

Themenheft „Gebäudetechnik“

Energieeffiziente Gebäudetechnik im Baudenkmal

Wissenschaftliche Begleitung der Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“ in der Umsetzungsphase.

Gefördert aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ (EKF) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Ansprechpartner

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Referat I 7 – Baukultur und Städtebaulicher Denkmalschutz
Kerstin Heitmann
kerstin.heitmann@bbr.bund.de

Auftragnehmer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Prof. Dr. Gunnar Grün, Dr. Britta von Rettberg
Elena Köck, Kirsten Höttges, Dr. Andrea Schneider

Stand

März 2017

Gestaltung

Ulf Cadenbach, Kassel

Bildnachweis

1971markus@wikipedia.de: Seite 21; BBSR: Seite 43, 44, 45, 48, 51, 53, 54; bentaxgermany: Seite 46; BMWI: Seite 16;
Brück & Sohn Kunstverlag: Seite 51; Bundesarchiv: Seite 49; Cadenbach, Ulf: Seite 10, 11, 12, 13, 23, 24, 30, 32, 34, 39;
Cjulien21: Seite 50; Cschirp: Seite 50; EPO: Seite 26; EW Medien und Kongresse GmbH: Seite 47; FA2010: Seite 45;
Giel, Immanuel: Seite 49; Hering, Achim: Seite 32; HNA: Seite 16; Kapilbutani: Seite 43;
Kienberger, Maximilian: Seite 52; Knissel, Jens: Seite 31; MS Schwarz GmbH: Seite 39; Niteshift: Seite 54;
Raab, H.: Seite 22; Scheithauer, Bernd: Seite 36, 37, 38; Schneider, Andrea: Seite 19, 22, 25, 27, 28, 31, 49, 53;
Sperlich, Volker: Seite 50; Stadt Marburg: Seite 53; Stiebel Eltron GmbH & Co. KG: Seite 49;
Viessmann Werke GmbH & Co. KG: Seite 20; Vincentz, Frank: Seite 21; wrage herzog + partner INGENIEURE: Seite 48

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Die Nationale Klimaschutzinitiative	5
1.2	Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“	5
1.3	Spannungsfeld Energieeffizienz - Denkmalpflege	5
1.4	Warum dieses Themenheft?	6
1.5	Wie ist das Themenheft aufgebaut?	6
2	Allgemeines und Vorbemerkungen	7
3	Begriffsdefinition Baudenkmal, Denkmalpflege und Denkmalschutz	8
4	Einführung: Begriffe und Klassifizierung der Gebäudetechnik	9
4.1	Begriffe der Thermischen Behaglichkeit	9
4.2	Begriffe und Klassifizierung der Anlagensysteme	10
4.2.1	Heizungssysteme	10
4.2.2	Übergabesysteme Warmwasserheizung	11
4.2.3	Verteilssysteme Warmwasserheizung	12
4.2.4	Lüftung und Raumluftechnische Anlagen	12
5	Rechtliche und technische Anforderungen	14
5.1	Gesetzliche Vorgaben	14
5.2	Denkmalpflege und Denkmalschutz	14
5.3	Energieeinsparverordnung	15
5.3.1	Allgemeines	15
5.3.2	EnEV 2014 und 2016	16
5.3.3	Baudenkmal in der EnEV	17
6	Anlagentechnische Bestandserfassung	18
7	Maßnahmen für Übergabesysteme	19
7.1	Reduzierung der Wärmeverluste in Heizkörpernischen	19
7.2	Reinigung Heizkörperoberfläche	20
7.3	Nachrüstung von Konvektoren mit Ventilatoren	20
7.4	Austausch oder Nachrüstung von Regelungseinrichtungen Warmwasserheizung	21
7.5	Ersatz von Übergabesystemen (teilweise oder vollständig)	21
7.5.1	Heizkörper (freie Heizflächen)	22
7.5.2	Bauteilintegrierte Heizflächen	22
7.5.3	Bauteiltemperierung	24
8	Maßnahmen für Verteilsysteme	25
8.1	Dämmung von Verteilleitungen	25
8.2	Austausch von Pumpen (Umwälzpumpen, Zirkulationspumpen)	27
8.3	Einbau dezentraler Pumpen	29

8.4	Hydraulischer Abgleich	29
8.5	Verbesserung Regelkonzept bei Einrohrheizsystem	29
8.6	Vorhandene Schwerkraftheizung umrüsten	30
8.7	Dämmung von Luftleitungen (Kanäle)	31
8.8	Reinigung von Luftleitungen, -kanälen und -filtern	31
8.9	Einbau energieeffizienter Ventilatoren in Lüftungsanlagen	33
8.10	Einbau energieeffizienter Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen	33
8.11	Ersatz oder Neubau von Verteilsystemen	35
9	Maßnahmen für Energieerzeugung und -speicherung	36
9.1	Anpassung (Absenkung) der Vorlauftemperatur	36
9.2	Verbesserung Regelungseinrichtungen	37
9.3	Nachrüstung eines Pufferspeichers	38
9.4	Nachrüstung einer Frischwasserstation	38
9.5	Auswahl geeigneter Systeme bei Ersatz oder Erneuerung der Wärmeerzeugung	39
9.6	Ersatz oder Erneuerung von Verbrennungssystemen	42
9.6.1	Brennwertkessel	42
9.6.2	Biomassekessel (Pellet, Hackschnitzel, Stückholz)	43
9.6.3	Blockheizkraftwerk BHKW	44
9.6.4	Gas-Wärmepumpe	45
9.6.5	Einzelfeuerstätte	45
9.6.6	Abgas und Lagerung	46
9.7	Ersatz oder Neuinstallation von elektrischen Systemen	46
9.7.1	Elektro-Wärmepumpe	46
9.7.2	Elektro-Direktheizung	49
9.7.3	Trinkwarmwasser-Durchlauferhitzer oder -Kleinspeicher	49
9.8	Anschluss an Nah- oder Fernwärme-Netze	50
9.9	Integration regenerativer Energieerzeugung	52
9.9.1	Solarthermie	52
9.9.2	Photovoltaik	53
9.9.3	Geothermie	54
9.9.4	Windkraft	54
9.9.5	Wasserkraft	54
9.9.6	Biomasse	54
10	Maßnahmen für Lüftungs- und Klimaanlage	55
11	Literaturverzeichnis	56
12	Abkürzungen	58

1 Einleitung

Die Bundesregierung hat im Energiekonzept beschlossen, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020 um 40 %, bis zum Jahr 2030 um 55 %, bis zum Jahr 2040 um 70 % und bis zum Jahr 2050 um 80 – 95 % unter das Niveau von 1990 zu senken. Um diese Ziele zu erreichen, sollen in den nächsten Jahren alle gesellschaftlichen Akteure mobilisiert werden, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

1.1 Die Nationale Klimaschutzinitiative

Die Nationale Klimaschutzinitiative ist ein zentraler Baustein zur Umsetzung des Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms sowie der Klimaschutzziele des Energiekonzeptes. Sie setzt – ergänzend zu anderen Instrumenten – Anreize, um die Potenziale zur Emissionsminderung kosteneffizient und breitenwirksam zu erschließen sowie Hemmnisse und Informationsdefizite zu identifizieren und abzubauen, die Marktdurchdringung vorhandener, hocheffizienter Technologien zu unterstützen, zukunftsweisende Klimaschutztechnologien und -innovationen zu demonstrieren und diese öffentlichkeitswirksam zu verbreiten.

1.2 Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“

Mit den durch die Bundesregierung bereitgestellten Mitteln aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ wurden unter anderem Modellvorhaben in ganz Deutschland gefördert, die für ihre komplexe energetische Sanierung bei Wahrung der Integrität des Denkmals beispielhaft sind. Es wurden in den Jahren 2011–2016 insgesamt 33 Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“ gefördert. Bei den Modellvorhaben handelt es sich sowohl um konzeptionelle als auch investive Maßnahmen – vom Einzeldenkmal bis zum historischen Quartier.

Ziel der Förderung sind daher Modellvorhaben, bei denen Kommunen in innovativer Art und Weise Gebäude und Quartiere von besonderer Denkmalbedeutung energetisch hochwertig sanieren und dabei das Erscheinungsbild beachten oder gar aufwerten. Insbesondere Projekte in historischen Altstädten, die einen nachhaltigen Effekt auf die Stadt- und Quartiersentwicklung haben, sollten gefördert werden. Zudem sollten neue Energie- und Quartierskonzepte entwickelt werden, die Potenziale für eine energiesparende, klimaschonende und gleichzeitig denkmalverträgliche Stadtentwicklung bieten. Solche Projekte stellen einen Nutzen für den Erhalt der Denkmale, die Stadt und die Gebäudeeigentümer dar und tragen zum Erreichen der Kli-

maschutzziele bei. Die damit einhergehende Minimierung von Energieverbrauch und die Nutzung des städtischen Raumes (sparsame Bodennutzung) tragen zudem zur Verbesserung der Gesamtwirtschaftlichkeit bei und stärken damit auch die Attraktivität der historischen Quartiere als Wohn- und Arbeitsstandort.

1.3 Spannungsfeld Energieeffizienz – Denkmalschutz

Heutzutage können unterschiedliche Strategien im Umgang mit Baudenkmalen verfolgt werden, in denen die energetische Effizienz von Entscheidungen des Eigentümers, des betreuenden Denkmalspflegers, des Planers und der ausführenden Gewerke abhängig ist. Dass Denkmalschutz und Eigentümer häufig die Notwendigkeit von Maßnahmen an Baudenkmalen anhand unterschiedlicher Kriterien messen, führt immer wieder zu Konflikten bei Sanierungs-, Instandhaltungs- und Restaurationsprozessen.

Viele erprobte Lösungen für energieeffizientes Bauen aus dem Neubau lassen sich nur bedingt auf eine Sanierung bestehender Bausubstanz übertragen. Steht diese unter Denkmalschutz kommen weitere Anforderungen hinzu, welche die energetische Ertüchtigung vor noch größere Herausforderungen stellen und den Einsatz von Standardlösungen sogar unmöglich machen können.

Im Sinne der Denkmalschutz ist ein Baudenkmal, dem durch unangemessene energetische Maßnahmen die Identität genommen wurde, genauso inakzeptabel, wie der durch hohe Heizkosten und schlechte Behaglichkeit bedingte Leerstand und folgende Zerfall eines Baudenkmal. Ebenso sind Maßnahmen, die sich in ihrem Lebenszyklus nicht amortisieren, kritisch zu bewerten, da die wirtschaftliche Angemessenheit für Denkmale ein wesentlicher Garant für den Erhalt ist. Gleichzeitig ist der Erhalt des historischen, städtebaulichen und künstlerischen Zeugniswerts von Baudenkmalen und Denkmalbereichen im öffentlichen Interesse und ist den energetischen Anforderungen übergeordnet. Die Beschränkung der Transmissionswärmeverluste über die thermische Hüllfläche der Gebäude, mittels Aufbringen von Dämmschichten, ist häufig nicht oder nur in begrenztem Rahmen realisierbar und als alleinige Maßnahme damit zumeist nicht zielführend. Vielmehr sind integrierte und nutzungsorientierte Konzepte zu entwickeln. Neben der Begrenzung der Transmissionswärmeverluste durch maßvolle Dämmmaßnahmen und der Verringerung des Primärenergiebedarfs durch den Einsatz regenerativer Energien kann die Effizienzstei-

gerung der Anlagentechnik den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes und damit den Ausstoß klimaschädlicher Emissionen senken.

1.4 Warum dieses Themenheft?

Bei der energetischen Modernisierung von Baudenkmalen sind die verschiedensten Fachdisziplinen involviert und gefordert, ein gemeinsames Gesamtkonzept zu erarbeiten. Zur Bewertung mancher Fragestellungen ist ein vertieftes Fachwissen erforderlich. In diesen Fällen stehen die Beteiligten vor der Herausforderung schnell das notwendige Hintergrundwissen bereitzuhalten. Während der bei der Begleitung der Modellvorhaben durchgeführten Werkstätten kristallisierte sich unter anderem das Thema der Gebäudetechnik als ein solcher Fachbereich heraus. Dieser soll mit diesem Themenheft aufgegriffen werden, da Maßnahmen in diesem Bereich – im Gegensatz zu z. B. einer Erüchtigung der Gebäudehülle oder Installation ei-

ner leitungsgebundenen Wärmeversorgung – häufig mit geringeren Eingriffen in die Substanz und teilweise sogar geringeren Investitionen verbunden sind.

1.5 Wie ist das Themenheft aufgebaut?

Diese Handreichung zur Gebäudetechnik soll als Entscheidungshilfe dienen. Nach der Erläuterung von Begriffen, einer Klassifizierung der Gebäudetechnik und Hinweisen zu rechtlichen und technischen Anforderungen, folgt ein Kapitel über die Bestandserfassung. Im Anschluss werden Maßnahmen der Übergabe- und Verteilsysteme, der Energieerzeugung und -speicherung sowie für Lüftung und Klima allgemeinverständlich dargestellt. Ergänzt wird der theoretische Teil um Hinweise zur Anwendung im Denkmal mit Beispielen, insbesondere den Vorhaben aus den Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“.

2 Allgemeines und Vorbemerkungen

Die energetische Sanierung von Gebäuden zur Steigerung der Energieeffizienz besteht aus **baulichen** Maßnahmen, vor allem an der Gebäudehülle, sowie **anlagentechnischen Maßnahmen**. Idealerweise sind diese Einzelmaßnahmen aufeinander abgestimmt und ergänzen sich gegenseitig.

Bei besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes wird deutlich, dass den baulichen Maßnahmen Grenzen gesetzt sind. Daher bietet es sich an, die Möglichkeiten der Sanierungsmaßnahmen im Bereich der Gebäudetechnik näher zu betrachten, die ggf. **weniger invasive Eingriffe** erforderlich machen. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass technische Anlagen in der Regel einen bedeutend kürzeren Lebenszyklus haben als die Gebäude selber und daher unter dem Aspekt der **Reversibilität** und des geringstmöglichen Eingriffes geplant und ausgeführt werden sollten.

Der im Rahmen dieser Broschüre behandelte Bereich der Anlagentechnik umfasst die Teilbereiche der technischen Gebäudeausrüstung, welche sich auf den Betrieb von Gebäuden und Betriebsstätten beziehen, also jene technischen Maßnahmen, die eine ausreichende Beheizung, Kühlung, Be-/Entlüftung und Trinkwarmwasserversorgung ermöglichen.

Die dabei betrachteten Stoffströme umfassen warme und kalte Luft sowie warmes und kaltes Wasser. Die hier zum Einsatz kommenden Energieträger stammen entweder aus fossilen Quellen (Gas, Öl, Kohle), aus Biomasse (Stückholz, Holzpellets, Holzhackschnitzel, Biogas) oder regenerativen Quellen (Sonne, Wind, Geothermie, Abluft und Wasser). Elektroenergie wird nur insoweit betrachtet, als sie für die Erzeugung von Wärme und Kälte, die Be- und Entfeuchtung sowie für Antriebe Anwendung findet.

Die Bewertung von Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden erfolgt in der Regel auf der Grundlage einer **energetischen Betrachtung** sowie der Prüfung ökonomischer Randbedingungen. Grundlegende bauphysikalische Aspekte wie z. B. thermische Behaglichkeit (ausreichender Komfort) und Bauschadensfreiheit (z. B. Feuchteschutz) werden

ebenfalls behandelt.

Darüber hinaus sind **Gesetze** (z. B. Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz) und **Verordnungen** (z. B. Energieeinsparverordnung) sowie **technische Regeln** in Form von Normungswerken (z. B. Mindestwärmeschutz) oder Richtlinien (z. B. VDI) zu befolgen. Die Nachweise der ausreichenden Standfestigkeit (Statik) und des Brandschutzes sind bei Bauprojekten ohnehin obligatorisch.

Im Bereich des **Denkmalschutzes** sind zahlreiche weitere **Anforderungen und Auflagen** zu berücksichtigen. Diese werden sowohl für Denkmalbereiche/Ensembles sowie für das Einzelobjekt formuliert. Im oder am Gebäude können die Auflagen die architektonische Struktur der Gebäudehülle und des Innenraums umfassen sowie die verwendeten Materialien. Vor allem im Bereich musealer Bauten ist auch die Inneneinrichtung mit einbezogen sowie besondere Anforderungen an das Gebäudeklima (z. B. Raumlufffeuchte).

Die **Gebäudetechnik** selbst kann ebenfalls mit **Denkmalschutzaufgaben** belegt sein, z. B. der Erhalt historischer Einzelöfen oder Heizkörper. Aufgrund der im Vergleich zum Baukörper viel kürzeren Lebenszyklen der anlagentechnischen Installationen und Geräte sind erhaltenswerte historische Anlagen jedoch nur noch vereinzelt vorzufinden. In der Vergangenheit, vor allem als der Denkmalschutz noch eine untergeordnete Rolle spielte, wurden solche Anlagen oft zur Aufrechterhaltung der Gebäudenutzung entfernt oder extrem umgebaut. In Einzelfällen ist diesen Anlagen daher besondere Aufmerksamkeit zu zollen, dies betrifft z. B. Kamine, Aborterker, Rauchküchen, Kachelöfen, Gusseisenheizkörper, frühe Elektroinstallationen und Straßenlaternen.

Die **ganzheitliche Betrachtung** und Bewertung von Sanierungsmaßnahmen erfordert daher die Beachtung vieler unterschiedlicher Aspekte, wobei es oft zu Konflikten zwischen denkmalpflegerischen Gesichtspunkten und energetischen Modernisierungswünschen/-erfordernissen kommen kann. Die vorliegende Broschüre soll hierbei eine **Orientierungshilfe** geben.

3 Begriffsdefinition Baudenkmal, Denkmalpflege und Denkmalschutz

Denkmale sind Objekte, die an die Vergangenheit erinnern und deren Erhaltung und Pflege im öffentlichen Interesse liegen. Sie sind materielle Zeugnisse, welche die Gedankenwelt, die Wertesysteme, die Haltungen und die Handlungen der Menschen in der Vergangenheit veranschaulichen. [1] Der Begriff Denkmal umfasst Monumente, welche zum Gedenken errichtet werden sowie Kunstwerke und Kulturgüter, zu welchen auch **Baudenkmale** und **Bodendenkmale** zu rechnen sind.

Baudenkmale können einzelne Kulturdenkmäler, wie Einzelgebäude, oder Gesamtanlagen, wie historische Stadt- und Ortskerne, Straßenzüge, Plätze oder Gebäudegruppen sein. Sie sind von künstlerischer, wissenschaftlicher, technischer, hand-

werklicher, geschichtlicher oder städtebaulicher Bedeutung. Darüber hinaus ist Baudenkmal auch ein Fachbegriff, der in unterschiedlichem Zusammenhang unterschiedlich ausgelegt wird. [2]

Mit dem Begriff **Denkmalpflege** werden Maßnahmen bezeichnet, welche zur Erhaltung und Pflege von Denkmalen dienen. In den Denkmalschutzgesetzen der Länder ist der allgemeine Schutz dieser Kulturgüter geregelt.

Der **Denkmalschutz** dient dazu, die Aufgaben der Denkmalpflege sicherstellen zu können, in Form von rechtliche Anordnungen, Verfügungen, Genehmigungen, Auflagen und Untersagungen.

4 Einführung: Begriffe und Klassifizierung der Gebäudetechnik

Der Einsatz von Gebäudetechnik dient primär der Sicherstellung einer ausreichenden **thermischen Behaglichkeit** im Gebäude (Nutzbarkeit und Nutzerkomfort).

Ein weiterer Grund für den Einbau oder die Nachrüstung von Anlagentechnik im Gebäude ist die Vermeidung von **Bauschäden** wie z. B. die Bauteiltemperierung zur Vermeidung von Feuchteschäden (Schimmel) oder eine Grundheizung um Frostschäden an Wasserleitungen zu verhindern.

Im Folgenden sollen die in diesem Zusammenhang wichtigsten Begriffe kurz erläutert werden, v. a. die Einflüsse auf die thermische Behaglichkeit. Eine Übersicht über die verschiedenen Systemarten der Gebäudetechnik erfolgt anhand einer **Klassifizierung** der Heizungs-, Übergabe- und Verteilsysteme sowie der raumlufttechnischen Anlagen. Somit soll dieser Abschnitt dazu dienen, einen grundsätzlichen Einblick in die Thematik zu bekommen, um so die im Weiteren vorgestellten Maßnahmen den Komponenten der Anlagentechnik besser zuordnen zu können.

Die Aufgabe der **Heizungstechnik** im Gebäude ist, das Gebäudeinnere so zu beheizen, dass sich ein Ausgleich zwischen der Wärmeabgabe des Menschen und der Umgebung einstellt, d. h. der Mensch sich - im thermischen Sinn - behaglich fühlt. Dabei beeinflussen Heizungssysteme direkt die Temperierung der Luft und der (Wand-) Oberflächen.

Bei Einsatz von **Klimatisierungssystemen** kann darüber hinaus eine thermodynamische und hygienische Luftaufbereitung erfolgen. Folgende Behandlungen der in den Raum gebrachten Luft sind dabei denkbar und finden einzeln oder in Kombination Anwendung: Erwärmung, Kühlung, Befeuchtung, Entfeuchtung und ggf. Reinigung. Reine **Lüftungsanlagen** dienen nur dem Lufttransport und ggf. der Vorwärmung über Wärmetauscher. Wassergeführte oder direktverdampfende **Raumkühlssysteme** werden hier nicht betrachtet.

Zur Gebäudetechnik gezählt wird auch die **Brauchwassererwärmung**, da z. B. im Falle der klassischen Heizkessel oft ein kombinierter Betrieb für Heizwasser- und Trinkwassererwärmung vorliegt.

Darüber hinaus sind u. a. **Brandschutz-** und **Lichttechnik** weitere Teilgebiete der Gebäudetechnik bzw. der Bauphysik, werden hier aber nicht en detail behandelt.

4.1 Begriffe der Thermischen Behaglichkeit

Die Installation von Anlagentechnik im Gebäude – in der Regel zur Beheizung oder Kühlung, ggf. auch zur Be- oder Entfeuchtung – erfolgt letztendlich immer vor dem Hintergrund der Sicherstellung einer ausreichenden thermischen Behaglichkeit. Dabei kann bei den heute verbauten Systemen davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Behaglichkeit erreicht wird, vorausgesetzt Planung und Umsetzung erfolgen nach Stand der Technik. In der Vergangenheit konnte ein ausreichender thermischer Komfort nicht immer sichergestellt werden.

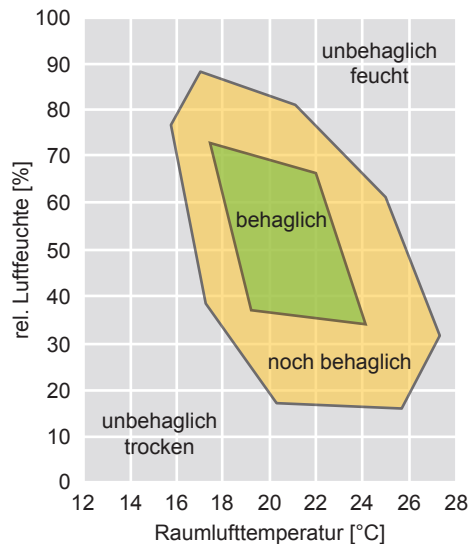
Im Sinne der Definition der thermischen Behaglichkeit gibt es zahlreiche unterschiedliche **Einflussfaktoren**. Der wesentliche Einfluss erfolgt durch das Heizsystem auf die **Lufttemperatur** und die Temperaturen der umgebenden **Oberflächen**, hier wird eine gleichmäßige Verteilung der Oberflächentemperaturen angestrebt, um Strahlungsasymmetrien zu vermeiden (z. B. kalte Oberflächen einfachverglaster Fenster).

Die **Qualität der Luft** (Feuchtigkeit, Reinheit) hängt von den baulichen Randbedingungen und vom Nutzereinfluss ab, im Falle des Einsatzes raumlufttechnischer Anlagen kann dies automatisch gesteuert werden. Ebenfalls Einfluss auf die thermische Behaglichkeit hat die **Luftbewegung**, hier kann es z. B. zu Problemen mit Zugluft bei ungünstig projektierten Lüftungsanlagen oder Kaltluftabfall an kalten Oberflächen (z. B. einfach verglaste Fenster) kommen.

Bei der Bewertung der Behaglichkeit spielen darüber hinaus die direkten Randbedingungen des Menschen eine Rolle, d. h. der Grad der **Bekleidung** und der Grad der **Aktivität** (z. B. schwere Arbeit oder sitzende Tätigkeit). Über die thermische Betrachtung hinaus kann unter anderem auch eine Bewertung hinsichtlich der **Akustik** und der **Luftqualität** erfolgen.

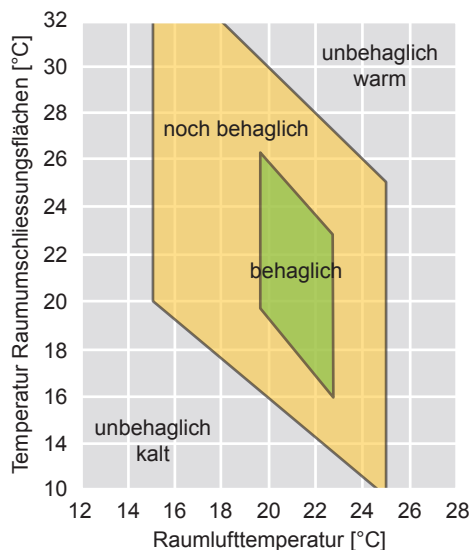
In Abbildung 1 werden bezüglich des thermischen Raumklimas drei Behaglichkeitsbereiche unterschieden. Die vier Parameter Raumlufttemperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung und Tätigkeit haben hierbei Einfluss auf die Behaglichkeit und sollten nicht isoliert betrachtet werden. Bei einer Luftgeschwindigkeit unterhalb von 20 cm/s und sitzender Tätigkeit stellt sich das Gefühl der Behaglichkeit bei rund 18 °C Raumlufttemperatur / 70 % Luftfeuchte ein. Ab dem Wertepaar 24 °C Raumlufttemperatur / 35 % Luftfeuchtigkeit wird die Situation im Raum als nur „noch behaglich“ wahrgenommen.

In Abbildung 2 ist ein Behaglichkeitsfeld definiert, welches von der mittleren Oberflächentemperatur und der Raumlufttemperatur abhängig ist. Dieses umschließt den Wertebereich der Oberflächentemperaturen von min. +16 °C bis max. +26 °C bei Raumlufttemperaturen von ca. 20 °C bis max. rund 21 °C.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 1: Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur/Luftfeuchte nach [3]. Randbedingungen: Sitzende Beschäftigung, Luftgeschwindigkeit < 20 cm/s.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 2: Behaglichkeitsfeld für das Wertepaar Raumlufttemperatur/mittlere Oberflächentemperatur (Raumschließungsflächen) nach [3].

4.2 Begriffe und Klassifizierung der Anlagensysteme

4.2.1 Heizungssysteme

Alle Heizungssysteme, angefangen vom Kaminfeuer bis zur modernen Niedertemperaturheizung, haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Welche Heizungsart im Einzelfall zu wählen ist, hängt von vielen Faktoren ab, z. B. Gebäudeart, Dauer und Art der Nutzung, Zahl der Personen und Art ihrer Kleidung, Art und Verfügbarkeit der Brennstoffe, ökonomische und ökologische Vorgaben, regionale Vorschriften usw. sowie nicht zuletzt dem Vorliegen und der Art von Denkmalschutzauflagen [4].

Eine Gliederung der verschiedenen Systeme von Heizungsanlagen kann auf Grundlage unterschiedlicher Gesichtspunkte erfolgen, die nachfolgende Liste stellt eine beispielhafte Auswahl dar (u. a. nach [4]).

- Energieart:
Kohle, Gas, Öl, Holz, Strom, Abwärme oder Umweltenergie
- Lage der Wärmeerzeuger:
Einzelheizungen, zentrale Gebäudeheizungen oder Fernheizungen
- Wärmeträger:
Warmwasser, Heißwasser, Dampf oder Luft
- Art der Wärmeabgabe:
Konvektions-, Strahlungs-, Luft- oder kombinierte Heizungen
- Temperaturniveau:
Niedertemperatursysteme (Heizflächen), Hochtemperatursysteme
- Rohrführung (bei Pumpenwarmwasserheizungen):
Einrohrsystem, Zweirohrsystem

In der heutigen Zeit sind **Warmwasserheizungen** am weitesten verbreitet. Heißwasser- (> 110 °C) und Dampfsysteme standen entwicklungsgehistorisch zwar am Anfang der Zentralheizungen, finden aber aufgrund ihrer hohen Wärmeverluste heute kaum Einsatz, am ehesten noch bei Hallenheizungen.

Eine Warmwasserheizung, deren Zirkulation sich allein durch den Dichteunterschied des Wassers in den Steigsträngen einstellt (warmes Wasser dehnt sich aus und wird aufgrund seiner geringeren Dichte leichter), wird als **Schwerkraftheizung** bezeichnet. Sie wurde bis Ende der 1960er verbaut und benötigt keine Umwälzpumpen. Demgegenüber ist die **Pumpenwarmwasserheizung** die heute am häufigsten verbaute Heizungsart.

Die älteste Bauform der Zentralheizung stellt die **Luftheizung** dar (Hypokaustenheizung), welche schon in der antiken Zeit genutzt wurde. Sie wird zwar heute noch vereinzelt geplant, allerdings ist Luft als Wärmeübertragungsmedium im Vergleich zu Wasser wesentlich weniger effizient.

Bei den Systemen mit direkter Wärmeabgabe ohne Übertragungsmedium ist die **Einzelfeuerstätte** (Kamin, Ofen) die älteste und heute noch - meist als Zusatzheizung - verbreitet eingesetzte Heizungsform.

Abbildung 3 zeigt eine Klassifizierung der verschiedenen Gebäudeheizsysteme, gegliedert nach dem räumlichen Bezug zur Wärmeerzeugung.

Zentrale Systeme:	Dezentrale Systeme:	Wärmenetze:
Schwerkraft oder Pumpen- Warmwasserheizung	Kamine, Öfen (Öl, Festbrennstoff), elektr. Raumheizung	Heißwasser bis 110 °C
Niederdruck-, Hochdruck- oder Vakuum- Dampfheizung	Gasheizgeräte: Hellstrahler, Dunkelstrahler, Luftheritzer	Heißwasser über 110 °C
Schwerkraft- oder ventilatorgestützte Luftheizung		Dampfheizung (historisch)

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 3: Klassifizierung der Gebäudeheizungssysteme

Zentralheizungen bestehen üblicherweise aus einem oder mehreren Wärmeerzeugern und gegebenenfalls Wärmespeichern, welche sich in der Regel außerhalb der Nutzräume befinden. Die erzeugte Wärme wird mittels eines Wärmeträgers (Wasser, Dampf oder Luft) über ein Verteilnetz den einzelnen Übergabestellen in den Räumen zugeführt (indirekte Wärmeabgabe).

Bei **dezentralen Systemen** befindet sich die Wärmeerzeugung in dem jeweils zu beheizenden Raum. Die Wärmeabgabe erfolgt in der Regel über Konvektion und/oder Strahlung ohne die Zwischenschalten eines Wärmeträgermediums (direkte Wärmeabgabe). Bei Wärmeerzeugern, die Nutzwärme durch die Verbrennung fossiler Energieträger bereitstellen, muss unbedingt auf eine gesicherte Verbrennungsluftzufuhr von außen geachtet werden (raumluftunabhängiger Betrieb).

Eine Mischform stellen die **wohnungszentralen** Systeme dar, welche zu den Zentralheizungen zählen, wobei sich die zentrale Verortung der Feuerstätte nicht auf das Gebäude sondern die einzelne Wohneinheit bezieht, üblicherweise im Mehrgeschosswohnungsbau. Da hier jedoch die Wärmeerzeuger meist im beheizten Bereich aufgestellt werden, erfolgt der Betrieb - wie bei den dezentralen Systemen - ebenfalls raumluftunabhängig.

Unter **Wärmenetzen** versteht man in der Regel ge-

wachsene städtische Fernwärmenetze. Werden Netze auf Quartiersebene neu projektiert, dann können diese auch als Nahwärmenetze bezeichnet werden.

4.2.2 Übergabesysteme Warmwasserheizung

Die Klassifizierung der Raumheizvorrichtungen erfolgt in der Regel über die Unterscheidung von freien Heizflächen (z. B. Heizkörper) und bauteilintegrierten Heizflächen (Fußboden- und Wandheizungen). Abbildung 4 gibt diese Differenzierung der unterschiedlichen Systeme wieder.

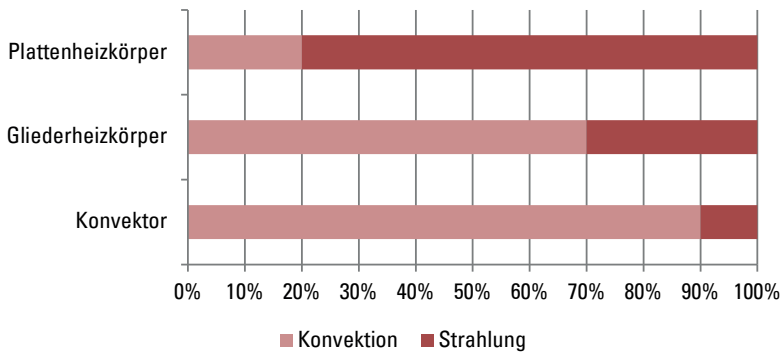
Freie Heizflächen	Bauteilintegrierte Heizflächen
Plattenheizkörper	Fußbodenheizung
Radiatoren	Wandflächenheizung
Konvektoren mit und ohne Gebläse	Heiz- / Kühldecken
Deckenstrahlplatten	Bauteiltemperierung

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4: Klassifizierung der Raumheizvorrichtungen (Übergabesysteme)

Bei Heiz- und Kühldecken hängt die System-Zuordnung von Technik und Ausführung ab, sie können auch eher frei, also außerhalb des Bauteils angeordnet werden.

Die Wärmeübergabe erfolgt physikalisch über eine Kombination von Konvektion und Strahlung, je nach Übergabesystem überwiegt der konvektive oder der radiative Anteil. Siehe Abbildung 5 (in Anlehnung an [5])



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5: Verteilung der Strahlung und Konvektion bei verschiedenen Übergabesystemen nach [5].

Detaillierte Beschreibungen der verschiedenen Übergabesysteme und ihrer für den Einsatz relevanten unterschiedlichen Merkmale sind in Abschnitt 7 enthalten, in dem Maßnahmen für Übergabesysteme zusammengestellt sind.

4.2.3 Verteilsysteme Warmwasserheizung

Eine Warmwasserheizung arbeitet mit dem Druck von Wasser, welches als Wärmeträger-Medium

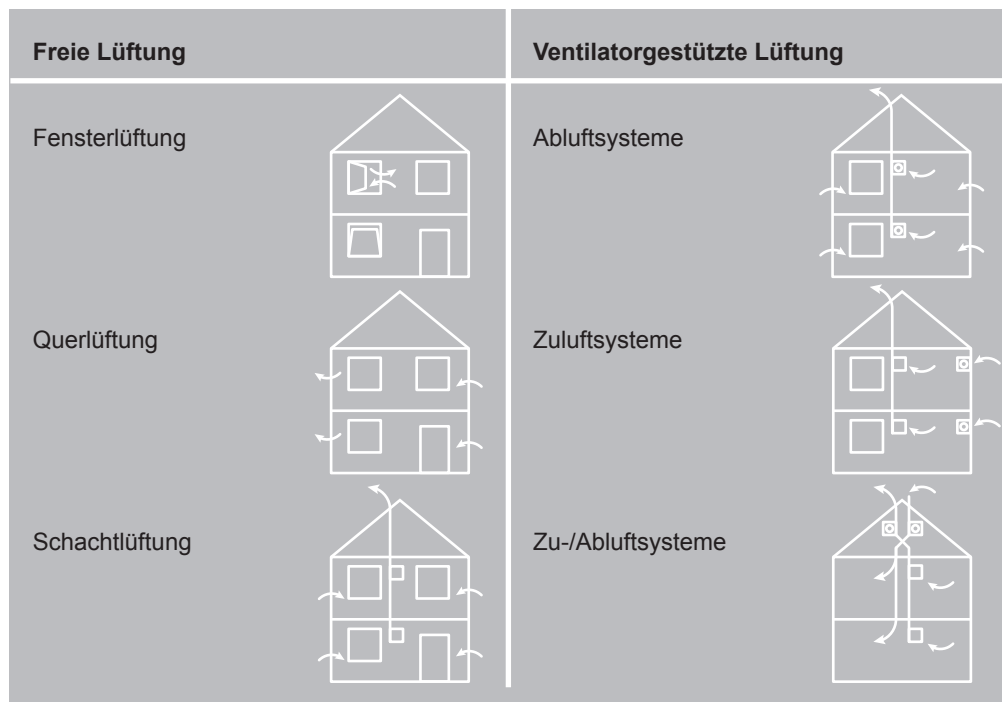
eingesetzt wird. Dieses hydraulische System besteht mindestens aus einem Wärmeerzeuger, dem Rohrnetz (Vor- und Rücklauf), einer Umwälzpumpe sowie Ventilen und Abnehmern in Form von Übergabesystemen. Sind mehrere Abnehmer vorhanden können diese in einzelne Heizkreise „gruppiert“ werden, in dem Fall sind noch Verteiler und Sammler vorhanden.

Das Rohrnetz wird in der Regel als **Zweirohrsystem** ausgeführt, bei dem alle Heizkörper im Netz parallel, d. h. mit einheitlicher Vorlauftemperatur versorgt werden. Im Bestand sind auch **Einrohrnetze** anzutreffen, bei denen die einzelnen Heizkörper in Reihe geschaltet sind und dadurch unterschiedliche Vorlauftemperaturen aufweisen. Hieraus ergeben sich entsprechende Nachteile bei Komfort und Regelung (hydraulischer Abgleich).

4.2.4 Lüftung und Raumluftechnische Anlagen

Die Mindestanforderung beim Einsatz einer raumluftechnischen Anlage (RLT) ist die Sicherstellung einer geregelten Gebäudelüftung (hygienisch erforderlicher Luftwechsel). Darüber hinaus kann eine thermische Konditionierung der Luft erfolgen. Im einfachsten Fall wird dabei die Luft in einer mechanischen **Lüftungsanlage** vorgewärmt, idealerweise in Kombination mit einem Gerät zur Wärmerückgewinnung, bei der die Abwärme der Fortluft nutzbar gemacht wird.

Die folgende Abbildung gibt die Klassifizierung der unterschiedlichen Arten der **Wohnungslüftung** nach DIN 1946-6 [6] wieder.



Quelle: Eigene DarstellungQuelle: Zuwendungsempfänger

Abbildung 6: Klassifizierung der Wohnungslüftung nach DIN 1946-6 [6]

Eine weitergehende Technisierung erfolgt mittels **Klimaanlagen**, welche insgesamt bis zu vier thermodynamische Behandlungsfunktionen übernehmen können, d. h.

- Heizen
- Kühlen
- Befeuchten
- Entfeuchten

Der Einsatz von Lüftungsanlagen kann Vorteile bezüglich Energieeffizienz, thermischer Behaglichkeit, Hygiene (Abfuhr von CO₂ und Luftschad-

stoffen) und Bauwerkserhaltung (Feuchteabfuhr). Dabei sind jedoch höhere Investitionskosten, der zusätzliche Strombedarf für die Ventilatoren sowie akustische Randbedingungen und v. a. die notwendige Wartung zu beachten.

Die Differenzierung der Raumluftechnischen Anlagen erfolgt in Abbildung 7 anhand der unterschiedlichen Funktionen für mechanische Lüftungsanlagen sowie Teil- und Vollklimaanlagen.

Teilklimaanlagen unterscheiden sich von Klimaanlagen indem nur zwei bis drei der insgesamt vier möglichen thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen in der Anlage geregelt werden.

Mechanische Lüftungsanlagen	Teilklimaanlagen	(Voll-)Klimaanlagen
Abluftanlage Zuluftanlage Zu-/Abluftanlage	2-3 thermodynamische Behandlungsfunktionen Heizen Kühlen Befeuchten Entfeuchten	4 thermodynamische Behandlungsfunktionen Heizen Kühlen Befeuchten Entfeuchten

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 7: Klassifizierung der raumluftechnischen Anlagen

5 Rechtliche und technische Anforderungen

5.1 Gesetzliche Vorgaben

Energieeinsparungsgesetz (EnEG). § 4, Abs. 1, Satz 1 lässt Abweichungen und Ausnahmen der Anforderungen zu, wenn es sich um „besonders erhaltenswerte Gebäude“ handelt und „soweit der Zweck des Gesetzes, vermeidbare Energieverluste zu verhindern, dies erfordert oder zulässt“. Energiesparmaßnahmen müssen nach **§ 4, Abs. 3**, generell „zu einer wesentlichen Verminderung der Energieverluste beitragen und die Aufwendungen müssen durch die eintretenden Einsparungen innerhalb angemessener Fristen erwirtschaftet werden können“.

Das **Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)** regelt die bevorzugte Abnahme und Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien und garantiert dessen gesonderte Vergütung.

Das **Erneuerbare Energien Wärme Gesetz (EEWärmeG)** verpflichtet Bauherren und Gebäudeeigentümer zum Einsatz erneuerbarer Energien bei Wärme- und Kälteerzeugung bei Neubauten und unter bestimmten Voraussetzungen auch bei Altbauten.

Das **Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)** hat nach **§ 1** das Ziel, „im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in der Bundesrepublik Deutschland auf 25 Prozent bis zum Jahr 2020 durch die Förderung der Modernisierung und des Neubaus von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen), die Unterstützung der Markteinführung der Brennstoffzelle und die Förderung des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältenetzen sowie des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältespeichern, in die Wärme oder Kälte aus KWK-Anlagen eingespeist wird, zu leisten.“

Das **Baugesetzbuch (BauGB)** ist das wichtigste Werkzeug zur baulichen Planung und Entwicklung von Städtebaukonzepten. Dieses regelt die **Bauleitplanung** dessen Hauptbestandteile der **Flächennutzungsplan** (grundlegende Nutzungsregelung) und der **Bebauungsplan** (detaillierte Bau- und Nutzungsplanung) sind. Bei der Bauleitplanung sind neben den Aspekten der sozialen und infrastrukturellen Ansprüche die Belange des Umweltschutzes, des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere des Naturhaushaltes, des Wassers, der Luft und des Bodens einschließlich seiner Rohstoffvorkommen sowie das Klima zu berücksichtigen. Für Städte mit denkmalgeschützten Gebäudebestand sind insbesondere **die Punkte (5) und (6) des Absatzes 6 des § 1** relevant, die Erhalt, Erneue-

rung und Fortentwicklung geschichtlicher, künstlerischer oder städtebaulich bedeutender Infrastruktur und die Gestaltung des Orts- und Landschaftsbildes fordern.

Weiterhin zu nennen sind die **Landesbauordnungen (LBO)** und auf deren Basis erlassene **Rechtsverordnungen** sowie **weitere Umweltgesetze**, soweit sie für Bau- und Stadtentwicklungsmaßnahmen relevant sind.

5.2 Denkmalpflege und Denkmalschutz

Das erstmals im frühen 19. Jahrhundert aufkommende Interesse am Erhalt historischer Gebäude und damit einhergehende denkmalpflegerische Grundsätze gingen von wegweisenden Architekten dieser Zeit aus und wurde in dessen weiterer Entwicklung durch den Einfluss von Kunsthistorikern geprägt. Abgeleitet aus deren, über die Jahrhunderte entwickelten, denkmalpflegerischen Grundsätzen wurde im Jahr 1964 die „**Charta von Venedig**“ [7] durch den II. Internationalen Kongress der Architekten und Techniker der Denkmalpflege entwickelt und bestätigt. Diese ist bis heute die **international anerkannte Richtlinie der Denkmalpflege**, an der sich die Denkmalschutzgesetze der Länder orientieren. Aus der geschichtlichen Entwicklung der Denkmalpflege sind unterschiedliche Strategien für den Umgang mit Baudenkmalen entstanden und finden heute Anwendung in der Praxis

Denkmalpflege und Denkmalschutz umfassen alle Tätigkeiten, die auf die Erhaltung von Denkmälern ausgerichtet ist. Unter **Denkmalpflege** sind alle Handlungen nicht hoheitlicher Art zu verstehen, welche die Erhaltung, Instandhaltung und Instandsetzung von Denkmälern bezwecken. Zum **Denkmalschutz** gehören alle auf die Erhaltung von Denkmälern abgestellten hoheitlichen Maßnahmen der öffentlichen Hand, also Gebote und Verbote, aber auch Genehmigungen, Erlaubnisse und Sanktionen.

Die Kulturhoheit der Länder, nach **§ 30, Grundgesetz**, definiert die Gesetzgebung des **Denkmalschutzes (DSchG)** als Sache der 16 Bundesländer. Bundesweit besteht allerdings über die Definition und Bewertung von Denkmälern weitestgehend Übereinstimmung.

Das bayerische Denkmalschutzgesetz (DSchG) definiert den Begriff des Denkmals in Artikel 1 Begriffsbestimmungen beispielsweise folgendermaßen:

(1) Denkmäler sind von Menschen geschaffene Sachen oder Teile davon aus vergangener Zeit, deren Erhaltung wegen ihrer geschichtli-

chen, künstlerischen, städtebaulichen, wissenschaftlichen oder volkskundlichen Bedeutung im Interesse der Allgemeinheit liegt.

(2) Baudenkmäler sind bauliche Anlagen oder Teile davon aus vergangener Zeit, soweit sie nicht unter Absatz 4 fallen, einschließlich dafür bestimmter historischer Ausstattungsstücke und mit der in Absatz 1 bezeichneten Bedeutung. Auch bewegliche Sachen können historische Ausstattungsstücke sein, wenn sie integrale Bestandteile einer historischen Raumkonzeption oder einer ihr gleichzusetzenden historisch abgeschlossenen Neuausstattung oder Umgestaltung sind. Gartenanlagen, die die Voraussetzungen des Absatzes 1 erfüllen, gelten als Baudenkmäler.

(3) Zu den Baudenkmalern kann auch eine Mehrheit von baulichen Anlagen (Ensemble) gehören, und zwar auch dann, wenn nicht jede einzelne dazugehörige bauliche Anlage die Voraussetzungen des Absatzes 1 erfüllt, das Orts-, Platz- oder Straßenbild aber insgesamt erhaltenswürdig ist.

(4) Bodendenkmäler sind bewegliche und unbewegliche Denkmäler, die sich im Boden befinden oder befanden und in der Regel aus vor- oder frühgeschichtlicher Zeit stammen.

Denkmalschutzbehörden sind in den hierarchischen staatlichen Verwaltungsaufbau eingegliedert und haben in der Regel einen zwei- oder dreistufigen Aufbau. In den meisten Bundesländern gibt es ein Landesamt für Denkmalpflege, teilweise mit leicht abweichender Bezeichnung. Es handelt sich hierbei um Fachbehörden, die außerhalb der Hierarchie der Vollzugsbehörden stehen. Sie beraten Denkmaleigentümer und Denkmalschutzbehörden bei ihren Entscheidungen.

Vor jeder Maßnahme, die eine Veränderung eines denkmalgeschützten Gebäudes darstellen könnte, ist eine Bewilligung bei der entsprechenden Denkmalbehörde einzuholen. Eingriffe in den Denkmalbestand bedeuten immer dessen Veränderung. Sie sind deshalb unter Wahrung der Authentizität des Denkmals auf das Nötigste zu beschränken. [1]

Eingriffe an einem Baudenkmal, Ensemble oder Denkmalbereich sollen vorrangig der Erhaltung der historischen Substanz dienen und sind so zu dokumentieren, dass der Zustand vor und nach der Veränderung nachvollziehbar bleibt. Additionen dürfen ein Denkmal nicht verfälschen und müssen reversibel sein. Die Reversibilität dient der Absicht, die historische Substanz als Träger von historischen und künstlerischen Aussagen möglichst unversehrt zu lassen. [1]

5.3 Energieeinsparverordnung

5.3.1 Allgemeines

Die **Energieeinsparverordnung (EnEV)** regelt die Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden und Anlagentechnik, formuliert Mindestanforderungen, definiert die Form des Nachweisverfahrens und beinhaltet weitere Vorschriften wie z. B. Nachweisberechtigungen und Bußgelder.

Zunächst wird in der EnEV der **Anwendungsbereich** definiert und es erfolgen Begriffsbestimmungen. Der Zweck ist gemäß § 1 definiert „Zweck dieser Verordnung ist die Einsparung von Energie in Gebäuden. In diesem Rahmen und unter Beachtung des gesetzlichen Grundsatzes der wirtschaftlichen Vertretbarkeit soll die Verordnung dazu beitragen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, insbesondere ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050, erreicht werden.“ Bei den Einschränkungen im Anwendungsbereich ist zu nennen, dass z. B. nicht ständig genutzte Gebäude („fliegende Bauten“) und weitere Sonderbauten von der Verordnung ausgenommen sind, sowie auch der Energieeinsatz für Produktionsprozesse. Kleine Bauten mit weniger als 50 m² Nutzfläche dürfen über den Bauteilnachweis wie Gebäude im Bestand behandelt werden.

Für den quantitativen Nachweis müssen eine **Haupt- und eine Nebenanforderung** erfüllt sein, d. h. es darf ein Maximalwert nicht überschritten werden. Die Hauptanforderung ist der Jahres-Primärenergiebedarf, welcher die energetische Bewertung des Gesamtsystems (Qualität Gebäude, Anlage und Energieträger) erlaubt. Die Bewertung der Gebäudehülle übernimmt die Nebenanforderung, d. h. der spezifische Transmissionswärmeverlust, welcher grob vereinfacht als mittlerer U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) der Gebäudehülle bezeichnet werden kann und eine Mindestanforderung an den baulichen Wärmeschutz darstellt.

Generell kann der Nachweis für Anforderungsgrößen über eine rechnerische Bewertung („**Bedarf**“) oder eine Auswertung messtechnischer Größen („**Verbrauch**“) erfolgen. Die Analyse der Verbrauchswerte (z. B. Heizkostenabrechnung aus drei Jahren) hat den Vorteil der Kostengünstigkeit und den Nachteil, dass der Nutzereinfluss ungefiltert ist und kein Rechenmodell für eine Energieberatung vorliegt. Der rechnerische Nachweis des Bedarfs erfordert eine Aufnahme des Gebäudes, meist in Form von Software-Eingaben (Bauteilflächen und U-Werte, Anlagenkomponenten), erlaubt dann aber nutzerunabhängige Bewertungen und die rechnerische Abschätzung von Sanierungsmaßnahmen.

Für das **rechnerische Nachweisverfahren** wird grundsätzlich das Verfahren der DIN V 18599 in Bezug genommen, Wohngebäude dürfen abweichend davon mit dem etwas einfacheren/älteren Verfahren der DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 bewertet werden. Die Ermittlung der maximal zulässigen Werte (Anforderungsgröße, die nicht überschritten werden darf) für Haupt- und Nebenanforderung erfolgt anhand des **Referenzgebäudeverfahrens**. Dabei werden keine Werte vorgegeben, sondern eine „Referenzausführung“. Das zu betrachtende Gebäude wird in gleicher Kubatur und mit den gleichen Flächen aber mit fest vorgegebenen Randbedingungen ein zweites Mal gerechnet, und der sich daraus ergebende Wert wird als Anforderungsgröße herangezogen. In der Referenzausführung sind die Kennwerte der Bauteile der Gebäudehülle festgelegt (U- und g-Werte) und standardisierte Systeme für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung vorgegeben sowie weitere Randbedingungen enthalten.

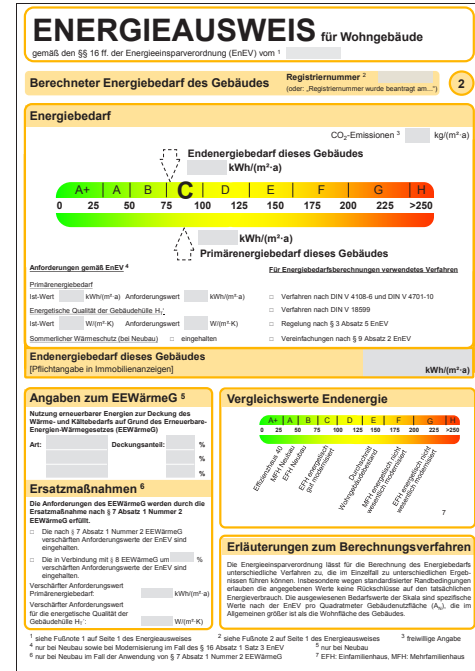
Bei der Änderung, der Erweiterung oder dem Ausbau von Gebäuden und Anlagen im **Bestand** kommt entweder der rechnerische Nachweis des Gesamtsystems wie beim Neubau zur Anwendung (Überschreitung gegenüber Neubau um 40% zulässig) oder ein Einzelnachweis, d. h. über tabellierte Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen. Dabei gelten unterschiedliche Anwendungsgrenzen (> 10% der jeweiligen Bauteilfläche).

Weiterhin werden v. a. bei der Anlagentechnik **Nachrüstverpflichtungen** formuliert, z. B. der verpflichtende Ersatz von Kesseln, die vor 1985 eingebaut wurden und nicht mit Niedertemperatur- oder Brennwerttechnik arbeiten. Weitere Nachrüstverpflichtungen betreffen die nachträgliche Dämmung zugänglicher Verteilungen und zugänglicher Geschossdecken zu ungenutzten Dachräumen (mit verschiedenen Einschränkungen). Ausnahmeregelungen betreffen (seit 1.2.2002) selbstgenutzte Ein- bis Zweifamilienhäuser und den Fall, dass die Maßnahmen nicht wirtschaftlich umzusetzen sind.

In der EnEV sind – über die obligatorischen Regeln der Technik hinaus – auch **Mindestanforderungen** definiert. Diese betreffen Dichtheit, Mindestwärmeschutz, Wärmebrücken, Heizkessel, Rohrleitungsdämmung und Klimaanlage. Ein Grundsatz der EnEV ist die „Aufrechterhaltung der energetischen Qualität“, welche sicherstellen soll, dass bei Änderungen an Gebäude oder Anlagentechnik die energetische Qualität nicht verschlechtert werden darf.

In drei weiteren Bereichen muss im Rahmen eines EnEV-Nachweises der Betreiber oder Nachweisersteller tätig werden, d. h. es gibt Regelungen für die

Durchführung von energetischen **Inspektionen der Klimaanlage** und es muss ein **Energieausweis** erstellt, teils öffentlich ausgehängt und auf Verlangen vorgelegt werden, und hat – mit Einführung der EnEV 2014 – eine Pflichtangabe in Immobilienanzeigen zu erfolgen.



Quelle: BMWi
Abbildung 8: Muster Energieausweis Wohngebäude (Bedarf) gemäß EnEV [8]



Quelle: HNA 16.01.2016
Abbildung 9: Immobilienanzeige mit Angabe der energetischen Kennwerte gemäß EnEV.

5.3.2 EnEV 2014 und 2016

Die aktuelle EnEV 2014 [8] ist am 1. Mai 2014 in Kraft getreten. Diese Novelle der EnEV wird teilweise

mit unterschiedlichen Jahreszahlen bezeichnet. Auf Grund des Beschlusses der Novelle im Jahr 2013 wird sie gelegentlich als EnEV 2013 bezeichnet, durch das in Kraft treten der Fassung im Jahr 2014 wird sie meist EnEV 2014 genannt. Die zum 1. Januar 2016 wirksam werdenden Anforderungsänderungen werden gelegentlich unter dem Begriff EnEV 2016 beschrieben. Es handelt sich jedoch in allen drei Fällen um dieselbe Version der Verordnung [9].

Im Rahmen der EnEV 2014 werden für Wohngebäude Anforderungen an die Größen Jahres-Primärenergiebedarf und spezifischer Transmissionswärmeverlust gestellt. Dies sind die aus der EnEV 2009 bekannte Anforderungsgrößen. Sowohl bezüglich der Höhe der Anforderungen, der Ermittlung der maximal zulässigen Werte und des Nachweisverfahrens haben sich mit der Novellierung der EnEV 2014 Änderungen ergeben [10].

Zu den wichtigsten Änderungen der EnEV 2014 (und 2016) zählen [10], [9]:

- Verschärfung der Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf (um 25 %) und den spezifischen Transmissionswärmeverlust.
- Berücksichtigung weiterer Technik im Wohngebäude, d. h. Raumluftkühlung, Strom aus erneuerbaren Energien.
- Weitere Änderungen bzgl. Randbedingungen, Nachrüstverpflichtungen und Bußgeldern.

5.3.3 Baudenkmal in der EnEV

Mit dem in der EnEV verwendeten Terminus „Baudenkmal“ sind neben den Einzelbaudenkmälern auch sämtliche Gebäude innerhalb eines Ensembles (auch Neubauten innerhalb des Ensembles) abgedeckt. Eine gesonderte Bestätigung, dass von der EnEV abgewichen werden darf, wird nicht benötigt.

Im Text der EnEV 2014 wird an drei Stellen der Begriff des Denkmals erwähnt, d. h.

- es erfolgt eine **Begriffsbestimmung** im Rahmen der Verordnung:
„§ 2 Begriffsbestimmungen Abs. 3a: Im Sinne dieser Verordnung sind Baudenkmal nach Landesrecht geschützte Gebäude oder Gebäudemehrheiten“
- es besteht keine Ausstellungs- und Aushangpflicht für den **Energieausweis**:
„§ 16 Ausstellung und Verwendung von Energieausweisen, Abs. 5: Auf kleine Gebäude sind die Vorschriften dieses Abschnitts nicht anzuwenden. Auf Baudenkmal sind die Absätze 2 bis 4 nicht anzuwenden.“
- und es gibt eine Öffnungsklausel für Aus-

nahmen bei Baudenkmalern bei der Erfüllung der **Anforderungen**:

„§ 24 Ausnahmen Abs. 1: Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.“

Anders als der Denkmalbegriff ist der Begriff der **„sonstigen besonders erhaltenswerten Bausubstanz“** rechtlich unbestimmt. Die Festlegung obliegt den Städten und Kommunen in Abstimmung mit den Denkmalfachbehörden. Unter anderem können folgende Kriterien greifen:

- Das Gebäude ist durch die Kommune durch Satzung, öffentliche Listung bzw. im Rahmen eines beschlossenen integrierten Stadtentwicklungskonzepts oder Quartierskonzepts ausdrücklich als sonstige besonders erhaltenswerte Bausubstanz ausgewiesen,
- das Gebäude ist kein Einzeldenkmal, aber Teil einer Gesamtanlage (Denkmalensemble, Denkmalbereich, Denkmalschutzgebiet oder Denkmalzone nach Landesdenkmalgesetz),
- das Gebäude befindet sich in einem Gebiet der Liste „Stadtkerne und Stadtbereiche mit besonderer Denkmalbedeutung“ der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger, einer Altstadtinventarisierung historischer Städte in Deutschland,
- das Gebäude ist wegen seines Baualters oder seiner besonderen städtebaulichen Lageortsbild- oder landschaftsprägend, zum Beispiel als Teil von zentralen raumbestimmenden Platzkanten und Straßenfassaden, in seiner Höhe als Teil der Stadtsilhouette usw.

6 Anlagentechnische Bestandserfassung

Die **Dokumentation** und Inventarisierung von Denkmalen sowie die Dokumentation von Konservierungs- und Restaurierungsmaßnahmen gehören traditionsgemäß zu den Kernaufgaben von Denkmalschutz und Denkmalpflege. Überlegungen zu **Definitionen** in Bezug auf Inhalt und Form von Dokumentationen sind so alt wie die Geschichte der Denkmalpflege selbst. [17]

Der Notwendigkeit einer umfassenden Bestandserfassung und -dokumentation kommt beim Baudenkmal besondere Bedeutung zu. In den jeweiligen Landesbauordnungen ist diese **Dokumentationspflicht** festgeschrieben, i. d. R. in Form von Anforderungskatalogen zur Dokumentation.

Die kritische und analytische Dokumentation von Untersuchung, Konservierung oder Restaurierung erfolgt auf Grundlagen von **international anerkannten Richtlinien** wie der Charta von Venedig und anderen allgemein anerkannten Standards in der Boden-, Bau- und Kunstdenkmalpflege. [18]

Artikel 16 der **Charta von Venedig**: „Alle Arbeiten der Konservierung, Restaurierung und archäologischen Ausgrabungen müssen immer von der Erstellung einer genauen Dokumentation in Form analytischer und kritischer Berichte, Zeichnungen und Photographien begleitet sein. Alle Arbeitsphasen sind hier zu verzeichnen: Freilegung, Bestandssicherung, Wiederherstellung und Integration sowie alle im Zuge der Arbeiten festgestellten technischen und formalen Elemente. Diese Dokumentation ist im Archiv einer öffentlichen Institution zu hinterlegen und der Wissenschaft zugänglich zu machen. Eine Veröffentlichung wird empfohlen.“ [7]

Bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen ist – nicht nur beim Baudenkmal sondern generell – eine **Erfassung des vorliegenden Zustands** obligatorisch. Dieser bezieht neben einer umfangreichen Erfassung und Dokumentation des Zustands der baulichen Komponenten auch die Anlagentechnik mit ein, wobei auch die Lage und der Zustand aller Komponenten, besonders der zugehörigen Leitungen (einschließlich Kamine) genau zu prüfen und zu dokumentieren ist.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch Teile der Heizungstechnik von besonderer **technikgeschichtlicher Bedeutung** – und damit erhaltenswert – sein können. In den allermeisten Fällen können diese historischen Techniksysteme die heutigen Sicherheitsanforderungen und Effizienzkriterien nicht mehr erfüllen. Sie haben/hätten also nur (nicht abwertend) noch einen funktionslosen musealen Wert. [19]

7 Maßnahmen für Übergabesysteme

Die hier betrachteten Übergabearten der Technischen Gebäudeausrüstung beziehen sich auf Systeme mit indirekter Abgabe. Auf Vorrichtungen zur direkten Wärmeabgabe, also z. B. Kaminöfen, wird hier nicht weiter eingegangen, da sie in der Regel nur als Zusatzheizung eingesetzt werden.

Bei **indirekten Systemen** wird ein Medium (Wasser oder Luft) von der Erzeugung/Speicherung bis zur Übergabestation transportiert. Die Aufgabe des Transportmediums ist, die Raumluft zu erwärmen oder zu kühlen, im Falle der luftgeführten Systeme ggf. auch zu be- oder entfeuchten. Die Übergabe erfolgt über Konvektion und/oder Strahlung sowie Luftauslässe.

Der teilweise oder vollständige **Ersatz** von Übergabeeinrichtungen (unter Beibehaltung des Verteilnetzes) kann – auch im denkmalgeschützten Bestand – eine vertretbare Maßnahme sein, da der Umfang des Eingriffs in das Gebäude und die Gebäudesubstanz in der Regel begrenzt ist, sofern es sich nicht um flächige Systeme handelt.

Das Thema der Neuinstallation von Übergabesystemen (Ersatz) ist im folgenden Abschnitt am Ende platziert, vorangestellt und beschrieben werden **kleinere Maßnahmen** zur Steigerung der Energieeffizienz, welche eine kostengünstigere Alternative darstellen können.

- Reduzierung der Wärmeverluste in Heizkörpernischen
- Reinigung/Aufbereitung Heizkörperoberfläche
- Nachrüstung von Konvektoren mit Ventilatoren
- Austausch bzw. Nachrüstung von Regelungseinrichtungen

Bei der Ausführung und Ausstattung der Regelungseinrichtungen sind Vorgaben der EnEV zu beachten.

7.1 Reduzierung der Wärmeverluste in Heizkörpernischen

Bei der in Heizkörpernischen meist vorliegenden begrenzten Einbautiefe sollte eine hocheffiziente Dämmung mit einer **geringen Wärmeleitfähigkeit** verwendet werden, idealerweise mit z. B. einer Alukaschierung für die Reflexion der Strahlungswärmeabgabe des Heizkörpers. Hier bietet sich auch der Einsatz innovativer Dämmsysteme an, z. B. Vakuumdämm-Paneele (VIP), mit welchen auch bei geringen Schichtdicken eine ausreichende Dämmung erzielt werden kann. Allerdings sind diese Systeme bezüglich Investition und Verarbeitung recht anspruchsvoll.

Auf jeden Fall ist eine **ausreichende Luftzirkulation** zu gewährleisten (keine Verkleidungen oder bodenlange Vorhänge).

Durch den Einbau einer reflektierenden Folie wird der größte Teil der Wärmestrahlung reflektiert und nur die konvektiv an die Wand übertragene Wärmemenge wird maßgeblich nach außen wirksam [20]. Für den **Gesamtenergieverbrauch** eines Hauses ist die Reduzierung dieses Wärmestroms durch Reflektion nur **gering**.

Sehr geringe Dämmstärken führen zu sehr geringen Einsparungen, daher wird von reinen Dämmfolien oder Dämmtapeten abgeraten. Weiterhin ist eine **richtige Verarbeitung** wichtig, das Material muss vollflächig (und luftdicht) verklebt werden damit keine feucht-warme Raumluft zwischen Wärmedämmung und Wandoberfläche eindringen kann.

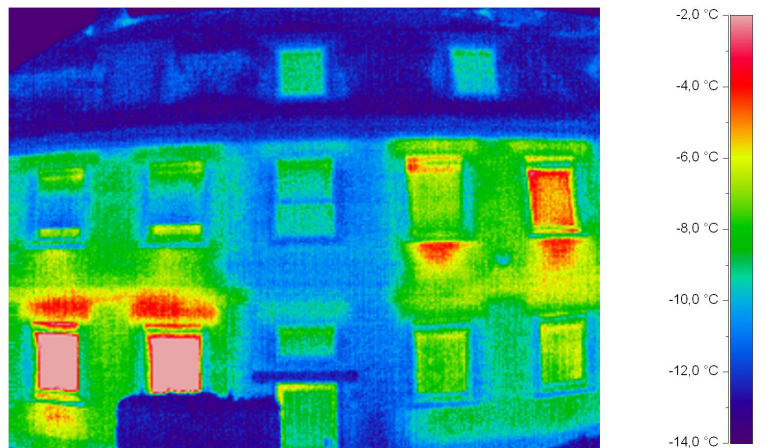


Abbildung 10: Das Thermogramm zeigt eine typische Temperaturverteilung für einen Heizkörper in einer Heizkörpernische

Quelle: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider

Durch eine innen angebrachte Dämmung sinkt die Temperatur innerhalb der Außenwand. Bei niedrigen Außentemperaturen kann die Taupunkttemperatur im Inneren der Außenwand unterschritten werden. Zu beachten ist hierbei die Gefahr der **Tauwasserbildung** in der Außenwand, welche zu Schimmelbildung oder Bauschäden führen kann. Dieses Problem verschärft sich bei nicht oder niedrig beheizten Räumen wie z. B. Schlafzimmern.

Durch die Anbringung einer Innendämmung erhöhen sich die Wärmeverluste von **Wärmebrücken der einbindenden Bauteile**. Aus diesem Grund wird geraten, die Unterseite der Fensterbank und die Laibungen (Seiten) der Nische mit demselben Dämmstoff zu verkleiden.

7.2 Reinigung Heizkörperoberfläche

Die Aufarbeitung der Oberfläche von Heizkörpern dient eher der **Optik** und der Erhaltung (Rostentfernung) als der Energieeinsparung. Mehrlagige Lackschichten verschlechtern die Wärmeleitung, allerdings ist die Größenordnung vergleichsweise vernachlässigbar.

Bei der Entscheidung über die Erhaltung alter Heizkörper ist sorgfältig zwischen denkmalpflegerischen Aspekten und den Anforderungen an Energieeffizienz und Behaglichkeit abzuwägen. Gusseisheizkörper haben eine große Masse/Trägheit und sind daher schlechter regelbar. Niedertemperatursysteme erfordern große Flächen, welche durch Gliederheizkörper ggf. nicht bereitgestellt werden können. Erfolgen im Zuge der Sanierung Änderungen am Gesamtsystem (z. B. Temperaturabsenkung, Erzeugerwechsel), so kann dadurch ein Weiterbetrieb ausgeschlossen sein.

Moderne Heizkörper haben in der Regel eine pulverbeschichtete Oberfläche und sind daher robuster als z. B. ältere gusseiserne Gliederheizkörper, die meist eine **Lackierung** aufweisen, welche anfälliger für Rost ist.

In dem Fall, dass bestehende Heizkörper erhalten werden sollen, sind diese sorgfältig auf Rostbefall zu prüfen. Vorhandene **Roststellen** müssen vor der Weiterbehandlung entfernt werden. Dies geschieht wie bei allen metallischen Oberflächen mit Schleifmitteln oder Drahtbürste, kann aber auch durch Sandstrahlen erfolgen. Eine anschließende Neulackierung (mit Vorbehandlung) sollte nur mit geeigneten Lacken erfolgen.

Ist die Oberfläche nur schmutzig oder vergilbt, dann reicht eine **Reinigung** aus, für die auch flüssige Lackauffrischer angeboten werden.



Foto: Frank Vincentz, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 11: Historischer Heizkörper im Wülfing-Museum in Radevormwald-Dahlerau

7.3 Nachrüstung von Konvektoren mit Ventilatoren

Die **Funktionsweise** eines Konvektors **ohne Gebläse** lässt sich wie folgt zusammenfassen: Kalte Luft wird an den Lamellen eines wasserführenden Heizrohrs im Innern des Konvektors vorbeigeführt (durch thermischen Auftrieb) und dabei erwärmt. Oben tritt dann die warme Luft aus.

Mit steigender Luftgeschwindigkeit steigt auch die Heizleistung an, die Luftströmung durch thermischen Auftrieb ist jedoch begrenzt. Daher werden Konvektoren auch **mit Gebläse** ausgestattet. Diese können nachgerüstet werden, was sich u. U. anbietet, wenn alternative Maßnahmen – z. B. der komplette Ersatz des Übergabesystems – durch Denkmalschutzauflagen erschwert ist.

Das Gebläse sorgt dafür, dass die Luft zwangsweise über den Wärmetauscher geblasen bzw. gesaugt wird. Die Vorteile sind hierbei das schnelle Aufheizen durch die **höhere Heizleistung** auch bei ggf. herabgesetzten Temperaturen des Gesamtsystems. Die damit verbundenen höheren Kosten für Investition und Betrieb stellen hierbei die Nachteile dar, ebenso wie eventuell auftretende Ventilatorgeräusche und Zugserscheinungen.



Foto: © Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Abbildung 12: Gebläsekonvektor mit Warmwasseranschluss



Foto: © Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Abbildung 13: Tiefemperaturheizkörper mit Gebläsefunktion (Boost)

7.4 Austausch oder Nachrüstung von Regelungseinrichtungen Warmwasserheizung

Regleinrichtungen sind bei Warmwasserheizungen mindestens in zwei Bereichen erforderlich, d. h. **zentral am Wärmeerzeuger** und **dezentral** an den einzelnen **Übergabestellen** im Raum.

Die Regelung im Raum erfolgt üblicherweise mit **Thermostatventilen** an den einzelnen Heizkörpern. Bei Heizkörpern aber v. a. bei Flächenheizungen kann auch ein **Raumregler** eingesetzt werden, welcher an einer zentralen Stelle im Raum angeordnet ist und unter Nutzung geeigneter Datenübertragungstechnik (Draht, Funk) alle im Raum befindlichen Übergabestellen steuert. Da es verschiedene Anschlussarten gibt, muss unter Umständen ein Adapter eingesetzt werden. Für den Denkmalbereich sind v. a. drahtlose Übertragungssysteme gut geeignet, da sie keine Verlegearbeiten erfordern („SmartHome“, Anbindung an Gebäudeleittechnik GLT möglich).

Im Bestand sind noch Ventile anzutreffen, welche nur die **Durchflussmenge** regeln, siehe Abbildung 14. Beim **Thermostatventil** erfolgt die Regelung der Durchflussmenge in Abhängigkeit von der Raumtemperatur, welche mittels eines Temperaturfühlers bestimmt wird.



Foto: 1971markus@wikipedia.de, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 14: Temperaturregler (Ventil manuell) für Guss-Heizkörper (Radiator) um 1910 im Deutschen Technikmuseum in Berlin.

Nicht nur bei Einzelraumreglern sondern auch bei Thermostatventilen kann der Einsatz von **Elektronik** bei der Regelung zu weiteren Energieeinsparungen und Komfortverbesserungen führen. Dies hängt jedoch wesentlich von der Nutzerakzeptanz ab. Im einfachen Fall wird z. B. die Nachtabenkung durch eine Zeitschaltuhr geregelt. Bei Einsatz von

Mikroprozessoren sind die Möglichkeiten vielfältig, da der Regler beliebig programmiert werden kann. Die Integration in ein Funknetz oder das Internet ermöglicht eine Fernbedienung.

Die **Energieeinsparverordnung** enthält Anforderungen an die Mindestausstattung der Regelungstechnik von Pumpenwarmwasserheizungen, welche in dem Fall greifen, dass eine Heizungsanlage neu eingebaut wird.

EnEV § 14 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen, Abs. 2, Satz 1: *„Heizungstechnische Anlagen mit Wasser als Wärmeträger müssen beim Einbau in Gebäude mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur raumweisen Regelung der Raumtemperatur ausgestattet werden; von dieser Pflicht ausgenommen sind Fußbodenheizungen in Räumen mit weniger als sechs Quadratmetern Nutzfläche.“*

In dem Fall, dass keine neue Heizung eingebaut wird, besteht trotzdem eine **Nachrüstpflicht**, falls die geforderte Ausstattung nicht vorhanden ist. Bei Fußbodenheizungen (Einbau vor Februar 2002) reichen Einrichtungen zur raumweisen Anpassung der Wärmeleistung an die Heizlast aus.

7.5 Ersatz von Übergabesystemen (teilweise oder vollständig)

Bei den Heizungssystemen ist – unter energetischen Gesichtspunkten – in den meisten Fällen den Niedertemperatursystemen der Vorzug zu geben, welche idealer Weise mit großflächigen Übergabesystemen kombiniert sind (z. B. Fußbodenheizung). Durch die niedrigeren Systemtemperaturen wird die Effizienz der Wärmeerzeugung verbessert und die Verluste im Verteilsystem werden verringert.

Inwieweit im Baudenkmal Flächenheizungen oder Einzelheizkörper besser geeignet sind, ist nicht nur anlagentechnisch, sondern auch in baulich-konstruktiver, historisch-ästhetischer und heizungstechnischer Hinsicht abzuwägen [21].

Ergibt sich durch eine Prüfung der bauphysischen Gegebenheiten die Notwendigkeit einer **Bauteiltemperierung** zur Vermeidung von Bauschäden, dann bieten sich die bauteilintegrierten Übergaben für eine mögliche Kombination beider Systeme an, d. h. Gebäudeheizung und Bauteilheizung.

Die verschiedenen unterschiedlichen Bauarten der Einrichtungen zur Wärmeübergabe haben systembedingte spezifische Eigenschaften, welche im Folgenden beschrieben sind.

7.5.1 Heizkörper (freie Heizflächen)

Am weitesten verbreitet sind **Plattenheizkörper** (Flachheizkörper), welche aus ein bis drei hintereinander angeordneten profilierten Platten bestehen.



Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider
Abbildung 15: Plattenheizkörper

In älteren Bestandsanlagen sind in der Regel **Gliederheizkörper** vorzufinden, welche auch als Radiatoren bezeichnet werden, obwohl ihr Strahlungsanteil gegenüber Plattenheizkörpern geringer ist. Die Bezeichnung passt physikalisch eher zu alten Gussheizkörpern, welche mit hohen Vorlauftemperaturen betrieben wurden, wodurch sich der radiative Anteil erhöht. Zu den Gliederheizkörpern gehören auch Rohrheizkörper, welche z. B. in Bädern als Handtuchtrockner Verwendung finden.



Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider
Abbildung 16: Gliederheizkörper

Konvektoren erwärmen lokal die Luft, welche dann durch Luftbewegung im Raum verteilt wird. Dafür sind im Inneren Heizrohre mit Lamellen zur Vergrößerung der wärmeübertragenden Oberfläche angebracht.

Der Luftstrom entsteht entweder über die gegebenen natürlichen Bedingungen des Raums oder erzwungen durch den Einsatz von Ventilatoren. Konvektoren werden besonders bei schwierigen Einbausituationen (z. B. Nischen) oder sehr großen bzw. hohen Räumen eingesetzt.

Sonderformen: Sockelheizungen gehören in der Regel zu den Konvektoren, können aber auch als Rohrheizung ausgeführt sein, z. B. in Kirchenbauten. Sie können, wie die Unterflurkonvektoren, auch in Schächten untergebracht sein. Deckenstrahlplatten werden überwiegend in Hallen eingesetzt und wirken vorwiegend über Strahlung.

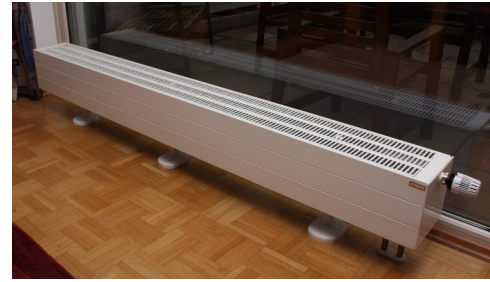


Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider
Abbildung 17: Konvektor

Heizkörper – oder allgemein freie Heizflächen – können je nach Größe und Ausführung den Raumeindruck wesentlich beeinflussen. Dies ist zu bedenken und ggf. mit den Anforderungen des Denkmalschutzes an die Raumästhetik in Einklang zu bringen.

Nach energetischen Sanierungen von Gebäuden reduzieren sich in der Regel auch die Heizlasten von Räumen. Geringere Heizlasten haben zur Folge, dass vorhandene Heizflächen (Heizkörper) kleiner ausgeführt werden könnten, wenn das Heizsystem mit den ursprünglichen Systemtemperaturen (Vorlauf/Rücklauf) weiter betrieben werden soll bzw. muss. Dies ist aber in den allermeisten Fällen weder notwendig, noch unbedingt sinnvoll. Für den Fall, dass jedoch die alten Heizkörper weiter genutzt werden können, bzw. neue „größengleiche“ Heizkörper eingebaut werden, ergibt sich die Möglichkeit, die Systemtemperatur des Heizsystems abzusenken. Im günstigsten Fall ist dann der Einsatz von Niedertemperatur-Wärmeerzeugern (z. B. Wärmepumpe und Spitzenlastwärmeerzeuger) möglich.

7.5.2 Bauteilintegrierte Heizflächen

Integrierte Heizflächen werden als Fußboden-, Wand- oder Deckenheizungen ausgeführt, sie können auch zur Gebäudekühlung genutzt werden. Durch den Einbau in das Bauteil ist v. a. bei der Neuinstallation im Bestand ein **großer Eingriff in das Gebäude** erforderlich.



Foto: H. Raab, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 18: Fußbodenheizung

Durch die größere wärmeübertragende Oberfläche bieten sie sich besonders für **Niedertemperatursysteme** an, welche unter energetischen Ge-

sichtspunkten den Hochtemperatursystemen vorzuziehen sind. Sehr effizient kann die Kombination von Wärmepumpen und/oder Solarthermie-Nutzung mit Flächenheizungs- und Kühlungs-systemen sein. Bauteilintegrierte Systeme haben durch ihre gleichmäßigere Verteilung der Temperatur Vorteile bei der **thermischen Behaglichkeit**, allerdings auch Nachteile durch ihre thermische Trägheit, die Regelung erfolgt im Vergleich zu Radiatoren oder Konvektoren langsamer.

Die Systeme werden nach der Form des Wärmetransports in

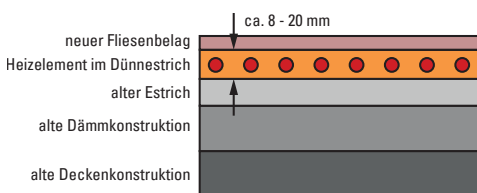
- **Wassergeführte** Flächenheizungs- und Kühlungs-systeme und
- **Elektro**-Flächenheizung unterschieden.

Wassergeführte Systeme sind Direktheizungen während elektrische Flächenheizungen als Speicher, Direkt- oder als Zusatzheizungen ausgeführt werden.

Durch den Einsatz von bauteilintegrierten Heizflächen ist in den versorgten Räumen keine Installation von Heizkörpern mehr notwendig, so dass der bauzeitliche Raumeindruck wiederherstellbar ist.

Eine Beheizung vom Boden her wird als thermisch behaglicher empfunden als von der Decke, weshalb die **Fußbodenheizung** die stärkste Verbreitung gefunden hat [22].

Die **verfügbare Aufbauhöhe** (auch nach Aufbringen einer Ausgleichsschicht für den unebenen Boden) ist ein wichtiges Kriterium bei der Wahl eines Flächenheiz- und/oder Kühlsystems. Diese bestimmt im hohen Umfang wie aufwendig die weiteren Maßnahmen an den z. B. Türen, Treppensätze, Fensterlaibungen usw. durchzuführen sind.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 19: Systemaufbau einer nachträglich verbauten dünn-schichtigen Verbundkonstruktion nach [24]

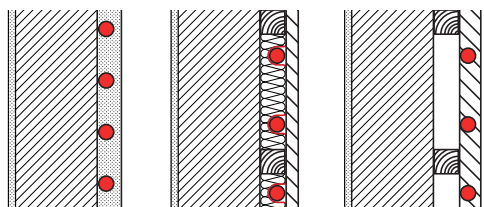
In Abbildung 19 ist eine im Wohnungsbau nachträglich eingebaute **dünn-schichtige Verbundkonstruktion** dargestellt, welche auf einer vorhandenen tragfähige Lastverteilungsschicht (z. B. Estrich, Beton, Holzdeckenkonstruktion) angeordnet ist, mit integriertem Rohrsystem zum Heizen und Kühlen und ohne zusätzliche Dämmschicht.

Wandheizung werden ähnlich wie Fußbodenhei-

Sofern der Einbau denkmalpflegerisch bewiligt und entsprechende konstruktive Maßnahmen zur Last- und Wärmeverteilung durchgeführt wurden, können Fußbodenheizungen auch als Dünnschichtsystem ausgeführt werden. Beim nachträglichen Einbau ist insbesondere zu achten auf

- Beschaffenheit des Untergrundes (eben),
- Tragfähigkeit des Untergrundes,
- Verfügbare Aufbauhöhe und
- Beibehalten / Herstellen des Trittschallschutzes.

zungen ausgeführt. Dabei werden strom- oder wasserführende Leitungen im Nass- oder Trockensystem an der Wand montiert.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 20: Ausführungsvarianten der Wandheizung/-kühlung nach [23]

In Abbildung 20 sind verschiedene **Ausführungsvarianten** von Wandheiz- und Wandkühlsystemen dargestellt. Links: ein Nasssystem, bei dem die Rohrleitungen auf einem geeigneten Untergrund befestigt werden und innerhalb der dickschichtigen Putzschicht liegen. Mitte: das Rohrsystem liegt in Systemdämmplatten in einer Unterkonstruktion. Rechts: eine Trockenbauplatte, bei der zuerst eine Unterkonstruktion auf der Wand befestigt wird und auf diese die Systemplatten mit integrierten Rohrleitungen montiert werden.

Diese Maßnahme bietet sich an, wenn die Innenflächen von Wänden im Zuge von Sanierungsmaßnahmen überarbeitet werden müssen und keine schützenswerte Innenverkleidung, Stuck oder Farbe vorliegt sowie durch fehlende Raumhöhen oder erhaltenswerte Bodenbeläge keine Fußbodenheizung installiert werden kann.

Beim nachträglichen Einbau ist insbesondere zu achten auf

- freie, verfügbare Wandfläche,
- Beschaffenheit des Untergrundes und
- vorhandene Installationen.

Es gibt zum Beispiel **Vorwandheizflächen** [24] welche in Trockenbauweise als vorgefertigte Verbun-

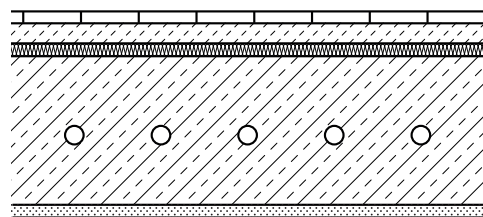
delemente (mit Wärmedämmung, Kupferrohren, Leitblechen) an die bestehende Wand montiert und nur an den Vor- und Rücklauf bzw. den Stromanschluss angeschlossen werden. Diese Art des Einbaus hat den Vorteil, dass keine zusätzliche Feuchtigkeit in das Bauteil gelangt und die Arbeiten sehr schnell abgeschlossen werden können.

Heiz- und Kühldecken werden in der Regel bauteilintegriert ausgeführt, können aber auch je nach System ganz oder teilweise außerhalb des Bauteils angeordnet sein.

Der Energietransport wasserführender Systeme ist energieeffizienter als der mittels Luft, weshalb sich Heiz- und Kühldecken bzw. Kombinationen aus luft- und wasserführenden Systemen etablieren konnten.

Durch den höheren Wärmeübergangskoeffizienten (bei gleicher Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der Raumluft) erreicht die Decke im Vergleich zum Fußboden eine höhere Kühlleistung.

Ebenfalls zu den bauteilintegrierten Systemen zählt die **Betonkernaktivierung** (auch genannt: thermische Bauteilaktivierung, thermoaktive Decke). Die Systeme entsprechen einer Fußbodenheizung, allerdings erfolgt die Verlegung in der Regel „tiefer“ im Bauteil, d. h. die Rohre werden vor der Betonierung in die Decke integriert. Dadurch kann die gesamte Decke oder ggf. auch Wand als Übertragungs- und Speichermasse thermisch aktiviert werden, allerdings unter einer weiteren Erhöhung der Trägheit. Das gezielte Speichern von Wärme bzw. Kälte im Bauteil wird unter dem Begriff „Aktivierung“ verstanden. Die Entladung erfolgt passiv ohne Eingriffsmöglichkeit durch den Nutzer [4].



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 21: Regelquerschnitt einer Betonkernaktivierung in der Decke. Die Rohrleitungen liegen einbetoniert im Stahlbeton.

Bei der Betonkern- oder Bauteilaktivierung werden **wasserdurchflossene Rohrsysteme** vorzugsweise in Massivdecken oder -fußböden eingebaut. Diese Systeme können sowohl zur Beheizung als auch als Kühldecke eingesetzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass diese Decken/Böden in direktem Kontakt mit dem Innenraum stehen müssen, um ihre Wirkung entfalten zu können (keine abgehängten Decken). Da diese typischerweise Schall nur in geringem Maße absorbieren müssen raumakustische Maßnahmen in der Planung berücksichtigt werden.

Für den nachträglichen Einbau in Altbauten kommt eine Bauteilaktivierung in der Regel nicht in Frage. Dies liegt v. a. an dem notwendigen Eingriff in den Baukörper aber auch an der begrenzten und ggf. nicht ausreichenden Leistung, welche sich systembedingt aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen zwischen dem Heiz- oder Kühlwasser und der Raumtemperatur einstellt.

7.5.3 Bauteiltemperierung

Die Bauteiltemperierung dient primär der **Erwärmung des Baukörpers** und nicht der Beheizung des Gebäudes für die Nutzung. Ziel der Bauteiltemperierung ist die Erhaltung der Bausubstanz und damit die **Verhinderung von Bauschäden**.

Bei der Bauteiltemperierung werden **Warmwasserrohre** unter Putz ohne Dämmung meist in Außenwänden verlegt, um durch die Erwärmung der Wand Feuchteschäden und Schimmel im Mauerwerk zu verhindern. Dass dies zudem zur Beheizung des Raumes beiträgt, ist ein Nebeneffekt, der bei der Planung des Raumheizsystems berücksichtigt werden kann aber nicht muss.

Bauteiltemperierungen werden in der Regel in Baudenkmalern verbaut, bei denen einer bauliche Sanierung (Behebung der Schadensursache) Grenzen gesetzt sind, und daher nur die Schadenssymptome behandelt werden können. Sie dienen der **Schadensprävention** und sollten als alleinige Wärmequelle nur für die Temperierung auf die minimal notwendige Raumtemperatur verwendet werden (konservatorisches Heizen). Bei typischer Nutzung für Wohn- oder Arbeitszwecke sollte anderen, energieeffizienteren Übergabesystemen der Vorzug gegeben werden, um komfortable Raumtemperaturen zu erreichen.

8 Maßnahmen für Verteilsysteme

Ein vollständiger Ersatz eines Verteilsystems (Heizungsnetz, Trinkwarmwassernetz, Lüftungskanäle) ist mit einem **großen Eingriff** in das Gebäude und die Gebäudesubstanz verbunden, in der Regel sind neben den Technikräumen alle Bereiche des Gebäudes betroffen.

Bei der Umstellung eines vorhandenen dezentralen Netzes auf ein zentrales, oder auch beim Neubau der technischen Gebäudeausrüstung (z.B. dem Einbau einer zentralen Lüftungsanlage), ist ein **umfassender Eingriff in das Gebäude** unumgänglich und sollte daher möglichst **substanzschonend geplant um umgesetzt** werden. Dies gilt insbesondere bei Vorlage von Denkmalschutzauflagen jeglicher Couleur.

Aufgrund des großen Eingriffs und der damit verbundenen hohen Investitionen lohnt sich die Prüfung alternativer Maßnahmen, welche weniger invasiv sind.

Bei **Warmwassernetzen** (Heizung, Trinkwarmwasser) werden im folgenden einige Maßnahmen genannt, welche bei (mehr oder weniger) Beibehaltung des vorhandenen Netzes die Energieeffizienz steigern können. Bei den beiden erstgenannten (Rohrdämmung, Pumpenausstattung/-betrieb) sind verschiedene Regelungen der EnEV zu beachten.

- Dämmung von Verteilleitungen
- Austausch von Umwälzpumpen und Zirkulationspumpen
- Einbau dezentraler Pumpen
- Hydraulischer Abgleich
- Verbesserung Regelkonzept bei Einrohrheizsystem
- Vorhandene Schwerkraftheizung umrüsten

Bei den Kanalnetzen und den Antrieben von **raumlufttechnischen Anlagen** sind ebenfalls alternative Maßnahmen denkbar, welche dem Austausch des Gesamtsystems vorzuziehen sind, da sie weniger Eingriffe und Investitionen erfordern. Bei den drei letztgenannten (Reinigung, Ventilatoren, Wärmerückgewinnung) sind verschiedene Regelungen der EnEV zu beachten.

- Dämmung von Luftleitungen (Kanälen)
- Reinigung von Luftleitungen, -kanälen und -filtern
- Einbau energieeffizienter Ventilatoren in Lüftungsanlagen
- Einbau energieeffizienter Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen

Die Gründe für die Notwendigkeit, ein Verteilsystem teilweise oder vollständig zu ersetzen sowie neu aufzubauen (z. B. bei Systemwechsel), können sehr vielfältig sein. Ein Beispiel wäre das Vorhandensein von – heute nicht mehr zulässigen – Bleirohren.

In der Vergangenheit wurden oft **Bleirohre** für die Trinkwasserleitungen in Gebäuden verwendet. Blei ist ein Schwermetall und reichert sich im Körper an. Erst in den letzten Jahren wird dem Problem der Giftigkeit Rechnung getragen indem die Grenzwerte schrittweise abgesenkt werden. Aktuell (seit 2013) beträgt der Grenzwert 0,01 mg/l, vorhandene Bleirohre müssen daher entfernt werden. [25]

8.1 Dämmung von Verteilleitungen

Verteilleitungen sind ausreichend zu dämmen. Regelungen dazu sind in der aktuellen **Energieeinsparverordnung EnEV** zu finden.



Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider

Abbildung 22: Ungedämmte Rohre im unbeheizten Keller

Schwach- und Fehlstellen in der Dämmung des Rohrnetzes sind energetisch mit Wärmebrücken in der Gebäudehülle vergleichbar. Über sie wird Heizwärme unerwünscht abgegeben. Neben dem Energieverlust kann dieser Effekt auch zu unerwünschten Erhöhungen der Raumtemperaturen führen, z. B. Überhitzung von Wohnräumen und Erhöhung der Kühllasten auch in Nachbarräumen

Die nachträgliche Dämmung von Verteilleitungen kann in der Regel nicht auf 100 % des Netzes angewendet werden, meist aus Gründen mangelnder Zugänglichkeit, es bleiben also Lücken, d. h. Wärmebrücken. Denkmalschutzauflagen können zu weiteren Einschränkungen führen.



Foto: EPO, Public Domain, via Wikimedia Commons
Abbildung 23: Fehlstellen in der Dämmung von Rohrleitungen

EnEV § 10 Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden, Abs. 2: „*Eigentümer von Gebäuden müssen dafür sorgen, dass bei heizungstechnischen Anlagen **bisher ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, nach Anlage 5 zur Begrenzung der Wärmeabgabe gedämmt sind.***“

In den Nachrüstverpflichtungen der Energieeinsparverordnung wird der Begriff der **Zugänglichkeit** häufig verwendet, es ist also im Einzelfall zu prüfen und zu entscheiden, wo die Rohrleitungs-

dämmung Anwendung finden kann und wo nicht.

EnEV § 14 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen, Abs. 5: „*Beim erstmaligen **Einbau und bei der Ersetzung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie von Armaturen in Gebäuden ist deren Wärmeabgabe nach Anlage 5 zu begrenzen.***“

Anlage 5 der EnEV gibt tabellierte Werte für die **Mindest-Dämmschichtdicke** für Warm- und Kaltwasserleitungen vor, je nach Art der Leitungen oder Armaturen, je nach Leitungsführung (beheizte oder unbeheizte Gebäudebereiche) und je nach technischer Ausstattung (Zirkulation). Weitere Regelungen beziehen sich auf Wärmeleitfähigkeiten, Ausnahmen usw.

Bei allen Netztypen aber v. a. bei Einrohrnetzen und Schwerkraftheizungen (große Leitungsquerschnitte, also große wärmeübertragende Oberfläche) kann es durch die Wärmeabgabe von ungedämmten Rohren in Wohnräumen zu einer **Überversorgung mit Wärme** führen. Dies ist v. a. dann problematisch, wenn durch eine energetischen Sanierung der Gebäudehülle der Wärmebedarf reduziert und die Luftdichtheit erhöht wurde.

Auch **Kaltwasserleitungen** müssen gedämmt werden, da es zu Tauwasserausfall bei Durchführung durch warme Räume kommen kann (Einsatz von diffusionsdichter Dämmung erforderlich).

Gerade Rohrleitungsabschnitte lassen sich relativ einfach mit Dämmmaterial ummanteln, Rohrbögen und Abzweigungen sowie Armaturen erfordern jedoch besonderes handwerkliches Können. Hierfür

Tabelle 1: Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen gem. Anlage 5 der EnEV 2016 [8].

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m K)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen bei zentralen Leitungsnetzverteilern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Wärmeverteilungsleitungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm
8	Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen	6 mm

werden geeignete, **vorgefertigte Formstücke** von den jeweiligen (System-)Herstellern angeboten.

8.2 Austausch von Pumpen (Umwälzpumpen, Zirkulationspumpen)

Eine Steigerung der Energieeffizienz kann auch durch Optimierung oder Austausch von Umwälz- und Zirkulationspumpen erfolgen. Dies hängt von der Wahl der richtigen **Bauart**, der richtigen Auslegung der **Pumpenleistung** sowie der richtigen **Pumpensteuerung** ab. Ziel ist es dabei, den Strombedarf der Pumpen zu reduzieren.

Bei der Optimierung der Pumpen handelt es sich um eine relativ geringinvasive sowie geringinvestive Maßnahme, die sich daher gerade im Kontext von Baudenkmalen anbietet.

Die Zirkulation des Heizungswassers wird durch den zentralen Einbau einer **Umwälzpumpe** im System erzielt. Seit etwa 1960 wird dieses System der Pumpenwarmwasserheizung als Standard eingebaut und hat somit die Schwerkraftheizung abgelöst. Die Pumpe erzeugt eine Druckdifferenz, wodurch Fließwiderstände bzw. Druckverluste überwunden werden. Darüber hinaus wird durch die Pumpe der Volumenstrom im Netz geregelt.

Es gibt vier Typen von Heizungsumwälzpumpen. Diese werden in den folgenden Bildern dargestellt:

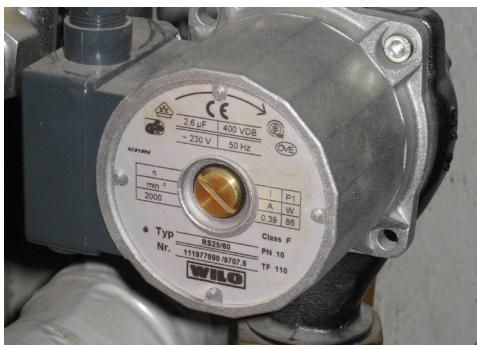


Abbildung 24: Ungeregelte Pumpe, diese wird seit rd. 20 Jahren nicht mehr verbaut. Die Leistungsaufnahme (P1) beträgt hier 86 Watt



Abbildung 25: Mehrstufige Pumpe. Auf Stufe 1 beträgt die Leistungsaufnahme der beispielhaft dargestellten Pumpe 30 W, auf Stufe 3 bereits 60 W



Abbildung 26: Elektronisch geregelte Pumpe. Die Leistung wird je nach Anforderung über die Drehzahl selbstständig geregelt (im dargestellten Beispiel 36 bis 99 W). Da die Heizungsanlage häufig im Teillastbereich arbeitet, muss eine geringere Wassermenge umgewälzt werden.



Abbildung 27: Hocheffizienzpumpe. Die Leistungsanpassung erfolgt kontinuierlich über einen Permanentmagnetmotor und Differenzdruckregelung. Die Leistungsaufnahme der dargestellten Pumpe beträgt aktuell 14 W.

Es gibt Pumpen, welche in den Kessel integriert sind, diese können ggf. nicht ausgetauscht werden.

Nach den Vorgaben der Richtlinie zur Energieeffizienz von Umwälzpumpen (No. 641/2009/EC, gültig seit 07/2009) dürfen **nur noch Hocheffizienz-Umwälzpumpen** in Heizungsanlagen installiert werden [25]. In der EnEV gibt es entsprechende Regelungen dazu, welche die Neuinstallation der Heizkreise betreffen, an die Nachrüstung der Pumpen werden keine expliziten Anforderungen gestellt.

EnEV § 14 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen, Abs. 3: „In Zentralheizungen mit mehr als 25 Kilowatt Nennleistung sind die **Umwälzpumpen der Heizkreise beim erstmaligen Einbau und bei der Ersetzung so auszustatten, dass die elektrische Leistungsaufnahme dem betriebsbedingten Förderbedarf selbsttätig in mindestens drei Stufen angepasst wird, soweit sicherheitstechnische Belange des Heizkessels dem nicht entgegenstehen.**“

Alte Heizungspumpen haben Anschlussleistungen von 60 bis 120 W bei einer jährlichen Betriebsdauer von rd. 5.000 h. Häufig sind die vor Ort installierten Pumpen zu groß ausgelegt. Neue Heizungsumwälzpumpen benötigen eine vergleichsweise geringere Leistung als alte Pumpen und reduzieren so die Energiekosten. Sie regulieren sich selbst und erzeugen weniger hohen Druck in den Rohrleitungen, wodurch störende Geräusche, wie das Pfeifen von Ventilen reduziert werden können.

Trinkwarmwassernetze werden mit **Zirkulationspumpen** ausgestattet, damit unmittelbar nach Öffnen des Wasserhahns warmes Wasser beim Nutzer vorhanden ist. Dem Vorteil des Komforts der zeitnahen Bereitstellung von Warmwasser steht der Nachteil gegenüber, dass durch das ständige Warmhalten des gesamten Leitungsnetzes ein hoher Wärme- und damit Energieverlust entsteht, bei längeren Laufzeiten der Pumpe und damit verbundenem höherem Strombedarf.

EnEV § 14 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen, Abs. 4: „**Zirkulationspumpen müssen beim Einbau in Warmwasseranlagen mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung ausgestattet werden.**“

Die EnEV fordert bei neuen Warmwasseranlagen den Einbau von Einrichtung zur selbsttätigen Regelung. Diese sind im Brauchwassernetz in der Regel zeitgesteuert, d. h. die Umwälzpumpe wird v. a. in den Nachtstunden zu vorgegebenen Zeiten über eine **Zeitschaltuhr** ausgeschaltet. Dies führt sowohl zu einer Senkung des Stromverbrauchs für die Pumpe, als auch zur Einsparung von Wärme,

da diese bei Stillstand der Verteilung nicht verloren geht.

Aus **hygienischen** Gründen (Legionellenbildung) sind Zirkulationsleitungen **vorgeschrieben**, wenn der Rohrleitungsinhalt zwischen dem Warmwasserbereiter und der entferntesten Entnahmestelle größer als drei Liter ist sowie bei Großanlagen.

Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 551 (Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums) [26] darf die Zirkulation durch Zeitsteuerung für nicht länger als acht Stunden täglich unterbrochen werden.

Zu Großanlagen zählen Speicher-Trinkwarmwassererwärmer oder zentrale Durchfluss-Trinkwarmwassererwärmer z. B. in Wohngebäuden, Hotels, Altenheimen, Krankenhäusern [26]. Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäuser zählen (unabhängig vom Inhalt des Trinkwassererwärmers und dem Inhalt der Rohrleitung) nicht zu Großanlagen.

Zur Verhinderung von **Legionellenbildung** im Warmwassersystem in **Großanlagen** muss sichergestellt werden, dass die Warmwassertemperatur im gesamten System 55 °C nicht unterschreitet. Mindestens einmal am Tag ist der gesamte Trinkwasserinhalt auf 60 °C zu erwärmen. Zudem sind Zirkulationssysteme so zu betreiben, dass die Trinkwarmwassertemperatur im gesamten System um nicht mehr als 5 K gegenüber der Austrittstemperatur des Trinkwassererwärmers unterschritten wird [26].

In der Regel ist die **Leistungsaufnahme** dieser Trinkwarmwasserzirkulationspumpen (Zirkulationspumpe 8 - 20 W) geringer als die der Heizungsumwälzpumpe. Auf dem Markt sind Pumpen mit vorwählbaren Drehzahlstufen, Leistungsanpassung und automatischer bzw. elektronischer Leistungsregelung erhältlich.



Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider
Abbildung 28: Zirkulationspumpe mit geringer Leistungsaufnahme von 4,5 W.

8.3 Einbau dezentraler Pumpen

Ein vergleichsweise junger Ansatz zur energetischen Optimierung von Warmwasser-Heizungssystemen ist der Einbau dezentraler Pumpen **direkt an den Heizkörpern**. Bei diesem System erübrigt sich der normalerweise erforderliche hydraulische Abgleich (zentrale Umwälzpumpe), der Volumenstrom des jeweiligen Heizkörpers kann hierbei optimal geregelt werden.

Ein möglicher Nachteil dieser Systeme ist allerdings der notwendige Elektroanschluss in Heizkörpernähe, manche Systeme benötigen BUS-Leitungen. Ein sich aus dem Elektroanschluss ergebender Vorteil gegenüber konventionellen Heizkörperthermostaten ist eine relativ einfache Verknüpfung mit eventuell vorhandener Gebäudeleittechnik.

Eine weitere Möglichkeit, die sich aus einem Stromanschluss in unmittelbarer Nähe zum Heizkörper ergibt, ist der Einsatz von ventilatorunterstützten Konvektoren die dadurch ggf. als Niedertemperatur-Heizflächen betrieben werden können. Voraussetzung ist hierfür jedoch, dass die erforderlichen Heizlasten bereitgestellt werden können (guter Wärmeschutz, Lüftungsanlage mit hohem Wärmerückgewinnungsgrad, etc.).

8.4 Hydraulischer Abgleich

Bei einem hydraulisch abgeglichenen Verteilnetz (Warmwasser, Kühlwasser, Trinkwasser) ist der **Durchfluss im Netz** und an jeder Übergabeeinrichtung (Heizkörper) **optimal eingestellt**, um eine bedarfsgerechte Versorgung zu erreichen.

Durch den hydraulischen Abgleich wird sichergestellt, dass allen Heizflächen genau die jeweils benötigte Menge an Heizwasser zur Verfügung steht, sie also **alle gleichmäßig warm** werden. So wird auch der am weitesten entlegene Heizkörper ausreichend versorgt, und es kann vermieden werden, z. B. die Vorlauftemperatur erhöhen zu müssen, um eine Bedarfsdeckung zu erreichen. Im Idealfall führt dies auch bei der Umwälzpumpe zu einer optimierten also energiesparenden Betriebsweise. Zudem ergeben sich Vorteile für die Akustik, da störende Geräusche minimiert werden.

Bei der **Neuinstallation** eines Heizungssystems sollte es obligatorisch sein, einen hydraulischen Abgleich durchzuführen, weil dann das Heiznetz im optimierten Betrieb arbeiten kann. Hier kann sich Planungsleistung durch Energieeinsparung und Steigerung der Behaglichkeit auszahlen.

Der hydraulische Abgleich ist nach der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen VOB Teil C und DIN 18380 **bei vielen Maßnahmen verpflichtend**, zum Beispiel beim Einbau eines neuen Kes-

sels. Auch die Energieeinsparverordnung (EnEV) verlangt implizit einen hydraulischen Abgleich, da nicht optimierte Heizungen mehr Energie verbrauchen [27]. Die KfW und das BAFA fördert nur Heizungsanlagen mit durchgeführtem hydraulischem Abgleich.

Die **nachträgliche Durchführung** eines hydraulischen Abgleichs lohnt sich auch in bestehenden Heiznetzen, v. a. wenn Änderungen am Gesamtsystem vorgenommen wurden (Austausch einzelner Komponenten) und im besonderen Fall beim Austausch der Umwälzpumpe, da heute in der Regel druckdifferenzgeregelter Pumpen zum Einsatz kommen.

Bei der **praktischen Durchführung** eines hydraulischen Abgleichs im Bestand muss das tatsächliche Rohrnetz und die Heizungsanlage vor Ort anhand eines Strangschemas aufgenommen werden. Im Altbau erfordert dies viel Erfahrung da viele Parameter häufig nicht bekannt sind. Im zweiten Schritt werden die Volumenströme der Heizkörper bestimmt und die Förderhöhe der Umwälzpumpe berechnet. Mit Hilfe einer Software werden die Sollwerte der Strangdifferenzdruckregler und die Einstellwerte für die Heizkörperarmaturen berechnet und dann vor Ort eingestellt. Es gibt viele alte Thermostatventile ohne Voreinstellung, diese können umgerüstet werden. Häufig ist auch ein hydraulischer Abgleich mit oft bereits vorhandenen Rücklaufverschraubungen an den Heizkörpern möglich.

Nach [28] lassen sich durch die Optimierung des Heizungsnetzes mit seinen Komponenten 5 % bis 20 % Heizenergie **einsparen**, dies ist vom Ausgangszustand der Anlage und vom Nutzerverhalten der Bewohner abhängig.

8.5 Verbesserung Regelkonzept bei Einrohrheizsystem

Üblicherweise wird das Rohrnetz von Warmwasserheizungen als **Zweirohrsystem** ausgeführt. Alle Heizkörper sind dabei parallel geschaltet und werden mit der gleichen Vorlauftemperatur versorgt, dabei ist jeder Heizkörper mit dem Vorlauf und dem Rücklauf verbunden.

In vielen Gebäuden sind jedoch noch **veraltete Einrohrheizungen** vorzufinden, die meisten wurden in den Jahren 1975 bis 1985 verbaut. Eine Einrohrheizung ist eine Warmwasserheizung, bei der die Heizkörper in einer **Ringleitung** der Reihe nach mit Warmwasser durchströmt bzw. beliefert werden.

Einrohrheizungen sind aufgrund des hydraulischen Konzepts nicht sehr ökonomisch: da alle Heizkörper eines Rohrnetzringes hintereinander geschaltet sind verringert sich die **Vorlauftemperatur** des nachfolgenden Heizkörpers um die Wärmeabgabe

des vorangegangenen. Die **Leistungen** der am Ende liegenden Heizflächen müssen dementsprechend höher sein. Auch **Druckverlust und Volumenstrom** sind aus diesem Grund höher als bei einer Zweirohrheizung. Der Auslegungs-Volumenstrom der Umwälzpumpe bleibt (im Gegensatz zum Zweirohrsystem) über die Heizperiode konstant hoch. Es sind waagerechte und senkrechte Einrohrsysteme vorhanden.

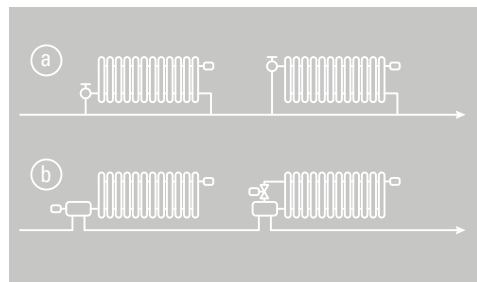
Für **Niedertemperaturheizungen** sind Einrohrsysteme nicht empfehlenswert. Bei Heizwassertemperaturen im Bereich von Vor-/Rücklauftemperaturen von 70/60 °C ergibt sich noch eine brauchbare Auslegung, bei 70/50 °C dagegen schon nicht mehr [29].

Einrohrheizungen sind für Wärmeerzeugungssysteme, die eine **niedrige Rücklauftemperatur** erfordern, ungeeignet. Denn wenn bei Einrohrsystemen der Volumenstrom durch die Thermostatventile über die Heizkörper gedrosselt wird, dann strömt das Heizungswasser über den Bypass und wird nur wenig abgekühlt. Bei Teillast steigt deshalb die Rücklauftemperatur an. Energetische Einsparungen sind hierbei nur gering möglich.

Nach [29] eignen sich Einrohrheizungen

- i. d. R. **nicht** für Anlagen mit Pufferspeicher (unabhängig von der Wärmeerzeugung mit Holzkesseln, Wärmepumpen, Solarthermie oder Elektrokessel), die Umweltenergie kann durch die hohen Rücklauftemperaturen nicht ausreichend genutzt werden.
- nicht für Brennwertnutzung und
- nicht für Fernheizungen.

Im Abbildung 29 sind unterschiedliche **Anschlussmöglichkeiten** der Heizkörper an eine waagerechte Einrohrheizung dargestellt. Die Abbildung zeigt eine Einrohrheizung mit „reitendem“ Heizkörperanschluss (a), hier werden die Heizkörper in Abzweige der Hauptverteilung verlegt, sowie mit Spezialventilen (b), d. h. ein Teil des Heizungswasser fließt in den Heizkörper während das restliche strömende Wasser über den Bypass direkt in den „Rücklauf“ der Einrohrarmatur geleitet wird (nach [29])



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 29: Die Einrohrheizung mit „reitendem“ Heizkörperanschluss (a) und mit Spezialventilen (b) nach [29].

Wird als Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz zentral eine **Rücklauftemperaturbegrenzung** realisiert, führt diese zu einer Reduzierung des Volumenstroms und damit zur Unterversorgung einzelner Einrohrstränge und nicht zu einer reduzierten Wärmeabgabe.

Nach [30] ist bei Einrohrheizungen ist eine **energetische Verbesserung** durch eine strangweise lastabhängige Volumenstrombegrenzung möglich. Jeder Strang erhält ein Regelventil, über einen Temperaturfühler am Strangende im Rücklauf wird die Wärmeabnahme erfasst. Beim Überschreiten der gewählten Rücklauftemperatur wird der Strangvolumenstrom reduziert. Dadurch wird der Volumenstrom im Strang dynamisch an die tatsächliche Last angepasst. Eine Anhebung der Rücklauftemperatur im einzelnen Strang lässt sich so vermeiden. Es kommt zu einer besseren Regelbarkeit der Raumtemperatur und das System wird energieeffizienter. Mit **elektronischen Reglern** sind witterungs- und lastabhängige Optimierungen möglich.

8.6 Vorhandene Schwerkraftheizung umrüsten

Eine Warmwasserheizung, deren Zirkulation sich allein nur durch den Dichteunterschied des Wassers in den Steigsträngen einstellt (warmes Wasser dehnt sich aus und wird aufgrund seiner geringeren Dichte leichter), wird als **Schwerkraftheizung** bezeichnet. Sie wurden bis Ende der 1960er verbaut und benötigen keine Umwälzpumpen. Bei geringen Wassertemperaturen kommt die Zirkulation jedoch zum Stillstand. Damit das physikalische Schwerkraftprinzip funktionieren kann muss der Heizkessel am tiefsten Punkt des Systems stehen und die Leitungen müssen ausreichend große Nennweiten aufweisen, dies bedeutet ein großes Heizwasservolumen.

Bei der Erneuerung des Wärmeerzeugers wird bei Vorhandensein einer Schwerkraftheizung in der Regel auch auf Pumpenbetrieb umgerüstet, bedingt durch die Nachteile des Systems. Dabei sind die bei der Schwerkraftheizung vorhanden **großen Leitungsquerschnitte** schwer zu handhaben (größeres Heizkreisvolumen erfordert größere Pumpe, erhöhte Leitungsverluste durch größere Oberfläche, usw.). Es bietet sich also an, statt der Umrüstung eine komplette Erneuerung des gesamten Verteilnetzes anzustreben, sofern umsetzbar.

Das Ausdehnungsgefäß am höchsten Punkt der Anlage (z. B. Dachgeschoss) wird bei der Umrüstung außer Betrieb gesetzt und ein Membranausdehnungsgefäß in das Netz integriert.



Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider

Abbildung 30: Ausdehnungsgefäß einer Schwerkraftheizung.

8.7 Dämmung von Luftleitungen (Kanäle)

Im Bereich der Wohnraumlüftung gibt es eindeutige Vorgaben für die **Mindestdämmschichtdicke** von wärmeführenden Leitungen in DIN 1946-6 [6]. Zur Vermeidung von unnötigen Energieverlusten müssen Luftleitungen ausreichend gedämmt werden, die Mindestwerte liegen in der Norm tabelliert vor. Dabei wird unterschieden in Luftleitungen außerhalb und innerhalb der thermischen Hülle sowie je nach System mit oder ohne Wärmerückgewinnung WRG oder Wärmepumpe sowie abhängig vom Temperaturniveau der Zuluft.



Foto: Universität Kassel, Jens Knissel

Abbildung 31: Geädmete Luftleitungen.

Gemäß DIN 1946-6 (Kapitel 9.2.5.2 Luftleitungen) müssen „Luftleitungen [...] so beschaffen oder wärmegeädmet sein, dass **Tauwasserbildung** verhindert wird. In Bereichen des Luftleitungsnetzes, in denen innen oder außen Taupunktunterschreitungen auftreten können (Außenluftleitungen, Fortluftleitung nach Wärmerückgewinnung und Leitungen außerhalb der thermischen Hülle) ist deshalb ausreichende Wärmedämmung erforderlich.“ Nach dieser Norm sind alle Luftleitungen eines Netzes

innerhalb von Wohngebäuden zu dämmen. Dies gilt für Leitungen die sowohl außerhalb als auch innerhalb der thermischen Hüllfläche angeordnet sind.

Im Rahmen der Energieeinsparverordnung gibt es keine Anforderung an die Dämmung von Luftleitungen.

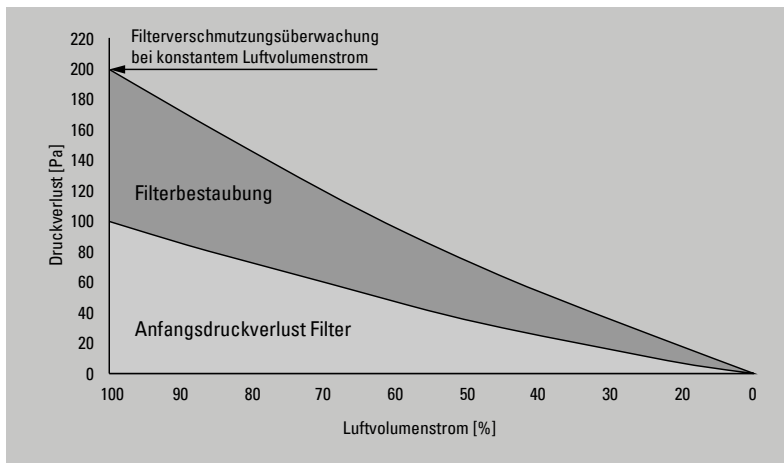
Luftleitungen müssen zur Verringerung von Wärmeverlusten, gegen Kondensatbildung (durch Taupunktunterschreitungen) und zur Verringerung der Körper- und Luftschallübertragung gedämmt werden. Als **Dämmmaterial** ist Mineralwolle (Herstellangaben beachten) oder ein geschlossenzelliger Dämmstoff zu verwenden. In VDI 2055 [31] und VDI 2087 [32] werden ebenfalls Mindest-Dämmschichtdicken von Luftkanälen und -leitungen genannt.

8.8 Reinigung von Luftleitungen, -kanälen und -filtern

Das Luftleitungsnetz stellt einen wesentlichen Bestandteil einer Lüftungsanlage dar und muss sorgfältig geplant werden. So weist eine strömungstechnisch gute Kanalführung geringe Druckverluste auf. Verschmutzungen in Leitungen und Filtern führen zu einem **höheren Reibungswiderstand** und damit zu entsprechendem Druckabfall und resultierend daraus zu höheren Energiekosten. Somit sollten diese nicht nur aus hygienischen, sondern ebenso auch ökonomischen Gründen regelmäßig gereinigt (bzw. Filter ausgetauscht) werden.

Das **Material** der Luftleitungen und -kanäle sollte eine glatte und leicht zu reinigende Oberfläche aufweisen, sowie dauerhaft nicht hygroskopisch, nicht brennbar (die Brandschutzanforderungen müssen erfüllt werden), korrosionsbeständig, leicht und luftdicht sein [33]. Um die Verschmutzung der Luftleitungen zu beseitigen werden **Inspektions- und Reinigungsöffnungen** vorgesehen, die auch nach wiederholter Benutzung luftdicht sein müssen.

Insbesondere horizontale Leitungsteile verschmutzen stark und müssen gegebenenfalls mit Bürsten oder Unterdruck gesäubert werden. Die Verschmutzung betrifft v. a. Abluftkanäle, hygienisch relevanter sind jedoch die Zuluftkanäle, welche bezüglich der Verschmutzung unkritischer sind, aber trotzdem Säuberungsbedarf aufweisen, z. B. während der Pollenflugzeit, wo es sich anbietet, den Filter im Sommer nach der Blüte zu reinigen.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 32: Druckanstieg durch Filterverschmutzung in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit.

Durch Filterverschmutzung steigt der Widerstand des Systems gegenüber der Luftförderung und damit der notwendige Druck darin. Ein höherer Druckverlust führt entsprechend zu höherem Energiebedarf. Wenn allerdings aufgrund der Verschmutzung entsprechend weniger Luft durch den Filter strömt sollte dieser ausgetauscht werden. Die **Prüfung der Verschmutzung** des Luftfilters kann bei konstanten Volumenstrom durch die Überwachung des Druckabfalls erfolgen: wird der Enddruck erreicht dann schaltet sich ein Signal ein und der Filter sollte ausgetauscht werden.

Die Frisch- und Umluft in Raumluftechnischen Anlagen (RLT) wird nach den hygienischen Anforderungen für die Raumluf durch **Filter** gereinigt. Zudem sollen diese eine Verschmutzung des Kanalnetzes und der Anlagenkomponenten verhindern. Der regelmäßige Austausch der Filter spielt eine wichtige Rolle: VDI 6022 beschreibt die Anforderungen an die Hygiene von Raumluftechnischen Geräten, Anlagen und Komponenten vor dem Hintergrund, dass nur ein hygienisch einwandfreies RLT-System zu einer guten Raumlufqualität führen kann.

In VDI 6022 Blatt 1 [34] sind **Intervalle von Hygieneinspektionen** vorgeschrieben, d. h.

- bei RLT-Anlagen ohne Befeuchtung im Abstand von drei Jahren,
- bei RLT-Anlagen mit Befeuchtung im Abstand von zwei Jahren,
- Luftfilter sind laut der Norm „in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren...“, Luftfiltereinsätze sind spätestens bei Erreichung der zulässigen Enddruckdifferenz oder bei technischen und/oder hygienischen Funktionsmängeln auszuwechseln, die der ersten Filterstufe nach einem Jahr, die der weiteren Filterstufen nach zwei Jahren.
- Ebenfalls sind Luftleitungen im Rahmen der

Inspektionen an repräsentativen Stellen augenscheinlich auf Beschädigung oder Verschmutzung etc. zu überprüfen und ggfs. zu reinigen.

- In der Richtlinie finden sich Checklisten für Hygienekontrollen



Foto: Achim Hering, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 33: Verschmutzter Filter einer Lüftungsanlage.

Grundsätzlich muss bei der Planung auf eine gute **Zugänglichkeit** für die Inspektion, Wartung und den eventuellen Filteraustausch geachtet werden, so dass dieser schadfrei eingebaut werden kann und beim Ausbau der enthaltene Schmutz nicht in die Kanäle fällt.

Auch in der **Energieeinsparverordnung** wird zur Aufrechterhaltung der energetischen Qualität gefordert, dass die Anlagen der Gebäudetechnik zu Warten und Instand zu halten sind, und das Personal fachkundig sein muss.

EnEV § 11 Aufrechterhaltung der energetischen Qualität, Abs. 3: „Anlagen und Einrichtungen der Heizungs-, Kühl- und Raumluftechnik sowie der Warmwasserversorgung sind vom Betreiber **sachgerecht zu bedienen**. Komponenten mit wesentlichem Einfluss auf den Wirkungsgrad solcher Anlagen sind vom Betreiber **regelmäßig zu warten und instand zu halten**. Für die **Wartung und Instandhaltung ist Fachkunde erforderlich**. Fachkundig ist, wer die zur Wartung und Instandhaltung notwendigen Fachkenntnisse und Fertigkeiten besitzt.“

In der EnEV gibt es weitere Regelungen zur „Energetischen Inspektion von **Klimaanlagen**“ (§ 12), die jedoch erst bei Anlagen mit einer Nenn-Kälteleistung von 12 kW greifen.

8.9 Einbau energieeffizienter Ventilatoren in Lüftungsanlagen

Der Ventilator ist das Kernstück jeder Lüftungsanlage. Er besteht aus den **Komponenten** Motor, Lauf rad, Regelelektronik und Gehäuse. In Lüftungsanlagen weisen die Ventilatoren den höchsten elektrischen Energieverbrauch auf.

Im einfachsten Fall der energetischen Verbesserung wird nur Ventilator gegen Ventilator ausgetauscht ohne eine Anpassung an die evtl. neuen Nutzungsbedingungen. In der Literatur wird ein **Energieeinsparpotential** von 25 % bis 30 % genannt, wenn die eingesetzten Altventilatoren gegen neue effizientere ausgetauscht werden [35].

In Systemen zur kontrollierten **Wohnraumlüftung** werden mindestens ein, meistens zwei Ventilatoren benötigt. Sie können mit Asynchronmotoren (AC-Motoren) oder mit elektronisch kommutierten Motoren (EC-Motoren) betrieben werden. Gegenüber AC-Motoren haben EC-Motoren einen höheren Wirkungsgrad und dadurch eine geringere Leistungsaufnahme. Damit wird die Energieeffizienz gesteigert und die Geräuschemission gesenkt. Ein **Beispiel** aus dem Bereich der Wohnungslüftung: bei typischen Randbedingungen eines Einfamilienhauses (Zu- und Abluft; 150 m² Wohnfläche; Luftwechselrate 0,4 h⁻¹) werden zwei AC-Ventilatoren mit 130 W benötigt, bei Verwendung von EC-Motoren reduziert sich die Leistungsaufnahme auf 50 W (je Ventilator) [36].

Im Hinblick auf die Mindestanforderungen an die **Energieeffizienz** gibt es die Richtlinie zur Energieeffizienz von Ventilatoren (No.327/2011/EC) gültig seit Januar 2013 [25].

Anforderungen an die Energieeffizienz der Ventilatoren werden auch im Rahmen der **Energieeinsparverordnung** gestellt, dies bezieht sich auf Systeme mit Kühlfunktion sowie auf raumluftechnische Anlagen mit Volumenströmen von mindestens 4.000 m³/h.

8.10 Einbau energieeffizienter Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen

Neben der Nachrüstung des Gebäudes mit einer neuen Lüftungsanlage kann auch der **Teilersatz einzelner Komponenten** bestehender Anlagen zu einer energetischen Verbesserung beitragen. Hierzu gehört v. a. die Verbesserung des Wärmerückgewinnungsgeräts.

Im Einzelfall hängt es wesentlich von der vorhandenen Systemkonfiguration ab, in welcher Form die **Sanierung des Systems** erfolgen kann, generelle Lösungen können daher nicht aufgezeigt werden.

EnEV § 15 Klimaanlagen und sonstige Anlagen der Raumluftechnik, Abs. 1: „*Beim Einbau von Klimaanlagen mit einer Nennleistung für den **Kältebedarf** von mehr als zwölf Kilowatt und raumluftechnischen Anlagen, die für einen **Volumenstrom** der Zuluft von wenigstens 4 000 Kubikmeter je Stunde ausgelegt sind, in Gebäude sowie bei der Erneuerung von Zentralgeräten oder Luftkanalsystemen solcher Anlagen müssen diese Anlagen so ausgeführt werden, dass*

1. *die auf das Fördervolumen bezogene **elektrische Leistung** der Einzelventilatoren oder*
2. *der gewichtete **Mittelwert** der auf das jeweilige Fördervolumen bezogenen elektrischen Leistungen aller Zu- und Abluftventilatoren*

*bei Auslegungsvolumenstrom den **Grenzwert der Kategorie SFP 4** nach DIN EN 13779: 2007-09 nicht überschreitet. Der Grenzwert für die Klasse SFP 4 kann um Zuschläge nach DIN EN 13779: 2007-09 Abschnitt 6.5.2 für Gas- und HEPA-Filter sowie Wärmerückführungsbauteile der Klassen H2 oder H1 nach DIN EN 13053: 2007-11 erweitert werden.“*

Es sollte also immer ein Fachplaner eingeschaltet werden um zu entscheiden, welche Einzelmaßnahmen am Lüftungsgerät und den Komponenten sinnvoll erscheinen. Hierzu gehören z. B. die Verbesserung vorhandener Plattenwärmetauscher mit neuen Platten oder der Ersatz vorhandener WRG-Einheiten durch die Umstellung auf effizienter Systeme.

Im Rahmen der Energieeinsparverordnung ist eine Wärmerückgewinnung obligatorisch und es werden Anforderungen an die Ausstattung gestellt. Sie greifen bei Neu-Einbau der Anlage oder Erneuerung der Zentralgeräte.

EnEV § 15 Klimaanlagen und sonstige Anlagen der Raumluftechnik, Abs. 5: „*Werden Anlagen nach Absatz 1 Satz 1 in Gebäude eingebaut oder Zentralgeräte solcher Anlagen erneuert, müssen diese mit einer Einrichtung zur **Wärmerückgewinnung** ausgestattet sein, die mindestens der Klassifizierung H3 nach DIN EN 13053: 2007-11 entspricht. Für die Betriebsstundenzahl sind die Nutzungsrandbedingungen nach DIN V 18599-10: 2011-12 und für den Luftvolumenstrom der Außenluftvolumenstrom maßgebend.“*

Im Sinne der Definition der EnEV **betrifft dies** gemäß Absatz 1 Satz 1 „Klimaanlagen mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als zwölf Kilowatt und raumluftechnischen Anlagen, die für einen Volumenstrom der Zuluft von wenigstens 4 000 Kubikmeter je Stunde ausgelegt sind“.

Zum besseren Verständnis werden im Folgenden die wesentlichen **Begriffe** rund um die Wärmerückgewinnung kurz erläutert.

Die Aufgabe der Wärmerückgewinnung WRG in einer mechanischen Lüftungsanlage ist, über einen **Wärmetauscher** der Abluft Wärme zu entziehen um damit die Zuluft vorzuheizen, es gibt auch Systeme die vorkühlen. Es wird also Wärme „zurückgewonnen“, welche ansonsten ungenutzt bleiben würde. Begriffe und Definitionen zu Wärmerückgewinnungssystemen sind in VDI 2071 [37] enthalten.

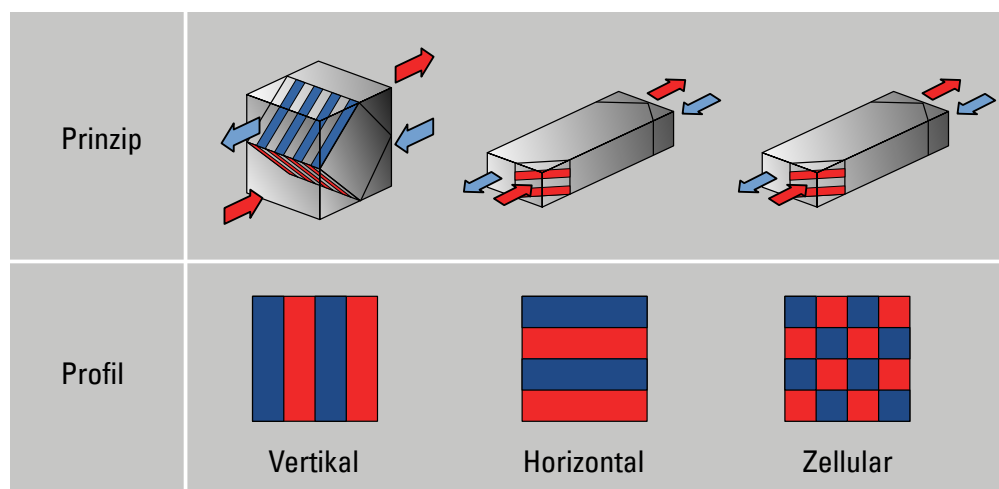
Zu den technisch einfacheren Systemen gehören **Plattenwärmetauscher**, bei denen die Luft durch ein Paket aus dünnen Platten (Bleche oder Folien) strömt. Dabei wird die Wärme rekuperativ über die Trennwand des Wärmetauschers übertragen, also ohne direkten Kontakt zwischen Fort- und Außenluft (kein Stoffaustausch).

Demgegenüber gibt es regenerativ arbeitende Systeme bei denen die Wärmeübertragung über ein Zwischenmedium (flüssig oder fest) erfolgt. Nach diesem Prinzip arbeiten **Kreislaufverbundsysteme**

KVS (z. B. Kreuz-/Gegenstromwärmetauscher), bei denen ein flüssiges Medium (z.B. Sole) zirkuliert und die Wärmeübertragung in zwei Wärmetauschern erfolgt, welche z. B. auch getrennt voneinander aufgestellt werden können (Außenluftgerät und Fortluftgerät). Auch **Rotationswärmetauscher** gehören zu den regenerativen Systemen, bei ihnen ist das Zwischenmedium ein Rotor, also fest. Während der ständigen Drehbewegung des Rotors strömt abwechselnd warme Abluft und kalte Außenluft hindurch, so dass der Wärmeaustausch über die Rotor-Speichermaße erfolgt. In diesem Fall wird nicht nur sensible (fühlbare) Wärme übertragen – wie bei den anderen Systemen – sondern auch latente Wärme, die in Form von Feuchte zurückgewonnen werden kann.

Luftwärmepumpen gehören auch zu den Wärmerückgewinnungssystemen, zur Funktionsweise von Wärmepumpen siehe den entsprechenden Abschnitt zu den Wärmeerzeugungsanlagen.

Die **Kenngroße** für die Effizienz des Wärmeübertragungsprozesses ist die Rückwärmzahl, oder auch Wirkungsgrad der WRG genannt, sie wird entweder als Zahl zwischen 0 und 1 oder prozentual angegeben. Bei Plattenwärmetauschern liegt sie im Bereich von 0,4 bis 0,8, bei den genannten regenerativen Systemen bei 0,7 bis 0,8. Energetisch effiziente Systeme sollte eine Rückwärmzahl nicht unter 0,6 aufweisen.



Quelle: Jlfid, Public Domain, via Wikimedia Commons, modifiziert

Abbildung 34: Unterschiedliche Typen von Plattenwärmetauschern.

8.11 Ersatz oder Neubau von Verteilsystemen

Die **Entscheidung**, ob ein bestehendes Verteilsystem teilweise oder vollständig ersetzt werden soll, ergibt sich in der Regel durch wesentliche Änderungen am Gesamtsystem (z. B. Substitution Erzeuger oder Heizflächen) oder liegt in erheblichen Mängeln und Schäden am vorhanden System begründet. Zum Neubau kann es z. B. in dem Fall kommen, dass ein zentrales Lüftungssystem neu installiert wird, wodurch ein bisher nicht vorhandenes Kanalnetz nachgerüstet werden muss.

In der Regel sollte die energetischen Verbesserung der Anlagentechnik sich primär auf die **Sanierung des Verteilnetzes** konzentrieren, also damit beginnen, die Verluste zu reduzieren und die Effizienz zu steigern, da ohne diese Verbesserungen ein neuer Wärmeerzeuger in der Regel nicht optimal also sparsam arbeiten kann. Dies bezieht sich auf die anlagentechnische Betrachtung. Dass zuvor generell durch eine bauliche Sanierung **der Bedarf reduziert** werden sollte wird dabei als bekannt vorausgesetzt.

Besonders beim Baudenkmal ist jedoch der **Austausch des Erzeugers** häufig unproblematischer als Veränderungen am Verteilnetzes, da nicht notwendigerweise größere Eingriffe in die Bausubstanz erfolgen müssen.

Sind an den Verteilsystemen im Gebäude wesentliche Änderungen geplant, so ist eine **fachgerechte und umfassende Vorplanung** unerlässlich, da die Eingriffe am ganzen Gebäude verteilt erfolgen und die Auswirkungen daher zahlreich und massiv sind. Wichtig ist dabei eine mögliche künftige Variabilität und Reversibilität des gesamten Systems [38].

Nicht nur aber vor allem beim Baudenkmal ist bei Um- und Neubau der Verteilsysteme eine **umfassende Vorplanung** unerlässlich und muss unter Berücksichtigung aller energetischen und denkmalpflegerischen Aspekte erfolgen, v. a. wenn die Auflagen des Denkmalschutzes sich auch auf die innere Struktur des Gebäudes erstrecken.

Der Entwurf für die Installation muss **am Objekt entwickelt** werden, unter Berücksichtigung der objektspezifischen baulichen und anlagentechnischen Gegebenheiten sowie unter Einbeziehung der Belange des Denkmalschutzes. Auch Brandschutz und statische Nachweise sind in die Planung mit einzubeziehen. Hier müssen in der Regel **individuelle Lösungen** erarbeitet werden.

Die folgende Liste soll verdeutlichen, dass eine Vielzahl von Aspekten bei der Planung Berücksichtigung finden sollte.

- Der **Wiederverwendung** bestehender Leitungstrassen ist im Zweifelsfall immer der Vorzug zu geben. Die betrifft v. a. die Wiederverwendung von bestehenden Durchlässen und die Öffnung ungenutzter Durchlässe alter Systeme, z. B. Lüftungskanäle und Kamine.
- Bedingt durch ggf. hohe Frequenzen der Leitungssanierung in der Vergangenheit sollte auch der **Rückbau** nicht mehr benötigter Netze in Erwägung gezogen werden, um ein stetes Anwachsen der Zahl der Leitungen zu vermeiden.
- Die Verwendung von **Leerrohrsystemen** (Rohr in Rohr) erleichtert einen möglichen späteren Austausch wesentlich.
- Die Entscheidung zwischen **sichtbarer und unsichtbarer** Leitungsführung ist unter Berücksichtigung der Belange des Denkmalschutzes zu treffen.
- Erhaltenswerte **Ausstattungen und Oberflächen** (z. B. Tafelungen) sollten möglichst nicht für die Installation verwendet werden.
- **Durchbrüche** in erhaltenswerten Baustrukturen müssen behutsam erfolgen, hier ist eine Abstimmung mit dem Brandschutz und der Baustatik notwendig.
- Sind im Zuge der baulichen Maßnahmen auch **Ein- und Zubauten** geplant (z. B. Trennwände, Vorsatzschalen), so können diese zur Aufnahme der technischen Infrastruktur herangezogen werden, die Installationen wären dadurch weniger sichtbar und wartungsfreundlicher [21].
- In der Planung enthalten ist auch eine **akustische** Bewertung der Maßnahmen, d. h. eine schalltechnische Entkopplung bei der Montage, v. a. wenn mehrere Nutzungseinheiten durchdrungen werden.

Vor dem Hintergrund der – im Vergleich zum Baukörper – sehr viel kürzeren **Nutzungszeiten** und Austauschintervalle bei Haustechnik und Installationen sowie der hohen Dynamik, mit der sich die Gebäudetechnik entwickelt, ist bei der Planung den **reversiblen Maßnahmen** der Vorzug zu geben, welche in der Zukunft einen möglichen Rückbau der Verteilsysteme bei Sanierung oder Systemwechsel erlauben.

9 Maßnahmen für Energieerzeugung und -speicherung

Im Vergleich zu Übergabe- und Verteilsystemen sind bei der Wärmeerzeugung und -speicherung die weniger invasiven Maßnahmen eher eingeschränkt, da eine Effizienzsteigerung meist nur durch einen teilweisen oder kompletten Austausch des Systems erreicht werden kann.

Unter Umständen kann es durch die Regelungen der Energieeinsparverordnung dazu kommen, dass ein Ersatz des Heizkessels zwingend erforderlich ist. Diese **Nachrüstverpflichtung** betrifft Öl- oder Gas-Heizkessel, bei denen eine maximale Betriebszeit von 30 Jahren erreicht ist, greift jedoch nicht, wenn die vorhandenen Kessel bereits Niedertemperatur- oder Brennwerttechnik nutzen oder wenn deren Nennleistung weniger als 4 kW oder mehr als 400 kW beträgt. Weitere Ausnahmen betreffen die reine Warmwasserbereitung oder Sonderformen.

EnEV § 10 Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden, Abs. 2: „Eigentümer von Gebäuden dürfen **Heizkessel**, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und vor dem 1. Oktober **1978** eingebaut oder aufgestellt worden sind, **nicht mehr betreiben**. Eigentümer von Gebäuden dürfen Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und vor dem 1. Januar **1985** eingebaut oder aufgestellt worden sind, ab 2015 nicht mehr betreiben. Eigentümer von Gebäuden dürfen Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und nach dem 1. Januar **1985** eingebaut oder aufgestellt worden sind, nach Ablauf von 30 Jahren nicht mehr betreiben.“

Kleinere **Maßnahmen** zur Steigerung der Energieeffizienz ohne Austausch des Erzeugers können eine kostengünstigere Alternative darstellen und sind im weiteren Text im Einzelnen beschrieben, d. h.

- Anpassung der Vorlauftemperatur des Heizkessels,
- Verbesserung der erzeugerseitigen Regelungseinrichtungen sowie
- Nachrüstung eines Pufferspeichers oder einer Frischwasserstation.

Bei der Ausführung und Ausstattung der Regelungseinrichtungen sind Vorgaben der **EnEV** zu beachten.

Bei **Ersatz oder Erneuerung** der Wärmeerzeu-

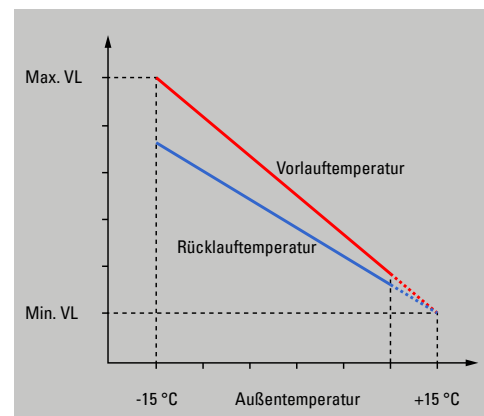
gungssysteme erfolgt im Folgenden eine Unterscheidung unterschiedlicher Erzeugungsarten, d. h.

- Verbrennungssysteme (Kessel, BHKW, Gas-Wärmepumpe, Einzelfeuerstätte) unter Berücksichtigung der erforderlichen Abgasführung und Brennstoff-Lagerung,
- elektrische Systeme (Wärmepumpe, Direktheizung, Trinkwasser-Durchlauferhitzer und -Kleinspeicher),
- Anschluss an Nah- und Fernwärmenetze und
- Integration regenerativer Energieträger und Energieerzeugung (Solarthermie, Photovoltaik, Geothermie, Windkraft, Wasserkraft, Biomasse).

Der Betrachtung der verschiedenen Erzeugungsarten vorangestellt ist Abschnitt „9.5 **Auswahl geeigneter Systeme** bei Ersatz oder Erneuerung der Wärmeerzeugung“, welcher Hilfestellung bieten soll, die zu beachtenden Aspekte bei der Auswahl der verschiedenen Systeme abzuwägen und auf die individuellen Gegebenheiten des vorliegenden Gebäudes abzustimmen.

9.1 Anpassung (Absenkung) der Vorlauftemperatur

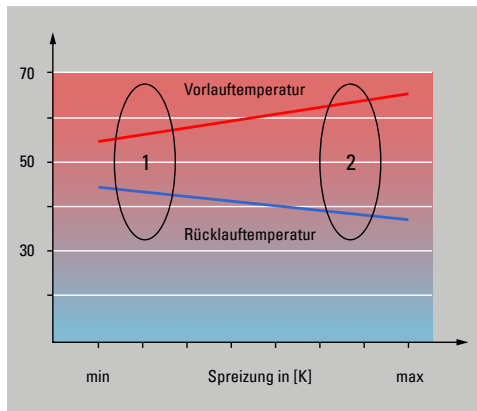
Die Wärmeabgabe der Warmwasser-Heizung wird durch Vorlauftemperatur und Durchfluss gesteuert. Dabei beeinflusst die **Vorlauftemperatur** alle Räume gleichzeitig während der **Durchfluss** an jedem Heizkörper individuell geregelt wird [39]. Durch eine Veränderung der Vorlauftemperatur wird immer auch das gesamte Heizungsnetz beeinflusst (siehe auch hydraulischer Abgleich, Abschnitt 8.4).



Quelle: www.hydraulischer-abgleich.de, modifiziert
Abbildung 35: Heizkurve nach [39].

Die (leicht gekrümmte) Heizkurve (in Abbildung 35 als Gerade dargestellt) ist die Zuordnung einer Vor-

lauftemperatur zur Außentemperatur. Zu jeder Vorlauf- temperatur gehört eine Rücklauf- temperatur. Die Differenz wird mit Spreizung bezeichnet, „70/55“ bedeutet eine max. Vorlauf- temperatur von 70 °C bei einer Rücklauf- temperatur von 55 °C, die jedoch nur bei exakter Wärmeabnahme der Aus- legung der Heizkörper eintritt.



Quelle: www.hydraulischer-abgleich.de, modifiziert
Abbildung 36: Temperaturpaarungen von Vor- und Rücklauf-temperaturen [39].

Wie Abbildung 36 zeigt, kann der notwendige Wärmebedarf durch unterschiedliche **Temperaturpaarungen** gedeckt werden. In der Abbildung wird der Zusammenhang zwischen der Veränderung der Vorlauf-temperatur und die Auswirkungen auf die Rücklauf-temperatur dargestellt.

- Bereich (2): eine hohe Vorlauf-temperatur ergibt **große Spreizungen** mit niedrigen Rücklauf-temperaturen, was sich vor- und nachteilhaft auf die Effizienz der Anlage auswirkt. So verschlechtern hohe Vorlauf-temperaturen den Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers, die Massenströme im System verringern sich. Bei Brennwertgeräten steigt durch die niedrigere Rücklauf-temperatur der Brennwertnutzen, während es bei (alten) Niedertemperatur-Kesseln (NT-Kessel) zu nicht gewolltem Kondensatausfall kommen kann (dies kann zur Kesselkorrosion führen). Neuere NT-Kessel sind so konstruiert, dass sie nicht ins „Schwitzen“ kommen wegen des kalten Rücklaufs.
- Bereich (1): Durch eine maximale **Reduzierung der Vorlauf-temperatur** ergeben sich sehr kleine Wärmeübertragungskennwerte für die Heizflächen, der Massenstrom und der notwendige Differenzdruck steigt (es sind Pumpen mit größerer Förderhöhe erforderlich). Die Wärmeverluste in den Vorlaufleitungen werden reduziert und eine niedrigere mittlere Heizmittelübertemperatur erhöht den Kesselnutzungsgrad. Die Heizmittelübertemperatur bzw. mittlere Übertemperatur ist die Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Heizmitteltemperatur und der Raumtemperatur.

Es ist sinnvoll, eine Vorlauf-temperatur zwischen dem im Bild dargestellten Bereich 1 und 2 zu wählen. Dies ermöglicht durch die höheren Vorlauf-temperaturen im Teillastfall eine schnellere Aufheizung und verbessert den Kesselwirkungsgrad durch reduzierte Heizmitteltemperaturen.

Für eine hohe **Energieeffizienz** sind niedrige Vorlauf- und Rücklauf-temperaturen bei Wärmepumpenheizungen wichtig (siehe auch Abschnitt 9). Für die Nutzung von Solarthermie (Trinkwarmwasser und/oder solare Heizungsunterstützung) erhöht die niedrigere Betriebstemperatur durch eine geringe Vorlauf- und Rücklauf-temperatur die Effizienz der Anlage. Die energetische Sanierung von Gebäuden senkt häufig den Wärmebedarf des Gebäudes so stark herab, dass eine niedrigere Vorlauf-temperatur der vorhandenen Heizkörper ausreichend ist. Ebenso werden Flächenheizungen mit wesentlich niedrigeren Vor- und Rücklauf-temperaturen betrieben. Bei Anlagen mit Brennwertkesseln muss die Rücklauf-temperatur unter einem bestimmten Niveau liegen da sonst keine Brennwertnutzung möglich ist (siehe Abschnitt 9.6.1).

9.2 Verbesserung Regelungseinrichtungen

Regeleinrichtungen sind bei Warmwasserheizungen mindestens in zwei Bereichen erforderlich, d. h. zentral am Wärmeerzeuger und dezentral an den einzelnen Übergabestellen im Raum.

Die **zentrale Regelung** betrifft bei Heizkesseln die Kesseltemperatur und damit die Vorlauf-temperatur des Heizkreises. Dabei wird ein Sollwert entweder konstant vorgegeben oder bei Vorhandensein eines Außentemperaturfühlers in Abhängigkeit vom Außenklima ermittelt.

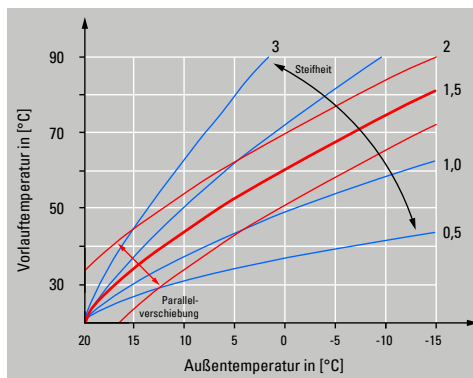
Die **Energieeinsparverordnung** enthält Anforderungen an die Mindestausstattung der Regelungstechnik von Pumpenwarmwasserheizungen, welche in dem Fall greifen, dass eine Heizungsanlage neu eingebaut wird.

EnEV § 14 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen, Abs. 1, Satz 1: „Zentralheizungen müssen beim Einbau in Gebäude mit **zentralen selbsttätig wirkenden** Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der **Wärmezufuhr** sowie zur Ein- und Ausschaltung **elektrischer Antriebe** in Abhängigkeit von

1. der **Außentemperatur** oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und
 2. der **Zeit**
- ausgestattet werden.“

In dem Fall, dass keine neue Heizung eingebaut wird, besteht trotzdem eine **Nachrüstpflicht**, falls die geforderte Ausstattung nicht vorhanden ist. Bei Nah- oder Fernwärmeanschluss gelten Ausnahmen, wenn die Regelung auf Seiten des Versorgers erfolgt.

Der Zusammenhang zwischen Vorlauf- und Außentemperatur ist in der sogenannten **Heizkurve** (siehe vorangehender Abschnitt) festgelegt, welche am Regler eingestellt wird. Sie wird in der Regel beim Einbau oder in der ersten Heizperiode vom Installateur individuell für das Gebäude erstellt, zusammen mit der Durchführung des **hydraulischen Abgleichs**. Eine passende Heizkurve ist Voraussetzung für eine optimale und energieeffiziente Betriebsweise der Anlage, da dadurch sichergestellt ist, dass die Systemtemperaturen möglichst niedrig (energieeffizient) aber auch ausreichend (Vermeidung von Unterversorgung) dimensioniert sind.



Quelle: www.hydraulischer-abgleich.de, modifiziert

Abbildung 37: Anpassung der Heizkurve beim hydraulischen Abgleich nach [39].

9.3 Nachrüstung eines Pufferspeichers

Ältere Heizkessel zeigen die besten Wirkungsgrade unter Volllast, neuere Heizkessel sind im Teillastbereich optimiert. Bedarfsseitig wird diese Volllast jedoch selten benötigt, v.a. in der Übergangszeit (Frühjahr/Herbst). Bei Einsatz eines Heizungs-**Pufferspeichers** kann dessen Beladung im optimalen Leistungsbereich (des Erzeugers) erfolgen um dann bei Bedarf die benötigte Energie bereitzustellen. Dadurch kann das Takten (häufiges An- und Ausschalten) im unteren Leistungsbereich reduziert werden, also in dem Bereich, mit den üblicherweise schlechteren Wirkungsgraden, was sich positiv auf Effizienz und Lebensdauer auswirkt. Negativ wirken sich hingegen die dann zusätzlich anfallenden Speicherverluste aus.

Beim **Schichtenladespeicher** erfolgt entsprechend der Temperatur des warmen Wassers die Schichtung in unterschiedlicher Höhe. Die unterschiedlichen Temperaturstufen der Energiequellen (z. B. Solarthermie, Biomasse, Wärmepumpe) werden ohne miteinander zu vermischen abgestuft in den Pufferspeicher eingeschichtet. Die Energie im Puf-

ferspeicher wird damit effizient für unterschiedliche Systeme genutzt. Zum Beispiel kann im oberen Speicherbereich die Heizwasserentnahme für die Heizkörper erfolgen, während der Bereich für das Heizwasser der Fußbodenheizung etwas tiefer liegt. Die Temperaturschichtung bleibt durch die besondere Konstruktion konstant; durch das Schichtladeverfahren entstehen beim Nachladen keine starken Verwirbelungen.

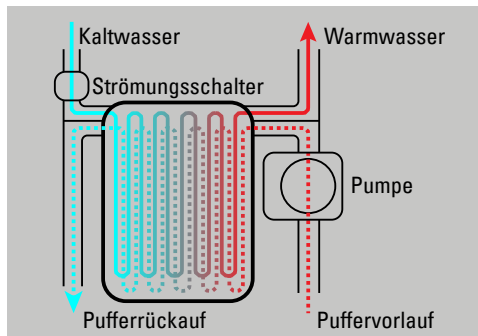
Der Einsatz von Pufferspeichern dient auch der **Lastverschiebung**. Solarthermie-Anlagen beispielsweise liefern die größte Wärmemenge zu Zeiten geringen Verbrauchs, eine Speicherung gleicht die Verbrauchs- und Nutzungsdiskrepanz aus.

Der Einbau oder die Vergrößerung von Pufferspeichern ist unter Umständen mit Platz oder Zugangsproblemen verbunden, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Neue Pufferspeicherkonzepte wie drucklose Kunststoffspeicher, die erst vor Ort zusammengebaut und den Gegebenheiten anpassbar sind, können hier hilfreich sein.

9.4 Nachrüstung einer Frischwasserstation

In einer Frischwasserstation (oder Frischwassermodul) wird Trinkwasser im **Durchlaufprinzip** erwärmt. Sie besteht aus einem Platten- oder Rohrwärmetauscher, einer Regelung und einer Entladepumpe. Sobald an einer Entnahmestelle warmes Trinkwasser angefordert wird, aktiviert das fließende Kaltwasser den Strömungsschalter. Dieser setzt die Pumpe aus dem Vorlauf des Pufferspeichers in Gang. Das Wasser des Puffervorlaufs strömt über den Tauscher und gibt im Gegenstrom die Wärme an das laufende Frischwasser ab. **Frisches und hygienisch einwandfreies Wasser** kommt an die Zapfstellen, da keine physische Verbindung besteht.

Die Frischwasserstation funktioniert i. d. R. nur in Verbindung mit einem Heizungs-**Pufferspeicher** der beispielsweise bei einem Holz- oder Pelletkessel, einer Wärmepumpe oder anderen Systemen bereits vorhanden ist. Die Frischwasserstation führt zu einer besseren Energieeffizienz bei Verwendung einer Solaranlage, da aufgrund des kalten Rücklaufs die mittlere Temperatur des Solarkreises gesenkt werden kann. Die Vorteile dieses Prinzips sind bessere Wirkungsgrade bei niedrigen Pufferspeichertemperaturen (z. B. bei Verwendung einer Wärmepumpe). Bei großen Zapfunterschieden können Frischwasserstationen eine gleichbleibende Austrittstemperatur gewährleisten. Der Platzbedarf der Geräte ist geringer als die eines Warmwasserspeichers.



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 38: Funktionsprinzip einer Frischwasserstation (vereinfacht).



Quelle: © MS Schwarz GmbH

Abbildung 39: Frischwasserstation

9.5 Auswahl geeigneter Systeme bei Ersatz oder Erneuerung der Wärmeerzeugung

Beim teilweisen oder vollständigen Ersatz des Wärmerversorgungssystems ist die Auswahl einer geeigneten Systemlösung abhängig von verschiedenen Randbedingungen und kann - je nach fokussiertem Aspekt - zu unterschiedlichen, sich wieder-sprechenden Lösungsansätzen führen.

Die primäre Fragestellung ist immer „**Was liegt vor?**“, d. h. welche Gegebenheiten werden am Objekt vorgefunden, baulich und anlagentechnisch. Die nächste wesentliche Fragestellung im Rahmen der Denkmalpflege ist „**Was muss erhalten werden?**“. Das kann sich auf Komponenten der Anlagentechnik beziehen, wie z. B. historische Heizkörper, aber auch auf bauliche Auflagen, z. B. dem Verbot von Deckendurchbrüchen bei Vorhandensein von Stuckarbeiten.

Im Rahmen der Denkmalpflege ist auch der Aspekt der **Reversibilität** in die Überlegungen mit einzubeziehen, d. h. der Rückbaubarkeit der geplanten Maßnahmen.

Vor dem Hintergrund von Ressourcenverknappung und Emissionsminderung sollten die Aspekte **Ökologie** und **Nachhaltigkeit** den höchsten Stellenwert haben, in der Umsetzung wird bei der Ent-

scheidungsfindung meist und letztendlich die **Wirtschaftlichkeit** einer Maßnahme ausschlaggebend sein.

Essenzieller Aspekt bei einer Maßnahmenfindung im Gebäudebereich ist die **Bauwerkserhaltung** und der **Bautenschutz**.

Zusätzliche Aspekte tragen der eigentlichen Bestimmung des Gebäudes Rechnung, d. h. der Möglichkeit einer angemessenen Gebäudenutzung unter möglichst optimaler Einhaltung der Anforderungen an **Hygiene** und **Komfort** (u. a. thermische Behaglichkeit) sowie ggf. Akustik.

Die weiteren bei der Auswahl und Planung der anlagentechnischen Maßnahmen zu berücksichtigenden Aspekte werden durch das Baurecht vorgegeben, u. a. **Statik**, **Mindestwärmeschutz**, **energetische** Anforderungen (inkl. erneuerbare Energien), **Schallschutz**, **Barrierefreiheit**, **Sicherheit** und wesentlich, weil meist im Zusammenhang mit dem Denkmalschutz am konfliktrträchtigsten, der **Brandschutz**.

In den folgenden Tabellen sind Randbedingungen zusammengestellt, welche sich durch den Einsatz verschiedener Erzeugungsarten ergeben, und somit für die Entscheidungsfindung relevant sind. Die Ergebnisse beruhen auf Untersuchungen, die [40] entnommen sind. Dabei werden fünf verschiedene Wärmeerzeuger vergleichend betrachtet, d. h.

- Brennwertkessel „BW“ (Gas und Öl),
- Pelletkessel „Pel“ (automatisch beschickt) bzw. allgemeiner Biomasse-Kessel,
- Elektrowärmepumpe „WP“ (Außenluft „A“, Erdsonden „S“, Erdkollektoren „K“),
- Kraft-Wärme-Kopplung „KWK“ (Gas-Blockheizkraftwerk BHKW) sowie
- Fern- oder Nahwärme „FW“.

Bei der Bestandssanierung hängen die Kosten im Wesentlichen von den systembedingt notwendigen **Komponenten** und der **Ausstattung** ab. Dabei muss im Einzelfall entschieden werden, welche vorhandenen Einrichtungen und Komponenten weitergenutzt oder ersetzt werden müssen. Tabelle 2 gibt einen Vergleich der erforderlichen baulichen Ausstattung für die verschiedenen Systeme wieder.

Bei den gasbefeuelten Systemen muss ein **Gasanschluss** vorhanden sein, bzw. muss die Verfügbarkeit geprüft werden. Gleiches gilt für einen Fern- oder Nahwärmeanschluss. Beim Klein-Blockheizkraftwerk (BHKW, unter Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung KWK) erfolgt in der Regel eine Strom-einspeisung, daher muss ein entsprechender Zähler vorhanden sein.

Tabelle 2: Systembedingte Anforderungen an die bauliche Ausstattung für verschiedene Wärmeerzeuger. (Abkürzungen: „BW“ - Brennwertkessel, „Pel“ - Pelletkessel, „WP“ - Wärmepumpe, „A“ - Quelle Abluft, „S, K“ - Quelle Erdsonden bzw. -kollektoren, „KWK“ - Kraft-Wärme-Kopplung, „FW“ - Fernwärme)

Ausstattung (baulich)		BW Gas	BW Öl	Pel	WP A	WP S,K	KWK Gas	FW
Anschluss	Gas	X					X	
	Fernwärme							X
	Stromeinspeisung						X	
Abgas	Schornstein	X	X	X			X	
	säurebest. Rohreinzug	X	X					
Abwasser (Kondensat)		X	X					
Heizungs-/Technikraum		X*	X*	X	X	X	X	X
Lager	Öltank		X					
	Pelletlager			X				
Außeneinheit (Luft-WP)					X			
Erdsonden/-kollektor						X		
*) Heizungsraum nicht notwendig bei wohnungszentralen Wandgeräten (Therme)								

Die Verbrennungs-Systeme benötigen für die Abführung der **Abgase** immer einen Schornstein (bei raumluftunabhängigen wohnungszentralen Geräten darüber hinaus eine Zuluffführung). Der Einsatz von Brennwertechnik stellt weitere Anforderungen an die Abgasführung, da säurehaltiges Kondensat anfällt. In der Regel wird in diesen Fällen ein säurebeständiges Rohr in den vorhandenen Schornstein eingezogen. Dies führt zu höheren Investitionskosten und erfordert im Vorfeld eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit und Genehmigungsfähigkeit. Ebenfalls bei der Brennwertechnik ist eine Abwasserleitung für das Kondensat notwendig.

Einen Heizungs- oder Technikraum ist in der Regel bei allen Systemen erforderlich, außer bei wohnungszentralen Wandgeräten. Dort wird dann auch gewöhnlich bei Fernwärmeanschlüssen die Hausübergabestation verortet. Beim BHKW und ggf. auch bei Wärmepumpen kann es im Bereich des Technikraums zu erhöhten Schallemissionen oder Vibrationen kommen. Die erforderlichen Lagerstätten (Öl, Pellets) befinden sich üblicherweise ebenfalls im oder beim Heizungsraum. Gegebenenfalls

muss bei größeren in das Gebäude eingebrachten Lasten eine statische Prüfung erfolgen.

Beim Einsatz von Wärmepumpen hängt die Ausstattung von der verwendeten **Wärmequelle** ab, bei Außenluftwärmepumpen wird üblicherweise eine Außeneinheit außerhalb des Gebäudes platziert, Erdsonden oder -kollektoren erfordern einen Eingriff in das Erdreich. In allen Fällen ist die Umsetzbarkeit und Genehmigungsfähigkeit zu prüfen, bei der Außeneinheit ist ggf. auch eine Prüfung bzgl. Schallemissionen erforderlich.

Die systembedingten Anforderungen an die Übergabe- und Verteilung sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 zusammengestellt.

Die verschiedenen Wärmeerzeuger arbeiten in den verschiedenen **Temperaturbereichen** unterschiedlich effizient. Während Wärmepumpen nur für Niedertemperatursysteme (Vorlauf < 35 °C) geeignet sind, sind BHKW bei höheren Systemtemperaturen effizient. Der Einsatz von Brennwertechnik ist bei niedrigen Vorlauftemperaturen effizienter und nur bis zu einer Vorlauftemperatur von 55 °C sinnvoll. Pelletkessel und Fernwärme sind für alle Tempe-

Tabelle 3: Systembedingte Anforderungen an die Heizkreistemperaturen für verschiedene Wärmeerzeuger. (Abkürzungen: „BW“ - Brennwertkessel, „Pel“ - Pelletkessel, „WP“ - Wärmepumpe, „KWK“ - Kraft-Wärme-Kopplung, „FW“ - Fernwärme)

Heizkreistemperaturen		BW	Pel	WP	KWK	FW
90/70 °C	Bestandsanlagen		X		X	X
55/45 ... 70/55 °C		X	X		X	X
35/25 ... 40/30 °C	Niedertemperatur	X	X	X	(X)	X

Tabelle 4: Systembedingte Anforderungen an Übergabe- und Verteilung für verschiedene Wärmeerzeuger. (Abkürzungen: „BW“ - Brennwertkessel, „Pel“ - Pelletkessel, „WP“ - Wärmepumpe, „KWK“ - Kraft-Wärme-Kopplung, „FW“ - Fernwärme)

Übergabe-, Verteilsysteme	BW	Pel	WP	KWK	FW
Flächenheizung	X	X	X	(X)	(X)
Heizkörper	X	X	(X)	X	X
Heizkörper Bestand 90/70 °C		X		X	X
Konvektoren	X	X		X	X
Heizregister RLT	X	X		X	X
Zweirohrnetz	X	X	X	X	X
Einrohrnetz		X		X	X

raturbereiche geeignet, Fernwärmenetze haben in der Regel sehr hohe Netztemperaturen bis 110 °C. Anpassungen der Systemtemperaturen durch Einsatz von Mischern ist in der Regel möglich

Aus den Anforderungen an die Systemtemperaturen ergeben sich auch die Auswahl geeigneter Übergabe- und Verteilsysteme. Bei Niedertemperatursystemen sind großflächige **Wärmeübergaben** erforderlich, d. h. Flächenheizungen, Heizkörper reichen in der Regel nicht aus. Auf der anderen Seite sind die Systemtemperaturen bei Block-

heizkraftwerken relativ hoch und sind daher ohne geeignete Nachbehandlung für Flächenheizungen ungeeignet. Die Wärmeversorgung des Heizregisters einer raumlufttechnischen Anlage (RLT) erfordert ähnlich wie ältere Bestands-Heizkörper und Konvektoren ein Mindest-Temperaturniveau, welches nicht von allen Erzeugern bereitgestellt werden kann. Bei Vorhandensein eines Einrohrnetzes, welches weiter verwendet werden soll/muss, ist der Einbau eines Brennwertkessels oder einer Wärmepumpe nicht sinnvoll.

Tabelle 5: Systembedingte Anforderungen an Speicher für verschiedene Wärmeerzeuger. (Abkürzungen: „BW“ - Brennwertkessel, „Pel“ - Pelletkessel, „WP“ - Wärmepumpe, „KWK“ - Kraft-Wärme-Kopplung, „FW“ - Fernwärme)

Speicher	BW	Pel	WP	KWK	FW
Warmwasserspeicher	X	X	X	X	X
Heizungspufferspeicher		X	(X)	X	(X)

Sofern der Wärmeerzeuger auch für die Trinkwarmwasserbereitung Verwendung finden soll, so ist der Einbau eines Warmwasserspeichers üblich. Ein Heizungspufferspeicher ist bei regenerativer Wärmeerzeugung wie bei Pelletkesseln und Wärmepumpen sinnvoll oder sogar erforderlich. Bei KWK ermöglicht der Einbau eines Pufferspeichers eine Reduktion der Taktung, bei Fernwärme kann

ein Pufferspeicher für eine (meist von Seiten des Netzes geforderte) Begrenzung der Rücklauftemperatur sorgen. Siehe auch Tabelle 5.

Fällt im Gebäude nutzungsbedingt nur ein geringer Warmwasser-Bedarf an (z. B. Büronutzung), so sind dezentrale Untertischgeräte (elektrische Durchlauferhitzer) eine sinnvolle und wirtschaftliche Lösung.

Tabelle 6: Systembedingte Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz für verschiedene Wärmeerzeuger. (Abkürzungen: „BW“ - Brennwertkessel, „Pel“ - Pelletkessel, „WP“ - Wärmepumpe, „KWK“ - Kraft-Wärme-Kopplung, „FW“ - Fernwärme)

Baulicher Wärmeschutz	BW	PEL	WP	KWK	FW
alle Gebäude	X	X			
geringe Heizlast (guter Wärmeschutz)			X		
hohe Heizlast (Bestand)				X	X

Die Wahl des geeigneten Wärmeerzeugers hängt auch vom vorliegenden oder geplanten **baulichen Wärmeschutz** ab. Siehe Zusammenstellung in Tabelle 6.

Der Einsatz von Wärmepumpen unterliegt einer Begrenzung. Ihr Einsatz z. B. als monovalentes System (ohne weiteren Spitzenlast-Erzeuger) mit Fußbodenheizung ist nur bis zu einer Heizleistung von 70 W/m² sinnvoll/möglich. Für Fernwärme und BHKW dagegen ist eine hohe Wärmeabgabe güns-

tig, da bei Fernwärme die Verteilverluste des Netzes prozentual niedriger erscheinen (nicht absolut) und sich beim BHKW die Laufzeit je nach Dimensionierung verlängert und damit die Stromproduktion höher und ggf. die Wirtschaftlichkeit besser wird.

Eine Einschätzung der Auswirkungen verschiedener Systeme auf die gesetzlichen Anforderungen gemäß Energieeinsparverordnung EnEV [8] oder dem Erneuerbare-Energie-Wärmegesetz EEWärmeG [41] ist in Tabelle 7 enthalten.

Tabelle 7: Systembedingt erwartete Auswirkungen auf gesetzliche Anforderungen für verschiedene Wärmeerzeuger. (Abkürzungen: „BW“ - Brennwärtekessel, „Pel“ - Pelletkessel, „WP“ - Wärmepumpe, „KWK“ - Kraft-Wärme-Kopplung, „FW“ - Fernwärme)

Gesetzliche Anforderungen		BW	Pel	WP	KWK	FW
EnEV	i. d. R. erfüllt *		X	X	X	X
	i. d. R. Zusatzmaßnahmen notwendig	X				
EEWärmeG	i. d. R. erfüllt **		X	X	X	X
	i. d. R. Zusatzmaßnahmen notwendig	X				
*) Hauptanforderung Primärenergie						
**) unter Einhaltung von Mindestanforderungen an das System/die Konfiguration						

Eine pauschale Einschätzung der energetischen Auswirkungen der verschiedenen Erzeugungssysteme ist schwierig. In der Regel ergeben sich bei den meisten Wärmeerzeugern keine Probleme bei der Einhaltung der Hauptanforderung der EnEV an den Primärenergiebedarf. Stattdessen wird in den meisten Fällen die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz greifen. Nur beim Einsatz von Brennwertechnik ist nicht von vornherein davon auszugehen, dass die Anforderungen der EnEV eingehalten werden. Bei Fernwärme und BHKW wird dabei davon ausgegangen, dass ein entsprechend guter Primärenergiefaktor bzw. eine ausreichender Deckungsanteil vorliegt.

Bei den Anforderungen gemäß EEWärmeG sind wieder nur beim Brennwärtekessel Zusatzmaßnahmen erforderlich, z. B. Solarthermie oder ein verbesserter Wärmeschutz oder eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Bei den anderen Systemen sind jedoch Anforderungen an das System bzw. die Konfiguration zu beachten. Bei allen Systemen muss der Deckungsanteil bei mindestens 50 % liegen. Beim Pelletkessel darf der Wirkungsgrad 86 % nicht unterschreiten, bei Wärmepumpen gelten systemspezifische Anforderungen an die Jahresarbeitszahl und bei Fernwärme beziehen sich die Anforderungen auf den Anteil erneuerbarer Energien.

9.6 Ersatz oder Erneuerung von Verbrennungssystemen

Der Ersatz oder die Erneuerung von Verbrennungssystemen erfordert bei der Planung die Berücksichtigung der Anforderungen an Abgasführung und Brennstoff-Lagerung. Siehe dazu Abschnitt 9.6.6.

9.6.1 Brennwärtekessel

Die bei der Gebäudeheizung eingesetzten Verbrennungssysteme sind in der Regel Kesselanlagen. Diese werden aufgrund ihrer Effizienz in drei Kategorien eingeteilt, d. h. Standard-, Niedertemperatur- und Brennwärtekessel. **Standardkessel** werden heute praktisch nicht mehr eingesetzt, da sie mit ihrer konstanten, hohen Kesselwassertemperatur vergleichsweise ineffizient arbeiten. Beim **Niedertemperaturkessel** sind die Kesseltemperaturen abgesenkt und variabel (modulierend), was zu einer Verbesserung des Betriebsverhaltens und einer Verringerung der Verluste (Abstrahlung Kessel, Verteilung) führt. Der **Brennwärtekessel** soll den Energieinhalt des eingesetzten Brennstoffs (Brennwert) möglichst vollständig nutzen. Dabei wird das Abgas soweit abgekühlt, dass der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert. Die somit entstandene Kondensationswärme kann zusätzlich genutzt werden. Brennwärtekessel stellen aufgrund ihrer Effizienz bei der Wahl der Kesselart den Standard dar.

Üblicherweise wird der **Nutzungsgrad** des Kessels bezogen auf den Heizwert angegeben. Da beim Brennwärtekessel auch die zusätzliche (latente) Kondensationswärme nutzbar wird, ergeben sich Wirkungsgrade von etwas über 100 %, was recht ungewohnt wirkt, aber richtig ist. Gemäß Ökodesign-Richtlinie (ErP-Richtlinie) wird der Wirkungsgrad mittlerweile brennwertbezogen angegeben und kann daher nicht mehr Werte > 100 % annehmen.

Aufgrund der Kondensation stellen Brennwärtekessel zusätzliche Anforderungen an die **Abgasführung**. Das anfallende Kondensat ist säurehaltig, daher muss der Schornstein zusätzlich geschützt wer-

den (Versottung). Das erfolgt in der Regel durch das Einziehen eines korrosionsbeständigen Rohres innerhalb des Schornsteins (Polypropylen oder Edelstahl). Es kann auch ein neuer separater Schornstein an der Gebäudeaußenseite angebracht werden. Siehe dazu auch Abschnitt 9.6.6.

Neben der speziellen Abgasführung benötigen Brennwertgeräte auch einen **Abfluss** zur Kondens-

at-Behandlung (Neutralisation) und Entsorgung. Hierbei ist zu beachten, dass eine Neutralisations-einrichtung bei gasbetriebenen Geräten ab 25 kW und bei ölbetriebenen Geräten immer vorgeschrieben ist. Die notwendigen Chemikalien für die Neutralisation verbrauchen sich, was bei der Wartung und Instandhaltung zu beachten ist.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Stadtprozelten „Altes Rathaus“

Das Alte Rathaus von Stadtprozelten, ein typischer Bau der Renaissance, wurde im Zuge des Modellvorhabens energetisch ertüchtigt. Die dabei durchgeführten baulichen Maßnahmen wurden durch anlagentechnische ergänzt, es erfolgte ein Rückbau der elektrischen Nachtspeicheröfen und die Installation einer neuen **Gasbrennwerttherme** im Obergeschoss. Die Wärmeübergabe erfolgt durch **Konvektoren** im Obergeschoss und mit einer **Fußbodenheizung** im Erdgeschoss.

9.6.2 Biomassekessel (Pellet, Hackschnitzel, Stückholz)

Bei Biomasseanlagen kommen Holz-Pellets, Holz-Briketts oder Holz-Hackschnitzel, ggf. auch Stückholz als Brennstoff zum Einsatz. Die Bereitstellung des Brennstoffs im Brennerraum erfolgt dabei entweder **automatisch** z. B. in Form einer Förderschnecke (Pellet), oder **manuell** (Stückholz), wodurch sich der Wartungsaufwand erheblich erhöht.

Im Unterschied zu konventionellen Kesseln arbeiten Biomassekessel im unteren Leistungsbereich weniger effizient. Daher sollte bei der Planung der Einsatz eines Heizungs-**Pufferspeichers** mit berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 9.3).

Bei der Planung einer Biomasseanlage ist der Platzbedarf für die Lagerung zu berücksichtigen. Die Anlieferung erfolgt entweder lose (durch Einblasen) oder als Sackware, wobei v. a. bei den sogenannten Bigbags darauf zu achten ist, dass die Zuwegung zum Lagerraum gewährleistet ist.

Die **Anlieferung** der Biomasse-Energieträger (z. B. Holzpellets) kann v. a. in historischen Quartieren problematisch sein, da die Packungen oft sperrig sind und daher größere Fahrzeuge eingesetzt werden, welche nicht durch jede kleine Gasse passen.

Moderne Pelletheizungen arbeiten nahezu vollautomatisch, sodass lediglich regelmäßige **Reinigungs- und Wartungsarbeiten** im Abständen von mehreren Wochen (Ascheentsorgung) oder einigen Monaten (Reinigung des Verbrennungsraumes) notwendig sind. Die regelmäßigen Arbeiten an der Heizung beschränken sich auf die Befüllung des Lagers, die Entnahme der Asche und bei einfacheren Modellen die Reinigung der Rauchzüge. Eine den Öl- oder Gasheizungen vergleichbare Bedienerfreundlichkeit ist ein wichtiges Entwicklungsziel der Hersteller. Für einzelne Pellet-Zentralheizungen genügen inzwischen Betreuungintervalle von lediglich einmal jährlich. [9]



Foto: Kapilbutani, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 40: Holz-Pellets

Die Verbrennung von Biomasse ist **CO₂-neutral**, da durch die Verbrennung nur so viel CO₂ freigesetzt wird, wie zuvor in der Wachstumsphase vom Baum gespeichert wurde. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der in Mitteleuropa schon seit Jahrhunderten nach dem Nachhaltigkeitsprinzip angebaut wird.

Der vermehrte Einsatz von Holzbrennstoffen ist nicht unproblematisch, da mit Zunahme der Holz-

feuerungen auch ein Anstieg der **Feinstaubemissionen** zu verzeichnen ist [42]. Darüber hinaus ist ebenfalls als problematisch anzusehen, dass vermehrt hochwertiges Holz für die Pelletherstellung Verwendung findet, da der Bedarf mittlerweile so hoch ist, dass minderwertige Hölzer (z. B. Sturmholz) oder bei der Holzverarbeitung anfallende Holzabfälle nicht mehr ausreichen.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Heidelberg „Energetische Sanierung der Klingenteichhalle“

Die Sanierung des Gebäudes „Klingenteichhalle“ ist ein wichtiger Beitrag zum kommunalen „Masterplan 100 Prozent Klimaschutz“ der Stadt Heidelberg. Neben den baulichen Maßnahmen wurde hier auch die Anlagentechnik ertüchtigt, d. h. Austausch des gasbetriebenen Konstanttemperaturkessels durch eine Kombination aus **Pellet- und Gasbrennwertkessel** sowie Erneuerung und Optimierung der Heizleitungen und Verteiler sowie der Einsatz einer geregelten **Lüftungsanlage** mit Wärmerückgewinnung.

9.6.3 Blockheizkraftwerk BHKW

Blockheizkraftwerke dienen der gleichzeitigen Erzeugung von **Strom und Wärme**. Als Brennstoffe kommen meist Erdgas aber auch Biogas oder Heizöl zur Anwendung. Diese Systeme gehören, wie Brennstoffzellen auch, zu den Kraftwärmekopplungsanlagen KWK.

Die **Anforderungen** an die Ausstattung von Blockheizkraftwerken entsprechen denen der konventionellen Kessel, z. B. Brennstoffzuführung und Abgasabführung, daher greifen hier auch die gleichen denkmalpflegerischen Prüfungen. Darüber hinaus sind BHKW wartungsintensiver als konventionelle Kessel und sollten für einen **wirtschaftlichen Betrieb** 4.000 bis 5.000 Stunden pro Jahr arbeiten [43].

Zudem ist in der Regel ein Anschluss für die Netzeinspeisung notwendig.

Je nach wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist bei der Stromerzeugung meist dem **Eigenverbrauch** der Vorzug gegenüber der Netzeinspeisung (also dem Fremdverbrauch) zu geben. Die wirtschaftlich günstige lange Betriebszeit ist jedoch meist länger als die übliche Länge der Heizperiode. Daher bieten sich BHKW eher bei längeren Heizperioden an (schlechterer baulicher Zustand) oder beim Vorhandensein zusätzlicher Stromverbraucher (z. B. elektrische Kältemaschinen).

BHKW lassen sich gut in Containern unterbringen und können daher in **externen Energiezentralen** für die Versorgung mehrerer Gebäude verwendet werden, was sich v. a. bei entsprechenden Denkmalschutzauflagen anbieten würde. Voraussetzung ist allerdings, trotzdem die Möglichkeit, eine Versorgungsleitung in das Gebäude legen zu können.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Monheim „Nahwärmenetz“

Das Projektziel des Modellprojektes in Monheim war die Gewährleistung einer nachhaltigen Energieversorgung für die historischen Gebäude im Innenstadtquartier und die Bereitstellung einer kostengünstigen Wärmeversorgung für die Eigentümer von Baudenkmalen. Durch die **Erweiterung des bestehenden Nahwärmenetzes** konnten Gebäude unterschiedlichster Nutzung angebunden werden. Das BHKW und der Spitzenlastkessel wurden ebenfalls installiert und in Betrieb genommen. Die vorhandene Hackschnitzelheizung wurde in die Wärmeversorgung eingebunden. Die bestehende Wärmeerzeugung wurde hierzu unter anderem mit einem Blockheizkraftwerk erweitert.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Osterwieck „Mini-KWK Anlage im Denkmal“

Das denkmalgeschützte Gutshaus „Edelhof“ wurde in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts als Fachwerkbau erstellt, und beherbergt heute die Kindertagesstätte. Die alte Heizungsanlage wurde durch ein modernes **Mikro-BHKW** mit Stirlingmotor, Pufferspeicher und zusätzlichen Brennwertkessel ausgetauscht, das zusätzlich zur Wärme auch Strom unter hohem Wirkungsgrad erzeugt.

9.6.4 Gas-Wärmepumpe

In den meisten Fällen werden Wärmepumpen elektrisch, d. h. mit Strom betrieben. Um einen höheren thermischen Wirkungsgrad zu erzielen kann als Energieträger auch Gas (seltener Öl) eingesetzt werden. Dabei wird in einem **Motor** technische Arbeit zum direkten Antrieb des Verdichters erzeugt. Die dabei erzielten Wirkungsgrade sind schlechter im Vergleich zu denen der Elektro-Wärmepumpen bei meist unverhältnismäßigem Mehraufwand (Wartung) und Mehrinvestition. Einsatz finden diese Systeme daher, wenn überhaupt, nur bei größeren Anlagen.

9.6.5 Einzelfeuerstätte

Einzelfeuerstätten wie Kamine oder Öfen dienen heutzutage in der Regel nicht als Grundlast-Wärmeerzeuger sondern nur als **zusätzliche** Wärmequelle. Sie werden in der Regel mit Stückholz oder Kohle, in selteneren Fällen auch mit Öl betrieben.

Historische Einzelöfen (z. B. Kachelöfen, Eisenöfen) sowie historische Gusseisenheizkörper sind häufig Bestandteile der baufesten Ausstattung eines Baudenkmal. Denkmalfachliches Ziel ist daher eine Erhaltung an Ort und Stelle sowie, wenn möglich, ihre Weiterverwendung durch technische Adaptierung in ihrer ursprünglichen Heizfunktion als Teil des Gebäudetechnikkonzeptes. [21]



Foto: FA2010, Public Domain, via Wikimedia Commons

Abbildung 41: Rottweil, Stadtmuseum, Kachelofen der Empire-Zeit.

9.6.6 Abgas und Lagerung

Alle brennstoffgebundenen Wärmeerzeuger benötigen eine Abgasführung und – mit Ausnahme netzgebundener Gaskessel – eine Brennstofflagerung.

Je nach verwendeter Technik muss im Einzelnen ermittelt werden, wie groß der Installationsaufwand ist und welche Maßnahmen genehmigungsfähig sind.

Abgasanlagen bestehen aus einem senkrechten Schornstein, einer Verbindung zum Kessel, Nebenluftvorrichtungen oder Zugbegrenzern und Reinigungsöffnungen. An alle Komponenten der Anlage werden unterschiedliche Anforderungen gestellt, so z. B. an die wirksame Mindestschornsteinhöhe, welche von der Gebäudeform abhängt.

Einschalige gemauerte Schornsteine aus Ziegeln müssen beim Anschluss neuer Feuerstätten meist mit Einzugsrohren saniert werden, v. a. bei Verwendung von Brennwertechnik, da dort säurehaltiges Kondensat ausfällt.

Soll oder kann ein vorhandener Schornstein nicht weiter verwendet werden, so kann ein **externer Kamin** nachgerüstet werden, freistehend oder an der Gebäudewand angebracht.



Foto: BentaxGermany, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 42: Haus mit externem Schornstein

Die Sanierung des Kamins und v. a. der markanten sichtbaren Kaminköpfe ist auf das Erscheinungsbild des Gebäudes abzustimmen. Ebenfalls unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes ist abzuwägen, ob ein extern angebrachter Kamin in Frage kommt.

Heizöllagertanks werden innerhalb des Gebäudes meist in einem Heizungskeller aufgestellt, sie können sich aber auch außerhalb des Gebäudes ober- oder unterirdisch befinden. In allen Fällen werden mehrfache Anforderungen an die Sicherheit gestellt, u. a. an Dichtheit, Brandschutz und Be-/Entlüftung. Die Landesbauordnungen regeln die Überwachung der Einhaltung der Anforderungen z. B. über Schornsteinfeger oder Technische Überwachung (TÜV).

Die Lagerung von Holzpellets, HolzHackschnitzeln oder Stückholz erfordert einen trockenen Tank oder Lagerraum, da v. a. die Holzpresslinge stark hygroskopisch (feuchtigkeitsbindend) sind. Im Vergleich zu Öl benötigen Holzpellets etwa das dreifache Lagervolumen, allerdings bei geringerem technischen Aufwand für den Raum, da Pellets im Unterschied zu Heizöl keine wassergefährdenden Stoffe sind [9].

Die Beschickung des Pellet-Kessels erfolgt über Gebläse oder Förderschnecken, daher sollten Lager und Brenner sich in unmittelbarer Nähe befinden, bei Schnecken maximal 2 m, bei Gebläsen kann bis zu 20 m gefördert werden.

9.7 Ersatz oder Neuinstallation von elektrischen Systemen

9.7.1 Elektro-Wärmepumpe

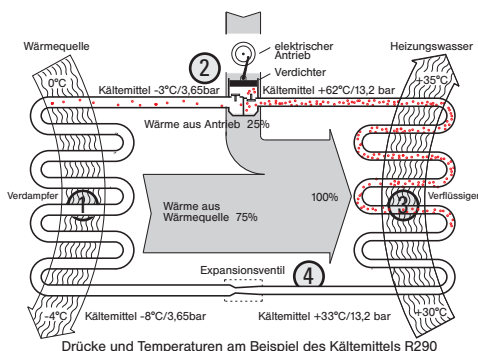
Wärmepumpen nutzen Umweltwärme auf niedrigem Temperaturniveau und heben diese durch Zugabe von elektrischer Energie auf ein für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau an.

Wärmepumpen arbeiten mit sehr geringen Systemtemperaturen und schwankenden Quellentemperaturen. Daher sollte bei der Planung der Einsatz eines Heizungs-Pufferspeichers mit berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 9.3).

Zur Beschreibung der **Funktionsweise** einer Wärmepumpe wird oft der Vergleich mit dem Kühlschrank herangezogen, da dort physikalisch der gleiche Kreisprozess genutzt wird, nur „umgedreht“, d. h. Wärme wird beim Kühlschrank nicht zugeführt – wie bei der Wärmepumpe – sondern entzogen. Durch die geschickte Kombination verschiedener physikalischer Phänomene wird die Nutzung auch von sehr niedrigen verfügbaren Quellentemperaturen ermöglicht, bei Einsatz von

vergleichsweise wenig mechanischer Energie (Verdichter). Dadurch erreichen Wärmepumpen Jahresarbeitszahlen von 3 bis 5, d. h. es wird bis zu fünfmal mehr Nutzenergie abgegeben als elektrische Energie aufgenommen wird.

Im **Kreisprozess** einer Kompressions-Wärmepumpe wird ein Kältemittel nacheinander verdampft, verdichtet, verflüssigt und entspannt. Abbildung 43 zeigt den Prozess einer Elektro-Wärmepumpe mit z. B. einer Wärmequellen-Temperatur von 0 °C (im Bild oben links). Damit dies funktionierte kann, wird ein Kältemittel eingesetzt, welches bereits bei niedrigen Temperaturen verdampft (Siedepunkt), also im Bereich der verfügbaren Quellentemperaturen. Bei dieser Änderung des Aggregatzustandes im **Verdampfer** (1) entsteht Verdampfungswärme, welche der Quelle zusätzlich entzogen werden kann. Auf der Seite der Senke (Heizung) wird ein höheres Temperaturniveau benötigt (z. B. 35 °C, im Bild oben rechts). Dies geschieht im **Verdichter** (2), dort wird der Druck des Kältemittels durch den Einsatz von elektrischer Energie um ca. Faktor 3,6 erhöht, wodurch gleichzeitig die Temperatur von ca. -3 °C auf 62 °C ansteigt. Der **Verflüssiger** (3) dient dann als Wärmetauscher zur Erhitzung des Heizungswassers, wobei das gasförmige Kältemittel durch Abkühlung wieder in den flüssigen Zustand wechselt (Kondensation). Die Verringerung des Drucks (Entspannung) übernimmt das **Expansionsventil** (4), wodurch der Kreis geschlossen ist.



Quelle: © EW Medien und Kongresse GmbH
Abbildung 43: Funktionsschema des Kältemittelkreislaufs einer Wärmepumpe [43]

Bei Wärmepumpen wird Umweltwärme aus verschiedenen **Quellen** nutzbar gemacht, bei der Planung ist deren Verfügbarkeit zu prüfen. Bei Erdreichwärmepumpen werden entweder flächige **Erdkollektoren** oder punktförmige **Erdsonden** verlegt bzw. gebohrt. Für die Kollektoren ist im „Vorgarten“ ein größerer Eingriff und Platzbedarf erforderlich als bei den Bohrungen. Beide Systeme nutzen oberflächennahe Geothermie (1,20 bis 1,50 m Tiefe bei Kollektoren, 30 bis 100 m Tiefe bei Sonden). Dabei werden in der Regel Kunststoffrohre verlegt, in denen als Wärmetauscher-Medium ein Sole-Gemisch (Frostschutz) zirkuliert. Die

Nutzung von **Grundwasser** (max. 20 m Tiefe) bedarf der Verfügbarkeit sowie der Genehmigung und liefert vergleichbare Arbeitszahlen, bei ggf. höherem Strombedarf für die Brunnen-Förderpumpen. Die **Umgebungsluft** (Außenluft, Kellerluft) als Wärmequelle ist zwar am ehesten verfügbar, allerdings auch am wenigsten effizient nutzbar. Bei Außenluftwärmepumpen ist die Aufstellung der Außen-einheit und damit verbundene Problem (Erscheinungsbild, Geräuschpegel) zu berücksichtigen. Sofern vorhanden kann auch die Nutzung von **Abwärme** (Lüftungsanlage, Prozesse) als Wärmequelle eingesetzt werden.

Bei Wärmepumpen, die Erdwärme verwenden, muss geprüft werden, ob sich der Denkmalschutz auch auf den Boden erstreckt und notwendige Tiefbohrungen genehmigungsfähig sind.

Je nach Wärmequelle, Systemtemperatur und Nutzung ergeben sich unterschiedliche **Jahres-Arbeitszahlen** für die Wärmepumpen. In Tabelle 8 sind Richtwerte für vier Quellentypen dargestellt, welche sich aus den Standard-Randbedingungen der DIN V 4701-10 [44] ergeben.

Bei der Anrechnung der Wärmepumpe als regeneratives System gemäß **EE-WärmeG** werden an die Arbeitszahlen Mindestanforderungen gestellt, welche in Tabelle 9 zusammengefasst sind. Es zeigt sich, dass bei einigen Systemen diesen Anforderungswerte über den Richtwerten liegen.

Tabelle 8: Jahres-Arbeitszahlen von Wärmepumpen bei verschiedenen Quellen und Systemtemperaturen in Anlehnung an [44].

Jahres-Arbeitszahl Wärmepumpe	Heizung		Warmwasser Kombibetrieb
	35/28 °C	55/45 °C	
Wasser/Wasser	5,3	4,3	4,3
Erdreich/Wasser	4,3	3,7	3,7
Luft/Wasser	3,3	2,7	3,3
Abluft/Wasser (ohne WRG)	4,2	3,3	4,0

Tabelle 9: Mindestanforderung an die Jahres-Arbeitszahl von Wärmepumpen gemäß EEWärmeG [41].

Jahres-Arbeitszahl Wärmepumpe	Heizung	Warmwasser
Luft/Wasser und Luft/Luft	3,5	3,3
andere	4,0	3,8

Die Betriebsweise der Wärmepumpe erfolgt in der Regel monovalent, d. h. die Wärmepumpe ist alleiniger Wärmeerzeuger. Kommt ein weiterer Wärmeerzeuger als Zusatzheizung zum Einsatz, so wird der Betrieb als bivalent bezeichnet. Die Zusatzheizung erfolgt z. B. über einen elektrischen Heizstab innerhalb der Wärmepumpe oder durch einen separaten zusätzlichen Heizkessel. Die Betriebsweise der Wärmepumpe hängt stark vom Gebäude (Heizlast, Vorlauftemperatur) und den verfügbaren Quellentemperaturen ab.

In kleinen Wohngebäuden ist der monovalente Betrieb der Wärmepumpe in der Regel ausreichend. Besonders beim Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand ist ggf. der Einbau einer Zusatzheizung erforderlich (bivalentes System), z. B.

- bei hoher Gebäudeheizlast (schlechter baulicher Wärmeschutz, Leistung Wärmepumpe nicht ausreichend),
- bei hohen Vorlauftemperaturen (Umbau/Ersatz der Heizflächen nicht ausreichend oder nicht möglich) oder
- bei hohem Trinkwarmwasserwärmebedarf (Leistung Wärmepumpe nicht ausreichend).

Dies führt zu höheren Investitions- und Betriebskosten.

Bereits in der Planungsphase sollte beim Stromversorgungsunternehmen angefragt werden, zu welchen Preisen und Bedingungen die elektrische Energie geliefert wird. Die meisten bieten für Wär-

mepumpen, deren Stromzufuhr für wenige Stunden täglich unterbrochen werden kann („unterbrechbarer Betrieb“) Sonderverträge mit günstigen Preisen an. [43]

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“

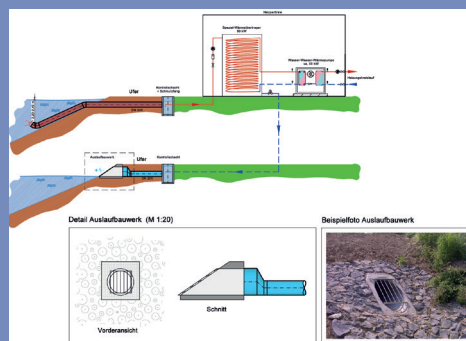


Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Rietberg „Emsturnhalle“

Bei der zu sanierende Turnhalle aus dem Jahr 1892 soll der Baukörper saniert sowie umfassende Bereiche der Gebäudetechnik erneuert werden, jeweils unter Beachtung der Auflagen des Denkmalschutzes. In der ursprünglichen Planung war eine Luft-Absorberanlage mit Eisspeicher vorgesehen. Auf den Eisspeicher wurde jedoch aufgrund der Bodengegebenheiten verzichtet und es wurde ein Ersatzsystem (Tiefenbohrung für **Sole-/Wasser-Wärmepumpe**) gewählt.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: wrage herzog + partner INGENIEURE, Mölln

Fallbeispiel: Mölln „Stadhauptmannshof“

Bei dem Modellvorhaben in Mölln handelt es sich um ein Denkmal-Ensemble, zu dem eine Machbarkeitsstudie erstellt wurde mit dem Ziel, den Energieverbrauch zu senken, ohne den städtebaulichen, kulturhistorischen und denkmalpflegerischen Wert des Ensembles zu beeinträchtigen. Ein Konzept der Sanierung der Haustechnik sieht vor, in einer separat zu errichtenden Energiezentrale ein kleines **Nahwärmenetz** für das Ensemble aufzubauen. Die Energieerzeugung soll über eine elektrisch betriebene Wasser-**Wärmepumpe** mit Gas-Spitzenlastkessel erfolgen. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe ist die Nutzung des **Seewassers** vorgesehen.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Uebigau-Wahrenbrück „Energetische Sanierung im Denkmalbereich Markt 3 und 4“

Die beiden denkmalgeschützten Objekte wurden zu Wohn- und Gewerbebezwecken saniert und ausgebaut und erhielten denkmalgerechte Wärmedämmmaßnahmen. Über eine gemeinsame Energiezentrale im Garten mit **Geothermieanlage** mit modernster strombetriebener Wärmepumpentechnik und Solarkollektoren werden sie gemeinschaftlich versorgt.

9.7.2 Elektro-Direktheizung

Die elektrische Direktheizung wird in Deutschland für Gebäude mit normalen Innentemperaturen in der Regel nicht als ganzjährige Heizung konzipiert, sie bietet jedoch als Ergänzungs-, Übergangs- oder **Zusatzheizung** wegen ihrer schnellen Wirkung und guten Regelbarkeit viele Vorteile [43].

Auch im Gebäudebestand sollte die direkte elektrische Beheizung von Gebäuden nur als Lösung in **Ausnahmefällen** angesehen werden, wegen der schlechten energetischen Effizienz und den hohen Betriebskosten. Ein Ausnahmefall wäre z. B. die Installation eines strombetriebenen Konvektors im Bad, weil die Systemtemperaturen einer vorhandenen Fußbodenheizung zu gering für den komfortablen Betrieb eines Badheizkörpers sind. Hier wäre die kostengünstigere Einzelraumlösung einer großen Lösung (Anhebung des Temperaturniveaus des Gesamtsystems) vorzuziehen.



Foto: Fraunhofer IBP, Dr. Andrea Schneider
Abbildung 44: Wandkonvektor (ohne Gebläse). Die Raumtemperatur kann bei diesem Gerät zwischen 5 °C und 30 °C stufenlos eingestellt werden.



Foto: Bundesarchiv, Bild 183-28773-0004 / CC BY-SA 3.0



Foto: Immanuel Giel, Public Domain, via Wikimedia Commons

9.7.3 Trinkwarmwasser-Durchlauferhitzer oder -Kleinspeicher

Als Alternative zur üblichen zentralen Trinkwarmwassererwärmung bieten sich für Gebäude mit **geringem Warmwasser-Wärmebedarf** (z. B. Büronutzung, nur Teeküche/Waschbecken) dezentrale Einzelgeräte an. Die Investitionskosten und der notwendige Eingriff in die Gebäudesubstanz sind dabei vergleichsweise gering.

Als übliche **Bauarten** kommen dabei Elektro-Kleinspeicher (Untertischgeräte, 5 bis 15 Liter Inhalt) oder Durchlauferhitzer (relativ hohe Anschlussleistung) zum Einsatz. Bei der Planung zu berücksichtigen ist, dass sich die Anzahl möglicher Zapfstellen/Geräte direkt proportional auf die Investitionskosten auswirkt.



Foto: © Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden, Deutschland
Abbildung 45: Elektro-Durchlauferhitzer im Wandel der Zeit

9.8 Anschluss an Nah- oder Fernwärme-Netze

Bei Nah- und Fernwärmesystemen erfolgt die Wärmeerzeugung extern, d. h. außerhalb des Gebäudes. Die Wärme wird über das Netz mittels eines Wärmeträgers (üblicherweise: Wasser) in die Gebäude transportiert. Die Differenzierung der Nah- und Fernwärme kann über die Länge der Versorgungsleitung, der Leistung oder auch der Betriebstemperaturen erfolgen, aber das Prinzip ist in allen Fällen dasselbe: Im Gebäude ist eine **Übergabestation** installiert, die mit extern erwärmtem Wasser versorgt wird.

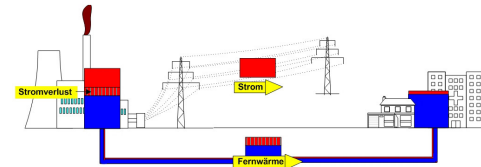
Die Systeme haben den **Vorteil**, dass nur zwei Leitungen in ein Gebäude geführt werden müssen und keine Brennstofflagerung oder Abgasleitungen nötig sind.

Der Anteil **regenerativ** erzeugter Wärme im Netz (erneuerbare Energieträger, Kraft-Wärme-Kopplung, Abwärme) kann sehr unterschiedlich sein und hängt von der Zusammenstellung der Energieträger und -erzeuger beim Anbieter/Energieversorger ab.

Der Anschluss an ein Nah-/Fernwärme bietet sich v. a. dann an, wenn ein entsprechendes Netz bereits existiert oder es wirtschaftlich ist für ein Ensemble ein neues Nahwärmenetz aufzubauen.

Aus archäologischen Stätten aus der Römerzeit weiß man, dass heißes Thermalwasser nicht nur für Badezwecke vor Ort verwendet wurde, sondern auch mittels Leitungen in Becken und Gebäude für Bodenheizungen transportiert wurde. Fernwärmeheizungen existieren also bereits seit mehr als 2000 Jahren. In Chaudes-Aigues, einem Dorf

im Süden des französischen Zentralmassivs, wurde 1332 das weltweit erste städtische Wärmenetz installiert. Das 82 °C heiße Thermalwasser leitete man mit hölzernen Wasserleitungsrohren in die Häuser. [45]



Quelle: Volker Sperlich, CC-BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 46: Thermodynamisches Prinzip der Fernwärme



Foto: Cschirp, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 47: Hausanschluss mit Fernwärme sowie Wasser, Telefon, Strom und Glasfaser per Mehrspartenanschluss.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Foto: Cjulien21, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Fallbeispiel: Ludwigsburg „Barockes Innenstadtquartier“

Durch das Projekt konnte angestoßen werden, dass in Bereichen der Ludwigsburger Barockstadt eine bauliche Erweiterung der **Fernwärmeleitungen** im Zuge von geplanten Erneuerungen des Straßenpflasters stattfindet. Die integrierte Planung des baulichen Prozesses wurde im Rahmen des Projekts zwischen dem Fachbereich Stadtplanung und Vermessung und den Stadtwerken bereits abgeschlossen und befindet sich nun in der Umsetzung. Die Stadtwerke haben sich zur finanziellen Vorleistung bereit erklärt. Zusätzlich wurde seitens der Stadtverwaltung eine Prämie von 5000 €/Gebäude für den Anschluss an die Fernwärmeleitung in einem ausgewählten Bereich des Projektgebiets zur Verfügung gestellt. Auch wurde eine Fernwärme-Bauftragte aus dem bestehenden Personal innerhalb der Stadtverwaltung eingesetzt.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Brück & Sohn Kunstverlag Meißen, Public Domain, via Wikimedia Commons

Fallbeispiel: Leisnig „Denkmalensemble Kirchplatz“ (ehemals „Block 11“)

Der Kirchplatz ist eines der zentralsten Bauareale der Stadt Leisnig. Die Struktur der Eigentümer und der Stand des baulichen und energetischen Zustands im Quartier ist sehr heterogen. Ziel des Modellvorhabens ist der **Aufbau eines Nahwärmenetzes**. Bei der Etablierung einer Nahwärmeversorgung sollte im Rahmen der Konzepterarbeitung eruiert werden, inwieweit aus der Eigentümergemeinschaft heraus ein unabhängiges Betreibermodell gebildet werden kann. Im Projekt konnten zahlreiche ökonomische Modelle untersucht und bewertet werden, aber auch sozio-ökonomische Aspekte wurde beleuchtet und behandelt (Beratung, Begleitung, Akzeptanz).

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Monheim „Nahwärmenetz“

Ziel des Projekts ist die Versorgung der wichtigsten kommunalen Einrichtungen mit Nahwärme unter Einsatz von erneuerbaren Energien. Dabei wird ein bestehendes Nahwärmenetz erweitert, d. h. die Versorgungsfläche (inkl. Leitungsnetz) vergrößert und erzeugerseitig zu einer Mehrkesselanlage ausgebaut, dabei kommen zu den bestehenden Erzeugern (Holz-Hackschnitzel, Öl-Spitzenlastkessel) neue dazu, d. h. Gas-Brennwert und -BHKW.

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Oederan „Nahwärmeinsel im Altstadtquartier“

Das Ziel des Modellvorhabens in Oederan war eine denkmalgerechte Sanierung und Umnutzung als Informationspunkt mit Büro- und Schulungsraum für öffentlichwirksame Veranstaltungen. In diesem Zuge wurden unterschiedliche Standorte für die erforderliche Anlagentechnik diskutiert und unter anderem ein Feststoffbrennkessel auf **Holzpelletbasis** sowie ein unterirdisches Pelletlager (siehe Bild) installiert.

9.9 Integration regenerativer Energieerzeugung

Die Montage von Anlagen zur Nutzung von regenerativen Energiequellen am Gebäude ist im Rahmen des Denkmalschutzes schwierig und wird kontrovers diskutiert. Dabei geht es primär um die Nutzung von Solarenergie (thermisch, elektrisch) sowie Geothermie, aber auch - in selteneren Fällen - um die Nutzung von Wind- und Wasserkraft (elektrisch).

Das Angebot von regenerativen Energien ist stark schwankend. Daher sollte bei der Planung immer der Einsatz eines Heizungs-Pufferspeichers mit berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 9.3).

9.9.1 Solarthermie

Bei der Solarthermie wird Wasser über **Sonnenkollektoren** erwärmt und im Pufferspeicher gespeichert. Grundsätzlich zu unterscheiden sind Trinkwarmwassersysteme und Systeme zur Unterstützung der Heizung. Bei beiden Systemen ist eine ausschließliche Nutzung der Solarenergie nicht möglich, sie dienen nur der Unterstützung/Vorwärmung und es ist **immer** ein weiteres Erzeugungssystem (z. B. Kessel) erforderlich.

Solare Trinkwarmwassersysteme sind deutlich effizienter als die solare Heizungsunterstützung, was v. a. daran liegt, dass das solare Angebot in der Heizzeit geringer ausfällt und daher durch den ganzjährig vorliegenden Warmwasserbedarf besser genutzt werden kann, also auch in der Zeit mit hoher Solareinstrahlung.

Die Nutzung von Solarthermie für die Trinkwassererwärmung bietet sich v. a. dann an, wenn ein signifikanter **Bedarf** vorliegt, also bei Wohngebäuden, Schwimmbädern und Hotels.

Die Kollektoren können auf dem Dach, an der Fassade oder aufgeständert auf dem Boden **montiert** werden. Bei der Aufdachmontage ist die Statik zu prüfen. Der Pufferspeicher sollte wegen der Wärmeverluste innerhalb der Gebäudehülle aufgestellt werden, in wenigen Situationen ist auch ein großer unterirdischer Saisonspeicher umsetzbar.

Nach dem Bauordnungsrecht der Länder sind solare Energieanlagen auf oder an Gebäuden **genehmigungsfrei**. Sie können nach Ortsrechten jedoch einer Genehmigungspflicht unterliegen. Denkmalrechtlich sind sie grundsätzlich genehmigungs-/erlaubnispflichtig.

Da die Kollektoren eine große Auswirkung auf das **Erscheinungsbild** des Daches oder der Fassade haben, ist eine Nutzung in Denkmälern oft nicht möglich. Alternativkonzepte wie Bodenaufstellung oder Nutzung der Nachbarbebauung könnten hierbei eine Lösung bieten. Neben der Wirkung auf die Fassade muss allerdings noch die **Leitungsführung** bedacht werden, da diese idealerweise durch das Gebäude geführt werden sollte. Existieren keine stillgelegten Kamine oder andere Schächte, müssen Durchbrüche in sämtlichen Geschossdecken erfolgen, was meist ebenfalls nicht genehmigungsfähig ist.

Die Anlagen werden üblicherweise in zwei Bauarten ausgeführt. Am weitesten verbreitet ist der **Flachkollektor**, bei dem der Absorber im Gehäuse angebracht ist, welches durch eine Platte abgedeckt ist, ggf. wird ein Vakuum hergestellt. Beim **Röhrenkollektor** sind die Absorber in mehreren einzelnen Glasröhren angebracht, meist unter Vakuum. Mit Röhrenkollektoren können höhere Temperaturen erzielt werden.

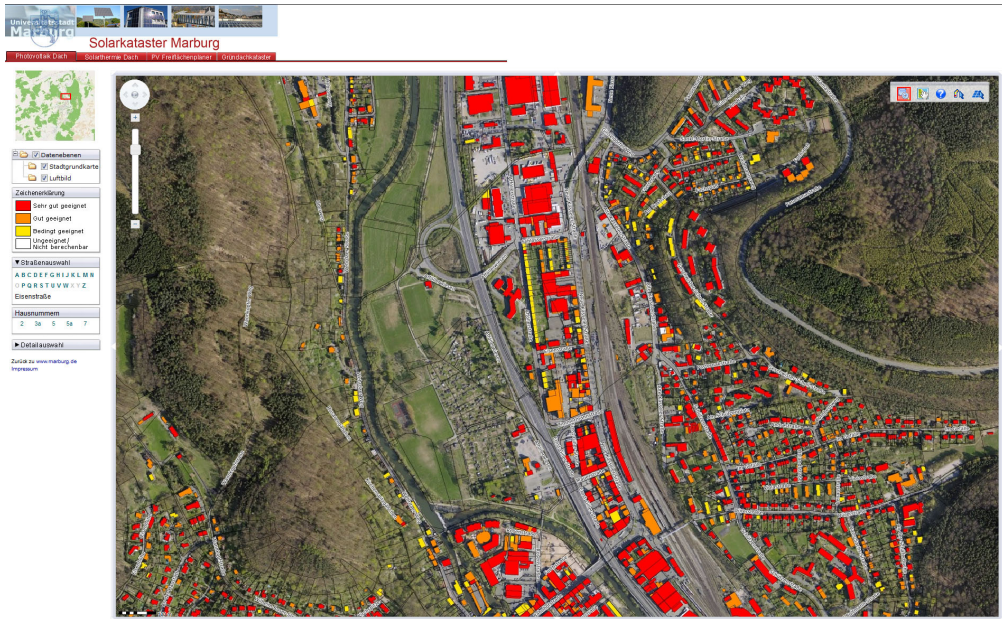
Beispiel für die **Dimensionierung**: für ein Trinkwarmwasser-System ist bei einem Einfamilienhaus (4 Personen, Flachkollektor) ein Kollektor von 5 bis 8 m² ausreichend, bei Heizungsunterstützung größer. Der Speicher sollte auf 200 bis 500 Liter ausgelegt sein.



Foto: Fraunhofer IBP, Gunnar Grün

Abbildung 48: Solarthermieanlage

Um die **Eignung** möglicher Flächen für die Nutzung von Solarenergie zu prüfen, werden im Internet Ertragsrechner angeboten, mit welchen je nach Randbedingungen (Nutzung, Art, Ausrichtung, Neigung) der Beitrag zur Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung oder Stromerzeugung abgeschätzt werden kann. Manche Gemeinden bieten auch Solarkataster an, bei denen in Karten die Eignung der Dach- und ggf. Freiflächen farblich markiert ist (Beispiel: Marburg [46]).



Quelle: Stadt Marburg

Abbildung 49: Internetseite Solarkataster der Stadt Marburg

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: Stadtprozelten „Altes Rathaus“

Ziel des Modellvorhabens in Plochingen war der Umbau und die energetische Sanierung des denkmalgeschützten Gebäudes Marktstr. 38 und die Errichtung einer gemeinsamen Wärmever-sorgung (**solarthermisch** unterstützte Brauchwasser- und Heizungsanlage) auf dem Neubau Marktstr. 36. Die Solaranlage wurde denkmalverträglich flächenbündig in der Dachhaut des Neubaus integriert.

9.9.2 Photovoltaik

Photovoltaik dient der **Stromerzeugung** durch die Sonne. Die Kollektoren können wie bei der Solarthermie auf dem Dach, an der Fassade oder frei auf dem Boden montiert werden. Bei der Aufdachmontage ist die Statik zu prüfen. Da Photovoltaik im Vergleich zur Solarthermie hauptsächlich **Direktstrahlung** benötigt, ist eine Anbringung an der Fassade meist mit zu starken Ertragseinbußen verbunden.



Foto: Fraunhofer IBP, Andrea Schneider
Abbildung 50: Photovoltaikanlagen auf dem Dach eines Bauernhauses

Was die Beeinträchtigung des **Erscheinungsbildes** betrifft, gilt dasselbe wie für die Solarthermie. Die Leitungsführung gestaltet sich in diesem Fall aber problemloser, da die Kabel nicht zwangsläufig durch das Gebäude geführt werden müssen.

Die Anbringung von Photovoltaik-Anlagen im Bestand und v. a. am Baudenkmal wird kontrovers diskutiert. Die ökonomischen Randbedingungen hängen stark von politischen Vorgaben ab, also den erzielbaren Einspeisevergütungen.

Gerade bei denkmalgeschützten Gebäuden bieten sich „Indachlösungen“ an, bei denen die Solarmodule mit der Dachfläche bündig abschließen. Es gibt auch Module am Markt, welche gestalterisch auf die jeweilige Dachfläche abgestimmt werden können (Farbe, Einfassungsrahmen).



Foto: Niteshift, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
Abbildung 51: Kirche in Müßelmow, Landkreis Ludwigslust-Parchim, Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland

Zu Flächeneignung, Ertragsabschätzung und Solarkatastern siehe Abschnitt 9.9.1.

9.9.3 Geothermie

Die Nutzung von (oberflächennaher) Geothermie erfolgt in der Regel über Wärmepumpensysteme. Siehe Abschnitt 9.7.1.

Im Rahmen des Denkmalschutzes kann die Nutzung von Erdwärme (Geothermie) problematisch sein, da der Schutz über das Gebäude hinaus auch den Boden (**Bodendenkmal**) mit einbeziehen kann.

9.9.4 Windkraft

Es existieren kleine und Kleinst-Windkraftanlagen zur Stromerzeugung, die auf dem Dach oder auf dem Boden (Grundstück) aufgestellt werden können und zur Versorgung von einzelnen Gebäuden oder Ensembles genutzt werden.

Die Aufdachmontage von Windkraftanlagen wird in den meisten Fällen nicht mit den Denkmalschutzauflagen zu vereinbaren sein. Darüber hinaus haben Kleinstwindkraftanlagen häufig eine lange und damit ungünstige Amortisationszeit.

9.9.5 Wasserkraft

Wasserkraftanlagen erfordern massive Eingriffe in Gewässer und sind daher nur von Interesse, wenn historische Anbindungen an Gewässer bereits existieren und aufgerüstet bzw. reaktiviert werden können. Im Zuge der Genehmigung sind über den Denkmalschutz hinaus auch zahlreiche weitere Behörden hinzu-zuziehen (z. B. Umweltämter).

9.9.6 Biomasse

Die Nutzung von Biomasse als regenerativer Energieträger wird hier nicht weiter beschrieben, siehe dazu Abschnitt 9.9.6 Biomassekessel (Pellet, Hackschnittel, Stückholz).

Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“



Quelle: Zuwendungsempfänger

Fallbeispiel: „Klostermühle Doberan“

Durch die Förderung des EKF-Programms konnten auf Grundlage bauhistorischer, konstruktiver und wassertechnischer/geologischer Untersuchungen Varianten für die Nutzung der am Kloster vorliegenden Wasserkraft – unter Bewahrung der historischen Nutzung als mittelalterliche Klostermühle der Zisterzienser – erarbeitet und realisiert werden.

10 Maßnahmen für Lüftungs- und Klimaanlage

Bei teilweise oder vollständigem Ersatz bestehender Lüftungs- oder Klimaanlage sind die **Energieeinsparpotentiale** in der Regel sehr hoch, da die meisten Komponenten alter Anlagen mit moderner Technik effizienter ausgeführt werden können. Das gilt sowohl für alle Bestandteile des Kanalnetzes (Kanäle, Volumenstromregler, Zu-/Abluftelemente) und des Lüftungsgeräts (Ventilatoren, Filter, Wärmerückgewinner) als auch für die Luftbehandlung (Heiz- und Kühlregister, Be- und Entfeuchtung) und die Komponenten der Kälteerzeugung.

Der Einsatz von **Lüftungsanlagen** bietet **Vorteile** bezüglich Energieeffizienz, thermischer Behaglichkeit, Hygiene (CO₂-Abfuhr, Luftschadstoffe) und Bauwerkserhaltung (Feuchteabfuhr). Der zusätzliche Strombedarf für die Ventilatoren wird dabei in der Regel durch eine Minderung der Lüftungswärmeverluste ausgeglichen.

Durch die Ventilatoren kann es bei mangelnder Planung oder Wartung zu akustischen **Problemen** kommen, andererseits kann der Schallschutz z. B. bei hoher Belastung durch Verkehrslärm verbessert werden, wenn die Fensteröffnungszeiten dadurch reduziert werden können. Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist v. a. die Nachrüstung von Kanalsystemen im Bestand kritisch zu sehen. Bei Einsatz in denkmalgeschützten Gebäuden ist der Eingriff in den Baukörper gegebenenfalls zu groß und dann nicht zu empfehlen.

Mehr noch als bei Heizungssystemen und der Trinkwassererwärmung gilt für die Raumluf- und Klimatechnik, dass die Planung der Sanierung des Gesamtsystems oder des Ersteinbaus zwingend das Einschalten eines Fachplaners erfordert. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle die mannigfaltigen möglichen Systemlösungen nicht detailliert beschrieben und auf die mit den Gegebenheiten des Gebäudes abzustimmende Fachplanung verwiesen. Für einzelne Maßnahmen zur Effizienzsteigerung am Kanalnetz und den Ventilatoren siehe Abschnitt 9.

Im Gebäudebestand, auch und gerade bei denkmalgeschützten Gebäuden, bei denen der Reduktion der Transmissionswärmeverluste enge Grenzen gesetzt werden, lassen sich durch Lüftungsanlagen gute Ergebnisse zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz erzielen, z. B. durch bedarfsgeführte Abluftanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung.

Im Zuge der Lüftungstechnischen Überarbeitung eines Gebäudes sollte zuvorderst die **Luftdichtheit** so weit wie möglich verbessert werden, um Lüftungswärmeverluste zu minimieren.

Insbesondere wenn die Transmissionswärmeverluste, durch z. B. besser gedämmte Außenwände, nicht entsprechend reduziert werden können, ist eine bauphysikalische Analyse der **Feuchtigkeitssituation** erforderlich: die im Gebäude anfallende Feuchte wird u. U. nicht mehr ausreichend abgelüftet und an kühlen Wandoberflächen kann sich eine erhöhte Feuchte und in der Folge mikrobieller Bewuchs bilden. Über Lüftungs- und/oder (Teil-)Klimaanlagen kann dieses Ablüften von feuchter Luft bzw. deren Trocknung kontrolliert erreicht werden. Um Lüftungswärmeverluste dabei zu minimieren sollte Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Die Wärmerückgewinnung aus der Abluft kann – wenn, wie im Denkmal vermutlich häufig, eine Ausführung als Kreuzstromanlage z. B. aus Platzgründen nicht möglich ist – mit Hilfe von Luft/Wasser-Wärmetauschern als sogenanntes Kreislaufverbundsystem realisiert werden.

Komponenten der Gebäudetechnik und Versorgungssysteme lassen sich bei entsprechender (intelligenter) Planung „denkmalverträglich“ einbauen bzw. integrieren. So können z. B. alte Schornsteine/Abgaskamine für oder als Abluftkanäle genutzt werden. In alte, erhaltenswerte Einzelfeuerstätten lassen sich moderne Wärmeabgabesysteme (Heizregister) und/oder „unsichtbare Abluftgitter“ einbauen.

11 Literaturverzeichnis

- [1] HASPEL, Jörg (Hrsg.): Leitbild Denkmalpflege : Zur Standortbestimmung der Denkmalpflege heute = Tarihi eserlerin bakımı ve korunması kılavuzu. Petersberg : Imhof, 2011
- [2] Wikipedia Baudenkmal. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Baudenkmal> – Überprüfungsdatum 2016-07-05
- [3] LEUSDEN, F. ; FREYMARK, H.: Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch. In: Gesundheitsingenieur 72 (1951), Nr. 16, S. 271–273
- [4] Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 77. Aufl., 2015/16. Buch und CD-ROM. München : Oldenbourg-Industrieverlag, 2013
- [5] HAYNER, Michael ; RUOFF, Jo ; THIEL, Dieter: Faustformel Gebäudetechnik : Für Architekten. 2. Aufl. München : Dt. Verl.-Anst, 2011
- [6] DIN 1946-6. 2009-05. Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung
- [7] CHARTA VON VENEDIG: Charta von Venedig 1964 : Abdruck der neuen Übersetzung ins Deutsche vom 14. April 1989 ; internationale Charta über die Konservierung und Restaurierung von Denkmälern und Ensembles (Denkmalbereiche). In: Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung (1989)
- [8] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (idF v. 24. 7. 2007, letzte Novellierung 18. 11. 2013, letzte Änderung 28. 10. 2015). In: Bundesgesetzblatt, Teil I 26.7.2007, S. 1519-1563, 21.11.2013, S. 3951-3990, 24.10.2015, S. 1790
- [9] Wikipedia Pelletheizung. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Pelletheizung> – Überprüfungsdatum 2016-01-22
- [10] HAUSER, G. ; MAAS, A. ; HÖTTGES, K.: Energieeinsparverordnung 2014. In: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 77. Aufl., 2015/16. Buch und CD-ROM. München : Oldenbourg-Industrieverlag, 2013, S. 656–690
- [11] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA. URL <http://www.bafa.de/bafa/de/> – Überprüfungsdatum 2016-01-29
- [12] Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW. URL <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/>. – Aktualisierungsdatum: 2016-01-29
- [13] Hessischer Förderkompass. URL <http://www.energieland.hessen.de/foerderkompass> – Überprüfungsdatum 2016-01-29
- [14] BBSR Modellvorhaben „Gebäudebestand (Energieeffizienz, Denkmalschutz)“. URL http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/Weitere/EKF/ekf_node.html. – Aktualisierungsdatum: 2016-01-29
- [15] Deutsche Stiftung Denkmalschutz. URL <http://www.denkmalschutz.de/ueber-uns/die-deutsche-stiftung-denkmalschutz/aufgaben-ziele/denkmal-foerderung/foerderung-erhalten.html> – Überprüfungsdatum 2016-01-29
- [16] Städtebauförderung. URL http://www.staedtebaufoerderung.info/StBauF/DE/Programm/StaedtebaulicherDenkmalschutz/Foerderung/foerderung_node.html;jsessionid=E947ACDFCC2D4854ECCFA79F35BBD315.live2051 – Überprüfungsdatum 2016-01-29
- [17] LANDESDENKMALAMT BERLIN: Leitfaden zur Erstellung von restauratorischen Dokumentationen in der Baudenkmalpflege. Stand 2016
- [18] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE: Anforderungen an Dokumentationen und Untersuchungsberichte in der Bau- und Kunstdenkmalpflege. Stand Februar 2013
- [19] EDELHÄUSER, Klaus-Jürgen: Baudenkmal und Energie. München, 2014
- [20] KÖNIG, N.: Der Einfluß von wärmereflektierenden Folien in Heizkörpernischen auf den Heizenergieverbrauch eines Hauses. In: IBP-Mitteilung 8 (1980), Nr. 58. URL <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-35037.html>
- [21] HOCHÉ-DONAUBAUER, Beatrix (Hrsg.): Standards der Baudenkmalpflege : [ABC]. 1. Aufl., Stand 11. Juni 2014. Wien : Bundesdenkmalamt, 2014
- [22] RIETSCHEL, Hermann (Hrsg.); FITZNER, Klaus (Hrsg.): Raumheiztechnik. 16., völlig überarb. und wesentlich erw. Aufl. Berlin : Springer, 2005 (VDI-/Buch] / Rietschel ; Bd. 3)
- [23] BUNDESVERBAND FLÄCHENHEIZUNGEN UND FLÄCHENKÜHLUNGEN E.V. (Hrsg.): Installation von Flächenheizungen und Flächenkühlungen bei der Modernisierung von bestehenden Gebäuden - Anforderungen und Hinweise : Richtlinie 10. Hagen, 2015 (Informationsdienst Flächenheizung + Kühlung)
- [24] WELLER, Bernhard ; FAHRION, Marc-Steffen ; JAKUBETZ, Sven: Denkmal und Energie. 1. Aufl. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2012 (Praxis)

- [25] KOBER, Raymond (Hrsg.); MÜLLER, Harald (Hrsg.): Luft- und Raumklimatechnik ganzheitlich geplant : Behaglichkeit und höchste Energieeffizienz. 1. Aufl. Karlsruhe : cci Dialog, 2013 (Anlagenkonzepte)
- [26] DVGW DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V.: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen ; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums ; : Technische Regel Arbeitsblatt W 551. Bonn : DVGW, 2004 (DVGW-Regelwerk)
- [27] VdZ, Hydraulischer Abgleich. URL <http://vdz-ev.de/aktuelles/projekte/hydraulischer-abgleich/> – Überprüfungsdatum 2016-02-04
- [28] STIFTUNG WARENTEST: Heizungsanlagen: Über 100 Euro Ersparnis pro Jahr. URL <https://www.test.de/Heizungsanlagen-Ueber-100-Euro-Ersparnis-pro-Jahr-1567473-0/> – Überprüfungsdatum 2016-03-01
- [29] SOLLER, Ulrich ; MUNKELT, Hartmut: Der Heizungsbauer : Planung und Berechnung von Warmwasserheizungsanlagen. 2. [aktualisierte und erg.] Aufl. Stuttgart : DVA, 1996
- [30] HARTMANN, Michael: Hydraulischer Abgleich von Einrohranlagen : Jörg Müller; Winfried Dreger. Berlin, 6/2007 (Moderne Gebäudetechnik Sonderdruck)
- [31] VDI 2055. Wärme- und Kälteschutz von betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der Technischen Gebäudeausrüstung
- [32] VDI 2087. 2006-12. Luftleitungssysteme - Bemessungsgrundlagen
- [33] RECKNAGEL, Hermann ; SCHRAMEK, Ernst-Rudolf ; SPRENGER, Eberhard: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik : Einschließl. Brauchwassererwärmung u. Kältetechnik. 74. Aufl. München : Oldenbourg Industrieverl., 2009
- [34] VDI 6022-1. 2011-07. Raumluftechnik, Raumlufqualität - Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln)
- [35] KOLARIK, Fred: Energieeffiziente Lüftungsanlagen in Betrieben. 1. Aufl. Stuttgart : Baden-Württemberg, Landesgewerbeamt, 2002 (Energie : Lüftung)
- [36] KERSCHBERGER, Alfred ; BRILLINGER, Martin ; BINDER, Markus: Energieeffizient sanieren : Mit innovativer Technik zum Niedrigenergiestandard. 1. Aufl. Berlin : Solarpraxis, 2007
- [37] VDI 2071. 1997-12. Wärmerückgewinnung in raumluftechnischen Anlagen
- [38] BEDNAR, Thomas (Hrsg.): Energieeffizienz am Baudenkmal : Richtlinie ; 1. Fassung - 17. März 2011. Wien, 2011
- [39] Hydraulischer-Abgleich.de. URL <http://www.hydraulischer-abgleich.de/> – Überprüfungsdatum 2017-02-28
- [40] JENS KNISSEL: Einsatzrandbedingungen Wärmeerzeuger : Vorlesung „Grundlagen der energieeffizienten Planens und Bauens“. Universität Kassel, 2014
- [41] BUNDESTAG: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (idF v. 7. 8. 2008, letzte Änderung 20. 10. 2015). In: Bundesgesetzblatt, Teil I 7.8.2008, S. 1658, 20.10.2015, S. 1722, 1732
- [42] KRIMMLING, Jörn (Hrsg.): Atlas Gebäudetechnik : Grundlagen, Konstruktionen, Details ; mit 174 Tabellen. 2., überarb. und erw. Aufl. Köln : Müller, 2014
- [43] SWEEKHORST, Rolf (Hrsg.): RWE Bau-Handbuch : [Praxiswissen für Ihr Bauprojekt ; mit EnEV 2014]. 15. Ausg. Frankfurt, Main : EW Medien und Kongresse GmbH, 2015
- [44] DIN V 4701-10. 2003-08. Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- [45] Wikipedia Fernwärme. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Fernw%C3%A4rme> – Überprüfungsdatum 2016-02-05
- [46] Solarkataster Marburg. URL <http://www.gpm-kom8.de/geoapp/solkataster/marburg3/> – Überprüfungsdatum 2016-01-29

[47] Abkürzungen

KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
AC	Asynchron(-motor)
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BW	Brennwert(-kessel)
DIN	Deutsche Institut für Normung e.V.
DSchG	Denkmalschutzgesetz
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
EC	elektronisch kommutierter (Motor)
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare Energien Wärme Gesetz
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
GLT	Gebäudeleittechnik
HEPA	Hochleistungs-Schwebstofffilter (high efficiency particulate air filter)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KVS	Kreislaufverbundsysteme
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LBO	Landesbauordnung
NT	Niedertemperatur(-kessel)
RLT	Raumluftechnik, Raumluftechnische Anlage
SFP	Spezifische Ventilatorleistung (specific fan power)
TÜV	Technischer Überwachungsverein
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VIP	Vakuumdämm-Paneele
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
WRG	Wärmerückgewinnung

