier Rücksprache mit den entsprechenden Stellen gehalten werden.

10.4 Solarfassade mit Photovoltaik

10.4.1 Bauform

Bei der Integration einer Photovoltaikanlage sowohl in bestehende Gebäude als auch in Neubauten, müssen Anpassarbeiten an Material, Konstruktion, Form des Gebäudes und vieles mehr geleistet werden. Ein Ziel der Planung sollte es sein, sowohl im Fassaden- als auch im Dachbereich, eine möglichst weitreichende Einbindung, sowohl konstruktiv als auch gestalterisch, in das Gebäude zu erreichen. Grundsätzlich lassen sich nach (Fechner et al. 2009) zur Kategorisierung der baukonstruktiven Integration drei Möglichkeiten zusammenfassend darstellen:

Integrationsstufe 1: Applikation (visuelle Integration) – additive Einbindung

Integrationsstufe 2: Konstruktive Addition- Substitution

Integrationsstufe 3: Konstruktive Integration – Vollintegration

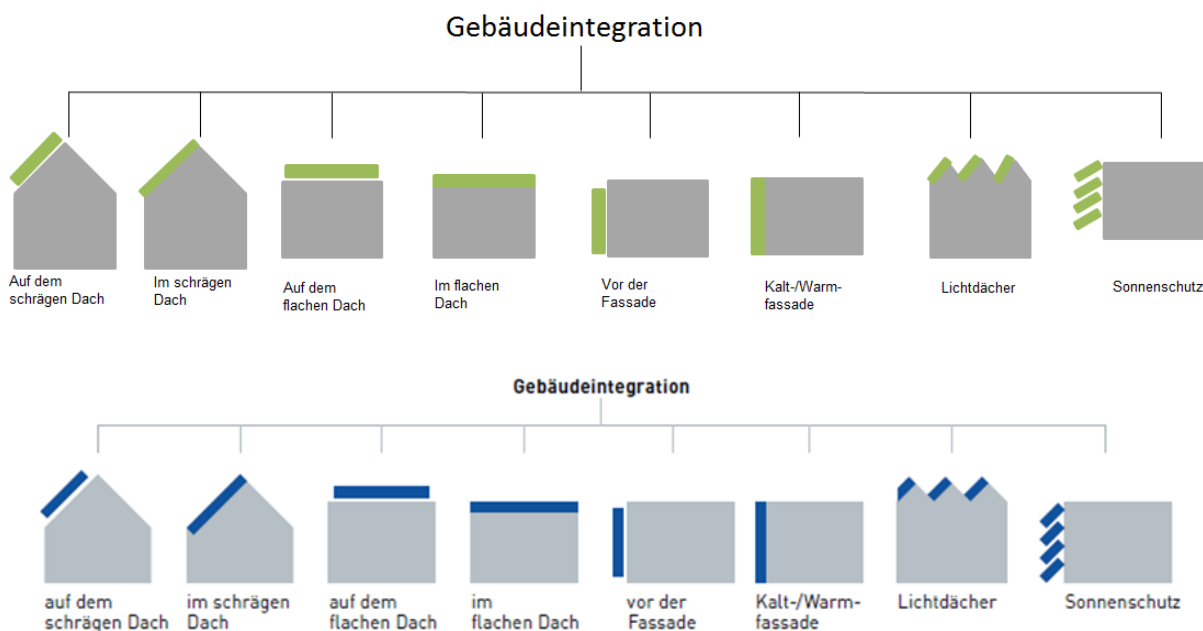


Abbildung 19 – Möglichkeiten der Gebäudeintegration von Photovoltaik; Quelle (Fechner et al. 2009)

In der Integrationsstufe 1 werden zusätzliche PV-Module vor oder über der eigentlichen Gebäudehülle installiert (appliziert). Diese Variante bietet sich vor allem bei einer nachträglichen Installation bei bestehenden Gebäuden an.

Bei der Integrationsstufe 2 werden die PV-Module als Bestandteil der Gebäudehülle angesehen und sind somit konstruktiv mit dem Bauwerk verbunden. Sie dienen als Witterungsschutz und übernehmen die Aufgaben von der äußeren Schicht einer herkömmlichen Fassade. Hierbei werden die PV-Module als Element einer Kaltfassade ausgeführt.

In der Integrationsstufe 3, übertragen auf die Architektur, bedeutet gebäudeintegrierte Photovoltaik als höchste Stufe die Substitution von Fassaden- und Dachelementen. In dieser Ausführung sind die PV-Module Bestandteil einer Warmfassade oder der Dacheindeckung. Da sie ein Bestandteil der Gebäudehülle sind, übernehmen sie all deren Funktionen, darunter zählt der Wetter-, Wärme-, Schall- und Sonnenschutz (vgl. (Fechner et al. 2009)).

10.4.2 Technische Hemmnisse

Lebensdauerzyklus

Im Allgemeinen wird von einer Lebensdauer von ca. 30 Jahren gesprochen, denn die Elemente sind wetterfest und halten den typischen Beanspruchungen einer Gebäudehülle stand. Nach 20 Jahren nehmen die elektrischen Erträge durchschnittlich um 10 % ab. Diese sehr generellen Aussagen gelten allerdings nur für Module, die eine Prüfung nach einer internationalen Norm (z.B. IEC 61215 für kristalline Module) aufweisen. Die typischen angegebenen Garantiezeiten der Hersteller belaufen sich auf ca. 25 Jahre bei einer ursprünglichen Leistung von 80 % (vgl. (Fechner et al. 2009)).

Verschattung

Zu vermeiden sind grundsätzlich Verschattungen der Photovoltaikmodule durch nebenstehende Gebäude, Vegetation oder durch die Konstruktion des Gebäudes selbst. Bereits geringe Teil-Verschattungen der Zellen führen zu einer wesentlichen Verminderung des Gesamtertrages der Anlage. Jede Verschattung des Modules verhindert also die Ausnutzung der direkten Sonneneinstrahlung und somit den Sonnenenergieertrag. Es gilt also, umso näher ein Schatten ist, desto weniger Licht kann durchdringen, da der Schatten ziemlich dunkel wird, je näher die Verschattungsquelle ist. Eine viel stärkere Auswirkung hat der Schattenwurf auf eine PV-Anlage im Vergleich zu einer Solarthermieranlage, denn dieser kann im Extremfall sogar zur Zerstörung des Moduls führen.

Die Bedeutung der Verschattungsfreiheit bei fassadenintegrierten Anlagen ist wesentlich höher als bei dachintegrierten oder frei aufgeständerten Anlagen angesichts der niedrigen Stromernte (Fechner et al. 2009). Deshalb sollte hier bereits bei der Planung darauf geachtet werden, dass mögliche Abschattungen in dieser Form nicht auftreten. Wie auch bei der Solarthermiefassade, stellt die Verschattung ein ernstzunehmendes Hemmnis der Fassadenintegration dar, vor allem bei Renovierungen in dicht besiedelten Wohngebieten.

10.4.3 Ökonomische Hemmnisse

Ein großes Hemmnis stellen die Kosten für die Investition dar. Bei einer gebäudeintegrierten Photovoltaik werden die Investitionskosten vor allem durch die Modulkosten bestimmt (Fechner et al. 2009). Für einen PV-Generator inklusive Befestigung entfallen hierauf rund 70 % der gesamten Investitionskosten. Im Gegensatz zu Aufdachanlagen spricht man bei gebäudeintegrierten Lösungen von einer Mehrinvestition von rund 20 – 30 %. Die Investitionskosten werden bestimmt durch:

- den gewählten Modulaufbau bzw. die verwendete Modulart (kristallin oder Dünnschicht)
- die Wahl zwischen einer Standardlösung oder einer Sonderanfertigung der gebäudeintegrierten Module.

Werden Photovoltaikmodule als Fassadenbaustoff eingesetzt, ersetzen sie die sonst verbauten Materialien (Glas, Stein, Dämmung). Diese müssen bei einer Bewertung mit einberechnet werden. Bei einer Wirtschaftlichkeitsrechnung müssen folglich nur die ersetzten Materialien mit einkalkuliert werden, um die Kostensynergien entsprechend zu berücksichtigen (Fechner et al. 2009).

Die Preise für eine Photovoltaik-Fassadenlösung liegen bei rund 400 bis 500 €/m² und sind abhängig von der eingesetzten Modultechnik. Derzeit liegen sie also noch weit über den herkömmlichen Modul-Preisen. Durch optimierte Herstellungsprozesse und dem Einsatz neuer Materialien können sich die Kosten für die Fassadenlösung zukünftig weiter senken lassen. (Kruttsch 2021)

10.4.4 Förderung

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sieht eine Einspeisevergütung von nicht selbstverbrauchtem Strom vor. Dieser wird ins öffentliche Netz eingespeist und der Betreiber einer PV-Anlage erhält 20 Jahre lang eine Vergütung, welche abhängig von der installierten Anlagenleistung in Kilowatt-Peak ist (siehe Abbildung 16).

Auch gibt es für PV-Anlagen Zuschüsse und solare Förderungen der Bundesländer, Förderkredite (KfW-Förderkredite, Umweltbanken etc.) und eine Förderung von Stromanbietern für Photovoltaikanlagen (Schmitz und Volkmann 2014).

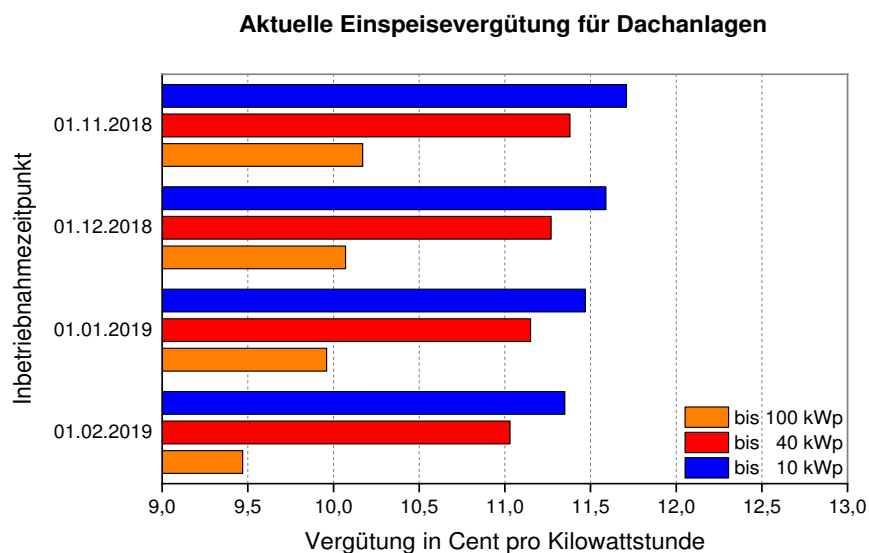


Abbildung 20 – Einspeisevergütungen für Dachanlagen November 2018 – Februar 2019

In – Einspeisevergütungen für Dachanlagen November 2018 – Februar 2019
Abbildung 20 sind die Einspeisevergütungen in Cent/kWh in Abhängigkeit von der installierten Leistung in kWp dargestellt. Der Zubau von neuen Photovoltaikanlagen im Bemessungszeitraum der Degressionsberechnung liegt unter dem Zubaukorridor. Die Tabelle enthält, die teilweise korrigierten Monatswerte sowie die Vergütungssätze für PV-Anlagen. (vgl. photovoltaik4all)