argumenter

Kurzstudie

Aufstellung zukunftsfähiger Betriebe zur Nutzung der Abwärme eines G.u.D.-Kraftwerkes in Luxemburg

erstellt von:
Dr. Ing. Manfred Fischedick
Dipl. Ing. Dirk Wolters

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

MOUVEMENT ECOLOGIQUE

12

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 2

2 MÖGLICHE INTERESSENTEN FÜR ABWÄRME 5

2.1 INDUSTRIE 5

2.1.1 Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe 5

2.1.2 Investitionsgüter produzierendes Gewerbe 7

2.1.3 Verbrauchs guter produzierendes Gewerbe 10

2.1.4 Nahrungs- und Genußmittelgewerbe 72

2.2 KLEINVERBRAUCHER 14

3 VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE ANSIEDLUNG DIESER BETRIEBE 16

LITERATUR, INFORMATIONSQUELLEN 17

1 Einleitung

Mit dieser Kurzstudie soll die Frage beantwortet werden, welche zukunftsfähigen Betriebe in der Nähe eines geplanten GuD-Kraftwerkes in Luxembourg grundsätzlich angesiedelt werden und die ausgekoppelte Abwärme des Kraftwerkes als Fernwärme bzw. -kälte nutzen könnten. Darüber hinaus werden Anhaltswerte, soweit verfügbar, für den etwaigen Bedarf sowie zu der Arbeitsintensität dieser Betriebe gegeben. Abschließend werden einige Kriterien genannt, die die Voraussetzungen für ein mögliches Ansiedeln entsprechender Betriebe bilden.

Diese Untersuchung bezieht sich schwerpunktmäßig auf industrielle Betriebe, geht jedoch auch auf sog. „Kleinverbraucher" ein, die in manchen Fällen bedeutende Abnehmer von Wärme und Kälte sein können.

Dies deutet bereits an, daß die Abwärme eines Kraftwerkes nicht nur als „Wärme" weiter genutzt werden kann, sondern auch als „Kälte". Da dieser Umstand nicht immer bekannt ist, sei im folgenden auf diesen Zusammenhang näher eingegangen.

Die Kältetechnik wird heute in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt. In Tabelle 1 sind grundsätzliche Einsatzgebiete im gewerblichen Bereich für Abwärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) aufgezeigt, ohne daß ein Anspruch auf Vollständigkeit besteht und Einschränkungen bezüglich der Zukunftsfähigkeit unternommen wurden.

Tab. 1: Grundsätzliche Einsatzgebiete im Gewerbe für Abwärme aus KWK-Anlagen (nach IZT 1994, eigene Darstellung und Veränderungen)

Landwirtschaft Bauernhöfe Gärtnereien	Dienstleistungsbereich Gaststätten Hotels Banken/Sparkassen Kfz-Betriebe und Waschstätten Bürogebäude jeglicher Art
Nahrungs- und Genußmittelgewerbe Brauereien Metzgereien Malzfabriken Molkerei/Meierei Trocknungsanlagen Kühl- und Gefrieranlagen	Öffentliche Gebäude und Anlagen Hallenbäder Schulen und Universitäten Kliniken, Krankenhäuser Pflege- und Altenheime Berufsbildungswerke Stadtbüchereien Strafvollzugsanstalten Veranstaltungshallen, Kongreß Zentren Theater, Opernhäuser
Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie Ziegeleien Sägewerke Betonwerke Chemische Industrie Pharmazeutische Industrie	Investitions- und Verbrauchsgüter Metallverarbeitung Elektrotechnik Holzverarbeitung Kunststoffverarbeitung Textilindustrie

Die beiden Hauptverfahren der Kälteerzeugung sind der Kompressionskälteprozeß (Bsp.: Kühlschränke, mit Strom betrieben) und der Absorptionskälteprozeß. Absorptionskälteanlagen sind in allen Bereichen der Kälteversorgung im Einsatz, von der Gebäudeklimatisierung bis hin zur Tiefkälteerzeugung in der Industrie. Das Verfahren beruht auf dem physikalischen Prinzip der Verdampfung einer Flüssigkeit (des Kältemittels). Dies entspricht dem eigentlichen Kühlprozeß, da der Umgebung Wärme auf einem sehr niedrigen Temoeraturniveau entzogen wird. Das aus dem Verdampfer austretende Kältemittel wird in einer Flüssigkeit (Absorptionsmittel) unter Freisetzung der Absorptionswärme im Absorber gelöst und dann in flüssigem Zustand von einer Pumpe auf ein höheres Druckniveau gebracht (s. Abb. 1). Unter Zufuhr von Wärme wird anschließend im Austreiber das Kältemittel von der Absorptionsflüssigkeit getrennt und dem Kondensator zugeführt, während die kältemittelarme Flüssigkeit in den Absorber über ein Drosselventil zurückfließt. Das Kältemittel gelangt vom Kondensator nach Druckreduzierung (Expansionsventil) in den Verdampfer. Damit sind der Kälte- und der Lösungsmittelkreislauf geschlossen.

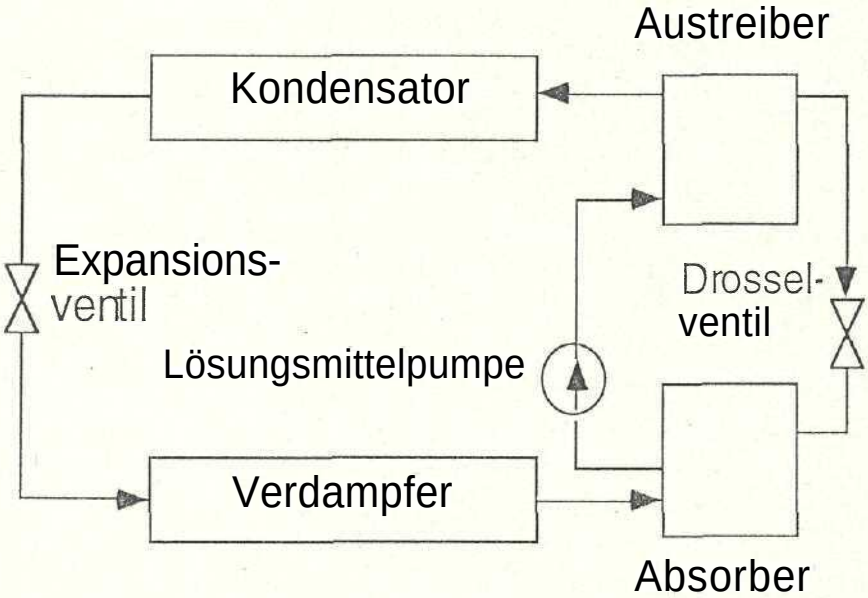

Abb. 1: Prinzipschema einer Absorptionswärmepumpe (Grafik: WI 1997)

Die Beheizung des Austreibers kann direkt, also beispielsweise durch einen Gasbrenner, erfolgen. Darüber hinaus ist eine indirekte Wärmezufuhr möglich, wodurch sich die ökonomisch und ökologisch besonders günstige Abwärmenutzung realisieren läßt. Absorptionskälteanlagen sind damit prädestiniert für einen Einsatz in Kombination mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Der Umwandlungswirkungsgrad von Fernwärme zu Kälte liegt bei ca. 0,7. Hierdurch wird zum einen elektrische Energie, die zum Antrieb der konventionellen Kompressionskälteanlagen benötigt wird, substituiert, und zum anderen kann die Auslastung der fernwärmeerzeugenden Anlage (insbesondere in den nachfrageschwachen Sommermonaten) erhöht und ihre Wirtschaftlichkeit verbessert werden. Unter den üblichen Bedingungen kann ein Temperaturniveau von 6 °C realisiert werden, wofür eine Antriebstemperatur von 90 °C ausreicht (DLR/ZSW 1997, ASUE 1997). Soll Tieftemperaturkälte (< 0 °C) bereitgestellt werden, sind weitere Maßnahmen notwendig, die jedoch

heute auch dem Stand der Technik entsprechen. Absorptionskälteanlagen können dabei zentral am Kraftwerk (Fernkälte) oder dezentral bei den Anwendern (die dann Fernwärme beziehen) installiert werden.

Weitere Vorteile von Absorptionskälteanlagen liegen in der Einsatzmöglichkeit nicht-klimarelevanter Kälte- und Lösungsmittel wie Wasser/Lithiumbromid oder Ammoniak/Wasser (die zudem kein ozonschädigendes Potential aufweisen), im geringen Wartungsaufwand, geringen Stromverbrauch und -leistungsbedarf sowie im geräuscharmen Betrieb.

Absorptionskälteanlagen in Verbindung mit Femwärme sind für folgende Kälteanwendungen interessant:

- Komfortklimatisierung (Bürobauten, Hotels), Bedarf überwiegend im Sommer, Klimakältebedarf kann jedoch durch optimierte Gebäudeplanung vielfach vermieden werden
- Abführen innerer Wärmelasten (Rechenzentren, Einkaufszentren, Versammlungsräume, Krankenhäuser), teilweise ganzjähriger Bedarf
- Prozeßkälte bei 6 °C (Kühlen von Maschinen, Lebensmitteln etc.), ganzjähriger Bedarf

Bevor im folgenden die potentiell fernwärme- oder -kälteabnehmenden Betriebe vorgestellt und chrakterisiert werden, sei kurz definiert, was in dieser Untersuchung unter „zukunftsfähig" zu verstehen ist. Dieses Wort ist aus dem englischen Begriff „sustainable" abgeleitet und bezieht sich auf die Definition der sog. Brundtland-Kommission zu „Sustainable Development" (WCED 1987):

„Sustainable Development is development, that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs"

Damit erfolgt hinsichtlich der Industrie- oder GewerbeStruktur keine grundsätzliche Einschränkung auf bestimmte Betriebe. Denn ein großer Teil der bereits existierenden Betriebe, die für das tägliche Leben notwendig sind, erfüllt ebenfalls das o.g. Kriterium. Nichtsdestotrotz wird in dieser Untersuchung das Augenmerk auftragsgemäß stärker auf innovative Produkte oder Dienstleistungen und damit letztlich auf Öko-effiziente Betriebe gelegt.

Die Abschätzung des etwaigen Bedarfs der in Frage kommenden Betriebe kann nur überschlägig erfolgen. Im Mittel wird von mittelständischen Betrieben ausgegangen und für diese die entsprechenden Bedarfswerte angegeben. Diese Werte sind jedoch nur als Größenordnungen zu verstehen.

Die Beurteilung der Arbeitsintensität der einzelnen Branchen erfolgt qualitativ und wird mit den Aussagen *gering, mittel* und *hoch* beschrieben.

2 Mögliche Interessenten für Abwärme

Im ersten Teil dieses Kapitels werden industrielle Betriebe (Kap. 2.1) und daran anschließend die sogenannten Kleinverbraucher (Kap. 2.2) betrachtet. Die ausgewählten Betriebe werden kurz vorgestellt sowie bezüglich der Art des Wärmeverbrauchs charakterisiert. Bei Branchen, wo eventuell die potentielle Zukunftsfähigkeit nicht direkt plausibel ist, werden einige Aussagen dazu getroffen.

2.1 Industrie

Dieses Kapitel ist nach der klassischen Form der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung aufgeteilt, also in die Bereiche Grundstoff-, Investitionsgüter-, Verbrauchsgüter- und Nahrungsmittelgewerbe. Die angegebenen Werte beziehen sich in der Regel ausschließlich auf Prozeßwärme- oder Prozeßkältebereitstellung. Falls aus den vorliegenden Informationsquellen auch Aussagen über die Hallen- oder Bürobeheizung gezogen werden konnten, sind diese gesondert angegeben. In der Kürze der Zeit konnte jedoch in den Fällen, wo dazu keine Angaben gemacht wurden, nicht ermittelt werden, welcher Bedarf für die Raumheizung noch hinzukommt. Anhaltswerte dazu bietet jedoch das Kapitel Kleinverbraucher.

2.1.1 Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe

Zu diesem Sektor gehören Branchen wie Steine und Erden, Eisen und Stahl, Nichteisenmetalle, Walzwerke, Chemische Grundstoffe sowie weitere chemische Erzeugnisse. Auch der Bereich der Baustoffe fällt in diesen Sektor, der hier etwas herausgehoben werden soll. Zudem sind ausgewählte weitere chemische Erzeugnisse behandelt worden.

Im Bereich der Baustoffe spielt die Ziegelproduktion eine wichtige Rolle. In einer Ziegelfabrik wird Wärme auf verschiedenen Temperaturniveaus verwendet. Für das eigentliche Brennen wird Hochtemperaturwärme benötigt, die in der Regel über im Ofen installierte Gasbrenner erzeugt wird. Um Risse und Verspannungen innerhalb der Ziegel zu vermeiden, müssen diese jedoch vor dem Brennen getrocknet werden. Die ungebrannten Ziegel besitzen 15 - 20 % Feuchte, die auf unter 5 % reduziert werden muß. Dazu werden die Ziegel in einer speziellen Trocknungskammer erwärmt. Die Trocknung der ungebrannten Ziegel erfolgt häufig mit 80 °C warmer Luft und ist damit prädestiniert für die Verwendung von KWK-Wärme. Da die Energiekosten einen hohen Teil der Gesamtkosten einer Ziegelei ausmachen, sind diese zudem an kostengünstiger KWK-Wärme, wie sie aus einem GuD-Kraftwerk geliefert werden kann, interessiert. Laut einer Untersuchung zu KWK-Potentialen im Saarland (DLR7ZSW 1997) sind Betriebe mit mehr als 100 Beschäftigten interessant, bei kleineren Betrieben herrscht noch keine Klarheit.

Wärmeleistungsbedarf: 0,5-5 MW
Jahresbedarf: 3.000-30.000 MWh/a
Arbeitsintensität: hoch

Eine in der Regel besonders Ökologische Variante stellen Lehmziegel dar, die auch sehr gute baubiologische Eigenschaften haben. Die Lehmbauweise erfährt aus diesen Gründen in den letzten Jahren wieder eine steigende Nachfrage und ist demnach als besonders zukunftsfähig einzustufen.

Weitere Möglichkeiten für den Wärmeeinsatz im ökologisch-orientierten Baugewerbe bestehen beispielsweise in den Bereichen Fliesen-, (1-10 MW), Farb-, Teppich- (siehe -> Textil-Färberei) sowie Fensterproduktion (hochisolierende Fenster für Passivhäuser, siehe -> Kunststoffverarbeitung). Da im Bereich Öko-effizienter Dämmstoffe heute immer noch Klärungsbedarf besteht, ist auch ein Entwicklungszentrum mit Experimentieranlagen denkbar. Auch die Holzbauweise für Passivhäuser erlangt wieder zunehmende Bedeutung. Durch die Ansiedlung einer entsprechenden Manufaktur könnte eine weitere Möglichkeit geschaffen werden, in doppeltem Sinne ökologisch sinnvoll die Abwärme des GuD-Kraftwerkes zu nutzen.

Eine in der heutigen Zeit wichtige Branche bildet die Papiererzeugung. Die Voraussetzungen für den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung sind in der Papierindustrie aufgrund

- der hohen durchschnittlichen Betriebsgröße,
- der hohen jährlichen Auslastung (meistens > 8.000 h/a),
- des ausgeglichenen Lastgangs und
- der typischen Struktur des Wärmebedarfs

außerordentlich günstig. Die wesentlichen Wärmeverbraucher sind die Trockenpartien der Papiermaschinen, die Heißlufthauben und der benötigte Prozeßdampf. Der spezifische äquivalente Brennstoffverbrauch beträgt bei der Papierproduktion (ohne Zellstoff) etwa 1.300 kWh/t (Hofer 1993). Typische Bedarfswerte liegen innerhalb des folgenden Spektrums (Beispiele in: Forum 1995):

Wärmeleistungsbedarf: 20 -100 MW
Jahresbedarf: 160.000-800.000 MWh/a
Arbeitsintensität: gering-mittel

Die chemische Industrie ist im allgemeinen gut geeignet für eine Nutzung von Abwarme(abhängig von Produkten), da im Mittel ein gleichbleibend hoher Wärmebedarf vorhanden ist. In der chemischen Grundstoffindustrie herrschen jedoch große Betriebe vor, bei denen eine Umsiedlung als äußerst unwahrscheinlich einzustufen ist und die daher nicht in die Betrachtung miteinbezogen wurden. Zudem stellen einige dieser Branchen Produkte mit bedeutenden Ökologischen Problemen her (z.B. die Chlorchemie oder die Düngemittelindustrie).

Als zukunftsfähig können hingegen die Waschmittel-, die Reifen- und die pharmazeutische Industrie eingestuft werden. Auch wenn letztere stark in der Diskussion ist und sicherlich viele kritisch zu beurteilende Verfahren bzw. Untersuchungsmethoden anwendet (Bsp.: Tierversuche), so wird doch davon ausgegangen, daß letztlich nicht auf eine solche Industrie verzichtet werden kann.

Bei der Herstellung von Waschmitteln wird Prozeßkälte für die Extruderkühlung auf einem Temperaturniveau von 4-8 °C benötigt. Mit den Extrudern wird die Waschmittelpaste bei geringer Feuchte plastifiziert. Diese Masse wird auf einen Druck von ca. 100 bar komprimiert und dann durch eine mit Bohrungen versehene Düsenplatte gepreßt. Bereits bei der Extrusion muß die Paste gekühlt werden, um chemische Zersetzungen durch die Reibungswärme zu unterbinden. Hierzu dienen mit Kaltwasser beschickte Kühlkanäle in den Schnecken und im Maschinengehäuse (ASUE 1997). Die bereitzustellende Kühlleistung beträgt im untersuchten Fall 1,9 MW.

Kälteleistungsbedarf: 1-5 MW
Jahresbedarf: 6.000-40.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

In der Reifenproduktion sind zwei Prozeßschritte entscheidend: einerseits die Gummiverarbeitung und andererseits die Herstellung des Drahtcords. Bei beiden Schritten wird Prozeßwärme benötigt, beim Drahtcord jedoch auf einem Mitteltemperaturniveau von 160°C (DLR/ZSW 1997). Dieses müßte entweder durch eine gesonderte Auskopplung (Prozeßdampf) aus dem GuD-Kraftwerk erfolgen oder - kostengünstiger - durch eine Zusatzerwärmung in der Produktionsstätte selber. Bei der Gummiverarbeitung ist eine Verwendung von KWK-Wärme nur möglich, wenn keine diskontinierlichen Prozesse verwendet werden.

Wärmeleisrungsbedarf: 5-15 MW (Gummiverarbeitung), 3-10 MW (Drahtcord)
Jahresbedarf: 20.000-60.000 MWh/a, 12.000-40.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

Die pharmazeutische Industrie verwendet in den meisten Produktionsschritten Wärme auf niedrigem Niveau (< 100°C) und ist damit sehr gut geeignet für die Nutzung von KWK-Wärme. Der Wärmebedarf ist zudem gleichbleibend über das Jahr und durch den Mehrschichtbetrieb in den Produktionsstätten ist eine hohe Auslastung gewährleistet.

Wärmeleisrungsbedarf: 0,5-5 MW
Jahresbedarf: 4.000-40.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

2.1.2 Investitionsgüter produzierendes Gewerbe

Diesem Sektor werden u.a. die Branchen Maschinenbau, Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik zugeordnet. Die Produktpalette dieser Branchen ist äußerst umfangreich, so daß nur bedingt auf einzelne Betriebe näher eingegangen werden kann.

In dem meisten Maschinenbau- oder Metallwarenbetrieben ist ein Wärme- oder Kältebedarf vorhanden, welcher jedoch oftmals so gering ist, daß sich ein entsprechender Aufwand für die strategisch gezielte Einbindung in ein Fernwärmenetz nicht lohnt (anders ist das, wenn in der Nähe bereits ein Fernwärmesystem liegt). Nach einer Untersuchung im Saarland wurde festgestellt, daß Betriebe mit mehr als 500 Beschäftigten auf jeden Fall

lohnend wären (DLR/ZSW 1997). In Einzelfällen kann der Bedarf aber auch schon bei kleineren Betrieben hoch genug sein. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn ein Prozeß-Wärmebedarf (Dampf, Heizwasser) unter 500 °C vorliegt und die Betriebe zumindest eine mittleren Auslastung von 3.500 bis 4.000 h/a aufweisen. Hinzu müßte ein Kältebedarf zur Maschinenkühlung und Raumklimatisierung kommen, um ausreichende Benutzungsumfänge zu garantieren[1].

Wärme- und Kälteleistungsbedarf: 5-20 MW
Jahresbedarf: 20.000-80.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel-hoch

Vor allem Maschinenbaubetriebe, die Zulieferer für innovative Industrien sind, kämen hier als zukunftsfähig in Frage. Dies können auch ganz klassische Firmen sein wie eine Getriebefabrik. In Zukunft werden vermehrt Spezialgetriebe gefordert sein, die hocheffizient auf den entsprechenden Anwendungsfall ausgelegt sind. Getriebefabriken sind in der Regel größere Einheiten, die einen erheblichen Heißwasserbedarf (< 160 °C) besitzen und im Mehlschichtbetrieb gefahren werden, was auch an den folgenden Zahlen deutlich wird (DLR/ZSW 1997):

Wärmeleistungsbedarf: 10-30 MW
Jahresbedarf: 60.000-180.000 MWh/a
Arbeitsintensität: hoch (bei Spezialgetrieben) und mittel (bei Massenproduktion)

Ein typisches Einsatzgebiet für Spezialgetriebe könnten zukünftig vermehrt Blockheizkraftwerke sein, da bisher im Netzparallelbetrieb die Drehzahl des Generators über die Netzfrequenz vorgegeben wird und die direkt angekoppelten Motoren damit in ungünstigen Drehzahlbereichen betrieben wurden. Bisher eingesetzte Getriebe sind jedoch nicht auf diese Anwendung zugeschnitten, so daß noch zu große Verluste und damit Kosten entstehen.

Dieser Fall soll nur beispielhaft zeigen, daß auch in klassischen Maschinenbaubranchen erhebliche Innovationspotentiale stecken. Weitere Beispiele sind der Pumpenbau, der Windturbinenbau (inkl. Steuereinheiten, Turmbau etc.), der Leichtbau in Schienenverkehrsfahrzeugen und auch im Automobilbau oder allgemein der Bau von Werkzeugmaschinen jeglicher Art unter Öko-effizienten Gesichtspunkten (Energieverbrauch und Stoffstromoptimierung spielen dort bisher nur eine sehr untergeordnete Rolle).

Produkte jeglicher Art aus der Elektrotechnik werden überall eingesetzt und gebraucht. Hinsichtlich der Kategorisierung „Zukunftsfähigkeit" muß jedoch jeder Einzelfall betrachtet werden. Ein Beispiel: einerseits werden durch moderne Kommunikationstechnologien zwar Ressourcen gespart, indem beispielsweise der Transport von Briefen durch

[1] Diese Angaben gellen vornehmlich für die Installation einer KWK-Anlage innerhalb eines Betriebes. Eine Auslastung von 3.000 h/a ist größer als die übliche Auslastung eines Fernwärmesystems. FernWärmeabnehmer mit geringerer Vollbenutzungsstundenzahl können daher schon zur Vergleichmäßigung der Kraftwerksbelastung beitragen, wurden aus dieser Untersuchung jedoch ausgeklammert, da in erster Linie potentielle Hauptabnehmer betrachtet werden soliten.

einen Transport von elektronischen Informationen ersetzt wird. Andererseits steigt der Verbrauch durch ein verstärktes Inbetriebhalten stromverbauchender Geräte - nicht zu vergessen die Vereinsamungserscheinungen bei Menschen, die hauptsächlich über Computer den Kontakt zur Außenwelt aufrecht erhalten.

Insbesondere aber bei Technologien zur rationellen Energieverwendung (Bsp.: Energiesparlampen) oder zur Nutzung erneuerbarer Energien (Bsp.: Photovoltaikindustrie) spielt die Eletrotechnikbranche eine entscheidene Rolle. Auch hier sind es nicht nur die Betriebe, die die eigentlichen „neuen" Produkte herstellen, wie eben z.B. Photovoltaikzellen, sondern auch diejenigen, die „lediglich" Weiterentwicklungen oder Anpassungen von bereits bekannten Produkten betreiben. Ähnlich wie in der Maschinenbaubranche ist auch hier die Produktion von speziell ausgelegten Geräten, was teilweise erhebliche Innovationen erfordert, ein äußerst wichtiger Aspekt. Als Beispiel sei die Weiterentwicklung von Wechselrichtern für den Netzparallelbetrieb von Photovoltaikanlagen genannt, wo noch erhebliche Potentiale liegen.

Der Wanne- und Kältebedarf in Elektrotechnik-Produktionsstätten ist als relativ hoch einzuordnen. Einerseits wird Wärme zu Heizzwecken und für die Produktion und andererseits Kälte für die Kühlung von Maschinen und zur Raumklimatisierung benötigt (typische Beispiele in: IZT 1993, Suttor, 1996).

Wärme- und Kälteleistungsbedarf: 5-50 MW (Wärme), 1-20 MW (Kälte)
Jahresbedarf: 30.000-300.000 MWh/a, 6.000-120.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

Weitere Beispiele für zukunftsfähige Betriebe sind Kabelfakriken (insbesondere bei einer stärkeren europäischen Vernetzung), Generatorfabriken und auch Betriebe, die Haushaltsgeräte herstellen. In diesem Bereich wird es zunehmend wichtiger, Öko-effiziente Produkte auf den Markt zu bringen, die beispielsweise eine sehr hohe Qualität aufweisen und dabei einen geringen Energie- bzw. Ressourcenverbrauch aufweisen (Bsp.: AEG Hausgeräte oder Manufactum, die eine Mischung aus Tradition und Moderne vertreiben). Bezüglich der Daten sei auf die Branchen Elektrotechnik allgemein, Metallwaren und Kunststoffverarbeitung hingewiesen.

Als möglicher weiterer zukunftsfähiger Betrieb seien Lackieranstalten erwähnt, da auch hier bisher nur wenige Betriebe existieren, die Öko-effizient lackieren. Die Sicherheits- und Umweltbedingungen innerhalb der Betriebe in Mitteleuropa sind zwar bereits gut, jedoch handelt es sich in erster Linie um sog. „end-of-pipe"-Technologien. Betriebe, die auch umweltfreundliche Lacke und Produktionsverfahren an sich verwenden, sind demgegenüber eher selten. Als zukunftsfähige Lackierverfahren sei hier die Pulverbeschichtung genannt, die den Einsatz von lösemittelfreien Lacken erlaubt. Die Fahrradmanufaktur, Bremen, setzt dieses Verfahren bereits seit vielen Jahren bei ihren Fahrrädern ein.

Wärmeleistungsbedarf: 1-10 MW
Jahresbedarf: 4.000-40.000 MWh/a

Arbeitsintensität: mittel-hoch (bei Pulverbeschichtung) und gering-mittel (bei konventionellen Verfahren)

2.1.3 Verbrauchsgüter produzierendes Gewerbe

In dieser Gruppe befinden sich jegliche Verarbeitungsbranchen von Vorerzeugnissen, so z.B. die Holz-, Papier-, Kunststoff-, und Lederverarbeitung, aber auch das gesamte Bekleidungsgewerbe sowie Druckereien. Im folgenden seien ein paar Betriebe dieser Branchen herausgegriffen.

Die Produktion ökologischer Textilien nimmt in den letzten Jahren ein immer größer werdendes Marktsegment ein und wird zukünftig (also mittel- bis langfristig) die vorherrschende Bekleidungsbranche sein. Dabei spielt nicht nur die Produktion der Fasern eine Rolle (wie beispielsweise von Öko-Baumwolle), sondern auch der weitere Verarbeitungsweg, insbesondere die Einfärbung der Fasern. Öko-effiziente Textil-Färbereien stellen somit eine zukunftsfähige Option dar, die zudem einen hohen Bedarf an Prozeßwärme (Heißwasser) hat, da die Farben nur in erwärmtem Zustand gut und haltbar zu verarbeiten sind. Textil-Färbereien werden üblicherweise im 2-Schicht-Betrieb gefahren (Krebs 1991) und liegen heutzutage hinsichtlich ihrer Verbrauchswerte in folgenden Größenordnungen:

Wärmeleistungsbedarf: 1-5 MW
Jahresbedarf: 4.000-25.000 MWh/a
Arbeitsintensität: gering-mittel

Auch wenn zur Zeit eher von einem Nischenmarkt gesprochen werden muß, so zeigen doch alle Entwicklungen die zunehmende Wichtigkeit dieses Produktes, so daß auch bereits verschiedene Textilproduzenten ein Labeling eingeführt haben. Das voraussichtlich weiter zunehmende Gesundheitsbewußtsein spielt auch hier eine wichtige Rolle, da zudem die heute gebräuchlichen künstlichen Farbstoffe Allergien auslösen können.

Auch im Bereich der Möbelproduktion sind große Potentiale vorhanden, diese ökoeffizient zu gestalten. Genannt seien hier nur 2 Beispiele: einerseits ist es möglich, Möbel in Modulbauweise zu erstellen (bspw. bei Einbauküchen), die optisch leicht verändert, in ihrer Substanz aber erhalten werden und sich somit über mehrere Jahrzehnte hinweg dem jeweiligen Geschmack anpassen können. Eine andere Möglichkeit besteht in dem Erteilen einer Rücknahme- und Recyclinggarantie seitens des Herstellers, wie es in Deutschland z. B. die Firma Grammer anbietet (Merten 1997). Nicht zu vergessen ist natürlich. die Verwendung von nachhaltig gewachsenem Holz.

Wärme wird in der Möbelindustrie bei allen Werkstoffen benötigt. Einerseits muß das Holz zur Verformung wärmebehandelt und darf bei der weiteren Behandlung nicht zu starken Temperaturschwankungen ausgesetzt werden. Durch die üblichen Staubabsaugvorrichtungen ist zudem ein starker Wärmeverlust gegeben, der wieder ausgeglichen werden muß (durch Wärmerückgewinnung allerdings vermindert werden kann). Werden Kunststoffe in der Möbelproduktion verwendet, so sind in etwa die gleichen Zahlen wie im Ab-

satz Kunststoffverarbeitung gültig. Die folgenden Zahlen gelten ebenso für sonstige holzverarbeitenden Betriebe, beispielsweise zur Skeletterstellung von Passivhäusern,

Wärmeleistungsbedarf: 0,5-5 MW (Klien/Gabler 1991)
Jahresbedarf: 2.000-20.000 MWh/a
Arbeitsintensität: hoch

Kunststoffe werden auch zukünftig in vielen Bereichen des Lebens verwendet und zeigen in bestimmten Bereichen auch durchaus Vorteile (bspw. bezüglich des Gewichtes in der Automobilindustrie). Auch stellt das kunstoffverarbeitende Gewerbe u.a. eine wichtige Zulieferindustrie für die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien dar. Ein notwendiger Aspekt ist jedoch das Zurückführen der gebrauchten Güter in den Produktionskreislauf. Einige Firmen versuchen dies auf direktem Wege und kommen damit ihrer Produktverantwortung nach. So vermietet u.a. die Firma MEWA AG, Wiesbaden, Putztücher und erreicht dadurch eine Recyclingquote von über 90 % (Merten 1997).

Auch Kunststoffverpackungen werden weiterhin verwendet und können z.T. sogar zu einer Senkung des Ressourcenverbrauchs beitragen, da sie insbesondere bei weiter zu transportierenden Gutem (die sich nicht in jeder Region produzieren lassen) zu geringeren Transportverbräuchen führen. Dieses liegt an den spezifischen Eigenschaften von Kunststoffverpackungen, die einerseits leicht sind und andererseits hohe mechanische Stabilitäten (insbesondere eine hohe Reißfestigkeit) aufweisen. Zudem lassen sich betriebsbedingte Umwelteinflüsse durch integrierten betrieblichen Umweltschutz auf ein Minimum reduzieren.

Je nach Produkt ergeben sich verschiedene Wärmebedarfe (zudem erfolgt je nach Kunstoff die Bearbeitung auf verschiedenen Temperaturniveaus) sowie Kältebedarfe (zur Kühlung der Maschinen oder der Produkte). Beispiele sind in Klien/Gabler (1991) und Suttor (1996) zu finden.

Wärme-und Kälteleistungsbedarf: 0,2-2 MW (Wärme), 0,5-4 MW (Kälte)
Jahresbedarf: 1.000-10.000 MWh/a, 3.000-20.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

In Druckereien wird Wärme für die Gebäudeheizung im Winter benötigt sowie zur Gebäudekühlung im Sommer. Diese Bedarfe lassen sich jedoch durch eine geeignete Bauweise stark reduzieren. Darüber hinaus haben Druckereien einen ganzjährigen Prozeßkühlungsbedarf (ASUE 1997), welcher in folgenden Größenordnungen liegt:

Wärmeleistungsbedarf: 1-3 MW
Jahresbedarf: 3.000-12.000 MWh/a
Arbeitsintensität: gering

Eine weitere Möglichkeit der Produktion eines zukunftsfähigen Gutes wäre eine Spielzeugfabrik, die pädagogisch wertvolles und stoffstromoptimiertes Spielzeug in größerem Stile herstellt. Um aus dem heutigen Nischendasein herauszukommen, sollte durchaus auch heute sehr beliebtes Spielzeug produziert werden. Beispielsweise müßte elektroni-

sches Spielzeug die gleichen Anforderungen erfüllen, wie sonstige elektronischen Haushalts- oder Unterhaltungsgeräte: modularer Aufbau, leicht reparabel, standardisierte Bedienungselemente etc. Bezüglich der Bedarfszahlen sei auf Holz Verarbeitung, Elektrotechnik, Maschinenbau und Kunststoffverarbeitung verwiesen.

2.1.4 Nahrungs- und Genußmittelgewerbe

Diesem Sektor sind Branchen wie die Zuckerindustrie, Molkereien und Brauereien zugeordnet. Die Landwirtschaft selber wird im Sektor Kleinverbraucher geführt.

In Molkereien treten beispielsweise bei einer kombinierten Erzeugung von Milch, Käse und Dessertprodukten 13 verschiedene Einzelprozesse auf vier Temperaturniveaus auf (Suttor, 1996). Notwendig sind dabei:

- Gesättigter bzw. leicht Überhitzer Dampf bei 4 bar (145-160 °C)
- Warmwasser 90/70 °C
- Warmwasser 60/35 °C
- Kaltwasser 12/35 °C

Bei geschickter Betriebsführung und Kombination der verschiedenen Temperaturniveaus lassen sich Wärme- und Kältebedarf deutlich reduzieren, so daß sich folgende Richtwerte ergeben:

Wärmeleistungsbedarf: 1,5-2 MW
Jahresbedarf: 6.000-12.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

Die Hauptprozeßschritte der Zuckerproduktion sind die Extraktion, Saftreinigung, Kristallisation und die Schnitzeltrocknung. Bei jedem dieser Prozesse muß Wärme hinzugeführt werden, so daß es sich hier um eine energieintensive Branche handelt. Dieser Aspekt wird auch durch die typischer Weise hohe Leistungsanforderung deutlich (VDI 1993), die zudem im 3-Schicht-Betrieb aufrecht erhalten wird:

Wärmeleistungsbedarf: 10-50 MW
Jahresbedarf: 60.000-400.000 MWh/a
Arbeitsintensität: gering

Ein zukunftsfähiger Zuckerbetrieb sollte jedoch nicht weißen Raffinadezucker produzieren, dessen Herstellung erstens sehr energieintensiv ist und der zweitens im Vergleich zum Rohzucker nur ein sehr minderwertiges Nahrungsmittel darstellt. Bei der Herstellung von Rohzucker fallen jedoch einige Prozeßschritte weg, so daß sich die Bedarfe deutlich vermindern (um mind. 50 %).

Dies ist ein weiteres Beispiel dafür, daß der Übergang auf andere „zukunftsfähige' Produkte zu einer Energiebedarfsreduzierung führen kann. Bei der Frage der zusätzlichen Wärmeauskopplung ist dies ebenso zu berücksichtigen, wie die in den verschiedenen Prozeßschritten noch ausschöpfbaren Einergieeinsparpotentiale. Da es immer um eine Ge-

Samtoptimierung geht , sollten diese auch unabhängig von der geplanten GuD-Anlage ausgeschöpft werden.

Eine Branche, welche sich direkt an die Zuckelproduktion anschließt, ist die Schokoladenerzeugung. Auch hier wird in den verschiedenen Prozeßschritten Wärme (Heißwasser) bzw. Kälte benötigt, und zwar in folgender Größenordnung:

Wärme- und Kälteleistungsbedarf: 5-20 MW
Jahresbedarf: 10.000-60.000 MWh/a
Arbeitsintensität: gering-mittel

Einen typischer Vertreter der Genußmittelindustrie stellen Bier-Brauereien dar. Eine Reihe von Prozeßschlitten laufen hier auf einem erhöhten Temperaturniveau ab. Der spezifische, auf einen Hektoliter Verkaufsbier bezogene Energieverbrauch einer modern ausgestatteten Brauerei beträgt zur Zeit etwa 10 kWh Strom und 45 kWh Brennstoffe zur Wärmeerzeugung. Die Schwerpunkte des Bedarfs liegen bei den folgenden Prozessen und Anwendungen (Hofer 1993):

- Aufheizen und Kochen der Maische,
- Aufheizen und Kochen der Würze,
- Flaschen- und Faßreinigung, Sterilisation,
- Erwärmung von Brauwasser sowie
- Erwärmung von Betriebswasser und Raumheizung.

Die Wärmeversorgung erreicht eine Auslastung von rund 4.500 h/a und folgende Bedarfe (Beispiel in: IZT 1994):

Wärmeleistungsbedarf: 5-20 MW
Jahresbedarf: 22.000-90.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel

Die vorgelagerte Mälzerei erreicht nochmal einen Leistungsbedarf von 1 bis 10 MW (Wärme und Kälte).

Ein weiterer wichtiger Bereich innerhalb der Nahrungsmittelindustrie stellt die Trocknung agrarischer Produkte dar. Eingesetzt werden dabei Sprühtürme für die thermische Trocknung sowie kontinuierliche und diskontinuierliche Chargen-Gefriertrocknungsanlagen. Diese Anlagen erreichen Vollbenutzungsstunden von über 8.000 h/a und besitzen folgende Richtwerte:

Wärmeleistungsbedarf: 1-10 MW
Jahresbedarf: 8.000-85.000 MWh/a
Arbeitsintensität: gering

2.2 Kleinverbraucher

Unter Kleinverbrauchern versteht man alle Produktions- und Dienstleistungsbetriebe, die nicht in die Sektoren Industrie, Haushalte oder Verkehr eingegliedert sind. Die Bezeichnung ist jedoch etwas unglücklich gewählt, da ein bedeutender Teil der „Klein"verbraucher eher großen Energieverbrauchern zuzurechnen ist. Typische Vertreter sind große Bürokomplexe, Krankenhäuser, Universitäten, Flughäfen, Hotels oder Kongreß- und Messezentren. Einige Beispiele sind im folgenden kurz dargestellt.

Bürogebäude jedweder Art benötigen einerseits Heizwärme im Winter und u.U. eine Raumklimatisierung im Sommer sowie ganzjährig eine Warmwasserbereitstellung. Durch verbesserte bauliche Maßnahmen lassen sich diese Verbrauche jedoch reduzieren (Niedrigenergie- oder Passivhäuser). Für größere Gebäude gelten folgende Richtgrößen:

Wärme- und Kälteleistungsbedarf: 0,5-10 MW (Heizung), 0,3-8 MW (Raumklima)
Jahresbedarf: 900-18.000 MWh/a, 300-8.000 MWh/a
Arbeitsintensität: hoch

In Bürogebäuden können zunächst alle Arten von Unternehmen angesiedelt werden. Am zukunftsweisenden wäre es, innovative Dienstleister wie Software-Firmen, Unternehmensberater (klassisch wie öko-effizient), Öko-Institute oder alternative Architekturbüros einzubinden, um nur ein paar wenige zu nennen.

Durch die Ansiedlung von Kreditinstituten (evtl. Ökobank) mit Rechenzentren könnte zudem die Auslastung der Abwärmenutzung im Sommer verbessert werden, da diese Rechenzentren einen hohen Kühlbedarf ihrer Computer haben.

Je nach Umgebung ist die Ansiedlung von Weiterbildungsstätten oder Akademien eine weitere Möglichkeit der Abwärmenutzung. Der Wärmeleistungsbedarf reicht dabei in typischen Anlagen von 100 kW bis zu 2 MW, wie das Beispiel der Evangelischen Akademie in Bad Boll zeigt, die jährlich 400 Veranstaltungen bei rund 15.000 Teilnehmer zu verbuchen hat (Suttor, 1996).

Schulen und v.a. Universitäten bilden aufgrund ihrer Größe ebenfalls einen guten Wärmeabnehmer (im Winterhalbjahr). Je nach Größe liegen die Anschlußwerte zwischen 0,5 und 20 MW.

Je nach Größe und Ausstattungsgrad sind Hotels größere und ganzjährige Abnehmer von Wärme/Kälte. Beispielsweise benötigt ein Hotel mit 120 Zimmern, Gastronomie, Sauna, Schwimmbecken eine thermische Leistung von 1,4 MW Wärme und knapp 0,1 MW Kälte (bei 150 Vollbenutzungsstunden) und hat einen jährlichen Bedarf von 2.400 MWh/a Wärme und 14 MWh/a Kälte (Suttor, 1996).

Krankenhäuser gehören zu den typischen Großabnehmern unter den Kleinverbrauchern. In Krankenhäusern und Kliniken sind die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen KWK-Einsatz besonders günstig, da

- ein ganzjähriger Wärmebedarf mit Temperaturen unter 100 °C,
- ein über das Jahr gleichmäßiger Kältebedarf (Hörsäle, OP-Bereich, Kühlräume in der Küche und Pathologie) sowie
- ein über das Jahr konstanter Dampfbedarf für Sterilisation, Desinfektion, Raumlufttechnik und Prozeßdampf für Küche und Wäscherei bestehen.

Krankenhäuser mittlerer Größe (280 Betten) haben im Durchschnitt einen Brennstoffbedarf von 61 kWh je Tag und Bett. Bei einem Krankenhaus mit 500 Betten ergeben sich in etwa folgende Bedarfszahlen (Suttor 1996, Flügge 1998):

Wärme- und Kälteleistungsbedarf: 5-7 MW
Jahresbedarf: 11.000-16.000 MWh/a
Arbeitsintensität: hoch

Aufgrund der Notwendigkeit der Klimatisierung des Operatons- und Intensivbereiches, der Kühlung verschiedener Rechner wie der Computertomographie, des Linearbeschleunigers und der Röntgenröhren des Herzkathetermeßplatzes liegt der Kältebedarf eines solchen Krankenhauses bei rund l MW (ASUE 1997, Flügge 1998).

Hinzu kommen u.U. Personalwohnheime, die beispielsweise bei 250 Zimmern einen Wärmeleistungsbedarf von rund 0,5 MW haben (Suttor, 1996).

Zur effizienteren Belieferung von Lebensmittellmärkten wurden in den letzten Jahren vestärkt sogenannte Verbrauchermarkt-Logistikzentren gebildet, welche mehrere hundert Supermärkte beliefern. Diese haben einen Wärmeleistungsbedarf zwischen 5 und 10 MW (Bürogebäude, Heißwasserreinigungen) und einen Kälteleistungsbedarf von 2 bis 5 MW (Kaltwasser, Tiefkühlung, Eisspeicher, Trailerkühlung) (Suttor, 1996).

Zierpflanzen werden heute größtenteils in Entwicklungsländern und/oder unter nicht haltbaren ökologischen Bedingungen (bspw. in den Niederlanden) produziert. Zukunftsfähige Produktionsanlagen, welche sich am Ökolandbau orientieren, könnten sich kurzfristig einen Nischenmarkt in Europa erobern und diesen mittel- bis langfristig ausbauen. Da sich viele beliebte Zierpflanzen jedoch nur in Gewächshäusern anbauen lassen, ist hier ein Wärmebedarf vorhanden, der sich an denjenigem heutiger Gärtnereien orientiert.

Wärmeleistungsbedarf: 0,5-5 MW
Jahresbedarf: 1.000-15.000 MWh/a
Arbeitsintensität: mittel-hoch

Weitere Möglichkeiten zur Abwärmenutzung bestehen in Hallenbädern sowie Kongreßzentren und Veranstaltungshallen.

3 Voraussetzungen für eine Ansiedlung dieser Betriebe

Bei der Entscheidung eines Unternehmens, an einen bestimmten Standort zu wechseln oder an einem Standort zu expandieren, spielen viele Faktoren eine Rolle, wovon nur wenige im Einflußbereich des Standortes selber liegen. Zwei wichtige Faktoren können jedoch beeinflußt werden, und dies wären

- die Ökonomischen Konditionen eines Standortes sowie
- das Image eines Standortes.

Zum ersten gehören beispielsweise günstige Versorgungsbedingungen für die im Betrieb benötigte Energie. Konkret heißt dies, daß Strom, Wärme und Kälte im Vergleich zu anderen Standorten preisgünstig sein müssen. Die Grundlage wird in Luxembourg durch den Bau des GuD-Kraftwerkes gelegt, da diese Technologie heutzutage über einen weiten Lastbereich die niedrigsten Energiegestehungskosten aufweist. Dies gilt in besonderem Maße, wenn zusätzlich die Auskopplung von Wärme erfolgt (Wintersteller 1997). Die Grenzkosten der Stromerzeugung derartiger Anlagen liegen heute - je nach Größe und Auslastung - bei 5-8 Pf/kWh_{el} (ohne Wärmeauskopplung), bei zeitgleicher Nutzung der Abwärme sind Kosten von zum Teil unter 5 Pf/kWh_{el} möglich[2]. Letzteres erlaubt, potentiellen Nutzern wirtschaftlich attraktive Angebote zu machen, die diese als Standortvorteil werten könnten. Dies gibt insbesondere bei einer Verknüpfung mit einem Wärmedirekt-Serviceangeboten seitens des Kraftwerksbetreibers. Niedrige Fernwärmekosten sind im übrigen nicht nur ein möglicher Grund für Betriebsansiedlungen, sondern können auch für bestehende Unternehmen einen Anreiz darstellen, auf diesen Energieträger zu wechseln.

Das Image eines Standortes sollte als nicht-monetäre Anreizschaffung ebenso nicht außer Acht gelassen und nicht unterschätzt werden. Das derzeitige Standortimage könnte durch den Aspekt „Öko-Effizienz" erweitert werden, wenn offensiv versucht werden sollte, eine Reihe von Betrieben anzusiedeln, die zukunftsfähige Produkte herstellen und vermarkten wollen. Zur Stärkung dieses Images kann auch eine ökologisch weniger schädliche Energieversorgung beitragen. Dabei sollte versucht werden, eine geeignete Mischung aus verschiedenen industriellen Branchen, Dienstleistern und wissenschaftlichen Instituten an den Ort zu holen. Wie das Beispiel Freiberg in Sachsen anhand der Photovoltaik zeigt, kann die Kombination aus bereits angesiedelten Firmen, monetären Anreizen und offensiver Vermarktung eine große Anziehungskraft auf weitere Unternehmen ausüben. Dadurch kann nicht nur ein Staat, sondern auch eine einzelne Region einen Qualitätsstandard aufbauen (Made in ...), mit dem ein eigenes, unverwechselbares Image verbunden ist - sozusagen der ökologische Silicon-Valley-Effekt.

[2] Die Vollkosten einer GuD-Anlage können damit unterhalb der Betriebskosten bestehender und abgeschriebener Kohlekraftwerke liegen.

Literatur, Informationsquellen

ASUE 1997 (Hrsg.). *Absorptionskälteerzeugung im Überblick: Kühlen mit Erdgas.* Hamburg: Verlag Rationeller Erdgaseinsatz.

DLR/ZSW 1997. *Klimaschutzkonzept für das Saarland: Potentiale der Kraft-Wärme/Kälte-Kopplung und Nutzung regenerativer Energien.* Klimaschutzkonzept Saarland. Stuttgart.

Flügge 1998. Persönliche Auskunft vom 21. April 98. Technischer Leiter, DRK-Kliniken Westend, Berlin

Forum für Zukunftsenergien 1995 (Hrsg.). *Kraft-Wärme-Kopplung: Ein Leitfaden für Städte und Gemeinden, Gewerbe und Industrie.* Bonn: EFO Energie Forum.

Hofer, Roland 1993. *Technologiegestützte Analyse der Potentiale industrieller Kraft-Wärme-Kopplung.* Technische Universität München.

Klien, J., Gabler, W 1991. *Dokumentation Blockheizkraftwerke: Referenzanlagen Motorheizkraftwerke.* Praxis Kraft-Wärme-Kopplung. Karlsruhe: C.F. Müller.

Krebs, Andreas W. 1991. *Kraft-Wärme-Kopplung in Industriebetrieben: Vorstudie im Auftrag der Stadt Frankfurt am Main.* Hg.: Energiereferat der Stadt Frankfurt am Main. Frankfurt.

Kreibich, R., Rogall, H. 1994. *Rationelle Energiewandlung durch dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung: Einsatz von Blockheizkraftwerken in Berlin.* Hg.: IZT. Werkstattberichte. Berlin.

Lechtenböhmer, Stefan 1993. *Entwicklung eines integrierten Energiekonzeptes: Sektor Industrie.* Universität Münster.

Merten, T. 1997. "Beispiele für Öko-intelligentes Produzieren". *Ökointelligentes Produzieren und Konsumieren.* Hg. F. Schmidt-Bleek et al. Berlin; Basel; Boston: Birkhäuser, S. 191-214

Suttor, W. (Hrsg.) 1996. *Praxis Kraft-Wärme-Kopplung:Technik, Umfeld, Realisierung von KWK-Anlagen.* Heidelberg: C.F.Müller.

VDI (Hrsg.) 1993. *Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen: Zukunftsmärkte der Technik.* VDI Berichte. Düsseldorf: VDI-Verlag.

WCED (Hrsg.) 1987. *Our Common Future.* Oxford: Oxford Universitx Press.

\VI 1997: Grafik von Dirk Wolters, Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie, Wuppertal

Wintersteller, W. 1997: „Liberalisierung der Energiemärkte - Erfahrungen aus europäischen Nachbarländern". *Industriestandort Deutschland: Arbeitsplätze und Energie.* Hrsg. VDI. VDI-Tagung Heilbronn, 22./23.4.1997. Düsseldorf: VDI-Verlag.