

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113 (1995)
Heft: 43

Artikel: Heizen mit 150% statt 90% Nutzungsgrad: Kombination von Wärme-Kraft-Koppelung und Wärmepumpentechnologie
Autor: Zogg, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78798>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Martin Zogg, Oberburg

Heizen mit 150% statt 90% Nutzungsgrad

Kombination von Wärme-Kraft-Kopplung und Wärmepumpentechnologie

Es ist eine Binsenwahrheit, dass die Primärenergie (Erdöl, Erdgas, Kohle, Kernbrennstoffe, Wasser, Biomasse, Erdwärme, Sonne) zur Schonung der Ressourcen und der Umwelt möglichst effizient genutzt werden sollte. Leider geschieht das aber bei weitem nicht gemäss Stand der heutigen Technik. Auf die Raumheizung entfällt rund die Hälfte des schweizerischen Energiebedarfs. Die benötigte Wärmemenge wird jedoch nur zu etwa 5% in einer Weise erzeugt, die den technischen Möglichkeiten einer guten Nutzung der Primärenergie (Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke rund 2%, Fernwärme rund 3%) entspricht. Der Rest wird nach wie vor durch reine Verbrennung (71% Heizöl, 13% Gas, 5% Kohle/Holz) erzeugt. Dem Prinzip einer guten Nutzung der Primärenergie völlig zuwider läuft schliesslich die elektrische Widerstandsheizung (6%). Sie ist dringend durch Elektrowärmepumpen zu ersetzen.

Der Ersatz der Erdgas- und Heizölverbrennung in Kesseln durch die Kombination von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit Elektrowärmepumpen bringt schon mit der heutigen Technik Einsparungen von 40% beim Ersatz konventioneller Kessel (Bild 1) beziehungsweise von rund 30% beim Ersatz moderner Brennwertkessel. Neben der hier erörterten Kombination von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen oder von Kombikraftwerken mit Elektrowärmepumpen gibt es weitere Lösungen mit vergleichbarem Primärenergienutzungsgrad wie direkt durch Verbrennungsmotoren angetriebene Kompressions-, Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen. Auf diese kann hier nicht eingegangen werden.

Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)

Für die Bereitstellung der elektrischen Energie zum Betreiben der Wärmepumpen für die Raumheizung (anstelle von Kesselheizungen) ist in der gegenwärtigen politischen Situation im wesentlichen von fossilen Brennstoffen auszugehen. Die dazu

möglichen technischen Lösungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Mit Blockheizkraftwerken (BHKW) werden heute elektrische Wirkungsgrade um 30% sowohl mit Gasmotoren bei stöchiometrischem Betrieb und Dreiwegekatalysator als auch mit Gasturbinen erzielt. Mit Magermotoren, Zündstrahlmotoren und Dieselmotoren lassen sich deutlich höhere Werte erreichen. Noch höher liegen die Werte bei Kombiprozessen mit Abwärmennutzung. Lösungen mit Brennstoffzellen dürften in einigen Jahren kommerziell verfügbar werden. Insbesondere die oxidkeramischen Brennstoffzellen versprechen sehr interessante Werte!

Wärmepumpen (WP)

Um der Frage nachzugehen, was sich mit der Kombination WKK-Wärmepumpe aus gasförmigen und flüssigen Brennstoffen an Niedertemperaturwärme zur Raumheizung herausholen lässt, müssen wir einen

Blick auf das heute auf dem Wärmepumpenmarkt verfügbare werfen (Tabelle 2).

Wie die Tabelle 2 zeigt, haben die kommerziellen Wärmepumpen bereits einen hohen technischen Stand erreicht. Man erkennt dies aus dem exergetischen Wirkungsgrad, der sich mit aufwendigen Versuchsmaschinen den Spitzenwerten von rund 75% schon beachtlich nähert. Verbesserungen sind allerdings auch hier noch möglich. Im Betrieb der Wärmepumpen stellen sich unterschiedliche Wärmequellen- und Heizungsvorlauftemperaturen ein. Entsprechend ändern sich auch die Leistungszahlen. Massgebend ist ein über das ganze Jahr gemittelter Wert (Jahresarbeitszahl). Für die neuen Wärmepumpensysteme liegen dafür noch keine breit abgestützten Messwerte von installierten Anlagen vor. Die folgenden Überlegungen gehen von den Anhaltswerten 2.8 für Luft/Wasser-Systeme, 3.5 für Sole/Wasser-Systeme und 4 für Wasser/Wasser-Systeme aus.

Kombination WKK-WP

Bild 2 verdeutlicht das mit einer WKK-WP gegenwärtig Erreichbare und das erhebliche Verbesserungspotential. Mit den oben angegebenen Anhaltswerten für mittlere Leistungszahlen und einem BHKW mit einem bescheidenen elektrischen Wirkungsgrad von 30% können nach Bild 2 be-

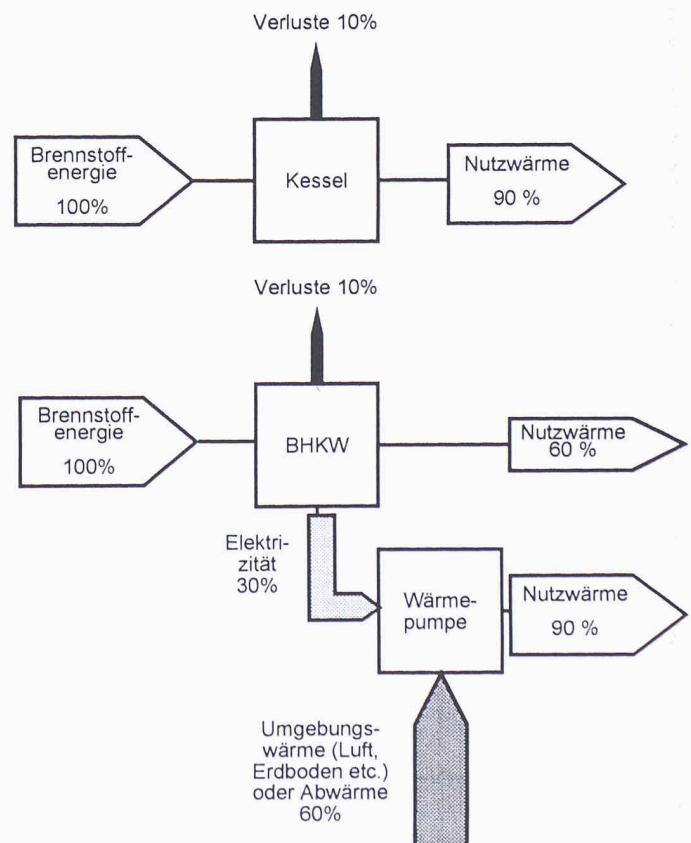


Bild 1. Vergleich der Nutzung der Brennstoffenergie (unterer Heizwert) in konventionellen Kesseln (Bild links) und bei der Kombination von Blockheizkraftwerken und Elektrowärmepumpen (Bild rechts) mit heutiger Technik

Begriffserklärungen**Brennstoffzelle:**

Einrichtung zur direkten Umwandlung der bei der Brennstoffoxidation frei werdenden chemischen Energie in elektrische Energie.

BHKW (Blockheizkraftwerk):

Am Ort des Verbrauchers einsetzbare (dezentrale) Anlagen zur gleichzeitigen Produktion von elektrischem Strom und von Heizwärme.

Elektrischer Wirkungsgrad:

Verhältnis von produzierter elektrischer Energie zur eingesetzten Brennstoffenergie (unterer Heizwert).

Exergetischer Wirkungsgrad:

Verhältnis der tatsächlichen Leistungszahl einer Wärmepumpe zur höchstmöglichen Leistungszahl bei einem Idealprozess.

Gesamt-Nutzungsgrad:

Verhältnis der Summe der mit der WKK-Anlage und der Wärmepumpe produzierten Wärmen zur eingesetzten Brennstoffenergie (unterer Heizwert) einer WKK-WP-Kombination (Fall reiner Wärmeproduktion).

Kombiprozess:

Kombination von Gas- und Dampfturbinenprozess.

Leistungszahl:

Verhältnis der von einer Wärmepumpe produzierten Wärmeleistung zur benötigten elektrischen Leistung (Jahresmittelwert: Jahresleistungszahl).

Magermotor:

Motor, der mit Luftüberschuss (und damit «magerem» Gemisch) gefahren wird.

WKK-Nutzungsgrad:

Verhältnis der Summe aus der produzierten elektrischen Energie und der produzierten Wärme zur eingesetzten Brennstoffenergie (unterer Heizwert) einer WKK-Anlage.

Stöchiometrischer Betrieb:

Motorbetrieb mit dem für die Verbrennung des Kraftstoffs exakt benötigten Luft/Kraftstoffverhältnis.

WKK (Wärme-Kraft-Kopplung):

Anlagen zur gleichzeitigen Produktion von elektrischem Strom (oder mechanischer Energie) und von Heizwärme.

Zündstrahlmotor:

Gas-Dieselmotor, der durch Einspritzen eines Dieselölstrahls zündet.

reits folgende Gesamt-Nutzungsgrade erreicht werden: System Luft/Wasser 143% (Wärmequelle Aussenluft), Sole/Wasser 165% (Wärmequelle Erdreich), Wasser/Wasser 180% (Wärmequelle Grundwasser).

Obwohl diese Ergebnisse gegenüber jenem eines gewöhnlichen Kessels schon sehr erfreulich sind, zeigt Bild 2, dass noch eine erhebliche Verbesserung sowohl durch Erhöhen des elektrischen Wirkungsgrads der WKK-Anlage als auch durch Wärmepumpen mit höherem Wirkungsgrad erreicht werden kann. Mit den bereits realisierten Kombiprozessen mit Abwärmenutzung lassen sich (bei $\eta_{el} = 45\%$ und $\eta_{tot} =$

WKK-Systeme		elektrische Leistung	elektrischer Wirkungsgrad	WKK-Nutzungsgrad (el.+th.)
		[kW]	[%]	[%]
A	Kleinst-BHKW-Projekt (Stirling)	(1.5)	(22.5)	?
B	Klein-BHKW, Nullserie	5.5	25	90
C	BHKW mit Verbrennungsmotor, heute	50..5 000	28..35	85..95
D	BHKW mit Verbrennungsmotor, künftig	50..5 000	35..40	90..100
E	BHKW mit Gasturbine	> 1 000	25..35	85
F	Heizkraftwerk mit Dampfturbine	> 5 000	20..30	85
G	Kombiprozess mit Abwärmenutzung	>20 000	40..47	80-90
H	Kombiprozess ohne Abwärmenutzung	>50 000	50..58	zum Vergl.
I	Brennstoffzellen, Phosphorsäure (PAFC, Nullseriereife)	50..500	40	80..85
K	Brennstoffzellen, oxidkeramische (SOFC, noch in Entwicklung)	50..100 000	50..60	85?

Tabelle 1.
Anhaltswerte der Wirkungsgrade diverser Lösungen für die Wärme-Kraft-Kopplung. Die Wirkungsgradangaben sind auf den unteren

Heizwert der gasförmigen oder flüssigen Brennstoffe bezogen.

Typ (Wärmequelle/Wärmeverteilung)	Arbeitsmittel	Temp. Heizsystem °C	Temp. Wärmequelle °C	Leistungszahl ϵ [-]	exergetischer Wirkungsgrad [%]
Luft/Wasser	R22	35.0	7.0	3.92	35.6
Luft/Wasser	R290	50.0	7.0	2.98	39.7
Sole/Wasser	R22	35.0	5.0	3.84	37.4
Sole/Wasser	R22	50.0	5.0	2.92	40.7
Wasser/Wasser	R22	35.0	10.0	5.82	47.2
Wasser/Wasser	R22	50.0	10.0	3.96	49.0

Tabelle 2.
Beste Leistungszahlen und exergetische Wirkungsgrade der im Testzentrum Töss bis

zum März 1995 ausgemessenen kommerziellen Wärmepumpen (Messwerte aus [1]).

90%) mit den verfügbaren Wärmepumpen bereits Gesamt-Nutzungsgrade von 168%, 203% und 225% erreichen. Noch bessere Werte sind mit Verbesserungen der Wärmepumpe und - wohl erst in einigen Jahren - mit der Einführung der oxidkeramischen Brennstoffzellen zu erwarten.

Kombikraftwerke oder BHKW?

Es geht übrigens auch ohne Wärme-Kraft-Kopplung. Bei reiner Stromproduktion erreicht ein modernes Kombikraftwerk einen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 58%! Dies führt bei den oben genannten mittleren Leistungszahlen auf Gesamt-Nutzungsgrade ohne Nutzung der Abwärme des Kraftwerks zu Wirkungsgraden von 160%, 203% und 232% und ist damit der «konventionellen» BHKW-Lösung mit elektrischen Wirkungsgraden knapp über 30% überlegen. Diese Überlegenheit wird übrigens mit zunehmender Leistungszahl der Wärmepumpe immer deutlicher. Bild 3 zeigt, dass BHKWs elektrische Wirkungsgrade um 40% aufweisen sollten, um mit effizienten Wärmepumpen zu Kombikraftwerken vergleichbare Gesamt-Nutzungsgrade erreichen zu können.

Selbstverständlich gibt es für den Entscheid zwischen Kombikraftwerken und Blockheizkraftwerken noch weitere Kriterien, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Diese Überlegungen sollen aber klarstellen, dass Blockheizkraftwerke nicht a priori die beste Lösung für eine effiziente Nutzung fossiler Brennstoffe zu Heizzwecken sind. An der Wärmepumpentechnologie und den Anstrengungen, deren Leistungszahlen zu erhöhen, führt aber kein Weg vorbei.

Abgeschlossene Forschungsarbeiten des Bundesamtes für Energiewirtschaft

Dem aufgezeigten hohen und kurzfristig realisierbaren Sparpotential an Brennstoffen zur Raumheizung (und der damit verbundenen Reduktion der CO₂-Emission) trägt das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) durch die Finanzierung entsprechender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die finanzielle Beteiligung an Pilot- und Demonstrationsprojekten und weiteren Aktivitäten in der Ausbildung und der direkten Förderung der Wärmepumpentechnologie Rechnung.



Bild 2. Abhängigkeit des Gesamt-Nutzungsgrads der WKK-WP-Kombination vom elektrischen Wirkungsgrad der WKK-Anlage und der Leistungszahl der Wärmepumpe für einen Nutzungsgrad der WKK-Anlage von 90%

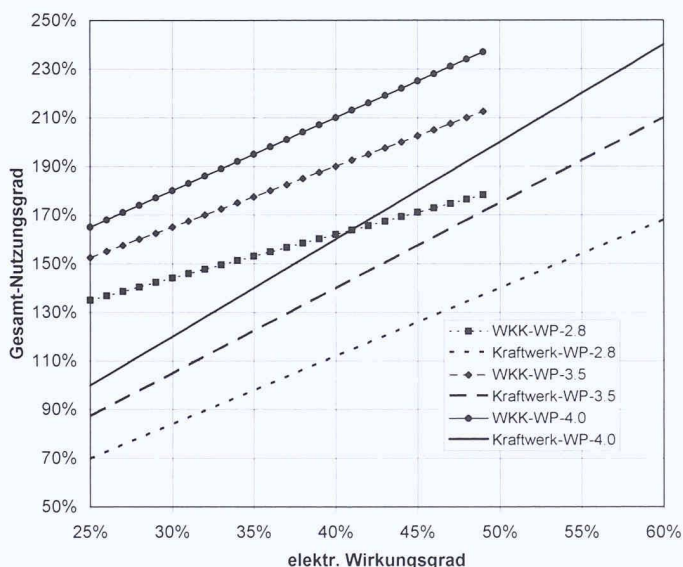


Bild 3. Vergleich der Wärme-Kraft-Kopplung mit einem Kraftwerk ohne Abwärmenutzung: Abhängigkeit des Gesamt-Nutzungsgrads vom elektrischen Wirkungsgrad einer WKK-Anlage (mit einem WKK-Nutzungsgrad von 90%) und eines Kraftwerks ohne Abwärmenutzung für mittlere Leistungszahlen (Jahresarbeitszahl) der Wärmepumpen von 2,8, 3,5 und 4,0

Natürlich hat die Medaille «WKK-WP-Technologie» auch eine Kehrseite. Diese Systeme sind anspruchsvoller als ein Kessel, was sich auch auf die Planung und die Betriebsoptimierung solcher Systeme auswirkt. Im Rahmen des Forschungsprogramms Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW) des

Literatur

[1]

WPZ-Bulletin (1994)4, Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum Winterthur-Töss.

[2]

Zogg, M. (Hrsg.): Heizungssysteme mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken: Planungs- und Optimierungsmethoden mit PC-Programmen, Tagungsband zur 2. UAW-Tagung, Bundesamt für Energiewirtschaft, ENET-Artikel 30277.

[3]

Zogg, M.: Jahresbericht 1993 zum Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW) - Ausführliche Fassung, Bundesamt für Energiewirtschaft 1994, ENET-Artikel 30167.

[4]

Zogg, M.: Jahresbericht 1994 zum Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW) - Ausführliche Fassung, Bundesamt für Energiewirtschaft 1995, ENET-Artikel 30262

Bundesamtes für Energiewirtschaft wurden deshalb in den letzten Jahren neue Berechnungs-, Optimierungs- und Betriebsüberwachungswerkzeuge entwickelt. Sie umfassen die Bereiche

- Planung von Heizungssystemen mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken,
- Auslegung von Wärmepumpenheizungen mit Holzkesseln zur Spitzendeckung,
- Betriebsoptimierung von Blockheizkraftwerken und
- Dimensionierung vernetzter thermischer Systeme.

Eine zusammenfassende Darstellung dazu findet man im Tagungsband zu einer jüngst an der ETH Zürich durchgeführten Orientierung [2]. Über die Ergebnisse weiterer Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Blockheizkraftwerke und der Wärmepumpen wird in [3] und [4] berichtet.

Geplante Forschungsarbeiten des Bundesamtes für Energiewirtschaft

An der Aktualität der Wärmepumpentechnologie und deren Kombination mit Block-

heizkraftwerken wird sich auch in den nächsten Jahren nichts ändern. Um die Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad solcher Systeme zu erhöhen, ihren Preis zu senken und nebst den FCKW-Kältemitteln auch die teilhalogenierten durch umweltverträgliche Kältemittel zu ersetzen, sind noch grosse Anstrengungen nötig. Daneben ist aber künftig auch den Absorptionssystemen vermehrtes Gewicht beizumessen.

Hauptziel des BEW-Forschungsprogramms Umgebungs- und Abwärmenutzung, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW) bleibt es, in Zukunft einen wesentlich höheren Anteil der Niedertemperaturwärme aus Umgebungswärme oder aus Abwärme gewinnen zu können. In diesem Sinne sollen in den nächsten Jahren die nachstehenden Hauptziele verfolgt werden:

- Lösen der Probleme im Zusammenhang mit der Umstellung auf alternative und insbesondere natürliche Kältemittel: Beschaffen fehlender Stoffwerte, Schliessen der Wissenslücken beim Wärmetransport im Verdampfungs- und Kondensationsbereich, Entwickeln von Anlagekomponenten mit kleinerem Flüssigkeitsbetriebsinhalt und von hermetischen Kompressoren für kleinere Ammoniak-Anlagen.

- Steigern der Effizienz und Betriebssicherheit von Heizsystemen mit Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken durch Entwickeln entsprechender Diagnose- und Optimierungswerkzeuge zur Systemoptimierung.

- Weiterentwickeln der Luft/Wasser-Elektrowärmepumpe in Richtung eines monovalenten Betriebs ohne Wärmespeicher im Heizungssystem.

- Weiterentwicklung der Absorptionstechnik: Insbesondere ist das Entwickeln eines Heizkessels mit integrierter Absorptionswärmepumpe als wesentliche Verbesserung gegenüber dem bisherigen Brennwärtekessel vorgesehen.

- Verbessern der Methoden zur Abwärmenutzung in vernetzten Systemen.

Für die Raumheizung ist heute ein Nutzungsgrad der Brennstoffe von 150% und mehr realisierbar. Es ist zu hoffen, dass die Verwendung der entsprechenden Technologien zur besseren Nutzung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe bald zur Selbstverständlichkeit wird.

Adresse des Verfassers:

Dr. Martin Zogg, Leiter des BEW-Forschungsprogramms UAW und Professor an der Ingenieurschule Burgdorf, Kirchstutz 3, 3414 Oberburg