



NUTZUNG VON WÄRMETECHNOLOGIEN

RATGEBER **WÄRME IN HESSEN**

	Vorwort	5
1	Einleitung	7
2	Wärmeverbrauch und -erzeugung in Hessen – eine Energiewende ohne Wärmewende ?	8
2.1	Politische Vorgaben für die Energiewirtschaft	10
2.2	Wärmeinfrastruktur in Hessen	12
2.2.1	Wärmeverbrauch in Hessen	13
2.2.2	Wärmeerzeugung in Hessen – Fernwärme	16
2.3	Erneuerbare Energien im Dienste der Wärmeerzeugung	19
2.3.1	Regionale Verteilung und Anteil an der Wärmeerzeugung	20
2.3.2	Hemmnisse bei der Implementierung erneuerbarer Energien in der Wärmeversorgung	25
3	Faktenbuch: Wärmetechnologien kompakt	26
3.1	Energieträgerbetrachtung	27
3.2	Wärmetechnologien	28
3.2.1	Dampfkessel	28
3.2.2	Warm- und Brauchwasserkessel	31
3.2.3	Wärmepumpe	34
3.2.4	Kraft-Wärme-Kopplung	38
3.2.5	Nah-/ Fernwärme	42
3.2.6	Geothermie	45
3.2.7	Solarthermie	48
3.2.8	Power to Heat	51
3.3	Wärmerückgewinnung	53
3.4	Kälteerzeugung in Kombination mit Wärmeerzeugungssystemen	58
4	Wärmetechnologie in der Praxis	61
4.1	Wie effizient heizt ihr Unternehmen?	61
4.1.1	IST-Analyse der Wärmeversorgung	61
4.1.2	Kleine Maßnahmen, große Wirkung: Ihr Weg zu mehr Effizienz!	65
4.1.3	Fördermöglichkeiten zur Verbesserung der Wärmeversorgung	69
5	Fazit	70
6	Glossar	71
7	Literaturverzeichnis	75
	Impressum	80
	Ansprechpartner Umwelt und Energie	81

Die Energiewende ist auch eine Wärmewende

In Deutschland hat der Wärmemarkt mit vierzig Prozent den größten Anteil am Energieverbrauch. Dies macht deutlich, dass hier ein riesiges Potenzial vorhanden ist, um CO₂ Emissionen zu reduzieren und bei der effizienten Energienutzung weitere Fortschritte zu machen. Der Wärmemarkt wird deshalb oft als „schlafender Riese“ der Energiewende bezeichnet, weil dort noch enormes Potenzial zur Einsparung liegt und zugleich viele technische Innovationen zum Einsatz kommen können. Der Energie-Riese des Wärmemarkts wird erwachen müssen, damit die Energiewende insgesamt bewältigt wird.

Die hessischen Industrie- und Handelskammern wollen dazu beitragen, dass der Wärmemarkt mehr in den Fokus rückt. Nicht in Form einer weiteren wissenschaftlichen Studie, sondern als Handreichung für die Unternehmen. Welche Einspar- und Effizienzmaßnahmen in einem Unternehmen in diesem Bereich möglich sind, ist oft schwer zu überblicken. Mit diesem praxistauglichen Leitfadens möchten wir die Unternehmen unterstützen, die über neue und effiziente Technologien für ihre Wärmeerzeugung und -nutzung nachdenken oder ihre bestehenden Systeme optimieren wollen.

Kern dieses Leitfadens bildet das Faktenbuch, in dem die wichtigsten Wärmetechnologien kompakt und übersichtlich dargestellt werden. Darüber hinaus kann sich der Leser mit einem Formblatt eine IST-Zustandsanalyse erstellen und prüfen, wie effizient in seinem Unternehmen Wärme genutzt wird.

Der Einsatz von Wärme ist in der Regel ein teurer Fertigungsschritt. Daher haben die Unternehmen selbst ein hohes Interesse an einem möglichst effizienten Einsatz dieser Energieart. In den vergangenen Jahren und Jahrzehnten haben die hessischen Unternehmen daher bereits erhebliche Investitionen in die Effizienzsteigerung der Wärme-Nutzung geleistet. Dies wird auch in Zukunft nötig sein, um betriebswirtschaftlich fit zu bleiben und im Wettbewerb kostengünstige Produkte anbieten zu können. Auf diesem Weg möchten die hessischen Industrie- und Handelskammern mit diesem Leitfadens einen Beitrag leisten.

Prof. Dr. Mathias Müller

Vorsitzender

Arbeitsgemeinschaft hessischer

Industrie- und Handelskammern



1 | Einleitung

Im öffentlichen Diskurs über die beschlossene Energiewende wird meist nur über das Thema Strom gesprochen. Dabei macht der Stromsektor nur rund ein Fünftel des Endenergieverbrauchs in Deutschland aus. Etwa ein Drittel wird als Kraftstoff, während mehr als die Hälfte für Prozess- und Raumwärme verbraucht wird. Gleichwohl steht der Wärmesektor nicht im Fokus der Diskussion, obwohl allen Akteuren längst klar ist, dass die Energiewende ohne entscheidende Veränderungen im Wärmesektor nicht gelingen kann.

Die politischen Ziele sind ambitioniert. So soll der Endenergieverbrauch in Hessen bis zum Jahr 2050 zu 100 % aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Gleichzeitig soll ebenfalls bis 2050 der Energieverbrauch für Wärme um 80 % gegenüber 2008 reduziert werden. Um diese Ziele zu erreichen, braucht es einerseits einen deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmesektor. Ihr Anteil lag 2012 bundesweit erst bei 9,1 %. Zugleich müssen gewaltige Einspar- und Effizienzanstrengungen unternommen werden. Angesichts der niedrigen Modernisierungs- und noch niedrigeren Neubauquote im Gebäudebestand von jeweils unter 1 % pro Jahr in Deutschland und der Tatsache, dass zwei von drei Heizungsanlagen in Deutschland derzeit nicht dem aktuellsten Stand der Technik entsprechen, sind die Potenziale sehr hoch.

Das Ziel dieser Studie ist es, den Unternehmen in Hessen eine Handreichung zu geben, um diese Potenziale zu heben. Sie soll ein praxistauglicher Leitfaden sein, der den Unternehmen helfen soll, über neue und effiziente Technologien für ihre Wärmeerzeugung nachzudenken oder bestehende Systeme zu optimieren. Die Studie stellt im ersten Teil Zahlen und Fakten zum aktuellen Stand der Wärmenutzung und -erzeugung im Bundesland Hessen dar. Im Fokus stehen dabei die Sektoren Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD). Im zweiten Teil der Studie werden die wichtigsten Technologien zur Wärmeerzeugung im industriellen Maßstab in kurzen, kompakten und einheitlichen Faktenblättern vorgestellt. Es werden die standardmäßig vorkommenden Warm- und Brauchwasserkessel, Dampfkessel, Wärmepumpen sowie KWK-Anlagen betrachtet. Des Weiteren wird aber auch die Einbindung von erneuerbaren Energien in Form von Solarthermie, Geothermie oder die Nutzung eines Fernwärmenetzes betrachtet. Ebenfalls wird Power2Heat als ein Verbindungsglied zwischen dem Wärme- und Strommarkt berücksichtigt. Zudem werden gegenwärtige Wärmerückgewinnungssysteme und die Nutzung von Wärme zur Kälteerzeugung betrachtet.

Die Faktenblätter gliedern sich in eine kurze Definition der jeweiligen Technologie, einen Abschnitt über Aufbau und Funktionsweise, die sich neben den vorkommenden Anlagengrößen und -varianten auch mit potenziellen Einsatzmöglichkeiten beschäftigt. Ein kurzer Überblick über die notwendigen Investitionen im Abschnitt der Wirtschaftlichkeit ermöglicht eine erste Einschätzung der anfallenden Kosten. Jeder Steckbrief wird mit einer kurzen Übersicht der wichtigsten Fakten abgeschlossen.

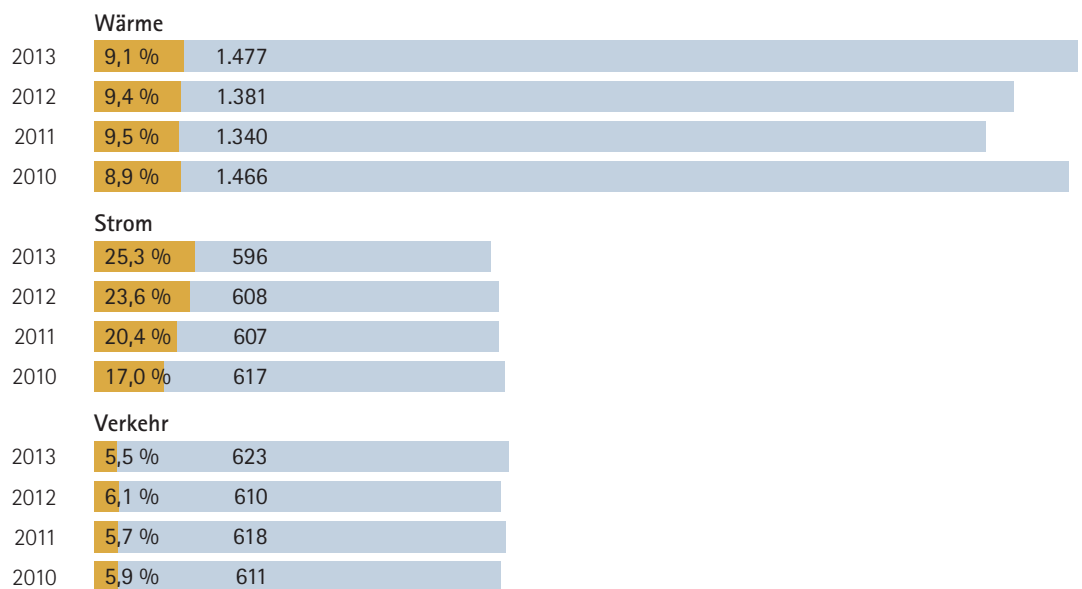
Vielen Unternehmen ist oft nicht bewusst, welche Einsparungs- und Effizienzmaßnahmen in ihrem Betrieb möglich sind. Das Kapitel „Wärmetechnologien in der Praxis“ soll eine Anleitung bieten, wie die eigene Wärmeversorgung analysiert werden kann. Es wird gezeigt, welche Daten für eine Erfassung der Wärmeversorgung notwendig sind, woher das Unternehmen diese Daten bekommt und wie mit diesen Daten die eigene Wärmeversorgung bewertet werden kann. Zusätzlich sind einige typische Energieeffizienzmaßnahmen, die oft durch wenig Aufwand viel Energie einsparen können, aufgelistet.

EINE ENERGIEWENDE OHNE WÄRMEWENDE?

2 | Wärmeverbrauch und -erzeugung in Hessen

In der öffentlichen und politischen Diskussion standen in den letzten Jahren hauptsächlich der Atomausstieg und der Ausbau der erneuerbaren Energien im Strommarkt im Vordergrund. Dabei wird in Deutschland mehr als die Hälfte des Endenergieumsatzes für die Wärmebereitstellung verwendet. Dennoch nimmt der Wärmesektor in der Energiewende eine untergeordnete Rolle ein. In [Abbildung 1](#) sind die Erfolge der Energiewende hin zu höheren regenerativen Anteilen der Jahre 2010 bis 2013 dargestellt. Eine Stromwende ist bereits sichtbar – von einer „Wärmewende“ oder auch „Mobilitätswende“ kann jedoch angesichts stagnierender regenerativer Anteile von 9,1 bzw. 5,5 % nicht gesprochen werden.

Abbildung 1 | Endenergiebereitstellung in TWh nach Sektoren und regenerativen Anteilen



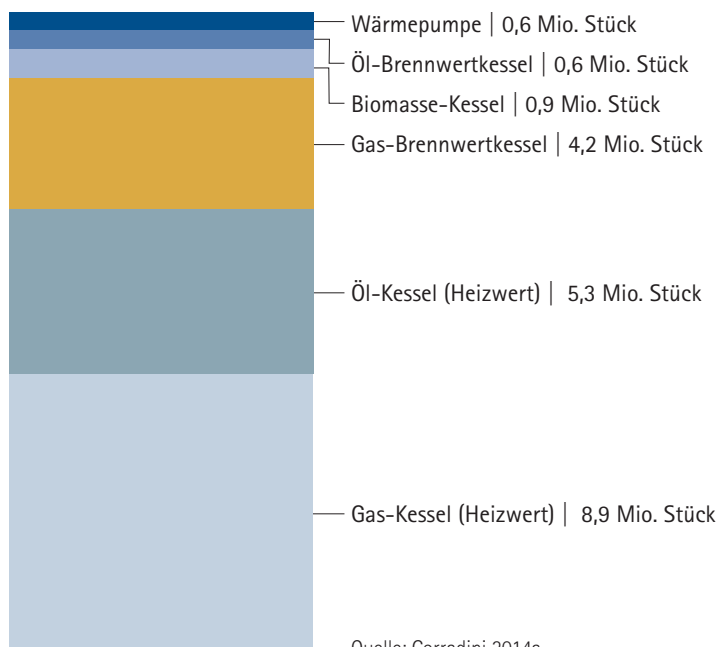
Quelle: Corradini 2014



Dabei ist gerade im Wärmebereich hinsichtlich der Reduktion des Wärmebedarfs durch Sanierung der bestehenden Gebäude und durch eine effiziente Wärmeerzeugung großes Potenzial vorhanden. Nur etwa ein Drittel der ca. 20,5 Mio. deutschlandweit betriebenen Wärmeerzeuger ist als effizient einzustufen. Der Anteil der effizienten Wärmeerzeuger, die zusätzlich erneuerbare Energien nutzen, ist mit 17 % noch geringer. Mit anderen Worten: ca. 15 Mio. Wärmeerzeuger in Deutschland sind nicht auf dem heutigen Stand der Technik und arbeiten ineffizient.

Abbildung 2 zeigt den Gesamtbestand der Wärmeerzeuger für die Bundesrepublik Deutschland. Die moderne Brennwerttechnologie (Gas- und Öl-Brennwertkessel) ist erst mit ca. 23 % am Wärmemarkt vertreten. Dagegen machen die Öl-Kessel (Heizwert), die oftmals noch veraltete Technologien nutzen, knapp 26 % am Gesamtbestand der Wärmeerzeuger in Deutschland aus.

Abbildung 2 | Gesamtbestand der Wärmeerzeuger 2013 in Deutschland



2.1 | Politische Vorgaben für die Energiewirtschaft

Nach den Zielen des integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmemarkt bis 2020 von etwa 10 % (Stand 2012) auf 14 % gesteigert werden (vgl. Tabelle 1). Bis 2050 soll dann die Hälfte des Wärmemarktes durch regenerative Energien gedeckt werden. Wenn keine weiteren politischen Maßnahmen unternommen werden, ist es jedoch fraglich, ob dieses Ziel bis 2020 erreicht wird. In den Zielen für Hessen wird der Anteil am Wärmeverbrauch nicht direkt ausgewiesen, aber bis zum Jahr 2050 soll der komplette Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. In folgender Tabelle 1 sind die Energieziele der Bundesrepublik und des Landes Hessens gegenübergestellt.

Tabelle 1 | Politische Energieziele in der Bundesrepublik Deutschland und im Bundesland Hessen

Deutschland	2020	2030	2040	2050
Anteil der erneuerbaren Energien am Brutto-Endenergieverbrauch	18 %	30 %	45 %	60 %
Anteil der erneuerbaren Energien am Brutto-Stromverbrauch	35 %	50 %	65 %	80 %
Anteil der erneuerbaren Energien am Wärme- und Kälteverbrauch	14 %	-	-	50 %
Reduktion des Primärenergieverbrauchs in Bezug auf 2008	20 %	-	-	50 %
Reduktion des Stromverbrauchs in Bezug auf 2008	10 %	-	-	25 %
Reduktion des Endenergieverbrauchs (inkl. Verkehr) in Bezug auf 2005	10 %	-	-	40 %
Reduktion der Treibhausgasemissionen in Bezug auf 1990	40 %	55 %	70 %	80-95 %

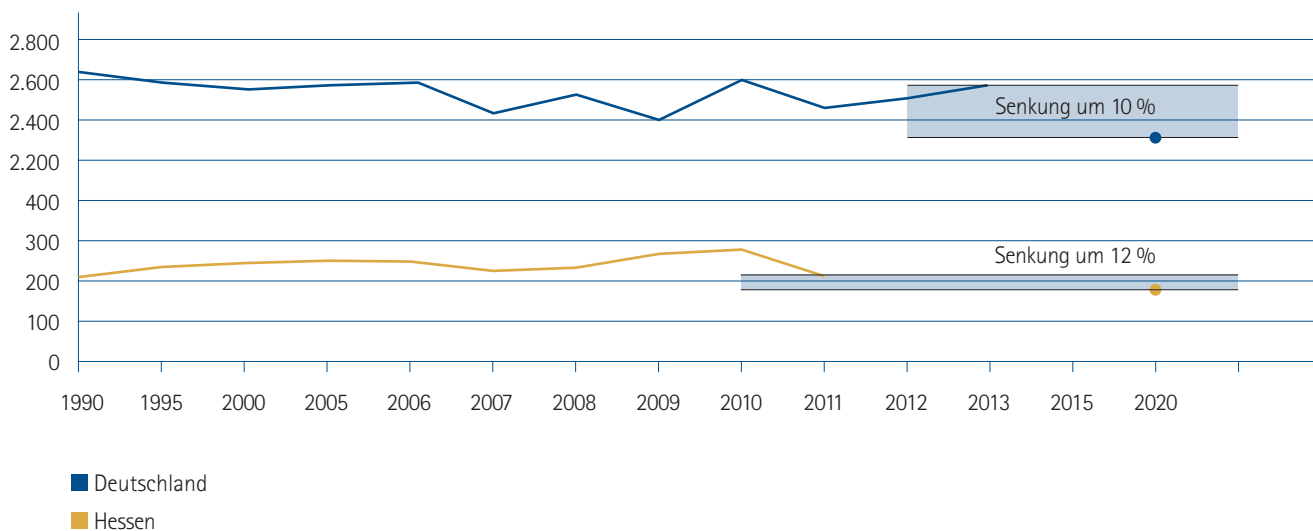
Hessen	2020	2030	2040	2050
Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbr. (ohne Verkehr)	20 %	-	-	100 %
Reduktion des Endenergieverbrauchs (inkl. Verkehr) in Bezug auf 2006	20 %	-	-	-

Quelle: Energieportal Mittelhessen 2011



Neben den zunehmenden Anteilen der erneuerbaren Energien soll zugleich der Endenergieverbrauch bundesweit um 10 % bis 2020 reduziert werden. In Hessen soll der Verbrauch um weitere 10 % reduziert werden, d.h. um 20 % bis 2020. Endenergie ist dabei der nach Transport- und Umwandlungsverlusten übrig gebliebene Teil der Primärenergie, der tatsächlich an den Verbraucher z.B. in Form von Strom, Erdgas oder Fernwärme geliefert wird. **Abbildung 3** zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Deutschland und Hessen von 1990 bis 2013 bzw. 2011. Im Jahr 2009 ging die Produktion aufgrund der Weltwirtschaftskrise zurück, was sich auch in einem reduzierten Energieverbrauch niederschlug. In den letzten zwei Jahren stieg der Endenergieverbrauch in Deutschland, sodass zum Erreichen des Energieziels 2020 der derzeitige Endenergieverbrauch um ca. 10 % reduziert werden müsste. Bezogen auf 2011 müssten in Hessen dafür 12 % des Endenergieverbrauchs reduziert werden. Wird für die letzten Jahre auch eine Steigerung des Endenergieverbrauchs angenommen, muss bis 2012 ein größerer Anteil als 12 % eingespart werden.

Abbildung 3 | Endenergieverbrauch und Einsparziel von Deutschland und Hessen im Vergleich

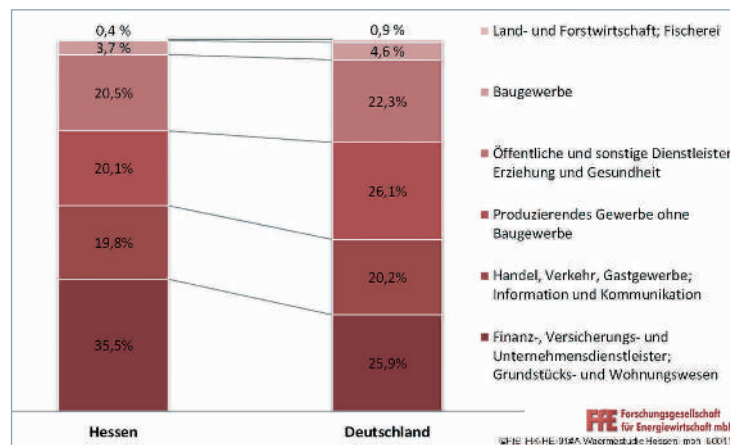


Quelle: HSL 2014b, BMWI 2014a

2.2 | Wärmefrastruktur in Hessen

Der Energieverbrauch eines Landes ist immer eng mit der strukturellen Situation verknüpft. Insbesondere der Verbrauch von Wärme ist oftmals abhängig von der ansässigen Industrie und der wirtschaftlichen Entwicklung. Aus diesem Grund soll kurz der wirtschaftliche Rahmen in Hessen mit dem in Deutschland verglichen werden. In **Abbildung 4** ist zu diesem Zweck die Bruttowertschöpfung von Hessen und Deutschland anteilig nach Wirtschaftszweigen dargestellt.

Abbildung 4 | Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftszweigen (nominal) 2013



Quelle: eigene Darstellung nach DESTATIS 2014b; HSL 2014a

Es zeigen sich zum Teil deutliche Unterschiede in der Bedeutung der einzelnen Wirtschaftszweige zwischen der hessischen und der gesamtdeutschen Wirtschaft. In Hessen ist vor allem der tertiäre Sektor stärker ausgeprägt als in der Bundesrepublik. Insbesondere der Bereich Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen hat mit 35,5 % eine nahezu 10 %-Punkte höhere Wertschöpfung als in der restlichen Bundesrepublik. Dies liegt zum großen Teil am Finanzplatz Frankfurt und den dort ansässigen Banken und Versicherungen. Als „Transitland“ und aufgrund des internationalen Großflughafens in Frankfurt spielt auch der Verkehr in Hessen eine besondere Rolle. Im Gegensatz zum Dienstleistungssektor ist der Anteil des produzierenden Gewerbes mit 20,1 % um 6 %-Punkte geringer als in Deutschland. Ebenso leisten die öffentlichen und die sonstigen Dienstleister mit nur 20,5 % einen geringeren Beitrag als deutschlandweit mit 22,3 %. Die Wirtschaft in Hessen ist folglich stärker vom Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) geprägt.

2.2.1 | Wärmeverbrauch in Hessen

In Hessen lag der Endenergieverbrauch 2011 für alle Sektoren insgesamt bei 212 TWh. Die Tabelle zeigt den absoluten und relativen Anteil der Sektoren Industrie, Verkehr, Haushalte und GHD am Endenergieverbrauch in Hessen und Deutschland:

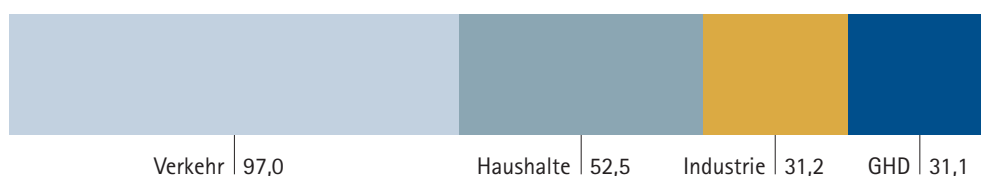
Tabelle 2 | Endenergieverbrauch in Hessen und in Deutschland 2011

Wirtschaftssektor	Hessen		Deutschland	
	TWh	anteilig	TWh	anteilig
Haushalte	52,2	24,8 %	648	26,3 %
GHD	31,1	14,7 %	374	15,1 %
Industrie	31,2	14,7 %	732	29,7 %
Verkehr	97,0	45,8 %	713	28,9 %

Quelle: HSL 2014b, AGEB 2013

Den größten Anteil am Endenergieverbrauch nimmt demnach in Hessen der Verkehrssektor ein. Im Vergleich zu Deutschland ist der Anteil um ca. 15 % Punkte größer, was unter anderem dem Flughafen Frankfurt als europäisches Luftverkehrs-Drehkreuz geschuldet ist. Während aber die Anteile von GHD und Haushalten in Hessen in etwa dem Bundesdurchschnitt entsprechen, ist der Endenergieverbrauch der deutschen Industrie im Schnitt mit 30 % fast doppelt so groß, wie der Anteil der hessischen Industrie. Ein Grund dafür ist die fehlende bzw. unterdurchschnittlich in Hessen vertretene energieintensive Industrie, wie etwa die Stahlindustrie oder größere Raffinerien.

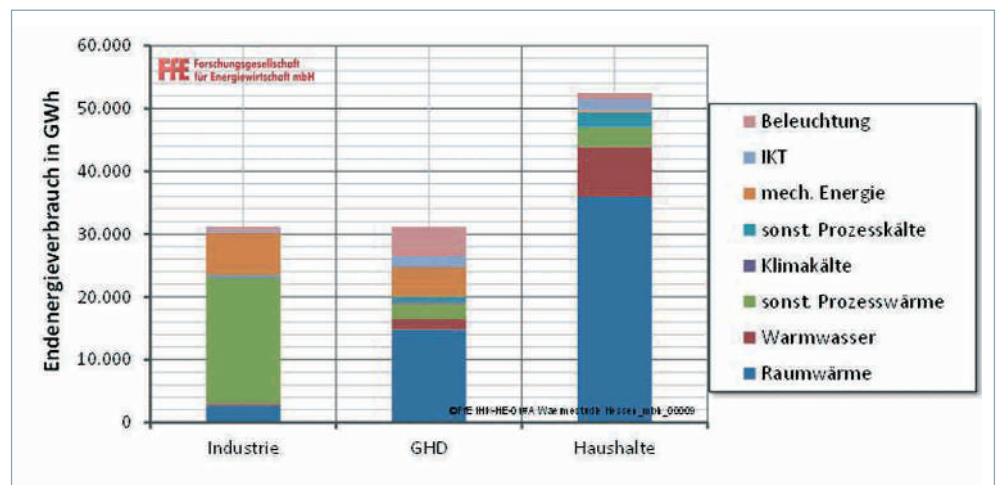
Abbildung 5 | Endenergieverbrauch nach Sektoren für 2011



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung nach HSL 2014b; DESTATIS 2014a; HSL 2011

Die unterschiedlichen Verwendungszwecke der Endenergie, z.B. für Beleuchtung, mechanische Energie, Informations- und Kommunikationstechniken oder Kälte und Wärme, werden als Nutzenergieformen bezeichnet. Derzeit gibt es keine Informationen speziell für Hessen über die Anteile dieser Nutzenergieformen am Endenergieverbrauch. Auf Bundesebene wird diese Aufteilung jedes Jahr von der AG Energiebilanzen e.V. in Form von Anwendungsbilanzen der Sektoren Industrie, Haushalt und GHD erhoben. Für eine näherungsweise Bestimmung des Anteils der Endenergie, welcher für Wärme genutzt wird, kann diese Erhebung aber herangezogen werden. [Abbildung 6](#), zeigt den Endenergieverbrauch 2011 aufgeteilt nach den Verwendungszwecken je Sektor. Beachtet man, dass Hessen relativ wenig energieintensive Industrien hat, ist der reale Anteil der Prozesswärme im Bereich Industrie vermutlich geringer als hier dargestellt. Für die übrigen Bereiche kann diese Auswertung aber als guter Richtwert dienen.

Abbildung 6 | Endenergieverbrauch nach Sektoren und Anwendungsbilanzen für 2011



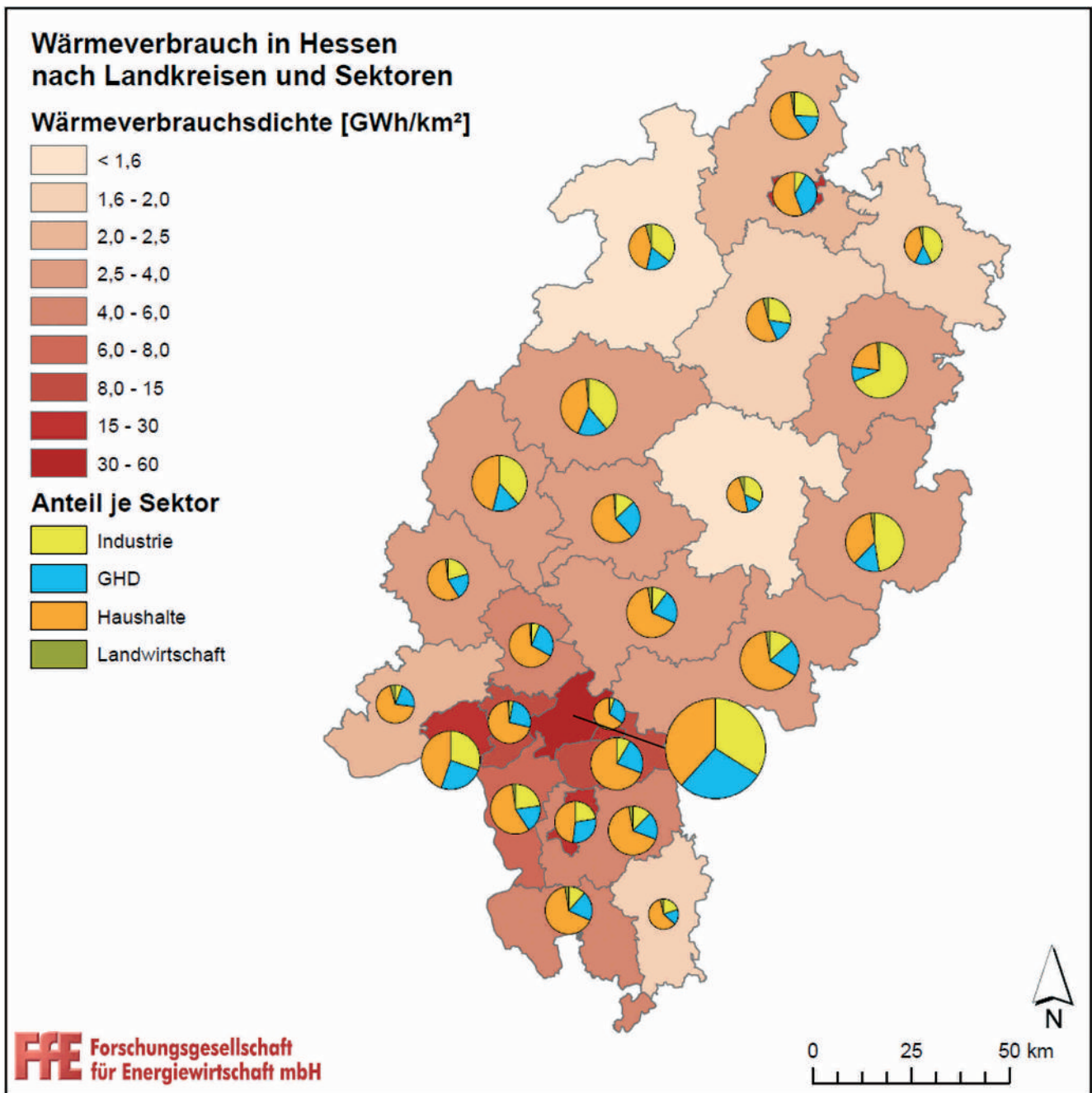
Quelle: eigene Darstellung und Berechnungen nach HSL 2014b; DESTATIS 2014a; HSL 2011; Ziesing 2013

Der Wärmeverbrauch setzt sich demnach aus Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme zusammen. Folgt man der [Abbildung 6](#), liegt in Hessen der Anteil von Wärme am Endenergieverbrauch der drei Sektoren insgesamt bei ca. 89 TWh, was einem Anteil von ca. 42 % des gesamten Endenergieverbrauchs inklusive Verkehr entspricht. Deutschlandweit wurden 2011 insgesamt 1.344 TWh des Endenergieverbrauchs für Wärme aufgewendet, das sind 54 % des gesamten Endenergieverbrauchs. Im Jahr 2012 ist dieser Anteil sogar leicht auf 1.378 TWh gestiegen. Somit wird in Deutschland mehr als die Hälfte und in Hessen etwa zwei Fünftel der genutzten Endenergie für Wärme verwendet.

Die größten Wärmeverbraucher in Hessen sind die privaten Haushalte, gefolgt von der Industrie und GHD. Im Verkehr wird der Hauptteil der Endenergie in Form von mechanischer Energie verwendet. In den privaten Haushalten und GHD überwiegt der Raumwärmeanteil mit 68 % bzw. 47 %, während in der Industrie der größte Teil der Wärme als Prozesswärme (64 %) genutzt wird. Der hohe Anteil des GHD-Sektors sowie der Haushalte führt zu einem hohen Anteil von Raumwärme und Warmwasser von 55 % am Endenergieverbrauch (ohne Verkehr), was die Notwendigkeit von Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich der Gebäudesanierung und Wärmeerzeugung unterstreicht.

Neben der Höhe des Wärmeverbrauchs ist auch die regionale Verteilung dieses Verbrauchs interessant. **Abbildung 7** stellt die Wärmeverbrauchsichte in Hessen pro Landkreis (rötlich eingefärbte Landkreise) und die Anteile der unterschiedlichen Sektoren dar. Die höchste Wärmeverbrauchsichte ist in den Ballungsgebieten, wie Kassel, Frankfurt am Main, Darmstadt, Offenbach am Main oder Wiesbaden vorzufinden. In diesen Regionen ist der Anteil der Haushalte besonders hoch. Aber auch Landkreise wie Hersfeld-Rothenburg weisen eine erhöhte Wärmeverbrauchsichte auf, was auf den hohen Industrieanteil zurückzuführen ist.

Abbildung 7 | Wärmeverbrauch nach Landkreis und Sektoren in Hessen im Jahr 2012



Quelle: FFE 2014

2.2.2 | Wärmeerzeugung in Hessen - Fernwärme

Fernwärme wird vorwiegend in Heizkraftwerken oder Heizwerken erzeugt, aber zunehmend werden auch dezentrale KWK-Anlagen von Industrieunternehmen in ein Fernwärmenetz integriert. Über Rohrleitungen gelangt die Wärme in Form von Dampf, Kondensat oder Heißwasser zum Endnutzer. Die Wirtschaftlichkeit eines Netzes ist eng mit der Trassenlänge gekoppelt, sodass mit steigender Trassenlänge die Wirtschaftlichkeit der Energiebereitstellung abnimmt. Wärme und Kälte sind oftmals eng miteinander verknüpft, weswegen es in Hessen auch fünf Kältenetze gibt, welche vornehmlich für industrielle Prozesse genutzt werden. Im Jahr 2010 sind 4,2 % des Endenergieverbrauchs durch Fernwärme gedeckt worden. Deutschlandweit lag dieser Wert mit 5,1 % (2010) und 4,8 % (2012) etwas höher. Fernwärme wird je nach Wirtschaftssektor unterschiedlich stark genutzt. So lag der Anteil der Fernwärme im Sektor „Private Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistung in Hessen bei 5 %. In Deutschland wurde 2010 in diesen Sektoren fast doppelt so viel Fernwärme (ca. 8 %) eingesetzt. Im Jahr 2012 hat sich dieser Anteil jedoch um ca. 6 % reduziert. Ein Grund dafür ist aber, dass weniger Wärmenetze statistisch erfasst werden. Im Sektor Industrie zeigt sich im Vergleich ein deutlicher Unterschied. Mit 15,6 % war der Anteil der Fernwärme in Hessen im industriellen Sektor fast dreimal so groß (5,6 %) wie im Rest von Deutschland. Neben Strom bildet die Fernwärme in einigen Wirtschaftszweigen des verarbeitenden Gewerbes den wichtigsten Energieträger. Besonders in der Chemischen Industrie (31 %), im Fahrzeugbau (30 %) sowie der Gummi- und Kunststoffwaren (25 %) werden hohe Fernwärmenutzungsanteile in Bezug auf den Endenergieverbrauch 2011 erreicht (vgl. Tabelle 3). Diese Anteile sind deutschlandweit deutlich geringer.

Tabelle 3 | Bedeutung der Fernwärme für ausgewählte Endenergiesektoren
in Hessen und Deutschland im Jahr 2011

Endenergiesektoren	Hessen			Deutschland		
	Alle Energieträger (in GWh)	darunter Fernwärme (in GWh)	Anteil in %	Alle Energieträger (in GWh)	darunter Fernwärme (in GWh)	Anteil in %
Industrie	31.162	5.312	17 %	731.660	47.082	6 %
davon						
Gewinnung von Steinen, Erden, sonstiger Bergbau	206	-	-	4.411	79	2 %
Ernährungs- und Tabakgewerbe	2.157	32	1 %	57.173	2.381	4 %
Papiergewerbe	2.677	503	19 %	65.067	7.306	11 %
Chemische Industrie	9.557	2.966	31 %	167.378	24.787	15 %
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	2.493	614	25 %	22.491	1.401	6 %
Glasgewerbe, Keramik	378	6	2 %	24.558	69	0 %
Verarbeitung von Steinen und Erden	1.443	15	1 %	55.461	103	0 %
Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	1.493	0	0 %	153.844	521	0 %
NE-Metalle, Gießereiindustrie	2.132	48	2 %	33.346	218	1 %
Herstellung von Metallzeugnissen	1.539	40	3 %	32.164	716	2 %
Maschinenbau	812	26	3 %	21.843	1.441	7 %
Fahrzeugbau	2.774	805	29 %	33.569	3.765	11 %
Sonstige Wirtschaftszweige	3.503	256	7 %	60.356	4.293	7 %
Verkehr	97.001	-	-	713.288	-	-
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistung	83.599	3.923	5 %	1.022.100	69.637	7 %
Endenergieverbrauch gesamt	211.762	9.236	4 %	2.467.048	116.719	5 %

Quelle: HSL 2014b, Ziesing 2013; BMWI 2014b

In den hessischen Heizwerken und Heizkraftwerken (Nutzung von KWK-Prozessen) der allgemeinen Versorgung wurden im Jahr 2013 zusammen über 8.700 GWh Wärme erzeugt. Davon entfielen ungefähr 90 % auf KWK-Prozesse. Die restliche Wärme kam aus reinen Heizwerken (vgl. Tabelle 4). Die Wärmeerzeugung ist über die letzten Jahre konstant geblieben. Nicht erfasst sind die Wärmemengen, welche durch Industriekraftwerke erzeugt wurden. 2009 erzeugten diese Kraftwerke zusätzlich 3.400 GWh Wärme [HSL 2014b].

Tabelle 4 | Wärmeerzeugung der Heizwerke und Heizkraftwerke in Hessen von 2010 bis 2013 in GWh

	2010		2011		2012		2013	
	gesamt	davon KWK	gesamt	davon KWK	gesamt	davon KWK	gesamt	davon KWK
Nettowärmeerzeugung ¹	8.261	90 %	7.988	90 %	8.584	88 %	8.728	89 %
davon aus								
Kohle	2.517	95 %	2.298	95 %	2.220	95 %	2.755	93 %
Erdgas	4.183	90 %	4.010	90 %	4.608	87 %	4.036	88 %
Sonstiger Wärmekraft	1.561	84 %	1.680	84 %	1.756	81 %	1.937	87 %

¹ Die Nettowärmeerzeugung ist die von einem Heizkraftwerk an ein Netz oder einen Produktionsprozess abgegebene und gemessene Wärme.

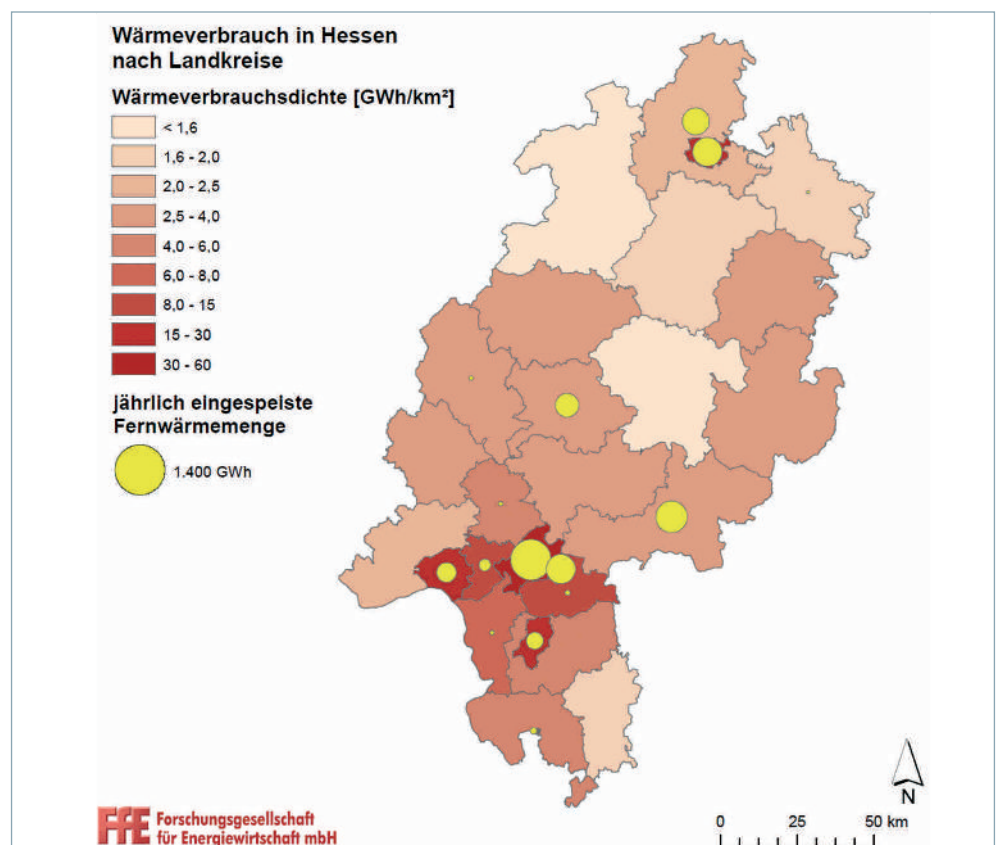
Quelle: HSL 2014c

Neben den amtlichen Statistiken veröffentlicht auch der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (kurz: AGFW) Daten zur Fernwärmeversorgung. Durch diese Datensammlung ist ein Vergleich mit anderen Bundesländern möglich. Es gilt jedoch zu beachten, dass in dieser Statistik nur Mitgliedsunternehmen der AGFW erfasst werden. Laut der AGFW erzeugten im Jahr 2012 insgesamt 118 Anlagen mit KWK-Prozessen und 186 Anlagen ohne KWK-Prozessen ca. 3.780 GWh Wärme. Zusammen mit dem Wärmebezug von Dritten und unter Bereinigung von Doppelzählungen speisten diese Unternehmen insgesamt 4.329 GWh in Wärmenetze ein. Das entspricht 5,5 % der gesamten Wärmenetzeinspeisung in Deutschland [AGFW 2013].

Insgesamt gab es im Jahr 2012 in Hessen 185 Fernwärmenetze in Form von Warmwassernetzen, mit einer Trassenlänge von insgesamt 915 km. Deutschlandweit sind insgesamt 1.285 Netze in Betrieb, mit einer Gesamtlänge von rund 19.000 km. Die angeschlossene Leistung in Hessen lag bei 2.027 MW, wovon 41 MW direkt für Produktionswärme genutzt werden. Das entspricht ungefähr einem Zwanzigstel der in Deutschland installierten Leistung. Des Weiteren gibt es drei Dampfnetze mit einer Gesamtlänge von ca. 46 km und einer angeschlossenen Leistung von 513 MW, wovon ca. 3 MW für Produktionswärme verwendet wurden. Die fünf vorhandenen Kältenetze umfassen eine Gesamtlänge von ca. 11 km, wodurch 85 Abnehmer mit einer Gesamtkälteleistung von ca. 30 MW versorgt werden.

In **Abbildung 8** ist die Wärmeverbrauchsichte der Landkreise der vorhandenen eingespeisten Fernwärmemenge aus dem Jahr 2009 gegenüber gestellt. Die zur Darstellung der eingespeisten Fernwärme genutzten Kreise sind je nach Einspeisemenge unterschiedlich groß dargestellt. Es wird klar, dass vor allem im Ballungsgebiet Frankfurt, wo ein hoher Wärmeverbrauch vorliegt, auch die größte Menge an Fernwärme ins Netz eingespeist wird.

Abbildung 8 | Eingespeiste Fernwärmemenge 2009 gegenüber dem Wärmeverbrauch der Landkreise



Quelle: FFE 2014

2.3 | Erneuerbare Energien im Dienste der Wärmeerzeugung

Um bis 2050 den Endenergieverbrauch (ohne Verkehr) zu 100 % aus erneuerbare Energien zu decken, wurden im hessischen Energiegipfel im Jahr 2011 folgende Ausbauziele für die erneuerbaren Energien festgesetzt:

Tabelle 5 | Politische Ausbauziele und aktueller Stand der erneuerbaren Energien

Erneuerbare Energien	Stand 2008 in TWh/a	Ziel 2020 in TWh/a	Ausbaupotenziale bis 2050 in TWh/a
Biomasse (Strom und Wärme)	6,40	9,50	13,40
Wasserkraft	0,50	0,50	0,50
Geothermie	0,10 (oberflächlich)	1,00	1,20
Photovoltaik	0,25	3,00	6,00
Windkraft	0,70	7,00	28,00

Quelle: Jahn 2012¹, Energieforum 2010², Energiegipfel 2011³

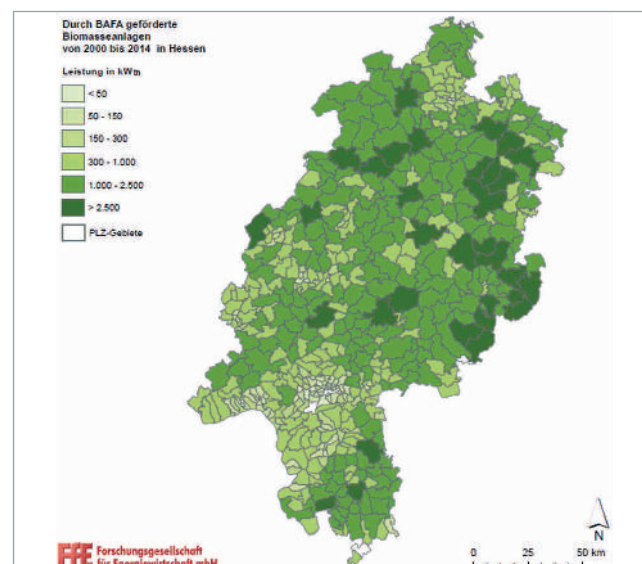
2.3.1 | Regionale Verteilung und Anteil an Wärmeerzeugung

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert unter anderem den Einsatz von erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung. Die geförderten Anlagen werden zum Teil mit ihrer entsprechenden Leistung, der Förderungshöhe und dem Standort erfasst. Anhand dieser Daten, eigenen Berechnung und des an der FFE aufgebauten Regionenmodells ist es möglich, Karten für die Verteilung der Biomasseanlagen, KWK-Anlagen, Wärmepumpen und Solarthermieanlagen in Hessen zu erstellen.

Biomasseanlagen

Die installierte thermische Leistung der vom BAFA geförderten Biomasseanlagen für den Zeitraum von 2000 bis 2014 ist für ganz Hessen in [Abbildung 9](#) dargestellt. Bei den hier geförderten Biomasseanlagen handelt es sich ausschließlich um Holzfeuerungsanlagen in Form von Pelletöfen und -kesseln sowie Hackschnitzelkessel oder Scheitholzvergaser, mit einer Leistung von 5100 kW_{th}. In Hessen wurden von 2000 bis 2014 insgesamt 5.895 Holzfeuerungsanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 543 MW_{th} vom BAFA gefördert. In den letzten drei Jahren konnte ein stetiger Zubau von ca. 400 Anlagen pro Jahr verzeichnet werden. Zum Vergleich: Deutschlandweit waren im Jahr 2012 280.000 Pelletöfen und -kessel installiert.

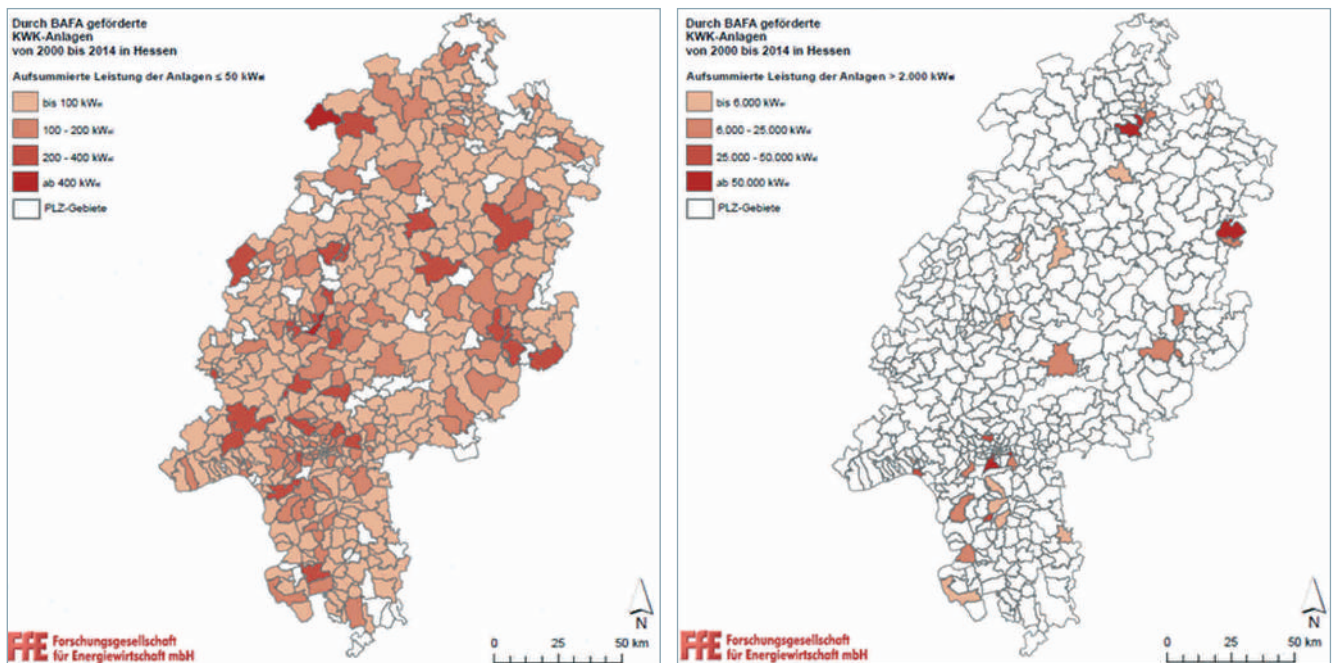
Abbildung 9 | Regionale Verteilung der durch das BAFA geförderten Biomasse-Anlagen in Hessen



Quelle: FFE 2014

Kraft-Wärme-Kopplung-Anlagen

Abbildung 10 | Regionale Verteilung der vom BAFA geförderten KWK-Anlagen in Hessen

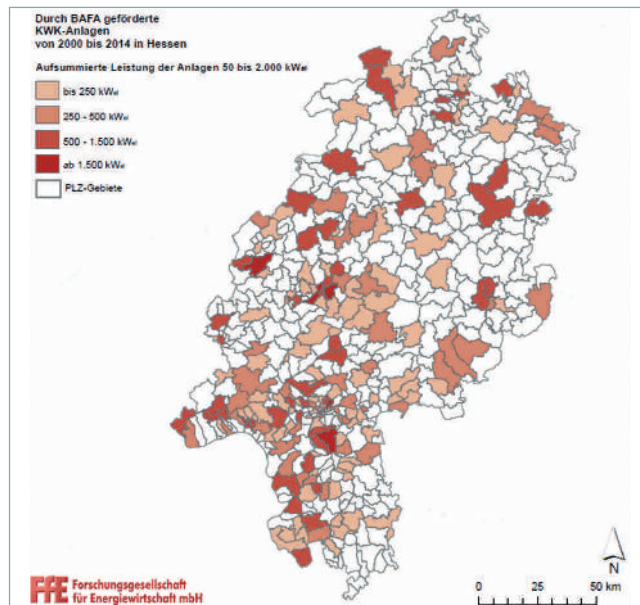


links: Anlagen kleiner 50 kW_{el}; rechts: Anlagen größer als 2 MW_{el}

Quelle: FFE 2014

Durch das BAFA werden auch KWK-Anlagen jeglicher Leistungsklasse gefördert. Die seit dem Jahr 2000 erfassten Anlagen sind in [Abbildung 10](#) und [Abbildung 11](#) festgehalten. Die [Abbildung 10](#) zeigt alle Anlagen mit einer elektrischen Leistung unterhalb von 50 kW_{el} (links) bzw. Anlagen größer als 2 MW_{el} (rechts). Anlagen größer als 2 MW_{el} Leistung werden hauptsächlich in Heizkraftwerken der öffentlichen Versorgung eingesetzt. In diese Größenklasse fallen in Hessen 51 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 1,4 GW_{el}. Deutschlandweit sind es ca. 650 Anlagen mit einer Leistung von insgesamt ca. 20 GW_{el}. Anlagen mit einer Leistung kleiner als 50 kW_{el} werden vorwiegend im Bereich der Gebäudeversorgung von z.B. Mehrfamilienhäusern, Hotels, Krankenhäusern oder Ein- bzw. Zweifamilienhäusern eingesetzt. Insgesamt sind in Hessen 3.211 Anlagen installiert mit einer Gesamtleistung von 34 MW_{el}. Die meisten Anlagen liegen dabei zwischen 2 bis 10 kW_{el}, was einer typischen Größenordnung entspricht, welche z.B. in Mehrfamilienhäusern oder kleineren Betrieben eingesetzt werden. In der Industrie werden vorwiegend Anlagen von 50 bis 2.000 kW_{el} eingesetzt. Bei den in [Abbildung 11](#) dargestellten Anlagen handelt es sich ausschließlich um sogenannte Blockheizkraftwerke (BHKW), wovon derzeit 343 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 85 MW_{el} installiert sind. In den übrigen Bundesländern sind 3.680 Anlagen mit einer Leistung von 1.064 MW_{el} installiert. Insgesamt beträgt die installierte Leistung aus geförderten KWK-Prozessen in Hessen ca. 1,5 GW_{el} und in Deutschland insgesamt 21,7 GW_{el}. Nach Angaben des Umweltbundesamtes liegt die insgesamt installierte KWK-Leistung in Deutschland im Jahr 2012 bei ca. 30 GW_{el} [Ziesing 2014]. Somit ist ca. ein Viertel der installierten KWK-Leistung nicht in den Förderstatistiken erfasst. Die regionale Verteilung der jeweiligen Größenklassen zeigt eine gleichmäßige Flächenverteilung der Anlagen.

Abbildung 11 | Regionale Verteilung der vom BAFA geförderten KWK-Anlagen in Hessen von 50kW_{el} bis 2 MW_{el}

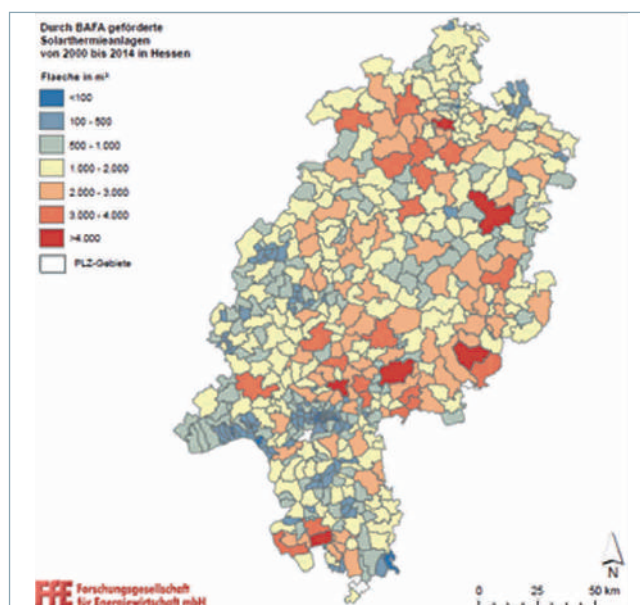


Quelle: FFE 2014

Solarthermieanlagen

Solarthermieanlagen werden vor allem in den Bereichen Raumwärme und Brauchwasser eingesetzt. Es gibt auch einige Anlagen, die für die Prozesswärme eingesetzt werden. Vom BAFA werden alle Anlagen bis zu einer Kollektorflächengröße von 1.000 m² gefördert. [Abbildung 12](#) zeigt auf Gemeindeebene die Summe der installierten Kollektorfläche von Solarthermieanlagen in Hessen. Durch das BAFA wurden seit 2000 9.516 Anlagen mit einer Kollektorfläche von insgesamt 690.364 m² gefördert. Zwei der Anlagen mit insgesamt 45 m² Kollektorfläche werden zur Erzeugung von Prozesswärme genutzt. Deutschlandweit sind 2013 insgesamt 1,9 Mio. Anlagen installiert mit einer Kollektorfläche von insgesamt 17,5 Mio. m². Diese Anlagen erzeugten näherungsweise über 7 TWh_{th} Wärme, was einem Anteil von ca. 5% der gesamten Wärmeerzeugung im Jahr 2012 entspricht [BSW 2014; BDEW 2014]. Der Ausbau der Solarthermie ist deutschlandweit in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen.

Abbildung 12 | Regionale Verteilung der vom BAFA geförderten Solarthermieanlagen in Hessen



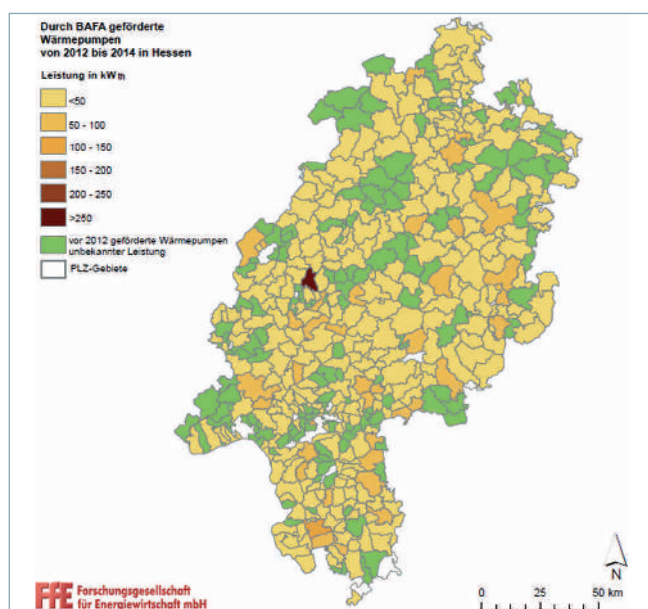
Quelle: FFE 2014

Wärmepumpen

Das BAFA fördert zudem effiziente Wärmepumpen, welche der Raumbeheizung bzw. Warmwasserbereitung von Wohngebäuden oder der Raumbeheizung bzw. Prozesswärme in Nichtwohngebäuden dienen oder direkt in ein Wärmenetz einspeisen. Für die Förderung spielt es keine Rolle, ob es sich um eine Sole/Wasser, eine Wasser/Wasser oder eine Luft/Wasser-Wärmepumpe handelt, solange sie eine fixe definierte Mindestjahresarbeitszahl vorweisen kann. Seit dem Jahr 2012 erfasst das BAFA die geförderten Wärmepumpen inklusive ihrer Leistung (vgl. [Abbildung 13](#)). So ist seit 2012 eine Wärmeleistung von ca. 9,2 MW_{th} installiert worden. Diese wird von insgesamt 724 Anlagen bereitgestellt. Seit dem Jahr 2000 sind 5.183 Anlagen von der BAFA in Hessen gefördert worden. Auffällig ist die hohe Dichte der Wärmepumpen in Biebertal (rote Fläche), was damit zu begründen ist, dass dort seit 2012 eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von insgesamt ca. 240 kW_{th} installiert ist.

Deutschlandweit sind insgesamt ca. 650.000 Wärmepumpen installiert [BWP 2013]. Die Absatzzahlen sind in den letzten Jahren jedoch leicht zurückgegangen.

Abbildung 13 | Regionale Verteilung der vom BAFA geförderten Wärmepumpen in Hessen



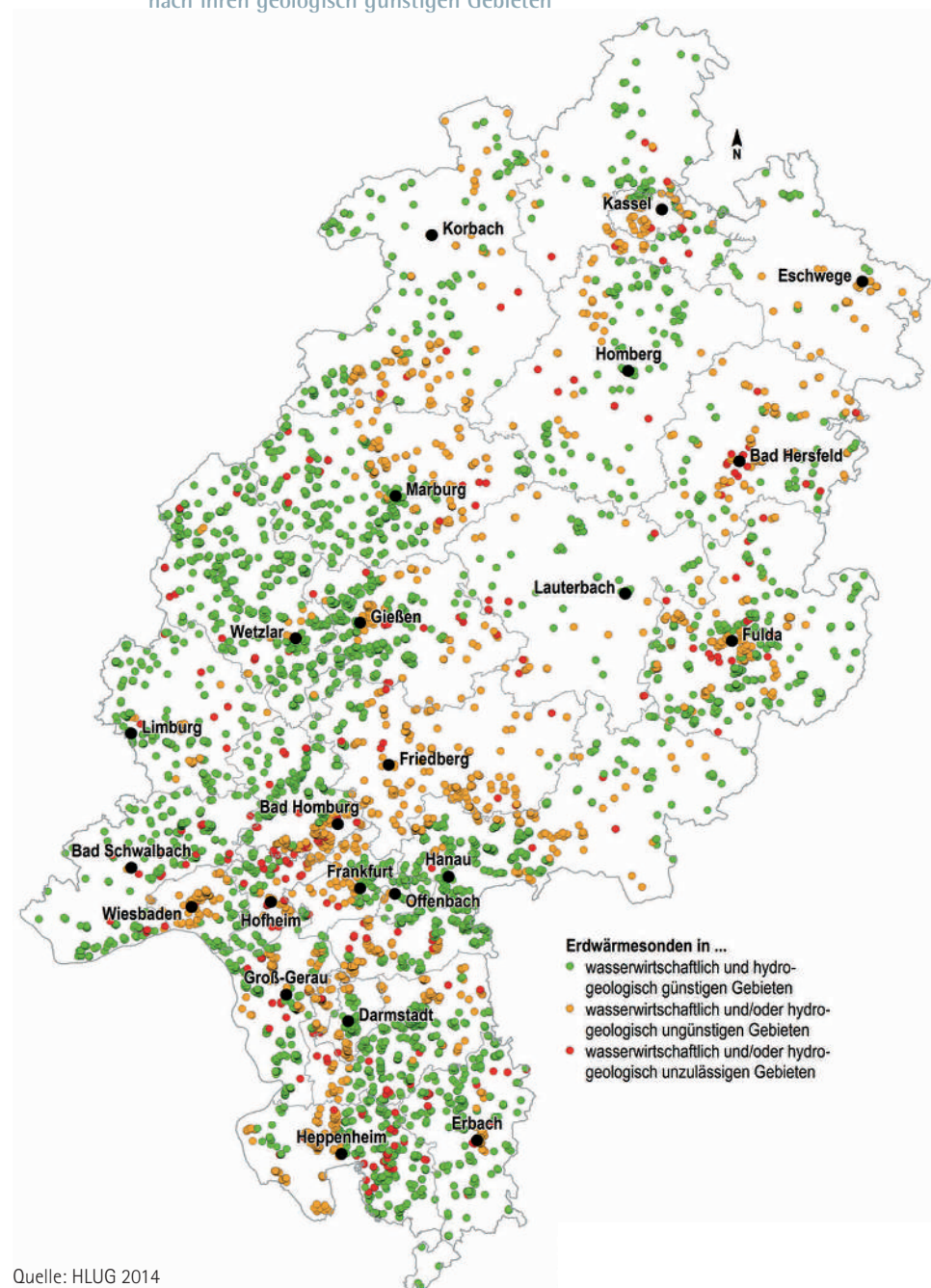
Quelle: FFE 2014

Erdwärmesonden in Kombination mit Wärmepumpen

Die installierten und genehmigten Erdwärmesonden werden in Hessen durch das hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) erfasst. In der [Abbildung 14](#) sind alle vorhandenen Erdwärmesonden dargestellt, sortiert nach hydrogeologischen günstigen (grün) bis unzulässigen Gebieten (rot). In „günstigen Gebieten“ wird bei Einhaltung der Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden eine Gefährdung des Grundwassers ausgeschlossen. In „ungünstigen Gebieten“ wird jedes Vorhaben im Einzelfall geprüft. Nach Angaben des HLUG sind in Hessen 7.650 Erdwärmesonden genehmigt worden (Stand: 18.09.2014). Im Jahr 2012 sind in Hessen 73 neue erdwärmegebundene Wärmepumpen mit einer Leistung von 1,5 MW_{th} installiert worden [Erdwärmeliga 2013]. Zum Vergleich sind in der gleichen Zeit in Deutschland 2.548 Anlagen mit einer Leistung von 36,5 MW_{th} installiert worden. Im Jahr 2013 sind in Deutschland im Bereich der oberflächennahen Geothermie (Bohrtiefe < 400 m) ca. 318.000 Anlagen (z.B. Erdwärmesonden oder -kollektoren in Verbindung mit Wärmepumpen) mit einer Leistung von 3.983 MW_{th} installiert. Allein im Jahr 2013 sind 21.100 neue Anlagen mit einer Leistung von 230 MW_{th} installiert worden. In der tiefen Geothermie (Bohrtiefe > 400 m)

sind deutschlandweit 29 Heizwerke und Heizkraftwerke in Betrieb gegangen und ca. 47 weitere sind derzeit in Planung. Die installierte Wärmeleistung dieser Kraftwerke beträgt ca. 300 MW_{th} und die elektrische Leistung ca. 31 MW_{el}, was im Jahr 2012 deutschlandweit rund 2 % der Wärmeerzeugung bzw. 0,2 % der Stromerzeugung entspricht (eigene Berechnungen nach [BDEW 2013]). In Heubach (Groß-Umstadt) wurde 2012 die erste geothermische Tiefenbohrung (ca. 800 m) durchgeführt, welche in Kombination mit einer Wärmepumpe eine Heizleistung von 90 kW_{th} erreicht. Durch diese Wärmepumpe kann ein mittelständischer Industriebetrieb mit Energie zum Heizen und Kühlen versorgt werden. Zwei weitere Projekte befinden sich in Wiesbaden und Groß-Gerau in Planung. Die Anlage in Groß-Gerau soll in einer Tiefe von 3.000 m thermales Wasser zur Erzeugung von 6 MW_{th} Wärme und 3 MW_{el} Strom nutzen [GTV 2014].

Abbildung 14 | Regionale Verteilung der Erdwärmesonden in Hessen nach ihren geologisch günstigen Gebieten



ERNEUERBARE ENERGIEN IN DER WÄRMEVERSORGUNG

2.3.2 | Hemmnisse bei der Implementierung

Nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ist in neugebauten Wohngebäuden ein gewisser Mindestanteil der Wärmeversorgung durch erneuerbare Energien zu decken. Seit Mai 2011 müssen auch Besitzer und Betreiber öffentlicher Gebäude nach einer grundlegenden Sanierung anteilig erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung einsetzen. Trotzdem ist der Anteil der erneuerbaren Energien im Wärmebereich in den letzten Jahren nicht signifikant gestiegen.

Ein Grund könnte das immer noch geringe Bewusstsein für Einsparpotenziale und den Einsatz von erneuerbaren Energien im Bereich der Wärme sein. Das mag darin begründet liegen, dass in den letzten Jahren der Fokus der öffentlichen Diskussion hauptsächlich auf dem Stromsektor lag. Ein weiterer Grund für viele Anlagenbetreiber ist die Sorge, in bestehende Systeme oder Produktionsprozesse einzugreifen, zumal mit einem solchen Eingriff auch ein Stillstand in der Produktion erforderlich wird.

Auch das bisher einzige bundeseinheitliche Förderprogramm im Bereich von Bestandsgebäuden, das Marktanreizprogramm (MAP), konnte nicht wesentlich zur Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien beitragen. Das Programm bietet über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Investitionszuschüsse für kleinere Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energien in kleinen gewerblichen/öffentlichen Objekten und in Wohngebäuden. Auch werden zur Finanzierung von Großanlagen zinsverbilligte Darlehen mit Tilgungszuschüssen von der KfW-Bankengruppe genehmigt.

Die Verlässlichkeit des Förderinstrumentes MAP wurde in den letzten Jahren allerdings mehrfach in Frage gestellt, etwa durch die Haushaltssperre im Jahr 2010. Solche Unzuverlässigkeit behindern größere Investitionen, z.B. in industrielle Anlagen, Wärme- bzw. Kältespeicher oder Wärme- bzw. Kältenetze, die über längere Zeit einen verlässlichen Planungshorizont brauchen.

Daher sind Neuerungen und Anpassungen in der jetzigen Energiepolitik notwendig, um das Potenzial im Wärmebereich schnell und nachhaltig nutzbar zu machen.

WÄRMETECHNOLOGIEN KOMPAKT

3. | Faktenbuch

In nahezu jedem Keller in Deutschland steht eine Wärmeerzeugungsanlage, da sowohl Wohnhäuser als auch Dienstleistungsanbieter oder Industriebetriebe eine Wärmequelle benötigen, um Räume zu beheizen, warmes Wasser zur Verfügung zu stellen oder um Wärme für industrielle Prozesse bereitzustellen. Laut einer Erhebung geschieht dies nur bei 29 % aller Anlagen durch effizient arbeitende Heizungsanlagen auf dem neuesten Stand der Technik. Zudem werden in nur rund 17 % der Fälle bereits erneuerbare Energien in die Wärmeerzeugung mit einbezogen. Es besteht daher ein erhebliches Optimierungspotenzial hinsichtlich einer effizienten Wärmeerzeugung.

Aus diesem Grund hat die Arbeitsgemeinschaft der Hessischen Industrie- und Handelskammern in Zusammenarbeit mit der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH dieses Faktenbuch entwickelt, um einen Überblick über die neuesten Wärmeerzeugungstechnologien zu erhalten. Darüber hinaus wird auch auf die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung sowie die alternative Kälteerzeugung durch Wärme eingegangen.

Zwar gibt es an verschiedenen Stellen ausreichend Informationsmaterial über einzelne Technologien, aber eine geschlossene Gesamtübersicht, wie sie mit dieser Studie vorgelegt wird, ist derzeit nicht verfügbar. Allerdings dient das folgende Faktenbuch nur der Erstinformation. Vor einer unternehmerischen Investitionsentscheidung für die eine oder andere Technologie sollten dann auf jeden Fall für die gewählte Technologie die einschlägigen, vertiefenden Informationsquellen genutzt werden.

Das Faktenbuch erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ersetzt keine individuelle Beratung durch einen erfahrenen Fachplaner.

3.1 | Energieträgerbetrachtung

Um Wärme für industrielle Prozesse oder die Raumklimatisierung zu erzeugen, bedarf es, neben einer geeigneten Technologie zur Wärmebereitstellung, eines passenden Energieträgers, der mit möglichst geringem Aufwand, Kosten und Umweltwirkung in nutzbare Wärme umgewandelt werden kann. Solche Energieträger können entweder direkt in der Natur zur Verfügung stehen (sogenannte Primärenergieträger, wie z.B. Kohle oder Gas) oder durch einen bzw. mehrere Umwandlungsprozesse erzeugt werden (sogenannte sekundäre Energieträger, wie z.B. Strom, Wasserstoff oder Biogas). Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Eigenschaften gängiger Energieträger, welche im Bereich der Wärmeerzeugung in der Industrie Anwendung finden. Zu beachten ist dabei, dass die angegebenen Werte lediglich als Richtwerte dienen sollen. In Abhängigkeit der jeweiligen Beschaffenheit, des Grades der Aufbereitung oder der jeweiligen Verbrauchsmengen können die Werte entsprechend variieren.

Tabelle 6 | Eigenschaften wichtiger Energieträger zur Wärmeerzeugung

Energieträger	CO ₂ -Emissionsfaktor in g CO ₂ /kWh*	Spezifischer Energieinhalt (Heizwert)	Spezifischer Preis in Euro/MWh**	Typische Anwendungen
Heizöl (leicht)	266	11,9 kWh/kg	50 - 80	KWK-Anlagen, Heizkessel, Dampfkessel
Heizöl (schwer)	280	11,2 kWh/kg	40 - 50	Heizkessel, selten Dampfkessel
Erdgas	201	9,8 kWh/m ²	30 - 50	KWK-Anlagen, Heizkessel, Dampfkessel, Direktbefuerung
Flüssiggas	234	12,8 kWh/kg	40 - 60	KWK-Anlagen, Heizkessel, Direktbefuerung
Biogas	0	5,5 - 7,0 kWh/m ²	50 - 80	KWK-Anlagen, Heizkessel, Direktbefuerung
Hackschnitzel	0	3,3 - 4,3 kWh/kg	15 - 30	KWK-Anlagen, Heizkessel
Pellets	0	3,8 - 5 kWh/kg	30 - 50	KWK-Anlagen, Heizkessel
Rapsöl	0	10,4 kWh/kg	65 - 130	KWK-Anlagen, Heizkessel
Sonnenenergie	0	-	0	Brauchwasser, Prozess- u. Raumwärme, Kälteerzeugung
Fernwärme***	0	-	50 - 85	Brauchwasser, Prozesswärme, Raumwärme
Erdwärme	0	-	25 - 80	Brauchwasser, Prozesswärme, Raumwärme
Strom	562	-	90 - 180	Brauchwasser, Prozesswärme

* ohne Vorkette | **Industrie- und Gewerbekunden, stark schwankend in Abhängigkeit der Abnahmemenge | *** Bei 100 % Erzeugung durch erneuerbare Energien

Quelle: eigene Berechnung nach UBA 2014; BMWI 2014a; LWF 2014; FNR 2014

3.2 | Wärmetechnologien

3.2.1 | Dampfkessel

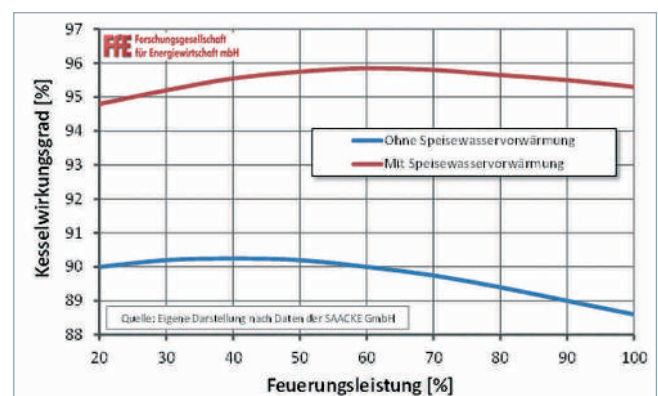
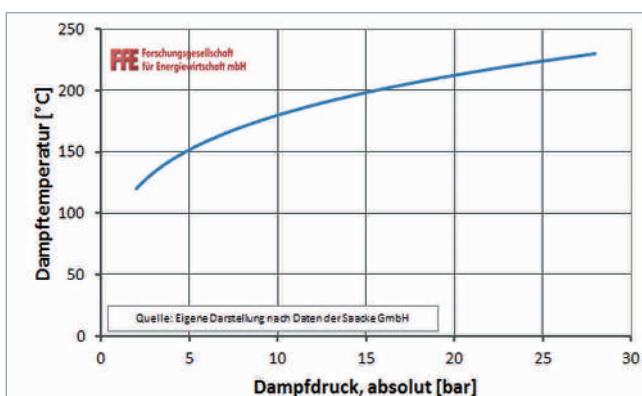
Definition

Ein Dampf- bzw. Heißwasserkessel ist ein geschlossenes System mit dem Zweck, Wasserdampf bzw. Wasser mit Temperaturen oberhalb von 110°C (über atmosphärischem Druck) zu erzeugen. Im Nachfolgenden werden ausschließlich die in der Industrie häufig eingesetzten Dampferzeuger näher betrachtet.

Aufbau und Funktionsweise

Die Größe von Dampfkesseln weist in der Praxis eine enorm hohe Spannweite auf und reicht von Kleinstdampfkesseln von wenigen kW_{th} Leistung bis hin zu Dampfkraftwerken von bis zu 1.000 MW_{th} . Ebenso groß ist die verfügbare Spannweite bei den erzeugten Dampftemperaturen bzw. Dampfdrücken. [Abbildung 15](#) zeigt den Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Dampftemperatur in einem für industrielle Anwendungen typischen Bereich von 120 bis 230°C Dampftemperatur. Es gibt jedoch auch marktreife Anlagen im Industriemaßstab, welche Dampftemperaturen von 350°C bei entsprechendem Druck bereitstellen. Die thermischen Wirkungsgrade reichen von etwa 88 bis 91 % bei Anlagen ohne zusätzliche Rauchgasabkühlung, bis hin zu 94 bis 96 % bei Anlagen mit Rauchgasabkühlung (siehe [Abbildung 16](#)). Erfolgt eine Nutzung der Energie des Rauchgases, kann diese entweder für eine Vorwärmung des Speisewassers oder für eine Brennerluftvorwärmung genutzt werden. Stehen geeignete Anwendungen (Wärmesenken) zu Verfügung, kann zudem in Brennwertübertragern zusätzlich die Kondensationswärme im Abgas zurückgewonnen werden.

Dampftemperatur in Abhängigkeit des Drucks [Abbildung 15](#) links und typischer Wirkungsgradverlauf einer Dampfkesselanlage ≤ 10 MW in Abhängigkeit der Feuerungsleistung mit und ohne Rauchgasabkühlung zur Speisewasservorwärmung [Abbildung 16](#) rechts



Quelle: LEEN 2014

Typische Bauformen von Kesseln sind

- Flammrohrkessel
- Flammrohr- Rauchrohrkessel
- Kompakte Schnelldampferzeuger
- Elektrische Dampferzeuger

Prinzipiell lässt sich der Dampf bzw. das Heißwasser mittels einer großen Vielfalt an Energieträgern erzeugen. Die Gängigsten sind derzeit Erdgas und Heizöl. Jedoch gibt es auch Anlagen auf dem Markt, die Biogas oder Abwärme aus anderen Prozessen nutzen.

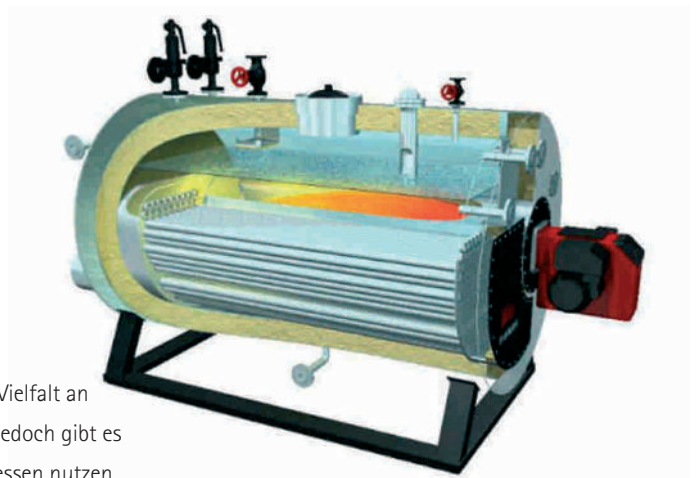


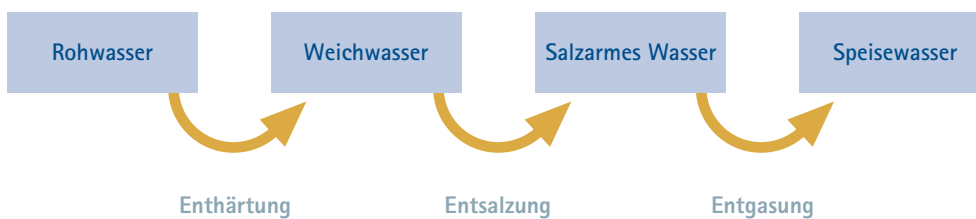
Abbildung 17 | Aufbau eines typischen Flammrohr-Rauchrohrkessels (oben) sowie eine 10 MW-Anlage im Einsatz



Quelle: TT-Boilers 2014

Allerdings sollte man beachten, dass das zu verdampfende Wasser – egal ob eigenes Brunnenwasser oder Wasser vom regionalen Versorger – vor der Verdampfung teils sehr aufwändig aufbereitet werden muss, um Verkalkung oder Verrostung zu verhindern. Hier existieren unterschiedliche Konzepte, bei denen beispielsweise Ionentauscher oder Umkehrosmoseanlagen zum Einsatz kommen. Die grundsätzliche Abfolge ist jedoch stets identisch:

Abbildung 18 | Bearbeitungskette vom Rohwasser bis zur Einspeisung in den Kessel



Quelle: LEEN 2014

Anforderungen an den Betrieb bzw. die Aufstellung von Kesselanlagen sind sowohl in der Druckgeräte-Richtlinie als auch in der Betriebssicherheitsverordnung geregelt. Nähere Informationen können beispielsweise den technischen Beiblättern des Verbandes der TÜV e.V. entnommen werden [TÜV 2014].

Dampf ist eine der teuersten Energieformen. Es gilt daher, die vielen möglichen Verlustquellen zu vermeiden, welche beim Betrieb von Dampfkessel unnötig Energie und Geld kosten. Genauso vielfältig wie die Verlustquellen sind jedoch auch die möglichen Gegenmaßnahmen, welche sich oftmals bereits innerhalb weniger Wochen oder Monate amortisieren. Die nachfolgende Auflistung zeigt die häufigsten Verlustquellen und die Möglichkeiten zu deren Behebung. Mit dieser Checkliste können Sie Ihre Anlage hinsichtlich Effizienz überprüfen. Die aufgeführten Einsparpotenziale sollen an dieser Stelle lediglich einen Anhaltspunkt liefern und sind im konkreten Fall abhängig vom Zustand und der Betriebsweise der Anlage.

Verlustquellen und ihre Vermeidung

Abgasverluste kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...ein Economizer zur Vorwärmung meines Speisewassers integriert wird.
- ...ein Luftvorwärmer meine Brennerluft vorwärmt.
- ...durch geeignete Brennwerttechnik zusätzlich Kondensationsabwärme aus meinem Abgas entzogen wird.
- ▶ Einsparpotential 3 bis 15 %. Als Faustformel gilt: je 10°C Temperaturabsenkung im Abgas 1 % Energieersparnis

Oberflächenverluste kann ich möglicherweise vermindern, wenn...

- ...eine komplette Dämmung des Kessels inklusive der anhängenden Verrohrung erfolgt.
- ...eine Absenkung des Kesseldrucks möglich ist.
- ...ein Ansaugen der Verbrennungsluft von der warmen Hallendecke möglich ist.
- ▶ Einsparpotential 0,3 bis 1 %.

Kesselstein kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...das Speisewasser korrekt aufbereitet wird.
- ...der Kessel regelmäßig gereinigt wird.
- ▶ Einsparpotential 1 bis 10 %.

Elektrische Verluste können möglicherweise vermieden werden, wenn...

- ...Frequenzumrichter an den Gebläsen und Pumpen installiert werden.
- ▶ Einsparpotential 25 bis 75 % elektrisch.

Absalzverlust kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...eine Absalzregelung eingeführt wird.
- ...der Absalzhahn korrekt eingestellt wird.
- ▶ Einsparpotential 1 bis 5 %.

Durchlüftungsverluste kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...der Brenner einen größeren Regelbereich aufweist.
- ...Regelkreise optimiert werden.
- ...teilweise eine Kesselwarmhaltung erfolgen kann.
- ▶ Einsparpotential 0,2 bis 5 %.

Luftüberschuss kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...eine elektronische Verbundregelung eingesetzt wird.
- ... O₂ bzw. CO₂-Regelungen eingesetzt werden.
- ▶ Einsparpotential 0,5 bis 1,5 %.

3.2.2 | Warm- und Brauchwasserkessel

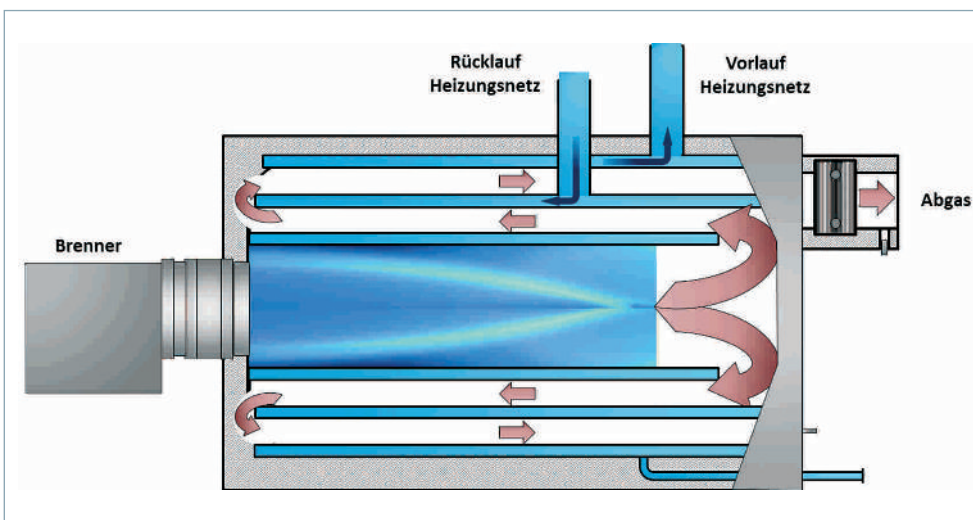
Definition

Mithilfe von Warm- und Brauchwasserkesseln (Heizkessel) wird Warmwasser auf einem Temperaturniveau von max. 110°C erzeugt. Das Leistungsspektrum reicht im Bereich des Warmwassers von einigen kW_{th} bis zu mehreren MW_{th}. Für höhere Temperaturen und gleichzeitig höheren Betriebsdruck werden spezielle Heißwasser- oder Dampfkessel eingesetzt (vgl. Faktenblatt Dampfkessel).

Aufbau und Funktionsweise

Unabhängig von Größe und Leistungsklasse ist die Funktionsweise aller Kessel prinzipiell gleich. Ein Brennstoff wird in einem Brenner bei gleichzeitiger Luft- bzw. Sauerstoffzufuhr verbrannt und dadurch die Brennkammer des Kessels erhitzt. Die gängigsten eingesetzten Brennstoffe sind derzeit Erdgas und Heizöl. Aber auch Deponiegas, Propangas, Pellets oder Hackschnitzel werden immer häufiger genutzt. Im Inneren des Kessels befindet sich eine Vielzahl an Rohrleitungen, in welchen die zu erwärmende Flüssigkeit (i.d.R. Wasser) auf die gewünschte Temperatur erhitzt wird. Die detaillierte Konstruktion und Ausführung eines Kessels (Anzahl an Rohrleitungen, Innen- und Außenverkleidung, Abgasführung etc.) hängt dabei stark von den jeweiligen Wärmeanforderungen ab.

Abbildung 19 | Prinzipieller Aufbau eines Heizkessels (Dreizugkessel), in welchem das Rauchgas durch drei unterschiedliche Zonen geleitet wird

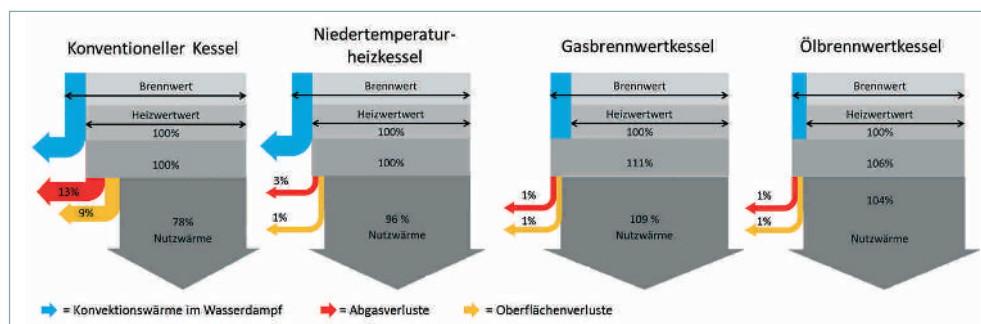


Als wichtigste Kenngrößen für die Effizienz eines Kesselsystems werden in der Regel der Kesselwirkungsgrad sowie der Nutzungsgrad verwendet. Der Wirkungsgrad ist allgemein definiert als das Verhältnis der abgegebenen Heizleistung (P_{Heiz}) zu der ihm zugeführten Leistung durch den Brennstoff (Q_{zu}).

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{P_{\text{Heiz}}}{Q_{\text{zu}}}$$

Da der Wirkungsgrad in der Regel auf den Heizwert bezogen ist, kann dieser bei Brennwertkesseln (Nutzung der im Abgas enthaltenen Kondensationswärme) – zumindest formell – größer 100 % sein (siehe [Abbildung 20](#)). Wird der Wirkungsgrad zur Erfassung aller möglichen Betriebsituationen über einen längeren Zeitraum gewichtet (meist über ein komplettes Jahr), spricht man vom sogenannten (Jahres-)Nutzungsgrad. Dieser ist daher meist geringer als der bei Normbedingungen bestimmte Wirkungsgrad. Im Bereich der Gas-/Öl-Kessel gibt es prinzipiell drei unterschiedliche Kesseltypen. Es wird zwischen konventionellen Kesseln bzw. Standardkesseln, Niedertemperaturkesseln und Brennwertkesseln unterschieden.

Abbildung 20 | Wirkungsgrade unterschiedlicher Heizkesseltechnologien



Quelle: LEEN 2014

Konventionelle Kessel (Konstanttemperaturkessel) halten das Heizwasser im Kessel konstant auf einer Temperatur von 70°C bis 90°C, unabhängig davon, ob Wärme abgenommen wird oder nicht. Diese hohen Temperaturen sind notwendig, um eine Kondensation des Abgases zu verhindern, welches im Heizsystem zu Korrosion führen würde. Allerdings kommt es zu hohen Betriebsbereitschafts- und Abstrahlungsverlusten.

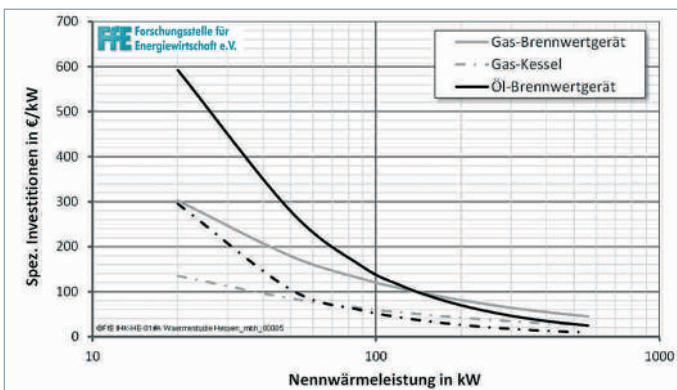
Niedertemperaturkessel passen dagegen ihre Kesseltemperatur den Außentemperaturen an. So kann die Kesseltemperatur beispielsweise zwischen 75°C an kalten und 45°C an milden Tagen geregelt werden. Dadurch werden die Kesselverluste stark reduziert und der Kessel kommt dadurch auf hohe Jahresnutzungsgrade. Um den Kessel vor der Korrosion durch Kondenswasser zu schützen, sind Niedertemperaturkessel mit Edelstahl oder Emaille ausgestattet.

Brennwertkessel bilden den heutigen Stand der Technik. Neben der anpassbaren Kesseltemperatur wird in einem Brennwertkessel zusätzlich die Kondensationswärme des Wasserdampfs im Abgas des Kessels durch einen Wärmetauscher genutzt. Kaltes Speisewasser wird durch den Wärmetauscher geleitet, welcher von dem heißen Abgas umströmt wird. Das Wasser kühlt das Abgas hierbei auf z.B. 45°C ab. Dadurch kommt es zur Kondensation des Wasserdampfs und eine Aufwärmung des Speisewassers. Bei einem Betrieb mit Erdgas wird dadurch eine bessere Brennstoffausnutzung von ca. 11 % erreicht.

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten von Kesselsystemen variieren je nach Brennstoff und Anlagengröße. Generell gilt, dass die spezifischen Kosten bei steigenden Modulgrößen sinken. Im Besonderen ist dies bei den Brennwertgeräten zu beobachten, welche in einer Leistungsklasse von 750 kW ähnlich teuer sind wie vergleichbare Kessel ohne Wärmetauscher. Brennwertgeräte sind auf Grund ihres komplexeren Aufbaus generell in der Anschaffung teurer als vergleichbare Standardkessel. Für den Bau und den Betrieb von Feuerungsanlagen sind bestimmte Genehmigungsverfahren bzw. Durchführungsverordnungen (etwa das Bundes-Immissionsschutzgesetz) zu beachten.

Abbildung 21 | Wirkungsgrade unterschiedlicher Heiztechnologien



Quelle: DELOITTE 2011

Verlustquellen und ihre Vermeidung

Abgasverluste kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...eine Vorwärmung meines Rücklaufes und/oder meiner Brennerluft erfolgt.
- ...durch geeignete Brennwerttechnik zusätzlich Kondensationsabwärme aus meinem Abgas entzogen wird.
- ▶ Einsparpotential 3 bis 15 %.

Oberflächenverluste kann ich möglicherweise vermindern, wenn...

- ...eine komplette Dämmung des Kessels inkl. der anhängenden Verrohrung erfolgt.
- ...eine Absenkung des Kesseldrucks bzw. der Vorlauftemperatur möglich ist.
- ▶ Einsparpotential 0,3 bis 1 %.

Elektrische Verluste können möglicherweise vermieden werden, wenn...

- ...Frequenzumrichter an den Gebläsen und Pumpen installiert werden.
- ▶ Einsparpotential 25 bis 75 % elektrisch.

Durchlüftungsverluste kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...der Brenner einen größeren Regelbereich aufweist.
- ...Regelkreise optimiert werden.
- ...teilweise eine Kesselwarmhaltung erfolgen kann.
- ▶ Einsparpotential 0,2 bis 5 %.

Luftüberschuss kann ich möglicherweise vermeiden, wenn...

- ...eine elektronische Verbundregelung eingesetzt wird.
- ... O₂ bzw. CO-Regelungen eingesetzt werden.
- ▶ Einsparpotential 0,5 bis 1,5 %.

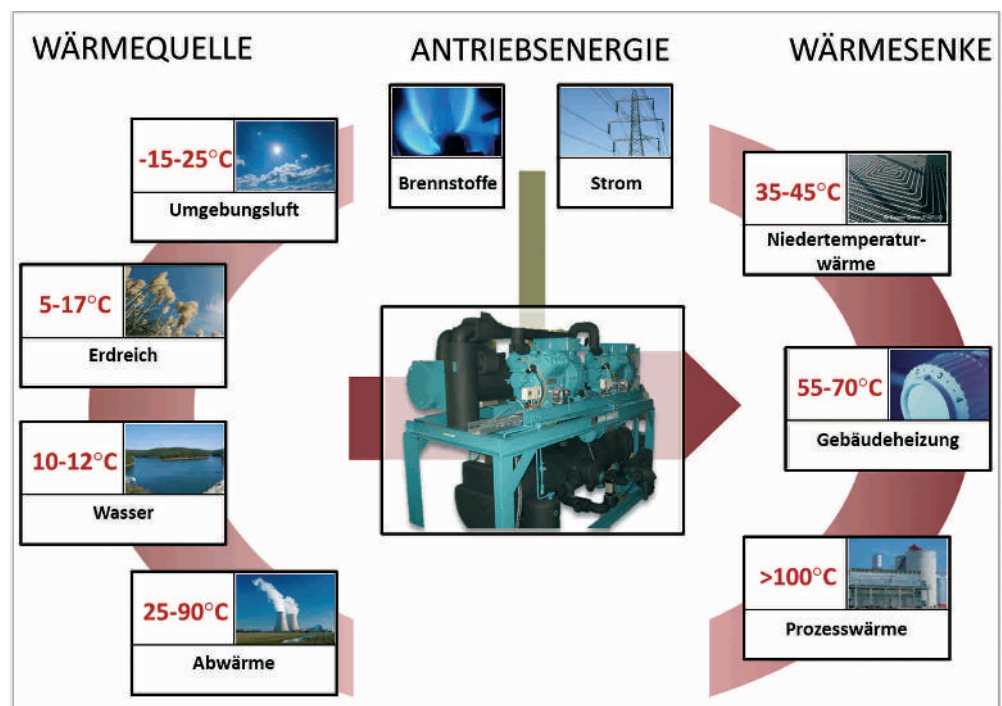
Quelle: Tabelle nach /Schult 2013/

3.2.3 | Wärmepumpe

Definition

Wärmepumpen können der Umgebung Wärme entziehen und diese unter Aufwendung von Arbeit auf einem höheren Temperaturniveau zur Verfügung stellen. Dadurch können sonst nicht direkt nutzbare Wärmequellen, wie z.B. Grundwasser, Erdwärme oder Außenluft, für Heizzwecke nutzbar gemacht werden. In der Industrie kann durch den Einsatz von Wärmepumpen auch die ansonsten teilweise nicht mehr nutzbare Abwärme mit Temperaturen von 25-90°C genutzt werden. Einsatzgebiete für Wärmepumpen innerhalb eines Industriebetriebes sind überall dort, wo moderate Temperaturen bis zu 100°C (in Ausnahmefällen bis zu 150°C) benötigt werden. Neben der Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme eignen sich Wärmepumpen im Besonderen für Trocknungsprozesse, da die Wärmepumpen auch sehr gut zur Entfeuchtung eingesetzt werden können. Generell sind auf dem Markt Wärmepumpen in Leistungsklassen ab ca. 2 kW_{th} bis 20 MW_{th} verfügbar.

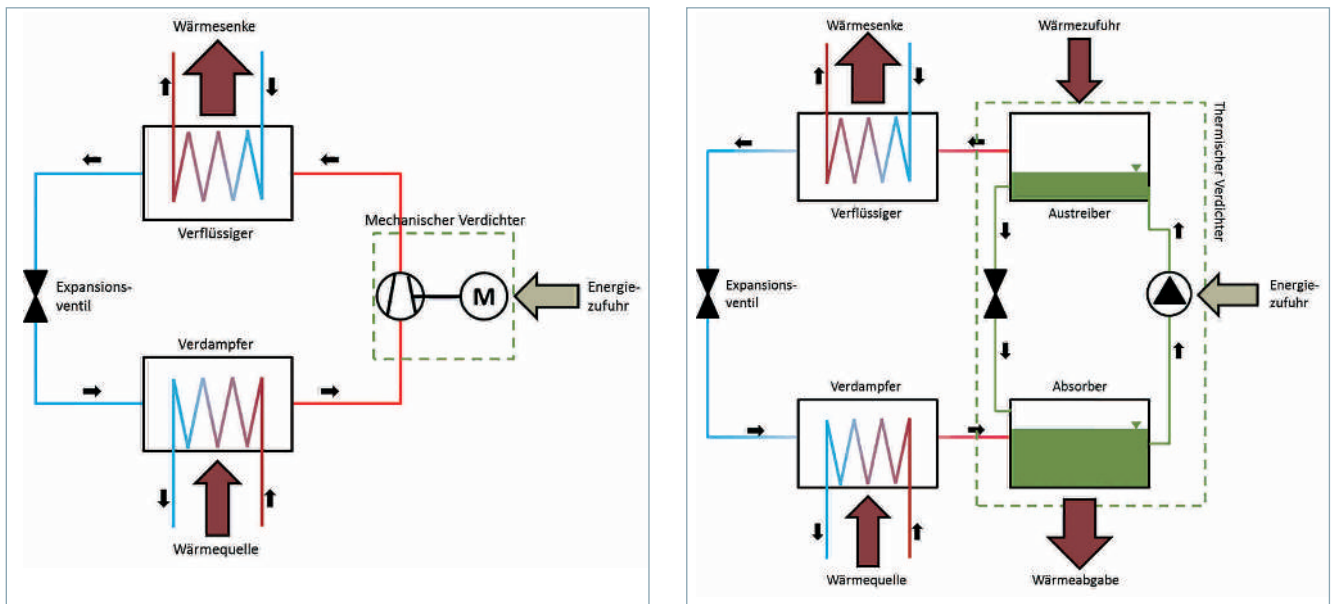
Abbildung 22 | Wärmequellen und -senken einer Wärmepumpe



Aufbau und Funktionsweise

Im industriellen Bereich werden zumeist Kompressionswärmepumpen, welche mit Elektro- oder Verbrennungsmotoren betrieben werden, oder Absorptionswärmepumpen, welche mit Hilfe von Wärme angetrieben werden, verwendet. **Abbildung 23** zeigt die schematische Funktionsweise der beiden Wärmepumpensysteme.

Abbildung 23 | Funktionsprinzip: Kompressionswärmepumpe (links) und Absorptionswärmepumpe (rechts)



Quelle: LEEN 2014

In einer Wärmepumpe wird als Arbeitsmedium ein Kältemittel eingesetzt, das schon bei niedrigen Temperaturen verdampft. Als Kältemittel eignen sich beispielsweise Ammoniak, Chlorfluorkohlenwasserstoffe (R134a, R407C) oder Propan. Im Verdampfer entzieht das Kältemittel der Umgebung so viel Wärme, dass dieses verdampft. Daraufhin wird das gasförmige Kältemittel im Verdichter komprimiert und der Druck erhöht, was mit einem Temperaturanstieg verbunden ist. Im Verflüssiger kondensiert das Kältemittel und gibt die Wärme inklusive Kondensationswärme an das Heizsystem ab. Durch das Expansionsventil wird das Kältemittel anschließend auf niedrigeren Druck und Temperatur entspannt, wodurch es bereits teilweise verdampft. Anschließend wird es dem Verdampfer wieder zugeführt, so dass der Kreislauf geschlossen ist. Bei Kompressionswärmepumpen wird der Verdichter durch einen Elektro- oder Verbrennungsmotor angetrieben. Bei den Absorptionsmaschinen wird ein thermischer Verdichter verwendet. Dieser besteht aus einem Absorber, Austreiber, einer Lösungsmittelpumpe sowie einem Expansionsventil. Das Kältemittel wird unter Wärmeabgabe vom Lösungsmittel absorbiert. Das Gemisch wird anschließend durch Druck und Wärmezufuhr im Wärmearstreiber wieder voneinander getrennt. Absorptionswärmepumpen eignen sich dadurch besonders dazu, Abwärme auf einem sehr hohen Temperaturniveau (bis zu mehreren 100°C im thermischen Verdichter) zu nutzen.

Die Wärmepumpe kann auf unterschiedliche Art und Weise in ein Unternehmen eingebunden werden. Sie kann entweder allein (monovalenter Betrieb) für die Wärmebereitstellung verantwortlich sein oder in einem bivalent-alternativen oder bivalenten-parallelen Betrieb mit einem Heizkessel betrieben werden. Beim ersteren ist entweder die Wärmepumpe oder der Heizkessel in Betrieb, bei der zweiten Betriebsweise laufen Heizkessel und Wärmepumpe zeitweise parallel.

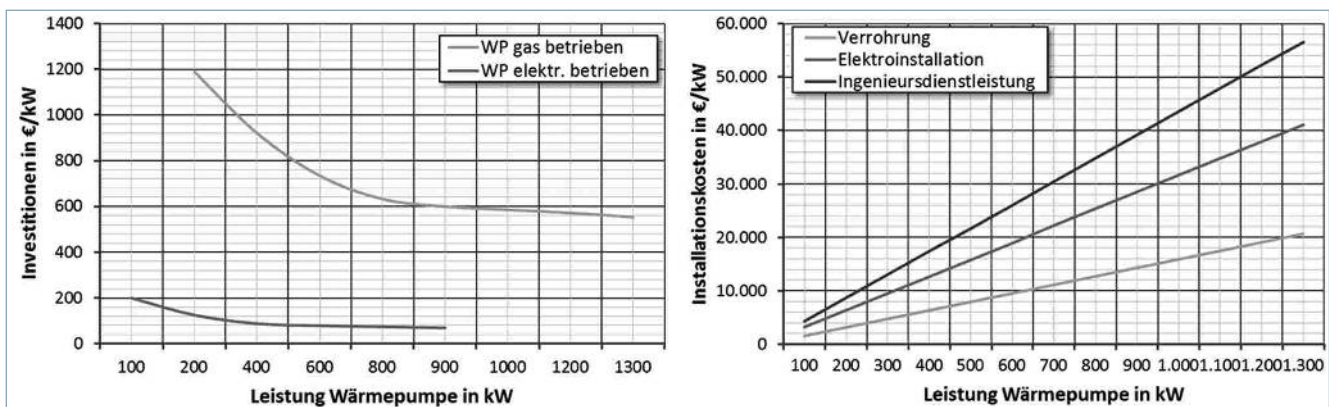
Wirtschaftlichkeit

Die zentrale Kenngröße hinsichtlich der Effizienz einer Wärmepumpe ist das Verhältnis von der elektrischen Leistung des Verdichters plus Hilfsenergie und der Wärmeleistung des Verflüssigers. Dieses Verhältnis wird als COP-Wert (Coefficient of Performance) bezeichnet und gibt die Effizienz an einem bestimmten Betriebspunkt wieder. Bei gasbetriebenen Wärmepumpen sprechen wir bezüglich der Effizienz von der Heizzahl. Sie ist das Verhältnis von gewonnener Heizwärme zur eingesetzten Energie. Für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems ist jedoch die Jahresarbeitszahl (JAZ) ausschlaggebend. Diese setzt sich zusammen aus dem Quotienten aus der an das Heizsystem im Laufe eines Jahres abgegebenen Wärmeenergie zur aufgenommenen elektrischen Arbeit. Laut der Deutschen Energie und Netzagentur (DENA) ist eine JAZ von größer 3 als effizient anzusehen. Die Zahl bedeutet, dass aus 1 kWh Strom 3 kWh an Wärme erzeugt werden können. Neben den reinen Investitionen für die Wärmepumpe müssen noch zusätzliche Kosten, wie z.B. die Erschließung der Wärmequelle und die Integration in das Heizsystem, berücksichtigt werden. Je nach Art der Wärmepumpe müssen möglicherweise das Wasserhaushaltsgesetz und/oder das Bundesbergbaugesetz für den Bau berücksichtigt werden. In einigen Regionen können zusätzlich weitere Verordnungen hinzukommen, die für den Schutz der jeweiligen Gebiete notwendig sind. Sie sollten sich daher rechtzeitig bei der zuständigen Verwaltungsbehörde erkundigen, um unnötige Planungskosten und zeitliche Verzögerungen zu vermeiden. Ein erster Ansprechpartner für Genehmigungsfragen sind beispielsweise die Regierungspräsidien in Hessen.

Tabelle 7 | Mindest-COP-Werte bzw. Heizzahlen für förderfähige Wärmepumpen nach BAFA

Medien	COP	Heizzahl
Luft (2°C) Wasser (35°C)	3,1	1,24
Sole (0°C) Wasser (35°C)	4,3	1,72
Wasser (10°C) Wasser (35°C)	5,1	2,04

Abbildung 24 | Spezifische Investitionen und Installationskosten für Wärmepumpen



Quelle: Blesl 2008

Das Wichtigste in Kürze

Eine Wärmepumpe kommt für mich in Frage, wenn...

- ...Grundwasser oder Erdwärme als Wärmequelle eingesetzt werden kann bzw. darf.
- ...nicht weiter nutzbare Abwärmequellen auf niedrigem Temperaturniveau vorhanden sind.
- ...Niedertemperatur-(z.B. Fußbodenheizung, Raumwärme) oder Prozesswärme bis max. 150°C benötigt wird.

Generelle Vorteile von Wärmepumpen

- Geringer Wartungsaufwand und geringer Platzbedarf
- Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern
- Wenn keine Wärmeabnahme vorhanden, Nutzbarkeit auch zur Kühlung
- Förderung der Installation durch Zuschüsse und zinsgünstige Kredite
- Nutzung des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien im Strommix für die Wärmeerzeugung

Generelle Nachteile von Wärmepumpen

- Begrenzte Vorlauftemperatur von Wärmepumpen und damit ein Nachteil bei älteren Heizkörpern
- Optimaler Wirkungsgrad meist nur bei niedrigen Vorlauftemperaturen (35 - 40°C)
- Nur effiziente Wärmepumpen mit hohen JAZ (i.d.R. 4) haben aktuell eine bessere Klimabilanz als beispielsweise Gaskessel mit gleicher Heizleistung.

3.2.4 | Kraft-Wärme-Kopplung

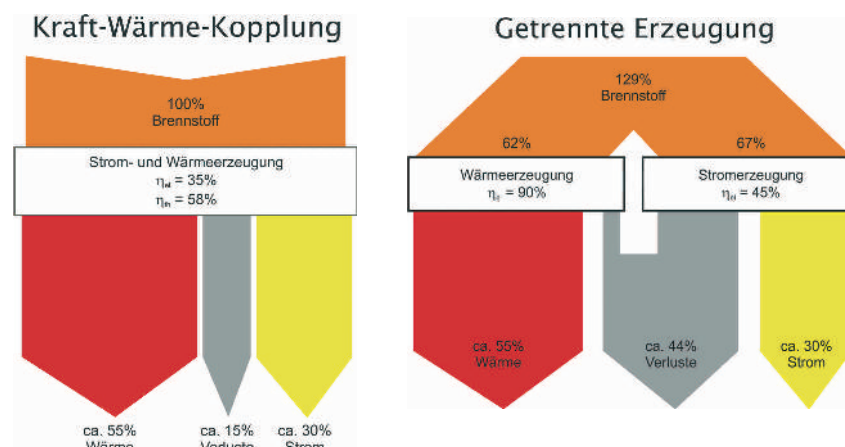
Definition

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bezeichnet die gleichzeitige Gewinnung von elektrischer Energie und nutzbarer Wärme. Der Vorteil der KWK im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme ist der wesentlich verbesserte Brennstoffnutzungsgrad.

Aufbau und Funktionsweise

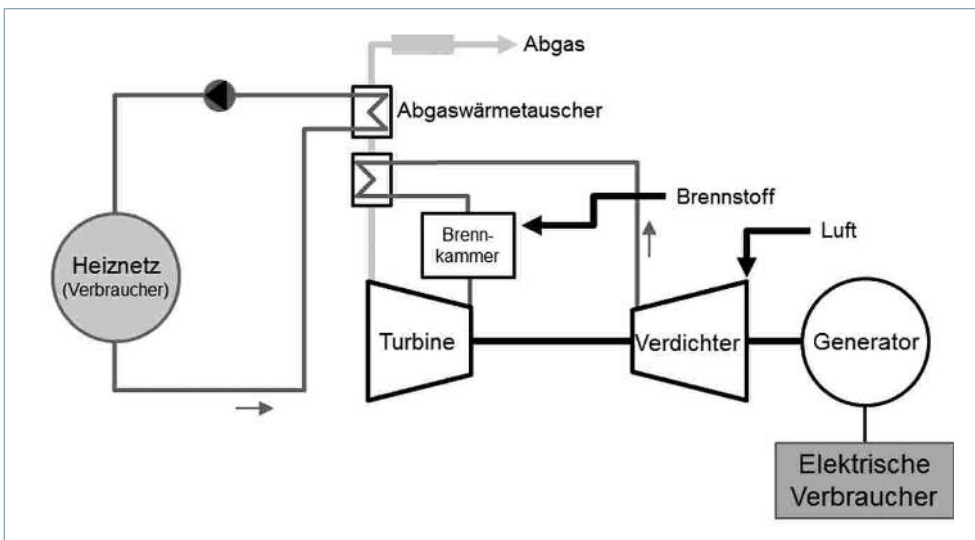
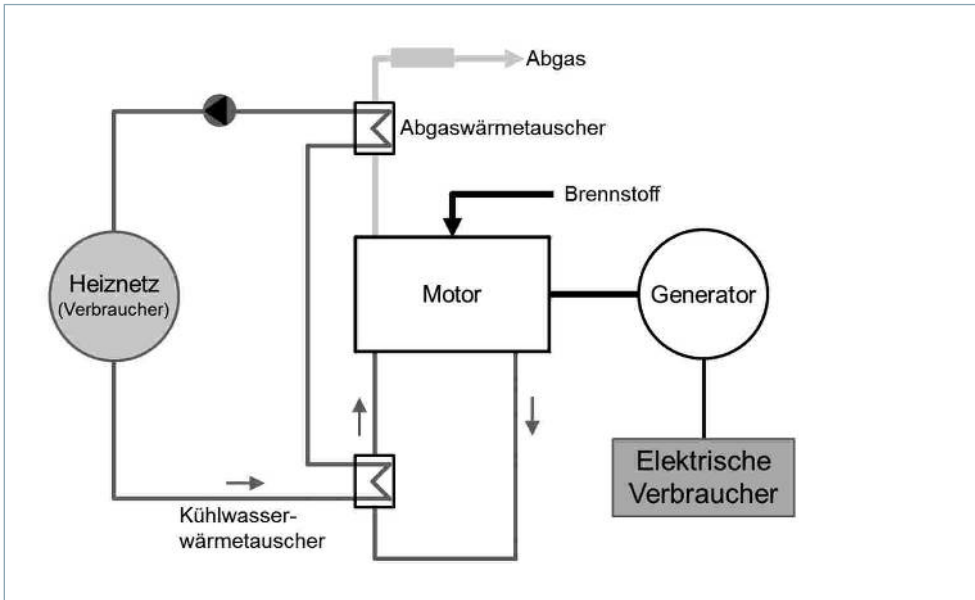
KWK-Konzepte decken ein Leistungsspektrum von 1 kW bis hin zu mehreren 100 MW ab. Die elektrischen Wirkungsgrade reichen von etwa 25 % bei Motoren mit kleineren Leistungen bis über 40 % bei Großmotoren; die thermischen Wirkungsgrade variieren zwischen etwa 60 % bei den kleinen und ca. 45 % bei großen Motoren. Kleinere bis mittelgroße Anlagen für den Einsatz in Industrie, GHD oder Privathaushalten werden als sogenannte Blockheizkraftwerke (BHKW) bezeichnet, welche meist entweder auf dem klassischen Kolbenmotorprozess oder auf dem Gas- bzw. Dampfturbinenprozess basieren. Die gängigsten Brennstoffe sind derzeit Erd- bzw. Biogas oder Heizöl. Jedoch gibt es auch Anlagen auf dem Markt, welche mit Raps- bzw. Palmöl, Deponiegas, Propangas oder Hackschnitzeln betrieben werden können. Zusätzlich zum erzeugten Strom wird bei Kolbenmotoranlagen die Abwärme aus der Motorkühlung sowie wahlweise die Abwärme des Abgases genutzt. Bei (Mikro-)Gasturbinen wird ausschließlich die Abwärme des Abgases für Heizzwecke genutzt. Durch die Nutzarmachung der Abwärme lassen sich Gesamtwirkungsgrade von 80 % bis über 90 % erreichen.

Abbildung 25 | Energieflüsse bei gekoppelter KWK-Erzeugung (links) sowie getrennter konventioneller Erzeugung (rechts)



Quelle: LEEN 2014

Abbildung 26 | Schematische Darstellung der Funktionsweise von Motor-BHKWs (oben) und (Mikro)-Gasturbinen (unten)



Quelle: LEEN 2014

Prinzipiell gibt es drei Möglichkeiten eine KWK-Anlage auszulegen bzw. zu betreiben:

Bei der wärmegeführten Betriebsweise wird die Anlage auf den benötigten Wärmebedarf ausgerichtet. Im Idealfall erfolgt eine Abdeckung der Wärmegrundlast über die KWK-Anlage. Nicht benötigter Strom wird in das Stromnetz eingespeist.

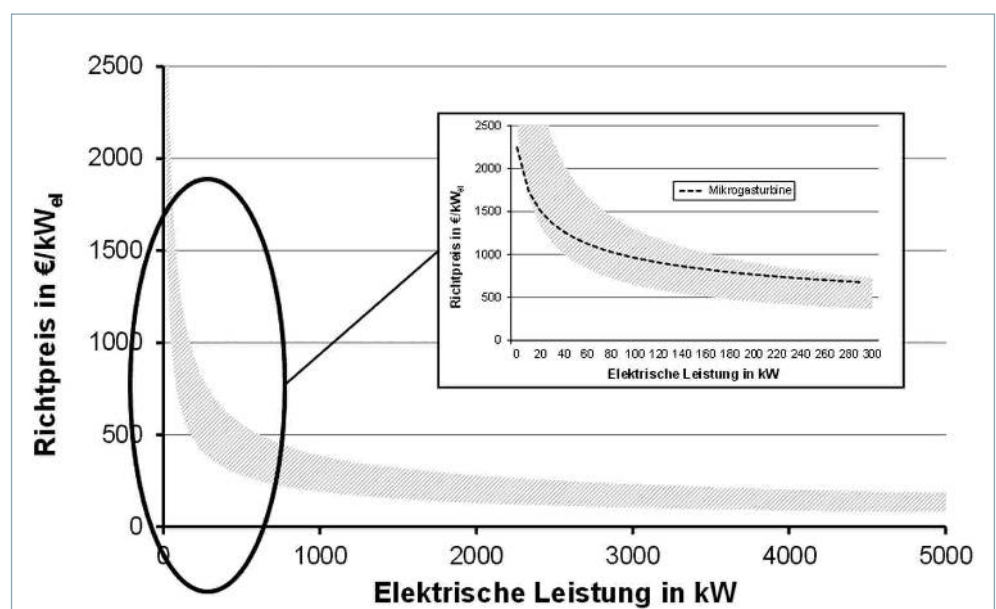
Bei der stromgeführten Betriebsweise steht primär die Stromerzeugung im Vordergrund, wobei der gesamte erzeugte Strom möglichst selbst verbraucht wird. Nicht nutzbare Wärme wird entweder abgeführt oder gespeichert.

Bei einer kombinierten Betriebsweise werden die zuvor beschriebenen Fahrweisen mit dem Fokus auf möglichst geringe Betriebskosten kombiniert.

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten von BHKW-Modulen variieren je nach Brennstoff und Modulgröße. Generell gilt, dass die spezifischen Kosten bei steigenden Modulgrößen sinken. Heizölmodule sind in der Regel die Günstigsten in der Anschaffung, Biogas- oder Rapsölanlagen die Teuersten. Zu beachten gilt es jedoch, dass die Modulkosten nur einen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Planung, zusätzliches Zubehör oder bauliche Maßnahmen erhöhen die Gesamtkosten teils erheblich. Förderungen gibt es derzeit ausschließlich für Anlagen kleiner 20 kW_{el} (BAFA). Neben der technischen Planung müssen jedoch auch eine Reihe behördlicher und gesetzlicher Auflagen erfüllt werden, welche beispielsweise in der Hessischen Landesbauordnung oder im Bundesimmissionsschutzgesetz geregelt werden.

Abbildung 27 | Spezifische Investitionen von KWK-Anlagen



Quelle: Eigene Darstellung nach ASUE 2011

Praxisbeispiel: Rahmendaten und Ergebnisse einer KWK-Anlage

Elektrische Leistung des BHKW	500 kW
Elektrischer Wirkungsgrad des BHKW	40 %
Thermischer Wirkungsgrad des BHKW	50 %
Volllaststunden des BHKW	5.000 h
Brennstoff	Erdgas
Abschreibungsdauer	10 Jahre
Derzeitige Stromkosten in Euro/MWh	140 Euro MWh
Kalkulationszinssatz	4 %
Brennstoffkosten	36 Euro MWh
Gesamtkosten inklusive Montage, Planung etc.	532.000 Euro
Davon KWK-Anlage	266.000 Euro
Jährliche zusätzliche Brennstoffbezugskosten	225.000 Euro Jahr
Vermiedene Brennstoffbezugskosten zur Wärmeerzeugung	118.421 Euro Jahr
Vermiedene Strombezugskosten durch Eigennutzung	350.000 Euro Jahr
Statische Amortisationszeit	2 Jahre
Interne Verzinsung	60 %

Anwendungsbeispiel

Eine 500 kW_{el} Motor-KWK-Anlage wird zur Wärmeversorgung von thermischen Heizbädern in einem metallverarbeitenden Betrieb bei gleichzeitig kompletter Eigennutzung des erzeugten Stroms installiert. Die benötigte Wärme wird über die Motorkühlung mittels 90°C Heißwasser bei einer Spreizung von 20°C bereitgestellt. Der Strompreis des Unternehmens beträgt 140 Euro/MWh. Der Bezugspreis von Erdgas beläuft sich auf 36 Euro/MWh. Die spezifischen Investitionen für die Anlage belaufen sich auf ca. 500 Euro/kW_{el}. Der KWK-Bonus, die Energiesteuerrückerstattung sowie eine für Neuanlagen anteilig zu zahlende EEG-Umlage von 40 % auf die Eigenstromerzeugung werden ebenfalls mit berücksichtigt. Bei 5.000 Vollaststunden beträgt die Amortisationszeit bei diesem besonders günstigen Fall ca. 2 Jahre.

Das Wichtigste in Kürze

KWK kommt für mich in Frage wenn...

- ...möglichst ganzjähriger Wärmebedarf im Unternehmen vorhanden ist.
- ...möglichst ganzjähriger Strombedarf mindestens in etwa gleicher Höhe wie der Wärmebedarf vorhanden ist.

Generelle Vorteile KWK

- Effizientere Brennstoffausnutzung im Vergleich zur getrennten Erzeugung
- Versorgungssicherheit durch dezentrale Eigenerzeugung, Notstrombetrieb möglich
- Abwärme auf verschiedensten Temperaturniveaus nutzbar (Warmwasser von 80 bis 110°C bei Kolbenmotoren oder höhere Temperaturniveaus bei Mikrogasturbinen, eine Dampfauskopplung in Spezialausführungen möglich)
- Unter bestimmten Voraussetzungen Befreiung von der Mineralöl- und / oder Stromsteuer
- Einsatz und Integration erneuerbarer Energien möglich

Vorteile Kolbenmotorsysteme

- Geringere spezifische Investitionen als (Mikro-) Gasturbinen vergleichbarer Leistungsklasse
- Höherer elektrischer Wirkungsgrad
- Hochleistungskolbenmotoren haben in höheren Leistungsbereichen ein besseres Teillastverhalten

Vorteile (Mikro-)Gasturbinen

- Keine konstante Temperaturspreizung für Vorlauf und Rücklauf notwendig
- Wirkungsgrad relativ konstant über großes Lastspektrum
- Niedrigere Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Abgas in der Regel ohne Aufbereitung nutzbar

Nachteile Kolbenmotorsysteme

- Relativ konstante Temperaturspreizung für Vorlauf und Rücklauf notwendig
- Relativ stark sinkender Wirkungsgrad in unteren Lastbereichen
- Höhere Wartungskosten

Nachteile (Mikro-)Gasturbinen

- Höhere spezifische Investitionen
- Geringerer Wirkungsgrad als Kolbenmotor-Anlagen vergleichbarer Leistungsklasse
- Oft externe Gasverdichter zur Erzeugung der hohen Brenngasdrücke von 3 bis 8 bar notwendig

3.2.5 | Nah-/ Fernwärme

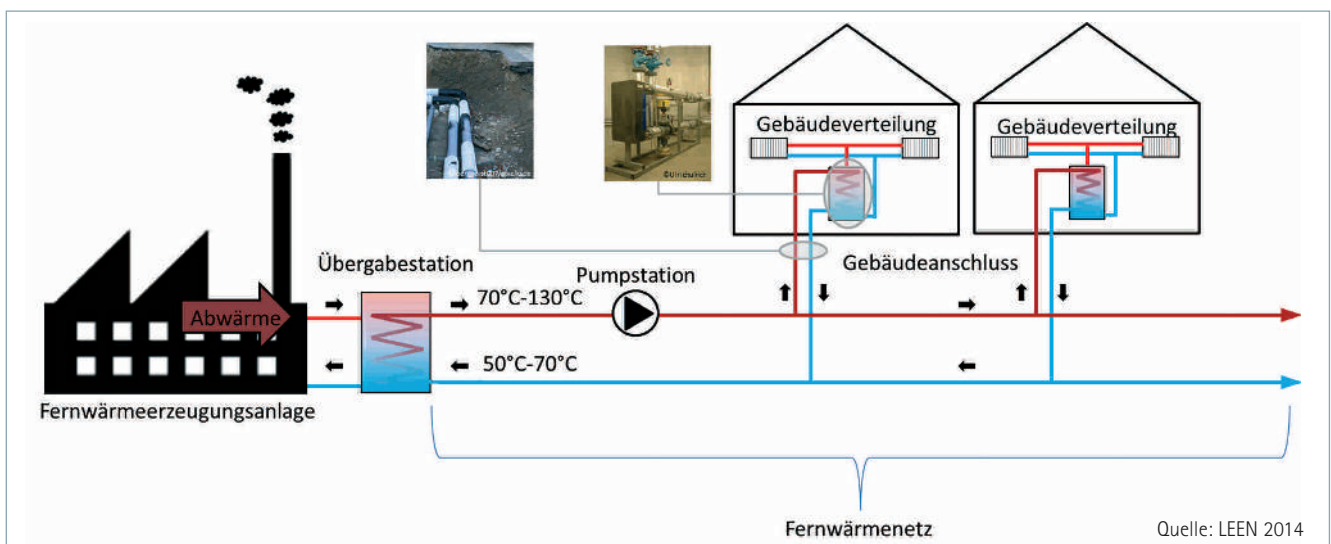
Definition

Wird die thermische Energie in einem wärmegeprägten Rohrsystem (als Frei- oder Erdleitung) vom Erzeuger zum Verbraucher transportiert, spricht man bei längeren Distanzen und der Versorgung ganzer Städte bzw. Stadtteile von Fernwärme und bei Leitungssystemen für einzelne Gebäude, Gebäudeteile oder Wohnsiedlung in unmittelbarer Umgebung von Nahwärme.

Aufbau und Funktionsweise

Ein Fernwärmeversorgungssystem setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen: Fernwärmeerzeugungsanlage, Übergabestation, Pumpstation und Druckhaltungsanlage, Fernwärmenetz, Gebäudeanschluss und Gebäudeverteilung.

Abbildung 28 | Aufbau der Fernwärmeversorgung

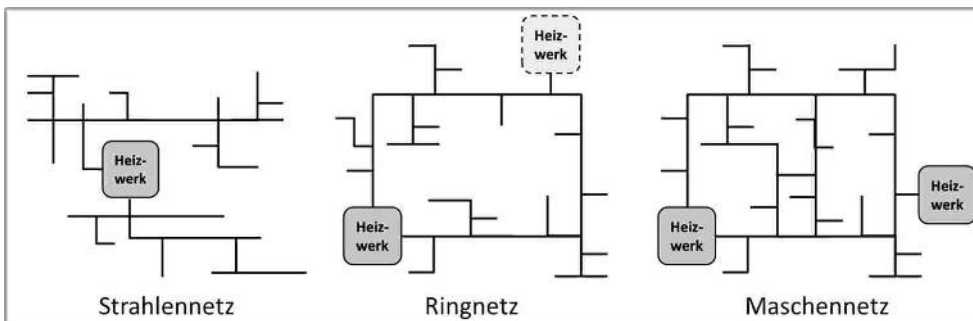


Der Vorteil von Wärmenetzen ist, dass die Wärme oftmals hocheffizient mittels zentraler Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird oder erneuerbare Energiequellen wie Geothermie, Grundwasser, Biomasse und „industrielle Abwärme“ in das gleiche Wärmenetz eingespeist werden können. Daher weist Fernwärme in der Regel einen vergleichsweise niedrigen Primärenergiefaktor auf. Dies führt dazu, dass Fernwärme eine gute Möglichkeit darstellt, die immer strenger werdenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) zu erfüllen, welche den zulässigen Jahresprimärenergiebedarf von Gebäuden immer weiter begrenzt.

Als Wärmeträger wird meistens Heißwasser in einem Zweileitersystem auf einem Temperaturniveau von 70 bis 130°C im Vorlauf und 30 bis 70°C im Rücklauf eingesetzt. In Industriegebieten kann auch Dampf (Temperaturniveau 120 bis 150°C) als Wärmeträger eingesetzt werden. Dampfnetze bestehen aus einer Dampf- und einer Kondensatleitung. Der minimale Druck im Netz richtet sich stets nach der tiefsten und weitesten entfernten Stelle im Netz. Zudem darf auch bei Druckstößen der zulässige Druck nicht überstiegen werden. In Deutschland wird das Rohrsystem nach den Nenndruckstufen ND 16 oder ND 25 (16 bar oder 25 bar bei 20°C Raumtemperatur) ausgelegt. Die Strömungsgeschwindigkeit in den Netzen sollte im Bereich von 1 bis 2 m/s liegen.

Das Leitungssystem besteht größtenteils aus erdverlegten, mit Kunststoff ummantelten Stahlrohren (Fernwärme, bis zu 130°C und 25 bar) oder flexiblen Kunststoffrohren (bei Nahwärme, bis 95°C und 6 bis 16 bar). Die Verteilungsstruktur der Fernwärmenetze ist hierbei sowohl von der Gesamtlänge als auch von der Anzahl der angeschlossenen Verbrauchern und Erzeuger abhängig. Es werden drei unterschiedliche Netztypen definiert. Für kleine und mittlere Fernwärmenetze eignet sich das Strahlennetz am besten, da hier die geringste Trassenlänge gebraucht wird. In einem Ringsystem ist die Einbindung verschiedener Erzeuger einfacher möglich, was die Versorgungssicherheit erhöht und eine einfachere Erweiterbarkeit ermöglicht. Maschennetze werden aufgrund hoher Investitionen, aber optimaler Versorgungssicherheit und besserer Erweiterungsmöglichkeiten nur für große Wärmeverteilungsnetze verwendet.

Abbildung 29 | Unterschiedliche Verteilung von Fernwärmenetzen



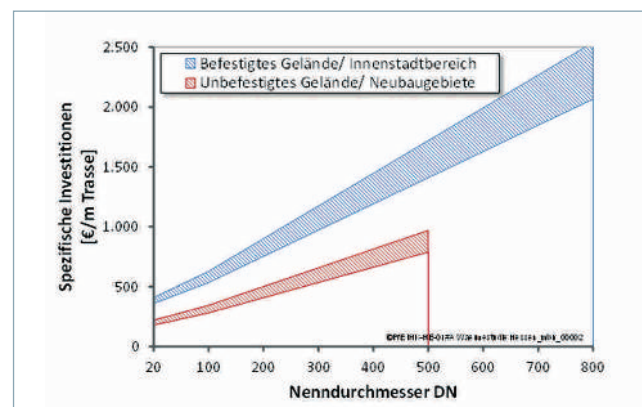
Quelle: LEEN 2014

Fernwärme kann in einem Unternehmen für die Raumheizung, für die Bereitstellung von Warmwasser und zum Teil als Prozesswärme genutzt werden. Überschüssige Abwärme, die nicht selbst im Unternehmen genutzt wird, kann in ein Fernwärmenetz eingespeist werden und dem Unternehmen auf diese Weise eine zusätzliche Vergütung erbringen. Für große Unternehmen oder Standorte innerhalb eines Industrieparks können auch eigene Nahwärmenetze sinnvoll sein.

Wirtschaftlichkeit

Je weiter die Wärme transportiert werden muss, desto höher sind die Verluste im Verteilungssystem. Daher eignet sich vor allem eine dichte bebaute Fläche oder die Nutzung in einem kleinen betriebsinternen Nahwärmenetz. **Abbildung 30** zeigt die spezifischen Kosten in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers und pro Meter Leitung. Zum Anschluss an ein bestehendes Netz fallen lediglich Kosten in Höhe der Übergabestation und des Hausanschlusses an. Aufgrund der hohen Kosten von Fernwärmeleitungen ist eine kostengünstige Erzeugung z.B. aus KWK-Anlagen oder die Nutzung von Abwärme Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit eines Netzes. Informationen zu Genehmigungsverfahren für Nah- und Fernwärmenetze erhalten Sie bei der hessenENERGIEGesellschaft für rationelle Energienutzung mbH.

Abbildung 30 | Spezifische Investitionen pro Meter Trasse



Quelle: LEEN 2014

Das Wichtigste in Kürze

Nutzung von Fernwärme/Nahwärme kommt für mich in Frage, wenn...

- ...Wärmeverbraucher mit einem dauerhaft benötigten Temperaturniveau von 70 bis 130°C vorhanden sind (Nutzung).
- ...möglichst ein bestehendes Fern- bzw. Nahwärmenetz in der Nähe ist (Nutzung).
- ...sich mehrere Betriebe mit ähnlichen Anforderungen in räumlicher Nähe finden (Wärmenetz Neubau).
- ...möglichst große ungenutzte Abwärmemengen mit Temperaturen (> 70°C) anfallen (Einspeisung).

Vorteile von Fernwärme/Nahwärme als Energiequelle gegenüber Kessellösungen mit Heizöl bzw. Erdgas

- Sehr geringer Betriebs- und Wartungsaufwand
- Keine Kaminreinigung, keine Ökostuerbelastung und keine Emissionsprüfung
- Sehr niedriger Platzbedarf durch kompakte Übergabestationen
- Sehr hohe Sauberkeit im laufenden Betrieb, da keine direkte Brennstoffnutzung
- Sehr hohe Versorgungssicherheit
- Niedrige Primärenergiefaktoren (EnEV-Anforderungen)

Nachteile von Fernwärme/Nahwärme als Energiequelle gegenüber Kessellösung mit Heizöl bzw. Erdgas

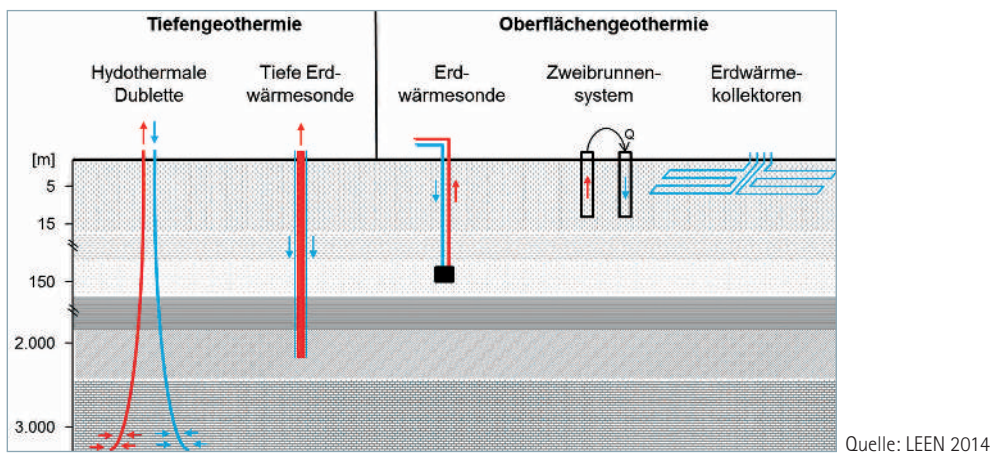
- Hohe einmalige Investitionen
- Möglichst konstante Temperaturspreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf im Fernwärme-/Nahwärmenetz nötig

3.2.6 | Geothermie

Definition

Geothermie bezeichnet die energetische Nutzung der in Form von Wärme gespeicherten Energie unterhalb der Erdoberfläche. Dabei wird zwischen oberflächennaher (flacher) Geothermie und tiefer Geothermie unterschieden.

Abbildung 31 | Energetische Nutzung der Erdwärme durch unterschiedliche Technologien



Aufbau und Funktionsweise

Tiefengeothermie:

Tiefe Geothermie beginnt theoretisch ab einer Tiefe von 400 m, praktisch wird diese aber meist erst ab einer Tiefe von 1.000 m und einer Temperatur von mindestens 60°C genutzt. Mittels tiefer Erdsonden sowie der Nutzung von natürlich vorkommendem Thermalwasser oder künstlich eingebrachtem und in tiefen Erdschichten aufgeheiztem Wasser kann die Erdwärme direkt genutzt werden. Bei ausreichend hohen Temperaturen (in der Regel größer 100°C) kann die Erdwärme zur Stromerzeugung eingesetzt werden oder direkt in ein Fernwärmenetz eingespeist werden.

Oberflächengeothermie:

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie in Tiefen von 1 bis 150 m geschieht mittels Einsatz von Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbohrungen (Zweibrunnensystem) oder Energiepfählen. Das Temperaturniveau in dieser Erdschicht liegt bei ca. 8-12°C. Die oberflächennahe Erdwärme muss mittels einer Wärmepumpe auf die gewünschte Nutzttemperatur angehoben werden.

Folgende Technologien für die Gewinnung von Erdwärme sind denkbar:

Erdwärmekollektoren sind flächig verlegte Kunststoffrohre in 1,20 – 1,50 m Tiefe (30 cm unter der Frostschutzgrenze), mit einem Wärmeträgermittel aus Wasser und Glykol. Näherungsweise muss die Kollektorfläche doppelt so groß sein wie die zu beheizende Fläche und zudem darf die Kollektorfläche nicht versiegelt sein. Für die Installation muss das Erdreich vollständig entfernt und wieder aufgebracht werden. Erdwärmekörbe funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie die Erdwärmekollektoren, sind jedoch platzsparender, da diese kegelförmig oder zylindrisch aufgerollt sind.

Erdwärmesonden liegen in einer Tiefe von 40-100 m. Zur Erschließung werden Bohrungen mit einem Durchmesser von mindestens 15 cm durchgeführt, die einen Abstand von 10 m zueinander haben sollten. Die Wärmetauschrohre bestehen ebenfalls aus Kunststoff und werden von einem Wärmeträgermedium durchflossen. Für die Installation muss entsprechendes Bohrgerät verwendet werden.

Energiepfähle sind Betonbauteile, wie z.B. Gründungspfähle oder Bodenplatten, die beim Bau mit Kunststoffrohren für das Wärmeträgermittel ausgerüstet werden. Energiepfähle funktionieren im Prinzip wie Erdwärmesonden. Bei großen Gewerbe- oder Bürobauten können so Heiz- und Kühllasten kostengünstig gedeckt werden. Energiepfähle können entsprechend nur bei Neubauten verwendet werden und müssen durch Vorerkundungen abgesichert werden. Eine Nachrüstung bei bestehenden Bauten ist nicht möglich.

Grundwasserbohrungen sind möglich, wenn ein geeignetes oberflächennahes Grundwasservorkommen vorhanden ist. Im Gegensatz zu den Flächenkollektoren kann ganzjährig eine nahezu konstant hohe Temperatur entnommen werden. Das Grundwasser wird aus einem Förderbrunnen entnommen und nach Entziehung von Nutzwärme in einen sogenannten Schluckbrunnen wieder eingespeist. Aus diesem Grund wird auch vom Zweibrunnensystem gesprochen. Der Abstand der Brunnen sollte mindestens 10 -15 m betragen und der Durchmesser der Brunnen zwischen 12 und 150 cm liegen.

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten von geothermischen Anlagen variieren je nach Standorteigenschaften und Größe der Anlage. Die Kosten für Erdwärmekollektoren liegen bei 250 bis 350 Euro/kWth (ohne Wärmepumpe), für Erdwärmesonden bei 550 bis 850 Euro/kWth (ohne Wärmepumpe) und für direkte Grundwasserwärmepumpen bei 600 bis 1.300 Euro/kWth (abhängig von der Heizleistung). Kosten, welche für die Erschließung der Wärmequelle oder ein zusätzliches Wärmeverteilsystem entstehen, sind hier nicht mit einbezogen.

Alle Geothermieanlagen sind beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie dokumentations- und anzeigepflichtig. Erdwärmekollektoren, welche mindestens einen Meter über dem Grundwasserspiegel liegen, und Erdwärmekörbe mit einer maximalen Einbautiefe von 3 m benötigen keine weiteren Genehmigungen. Erdwärmesonden mit einer Heizleistung bis 30 kW müssen aufgrund ihres Einflusses auf das Grundwasser von der Wasserbehörde des Kreises bzw. der kreisfreien Stadt genehmigt werden. Wird die Anlage in einem „günstigen Gebiet“ (vgl. [Abbildung 32](#)) errichtet, genügt die Einhaltung der „Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden“ sowie bauliche Mindestabstände zu anderen Wärmesonden. Anlagen in „ungünstigen Gebieten“ werden gesondert geprüft. Bei größeren Anlagen sind diese Anforderungen das Minimum. Erdwärmesonden mit einer Bohrtiefe größer als 100 m müssen von der zuständigen Bergbehörde genehmigt werden [Rumohr 2011].

Das Wichtigste in Kürze

Nutzung von Geothermie kommt für mich in Frage, wenn...

- ...möglichst ganzjähriger Wärmebedarf im Unternehmen auf moderatem Temperaturniveau vorhanden ist.
- ...es eine möglichst einfach erschließbare Wärmequelle nahe des Unternehmens gibt.

Generelle Vorteile von Geothermie

- Versorgungssicherheit durch Nutzung einer nicht endlichen Energiequelle
- Senkung der Betriebskosten sowie höhere Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern wie Erdöl oder Erdgas
- Sowohl Kühlen als auch Heizen ist mit Geothermie möglich
- Die Energiequelle ist kostenlos und CO₂-neutral
- Förderung der Installation durch Zuschüsse und zinsgünstige Kredite

Generelle Nachteile von Geothermie

- Kostenintensive Erschließung von Erdwärmequellen
- Nutzung von Erdwärme aufgrund von Bebauungsdichte und Bodenbeschaffenheit nicht überall möglich
- Teils hohe rechtliche Hürden und Auflagen (vor allem im Bereich der Tiefengeothermie)

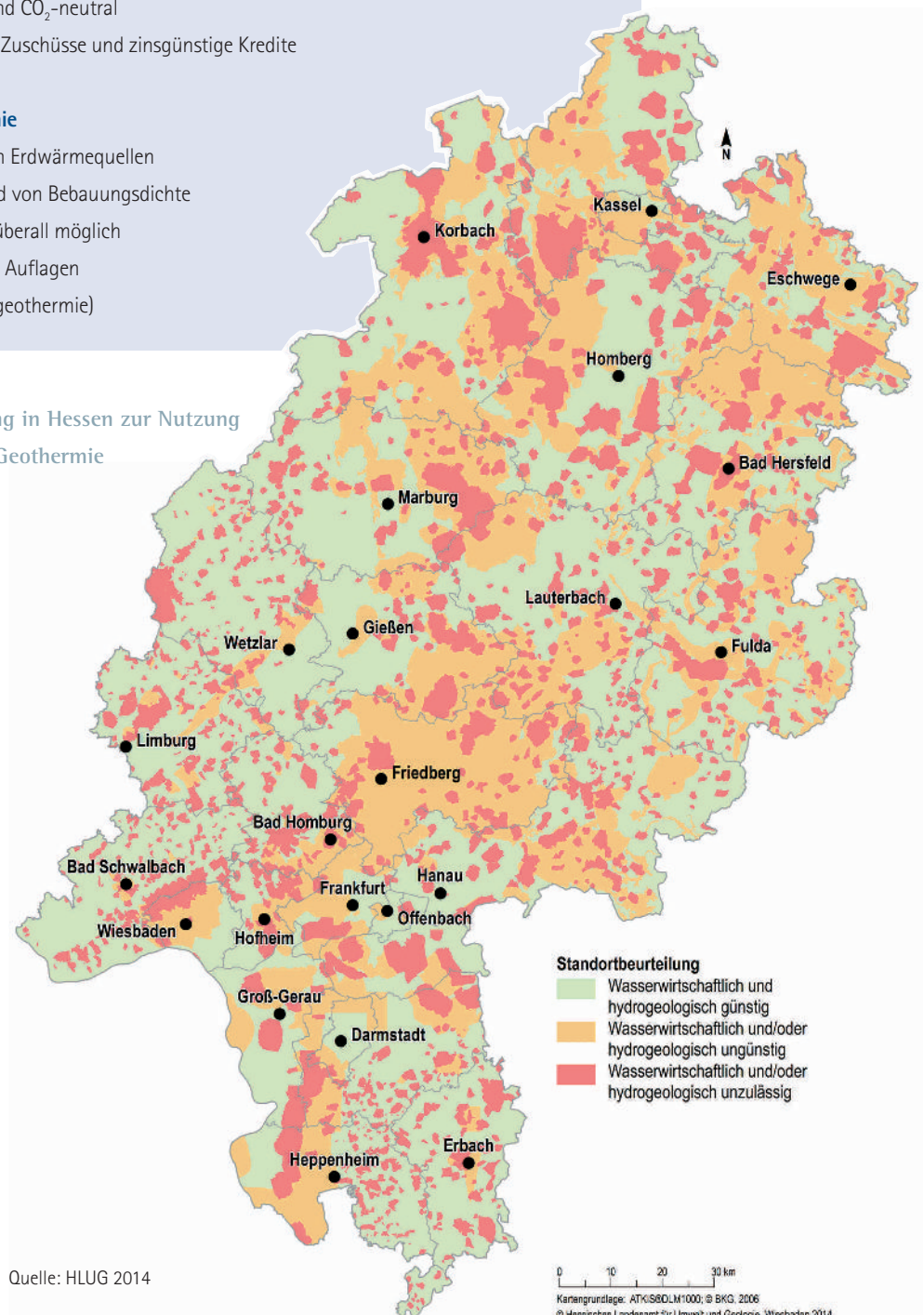


Abbildung 32 | Standortbeurteilung in Hessen zur Nutzung oberflächennaher Geothermie

3.2.7 | Solarthermie

Definition

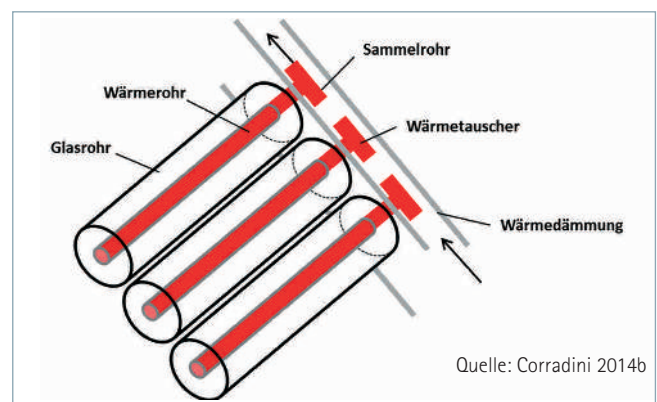
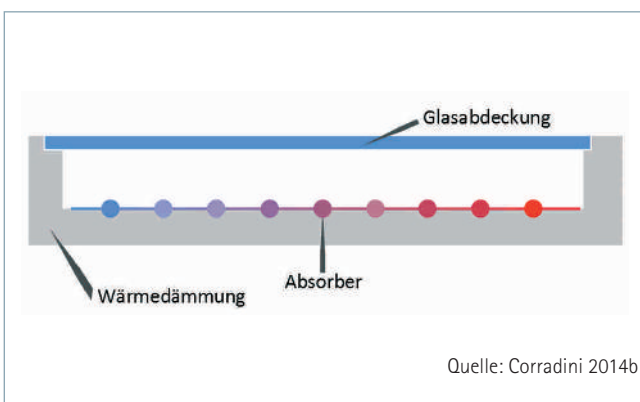
Unter Solarthermie versteht man die Umwandlung von Sonnenenergie in nutzbare thermische Energie. Dies ist der grundsätzliche Unterschied zur Photovoltaik, welche Sonnenenergie in elektrische Energie umwandelt. Den Hauptbestandteil einer Solarthermieanlage stellt das Kollektorfeld dar, das die Strahlungsenergie in Wärme wandelt. Die am häufigsten verwendeten Bauformen sind hierbei Flachkollektoren oder Röhrenkollektoren. Flachkollektoren arbeiten in der Regel auf Temperaturniveaus von bis zu 80°C, wohingegen (Vakuum)-Röhrenkollektoren Betriebstemperaturen von bis zu 150°C erreichen.

Aufbau und Funktionsweise

Das Herzstück eines jeden Flachkollektors ist der Absorber. Das beispielsweise mit Aluminium oder Kupfer beschichtete Blech wandelt die Einstrahlung der Sonne in Wärme um. Das Kollektorgehäuse, Dämmmaterialien sowie eine gläserne Abdeckplatte komplettieren den Kollektor. Der Aufbau von Flachkollektoren ist in der Regel einfach und robust. Einsatzgebiete sind auf Grund der erzeugten Temperaturen meist die Warmwasserbereitung oder die Unterstützung von Heizungsanlagen.

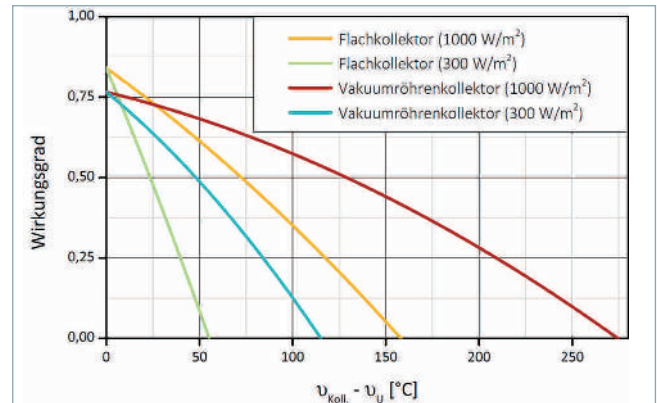
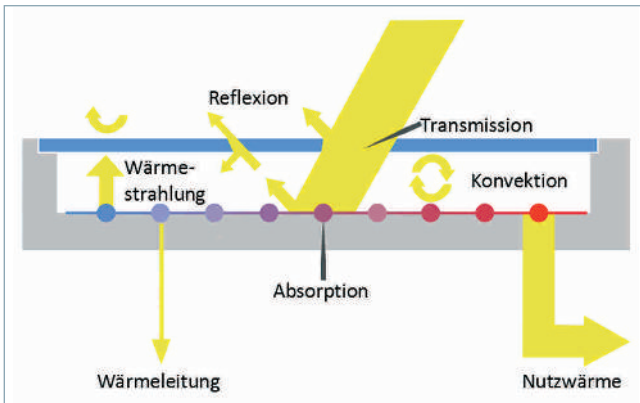
In Röhrenkollektoren befinden sich die Absorber in Röhren, die meist vakuumiert sind, was weitaus geringere Wärmeverluste im Vergleich zu Flachkollektoren zur Folge hat. Da Röhrenkollektoren auch bei hohen Betriebstemperaturen sehr effizient arbeiten, werden sie häufiger für Heizungsunterstützung oder sogar für die Erzeugung von Prozesswärme verwendet.

Aufbau von Flachkollektoren [Abbildung 33](#) (links) und Aufbau von Röhrenkollektoren [Abbildung 34](#) (rechts)



Es kann jedoch nur ein mehr oder weniger großer Anteil der solaren Strahlung in thermische Energie umgewandelt werden. Zum einen treten sogenannte Transmissionsverluste auf, welche beim Durchtritt der Strahlung durch die Glasabdeckung bzw. durch Reflexionen entstehen. Zum anderen ergeben sich durch das Aufheizen des Absorbers über die Umgebungstemperatur hinaus thermische Verluste.

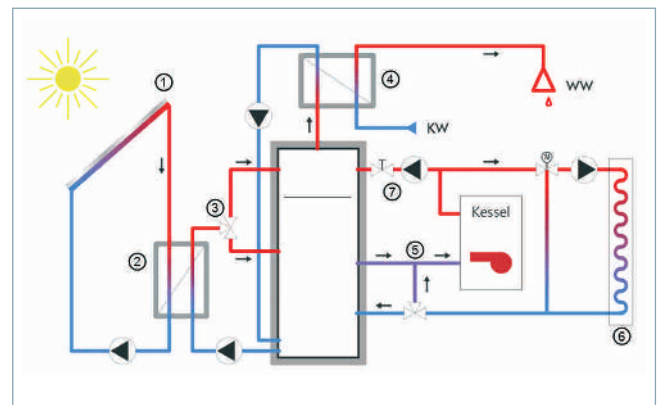
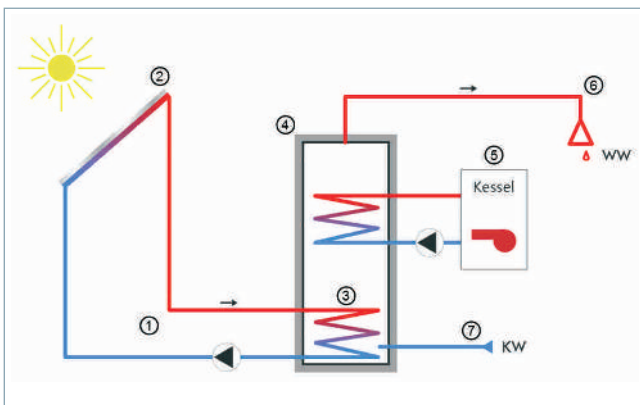
Abbildung 35 | Verluste am Beispiel eines Flachkollektors (links) sowie Wirkungsgrade verschiedener Kollektoren (rechts)



Quelle: Corradini 2014b

Eine typische Größenordnung für den spezifischen jährlichen Kollektorertrag liegt bei 400 bis 600 kWh/m²a, wobei die durchschnittliche solare Einstrahlung in Deutschland bei 1.050 bis 1.100 kWh/m²a liegt. Prinzipiell ist es möglich, eine Anlage entweder ausschließlich für die Warmwasserbereitstellung zu konzipieren oder mit ihr auch den Raumwärme- bzw. Prozesswärmebedarf in Teilen zu decken.

Abbildung 36 | Hydraulisches Schema für Warmwasserbereitung (links) sowie zur Heizunterstützung (rechts)

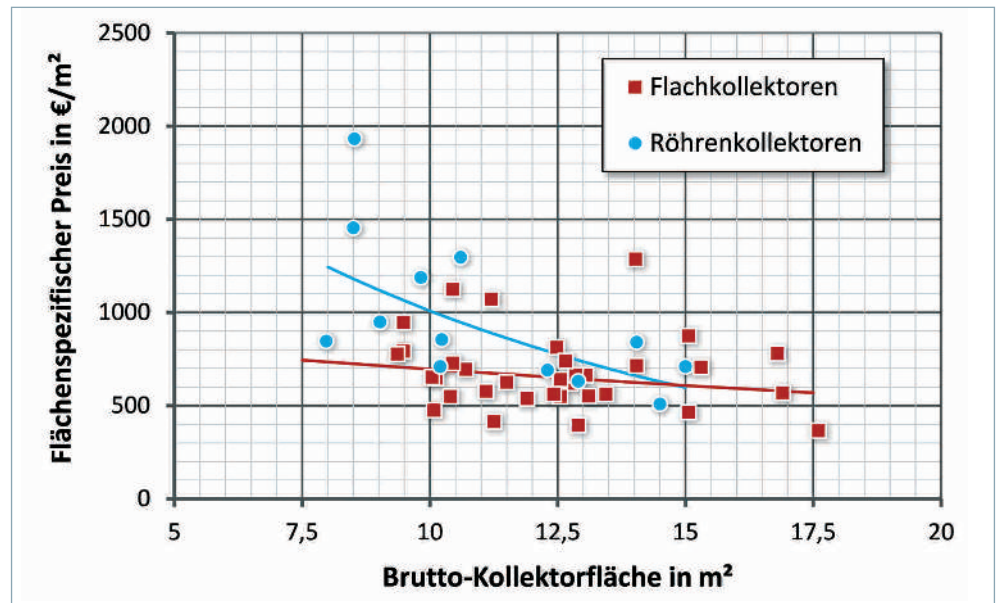


Quelle: Corradini 2014b

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten von Solarthermieanlagen variieren je nach Kollektorart, Anwendungszweck und Gesamtgröße. Generell gilt, dass die spezifischen Kosten bei steigenden Anlagengrößen sinken. Flachkollektoren sind im Vergleich zu (Vakuum-) Röhrenkollektoren in der Regel günstiger in der Anschaffung, jedoch machen die Kosten für das Kollektorfeld nur einen Teil der Gesamtkosten aus. Durch Planung, Speicher, zusätzliches Zubehör oder bauliche Maßnahmen können sich die Gesamtkosten nahezu verdoppeln. Attraktive Fördermöglichkeiten sowie zinsgünstige Kredite werden durch das BAFA sowie die KfW bereitgestellt. Solarthermieanlagen bis zu einer Fläche von 10 m² sind baugenehmigungsfrei. Die Genehmigung größerer Anlagen ist in der Hessischen Bauordnung (HBO) geregelt.

Abbildung 37 | Spezifische Kosten von gesamten Solarthermieanlagen



Quelle: Corradini 2014b

Das Wichtigste in Kürze

Solarthermie kommt für mich in Frage wenn...

- ...möglichst viel unverschattete Dachfläche zu Verfügung steht.
- ...auch in den Sommermonaten Wärme benötigt wird.
- ...das benötigte Temperaturniveau des Wärmebedarfs vergleichsweise niedrig (bis ca. 150°C) ist.

Generelle Vorteile Solarthermie

- Nutzung einer kostenlosen und CO₂-neutralen Energiequelle in Form von Sonnenenergie
- Senkung der Betriebskosten sowie höhere Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern wie Erdöl oder Erdgas
- Installation kann Zuschüsse und zinsgünstige Kredite förderbar
- Nutzung solarthermischer Anlagen auch zur Kühlung eines Gebäudes

Vorteile Flachkollektoren

- Geringere spezifische Investitionen als ein vergleichbarer Röhrenkollektor
- Geringerer Flächenbedarf für gleiche Absorberleistung

Vorteile (Vakuum-)Röhrenkollektoren

- Höherer Wirkungsgrad bei der Umsetzung der Sonnenenergie in nutzbare Wärme
- Höhere Temperaturniveaus von bis zu 150°C erzeugbar

Nachteile Flachkollektoren

- Geringerer Wirkungsgrad als Röhrenkollektoren bei steigendem Temperaturniveau
- Niedrigeres erzeugbares Temperaturniveau im Bereich von max. 80°C

Nachteile (Vakuum-)Röhrenkollektoren

- Höhere spezifische Investitionen im Vergleich zu Flachkollektoren
- Höherer Flächenbedarf für gleiche Absorberleistung

3.2.8 | Power to Heat

Definition

In Zeiten zunehmend schwankender Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland, müssen diese zeitweise vom Netz genommen werden oder hochflexible Kraftwerke auf diese Schwankungen reagieren, um das notwendige Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch im Netz aufrecht zu halten. Alternativ kann die elektrische Wärmeerzeugung Erzeugungsüberschüsse verwerten. Dieses Verfahren wird auch als Power2Heat bezeichnet.

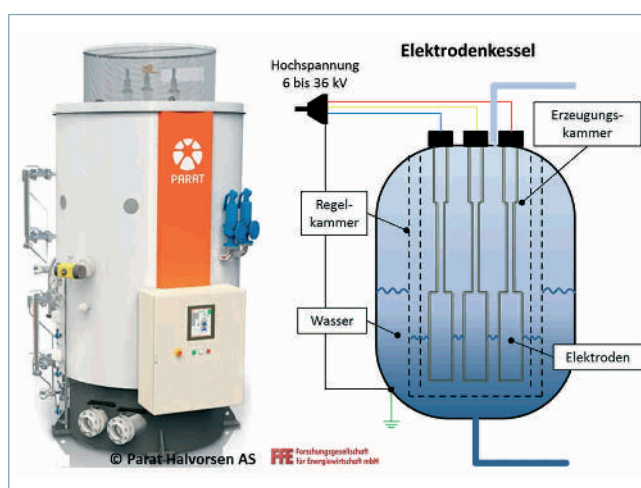
Aufbau und Funktionsweise

Bereits heute werden vereinzelt Power2Heat-Anlagen in Kombination mit einem Fernwärmenetz oder einem Wärmespeicher zur Stabilisierung im Stromnetz eingesetzt.

Abbildung 38 | Elektrodenkessel (links) sowie prinzipieller Aufbau

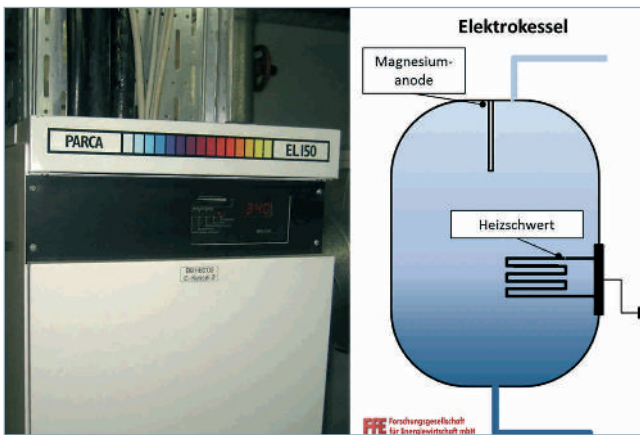
Elektrodenkessel

Elektrodenkessel funktionieren nach dem Prinzip der unmittelbaren Widerstandserwärmung, wobei das Wasser direkt vom Strom durchflossen und dadurch aufgeheizt wird. Das Wasser muss durch eine Wasseraufbereitung auf eine elektrische Leitfähigkeit von 0,001 bis 0,05 S/m gebracht werden. Über Elektroden wird der Strom ins Wasser eingebracht und an den Kessel (Gegenelektrode) abgegeben. Es gibt unterschiedliche Größenordnungen und Leistungsklassen, welche von 1 MW bis zu 90 MW variieren können [Mühlstein 2014]. Die maximale Temperatur für den Hochspannungskessel der Firma Parat liegt derzeit bei 240°C mit einem maximalen Druck von 30 bar. Einige Stadtwerke verwenden diese Technologie bereits zur Erzeugung von Fernwärme. Beispielsweise werden in Nürnberg und Flensburg Elektrodenkessel mit einer installierten Leistung von 2 x 25 MW bzw. 1 x 30 MW eingesetzt. Diese erzeugen Wasser auf einem Temperaturniveau von ca. 100°C und speisen dieses über Heißwasserspeicher in das bestehende Fernwärmenetz ein.



Quellen: Parat 2014, LEEN 2014

Abbildung 39 | Elektrokessel der Firma Osby Parca (links) sowie prinzipieller Aufbau



Quelle: LEEN 2014

Elektrokessel bzw. Heizpatrone:

Im Gegensatz zum Elektrodenkessel erfolgt beim Elektrokessel die Erwärmung des Wassers indirekt über eine Heizschleife, welche mittels Strom und durch Widerstandserwärmung erwärmt wird. Nach dem gleichen Prinzip funktionieren auch Heizpatronen, welche zusätzlich in einem Warmwasserspeicher oder in Heizleitungen installiert werden können. Diese sind bezüglich ihrer installierten Leistung oftmals geringer als Elektrodenkessel. Die Leistungsklassen reichen von 100 kW bis 15 MW [Mühlstein 2014]. Elektrokessel können sowohl in der Heißwasser- als auch Dampferzeugung eingesetzt werden.

Wirtschaftlichkeit

Im Bereich der Fernwärme liegen die Investitionen für einen Elektrokessel bei 75 bis 150 Euro/kW_{el} in Abhängigkeit davon, ob bereits eine Heizzentrale besteht oder nicht. Im Bereich der Prozesswärme für die Industrie liegen die Investitionen aufgrund der häufig höheren Temperaturen bei 100 bis 200 Euro/kW_{el}. Zusätzlich kann noch ein einmaliger Baukostenzuschuss von 25 bis 150 Euro/kW_{el} an den Netzbetreiber notwendig sein. In Summe ergeben sich somit Investitionen von 100 bis 300 Euro/kW_{el} im Fernwärmebereich und 125 bis 350 Euro/kW_{el} im Industriebereich. Generell sinken die spezifischen Kosten für größere Anlagen (Quelle: P2H-Agora Energiewende). Heizpatronen haben deutlich geringere Investitionen, da diese in bestehende Puffer integriert werden können. Für die Errichtung einer Power2Heat Anlage wird keine Genehmigung nach Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) benötigt, da ein Elektrodenkessel keine Feuerungsleistung hat. Für die Inbetriebnahme ist eine Baugenehmigung nach Baugesetzbuch erforderlich. Zum Betrieb ist ein Erlaubnisverfahren nach § 13 der Betriebssicherheitsverordnung notwendig. Auch Regelungen zum Brandschutz sind während des Betriebes einzuhalten.

Das Wichtigste in Kürze

Power2Heat kommt für mich in Frage, wenn...

- ...mein Unternehmen Prozesswärme benötigt und zudem sehr geringe Strombezugskosten aufweist.
- ...mein Unternehmen der Lebensmittelindustrie, der Chemie- oder Papierindustrie angehört (hohes Potenzial).

Generelle Vorteile von Power-2-Heat

- Power2Heat Anlagen können am Regelleistungsmarkt angeboten werden (ab 5 MW Leistung im Bereich Sekundär- und Minutenreserve; Pooling ist auch bei geringeren Anlagengrößen möglich).
- Durch eine Power2Heat Anlage steht im Falle des Ausfalls konventioneller Energieträger ein redundantes Wärmeerzeugungssystem zur Verfügung.
- Hoher Wirkungsgrad der Wandlung von Strom in Wärme (nahe 100%)

Generelle Nachteile von Power2Heat

- Schlechte Energie- und CO₂-Bilanz der Wärmeerzeugung, wenn der Strom nicht aus regenerativen Energiequellen erzeugt wird.
- Teure Wärmeerzeugung im Vergleich zur Nutzung konventioneller Energieträger (wenn Strom extern bezogen wird)

3.3 | Wärmerückgewinnung

Angesichts der kontinuierlichen Verteuerung von Energie ist ein sparsamer Umgang mit Ressourcen nicht nur eine ökologische, sondern zunehmend auch eine ökonomische Notwendigkeit. So sollte noch vor einer Auslegung, Planung und schließlich einer Investition in neue Wärmeerzeugungsanlagen zunächst die Nutzung bereits vorhandener Wärmeströme mittels geeigneter Wärmerückgewinnungssysteme untersucht werden. Generell ist bei Vorhandensein ungenutzter Wärmeströme folgende Vorgehensweise zu empfehlen:



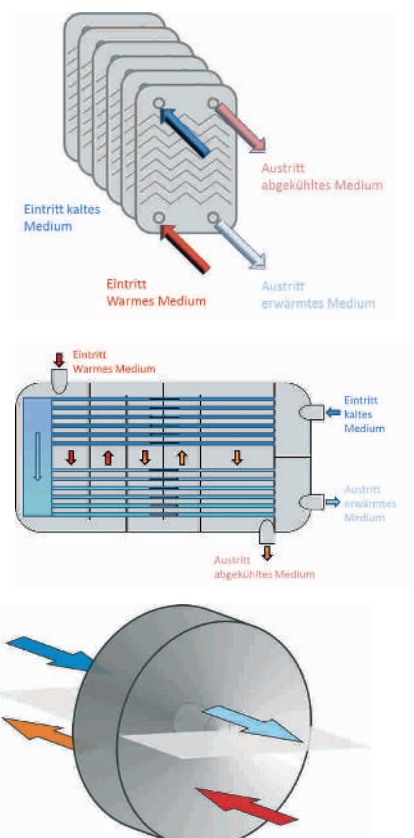
Nachfolgend sind die Eigenschaften der wichtigsten Wärmetauscher, die für eine Wärmerückgewinnung notwendig sind, dargestellt. Die Auflistung beinhaltet jedoch nur die gängigsten auf dem Markt verfügbaren Techniken.

Plattenwärmetauscher sind aus vielen dicht aneinander liegenden Platten aufgebaut, durch welche die jeweiligen Wärmemedien strömen. Oftmals wird die Wärmeübertragung zusätzlich durch profilierte Platten erhöht. Plattenwärmetauscher erreichen dabei sehr hohe Wirkungsgrade und weisen trotz ihrer sehr kompakten Bauweise eine sehr hohe Wärmestromdichte auf. Plattenwärmetauscher werden entweder im Gegenstrom- oder Kreuzstromprinzip ausgeführt.

Rohrbündelwärmetauscher bestehen aus einer Vielzahl an Wärmeübertragerrohren, welche oftmals beispielsweise durch Lamellen profiliert sind, um die Wärmeübertragung zu erhöhen. Durch diese zu Rohrbündeln zusammengefassten Rohre fließt eines der Wärmeübertragungsmedien. Das zweite Medium fließt durch den Mantelbehälter, durch den die Rohrbündel geleitet werden. Gleichzeitig sorgen Umlenkbleche innerhalb des Mantelbehälters für eine möglichst gleichmäßige Durchströmung.

Rotationswärmetauscher übertragen die Wärme zwischen zwei parallel zueinander laufenden Lüftströmen mittels eines rotierenden Regenerators. Dabei wird die Wärme eines Luftstroms im Regenerator zwischengespeichert und nach einer halben Drehung auf den anderen Luftstrom übertragen. Der Rotationswärmetauscher ist sehr effizient und kann auch bei sehr geringen Temperaturspreizungen eingesetzt werden. Haupteinsatzgebiete sind sowohl die Lüftungs- bzw. Klimatechnik, als auch Prozesslufttechnik bei hohen Temperaturen.

Abbildung 40 | Wärmetauscher



Quelle: LEEN 2014

Weitere am Markt verfügbare Systeme sind **Lamellenwärmetauscher**, welche aus zahlreichen an Rohre gepressten Lamellen bestehen. Üblicherweise wird der Lamellenwärmetauscher für flüssig/gasförmig-Anwendungen eingesetzt, wobei die Flüssigkeit durch die Rohre fließt und das Gas zwischen den Lamellen strömt. Des Weiteren sollen an dieser Stelle noch die aus zwei koaxial angeordneten Rohren bestehenden **Doppelrohrwärmetauscher** sowie **Rippenrohrwärmetauscher** genannt werden, welche aus einer Kombination von mehreren Rohren mit daran befestigten Rippen bzw. Lamellen bestehen.

Anhand von Beispielen sollen nachfolgend die wichtigsten und zugleich gängigsten Möglichkeiten des Einsatzes von Wärmerückgewinnungssystemen erläutert werden, mit deren Hilfe in der Regel sowohl ökologisch als auch ökonomisch der größte Nutzen innerhalb eines Betriebes erzielt werden kann.

Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen bei der Dampferzeugung

Je nach Brennstoff, Anlage und Fahrweise enthält das heiße Abgas einer Dampf- bzw. Heißwassererzeugungsanlage teils erhebliche Mengen Wärmeenergie, die oftmals ungenutzt durch den Schornstein der Umgebung zugeführt wird. Um diese Energie innerhalb eines Betriebes zu halten, bieten sich verschiedene Abgaswärmeübertrager an. Die am häufigsten eingesetzten Varianten sind zum einen der Speisewasservorwärmer - in der Regel als Economizer bezeichnet - sowie ein sogenannter Verbrennungsluftvorwärmer (Luvo). Steht z.B. besonders kaltes Speisewasser als Wärmesenke zu Verfügung, besteht zusätzlich die Möglichkeit, das Abgas der Feuerung in einem Brennwertübertrager zu kondensieren. Generell gilt für die Wirtschaftlichkeit die Faustregel, dass pro 100°C Abgastemperatursenkung ca. 4 % Energie eingespart werden können.

Tabelle 9 | Mögliche Wärmerückgewinnungssysteme von Dampferzeugern

Typ	Medium	Einsatzbereich	Nutzbare Wärmemenge
Wärmetauscher Typ 1 Economizer	Abgas/Wasser	Hinter allen Wärmeerzeugern, wenn Speisewasser als Wärmesenke zur Verfügung steht	4 - 7 % je nach Abgastemperatur und Fahrweise
Wärmetauscher Typ 2 Luftvorwärmer	Abgas/Luft	Hinter Wärmeerzeugern, welche ein hohes Temperaturniveau haben, bzw. Wasserrohr- oder Thermalölkessel Alternative, wenn keine Wärmesenke vorhanden ist oder für Restwärme als letzte Stufe	4 - 10 % bei Wasserrohr- oder Thermalölerhitzer 0,5 - 4 % als letzte Stufe hinter Eco oder Brennwertübertrager
Wärmetauscher Typ 3 Brennwertwärmeübertrager	Abgas/Wasser	Oft hinter Economizer oder Luftvorwärmer, um Abgas noch weiter abzukühlen	4 - 7 %, abhängig von Abgastemperaturen, vorhandener Wärmesenke und Brennstoff

Quelle: eigene Darstellung nach Schult 2013

Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen im Bereich der Druckluft

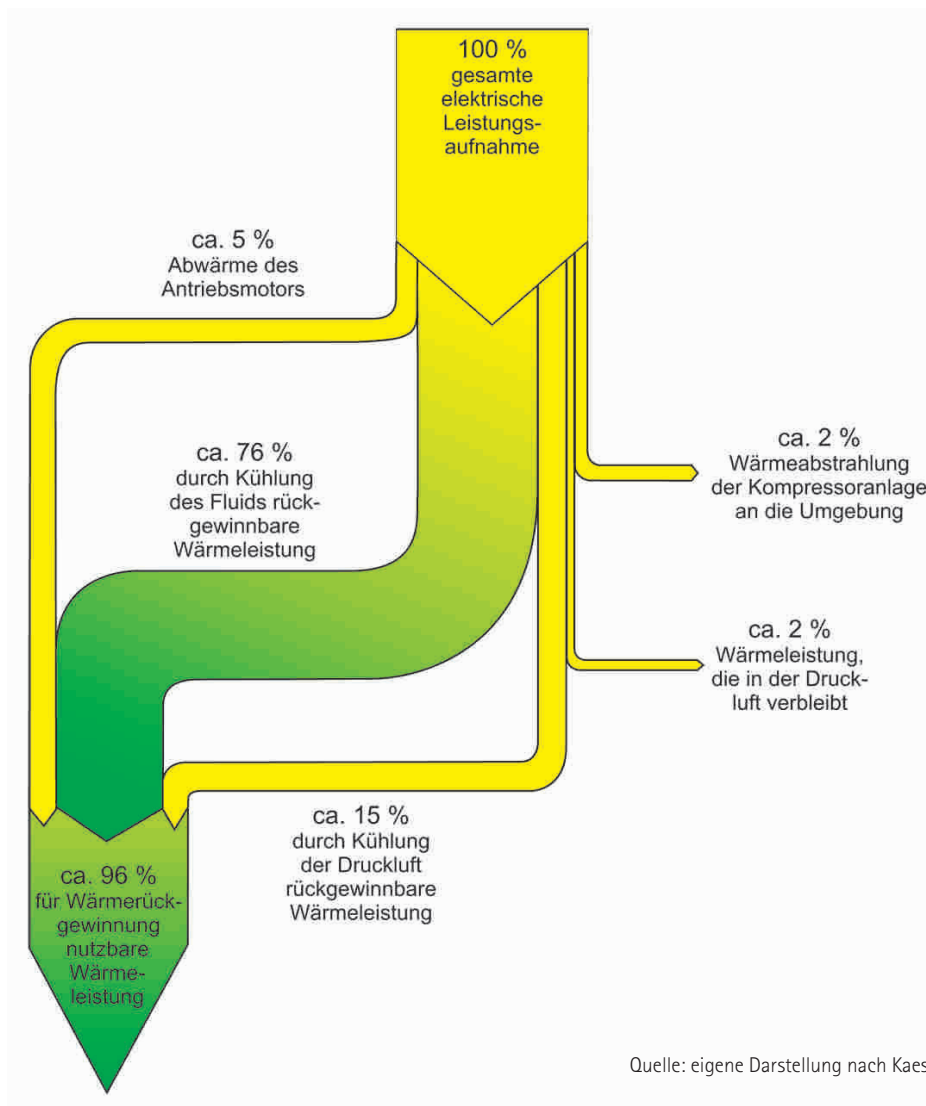
Prinzipiell wird ein Großteil der dem Kompressor zugeführten Energie in Wärme umgewandelt. Der größte Teil der eingesetzten Energie ist bei Kompressoren mit Öl- bzw. Fluidkühlung im Kühlmedium zu finden. Der Rest befindet sich in der Druckluft selbst sowie in der Abwärme des Antriebmotors. Die Abwärmeströme können durch verschiedene Wärmerückgewinnungssysteme als Warmluft oder Warmwasser nutzbar gemacht und beispielsweise für die Gebäudeheizung, Brauchwasser, Prozesswasser, Prozessluft verwendet werden. Je nach Anwendung lassen sich so durchschnittlich rund 65 - 96 % der elektrisch zugeführten Energie als Wärmeenergie weiter verwenden.

Tabelle 10 | Wärmerückgewinnungssysteme im Bereich Druckluft

Typ	Medium	Einsatzbereich	Nutzbare Wärmemenge
Luftkühlung an Schraubenkompressoren	Öl bzw. Fluid/Luft	Direkte Nutzung der vom Kompressor erwärmten Luft. Typische Anwendungsbereiche: Raumheizung, Trocknungsprozesse Torluftschleier, Verbrennungsluftvorwärmer	90 - 96 % der elektrischen Leistungsaufnahme des Kompressors in Form von Warmluft
Wasserkühlung an Schraubenkompressoren	Öl bzw. Fluid/Wasser	Indirekte Nutzung durch Einbau eines Wärmetauschers in den Öl- bzw. Fluidkreislauf Typische Anwendungsbereiche: Warmwasser, Brauchwasser, Produktions- o. Reinigungsprozesse	65 - 75 % der elektrischen Leistungsaufnahme des Kompressors in Form von 60 - 80°C warmen Wasser

Quelle: eigene Darstellung nach Kaeser 2011

Abbildung 41 | Energiefluss eines fluid- und luftgekühlten Schraubenkompressors



Quelle: eigene Darstellung nach Kaeser, 2011

Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen im Bereich Lüftung

Die einfachste Art der Rückgewinnung von Abwärme im Bereich Lüftung ist ein Anlagenbetrieb mit einem möglichst hohen Umluftanteil (falls Zu- und Abluftanlagen vorhanden sind). Unter dem Begriff Wärmerückgewinnung wird jedoch in der Lufttechnik nicht der Betrieb mit Umluft, sondern die Rückgewinnung von Wärme mittels Wärmetauschern verstanden. Je nach Anforderungen an die jeweilige Zuluft in den Raum sowie den baulichen Gegebenheiten kann zwischen mehreren verschiedenen Systemen unterschieden werden, deren wichtigsten Eigenschaften in Tabelle 11 zusammengefasst sind.

Tabelle 11 | Mögliche Wärmerückgewinnungssysteme von Lüftungsanlagen

System	Räumlich getrennte Zu- und Abluft möglich	Feuchterückgewinnung möglich	Rückwärmezahl	Übertragung von Keimen, Gasen u. anderen Teilchen
Platten- bzw. Kanalwärmetauscher (Kreuzstrom)	nein	nein	50 - 85 %	nein
Platten- bzw. Kanalwärmetauscher (Gegenstrom)	nein	nein	60 - 90 %	nein
Rotationswärmetauscher	nein	ja	65 - 90 %	möglich
Kreislaufverbundsystem	ja	nein	40 - 70 %	nein

Quelle: LEEN 2014

Wärmerückgewinnung zur Kälteerzeugung

Wenn eine Reintegration der Abwärme in den Prozess oder eine anderweitige betriebsinterne Weiterverwendung auf einem möglichst hohen Temperaturniveau nicht möglich ist, sollten die Möglichkeiten einer Transformation in andere Nutzenergieformen überprüft werden. Eine Möglichkeit stellt hierbei die Erzeugung von Klima- bzw. Prozesskälte mittels thermischen Kältemaschinen - sogenannten Sorptionskältemaschinen - dar, bei welchen das Kältemittel in einem Lösungsmittelkreislauf bei geringer Temperatur in einem zweiten Stoff sorbiert und bei höheren Temperaturen wieder desorbiert wird. Für die Desorption wird Wärme benötigt, welche durch eine Wärmequelle möglichst innerhalb eines Betriebes bereitgestellt wird. Unterschieden wird hier zum einen nach Art der Sorption, d.h. nach Ab- bzw. Adsorptionskältemaschinen, zum anderen nach der Wahl der Kälte- und Sorptionsmittel. Details können dem Faktenblatt Kälteerzeugung in Kombination zu Wärmeerzeugungssystemen entnommen werden.

Wärmerückgewinnung zur Verstromung

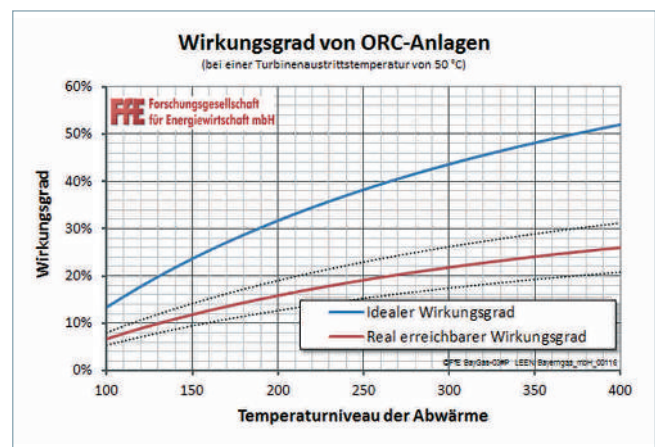
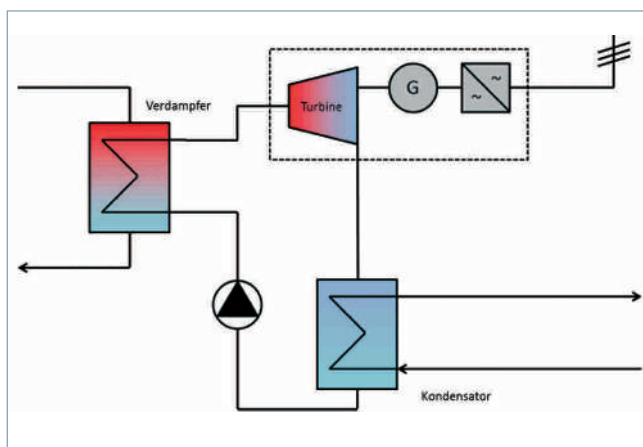
Neben der Kälteerzeugung besteht zudem die Möglichkeit, Wärme durch unterschiedliche Stromerzeugungssysteme in elektrische Energie umzuwandeln. Neben dem klassischen Wasserdampfkraftprozess, besteht die Möglichkeit Strom durch den sog. Organic-Rankine-Prozess (ORC-Prozess) zu erzeugen. Der ORC-Prozess ist hinsichtlich seiner Prozessführung ein normaler Dampfkraftprozess (siehe [Abbildung 42](#)). Jedoch werden anstatt Wasser organische Arbeitsmittel verwendet. Durch den Einsatz organischer Fluide können Wärmequellen auf geringerem Temperaturniveau als mit konventioneller Dampfturbinen-Technologie erschlossen werden. So werden heute bereits Anlagen mittels Wärmequellen ab einem Temperaturniveau von gerade einmal ca. 80°C betrieben. Die Wirkungsgrade von ORC-Prozessen sind auf Grund des niedrigeren Temperaturniveaus jedoch mit 15 bis 25 % dementsprechend geringer.

Tabelle 12 | Vergleich von Systemen zur Verstromung

System	Leistungsbereiche	Temperatur Abwärme	Wirkungsgrad
ORC-Turbine	20 kW bis > 20 MW	Ideal 150 - 500°C möglich ab 80 - 100°C	10 - 25 %
Dampfturbine	100 kW bis > 20 MW	Ideal > 500°C möglich ab 300°C	40 - 60 %
Stirlingmotor	< 10 kW bis 1 MW	Ideal > 500°C	15 - 40 %

Quelle: LEEN 2014

Abbildung 42 | Funktionsprinzip einer ORC-Prozesses ohne internen Rekuperator (links) sowie Wirkungsgrade in Abhängigkeit der Antriebstemperatur (rechts)



Quelle: LEEN, 2014

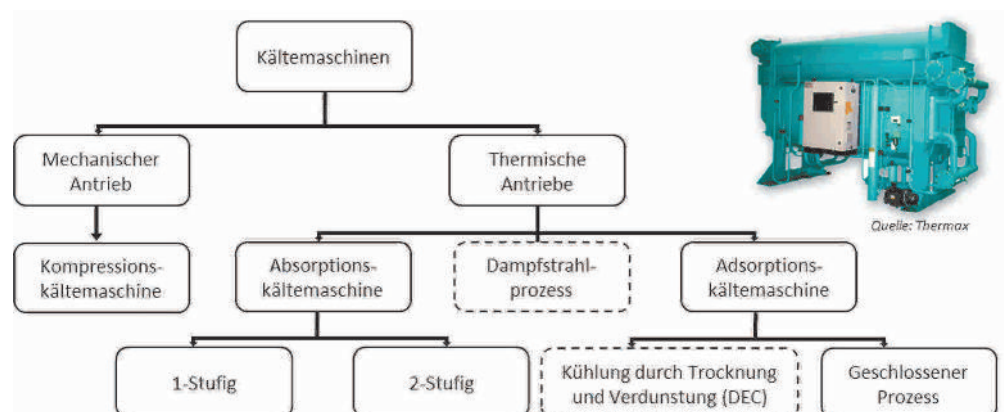
3.4 | Kälteerzeugung in Kombination mit Wärmeerzeugungssystemen

Definition

Oftmals besteht innerhalb eines Betriebes neben einem Wärmebedarf zeitgleich ein Kältebedarf. Da die konventionelle Kälteerzeugung enorm energieintensiv ist, kann es ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll sein, Wärmeerzeugungssysteme und Kälteerzeugungssysteme miteinander zu koppeln und so Synergien zu nutzen. Zu diesem Zwecke stehen zwei verschiedene Arten von thermischen Kältemaschinen – sogenannte Sorptionsmaschinen – zu Verfügung, bei welchen das Kältemittel bei geringer Temperatur in einem zweiten Stoff sorbiert und bei höheren Temperaturen wieder desorbiert wird. Die gängigsten Anlagen auf dem Markt sind derzeit sogenannte Absorptionskältemaschinen. Auch Adsorptionskältemaschinen gewinnen derzeit zunehmend an Bedeutung. Auf Nischenprodukte wie z.B. Dampfstrahlanlagen soll nachfolgend nicht näher eingegangen werden.

Aufbau und Funktionsweise

Abbildung 43 | Einteilung von Kältemaschinen

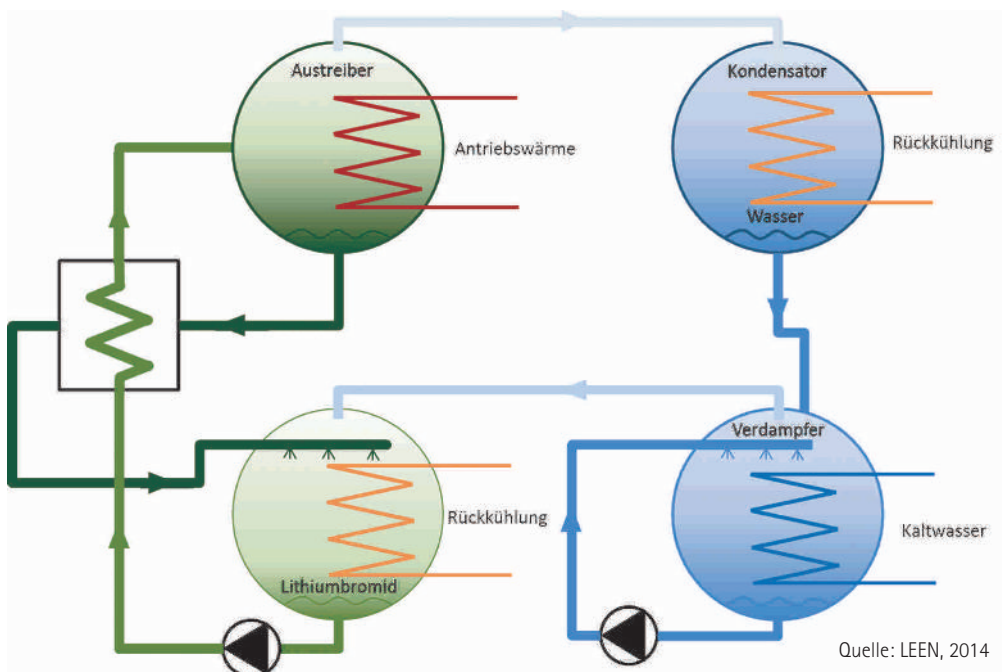


Quelle: LEEN, 2014

Absorptionskältemaschinen verfügen über einen jeweils kontinuierlichen Lösungs- und Kältemittelkreis. Standardausführungen bis 0°C Kälte verwenden Wasser als Kältemittel und Lithiumbromid als Lösungsmittel. Zur Erzeugung von Tieftemperaturkälte bis -60°C wird Ammoniak als Kältemittel und Wasser als Lösemittel verwendet.

So wird in einer 1-stufigen Lithiumbromid/Wasser-Anlage Wasser in einem nahezu vakuumierten Behälter bei niedrigen Temperaturen auf Rohrschlangen gesprüht und dort verdampft. Die hierbei benötigte Verdampfungswärme wird dem Kaltwasser entzogen. Um den Verdampfungsprozess aufrechtzuerhalten, wird der Wasserdampf in einer kontinuierlich zugeführten Lithiumbromidlösung absorbiert. Die entstehende Lösungswärme wird über Kühlschlangen an das Kühlwasser übertragen. Die nun wasserhaltige Lösung muss wiederum kontinuierlich in einem sogenannten Verdampfer aufgetrennt werden. So wird das in der gesättigten Lösung vorhandene Wasser unter Zuführung von Wärme (i.d.R. bei Temperaturen oberhalb von 75°C) verdampft und anschließend durch Wärmeabgabe an den Kühlkreislauf kondensiert. Das Wasser kann nun wieder im vakuumierten Behälter auf die Rohrschlangen versprüht werden. Anlagen auf Ammoniak-Basis liegen grundsätzlich dasselbe Prinzip zu Grunde, mit der Ausnahme, dass bei der Desorption im Austreiber im Gegensatz zur Lithiumbromid-Anlage kein reiner Wasserdampf entsteht. In einem aufwändigen, nachgelagerten Verfahren muss das Kältemittel hier über eine Rektifikationskolonne aufkonzentriert und der Wasserdampf entfernt werden.

Abbildung 44 | Funktionsprinzip einer Absorptionskältemaschine



Neben Absorptionskältemaschinen stehen auch Adsorptionskältemaschinen zur thermischen Kälteerzeugung zu Verfügung. Zusätzlich zum Aggregatzustand des Sorptionsmittels unterscheiden sie sich auch auf Grund ihrer unterschiedlichen Art der Sorption. So arbeiten Adsorptionskältemaschinen mit festen Sorptionsmitteln, wie z.B. Silikagel oder Zeolithen, an welche der Wasserdampf ad- bzw. desorbiert. Die Kälteerzeugung erfolgt ebenfalls durch Verdampfung des Kältemittels bei niedrigem Druck. Für den Desorptionsprozess wird wiederum Wärmeenergie benötigt. Im Gegensatz zu Absorptionskältemaschinen ist hier bereits ein Betrieb ab einem Temperaturniveau von ca. 55°C möglich. Da jedoch das Sorptionsmittel auf Grund seines festen Aggregatzustandes nicht kontinuierlich umgewälzt werden kann, handelt es sich bei der Kälteerzeugung mittels Adsorptionskältemaschinen um einen diskontinuierlichen Prozess.

Charakteristisch für die Effizienz einer thermischen Kältemaschine ist das sogenannte Wärmeverhältnis ζ , das das Verhältnis von gewonnener Kälte zu zugeführter Wärme darstellt.

$$\text{Wärmeverhältnis } \zeta = \frac{Q_{\text{Kälte}}}{Q_{\text{Wärme}}}$$

Typische Werte reichen je nach Anlagentyp und Betriebsweise von 0,3 bis 1,3. Je höher der Wert ist, desto effizienter arbeitet die Anlage bzw. desto weniger Wärme benötigt sie, um eine bestimmte Kälteleistung bereitzustellen. Als Wärmequellen werden derzeit meist industrielle (Ab-)Wärmequellen oder Abwärme von Verbrennungsprozessen, wie z.B. die Kopplung mit den Abgasen oder dem Motorkühlwasser von KWK-Anlagen (sog. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, kurz KWKK) genutzt. Immer häufiger kommen auf Grund der relativ moderaten benötigten Temperaturen auch andere Wärmequellen, wie z.B. Solarthermiekollektoren, zum Einsatz.

Tabelle 13 | Zusammenfassung wichtiger Parameter thermischer Kältemaschinen

	Absorptionskälte			
Stufen	1-stufig	2-stufig	1-stufig	1-stufig
Sorptionsmittel	Lithiumbromid	Lithiumbromid	Wasser	Zeolithe/Silikagel
Kältemittel	Wasser	Wasser	Ammoniak	Wasser
Antrieb durch	Heißwasser o. direkt	Heißwasser o. direkt	Heißwasser o. direkt	Heißwasser
Typische Antriebstemperatur	75°C - 110°C	130°C - 160°C	80°C - 120°C	55°C - 95°C
Erzeugtes Temperaturniveau	> 0°C	> 0°C	Bis -60°C	> 0°C
Wärmeverhältnis	0,55 - 0,8	0,9 - 1,3	0,3 - 0,7	0,35 - 0,7
Typische Wärmequellen	Solarthermie, Fernwärme, KWK	KWK, Industrielle Abwärme	KWK, Industrielle Abwärme	Solarthermie, Fernwärme
Preis inkl. Rückkühlinheit	300 - 1000 Euro/kW _{Kälte}	500 - 1000 Euro/kW _{Kälte}	500 - 1000 Euro/kW _{Kälte}	800 - 1500 Euro/kW _{Kälte}

Quelle: LEEN 2014

Das Wichtigste in Kürze

Thermische Kälteerzeugung kommt für mich in Frage wenn...

- ...möglichst konstanter Kältebedarf über das Jahr hinweg vorherrscht.
- ...parallel zum Kältebedarf überschüssige Wärme auf geeignetem Temperaturniveau zu Verfügung steht.

Generelle Vorteile thermischer Kältemaschinen

- Bei korrekter Auslegung und Regelung nahezu wartungsfrei
- Hohe Nutzungsdauern von bis zu 20 Jahren
- Brauchen so gut wie keine elektrische Energie zur Kälteerzeugung
- Niedrige Schallemissionen
- Keine klimaschädigende Kohlenwasserstoffe als Kältemittel
- Einsatz und Integration erneuerbarer Energien möglich

Generelle Nachteile thermischer Kältemaschinen

- Höherer spezifischer Preis als konventionelle Kompressionskältemaschinen vergleichbarer Leistungsklassen (Der spezifische Preis für Absorptionskältemaschinen beträgt i.d.R. das Zwei- bis Dreifache im Vergleich zu Kompressionskälteanlagen)
- Höherer Platzbedarf als Kompressionskältemaschinen, was insbesondere eine Umrüstung häufig erschwert

4 | Wärmetechnologie in der Praxis

4.1 | Wie effizient heizt Ihr Unternehmen?

Die Wärmeversorgung eines Betriebs basiert oftmals auf einer Vielzahl an zentralen und dezentralen Erzeugungsanlagen, die jeweils mit unterschiedlichen Energieträgern betrieben werden können. Um die Wärmeversorgung im gesamten Betrieb zu optimieren oder die Möglichkeit alternativer Erzeugungsmethoden zu beurteilen, ist daher zunächst eine möglichst genaue Abbildung des IST-Zustandes notwendig. Dieser beinhaltet neben Art, Anzahl und Verbrauch der einzelnen Erzeugungsanlagen zusätzlich die gesamte Wärmeverteilung innerhalb des Betriebs. Die nachfolgenden Checklisten sollen bei der Aufnahme aller notwendigen Daten unterstützen, die im Anschluss für die Ableitung von Effizienzmaßnahmen bzw. für eine Neukonzeptionierung wichtig sind.

4.1.1 | IST-Analyse der Wärmeversorgung

Analyse der Wärmeerzeugungsanlagen

Nachfolgende Datenabfrage ist für jede im Betrieb befindliche Wärmeerzeugungsanlage zu erstellen. Für die Datenerhebung sollten alle verfügbaren technischen Datenblätter, Protokolle vom Schornsteinfeger und Heizkostenabrechnungen herangezogen werden.

Tabelle 14 | Datenabfrage zur IST-Zustandsanalyse von Wärmeerzeugungsanlagen

Wärmeerzeuger 1	Einheit	Anmerkungen
Kesseltyp		Beispielsweise Brennwertkessel, Niedertemperaturkessel, Wechselbrandkessel, (Kombi-)Therme, Dampfkessel oder Thermoölkessel
Kesselleistung	kW	Abzulesen auf Typenschild oder im Kaminkehrerprotokoll
Baujahr		Abzulesen auf Typenschild oder im Kaminkehrerprotokoll
Regelung		Beispielsweise reine Ein/Aus-Regelung, Stufenregelung oder modulierend
Brennstoff		Erdgas, Heizöl EL, Heizöl S, Flüssiggas, Biogas etc.
Brennstoffpreis	Euro/MWh	Aus Heizkostenabrechnungen
Wirkungsgrad bzw. Abgasverlust	%	Aus Kamimkehrerprotokoll oder Datenblatt des Herstellers
Erzeugtes Temperaturniveau Vorlauf/Rücklauf	°C VL, °C RL	Aus Kamimkehrerprotokoll, Datenblättern oder eigenen Messungen
Abgastemperatur	°C	Aus Kamimkehrerprotokoll, Datenblatt des Herstellers oder eigenen Messungen
Jährliche Betriebsstunden	h	Aus Kaminkehrerprotokoll; Wenn keine Daten vorhanden, über 2-3 Wochen dokumentieren und auf das Jahr näherungsweise hochrechnen.
Jährlicher Brennstoffverbrauch	MWh/a	Aus Lastgangdaten vom Versorger (wenn vorhanden), aus monatlichen oder jährlichen Rechnungen oder näherungsweise berechnet aus zuvor eingetragener Kesselleistung, Betriebsstunden, Regelung sowie Wirkungsgrad der Anlage

Im Nachgang der Datenerhebung sollte - wenn möglich - eine Analyse des Jahreslastgangs bzw. der Jahresdauerlinie der einzelnen Wärmeerzeuger sowie des gesamten Betriebes vorgenommen werden. Im Jahreslastgang wird der zeitliche Verlauf der abgenommenen Leistung dargestellt. In der Jahresdauerlinie wird der Leistungsbedarf der Anlage bzw. des Betriebs in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzungszeit dargestellt, d.h. es wird ersichtlich, wie viele Stunden eine bestimmte Leistung nachgefragt wird. Erzeugt wird die Jahresdauerlinie durch das Sortieren der Lastgangdaten in auf- bzw. absteigender Reihenfolge. Die Rohdaten für den Lastgang liefert in der Regel der Versorger. Ist auf Grund eines zu geringen Verbrauchs bzw. einer zu geringen Bezugsleistung (weniger als 1.500 MWh/a bzw. 500 kW) kein Lastgang vom Versorger verfügbar, so kann dieser, ebenso wie die Jahresdauerlinie, näherungsweise aus den monatlichen Verbrauchsrechnungen und den monatlichen Betriebsstunden generiert werden. Lediglich eine Aussage hinsichtlich der auftretenden Lastspitzen kann hier nicht getroffen werden. Diese können direkt den Rechnungen entnommen werden.

Abbildung 45 | Jahreslastgang (links) sowie Jahresdauerlinie (rechts), generiert aus Rohdaten des Verbrauchers

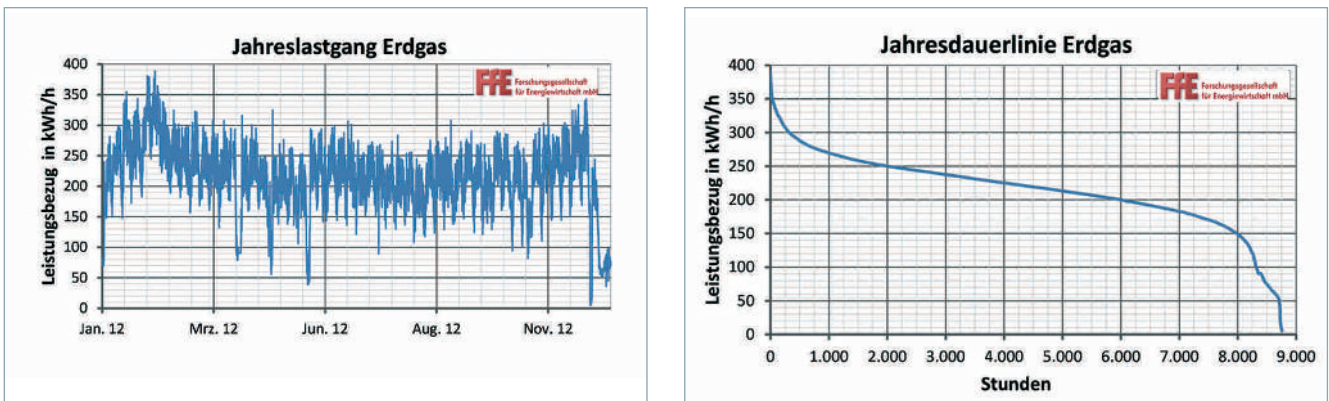
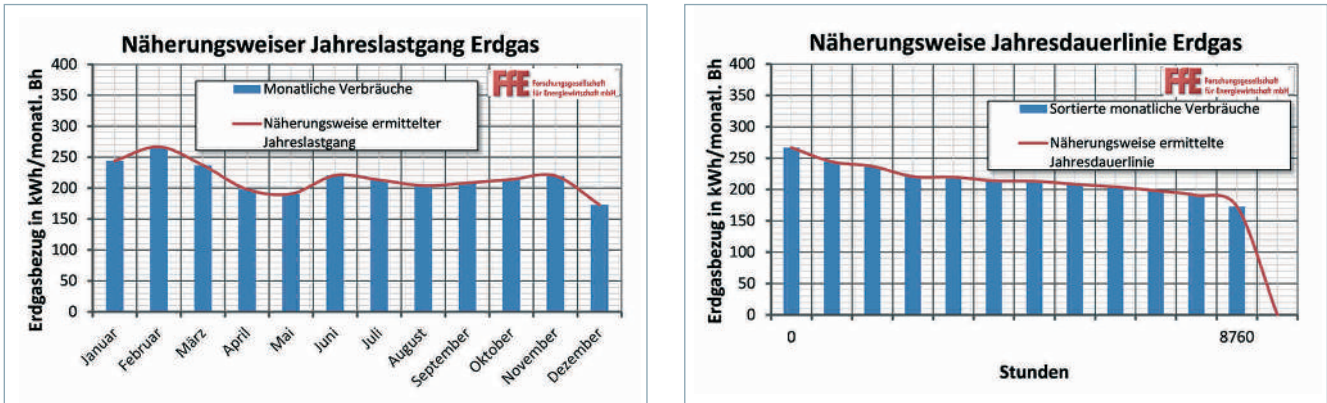


Abbildung 46 | Näherungsweise ermittelter Jahreslastgang (links) sowie Jahresdauerlinie (rechts), aus monatlichen Gesamtverbräuchen



Quelle: LEEN 2014

Die folgende Datenabfrage ist für jede im Betrieb befindliche Pumpe und möglichst für das gesamte Rohrleitungssystem im Wärmeverteilungsnetz zu erstellen. Sind mehrere Pumpen desselben Typs installiert, können diese zusammengefasst werden. Die Leistung der jeweiligen Heizungspumpe kann direkt vom Typenschild vor Ort abgelesen werden. Für Pumpen mit mehrstufiger Leistungsregelung sollten sowohl alle einstellbaren Leistungsstufen, als auch die im Betrieb eingestellte Stufe notiert werden. Ebenso können die Rohrleitungen nach ihren Durchmessern (DN) gestaffelt zusammengefasst werden. Da nicht jede Rohrleitung im Betrieb sichtbar und somit erfassbar ist, können hier in vielen Fällen grobe Abschätzungen über die jeweiligen Längen getätigt werden.

Tabelle 15 | Datenabfrage zur IST-Zustandsanalyse von Wärmeverteilungsanlagen – Pumpen

Pumpe 1	Einheit	Anmerkungen
Pumpentyp		Typenbezeichnung aus Typenschild bzw. Datenblatt
Regelung		Beispielsweise reine Ein/Aus-Regelung, Stufenregelung oder modulierend.
Leistung	W (Stufe 1) W (Stufe 2) W (Stufe 3)	
Leistung im Betrieb	W	Bei FU-geregelten Pumpen eingestellten Durchfluss ablesen und Datenblatt zu Hilfe nehmen.
Jährliche Betriebsstunden	h	Wenn mehrere Pumpen gleichen Typs zusammengefasst werden, kann die mittlere Betriebszeit angesetzt werden.
Systemtemperaturen Vorlauf/Rücklauf	°C VL, °C RL	
Dämmstärke	mm	
Jährlicher Stromverbrauch	MWh/a	Aus zuvor ermittelter Leistung im Betrieb sowie den (mittleren) jährlichen Betriebsstunden

Tabelle 16 | Datenabfrage zur IST-Zustandsanalyse von Wärmeverteilungsanlagen – Rohrleitungen

Durchmesser	Länge	Dämmstärke	Systemtemperaturen VL / RL		Zirkulationsstunden/a
DN 10	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 15	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 20	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 32	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 40	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 50	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 65	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 80	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 100	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 125	m	mm	°C VL	°C RL	h
DN 150	m	mm	°C VL	°C RL	h

Analyse der Gebäudehülle

Da die Dämmungsqualität des Gebäudes den Raumwärmebedarf maßgeblich beeinflusst, sind Angaben zur Stärke der Dämmung des Daches, der Kellerdecke und der Außenwände unerlässlich. Zudem sollten die Wärmeverluste der Fenster mit einbezogen werden.

Tabelle 17 | Datenabfrage zur IST-Zustandsanalyse der Gebäudehülle

Bereich	Fläche	Raumsolltemperatur	Dämmstärke bzw. U-Wert	Anmerkungen
Außenwand	m ²	°C	mm	> 8 cm sehr gut / < 4 cm mäßig
Kellerdecke	m ²	°C	mm	> 5 cm sehr gut / < 1 bis 4 cm mäßig
Fenster	m ²	°C	W/(m ² K)	Einfachglas ca. 5,8 W/(m ² K) 2-fach Wärmedämmglas ca. 1,2 W/(m ² K) 3-fach Wärmedämmglas ca. 0,7 W/(m ² K)
Dach	m ²	°C	mm	> 20 cm sehr gut / < 8 cm mäßig

Um Effizienzmaßnahmen zu identifizieren und wenn möglich auch quantifizieren zu können, sollten nach Abschluss der Analyse des IST-Zustands mindestens folgende Daten vorliegen:

Tabelle 18 | Minimal nötige Daten zur IST-Zustandsanalyse der Wärmeversorgung

Daten	Einheit	Vorhanden	Nicht vorh.
Jährlicher oder wenn verfügbar monatlicher Brennstoffverbrauch zur Wärmeerzeugung	MWh/a bzw. MWh/Monat		
Jährliche oder wenn verfügbar monatliche Kosten zur Wärmeerzeugung	Euro/a bzw. Euro/Monat		
Installierte Wärmeleistung	kW		
Jahreslastgang und Jahresdauerlinie (vom Versorger oder näherungsweise selbst erstellt)			
Systemtemperaturen (ggf. Vorlauf und Rücklauf)	°C VL, °C RL		
Angaben zur Dämmstärke von Rohren, Armaturen und Gebäudehülle	mm		
Wärmeanforderung in Stunden pro Jahr	h/a		

KLEINE MASSNAHMEN, GROSSE WIRKUNG

4.1.2 | Ihr Weg zu mehr Effizienz!

Auf Basis der zuvor generierten Daten können nun bereits viele Maßnahmen auf ihren ökonomischen und ökologischen Nutzen hin untersucht werden. Energieeffizienzmaßnahmen variieren je nach Anwendung. **Abbildung 47** gibt Anhaltspunkte an, welche bei der Maßnahmenentwicklung berücksichtigt werden sollten. Die Reihenfolge spielt dabei keine Rolle.

Abbildung 47 | Vorgehensweise zur rationelle Energienutzung nach Hesselbach 2012

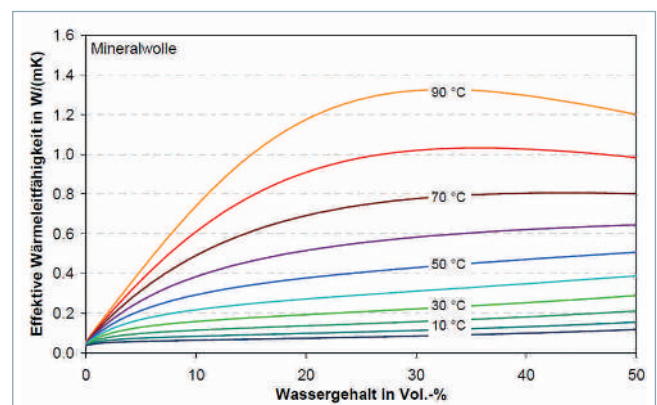


Energie kann immer dann eingespart werden, indem beispielsweise unnötiger Energieverbrauch vermieden wird, der Bedarf an Energie und die Verluste auf ein Minimum reduziert werden und wenn freiwerdende Energie im selben Prozess oder in einem anderen Prozess weiter genutzt werden kann. Nachfolgende Auflistung stellt hierbei nur eine kleine Auswahl speziell für Maßnahmen im Wärmebereich dar.

Abbildung 48 | Wärmeleitfähigkeit von Mineralwolle in Abhängigkeit von Feuchte und Temperatur

Dämmung von betriebstechnischen Anlagen und Bestandsgebäuden

Wie aktuelle Untersuchungen zeigen, rechnen sich Investitionen in die Dämmung betriebstechnischer Anlagen, wie z.B. Armaturen, Pumpen oder Rohrleitungen, meist innerhalb weniger Jahre. Im Durchschnitt können die Wärmeverluste in diesem Bereich um ca. 30 % gesenkt werden. Hierbei sollte das Hauptaugenmerk nicht nur auf komplett ungedämmte Stellen gelegt werden. Löchrige, nicht korrekt befestigte oder gar feuchte Dämmstoffe haben eine geringere Dämmwirkung; die Dämmung wirkt in vielen Fällen sogar als eine Art Wärmebrücke. Demnach können die Wärmeverluste von beispielsweise feuchten Dämmstoffen teilweise weit höher sein als ohne Dämmung.



Quelle: Gruber 2013

Gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014 sollten die Dämmschichtdicken an Warmwasser- bzw. Heizungsverteilungen mindestens folgende Werte betragen:

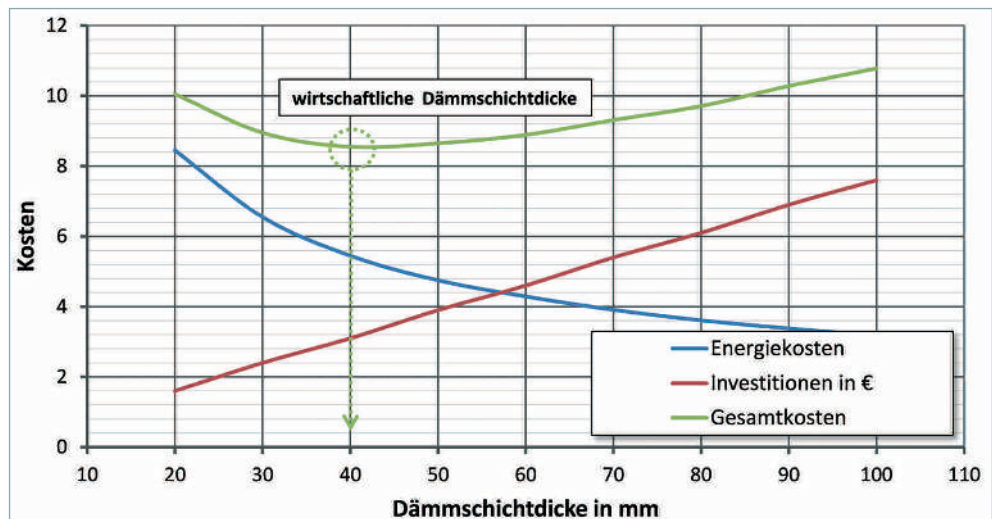
Tabelle 1 | Mindestdämmstärke in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers nach EnEV 2014

Durchmesser der Rohrleitung	Mindestens einzuhaltende Dämmstärke
< 22 mm	20 mm
22 bis 35 mm	30 mm
35 bis 100 mm	Dicke wie Rohrdurchmesser
> 100 mm	100 mm

Es gilt jedoch zu beachten, dass eine besonders dicke Dämmschicht nicht gleichzeitig die wirtschaftlichste Lösung ist. Vielmehr gilt es, vorab die möglichst wirtschaftliche Dämmdicke zu bestimmen. Diese lässt sich ermitteln, indem die Investitionen und die eingesparten Energiekosten einander gegenübergestellt werden. Die wirtschaftlichste Dämmdicke ergibt sich aus dem Minimum der Summenkurve der beiden zuvor aufgetragenen Graphen. In [Abbildung 49](#) ist dieses Verfahren für die Dämmung eines DN 80 Rohres bei einer Medientemperatur von 75°C dargestellt. Bei der Auswahl der passenden Dämmstoffe sowie der korrekten Dämmdicke sollten daher verschiedene Möglichkeiten und Angebote eingeholt werden.

Kleine und mittlere Unternehmen, die im Rahmen einer sogenannten „systemischen Optimierung“ Investitionen in die Dämmung von Rohrleitungen, Pumpen oder Armaturen tätigen, können Fördermittel des BMU beantragen. Neben den betriebstechnischen Anlagen hat auch die Gebäudehülle oftmals einen großen Einfluss auf den Wärmebedarf eines Unternehmens. Auch hier stellt die EnEV 2014 hohe Anforderungen, auch wenn diese zum großen Teil nicht Bestandsgebäude, sondern Neubauten betreffen. Einzelne Abschnitte enthalten jedoch auch konkrete Nachrüstpflichten für Bestandsgebäude – wie z.B. konkrete Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand der obersten Geschossdecke. Hier definiert die EnEV 2014 eine Pflicht zum Dämmen über den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2. Wenn dieser nicht erfüllt ist, muss die oberste Geschossdecke bzw. das Dach nachgedämmt werden. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Nachrüstung der Dämmung einer Gebäudehülle zeigen die Wärmebildkameraaufnahmen in [Abbildung 50](#). Die deutlich verringerten Wärmeverluste – auch im Bereich von Fenstern und Toren – konnten die Kosten zur Wärmeerzeugung hier erheblich reduzieren.

Abbildung 49 | Ermittlung der wirtschaftlichsten Dämmschichtdicke



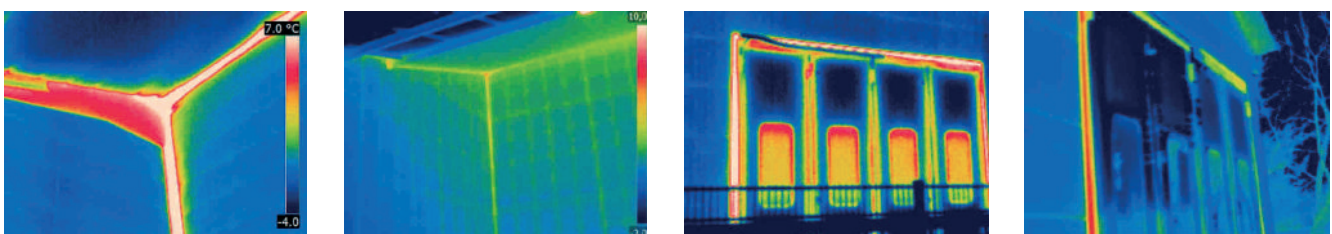
Quelle: VDI 2012

Effizientere Wärmeerzeugung

Rund 40 % des industriellen Raum- und Prozesswärmebedarfs wird in Kesselanlagen zur Heißwasser- bzw. Dampferzeugung generiert. Zu den wichtigsten Energieeffizienzmaßnahmen gehören hier der verstärkte Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen, die Verbesserung der Dämmung der Erzeugungsanlagen, eine bedarfsgerechte Steuerung sowie eine Optimierung der eingesetzten Kessel- und Brennertechnik. Durchschnittlich können auf diese Weise ca. 10 bis 15 % der eingesetzten Energie eingespart werden. Es lassen sich jedoch nur dann entsprechende Einsparungen erzielen, wenn alle Einzelmaßnahmen auf ein effizientes Gesamtsystems abgestimmt werden. Daher ist es ratsam, die energetische Optimierung systematisch anzugehen. Als Vorgehensweise wird empfohlen:

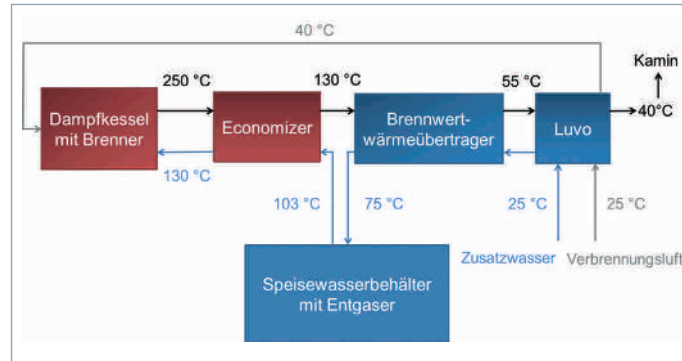
1. Minimierung des Wärmebedarfs im Betrieb durch Optimierung der Produktionsprozesse sowie Dämmung von Rohren, Armaturen, Pumpen und Prozessanlagen (siehe zuvor beschriebene Maßnahme)
2. Effiziente Wärmeerzeugung durch Anlagenoptimierung. Hierzu gehören beispielsweise Tausch, Nachrüstung bzw. Neuanschaffung von Brenner- und Kesseltechniken, Einsatz von drehzahlgeregelten Brennern prüfen, Abgasregelung nach CO oder O₂ prüfen, eingestellte Regelparameter prüfen.
3. Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen, wie z.B. Abgaswärmetauscher (sog. Economizer), Brennwertübertrager oder Brennerluftvorwärmer (sog. Luvo). Nachfolgende Abbildung zeigt hier am Beispiel einer Dampfkesselanlage die Möglichkeiten des Einsatzes von Wärmerückgewinnungssystemen, um dem Abgas (in welchen durchschnittlich bis zu 40 % der eingesetzten Energie stecken) möglichst viel nutzbare Wärme zu entziehen. Ähnliche Möglichkeiten stehen auch beim Einsatz von Heißwasserkesseln zur Verfügung. Hier werden entsprechende Wärmerückgewinnungssysteme zur Rücklauf Temperaturerhebung oder ebenfalls zur Brennerluftvorwärmung eingesetzt. Eine weitere einfach umzusetzende Maßnahme stellt die Ansaugung der Verbrennungsluft aus Höhe der Hallendecke dar. Da an der Hallendecke stets höhere Temperaturen herrschen als am Boden und zudem keine kostenintensiven Investitionen zu tätigen sind, rechnet sich solch eine Maßnahme häufig bereits nach kurzer Zeit. Weitere Informationen zur effizienten Erzeugung von Dampf- bzw. Heißwasser finden Sie im Faktenblatt Dampfkessel.
4. Der letzte Schritt zur energetischen Optimierung des Wärmeversorgungssystems ist die Prüfung des Einsatzes von weiteren Umwandlungstechnologien bzw. alternativen Erzeugungstechnologien, welche den Energieverbrauch reduzieren bzw. kostengünstiger bereitstellen können. Hierzu gehören vor allem der Einsatz von Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplungsanlagen (siehe nachfolgend beschriebene Maßnahme), der vermehrte Einsatz von Wärmespeichern, der Einsatz von Wärmepumpen, die Nutzung regenerativer Energiequellen, wie z.B. Solarthermie bzw. Erdwärme oder die Verstromung von überschüssiger Abwärme in ORC- oder Kalina-Prozessen.

Abbildung 50 | Wärmedämmung eines Vordachs (links) sowie eines Fabriktores (rechts) nach erfolgreicher Nachrüstung



Quelle: LEEN 2014

Abbildung 51 | Möglichkeiten des Einsatzes von Wärmerückgewinnungssystemen bei der Dampferzeugung

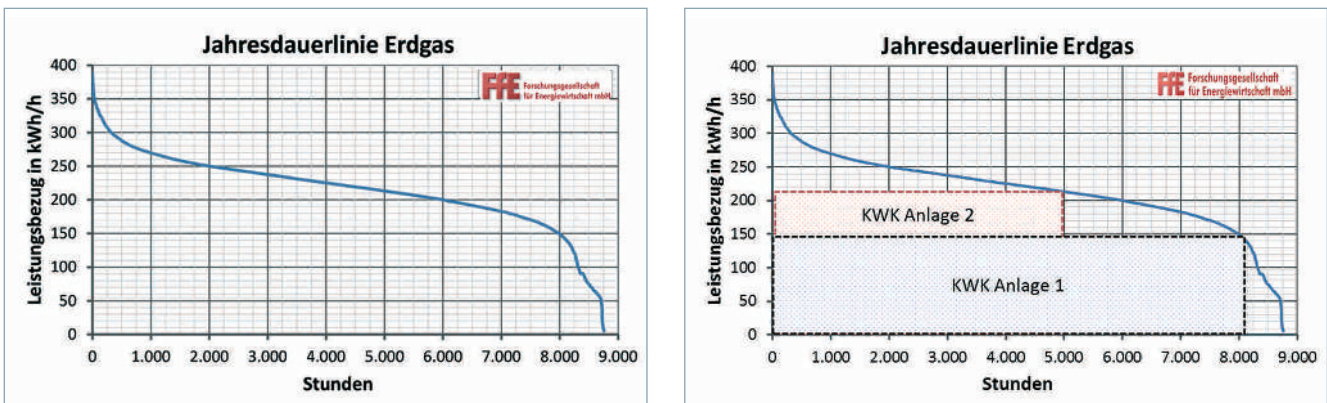


Quelle: Eigene Darstellung nach Schult 2013

Integration einer KWK-Anlage in die Wärmeversorgung eines Betriebes

Die Installation einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage) zur gleichzeitigen Gewinnung von elektrischer Energie und Nutzwärme kann sich in vielen Fällen schon innerhalb kurzer Zeit amortisieren. Nachfolgend soll aufgezeigt werden, wie abgeschätzt werden kann, ob der Einsatz einer KWK-Anlage in einem Betrieb prinzipiell Sinn macht. Maßgeblich verantwortlich für die Wirtschaftlichkeit einer KWK-Anlage sind die jährlichen Vollbenutzungsstunden. Dabei sollte über einen möglichst langen Zeitraum im Jahr sowohl die Wärme, als auch der Strom direkt innerhalb des Betriebs nutzbar sein. Da meist die Wärmeabnahme der limitierende Faktor ist, kann für eine erste grobe Auslegung einer KWK-Anlage die Jahresdauerlinie der Wärmeerzeugung herangezogen werden. In nachfolgendem Beispiel wird ein Betrieb durch einen Gaskessel versorgt. Aus der erstellten Jahresdauerlinie ist nachvollziehbar, dass eine KWK-Anlage mit einer thermischen Leistung von 150 kW ca. 8.000 Betriebsstunden pro Jahr aufweisen würde. Zudem könnte eine zweite Anlage mit einer Leistung von 60 kWth installiert werden, die immer noch rund 5.000 Betriebsstunden aufweisen würde. Nähere Informationen zu KWK-Anlagen sowie den anfallenden Kosten erhalten Sie im Faktenblatt Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK).

Abbildung 52 | Auslegung von KWK-Systemen über die Jahresdauerlinie des Wärmebezugs



Quelle: LEEN, 2014

VERBESSERUNG DER WÄRMEVERSORGUNG

4.1.3 | Fördermöglichkeiten

Sowohl das Land Hessen, als auch der Bund stellen vielfältige Fördermittel für den Einsatz von Erneuerbaren Energien oder Energieeffizienzmaßnahmen für die Industrie bereit. Nachfolgende Auflistung soll einen Überblick darüber geben, welche Technologien derzeit durch bestimmte Organisationen förderbar sind. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass sich sowohl der Umfang als auch die Laufzeit bestimmter Förderprogramme abhängig von politischen Entscheidungen oder anderen Rahmenbedingungen stets verändern können.

Tabelle 20 | Auswahl an Fördermöglichkeiten im Bereich Wärmeversorgung für Industrieunternehmen Stand: November 2014

Technologie bzw. Tätigkeit	Ansprechpartner	Förderart	Anmerkungen
Thermische Solarkollektoren	BAFA	Monetärer Zuschuss	Zielgruppe : KMUs Sowohl Anlagen zur WW-Bereitung als auch Großanlagen zur Erzeugung von Prozesswärme, nur in Bestandsgebäuden
Thermische Solarkollektoren	KfW	Zinsgünstiger Kredit	Unternehmen jeder Größenordnung, unabhängig von Nutzung
Pelletkessel	BAFA	Monetärer Zuschuss	Zielgruppe : KMUs Sowohl mit als auch ohne Pufferspeicher förderbar, nur in Bestandsgebäuden
Biomasse KWK-Anlage	KfW	Zinsgünstiger Kredit	Unternehmen jeder Größenordnung, Ausführung streng wärmegeführt, Brennstoff (Pellets, Hackschnitzel oder Scheitholz)
Mini KWK-Anlage	BAFA	Monetärer Zuschuss	Anlagen < 20 kW _{el}
Hackschnitzelkessel	BAFA	Monetärer Zuschuss	Zielgruppe : KMUs Nur mit Pufferspeicher förderbar, nur in Bestandsgebäuden
Wärmepumpen (Luft/Wasser und Sole/Wasser)	BAFA	Monetärer Zuschuss	Zielgruppe : KMUs Sowohl mit als auch ohne Pufferspeicher förderbar, nur in Bestandsgebäuden
Wärmepumpen	KfW	Zinsgünstiger Kredit	Großwärmepumpen > 100 kW, Luft/Wasser-Wärmepumpen ausgeschlossen
Sorptionskälteanlagen (Thermische Kältemaschinen)	BAFA	Monetärer Zuschuss	Zielgruppe : KMUs Antrieb durch Abwärme- bzw. KWK-Nutzung
Errichtung von Wärmenetzen	KfW	Zinsgünstiger Kredit	Auch Hausübergabestationen förderbar, Nutzung nur für Bestandsgebäude bzw. Prozesswärme
Wärmespeicher	KfW	Zinsgünstiger Kredit	Gespeist aus erneuerbaren Energien
Gebäudesanierung	KfW	Zinsgünstiger Kredit	Sanierung und Neubau, Mindestanforderungen orientieren sich an der EnEV oder darüber
Energieberatung	KfW	Monetärer Zuschuss	Zielgruppe : KMUs Jährliche Netto-Energiekosten mindestens 5.000 Euro

5 | Fazit

Über die Hälfte des deutschen Endenergieverbrauchs wird für Wärme genutzt. In Hessen liegt der Anteil bei rund 40 % der Endenergie. Haushalte und Unternehmen aus dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung benötigen die meiste Energie für die Bereitstellung von Raumwärme, wohingegen in der Industrie die Prozesswärme den größten Anteil benötigt. Während in der Stromerzeugung bereits knapp 30 % aus erneuerbaren Energien stammt, liegt der Anteil bei der Wärmeerzeugung bei etwa 10 %.

Zur Erreichung der ambitionierten energiepolitischen Ziele muss zum einen der Wärmebedarf reduziert werden. Zum anderen sollten veraltete Heizungsanlagen durch moderne, effiziente Technologien, wenn möglich unter Einbindung erneuerbarer Energien ausgetauscht werden.

Ein stärkeres Zusammenspiel des Wärme- und Strommarktes ist mittelfristig sinnvoll. Bis jetzt wurde vornehmlich der Ausbau der erneuerbaren Energien im Bereich der Stromerzeugung vorangetrieben, mit der Konsequenz, dass in windstarken und sonnenreichen Tagen zum Teil erneuerbare Energien vom Netz genommen werden müssen, um die Netzstabilität nicht zu gefährden. Durch eine zeitgleiche Weiterentwicklung des Wärmemarktes hin zu flexibleren Methoden, wie z.B. Power2Heat oder einem gezielteren Einsatz von KWK-Anlagen, könnte dieser regenerative Strom im Bereich der Wärme genutzt werden. Elektrodenkessel, Heizschwerter und große Wärmespeicher werden für diesen Zweck bereits bei Stadtwerken vereinzelt eingesetzt.

Das wichtigste Förderprogramm im Wärmesektor ist aktuell das Marktanzreizprogramm, das für kleinere Anlagen Investitionszuschüsse gewährt und größere Projekte durch zinsbegünstigte Kredite fördert. Die jährlichen Schwankungen der Geldmittel des Marktanzreizprogramms hemmen vor allem größere Investitionen. Daher sind Neuerungen und Anpassungen in der jetzigen Energiepolitik notwendig. Letztendlich entscheidet jeder Unternehmer selbst, welche Art Wärme er bezieht oder erzeugt. Dabei liegt es im Eigeninteresse eines jeden Unternehmens mögliche Einspar- oder Effizienzpotenziale zu heben. Die Politik kann nur durch ordnungspolitische Maßnahmen den Rahmen setzen und durch Förderungen Investitionsanreize schaffen. Sofern die Politik Förderungen bereitstellt, müssen diese langfristig planbar sein und in geeigneten Zeitabständen einer Evaluation unterzogen werden.

6 | Glossar

Absorptionskältemaschine

Mittels einer Absorptionskältemaschine ist es möglich, durch den Einsatz von Wärmeenergie Kälte zu erzeugen. Sie verfügt über einen Lösungsmittelkreis und einen Kältemittelkreis. Das Lösungsmittel wird im Kältemittel in einem kontinuierlichen Prozess gelöst oder ausgetrieben, wofür Wärmeenergie benötigt wird (siehe zusätzlich unter Begriff Sorption).

Abwärme

Abwärme ist Wärme, die in einem Prozess entsteht und ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Da jeder reale Prozess irreversibel ist, entsteht auch in jedem Prozess mehr oder weniger Abwärme.

Biogas

Biogas ist ein Gas, welches durch Vergärungsprozesse jeder Art von Biomasse entsteht. Die Hauptkomponenten sind Methan (CH_4) sowie CO_2 . Es wird meist in sogenannten Biogasanlagen hergestellt und in der Regel in Verbrennungsprozessen zur Strom und/oder Wärmeerzeugung weiterverwendet.

Biomasse

Biomasse bezeichnet jede Art von pflanzlichen oder tierischen organischen Rohstoffen. Diese können zur Energieerzeugung genutzt werden (z.B. Raps, Palmöl oder Gülle).

Blockheizkraftwerk (BHKW)

Mit einem Blockheizkraftwerk besteht die Möglichkeit, elektrische Energie sowie nutzbare Wärme für Heizzwecke gleichzeitig zu erzeugen. Vorteil ist der verbesserte Brennstoffnutzungsgrad im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme. Am häufigsten werden entweder klassische Kolbenmotoren oder Gas- bzw. Dampfturbinen eingesetzt.

Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)

Die Vorschriften dieses Gesetzes dienen dem Zweck, Menschen und ihre Umwelt vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und zugleich dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

Brennwert

Unter dem Brennwert versteht man die bei einer vollständigen Verbrennung freiwerdender thermischer Energie inklusive der Nutzung der Kondensationswärme des im Verbrennungsprozess entstandenen Wassers.

COP

Mit dem sogenannten COP-Werte (coefficientofperformance) wird das Verhältnis von eingesetzter elektrischer Energie zu erzeugter thermischer Energie beschrieben.

Endenergie

Endenergie ist die nach Energiewandlungs- und Übertragungsverlusten übrig gebliebene Primärenergie, welche den jeweiligen Anschluss eines Verbrauchers passiert.

Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die Energieeinsparverordnung fasst die bisherige Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung zusammen. Sie erhöht das Anforderungsniveau an Neubauten und passt zudem ständig die Anforderungen an Altbauten dem technischen Fortschritt an.

EEG-Umlage

Über die EEG-Umlage werden die Kosten für die Förderung von Erneuerbaren Energien auf die Endverbraucher umgelegt. Die Höhe der Umlage wird regelmäßig an die tatsächlichen Kosten angepasst und beträgt für das Jahr 2014 6,24 ct/kWh.

Erneuerbare Energien

Als Erneuerbare Energien werden im Allgemeinen Energieformen bezeichnet, die nicht auf endliche Ressourcen wie beispielsweise Öl, Kohle oder Gas zurückgreifen. Die drei zentralen erneuerbaren Energiequellen stellen die Sonnenenergie, die Geothermie sowie die Gezeitenenergie dar.

Erneuerbare-Energien-Gesetz

Das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) trat erstmals am 1. 4. 2000 in Kraft und regelt seitdem die Förderung des Einsatzes Erneuerbarer Energien zur Strom- und Wärmeversorgung in Deutschland.

Fernwärme

Fernwärme wird in der Regel in großen Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder Fernheizwerken erzeugt. Auf Grund seiner großen spezifische Wärmekapazität eignet sich Wasser besonders als Medium für den Wärmetransport. Für die Fernwärme wird es flüssig oder in Form von Dampf eingesetzt. Das Medium wird in wärmegeprägten und meist unterirdischen Rohrleitungen in einem kontinuierlichen Kreislauf befördert.

Heizwert

Der Heizwert ist die bei der vollständigen Verbrennung eines Brennstoffes frei werdende Wärmemenge, wenn das beim Verbrennen des Brennstoffes gebildete Wasser in dampfförmigem Zustand vorliegt. Der Heizwert liegt unter dem Brennwert (siehe Brennwert).

Jahresdauerlinie

Mittels einer Jahresdauerlinie wird der Leistungsbedarf einer Anlage bzw. eines Betriebs in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzungszeit dargestellt. Sie gibt an, an wie vielen Stunden eine entsprechende Leistung über einen definierten Zeitraum abgerufen wird. Sie stellt somit den kumulierten und leistungsmäßig geordneten Jahreslastgang dar.

Jahreslastgang

Der Jahreslastgang zeigt den Verlauf einer auftretenden Last einer Anlage oder eines ganzen Betriebs über einen definierten Zeitraum (üblicherweise über ein Jahr).

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Erzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugen Strom und nutzen gleichzeitig die Abwärme der Turbinen oder Motoren für weitere Heizzwecke. Dadurch werden im Vergleich zu herkömmlichen Technologien die Emissionen von CO₂ und anderen Schadstoffen wie Schwefeldioxid und Stickoxiden wesentlich reduziert. Der Ausnutzungsgrad der dabei eingesetzten Brennstoffe ist also um ein Vielfaches höher als bei konventioneller Stromerzeugung.

Nahwärme

Nahwärme bezeichnet die Übertragung von Wärme zwischen mehreren Gebäuden zu Heizzwecken, wenn sie im Vergleich zur Fernwärme nur über verhältnismäßig kurze Strecken erfolgt (siehe Fernwärme). Der Übergang zur Fernwärme mit größeren Leitungslängen ist fließend.

Nutzungsgrad

Der Nutzungsgrad bezeichnet das Verhältnis von einer für eine bestimmte Zeit nutzbar gemachte Energie zur zugeführten Energie. Er ist somit ein besseres Maß zur Beurteilung der Effizienz einer Erzeugungsanlage als der Wirkungsgrad (siehe Wirkungsgrad).

Organic Rankine Cycle-Prozess (ORC-Prozess)

Der ORC-Prozess ist ein Dampfkraftprozess zur Stromerzeugung. Hinsichtlich seiner Prozessführung ist er identisch mit dem normalen Wasserdampfkraftprozess, der weltweit die bedeutendste Bauart zur großtechnischen Stromerzeugung darstellt. Anstatt Wasser werden jedoch verschiedenste organische Arbeitsmittel verwendet. Dadurch werden auch niedrigere Temperaturniveaus ab ca. 80°C - 110°C für eine Verstromung nutzbar.

Primärenergie

Primärenergie bezeichnet die Energie, welche aus natürlichen Ressourcen zur Verfügung steht. Man unterscheidet hierbei oft zwischen begrenzt vorhandenen Ressourcen wie z.B. Kohle oder Öl und regenerativen Ressourcen wie Sonnen-, Wind- und Wasserkraft. Durch Umwandlungsprozesse entsteht aus der Primärenergie Sekundärenergie wie z. B. Strom, welche letztendlich in Form von Endenergie beim Endverbraucher genutzt wird (siehe Endenergie).

Rückwärmzahl

Die Rückwärmzahl ist eine Kennzahl zur Berechnung von Wärmeübertragern, die z.B. im Bereich Lüftungstechnik die Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft und die Temperaturdifferenz der Ab- und Außenluft ins Verhältnis setzt.

Solarkollektor

Solarkollektoren sind für die Konversion von Strahlungs- in thermische Energie zuständig. Die am häufigsten verwendeten Bauformen stellen hierbei Flachkollektoren sowie Röhrenkollektoren dar. Flachkollektoren erreichen in der Regel Temperaturniveaus von bis zu \square 80 C°, wohingegen Röhrenkollektoren Betriebstemperaturen von \square 150 C°.

Sorption

Als Sorption wird die Anreicherung eines Stoffes innerhalb einer Phase oder auf einer Grenzfläche zwischen zwei Phasen bezeichnet. Die Anreicherung innerhalb einer Phase nennt man Absorption, die an der Grenzfläche Adsorption.

Stirlingmotor

Der Stirlingmotor ist ein Heißgasmotor. Im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren sind bei ihm die Zylinder geschlossen, und es werden von außen keine Medien zu- oder abgeführt. Die zum Betrieb notwendige Energie wird ihm von außen durch eine kontinuierliche Wärmezufuhr bzw. -abfuhr zur Verfügung gestellt. Im Zylinder befindet sich ein Arbeitsgas. Dieses dehnt sich im erwärmten Bereich des Zylinders aus und zieht sich im kalten Bereich wieder zusammen, wobei nutzbare mechanische Arbeit entsteht.

Wärmeverhältnis ζ

Das Wärmeverhältnis ζ ist eine Kennzahl von thermischen Kältemaschinen. Mit ihr wird das Verhältnis von erzeugter Kälteleistung zur aufgewendeten thermischen Energie bewertet.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von abgegebener und aufgenommener Energie bei der Energieumwandlung bzw. -übertragung unter vorgegebenen Randbedingungen. Der Wirkungsgrad befindet sich immer zwischen 0 und 100 Prozent.

7 | Literaturverzeichnis

AGEB 2013

Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2011 - Stand: 23. April 2013. Berlin: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., 2013

AGFW 2013

AGFW - Hauptbericht 2012. Frankfurt am Main: Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., 2013

ASUE 2011

BHKW-Kenndaten 2011. Berlin: Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE), 2011

BDEW 2013

BDEW: Erneuerbare Energien und das EEG in: <http://www.bdew.de>. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2013

BDEW 2014

BDEW: Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2014) - Anlagen, installierte Leistung, Stromerzeugung, EEG-Auszahlungen, Marktintegration der Erneuerbaren Energien und regionale Verteilung der EEG-induzierten Zahlungsströme. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2014

Becker 2011

Becker, Martin (GfEM Gesellschaft für Energiemanagement mbH); Scheunemann, Andreas (Energy Consulting): Kennziffernkatalog für die Energiewirtschaft. Berlin: GfEM, 2004

BHD 2014

Gesamtbestand zentrale Wärmeerzeuger 2013 in: <http://www.springerprofessional.de/zu-viele-heizungsanlagen-sind-ineffizient/5191926.html>. Köln: Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH), 2014

Blesl 2008

Lambauer, J.; Fahl, U.; Ohl, M.; Blesl, M.; Voß, A.: Industrielle Großwärmepumpen – Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele. Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, 2008

BMWi 2014a

Energiedaten: Gesamtausgabe – Stand: April 2014. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2014

BMWi 2014b

Energiedaten: Gesamtausgabe – Stand: Juli 2014. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BmWi), 2014

BSW 2014

Statistische Zahlen der deutschen Solarwärmebranche (Solarthermie) in: http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/2014_03_BSW_Solar_Faktenblatt_Solarwaerme.pdf. Berlin: Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar), 2014

BWP 2013

BWP-Branchenstudie 2013 – Szenarien und politische Handlungsempfehlungen. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., 2013

Corradini 2014a

Corradini, Roger (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.): Unveröffentlichte Studie FfE. München: FfE e.V., 2014

Corradini 2014b

Corradini, Roger; Sutter, Manuel (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.); Leukefeld, Timo; Prutti, Cornelia (das komm.büro); Wagner, Hermann-Josef; Eickelkamp, Timo; Rosner, Vincent (Ruhr-Uni Bochum): Solarthermie – Technik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz für solarthermische Systeme in Einfamilienhäusern. Ein Projekt der Wüstenrot Stiftung in Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. Herausgegeben durch Wüstenrot Stiftung: Ludwigsburg 2014 – ISBN 978-3-933249-89-0 Kostenlos beziehbar unter: www.solarthermiepotenziale.de

DELOITTE 2011

Fördermaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei KMU und Industrie – Schlussbericht. Hamburg: Deloitte&Touche GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2011

DESTATIS 2014a

Endenergieverbrauch der privaten Haushalte je Einwohner 1995 – 2012 nach Bundesländern in: <http://www.ugrdl.de/tab25.htm>. Wiesbaden: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014

DESTATIS 2014b

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung des Bundes – Bruttowertschöpfung(nominal/preisbereinigt): Deutschland in: <https://offenedaten.de/dataset/destatis-statistik-81000/resource/dd26e252-00b9-4306-8527-2f47d513d084>. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2014

Energieforum 2010

Bericht des Energie-Forums Hessen 2020 - Ziele und Eckpunkte des Hessischen Energiekonzepts für die Bereiche Energieeffizienz und Erneuerbare Energien in: https://www.hessen-nachhaltig.de/c/document_library/get_file?uuid=a523ead3-cac2-431f-9f8a-021d12046217&groupId=11217. Wiesbaden: Energie-Forum Hessen, 2010

Energiegipfel 2011

Hessischer Energiegipfel: Abschlussbericht des Hessischen Energiegipfels vom 10. November 2011 in: <http://www.energiegipfel.hessen.de/mm/AbschlussberichtEnergiegipfel.pdf> Wiesbaden: 2011 Energieportal Mittelhessen 2011

Energieziele in: <http://www.energieportal-mittelhessen.de/startseite/grundinformation-erneuerbare-energien/energieziele.html>. : Regierungspräsidium Gießen, 2011, (Stand: 1.12.2014) Erdwärmeliga 2013 Erdwärme in Hessens Landkreisen in: <http://www.erdwaermeliga.de/landesliga/hessen/kreise.html>. Freiberg: Erdwärmeliga Deutschland, 2013

FFE 2014

Gallet, Marc; Jetter, Fabian; Schmidt, Tobias; Steinert, Corinna: Darstellung statistischer Daten basierend auf dem FfERegionenmodell, Daten der BAFA und eigenen Berechnungen. München: FfE GmbH, 2014

FNR 2014

Basisdaten Bioenergie Deutschland 2014 - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2014

Gruber 2013

Gruber, Anna; von Roon, Serafin; Wiesemeyer, Karin: Energieeinsparpotenziale durch Dämmung von betriebstechnischen Anlagen in: HLH Bd. 64 3-2013. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2013

GTV 2014

Tiefe Geothermieprojekte in Deutschland in: http://www.geothermie.de/fileadmin/useruploads/wissenswelt/Projekte/Projektliste_Tiefe_Geothermie_2014_Bundesland.pdf. Berlin: Bundesverband Geothermie (GtV), 2014

Hesselbach 2012

Hesselbach, Jens.: Energie- und klimaeffiziente Produktion: Grundlagen, Leitlinien und Praxisbeispiele. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012

HLUG 2014

Standortbeurteilung Erdwärmesonden in Hessen. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2014

HSL 2011

Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte des Landes Hessen in: <http://www.statistik-hessen.de/themenauswahl/bevoelkerung-gebiet/landesdaten/bevoelkerung-allgemein/flaeche-bevoelkerung-und-bevoelkerungsdichte/index.html>. Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt, 2011

HSL 2014a

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder - Bruttoinlandsprodukt und Bruttowertschöpfung in jeweiligen Preisen in Hessen 2000 bis 2013 nach Wirtschaftsbereichen (ESVG 1995) in: <http://www.statistik-hessen.de/themenauswahl/gesamtwirtschaft-konjunktur/landesdaten/bip-wirtschaftsbereichen/veraenderungen-vorjahr-bruttoinlandsprodukt-bruttowertschoepfung/>. Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt, 2014

HSL 2014b

Statistische Berichte - Hessische Energiebilanz 2011 und CO₂-Bilanz 2011 in: Statistik Hessen. <http://www.statistik-hessen.de/publikationen/download/277/index.html> Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt, 2014

HSL 2014c

Statistische Berichte - Energieversorgung in Hessen im Dezember 2010, 2011, 2012, 2013 in: Statistik Hessen <http://www.statistik-hessen.de/publikationen/download/274/index.html> Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt, 2014

Jahn 2012

Jahn, Karin; Günnewig, Dieter: Gutachten zu den Regionalen Energiekonzepten Hessen unter besonderer Berücksichtigung Erneuerbarer Energien in: https://wirtschaft.hessen.de/sites/default/files/HMWVL/regionale-energiekonzepte_hauptbericht-kurzfassung.pdf. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2012

Kaeser 2011

Druckluftseminar Handbuch - 2. Auflage. Coburg: Kaeser Kompressoren GmbH, 2011

LEEN 2014

Lernende Energieeffizienz-Netzwerke (LEEN): München-Oberbayern, Südbayern, Vorarlberg I und II, Chiemgau-Rupertiwinkel, Bayerngas, Verbund - laufende Projekte. München: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2014

LWF 2014

Merkblatt 12 - Energiegehalt von Holz in: http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb_12_energiegehalt_holz.pdf. Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2014

Mühlstein 2014

Mühlstein, Jan: Elektrokessel und -heizer im Angebot in: Energie & Management: Zeitung für Energiemarkt Ausgabe August 2014. Herrsching: Energie & Management Verlagsgesellschaft mbH, 2014

Parat 2014

PARAT: High Voltage Electrode Boiler in: <http://parat.no/en/>. Flekkefjord, Norwegen: PARAT Halvorsen AS, 2014

Rumohr 2011

Rumohr, Sven: Erdwärmennutzung in Hessen - Leitfaden für Erdwärmesondenanlagen zum Heizen und Kühlen in: http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/erdwaerme_web.pdf. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2011

Schult 2013

Schult, Stefan; Meyer, Jens: Energie einfach besser nutzen – Ein Handbuch für Praktiker in der Feuerungstechnik. Bremen: Saake GmbH, 2013

TÜV 2014

Erlaubnisverfahren für Dampfkessel nach § 13 BetrSichV: Beiblätter in: https://www.vdtuev.de/themen/industrie_und_anlagensicherheit/dampf_und_drucktechnik/erlaubnisverfahren_dampfkessel/pdokliste?oid=229259. Berlin: Verband der TÜV e.V., 2014

UBA 2014

Icha, Petra: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2013. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2014

VDI 2012

VDI 4610 Blatt 1 und Blatt 2 - Energieeffizienz betriebstechnischer Anlagen; Wärme- und Kälteschutz / Wärmebrückenkatalog. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2012

Ziesing 2013

Ziesing, Dr. Hans-Joachim; Rohde, Dr. Clemens: Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012. Berlin: AG Energiebilanzen e.V., 2013

Ziesing 2014

Ziesing, Hans-Joachim; et. al.: Aktueller Stand der KWK - Erzeugung - September 2014. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2014

Impressum

Auftraggeber:

Arbeitsgemeinschaft der
Hessischen Industrie- und Handelskammern
Burghard Loewe
Thomas Kläßen
Friedenstraße 2
35578 Wetzlar

FfE-Auftragsnummer:

IHK-HE-01

Bearbeitung

Franziska Biedermann
Michael Kolb

Endbericht der Forschungsgesellschaft
für Energiewirtschaft mbH (FfE)

Kontakt

Am Blütenanger 71
80995 München
Telefon +49 (0) 89 158121-0
Fax +49 (0) 89 158121-10
info@ffe.de
www.ffegmbh.de

Geschäftsführer

Dr.-Ing. Serafin von Roon

Endbericht© FfE, November 2014

Gestaltung:

Michael Kunz
varia Design Illustration
Münster/Hessen

Druck

Druckerei Graphia-Huss
Frankfurt am Main

Bildnachweis

Fotolia.com, ©Stihl024, Titel
Fotolia.com, ©smuki, S. 9
Fotolia.com, ©kav777, S. 11

Fertigstellung

November 2014

Ansprechpartner Umwelt und Energie

Arbeitsgemeinschaft hessischer Industrie- und Handelskammern

Börsenplatz 4
60313 Frankfurt am Main
Telefon 069 2197-1384
Fax 069 2197-1497
www.ihk-hessen.de

Industrie- und Handelskammer Darmstadt Rhein Main Neckar

Rheinstraße 89
64295 Darmstadt
Jan Helmrich
Telefon 06151 871-197
Fax 06151 871-100-197
helmrich@darmstadt.ihk.de
www.darmstadt.ihk.de

Industrie- und Handelskammer Kassel-Marburg

Software Center 3
35037 Marburg
Dr. Gerold Kreuter
Telefon 06421 9654-30
Fax 06421 9654-33
kreuter@kassel.ihk.de
www.ihk-kassel.de

Industrie- und Handelskammer Offenbach am Main

Frankfurter Straße 90
63067 Offenbach
Peter Sülzen
Telefon 069 8207-244
Fax 069 8207-247
suelzen@offenbach.ihk.de
www.offenbach.ihk.de

Industrie- und Handelskammer Frankfurt am Main

Börsenplatz 4
60313 Frankfurt am Main
Luise Riedel
Telefon 069 2197-1480
Fax 069 2197-1423
riedel@frankfurt-main.ihk.de
www.frankfurt-main.ihk.de

IHK-Verbund Mittelhessen Eine Kooperation der Industrie- und Handelskammern Gießen-Friedberg, Lahn-Dill, Limburg und Fulda

Friedenstraße 2
35578 Wetzlar
Thomas Klaßen
Telefon 06441 9448-1510
Fax 06441 9448-2510
klassen@lahndill.ihk.de
www.ihk-lahndill.de

Industrie- und Handelskammer Wiesbaden

Wilhelmstraße 24 - 26
65183 Wiesbaden
Christian Ritter
Telefon 0611 1500-153
Fax 0611 1500-7153
ritter@wiesbaden.ihk.de
www.ihk-wiesbaden.de

Industrie- und Handelskammer Hanau-Gelnhausen-Schlüchtern

Am Pedro-Jung-Park 14
63450 Hanau
Dr. Ute Lemke
Telefon 06181 9290-8810
Fax 06181 9290-8290
lemke@hanau.ihk.de
www.hanau.ihk.de



Arbeitsgemeinschaft
Hessen

**Arbeitsgemeinschaft hessischer
Industrie- und Handelskammern**
Börsenplatz 4
60313 Frankfurt am Main
Telefon 069 2197-1384
Telefax 069 2197-1497
www.ihk-hessen.de

**Industrie- und Handelskammer
Darmstadt Rhein Main Neckar**
Rheinstraße 89
64295 Darmstadt
Telefon 06151 871-0
Telefax 06151 871-101
www.darmstadt.ihk.de

**Industrie- und Handelskammer
Frankfurt am Main**
Börsenplatz 4
60313 Frankfurt am Main
Telefon 069 2197-0
Telefax 069 2197-1424
www.frankfurt-main.ihk.de

Industrie- und Handelskammer Fulda
Heinrichstraße 8
36037 Fulda
Telefon 0661 284-0
Telefax 0661 284-44
www.ihk-fulda.de

**Industrie- und Handelskammer
Gießen-Friedberg**
Lonystraße 7
35390 Gießen
Telefon 0641 7954-0
Telefax 0641 75914
www.giessen-friedberg.ihk.de

**Industrie- und Handelskammer
Hanau-Gelnhausen-Schlüchtern**
Am Pedro-Jung-Park 14
63450 Hanau
Telefon 06181 9290-0
Telefax 06181 9290-77
www.hanau.ihk.de

**Industrie- und Handelskammer
Kassel-Marburg**
Kurfürstenstraße 9
34117 Kassel
Telefon 0561 7891-0
Telefax 0561 7891-290
www.ihk-kassel.de

Industrie- und Handelskammer Lahn-Dill
Am Nebelsberg 1
35685 Dillenburg
Telefon 02771 842-0
Telefax 02771 842-1190
www.ihk-lahndill.de

**Industrie- und Handelskammer
Limburg a. d. Lahn**
Walderdorffstraße 7
65549 Limburg a. d. Lahn
Telefon 06431 210-0
Telefax 06431 210-205
www.ihk-limburg.de

**Industrie- und Handelskammer
Offenbach am Main**
Frankfurter Straße 90
63067 Offenbach
Telefon 069 8207-0
Telefax 069 8207-199
www.offenbach.ihk.de

**Industrie- und Handelskammer
Wiesbaden**
Wilhelmstraße 24 - 26
65183 Wiesbaden
Telefon 0611 1500-0
Telefax 0611 1500-222
www.ihk-wiesbaden.de

www.ihk-hessen.de