

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	70 (1979)
<b>Heft:</b>	24
<b>Artikel:</b>	Technische Probleme beim Anschluss von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen
<b>Autor:</b>	Jagsch, K.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-905459">https://doi.org/10.5169/seals-905459</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

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

# Technische Probleme beim Anschluss von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen

Von K.Jagsch

*Der Anschluss von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen an das öffentliche Versorgungsnetz bietet neben tarifarischen auch erhebliche technische Probleme. Eine Arbeitsgruppe des Verbandes der Elektrizitätswerke Baden-Württembergs hat entsprechende technische Anschlussbedingungen aufgestellt.*

*Le raccordement d'installations de production combinée de chaleur et d'électricité au réseau électrique public pose des problèmes tarifaires autant que techniques. Un groupe de travail de l'Union des entreprises d'électricité de Bade-Wurtemberg a élaboré des conditions de raccordement techniques.*

## 1. Einleitung

Ein ad hoc einberufener Arbeitskreis des Landesfachausschusses Technik des «Verbandes der Elektrizitätswerke Baden-Württemberg e.V.» hat in Zusammenarbeit mit mehreren Fachleuten «Technische Bedingungen und Betriebsanweisung für den Parallelbetrieb von Kleinkraftwerken mit dem Netz des EVU» diskutiert, zusammengetragen und aufgestellt. Natürlich sind auch hier Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen, Blockheizkraftwerke (nachfolgend auch BHKW genannt), zwischen 100 und 1000 kW elektrischer Leistung miteingeschlossen.

Nachfolgend sollen die technischen Probleme beim Anschluss und Betrieb von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen aufgezeigt werden. Wenn man das Wort Probleme hört, ist man geneigt, an nicht lösbarer Aufgaben zu denken. Dies kann jedoch bei der vorliegenden Aufgabe nicht gemeint sein, denn zu lösen sind die Probleme bzw. Aufgaben fast alle, natürlich mit mehr oder weniger technischem und finanziellem Aufwand. Ich möchte auch betonen, dass die aufgeföhrten Probleme kein Hindernis zur Errichtung von BHKW zu sein brauchen. Im Gegenteil, es sollen mit finanziell geförderten Versuchsanlagen Erfahrungen zur besseren und einfacheren Beherrschung auftretender Schwierigkeiten gesammelt werden. Für engagierte Techniker gibt es Lösungen, auch wenn die Schwierigkeiten oftmals komplexer Art sind (z.B. zur Vermeidung oder Eliminierung von Oberschwingungen).

Ein ganz anderes Problem ist die Wirtschaftlichkeit der Anlagen im Zusammenspiel zwischen Wärmebedarf und Bedarf an elektrischer Energie. In diesem Zusammenhang sollen auch Erfahrungswerte über die Verfügbarkeit, den Unterhaltungs- und Betriebsaufwand, die Betriebssicherheit und weitere Erkenntnisse über diese Technik, die von einer Reihe von Energiefachleuten für sehr zukunftsträchtig angesehen wird, gesammelt werden.

Die Elektrizitätswerke (EW) wollen mit Interesse sehen und prüfen, ob durch die Einbindung dieser Anlagen in das öffentliche Stromversorgungsnetz gesamtwirtschaftlich Energie einzusparen ist, ohne jedoch die bisher anerkannt gute Qualität der Elektrizitätsversorgung zu beeinträchtigen. Um diese bekannte gute Qualität der Elektrizität nicht herabzusetzen, soll überlegt werden, welche Fragen und Schwierigkeiten anstehen können und wie sie zu bewältigen bzw. Störungen zu eliminieren sind.

## 2. Schwierigkeiten beim Anschluss und ihre Lösungsmöglichkeiten

Der Betrieb einer Wärme-Kraft-Kopplung muss so erfolgen, dass jede störende Rückwirkung auf das öffentliche Netz ausgeschlossen wird. Größere Anzapf- bzw. Gegendruckanlagen dieser Art gibt es schon lange. Dort beherrscht man den Parallelbetrieb mit dem Netz. Man darf jedoch nicht glauben,

dass kleinere Anlagen, wie man sie jetzt konzipiert, sich ebenso reibungslos in das Netz integrieren lassen. Im Gegenteil, sie können durch die Art ihres Antriebs (Kolbenmaschinen) Schwingungen erzeugen, die für das Netz absolut unerwünscht und sogar indiskutabel sind. Außerdem werden sie aus wirtschaftlichen Gründen unbesetzt automatisiert betrieben werden müssen.

Eine wichtige Frage für das EW ist der elektrische Anschlusspunkt eines BHKW an das öffentliche Netz. Sicherlich aus Gründen der Kostenersparnis wird von BHKW-Herstellern und -Betreibern immer wieder die Anschlussmöglichkeit an beliebiger Stelle im Niederspannungsnetz gefordert. In Frage könnten jedoch nur Niederspannungsverteilerschränke kommen, die als Knotenpunkte ausgebildet sind. Ein verantwortlicher Betriebsingenieur wird jedoch einem solchen Anliegen nicht zustimmen, da bei betrieblichen Abschaltungen unter Umständen eine Reihe solcher Anlagen an verschiedenen Einspeisestellen vom Netz getrennt und kontrolliert werden müssten. Die Übersicht im Netz geht verloren, die Betriebs sicherheit wird gefährdet, Betriebsunfälle werden geradezu programmiert. Außerdem müssten bei direkter Einspeisung in das 0,4-kV-Netz die Leitungsquerschnitte und insbesondere auch die selektive Absicherung von Knotenpunkten überdacht und berücksichtigt werden. Unter bestimmten Betriebszuständen sind dabei auch erhöhte Netzverluste zu erwarten.

Es ist daher zu fordern, dass alle Anschlüsse über separate Kabel in einer EW- oder kundeneigenen Umspannstation vorzunehmen sind. Dies ist keine unzumutbare oder kostentreibende Forderung. Man muss berücksichtigen, dass die Wirtschaftlichkeit eines BHKW in aller Regel erst ab einer Mindestleistung von mehr als 200 kW bzw. thermisch über 400 kW gegeben ist. Kunden, die einen so hohen thermischen Leistungsbedarf haben, benötigen jedoch auch immer eine elektrische Leistung von mehr als 100 kW (z.B. Schwimmbad oder Wohnblöcke). Dies bedeutet gleichzeitig, dass bei Ausfall eines BHKW die elektrische Leistung aus dem öffentlichen Netz bezogen wird. Eine Umspannstation ist dann ohnehin bei diesen Leistungen notwendig. Es spielt keine Rolle, ob die Umspannstation im Eigentum des Kunden oder des Elektrizitätswerkes ist.

Man beachte weiter, dass die Umspannerleistung einer solchen Station mindestens der gesamten Scheinleistung eines BHKW entsprechen muss. Es könnten sich Betriebszustände ergeben, bei denen das BHKW seine gesamte elektrische Leistung an das übergeordnete Mittelspannungsnetz abgeben muss, weil kein Bedarf an diesem Einspeisepunkt besteht.

Umspannstationen in Ortsnetzen von kleineren Gemeinden sind nur mit 400-kVA-, in konzentrierten Stadtnetzen in der Regel mit 630-kVA-Transformatoren ausgestattet. Auch hier erkennt man schnell, dass nur kleinste BHKW direkt ins Netz

einspeisen könnten. Wegen der unübersichtlichen und unfallträchtigen Betriebsweise muss dies jedoch abgelehnt werden.

Bei allen zusätzlichen Einspeisungen in ein Netzgebilde besteht zu Schwachlastzeiten bei Ausfall oder Abschaltung des zugehörigen Transformators die Gefahr des ungewollten Inselbetriebes. Sowohl bei automatischer wie auch bei gezielter Abschaltung eines Transformators ist die Trennung der Einspeisung eines BHKW einfacher und praktikabler durchzuführen, wenn sie in einer solchen Umspannstation und nicht in das 0,4-kV-Netz direkt erfolgt.

Ein weiteres, nicht zu unterschätzendes Problem ist die Erhöhung der Kurzschlussleistung des Netzes durch BHKW. Unsere Niederspannungsnetze haben jetzt je nach Umspannerleistung der Einspeisung, nach Vermaschungsgrad, nach Leitungsquerschnitten, Leitungsart (Kabel- oder Freileitung) und Abstand zur Einspeisung Kurzschlußströme zwischen 5 und 15 kA. Generatoren in der Größenordnung zwischen 100 und 1000 kVA weisen Kurzschlußspannungen zwischen etwa 14 und 22 % auf. Dies führt zu anteiligen, zusätzlichen Kurzschlussleistungsbeiträgen von entsprechend etwa 1 kA bei 100-kVA-Generatoren bzw. etwa 7 kA bei 1000-kVA-Generatoren. Eine Anlage mit 10 Motoren von je 100 kVA würde den Kurzschlußstrom im Niederspannungsnetz um etwa 10 kA erhöhen. Moderne NH-Sicherungen haben heute Schaltvermögen zwischen 50 und 100 kA, sie werden daher alle Betriebsfälle beherrschen. Anders dagegen sieht es bei den Sicherungsautomaten der Verteilungen unserer Kunden aus. Ältere Bauarten sind nur bis 1,5 kA kurzschlussfest. Neuere Automaten beherrschen jedoch höhere Abschaltleistungen und werden bereits für 6 kA bzw. Höchstlastautomaten bis 10 und sogar 15 kA Kurzschlussfestigkeit angeboten. Wenn man nun zu den bereits vorhandenen 10 bis 15 kA Kurzschlußströmen unserer Netze nochmals 4 bis 10 kA zusätzlicher Kurzschlußströme durch BHKW hinzugaddiert, kommt man an ungünstigen Stellen des Netzes auf Kurzschlußströme von mehr als 20 kA im 0,4-kV-Netz. Unterstellt man, dass durch den elektrischen Widerstand der Hausanschlusskabel und der Zählerzuleitung (Hauptleitung) eine Dämpfung der Kurzschlussleistung auf etwa die Hälfte erfolgt, so verbleiben immerhin noch etwa 10 kA an den Sicherungsautomaten der Kundenverteilung. Man sieht, dass man somit auch bei neueren Anlagen mit der Kurzschlussleistung an Grenzwerte stösst. Aus diesem Grund werden deshalb auch vom Betreiber der BHKW Massnahmen zu treffen sein, die eine zusätzliche Einspeisung von Kurzschlussleistung ins Netz begrenzen. Neben bestimmter Bauart von Generatoren, Anwendung von Drosseln und Schnellabschalteinrichtungen wird bei grösseren Anlagen in jedem Fall ein eigener Transformator zur Einspeisung ins Mittelspannungsnetz eine Reduzierung der Kurzschlussleistung auf vernünftige, vertretbare Werte durch die Umspannerreaktanz bewirken und wirtschaftlich sein.

Eine weitere Beeinträchtigung des öffentlichen Netzes kann durch periodische Spannungsschwankungen bei stossweisem Antrieb von Generatoren mittels Kolbenmaschinen erfolgen. Es sind daher sehr hohe Anforderungen an einen vollkommenen Massenausgleich zu stellen. Selbstverständlich sind in diesem Falle Netze mit hohen Kurzschlussleistungen weniger gefährdet als schwache Netze mit geringer Lastdichte. Solche Spannungsschwankungen durch die Schwungmasse der sich bewegenden Kolben führen besonders häufig zu Störungen bei Beleuchtungsanlagen und Fernsehgeräten. Aus physiolo-

gischen Versuchen hat man eine maximal zulässige Spannungsänderung in Abhängigkeit von der Häufigkeit ihres Auftretens (Flickerkurve) festgestellt.

Wie jeder Generator, so kann auch der Generator eines BHKW den Oberschwingungsgehalt des öffentlichen Netzes unzulässig erhöhen. Hier ist auf eine sorgfältige Herstellung der Stromerzeuger hinzuarbeiten, wenn man sich nachträgliche Kosten für Sieb- und Filterkreise ersparen will.

Es muss besonders darauf hingewiesen werden, dass Generatoren, die direkt ins Niederspannungsnetz einspeisen, und Filterkreise, die zur Eliminierung von Oberschwingungen dienen, Rundsteueranlagen beeinträchtigen können. Es kann zu unbeabsichtigten Steuerbefehlen kommen, gleichzeitig wird Rundsteuerenergie im gesteuerten Netz abgesaugt bzw. vernichtet.

### 3. Schutzeinrichtungen

Um Rückwirkungen bei Störungen wie Kurzschlägen und dgl. auf das öffentliche Netz auszuschliessen, sind schnell schaltende Entkupplungseinrichtungen erforderlich. Sie sollten unverzögert mit weniger als 100 ms auslösen können. Wir denken dabei jedoch noch nicht an sogenannte Js-Begrenzer. Für das Auslösen der Kuppelschalter kommen verschiedene Parameter in Frage. In erster Linie wird man sowohl Spannungsrückgangs- wie auch Spannungssteigerungsrelais benötigen. Gleichzeitig muss bei Mittelspannungs-Freileitungsnetzen berücksichtigt werden, dass die sogenannte Kurzunterbrechungsschaltung mit spannungsfreien Pausen bis zu 800 ms angewendet wird. Während der Pausenzeit sollen anstehende Freileitungs-Lichtbogenkurzschlüsse gelöscht werden. Um den Erfolg einer solchen «KU»-Schaltung sicherzustellen, muss dafür gesorgt werden, dass die Kleinkraftwerke mit Schnellzeit unverzögert abschalten. Es wird im übrigen darauf hingewiesen, dass eine solche Schnellabschaltung auch zum Schutze des BHKW notwendig ist, da bei wiederkehrender Netzspannung die Synchronität zwischen Stromerzeugungsanlage und Netz verlorengegangen ist. Dies kann dann zu grösseren und schlagartigen elektrischen und mechanischen Belastungen bei BHKW und im Netz führen.

Mit Rücksicht auf den ungewollten Inselbetrieb wird man neben den Spannungsrückgangsrelais und den Spannungssteigerungsrelais auch entsprechende Frequenzsteigerungsrelais und Frequenzrückgangsrelais fordern müssen.

Zum Schutze des Generators eines BHKW müssen entsprechend angepasste Überlastschutz- und Kurzschlussrelais vorgesehen werden. Besondere Aufmerksamkeit ist auch der Schieflast durch fehlende Sicherungen innerhalb des öffentlichen Netzes zu schenken. Insbesondere beim vermaschten Netzbetrieb kann ein solcher Zustand zu unzulässigen Belastungen bzw. zur unzulässigen Erwärmung des Generators im BHKW führen. Erd- bzw. Kurzschlüsse innerhalb der Verteilungsanlage des BHKW müssen ebenso klar wie aussenliegende Fehler erkannt werden und zu einer schnellen Trennung von BHKW und EW-Netz führen. Ebenso darf der Generator der BHKW-Anlage nicht als Elektromotor wirken. Hierzu sind Rückleistungsrelais (und auch Messgeräte) unerlässlich.

Die Generatoren eines BHKW werden vorwiegend als Asynchrongeneratoren ausgeführt. Diese Bauart ist robust, verlangt aber wegen ihres hohen Blindstrombedarfs eine Kompressionsanlage, die zusammen mit dem Generator zu- bzw. abgeschaltet werden muss. Synchrongeneratoren ermöglichen

wiederum einen Inselbetrieb; sie können ausserdem induktiven Blindstrom in ein Netz einspeisen. Bei gewolltem oder ungewolltem Inselbetrieb ist jedoch darauf zu achten, dass die Nullungsbedingung bei Netzen, die Nullung als Schutzmassnahme gestatten, eingehalten wird. Ist dies nicht der Fall, so müssen andere Schutzmassnahmen getroffen werden. Denkbar wäre beispielsweise eine Fehlerstromschutzschaltung für den Generator.

Die Ausführung der Generatoren entscheidet auch über die Zuschalt- bzw. Parallelfahrtbedingungen eines BHKW mit dem öffentlichen Netz. Mit Rücksicht auf die Kunden des öffentlichen Netzes müssen Spannungsstöße auf kleiner als 5 % der Netzspannung begrenzt werden. Ein Synchrongenerator lässt sich mit Hilfe eines Parallelschaltgerätes weich an das Netz anschliessen. Bei Asynchrongeneratoren muss streng darauf geachtet werden, dass der Generator vor dem Parallelschalten eine Synchrongeschwindigkeit erhält, die möglichst wenig von der Sollgeschwindigkeit abweicht. Es muss in jedem Fall das direkte Zuschalten von Asynchrongeneratoren ausgeschlossen werden. Damit beim Zusammenschalten eines BHKW mit dem öffentlichen Netz durch Fehlbedienung keine Störungen eintreten, sollte eine Kupplung immer automatisch geschehen. Hierbei können die Bedingungen zwischen BHKW-Betreiber und EW vorher abgestimmt werden. Im übrigen sind BHKW-Anlagen sicherlich nicht besetzt, so dass der BHKW-Betreiber schon aus diesem Grund nicht nur die Anlage, sondern auch das Parallelschalten automatisieren wird. Grundsätzlich sollte Parallelschaltung nur möglich sein, wenn im öffentlichen Netz alle drei Außenleiter Spannung führen.

#### 4. Offene Fragen beim Betrieb von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen

Bisher kennt man bei Verbrennungsmaschinen, die auf dem Hubkolbenprinzip beruhen, noch keine sehr grossen Einsatzzeiten mit hohen Benutzungsstunden. Man wird sicher serienmässige LKW-Motoren einsetzen wollen, mit denen die meisten Erfahrungen vorliegen. Es ist aber zu bedenken, dass heute ein Lastwagenmotor bei 300000 km Laufleistung und einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h nur eine echte Betriebszeit von 6000 Stunden hat. Sicherlich wird man bei gleichmässigen Belastungen und Drehzahlen eine deutlich höhere Lebensdauer erwarten können. Die Frage des Wartungsaufwandes für die Gesamtanlage wird man auch erst nach einer Reihe von Betriebsjahren endgültig beantworten können. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage hängt wesentlich auch von ihrer Verfügbarkeit bzw. Betriebsbereitschaft ab. Erst wenn der Grad der Verfügbarkeit und die zeitliche Darbietung der elektrischen Energie während der verschiedenen Tageszeiten feststeht, kann man durch Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ermitteln, welchen Wert die erzeugte elektrische Energie darstellt. Hierzu bedarf es auch guter elektrischer Übertragungsseinrichtungen, die die eingespeiste Leistung und Arbeit während verschiedener Tagesstunden registrieren.

Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage ist auch mit der Menge und dem Zeitpunkt des Bedarfs an Wärmeenergie eng verknüpft. Will man nicht zusätzlich rein thermische Verbrennungsanlagen für Spitzenzeiten oder bzw. und Wärmespeicher installieren, so kann die Darbietung der elektrischen Energie zeitlich nur abhängig vom Wärmebedarf sein. Aus diesem Grund spielt die Art der Wärmekunden – deren Betriebsweisen, Lebensgewohnheiten – eines BHKW eine bedeutende Rolle. Anzustreben sind Kunden, die einen möglichst gleichmässigen Wärmebedarf über das ganze Jahr verteilt haben, z.B. Hallen- und beheizte Freischwimmbecken (auch kombiniert), Krankenhäuser.

#### 5. Grundsätzliches zur Wärme-Kraft-Kopplung und zur Energiesituation

Neben einer optimalen oder günstigen energetischen Ausnutzung aller Energiequellen darf man das Ziel einer Substitution von endlichen, begrenzten Naturenergieträgern nicht aus den Augen verlieren. Wenn man von langfristigen Forschungsprojekten, z.B. des Betriebs einer langsam laufenden Verbrennungsmaschine, die als Brennstoff Kohlenstaub, gemischt mit Schwerölen verwendet, absieht, so werden die zurzeit bekannten BHKW als Brennstoff Öl bzw. Gas benötigen. Beides aber sind Energieträger, deren Vorräte mit Sicherheit begrenzt sind und in absehbarer Zeit zur Neige gehen. Auch Kohle ist so ein begrenzter Energieträger. Im Gegensatz zum vorher genannten Öl und Gas gibt es auf der Erde jedoch Kohlelagerstätten, die uns noch eine langfristige Nutzung ermöglichen. (Nicht eingegangen sei hier auf die umweltschädigende Wirkung aller Verbrennungsanlagen und Verbrennungsmaschinen, die im Gegensatz zur Kernenergienutzung bei ihrem Verbrennungsprozess Sauerstoff verbrauchen sowie die Luft und die Atmosphäre mit Kohlendioxid belasten.) Aus diesem Grund – der vorerst noch grossen Kohlevorräte wegen – bauen die Befürworter von BHKW langfristig auch auf die Kohleverflüssigung bzw. Kohlevergasung.

Die Umwandlung von Kohle in flüssige oder gasförmige Brennstoffe benötigt grosse Umwandlungsenergien. Bei der

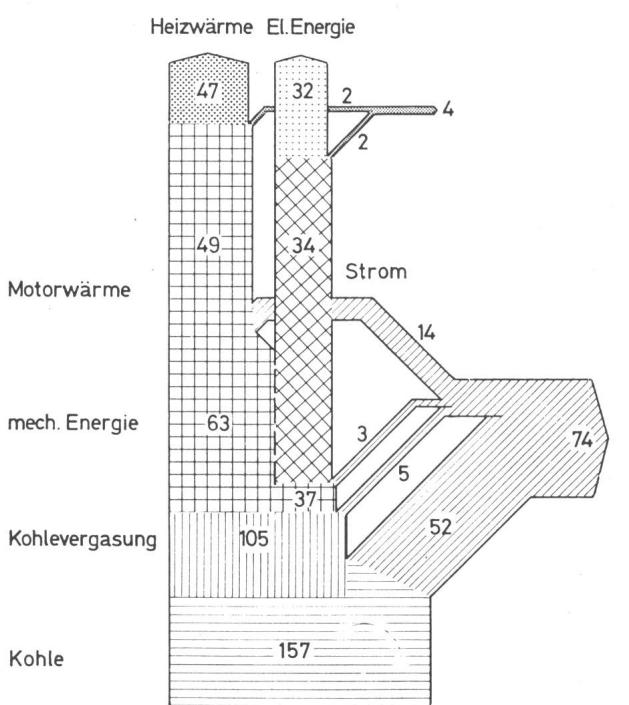


Fig. 1 Wärme- und Stromerzeugung im Blockheizkraftwerk über Kohlevergasung

- [■] Nutzenergie
- [■] Umwandlungsverlust am Verbrauchsor
- [■] Sekundärenergie
- [■] Umwandlungsverluste der Energiebereitstellung
- [■] Primärenergie

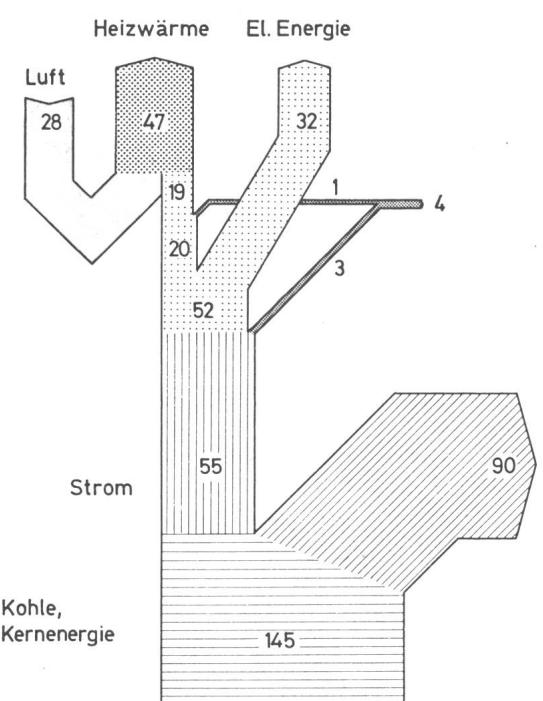


Fig. 2 Wärme- und Stromerzeugung mit Wärmepumpe und Kraftwerk

- Nutzenergie
- Umwandlungsverlust am Verbrauchsor
- Sekundärenergie
- Umwandlungsverluste der Energiebereitstellung
- Primärenergie

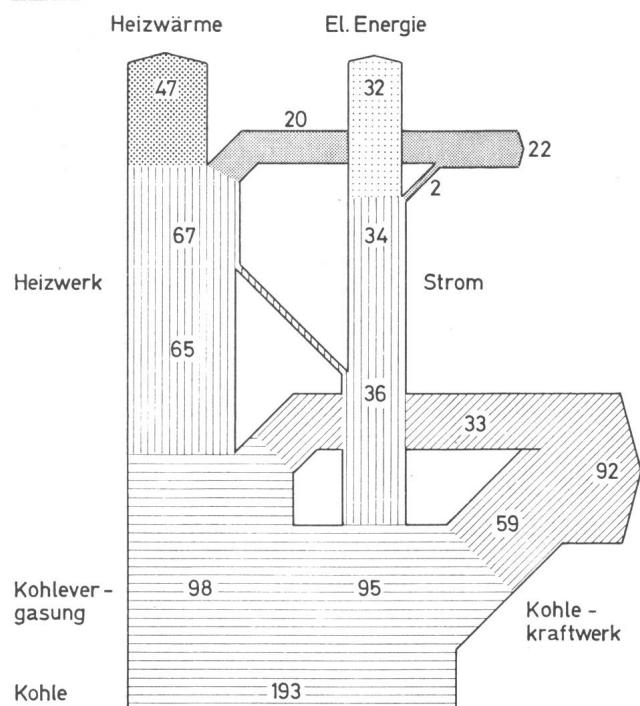


Fig. 3 Wärmeerzeugung über Kohlevergasung und Heizwerk sowie Stromerzeugung im Kohlekraftwerk

- Nutzenergie
- Umwandlungsverlust am Verbrauchsor
- Sekundärenergie
- Umwandlungsverluste der Energiebereitstellung
- Primärenergie

Energie-Versorgung Schwaben AG in Stuttgart wurde aus diesem Grund eine Untersuchung mit einer Vergleichsberechnung angestellt. In den Fig. 1-3 wird gezeigt, welcher Primärenergiebedarf entsteht, wenn man von gleichen Nutzenergien bei drei verschiedenen technischen Systemen ausgeht. Man ersieht daraus, dass es neben der Kraft-Wärme-Kopplung mit guten Wirkungsgraden auch noch andere lohnende, Entwicklungsfähige Techniken gibt. Wärmepumpen, elektrisch betrieben, können auch mit guter energetischer Gesamtausnutzung von Primärenergie aufwarten. Aufgrund dieser Untersuchung sind sie den derzeitig konzipierten BHKW überlegen, sofern sie mit Kohlegas betrieben werden. Vor allem werden elektrische Wärmepumpen aber auch den Forderungen eines dauernd zu verbesserrnden Umweltschutzes gerechter.

Die Fig. 1 zeigt, dass 157 Einheiten (E) Primärenergie notwendig sind, um 47 Einheiten Heizwärme und 32 Einheiten elektrischer Energie über den Weg konventioneller Kohlevergasung und der BHKW-Technik bereitzustellen. Dies entspricht einem energetischen Wirkungsgrad von etwa 50 %. Hier wird die Kohlevergasung zentral, die gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung dezentral vorgenommen.

Eine zweite Variante (Fig. 2) geht von der Voraussetzung aus, dass bei der Mehrzahl der Anwendungsbereiche die Wärmebereitstellung aus Kostengründen dezentral (über Luft-Wasser-Wärmepumpen) erfolgen sollte, die Stromerzeugung kann dagegen wie bisher zentral durchgeführt werden.

Es zeigt sich, dass mit Hilfe von Kondensationskraftwerken und Wärmepumpen für die gleiche Menge Heizwärme (47 E) und elektrische Energie (32 E) nur 145 Einheiten Primärenergie aufgebracht werden müssen. Dies entspricht einem energetischen Wirkungsgrad von etwa 55 %.

In Fig. 3 wird gezeigt, dass eine von der Stromerzeugung im Kondensationskraftwerk getrennte Wärmeerzeugung über Kohlevergasung und Heizwerk den höchsten Primärenergieaufwand erfordert. Die gleiche Nutzenergie wie zuvor benötigt nunmehr 193 Primärenergieeinheiten, was einem Wirkungsgrad von nur 41 % entspricht.

Kohlevergasung bringt dann energetisch kaum bessere Wirkungsgrade als Stromerzeugung in Kondensationskraftwerken und Einsatz für Elektroheizung. Deshalb werden Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen und Recycling Aufgaben der Zukunft sein müssen.

Diese Beispiele beweisen, dass keine Anstrengung zu scheuen ist, durch neu zu entwickelnde Techniken bessere Wirkungsgrade zu erzielen und alle Rohstoffe, zu denen auch Energie zählt, besser zu nutzen. Sofern man zurzeit Naturgas und leichte Öle zum Heizen verwendet, bedeutet der Einsatz von BHKW eine bessere energetische Ausnutzung. Nur sind diese Primärenergien eben im Vorkommen begrenzt und müssen durch andere substituiert werden.

#### Adresse des Autors

K. Jagsch, Dipl.-Ing., Betriebsdirektor der Energie-Versorgung Schwaben AG, Betriebsverwaltung Tuttlingen, Postfach 140, D-7200 Tuttlingen.