



Grundlegende Empfehlungen für Sanierung und Erneuerung von Heizungsanlagen

Hinweise und Empfehlungen für Hausbesitzer, Investoren sowie Fachplaner und Handwerk
Stand 01/2019

Dr.-Ing. Volker Kienzlen, KEA

Dr. Veit Bürger, Öko-Institut

Dr. Peter Schossig ISE

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff,
Hochschule Biberach

Dr.-Ing. Martin Pehnt, ifeu

Dr. Jan Steinbach, IREES GmbH, Fraunhofer ISI

Prof. Dr.-Ing. Konstantinos Stergiaropoulos, IGTE
Stuttgart

Prof. Dr.-Ing Anke Ostertag
Hochschule Heilbronn

1. Vorbemerkung

Laut dem aktuellen Klimaschutzplan der Bundesregierung soll bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht sein¹. Dazu sind nicht nur Gebäudehüllen umfassend zu dämmen, sondern auch die Heizungsanlagen weitestgehend auf CO₂-freie Energieträger umzustellen. Die heute eingebauten Wärmeerzeuger von Heizungsanlagen werden bis 2050 im Durchschnitt noch ein- bis zwei Mal ausgetauscht. Je früher die Umstellung auf CO₂-freie Energien erfolgt, desto größer ist der mit der Umstellung verbundene Klimaschutzbeitrag. Bislang herrscht jedoch bundesweit Zurückhaltung bei der Erneuerung und Sanierung von Heizungsanlagen. Das derzeit niedrige Energiepreisniveau führt sogar wieder zu einer Zunahme des Marktanteils von Ölheizungen in Bestandsgebäuden².

Angesichts der ambitionierten Klimaschutzziele im Gebäudebereich³ muss jedoch bereits heute die Installation neuer, mit fossilen Brennstoffen betriebener Heizkessel mit einem Fragezeichen versehen werden. Spätestens ab 2030 sollten nur noch in Ausnahmefällen fossil betriebene Heizkessel installiert werden. Sie sind langfristig nicht mit den verbindlich vereinbarten Zielen des Pariser Klimaschutzabkommens vereinbar.

Regelmäßig werden in der Fach- aber auch Publikumspresse neuentwickelte Produkte vorgestellt: Brennstoffzelle, Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Gas-Wärmepumpe und anderes scheinen die Heizungstechnik zu revolutionieren. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass einige der Technologien noch nicht marktreif sind, zudem sind die Klimaschutzwirkungen in der Praxis oft deutlich bescheidener als angekündigt.

Die Hausbesitzer werden hingegen mit Werbeversprechen konfrontiert: Jeder Hersteller, ob von Pelletheizungen, Wärmepumpen oder KWK-Anlagen, preist sein System naturgemäß als das grundsätzlich beste und wirtschaftlichste an.

In Beratungsgesprächen, beispielsweise des Landesprogramms Zukunft Altbau, ist auf Seiten der Kunden eine große Unsicherheit zu spüren. In der Publikumspresse wird der Eindruck vermittelt, überzeugende Konzepte für die Heizungserneuerung würden fehlen. Bei Energieberatern und Heizungsinstallateuren bestehen ebenfalls unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich des zu präferierenden Heizungssystems.

Welche robusten Empfehlungen für Sanierung oder Erneuerung von Heizungsanlagen in Bestandsgebäuden können mit Blick auf die Einhaltung der Klimaschutzziele gegeben werden? Welche wesentlichen Rahmenbedingungen gelten dabei für welche Technologie? Gibt es eine einheitliche Technologieempfehlung oder müssen individuelle Lösungen gefunden werden?

Prämisse der nachfolgenden Aussagen ist dabei das Ziel der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung bis zum Jahre 2050.

¹ Klimaschutzplan 2050 – klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, BMUB November 2016, S. 46 f

² [http:// https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Marktentwicklung_2008-2017_DE.jpg](http://https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Marktentwicklung_2008-2017_DE.jpg) abgerufen am 17.1.2019 2016 stieg der Anteil neu installierter Ölfeuerungen von insgesamt 9,9 auf 11,3 % - bei gleichzeitig steigender Zahl installierter Geräte.

³ <https://www.geb-info.de/article-741956-30001/klimaschutzplan-immobilienverbaende-streiken.html> abgerufen am 5.1.2018

2. Eine Heizungsanlage⁴ ist mehr als ein Heizkessel

Unabhängig von der Art des Energieträgers und Heizsystems gilt stets der Leitgedanke „Efficiency First“, und zwar sowohl in wirtschaftlicher als auch ökologischer Hinsicht. Deshalb werden zunächst Einflussfaktoren behandelt, die neben der Art der Wärmeerzeugung für die energetische Effizienz einer Heizungsanlage wesentlich sind.

Vielfach wird der Eindruck erweckt, dass die Effizienz einer Heizungsanlage alleine vom Wärmeerzeuger abhängt und mit der Wahl des „richtigen“ Wärmeerzeugers der vorliegende Wärmebedarf mit einem niedrigen Energieverbrauch und geringen Energiekosten gedeckt werden kann. Dabei wird übersehen, dass neben dem Wärmeerzeuger auch Art und Betriebsweise des Raumheizungssystems sowie der Trinkwarmwasserbereitung einen sehr großen Einfluss auf die Effizienz der Heizungsanlage als Ganzes haben. Grundlegende Fehler bei der Wärmeverteilung, Wärmeübergabe und Regelung der Anlage können den Energieverbrauch – unabhängig von der Art der Wärmeerzeugung - im Extremfall verdoppeln.

2.1 Auslegungstemperaturen von Heizflächen

Für die Effizienz von Heizungssystemen hat die Auslegung der Heizflächen eine große Bedeutung. Dies gilt bereits für konventionelle Wärmeerzeuger wie z. B. Brennwertkessel. Für deren erreichbaren Jahresnutzungsgrad spielt die Rücklauftemperatur von den Heizflächen zum Kessel eine entscheidende Rolle, da bei Abgastemperaturen über 55°C die Nutzung der Kondensationswärme und damit des Brennwerteffekts beim Brennstoff Erdgas nicht mehr möglich ist. Noch größer ist die Bedeutung niedriger Systemtemperaturen z. B. bei Wärmepumpen, bei denen für einen effizienten Betrieb die Vorlauftemperatur zu den Heizkörpern am kältesten Tag des Jahres (Auslegungstemperatur) 45°C möglichst nicht überschreiten sollte. Auch Wärmenetze profitieren von niedrigen Systemtemperaturen, insbesondere unter dem Aspekt, dass auch dort die Wärmeerzeugung künftig zunehmend aus regenerativen Energien erfolgen muss.

Werden also Heizflächen erneuert oder ersetzt, wird grundsätzlich eine Auslegung der Heizflächen auf höchstens 45/35°C (Vorlauf/Rücklauf) am kältesten Tag empfohlen (Auslegung nach VDI 6030). Dies erfordert natürlich größere Heizflächen als bei höheren Systemtemperaturen. Bei Kompaktheizkörpern oder Radiatoren führen so niedrige Vorlauftemperaturen allerdings bei ansonsten unveränderten Bestandsgebäuden zu einer außerordentlichen Vergrößerung der Heizflächen. Die Installation einer Fußbodenheizung ist somit prinzipiell besser geeignet. In einem Bestandsgebäude lässt sich der Neueinbau einer Fußbodenheizung kaum alleine mit der niedrigen Auslegungstemperatur rechtfertigen. Sobald jedoch ein Estrich in einem Bestandsgebäude erneuert wird, beispielsweise bei einer Totalsanierung, Umnutzung, um den Schallschutz zu verbessern oder um erdberührte Bauteile hinreichend zu dämmen, sollte diese Chance für den Einbau einer Fußbodenheizung genutzt werden. Der Nachteil einer Fußbodenheizung v. a. in sehr gut gedämmten Gebäuden mit hohem Fensterflächenanteil ist allerdings ihre hohe Speichermasse und damit eine schwierigere Regelbarkeit. Umgekehrt wird diese thermische Speichermasse zu einem Vorteil, wenn der Wärmeerzeuger stundenweise abgeschaltet werden soll. Alternativ zur Fußbodenheizung können auch Wandheizungen, in bestimmten Fällen auch De-

⁴ Heizungsanlage wird in diesem Beitrag als Oberbegriff für die gesamte Wärmeversorgungsanlage eines Gebäudes verwendet und umfasst neben dem Wärmeerzeuger die komplette Anlagentechnik sowohl für die Raumheizung als auch zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser.

ckenheizungen, mit ebenfalls sehr niedrigen Betriebstemperaturen eingesetzt werden, die aber Einschränkungen hinsichtlich der Möblierung und möglichen Befestigungen an der Wand (oder Decke) zur Folge haben. Je besser der Wärmeschutz des Gebäudes, umso kleiner können – bei gleicher Auslegungstemperatur – die Heizflächen werden. Umgekehrt lassen sich nach einer wärmetechnischen Sanierung der Gebäudehülle - also Dämmung von Fassade, Dach und Kellerdecke sowie Tausch der Fenster - vorhandene (große) Heizkörper mit niedrigeren Temperaturen betreiben. Perspektivisch können ventilatorunterstützte Konvektoren (Konventoren) an Bedeutung gewinnen, wenngleich Kosten und Geräuschentwicklung heute noch gegen den breiten Einsatz sprechen. Es lohnt sich also, die wärmetechnische Sanierung der Gebäudehülle und die Umstellung auf niedrige Systemtemperaturen des Heizsystems im Zusammenhang zu denken – als Gesamtpaket oder stufenweise im Rahmen eines Sanierungsfahrplans.

2.2 Anlagenhydraulik

Viele Heizungsanlagen sind hydraulisch nicht so abgeglichen, wie dies für einen effizienten Betrieb erforderlich ist^{5,6}. Nur ein hydraulischer Abgleich stellt einen bedarfsgerechten Wassermassenstrom sicher, der durch einen Heizkörper fließen muss, um die Heizlast des Raumes zu decken. Die oft nicht durchgeführte Einstellung des Wassermassenstroms führt in der Praxis oft zu einer ungleichmäßigen Beheizung der Räume (Über- bzw. Unterversorgung) sowie zu Geräuschbeeinträchtigungen durch Pfeifen der Ventile. Ein teilweise deutlich erhöhter Strombedarf der Umwälzpumpen ist eine regelmäßige Folge. Zudem wird mehr Energie zur Wärmeerzeugung aufgewandt, da im Wärmeerzeuger nicht die minimal mögliche Rücklauftemperatur ankommt. Bei fernwärmeversorgten Gebäuden führen hydraulisch nicht abgeglichene Systeme zu einem erhöhten Wassermassenstrom auf der Fernwärmeseite, der in der Regel beim Versorger eingekauft und zusätzlich bezahlt werden muss, sowie zu erhöhten Rücklauftemperaturen im vorgelagerten Netz, die wiederum mit höheren Wärmeverlusten einhergehen. Somit haben auch Wärmenetzbetreiber ein Interesse an hydraulisch gut abgegliehenen Systemen auf der Sekundärseite (Gebäudeseite).

Unabhängig von der Wahl des Energieträgers muss also sichergestellt werden, dass jeder Heizkörper

- während der erforderlichen Betriebszeit
- mit genau dem erforderlichen Wassermassenstrom
- mit genau der erforderlichen Temperatur versorgt wird.

Empfohlen wird daher, beim Austausch eines Wärmeerzeugers immer auch die Hydraulik des Heizverteilsystems durch den Installateur prüfen und ggf. abgleichen zu lassen. Dabei sollten auf jeden Fall folgende Arbeiten vorgenommen werden:

- Prüfen, ob voreinstellbare Thermostatventile eingebaut sind (veränderbarer K_v -Wert⁷). Falls dies nicht der Fall ist, sollten entsprechende Ventilunterteile eingebaut werden. Empfohlen wird der Einsatz von Ventilen mit integrierter Differenzdruckregelfunktion. Wesentlicher Vorteil ist, dass der Durchfluss auf unterschiedliche Betriebszustände im

⁵ <http://www.optimus-online.de/index02.html> abgerufen am 5.1.2018

⁶ http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_optimus.html abgerufen am 5.4.2018

⁷ Der K_v -Wert ist ein Maß für den maximalen Durchsatz durch ein Ventil (meist in m^3/h angegeben) bei einem Bar Druckdifferenz; er dient der Auswahl und Dimensionierung von Ventilen.

Netz angepasst wird. Da im Bestand das oft unter Putz verlegte Rohrnetz meist nicht korrekt berechnet werden kann, erleichtern diese Ventile den Abgleich.

- Die Voreinstellung der Thermostatventilunterteile muss dem tatsächlichen Massenstrombedarf der Heizkörper entsprechen. Der Wassermassenstrom, der je Heizkörper erforderlich ist, muss anhand der Normheizlast der einzelnen Räume berechnet werden und entsprechend der Ventilkennlinie der Herstellerunterlagen eingestellt werden. Die Einstellung der Ventile ist auf Plausibilität zu prüfen und vor Ort zu kontrollieren, ob die berechneten Werte auch tatsächlich eingestellt sind. Die Berechnung des Wassermassenstroms sollte dokumentiert und immer dann aktualisiert werden, wenn der bauliche Wärmeschutz (Dämmung, Fenstertausch, ...) des Gebäudes verbessert wird. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn sich durch einen verbesserten baulichen Wärmeschutz die Auslegungstemperaturen der Heizungsanlage reduzieren lassen.
- Darüber hinaus ist zu prüfen, ob eine Hocheffizienzpumpe (Effizienzklasse A) eingebaut ist. Sollte dies nicht der Fall sein, sollte die Pumpe getauscht werden. Der Einbau der Hocheffizienzpumpe wird sich regelmäßig innerhalb von weniger als 5 Jahren amortisieren. Der Austausch wird derzeit gefördert⁸. Auch bei Hocheffizienzpumpen ist darauf zu achten, dass diese nicht überdimensioniert wird und der kleinstmögliche Pumpentyp eingebaut wird.

Die Bedeutung des hydraulischen Abgleichs für die planmäßige Funktion und somit auch für den Energieverbrauch kann nicht oft genug betont werden. In vielen technisch anspruchsvollen Anlagen werden die prognostizierten niedrigen Energieverbräuche deswegen nicht erreicht, da im realen Betrieb nach Erfahrungen der KEA die Rücklauftemperaturen als Folge überhöhter Wassermassenströme weit über den Planwerten liegen.

2.3 Regelungstechnik

Die Regelung der Heizungsanlage soll sicherstellen, dass in jedem Raum während der erforderlichen Zeit die geforderte Raumtemperatur erreicht sowie ggf. Trinkwarmwasser mit der erforderlichen Temperatur in der benötigten Menge bereitgestellt wird. In vielen Gebäuden werden die Einstellmöglichkeiten, die die meisten Regelgeräte heute schon bieten, nur unzureichend genutzt. Würde dies umfassend geschehen, wäre bereits ein Großteil des Effizienzpotenzials von Steuerung und Regelung bereits erschlossen. Dies lässt sich durch langjährige Erfahrungen im Energiemanagement belegen. Ursachen sind unter anderem die fehlende Information über die Verbrauchsentwicklung und Nutzeroberflächen, bei denen das fehlende Fachwissen des Nutzers nicht bedacht ist. Zusätzliche Einsparungen durch Smart-Home-Systeme sind bei optimaler Einstellung konventioneller Regelungen sehr begrenzt, können jedoch eventuell dazu führen, dass sich der Nutzer mit der Heizungsregelung beschäftigt.

Neben den Thermostatventilen in jedem Raum muss eine zentrale, eventuell auch eine wohnungsweise Regelung eingesetzt werden, die die Vorlauftemperatur abhängig von der Außentemperatur und der Zeit verändert. Die zentrale Heizungssteuerung sollte mindestens ein vom Nutzer einfach einstellbares Wochenprogramm bieten, das Wochentage und Wochenende unterscheidet sowie die Möglichkeit bietet, mehrere Heizperioden im Tagesgang einzustellen. Außerhalb von Frostperioden sollte der Wärmeerzeuger und die Heizungsumwälzpumpen zeit-

⁸http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Heizungsoptimierung/heizungsoptimierung_node.html

weise komplett abgeschaltet werden. Zudem sollte die Regelung die Möglichkeit bieten, den Aufheizbeginn nach Absenkphasen abhängig von der Außentemperatur zu verändern.

Wichtig ist, dass die Regelung dem tatsächlichen Nutzerverhalten der Bewohner oder Nutzer angepasst wird und die Vorlauftemperaturen so niedrig wie möglich eingestellt sind. Weiterhin ist darauf zu achten, dass nur solche Regelgeräte eingebaut werden, die die Vorlauftemperatur anhand einer gekrümmten Heizkurve an die Außentemperatur anpassen und nicht, wie in manchen Geräten üblich, anhand einer Heizgerade. Da die Wärmeabgabe der Heizkörper durch Konvektion und Strahlung nicht linear ist, bereiten Regler mit linearer Charakteristik (Heizgerade) bei Außentemperaturen typischerweise zwischen 2 und 7° C Probleme.

Erfahrungen aus dem Energiemanagement öffentlicher Einrichtungen belegen Einsparpotentiale von zumindest 10 %, in Einzelfällen auch bis zu 30 % allein durch eine Anpassung der Regeleinstellungen an den tatsächlichen Bedarf. Hersteller bestätigen, dass viele Heizungsanlagen auch nach jahrelangem Betrieb noch mit den Werkseinstellungen angetroffen werden. (Beispiel: Liegenschaften, die am Wochenende nicht genutzt werden, werden durchgehend beheizt).

2.4 Funktionierende Heizflächen

Für einen sparsamen und effizienten Betrieb müssen Heizflächen vollständig durchströmt werden und in Kontakt mit der Raumluft stehen. Das bedeutet, dass Heizkörper vor allem in den obersten Etagen regelmäßig entlüftet werden müssen. Luft im Heizkörper verhindert die Wärmeabgabe. Heizflächen dürfen nicht durch Möbelstücke oder Vorhänge verdeckt sein, Teppiche auf Fußbodenheizungen bremsen die Wärmeabgabe an den Raum, erfordern also höhere Vorlauftemperaturen und verschlechtern damit die Effizienz des Wärmeerzeugers.

2.5 Dämmung von Rohrleitungen

Schon seit vielen Jahren ist die Dämmung von Rohrleitungen und Armaturen in unbeheizten Räumen gesetzliche Vorschrift. Insbesondere rund um den Wärmeerzeuger und an Armaturen wird diese Dämmung oft nicht oder nur lückenhaft installiert. Die lückenlose Dämmung von Heizungs- und Warmwasserverteilerleitungen zählt jedoch zu den wirtschaftlichsten Energiesparmaßnahmen. In unbeheizten Räumen empfiehlt sich eine gegenüber den Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) verdoppelte Dämmstoffstärke, da hierdurch mit minimalem Mehraufwand noch spürbar Energie eingespart werden kann (siehe Tabelle 1).

Temperatur des Mediums im Rohr	Wärmeverlust 30 mm Dämmung	Wärmeverlust 60 mm Dämmung	Reduzierung Wärmeverlust (Leistung)	Reduzierung Wärmeverlust (Energie) pro m Rohr für 5000 h/a
40 °C	4,4 W/m	3,2 W/m	1,2 W/m	6 kWh/m/a
60 °C	7,9 W/m	5,7 W/m	2,2 W/m	11 kWh/m/a
80 °C	11,5 W/m	8,3 W/m	3,2 W/m	16 kWh/m/a

Tabelle 1 Rechnerische Abschätzung der Wärmeverluste eines Kupferrohres mit 25 mm Innendurchmesser (ungestörte Dämmung), Dämmung WLG 0035, Umgebungstemperatur: 15°C

Quelle R. Koenigsdorff

Bei sehr gut gedämmten Gebäuden wird auch im beheizten Bereich die Dämmung der Heizleitungen empfohlen, weil dort die Wärmeabgabe nicht gedämmter Rohre über einen weiten Zeitraum (Teillast) den geringen Wärmebedarf einzelner Räume übersteigen kann.

2.6 Trinkwarmwasserbereitung

Je besser der bauliche Wärmeschutz eines Gebäudes ist, desto größer ist der Anteil der Trinkwarmwasserbereitung am gesamten Wärmebedarf des Gebäudes. Trinkwasserzirkulationsleitungen, die sicherstellen sollen, dass an jeder Zapfstelle ständig warmes Trinkwasser zur Verfügung steht, führen zu hohen Wärmeverlusten. Dauerhaft warme Trinkwasserleitungen im Temperaturbereich zwischen 20 und 55°C bergen gleichzeitig ein hygienisches Risiko. Sofern eine Trinkwasserzirkulation betrieben wird, ist die Dämmung besonders sorgfältig und hochwertig auszuführen, da diese Leitungen ganzjährig mit hoher Temperatur betrieben werden.

Aus Sicht der Energieeffizienz bei gleichzeitiger Einhaltung der hygienischen Anforderungen sollte also zumindest im Mehrfamilienhaus zentral im Gebäude nicht Trinkwasser sondern Heizungswasser gespeichert und das Trinkwasser dann in jeder Wohneinheit mit einem Wärmetauscher im Durchlauf erwärmt werden (sogenannte Frischwasserstationen). So können Zirkulationsleitungen vollständig vermieden werden. Dies setzt jedoch voraus, dass die Entfernung vom Wärmetauscher zur Zapfstelle möglichst kurz ist und weniger als 3 l Wasserinhalt aufweist. Dabei kann es sinnvoll sein, die letzten wenigen K Temperaturhub mit Hilfe eines elektronisch geregelten Durchlauferhitzers zu erzeugen.

2.7 Wartung und Instandhaltung

Auch eine korrekt geplante und installierte Heizungsanlage muss regelmäßig überprüft und gewartet werden. Nicht erkannte Fehlfunktionen einer Anlage oder beispielsweise die Verschmutzung von Wärmetauscherflächen können zu deutlichen Energiemehrverbräuchen führen. Dies gilt gleichermaßen für Wohn-, Büro- und Verwaltungsgebäude.

3. Wärmeerzeugungstechniken

3.1. Heutige Standardtechnologie: Brennwertkessel

Brennwertkessel, betrieben mit fossilen Brennstoffen, sind derzeit die Standardtechnologie mit Marktanteilen von rund 90 % an den Neuinstallationen⁹. Korrekte Auslegung, ein Einbau, der die o. g. Aspekte berücksichtigt und ein bedarfsgeregelter Betrieb sind leider jedoch nicht Standard. Obwohl die Brennwerttechnik Gaskesseln schon seit über 20 Jahren, bei Ölkesseln seit fünfzehn Jahren Stand der Technik ist, werden die möglichen Einsparungen gegenüber Standard- und Niedertemperaturkesseln nach der Installation aufgrund von falscher Auslegung, fehlendem hydraulischem Abgleich und falschen Betriebsparametern in der Realität oft nicht erreicht.

Erdgas ist ein vergleichsweise sauberer Energieträger, bei der Verbrennung werden nur wenige Luftschadstoffe emittiert. Die Emissionen an Treibhausgasen (THG) liegen deutlich niedriger als bei ölbefeuerten Kesseln (ca. 22 % brennstoff- und ca. 28 % systembezogen, da Erdgaskessel typischerweise höhere Jahresnutzungsgrade aufweisen). Die bereits mittelfristig erforderliche Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wird mit diesem Brennstoff allerdings kaum erreichbar sein. Auch ist zu bezweifeln, dass künftig genügend Gas aus erneuerbaren Energien (vgl. Kapitel 4) zur Verfügung stehen wird, so dass Brennwertkessel eher als Brückentechnologie anzusehen sind.

3.2. Blockheizkraftwerke (BHKW)

Durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme ermöglichen BHKW eine sehr effiziente Energienutzung (Kraft-Wärmekopplung – KWK). Mit steigender Stromkennzahl und damit steigendem Anteil der Stromerzeugung des BHKW nehmen die energetische Sinnhaftigkeit und der ökologische Vorteil des BHKW zu. Bei motorbetriebenen Anlagen nimmt die Stromkennzahl mit der Größe der Anlage zu. Gleichzeitig sinken die spezifischen Kosten von rund 2500 €/kW bei Anlagen kleiner 10 kW auf Werte unter 500 €/kW bei Anlagen größer 500 kW el.¹⁰ Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass kleine und kleinste BHKW-Systeme (Mikro-KWK) kritischer zu bewerten sind als größere Anlagen.

Aus einzelwirtschaftlicher Perspektive sollten BHKW also in Gebäuden mit einem ausreichend hohem Jahreswärmebedarf installiert werden. Größere öffentliche Liegenschaften sind neben großen Wohngebäuden und Industrieunternehmen besonders als Standorte für den Betrieb von KWK-Systemen geeignet. Derzeit sollte ein BHKW auf die Grundwärmelast ausgelegt werden, um eine möglichst hohe Laufzeit (Volllaststunden) im Jahr und damit auch um eine hohe Stromproduktion zu erreichen. Ein BHKW wird daher im Regelfall mit einem weiteren Wärmeerzeuger kombiniert (bivalente bzw. multivalente Wärmeerzeugung).

Da die Vergütung für eine Stromeinspeisung ins öffentliche Stromnetz meist geringer ist als der Strombezugspreis, empfiehlt es sich, dass ein möglichst hoher Anteil des erzeugten Stroms im Gebäude bzw. der Liegenschaft selbst genutzt wird (Eigenverbrauch). Ein wirtschaftlicher Betrieb ist somit insbesondere bei einer hohen Gleichzeitigkeit von Strom- und Wärmelast gegeben. Derzeit werden BHKW im Regelfall wärmegeführt betrieben, das heißt, das Aggregat wird

⁹ BDH 2017

¹⁰ <https://www.bhkw-infozentrum.de/download/asue-bhkw-kenndaten-0311.pdf> abgerufen am 10.4.2018

abhängig von der im Gebäude oder Wärmenetz auftretenden Wärmelast ein- und ausgeschaltet. Die Laufzeiten für einen ökologisch und wirtschaftlich sinnvollen Betrieb liegen dabei heute üblicherweise in der Größenordnung zwischen 4.500 und 5.000 Volllaststunden pro Jahr.

Sind solche KWK-Anlagen in ein Stromversorgungssystem integriert, das nur einen geringen Anteil erneuerbarer Energie aufweist, verdrängt die im Blockheizkraftwerk erzeugte elektrische Energie im gleichen Ausmaß Strom aus fossilen Großkraftwerken. Steigt aber langfristig der Anteil erneuerbarer Energien bei der Stromproduktion auf Werte um 80 % oder sogar mehr an, wie es in Deutschland geplant ist, dann nimmt der Vorteil von Erdgas-Blockheizkraftwerken bezüglich der Reduktion von Treibhausgasen Schritt für Schritt ab, da die sonstige Stromproduktion immer weniger mit CO₂ belastet ist.

Technisch wird der Markt von Verbrennungsmotoren dominiert, die mit Erdgas oder Biogas betrieben werden. Eine technische Alternative ist die Stirling-Maschine, die sich wegen hoher Kosten, niedriger elektrischer Wirkungsgrade und der schwierigen Handhabung des Arbeitsgases Helium bisher nicht durchgesetzt hat. Auch die Brennstoffzelle stellt letztlich eine KWK-Anlage dar. Hier erreichen einzelne Marktprodukte wie die SOFC (Solid oxid fuel cell) sehr hohe elektrische Wirkungsgrade von über 60%. Die meist verbreitete PEM-Zelle (proton exchange membrane fuel cell) erreicht jedoch bei Betrieb mit Erdgas lediglich knapp 40 % elektrischen Wirkungsgrad. Brennstoffzellen haben bisher im Heizungsmarkt bisher kaum Verbreitung gefunden, auch wenn derzeit attraktive Förderangebote bestehen¹¹.

Grundsätzlich kann auch Holz als erneuerbarer Energieträger für KWK-Systeme eingesetzt werden. Dabei haben sich einerseits ORC-Systeme bewährt, andererseits im Kraftwerksmaßstab auch herkömmliche Dampfturbinenprozesse. Motoren, die direkt mit Holzgas betrieben werden, haben sich am Markt bisher nicht durchgesetzt.

3.3. Holzpellets-, Holz hackschnitzel und Scheitholz kessel

Holzpellets und Holz hackschnitzel eignen sich als Energieträger sowohl für eine dezentrale Nutzung in Gebäuden, als auch zur Nutzung in Heiz(kraft)werken mit Wärmenetzen. Scheitholz kessel werden vorwiegend in größeren landwirtschaftlichen Liegenschaften genutzt. Die Verbrennung von Holz selbst ist bei nachhaltiger und regionaler Holzwirtschaft nahezu CO₂-neutral, so dass in der Treibhausgasbilanz im Wesentlichen die Vorketten (Herstellung und Transport) zu Buche schlagen. Das Treibhausgas-Minderungspotential erscheint daher in der Einzelfallbetrachtung hoch. Betrachtet man jedoch das Energiesystem als Ganzes, so ist festzustellen, dass die bundesweit verfügbaren Potentiale fester Biomasse bei weitem nicht ausreichen, um den Wärmebedarf selbst des energetisch sanierten Gebäudebestandes nachhaltig zu decken. Hinzu kommt die Notwendigkeit, die verfügbare feste Biomasse auch in anderen Sektoren einzusetzen (Verkehr, Stromerzeugung), was häufig eine effizientere und sinnvollere Energienutzung darstellt. Die Nutzung von fester Biomasse für Heizzwecke kann daher nur eine von mehreren Technologieoptionen bei der Umstellung auf eine erneuerbare Wärmeversorgung darstellen. Diese Überlegung gilt auch für andere, hier nicht im Detail diskutierte Formen von Biomasse.

In technischer Hinsicht ist neben dem Biomasseheizkessel noch ein geeigneter Lagerraum oder Silo für den Brennstoff erforderlich. Pellet- und Hackschnitzelkessel sind automatisch beschickte

¹¹ [https://www.kfw.de/partner/kfw-Partnerportal/Handwerksbetriebe/F%C3%B6rderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-\(433\)/index.jsp](https://www.kfw.de/partner/kfw-Partnerportal/Handwerksbetriebe/F%C3%B6rderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-(433)/index.jsp)

Systeme, bei denen der Brennstoff automatisch aus dem Lagerraum in den Kessel gefördert wird. Das Beschickungssystem verursacht höhere Investitionen als handbeschickte Scheitholzkessel. Aufgrund des Platzbedarfs für die Lagerung eignen sich dezentrale Biomasseheizungen weniger im dichtbesiedelten städtischen Gebieten. Typische Einsatzbereiche für Pelletheizung sind Ein- und Zweifamilienhäuser, sowie kleinere Mehrfamilienhäuser. Hackschnitzelkessel kommen typischerweise bei größeren Objekten im gewerblichen und kommunalen Bereich oder in Wärmenetzen zum Einsatz. Auch wenn Pelletfeuerungen weitestgehend automatisiert betrieben werden, bleibt der Betriebsaufwand beispielsweise für die Ascheentsorgung höher als bei einem Gaskessel. Zudem ist der Hilfsstrombedarf aufgrund der Brennstoffeinzugsystems und für die Zündung höher.

Warmwasserbedarf außerhalb der Heizperiode kann aufgrund der häufigen Starts bei Pelletskesseln erhebliche Stromverbräuche verursachen. Teillastbetrieb von Hackschnitzelkesseln ist problematisch. Eine technische Möglichkeit, um den stark intermittierenden Sommerbetrieb eines Biomassekessels zu vermeiden, ist die Kombination mit einer Solarthermieanlage. Zusätzlich zum Biomassekessel bringt die Solarthermieanlage mit Blick auf den Klimaschutz rein rechnerisch nur begrenzte Vorteile und ist wirtschaftlich nur schwer darzustellen. Allerdings emittieren Solaranlagen keinerlei Luftschadstoffe und vermeiden Flächenbedarf bei der Biomasseproduktion.

Bezüglich der Emission von Luftschadstoffen, insbesondere bei den Feinstaubemissionen, sind Pelletheizungen etwas ungünstiger als andere Energieträger. Dennoch sind ordentlich betriebene Pelletfeuerungen weitaus emissionsärmer als die weit verbreiteten Kamin- und Kachelöfen und somit für innerstädtische Feinstaubbelastungen ein untergeordnetes Problem. Kaminöfen sind auch aus energetischer Sicht eher problematisch zu bewerten. Häufig substituieren Kaminöfen keine fossil erzeugte Heizwärme sondern erhöhen lediglich den Wohnkomfort („Lustfeuer“).

Bei Anlagenleistungen über 1 MW wird anstelle eines Pelletskessels der Einsatz eines Holzhack-schnitzelkessels empfohlen. Hackschnitzelfeuerungen sollten grundsätzlich bivalent in Verbindung mit einem /Gas-) Spitzenlastkessel betrieben werden, da Holzkessel schlecht in Teillast unter 30 % betrieben werden können (s.o). Ab Leistungen von ca. 400 kW des Holzkessels lohnt sich der Mehraufwand für Abgasreinigung und Asche/Brennstofflogistik gegenüber einem Pelletskessel. Gerade für große Feuerungsleistungen ist die Kombination mit einer großen solarthermischen Anlage sinnvoll, die beispielsweise als Freiflächenanlage den sommerlichen Wärmebedarf vollständig abdeckt.

Nach Auffassung der Autoren sollte bei der Nutzung von Biomasse die Reststoffnutzung im Vordergrund stehen. Ein Biomasseanbau ausschließlich zur Verbrennung erscheint aus Gründen der Flächeneffizienz nicht sinnvoll. Ein Import von Biomasse ist grundsätzlich kritisch zu bewerten. Die stoffliche Nutzung von Holz hat Priorität gegenüber der energetischen.

3.4. Elektro-Wärmepumpen

Elektrisch betriebene Wärmepumpen nutzen als erneuerbare Energiequellen die im Erdboden (Sole/Wasser-Wärmepumpen), im Grundwasser (Wasser/Wasser-Wärmepumpen) oder in der Luft (Luft/Wasser- und Luft/Luft-Wärmepumpen) gespeicherte Energie, um den Raumwärme- und/oder den Warmwasserbedarf zu decken. Die erzeugte Wärmeenergiemenge beträgt dabei ein Mehrfaches der für den Antrieb benötigter Strommenge. Aufgrund des Energieträgermixes sind bei der heutigen Stromerzeugungsstruktur Wärmepumpen hinsichtlich der CO₂-Bilanz dann vorteilhaft, wenn ein Verhältnis von jährlicher Wärmeabgabe zu Stromaufnahme (Jahresarbeits-

zahl) von über 2,5 erreicht wird. Bei dem in den kommenden Jahren zu erwartenden weiter steigenden Anteil erneuerbarer Energien am Strommix wären bereits Anlagen mit einer noch niedrigeren Jahresarbeitszahl CO₂-sparender als mit Erdgas betriebene Brennwertgeräte. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist jedoch zu bedenken, dass der Strompreis derzeit vier Mal höher ist als der Preis fossiler Brennstoffe und daher weiterhin eine möglichst hohe Jahresarbeitszahl anzustreben ist. Der Gesetzgeber erlaubt deshalb in Baden-Württemberg eine Anrechnung von Wärmepumpen als Erneuerbare Energien nur dann, wenn eine Jahresarbeitszahl von 3,5 erreicht oder überschritten wird^{12,13}. Das gelingt gut, wenn der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke (Temperaturhub) nicht zu groß ist, d. h. zum einen die Temperatur der Wärmequelle nicht zu niedrig ist, zum anderen die Temperatur auf der Seite der Wärmeabgabe nicht zu hoch sein darf. Das bedeutet, dass das Gebäude über Niedertemperatur-Heizflächen und eine entsprechend abgestimmte Trinkwarmwasserbereitung verfügen sollte.

Als Wärmequellen sind Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren, Grundwasser sowie Fließgewässer geeignet, unter bestimmten Umständen auch Abwassersammler. Luft als Wärmequelle führt vor allem bei sehr kalten Außentemperaturen zu einem relativ hohen Stromverbrauch. Zu bedenken sind auch die Geräuschemissionen von Außenlufteinheiten, die insbesondere in dicht bebauten innerstädtischen Quartieren zu Problemen führen können. In der Praxis können Jahresarbeitszahlen zwischen 2,5 und in sehr günstigen Fällen 4,5 auch in der Bestandssanierung erreicht werden. In der nachfolgenden Abbildung 1 sind die Messergebnisse einer großen Anzahl von Anlagen zusammengefasst. Eine der Ursachen für die Breite der jeweiligen Balken ist die Auslegungstemperatur der Heizflächen. Erkennbar ist ein Trend zu besseren Ergebnissen bei jüngeren Anlagen.

¹² Gutachten Von Prof. Dr. Koenigsdorff zum EWärmeG Baden-Württemberg

¹³ <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/neubau-und-gebaeudesanierung/erneuerbare-waerme-gesetz-2015/> abgerufen am 10.4.2018

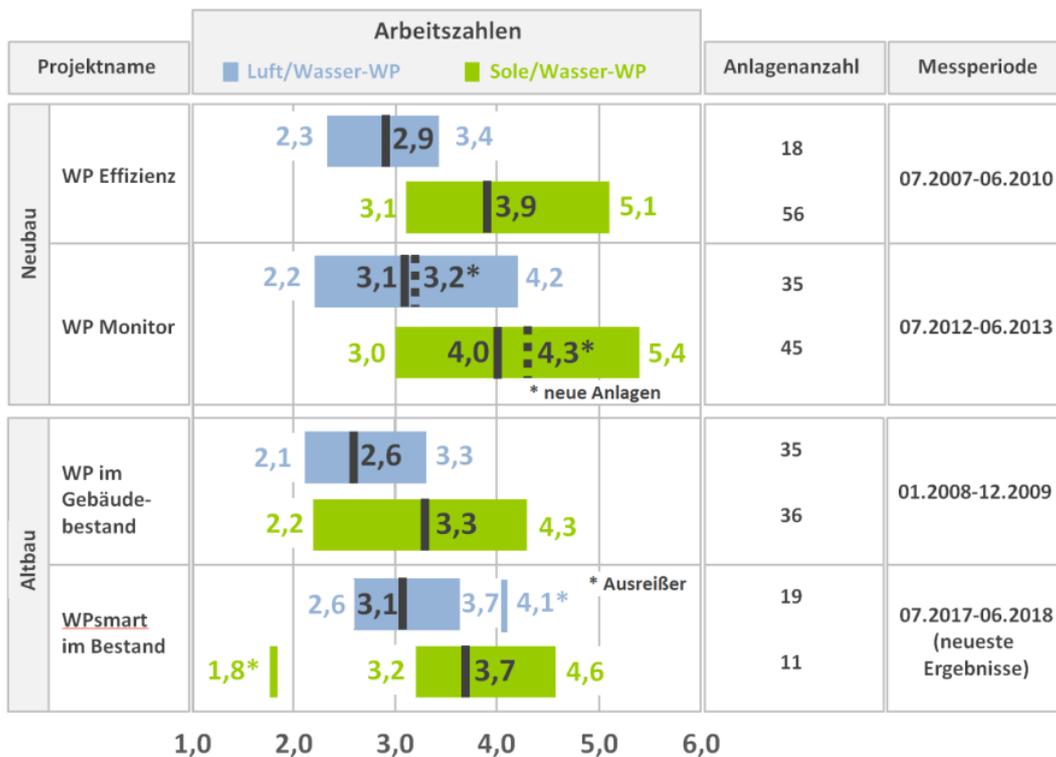


Abbildung 1 Gemessene Arbeitszahlen von Wärmepumpensystemen aus verschiedenen Messprogrammen in Alt- und Neubau, Quelle: ISE

Zur Verbesserung der Jahresarbeitszahl von Luft-Wasser-Wärmepumpen ist insbesondere bei Bestandsgebäuden eine Kombination mit einem fossilem Spitzenlastkessel denkbar (bivalent-alternativer Betrieb), bei der die Wärmepumpe nur bei günstigen Temperaturverhältnissen betrieben wird. Bezüglich der lokalen Luftschadstoffe ist die Elektro-Wärmepumpe emissionsfrei, großräumig entstehen aber natürlich die durch den bundesdeutschen Kraftwerkspark bedingten Emissionen.

Bei den Wärmepumpenlösungen spielen die Kosten für die Erschließung der Wärmequelle eine wesentliche Rolle. Lässt sich eine geeignete Wärmequelle günstig erschließen (beispielsweise Grundwasser, Oberflächenwasser oder Abwasser bei entsprechend großen Anlagen), stellt sich die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenlösungen günstiger dar. Zu berücksichtigen sind allerdings die hier teilweise aufwendigen Abstimmungs- und Genehmigungsprozesse. Außenluftwärmepumpen sind in der Erschließung der Wärmequelle am günstigsten, haben aber aufgrund der normalerweise niedrigeren Jahresarbeitszahl höhere Betriebskosten.

Da sich Wärmepumpen und Kältemaschinen lediglich in der Nutzung unterscheiden (Wärmeabgabe bzw. Wärmeaufnahme als Zweck), kann mit Wärmepumpensystemen grundsätzlich auch gekühlt werden. Liegt neben dem Wärmebedarf auch ein Kältebedarf vor, sind Wärmepumpen besonders vorteilhaft. Wird Erdreich oder Grundwasser als Wärmequelle für die Heizungswärmepumpe verwendet, kann eine sommerliche Kühlung häufig auch direkt über einen Wärmetauscher, ohne den Betrieb der Wärmepumpe als Kältemaschine, erfolgen, wodurch lediglich Strom für die beteiligten Umwälzpumpen benötigt wird.

Eine sorgfältige Planung, Ausführung und Betriebsoptimierung sowie geeignete Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind bei Wärmepumpen besonders wichtig. Ein ausreichend dimensionierter Speicher oder ein Flächenheizungssystem können dazu beitragen, den Strombezug des Gebäudes netzdienlich zu gestalten. Dies gilt insbesondere dann, wenn mit Hilfe einer am Gebäude

installierten Photovoltaikanlage ein Teil des für den Betrieb der Wärmepumpe benötigten Stroms lokal erzeugt werden soll. Der Wärmespeicher kann zur Erhöhung des solaren Deckungsgrades genutzt werden und die Wärmepumpe in den Nachtstunden abgeschaltet werden. Die Notwendigkeit eines Wärmespeichers und die zu erwartenden Verluste sind im Einzelfall zu prüfen.

Sofern in Bestandsgebäuden Heizungsvorlauftemperaturen von unter 50°C erreicht werden können, sind inzwischen auch dort Wärmepumpen eine bedenkenswerte Heizenergiequelle.

3.5. Gaswärmepumpen

Gasbetriebene Wärmepumpen können auch bei höheren Vorlauftemperaturen relativ effizient arbeiten. Sie können monovalent ausgelegt oder in Kombination mit einem Spitzenlastkessel betrieben werden. Grundsätzlich ist zwischen gasmotorbetriebenen Kompressions-Wärmepumpen und gasbefeuerten Sorptions-Wärmepumpen zu unterscheiden.

Während bei der Kompressions-Wärmepumpe ein mechanischer Kompressor zum Einsatz kommt, findet bei der Sorptions-Wärmepumpe die Verdichtung auf thermischem Wege über Sorptions- und Desorptionsprozesse statt. Bei der Sorptions-Wärmepumpe wird lediglich für den Lösungsmittelkreislauf noch eine kleine elektrische Pumpe benötigt, deren Stromverbrauch jedoch weit unterhalb des Kompressors einer Elektro-Wärmepumpen liegt. Je nach Art des Adsorbens wird bei den Sorptionsanlagen noch weiter zwischen Absorptions- und Adsorptions-Wärmepumpen unterschieden: Bei der Absorptionstechnik wird das verdampfte Kältemittel in einer Lösung (z.B. Ammoniak/Wasser oder Wasser/Lithiumbromid) absorbiert, bei der Adsorptionstechnik an der Oberfläche eines Feststoffes (z.B. Zeolithe, Silikagel, Aktivkohle) angelagert¹⁴. Der Wirkungsgrad von Gasmotor-Wärmepumpen liegt tendenziell bis zu 10 % höher als der von Absorptions-Wärmepumpen, es können bei heutigen Gasmotor-WP bestenfalls Jahresheizzahlen bis etwa 1,6 erreicht werden. Aus einer kWh Gas können also bis zu 1,6 kWh Wärme erzeugt werden.

Wie Erdgas-BHKW können auch Gaswärmepumpen langfristig mit erneuerbarem Methan (Biogas, PtG) betrieben werden, was ihre THG-Bilanz weiter verbessert.

3.6. Solarthermische Anlagen

Solarenergie ist neben Umweltwärme die einzige erneuerbare Energieform, die unmittelbar auf dem jeweiligen Grundstück¹⁵ in sinnvoller Menge genutzt werden kann. In den vergangenen Jahren lag der Fokus der Solarenergienutzung stark auf Photovoltaik, jedoch hat auch die unmittelbare thermische Nutzung der Solarstrahlung weiterhin ihre Berechtigung.

Grundsätzlich sollte bei Gebäuden jede energetisch sinnvoll nutzbare Dachfläche zur Energieerzeugung vor Ort herangezogen werden. Insbesondere, wenn das Dach eine steile Neigung zulässt und Trinkwarmwasserbedarf besteht, bietet sich eine solarthermische Anlage an. Eventuell kann die verfügbare Gebäudehüllfläche so genutzt werden, dass ein PV-System mit einem Anstellwinkel von 30° (optimiert hinsichtlich des Jahresertrages) errichtet wird und daneben eine thermische Anlage mit steilerem Anstellwinkel von 50° bis 70°, der einen gleichmäßigen Ertrag

¹⁴ ifeu/WI, „Mini-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe“, 2008

¹⁵ Dies gilt zumindest für übliche Grundstücke innerhalb von Städten und Gemeinden

über das Jahr ermöglicht. Durch eine steilere Aufstellung wird gleichzeitig die Problematik der sommerlichen Überhitzung im Solarkollektor deutlich reduziert.

Da der flächenspezifische Ertrag an Endenergie bei solarthermischen Anlagen etwa um den Faktor drei höher ist als bei PV-Systemen, kann von der beschränkten Gebäudehüllfläche ein höherer Anteil des Wärmebedarfs gedeckt werden (sofern keine Wärmepumpe vorhanden ist).

Solarthermische Anlagen als ergänzendes System sind dort sinnvoll, wo ein relevanter sommerlicher Wärmebedarf gegeben ist, also in der Regel für die Warmwasserbereitung. Einen nennenswerten Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs könnten sie nur in Verbindung mit Flächenheizungen oder entsprechend groß dimensionierten (im Idealfall saisonalen) Speichern liefern. Für die Versorgung von Einzelobjekten ist dies heute jedoch in der Regel nicht wirtschaftlich.

Derzeit erlebt der Hybridkollektor, also ein System, das ein PV-Modul mit einem thermischen Kollektor koppelt, eine gewisse Renaissance. Insbesondere in Verbindung mit einer Wärmepumpe könnte der Hybridkollektor eine interessante Alternative zu Außenluftsystemen sein.

3.7. Anschluss an ein Wärmenetz

Liegt ein Wärmenetz bereits in der Straße, so ist der Anschluss daran sehr oft die langfristig wirtschaftlichste Option. Häufig wird die Wärme in Wärmenetzen in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), aus Abwärme oder aus erneuerbaren Energien erzeugt und ist damit grundsätzlich eine ökologisch sinnvolle Option. Jeder zusätzliche Anschluss an ein bestehendes Wärmenetz verbessert die Effizienz des Gesamtsystems. Nah- bzw. Fernwärme erlaubt als Baustein des kommunalen Klimaschutzes den wirtschaftlichen Einsatz und künftigen Ausbau von erneuerbaren Energien aller Art. Der Aufbau von Wärmenetzen setzt jedoch unter anderem eine ausreichend hohe Wärmedichte voraus, wie sie typischerweise in innerstädtischen Quartieren vorhanden ist.

Der heute noch verbreitete Einsatz von Kohle in großen Fernwärmesystemen ist als problematisch zu bewerten. Viele Betreiber solcher Systeme prüfen jedoch alternative Formen der Wärmebereitstellung, um auch diese Netze langfristig zu dekarbonisieren.

Die Sinnhaftigkeit von Wärmenetzen wurde bereits ausführlich diskutiert¹⁶. Selbstverständlich sind auch beim Anschluss an die Fern- bzw. Nahwärme das Heizungssystem hydraulisch abzugleichen und Hocheffizienzpumpen einzusetzen, um die Liegenschaft mit einer möglichst geringen Anschlussleistung beheizen zu können und zu einer Absenkung der Rücklauftemperatur im Wärmenetz beizutragen. Manche Versorger bieten einen (eventuell leistungspreisfreien) Anschluss an den Rücklauf des Wärmenetzes.

Ein Wärmenetz ist zunächst ein Infrastrukturelement analog zur Wasser- oder Abwasserversorgung und keine Form der Energieerzeugung. Wärmenetze erlauben allerdings sehr flexibel den Einsatz unterschiedlicher Erzeugungstechnologien und erneuerbaren Energieformen.

Aufgrund der immer vorhandenen Netzverluste sind Wärmenetze nur bei ausreichend dichter Bebauung sinnvoll. Wärmenetze sind dort langfristig zu empfehlen, wo der Gebäudebestand sich nur eingeschränkt energetisch verbessern lässt. Dies trifft jedoch auf die meisten Ortszentren und Mehrfamilienhausquartiere zu. Umgekehrt sind Wärmenetze mit den bislang typischen Vorlauftemperaturen von ca. 80°C für neue Einfamilienhausquartiere in der Regel nicht sinnvoll.

¹⁶ V. Kienzlen et al.: Die Bedeutung von Wärmenetzen für die Energiewende ET (Energiewirtschaftliche Tagesfragen) 11/2014

Dort können Niedertemperaturnetze oder sogenannten kalte Nahwärme eine Option darstellen.

4. Zukunftsperspektiven

Die Diskussion über den technologisch und wirtschaftlich besten Pfad der Transformation des Energiesystems ist derzeit in vollem Gange, der Begriff der Sektorkopplung (also die Integration von Stromerzeugung, Wärmebereitstellung und Mobilität) hat dabei eine besondere Bedeutung gewonnen^{17 18}.

Mit Blick auf die notwendige Dekarbonisierung des Energiesystems bis 2050 ist festzuhalten, dass angesichts einer realen Nutzungsdauer von Heizkesseln von 20 bis 30 Jahren der Einbau neuer, mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizkesseln ab etwa 2025, spätestens jedoch 2030 nicht mehr vertretbar ist.

4.1. Synthetische Gase

Auch der Einsatz von Biomethan oder (künftig) „Windgas“ aus Power-to-Gas-Systemen (PtG) ändert daran nichts Grundlegendes:

- Biomethan weist – je nach Art der Erzeugung – Emissionsfaktoren von immer noch etwa 50 % von fossilem Erdgas auf, in ungünstigen Fällen, bedingt durch Düngemittelproduktion, Landmaschinen und durch die vom Landbau verursachten Lachgas (N₂O)-Emissionen, sogar noch mehr. Der Anbau der Energiepflanzen ist zudem sehr flächenintensiv.
- Bei PtG ist der Wirkungsgrad der Umwandlungskette mit etwa 50 - 70 % nur mäßig. Interessant ist jedoch die chemische Speicherung von momentan nicht nutzbaren Strommengen aus erneuerbaren Energien. Dies nimmt mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Stromerzeugung an Bedeutung zu, auch wenn selbst im Jahr 2050 in Deutschland max. 4000 h pro Jahr solche Überschussmengen nutzbar sind¹⁹. Ein weiteres denkbare Geschäftsmodell ist die Produktion synthetischer Energieträger in den Regionen der Erde, in denen deutlich günstigerer Solarstrom oder Strom aus Windenergie erzeugt werden kann als in Mitteleuropa.

Ob und wann derartige Sekundärenergieträger in großem Umfang mit vertretbaren Preisen verfügbar sein werden, ist derzeit nicht absehbar. Selbst dann ist es geboten, auch diese erneuerbaren Brennstoffe hocheffizient und bevorzugt in KWK-Anlagen (in einer der Stromversorgung dienlichen Betriebsweise) bzw. im Verkehrssektor einzusetzen. Die Verwendung in reinen Heiz-

¹⁷ Volker Quaschnig Sektorkopplung durch die Energiewende HTW Berlin 20.6.2016

¹⁸ Wietschel, M.; Plötz, P.; Pfluger, B.; Klobasa, M.; Eßer, A.; Haendel, M.; Müller-Kirchenbauer, J.; Kochems, J.; Hermann, L.; Grosse, B.; Nacken, L.; Küster, M.; Pacem, J.; Naumann, D.; Kost, C.; Kohrs, R.; Fahl, U.; Schäfer-Stradowsky, S.; Timmermann, D.; Albert, D. (2018): Sektorkopplung– Definition, Chancen und Herausforderungen. Fraunhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation No. S 01/2018, Karlsruhe.

¹⁹ Vortrag von Prof. Kai Hufendiek, IER Stuttgart

anlagen sollte auf Ausnahmefälle bzw. in bivalenten Anlagen auf die Bereitstellung von Spitzenlast beschränkt werden.

4.2. Wärmepumpen gewinnen an Bedeutung

Der weitere Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung führt dazu, dass die spezifischen Treibhausgas-Emissionen pro kWh Strom immer weiter sinken, was für einen verstärkten Einsatz von Elektro-Wärmepumpen zu Heizzwecken spricht. Andererseits wird dies, zusammen mit dem erwarteten Ausbau der Elektromobilität, zwangsläufig zu einem spürbaren Anstieg des Stromverbrauchs in Deutschland führen. Außerdem wird dies die Temperatursensitivität des bundesdeutschen Stromverbrauchs erhöhen, wenn zunehmend Strom – wenn auch indirekt über Wärmepumpen – für Heizzwecke eingesetzt wird, da mit einer hohen Gleichzeitigkeit im Wärmepumpenbetrieb zu rechnen ist. Zusätzliche Kraftwerksleistung muss also für kalte Wintertage für den Betrieb von Wärmepumpen vorgehalten werden²⁰. Deshalb wird es auch in Zukunft unabdingbar sein, möglichst effiziente Wärmepumpenanlagen einzusetzen, da Strom – auch erneuerbar erzeugter – zumindest zeitweise ein wertvoller und knapper Energieträger sein wird. Die folgende Grafik zeigt die spezifischen THG-Emissionen pro kWh Nutzwärme als Funktion der Jahresarbeitszahl für den heutigen Kraftwerkspark sowie den Strommix 2030 auf Basis der in GEMIS 4.95 dargestellten Szenarien für die Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks.

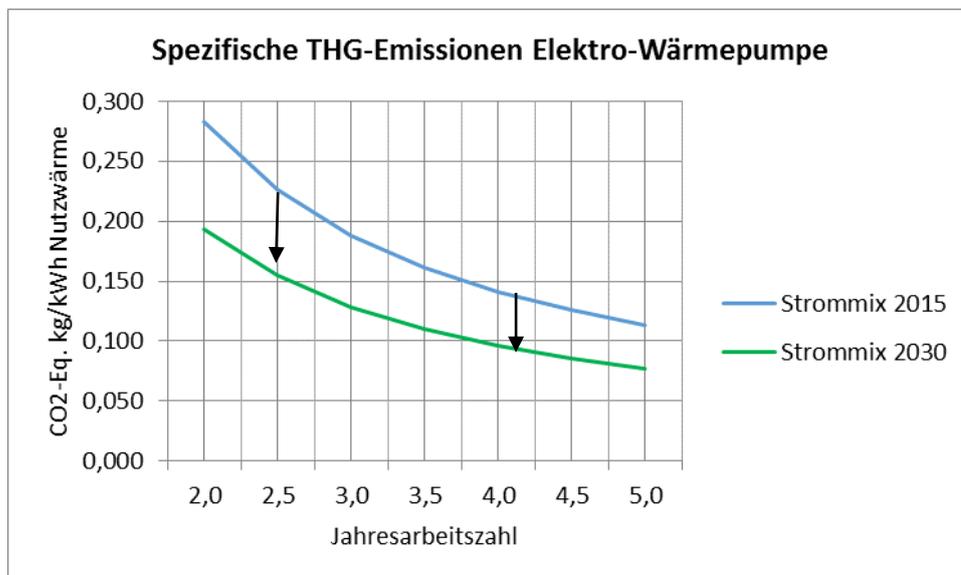


Abbildung 2 Abhängigkeit der Treibhausgasemissionen eines Wärmepumpen-Heizsystems 2015 und 2030 (eigene Darstellung, Emissionsfaktoren GEMIS 4.95)

Da Wärmepumpen bei niedrigen Quellentemperaturen immer ineffizienter werden, haben insbesondere bei Außenluft-Wärmepumpen Hybridsysteme und bivalente Systeme eine Berechtigung. So können 80 bis 90 % der Jahresarbeit mit hoher Effizienz von der Wärmepumpe bereitgestellt werden, während bei extrem tiefen Quellentemperaturen oder einem Engpass bei der Stromerzeugung die Leistungsspitze mit einem herkömmlichen Brenner erzeugt wird. So entlasten bivalente Heizsysteme das Stromnetz. Erdgekoppelte Wärmepumpensysteme bieten den

²⁰ Die negativen Auswirkungen einer starken Durchdringung von elektrisch betriebenen Heizsystemen sind heute schon in Frankreich zu beobachten. In der Heizzeit steigt die Last im französischen Stromnetz mit jedem Kelvin sinkender Außentemperatur um 2400 MW an.

Vorteil im Laufe des Jahres konstanterer Wärmequellentemperaturen. Der Strombedarf steigt daher bei niedrigen Außentemperaturen deutlich weniger stark an als bei LWWP.

4.3. KWK erzeugt langfristig Residuallast

Mit Blick auf die Zeit nach 2030 ist fossile Kraft-Wärme-Kopplung nur auf Basis CO₂-armer Brennstoffe, also Erdgas, klimapolitisch sinnvoll. Die zukünftige Bedeutung der Kraft-Wärme-Kopplung wird darin bestehen, flexible Kapazitäten für das Stromnetz bereitzustellen, während die gleichzeitig erzeugte Wärme in Verbindung mit Speichern zur Wärmeversorgung über Wärmenetze genutzt wird. Der Vorteil von Wärmenetzen ist hierbei deren größere Flexibilität hinsichtlich der Einbindung von verschiedenen Energiequellen und Techniken sowie hinsichtlich der Speicherkonzepte.

BHKW haben auf dieser Basis auch langfristig eine wichtige Rolle im Energiesystem. Mit zunehmendem Anteil fluktuierender Stromerzeugung aus Sonne und Wind verliert der wärmegeführte Betrieb von Blockheizkraftwerken allerdings immer mehr seinen Sinn. Im Laufe der Energiewende wird eine Schwelle erreicht werden, ab der es vorteilhafter ist, die Blockheizkraftwerke in Abhängigkeit des Bedarfs im Stromnetz zu betreiben.

Beim Übergang auf einen flexiblen Betrieb ist es notwendig, die Kapazität des thermischen Pufferspeichers deutlich zu erhöhen, so dass er mindestens einen Tagesbedarf an Wärme aufnehmen kann. Gleichzeitig sollte die elektrische Leistung des BHKW um den Faktor zwei bis drei erhöht werden, was die mögliche Systemdienstleistung für das Stromnetz verbessert. Trotzdem wird die über Kraft-Wärme-Kopplung jährlich erzeugte Wärmemenge aufgrund der starken Abnahme der Laufzeiten tendenziell sinken. BHKW werden also mittelfristig nicht primär zur Senkung der CO₂-Emissionen eingesetzt sondern sind ein wichtiger Beitrag zur Versorgungssicherheit, da sie in der winterlichen „Dunkelflaute“ Residuallasten decken können. |

Daher ist eine Förderung von CO₂-armer KWK für die nächsten ein bis zwei Dekaden sinnvoll. Perspektivisch können BHKW auch mit synthetischem Methan betrieben werden.

Die KWK kann darüber hinaus ein Mittel sein, die über Wärmenetze erschlossene Wärmenachfrage zu sichern, die für eine zukünftige regenerative Wärmeversorgung erhalten werden soll. Transformationsstrategien sollten also entwickelt werden, bevor eine neue KWK-Anlage installiert wird.

4.4. Energetische Nutzung von Biomasse ist unklar

Biomasse und daraus erzeugte Sekundärenergieträger werden aus heutiger Sicht wahrscheinlich nur in sehr geringem bis mäßigen Umfang zur Erzeugung von Heizwärme eingesetzt werden. Ihr Einsatzgebiet dürfte vor allem in anderen Sektoren liegen. Voraussichtlich werden vor allem solche Reststoffe zur Wärmeversorgung zur Verfügung stehen, die sich nur schwer einer höherwertigeren Nutzung zuführen lassen.

5. Fazit

Für die Erneuerung oder Sanierung einer Heizungsanlage im Gebäudebestand lässt sich keine einfache und für alle Fälle geltende Antwort geben. Es ist stets im Spannungsfeld zwischen technischen und baulichen Möglichkeiten und Grenzen, wirtschaftlicher Tragbarkeit sowie den Erfordernissen des Klimaschutzes zu entscheiden und ein Weg zu finden. Ist eine „Ideallösung“

in einem Schritt nicht möglich, kann eine mittel- und langfristige Strategie z. B. in einem Sanierungsfahrplan entwickelt und in mehreren Stufen umgesetzt werden.

Prämisse bei der Erstellung des Sanierungsfahrplans sollte das Ziel der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung bis zum Jahre 2050 sein. Dieses Ziel wird sich nur durch die Sanierung von Gebäudehülle in Verbindung mit einer CO₂-freien Wärmeerzeugung erreichen lassen.

Wichtig ist, bei der Heizungserneuerung nicht nur den Wärmeerzeuger sondern das Gesamtsystem aus Erzeugung, Verteilung, Heizflächen, Regelung und Warmwasserbereitung zu betrachten und dies als Gesamtsystem zu optimieren. „Efficiency first“ ist die Prämisse.

Die Optimierung von Anlagenhydraulik, Regelung, Heizungsumwälzpumpen und Heizflächen bringt wesentliche Effizienzverbesserungen, die im Einzelfall höher sein können als die eines neuen Wärmeerzeugers.

Niedrige Heizflächentemperaturen bedeuten Flexibilität bei der Erzeugung. Dies kann zunächst durch Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes, im Einzelfall aber auch durch die Vergrößerung von Heizflächen oder den Einbau von Flächenheizungen erreicht werden.

Fossil betriebene Heizkessel sollten nach 2025, spätestens nach 2030 nicht mehr eingebaut werden und stellen somit maximal noch eine Brückentechnologie dar.

Die Herstellung synthetischer Brennstoffe auf der Basis erneuerbarer Energien stellt sich aus heutiger Sicht sehr aufwendig dar. Zu erwarten ist, dass derartige Energieträger vorwiegend in Kraft-Wärme-Kopplung oder für Spitzenlast-Wärmeerzeuger eingesetzt werden.

Wärmenetze sind insbesondere für verdichtete, innerstädtische Quartiere ein wichtiges Infrastrukturelement, das die Dekarbonisierung wesentlich erleichtert: Das Wärmenetz eröffnet eine Vielzahl von Versorgungsoptionen.

Einzelheizungen werden in der Zukunft vermehrt Wärmepumpensysteme sein. Wie sich dabei das Verhältnis von erdgekoppelten Anlagen zu Luft-Wasser-Wärmepumpen entwickeln wird, ist derzeit noch offen. Dabei spielt neben der Entwicklung des Strompreises (zeitvariable Tarife?) die Frage der zur Verfügung stehenden Strom-Erzeugungskapazität, die Effizienzanforderungen an den Stromeinsatz sowie die Art der Wärmespeicherung eine wichtige Rolle.

Die künftige Kostenentwicklung der unterschiedlichen Heizsysteme hängt von diversen Randbedingungen ab, deren Entwicklung wiederum heute nicht bekannt ist. Zwar führen perspektivisch steigende Stückzahlen bei innovativen Technologien wie der Wärmepumpe oder Brennstoffzellensystemen zu sinkenden Preisen, die Zeitachse ist hierbei zumindest offen. Effizienzsteigerungen bei Wärmepumpen und Brennstoffzellen steigern bei gleichen Investitionskosten deren Attraktivität.

Wie sich in der Folge die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Heizungssysteme entwickeln wird, hängt daneben maßgeblich von der Entwicklung der Marktpreise der Energieträger ab und ist daher unklar. Eine Bepreisung von CO₂-Emissionen kann den verstärkten Einsatz von Effizienztechnologien und den Übergang zu erneuerbaren Energien beschleunigen und ist deshalb im Sinne des Klimaschutzes wünschenswert.