

## **Analyse des Bestandes von Kraft- Wärme-Kopplungsanlagen in Bayern**

---

**KWK in Bayern**



# **Analyse des Bestandes von Kraft- Wärme-Kopplungsanlagen in Bayern**

---

**KWK-Bestand in Bayern**

<b>Auftraggeber:</b>	<b>BStmWIVT</b>
<b>FfE-Auftragsnummer:</b>	<b>057.23</b>
<b>Bearbeiter/in:</b>	<b>F. Hauptmann G. Layer Dr.-Ing. W. Mauch</b>
<b>Fertigstellung:</b>	<b>April 2004</b>

**Impressum:**

Endbericht  
der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.  
(FfE)

*zum Projekt:*

Analyse des Bestandes von Kraft-Wärme-  
Kopplungsanlagen in Bayern

KWK-Bestand in Bayern

*Auftraggeber:*

BStmWIVT

**Kontakt:**

Am Blütenanger 71  
80995 München  
Tel.: +49 (0) 89 158121-0  
Fax: +49 (0) 89 158121-10  
E-Mail: [info@ffe.de](mailto:info@ffe.de)  
Internet: [www.ffe.de](http://www.ffe.de)

**Wissenschaftlicher Leiter:**

Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

**Geschäftsführer:**

Dr.-Ing. W. Mauch

<b>0</b>	<b>Kurzzusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Methodik der Datenerhebung .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Analyse der Statistiken .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Definitionen .....</b>	<b>7</b>
2.2.1	Leistungsbegriffe .....	7
2.2.2	Energietechnische Begriffe .....	9
2.2.3	Wirkungsgrad und Nutzungsgrad .....	10
2.2.4	Energiewirtschaftliche Begriffe .....	11
2.2.5	Betriebswerte .....	14
2.2.6	Anlagentechnische Grundbegriffe .....	15
2.2.7	Definition von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) .....	16
2.2.8	Kraftmaschinen in Kraft- und Heizkraftwerken .....	21
<b>2.3</b>	<b>Prüfung des Datenmaterials und Quervergleich .....</b>	<b>26</b>
2.3.1	Industrieanlagen .....	26
2.3.2	Öffentliche KWK-Stromerzeugung und Fernwärmeversorgung .....	29
2.3.3	BHKW- und Biomasseanlagen .....	32
2.3.4	Bestand zugelassener KWK-Anlagen in Bayern .....	36
2.3.5	Vergleich mit weiteren Statistiken .....	37
<b>2.4</b>	<b>Fazit der Datenerhebung .....</b>	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>Methodik zur Ergänzung des Datenbestandes .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Kategorisierung nach Anlagentypen und Art der Versorgung .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Kategorisierung nach installierter Leistung (Leistungsklassen).....</b>	<b>42</b>
<b>3.3</b>	<b>Bildung von Kennzahlen zur Hochrechnung .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4</b>	<b>Hochrechnung der Strom- und Wärmeerzeugung .....</b>	<b>45</b>
<b>3.5</b>	<b>Plausibilisierung der Daten .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung der ermittelten Daten .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>56</b>



## 0 Kurzzusammenfassung

Über KWK-Anlagen in Bayern liegen aus verschiedenen Statistiken und Veröffentlichungen Daten vor. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Statistiken von verschiedenen Organisationen, wie z.B. der Hauptbericht der Fernwärmeversorgung von der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW), die Statistik der Energiewirtschaft vom Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK), sowie Anfragen an Energieversorgungsunternehmen (EVUs), wie E.ON Bayern, LEW, einigen Stadtwerken und an einige Ämter, wie das Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung und das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ausgewertet. Darüber hinaus wurden Daten aus der Datenbank des Utility Data Institute (UDI) sowie aus dem McCoy Power Report 2002 entnommen. Keine der vorliegenden Unterlagen liefert jedoch eine vollständige Abbildung des Ist-Zustandes.

Beispielsweise werden

- in der BAFA-Statistik /BAFA 01/ nur die gemeldeten und zur Zahlung eines KWK-Zuschlags zugelassene Anlagen erfasst,
- in der AGFW-Statistik /AGFW 02/ nur die Meldung der Mitgliedsunternehmen ausgewertet,
- in der UDI- bzw. McCoy-Statistik /UDI 01/ /Coy 01/ lediglich technische Daten, wie die elektrische Kraftwerksleistung, aufgenommen; zudem enthalten sie unsortiert industrielle und öffentliche Anlagen,
- in älteren Statiken wie die der Bayernwerk Vertriebsgesellschaft /Bay 01/ aus dem Jahre 1999 sind alle dort gemeldeten Anlagen der öffentlichen Stromversorgung Bayerns erfasst, jedoch nur unter Angabe der installierten Leistung.

Es wurde daher versucht, fehlende Daten, z. B. bei der Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen, in den Statistiken so weit wie möglich zu ergänzen. Aus vorhandenen Daten des Fernwärmehauptberichtes wurden anlagentypische Kennzahlen für Ausnutzungsdauern, Stromkennzahlen usw. gebildet. Diese dienten als Grundlage für die Hochrechnung der Strom- und Wärmeerzeugung für Anlagen bei denen nur die elektrische Nennleistung angegeben ist. Durch Überlagerung der räumlich und zeitlich unterschiedlich abgegrenzten Zahlenwerke konnte ein weitgehend konsistentes Ergebnis erreicht werden.

In Deutschland ist die Anzahl der KWK-Anlagen im verarbeitenden Gewerbe seit 1998 um über 15 % zurückgegangen. Die installierte elektrische KWK-Nennleistung der Stromerzeuger ist seit 1999 in Deutschland leicht angestiegen, liegt im Jahre 2001 aber rd. 5 % unter dem Niveau von 1998. Ähnlich ist die Tendenz für Bayern, jedoch ist die KWK-Stromerzeugung, die für Deutschland nahezu konstant ist, um über 10 % gestiegen.

Der Anteil der installierten Leistung der KWK-Anlagen ist in der öffentlichen Fernwärmeversorgung in Deutschland und in Bayern am größten. Der Anteil der Dampfturbinenkraftwerke an der installierten elektrischen Leistung liegt bei etwa 70 %

aller KWK-Anlagen in Bayern. Bezogen auf die Wärmeengpassleistung liegt deren Anteil bei etwa 80 % (vergl. **Tabelle 2-3**).

Die Anzahl der BHKW-Anlagen in Deutschland, die nicht zur öffentlichen Fernwärmeversorgung zählen, betrug nach der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE) im Jahre 1998 4.875 Anlagen. Ihre installierte elektrische Nennleistung betrug 2.261 MW. Auf Bayern entfallen davon 800 Anlagen (16,4 %) mit einer Leistung von 340 MW (15,0 %) (vergl. **Tabelle 2-4**).

Da zum gegenwärtigen Zeitpunkt die beste Datenbasis der KWK-Anlagen in Bayern für das Jahr 2001 vorhanden ist, wurde dieses Jahr als Referenz gewählt. In Kapitel 4 sind die Ergebnisse ausführlich zusammengefasst. BHKW-Anlagen stellen mit über 70 % den größten Anteil der Anlagenzahl, besitzen jedoch nur 16 % der installierten elektrischen Nennleistung. Umgekehrt ist es bei der öffentlichen Versorgung, die rund 2 % der Anlagen, 53 % der Leistung und mehr als 45 % der Strom- und Wärmeerzeugung ausmacht (siehe **Tabelle 4-1**).



# 1 Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist eine systematische und möglichst vollständige Erfassung der KWK-Erzeugung in Bayern. Dabei soll eine Aufteilung der Anlagen nach der Art des Betreibers bzw. Eigentümers (Industrie bzw. öffentliche und unabhängige Energieversorger) sowie nach Kraftwerkstypen (z.B. Gas- und Dampfturbinenkraftwerke sowie Blockheizkraftwerke) und Leistungsklassen durchgeführt werden. Basis sind Studien und Statistiken zur Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Deutschland und in Bayern.

Allgemein ist zu sagen, dass die Datengrundlage über den Bestand von KWK-Anlagen unzureichend ist, da es z.B. an einheitlichen Regelungen für die Erhebung solcher Daten mangelt und in den gesetzlichen Vorschriften erst ab April 2002 mit in Kraft treten des KWK-Ausbaugesetzes eine konkrete Definition der vergüteten Strommenge enthalten ist. Zur Klassifizierung der erfassten Anlagen wurden daher die benutzten Quellen ausgewertet und ihre Daten soweit möglich abgeglichen.

Auf Grund der fehlenden gesetzlichen Vorschriften im alten KWK-Gesetz war die messtechnische Ausrüstung vor allem in der Industrie nicht immer ausreichend, um alle Betriebsdaten zu erfassen. Daher wurden umfangreiche Abschätzungen durchgeführt, um fehlende Größen, wie etwa die erzeugten Wärmemengen, aus den vorhandenen Quellen hochzurechnen.

Hierzu wurden branchentypische Betriebsweisen und Bedarfsstrukturen an Hand von Erfahrungswerten und aus den erfassten Quellen gebildet, welche es erlaubten, mit Hilfe der zu Grunde gelegten Einsatzweise der KWK-Systeme die Erzeugung von Strom und Wärme abzuleiten.

Zur Plausibilisierung der Annahmen wurde eine Überprüfung an Hand von Stichproben, z.B. durch Erhebung aktueller Daten von einzelnen Betreibern durchgeführt.

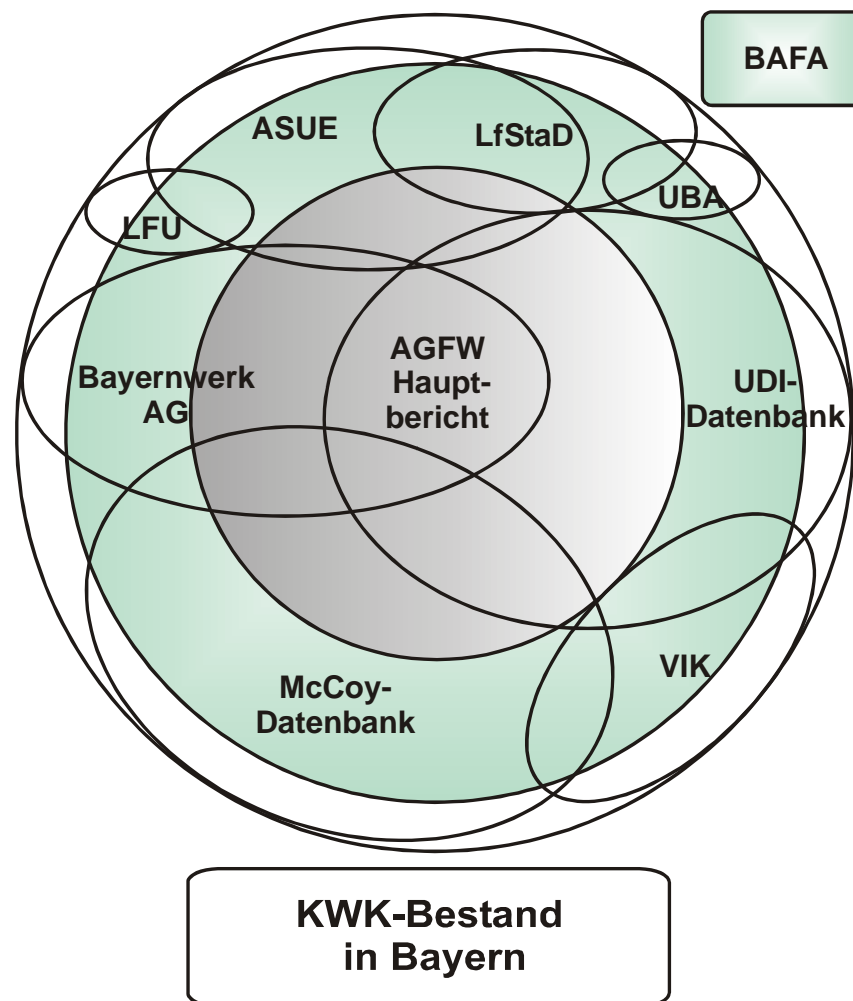
## 2 Methodik der Datenerhebung

### 2.1 Analyse der Statistiken

Zur Erhebung von Bestandsdaten von KWK-Anlagen in Bayern wurden verschiedene Quellen herangezogen. Ausgewertet wurden Statistiken von verschiedenen Organisationen, wie des Verbandes der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) /VIK 01/, der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE) /ASUE 01/. Sie wurden ergänzt um Anfragen an Energieversorgungsunternehmen (EVUs), wie E.ON Bayern, LEW, Stadtwerke München (SWM) und weitere Stadtwerke, sowie an das Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (LfStaD) und das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Da durch keine der Statistiken der Bereich der „öffentliche Anlagen“ ausreichend abgedeckt ist, wurden neben den AGFW Hauptberichten /AGFW 01/ und /AGFW 02/ noch zusätzliche statistische Daten des McCoy Power Plant Reports für das Jahr 2002 /Coy 01/, der Utility Data Institute (UDI) Electric Power Plant Database 2003 /UDI 01/ sowie der Übersicht der Kraftwerke in der öffentlichen Energieversorgung der damaligen Bayernwerk Vertriebsgesellschaft (BAG) aus dem Jahr 1999 /Bay 01/ herangezogen.

**Abbildung 2-1** zeigt die qualitative Zusammensetzung der Daten für KWK-Anlagen. Die Graphik zeigt, dass keine der Informationsquellen den gesamten Bereich zu 100 % abdeckt. Da sich die einzelnen Quellen teilweise überlappen, wurde durch verschiedene Ansätze versucht, die Doppelzählungen zu eliminieren und Fehlmengen zu identifizieren. In den Statistiken der AGFW, McCoy, UDI und BAG sind die Kraftwerksstandorte der öffentlichen Versorgung namentlich und nach dem Jahr der Inbetriebnahme aufgeführt. Damit konnten die Datenbestände der BAG aus dem Jahr 1999 und der AGFW aus dem Jahr 2001 abgeglichen werden. Die Angaben des VIK stammen vom statistischen Bundesamt und umfassen die KWK-Anlagen im verarbeitenden Gewerbe. Die Statistik der ASUE umfasst die BHKW-Anlagen bis einschließlich 1998. Hierzu kamen zusätzliche Informationen vom Landesamt für Umweltschutz (LfU) und Verkaufzahlen der Firma SenerTech. Angaben zu Biomasseanlagen konnten von verschiedenen Quellen ermittelt werden, wie etwa vom LfStaD oder dem Umweltbundesamt (UBA). Durch Plausibilitätskontrollen und eigene Erhebungen konnten die Datenqualität verbessert und die fehlenden Teilmengen minimiert werden.



**Abbildung 2-1:** *Qualitative Zusammensetzung der Daten zum KWK-Bestand in Bayern*

Darüber hinaus wurden Betreiber größerer Anlagen im öffentlichen und industriellen Bereich zusätzlich nach der installierten Leistung sowie der KWK-Strom- und Wärmeerzeugung befragt. Dadurch konnten fehlende Angaben z.B. zum Anteil des KWK- bzw. Kondensationsstroms beigelegt werden. Weiterhin konnte geklärt werden, welche Anlagen z. B. nur zur Spitzenlastdeckung bei der Stromversorgung eingesetzt werden und somit zur Deckung des Wärmebedarfs nicht eingesetzt werden können.

Einige Probleme, die bei der Auswertung der Quellen auftraten sind nachfolgend zusammengefasst, sie werden im Kapitel 2.4 näher erläutert.

- In der BAFA-Statistik werden nur die gemeldeten und zur Zahlung eines KWK-Zuschlags zugelassenen Anlagen erfasst. Die Daten sind nach Leistungsklassen und Anzahl gegliedert, es ist die Strom- und Wärmeerzeugung angegeben, es fehlen jedoch Angaben zum Kraftwerkstyp;
- In der AGFW-Statistik wird nur die Meldung der Mitgliedsunternehmen ausgewertet. Die Angaben enthalten lediglich die Summe der Kraftwerksleistung eines Kraftwerkstyps, so dass bei mehreren Anlagen gleichen Typs an einem Standort nicht nachvollzogen werden kann, wie hoch die Leistung oder die Erzeugung einer Einzelanlage ist;

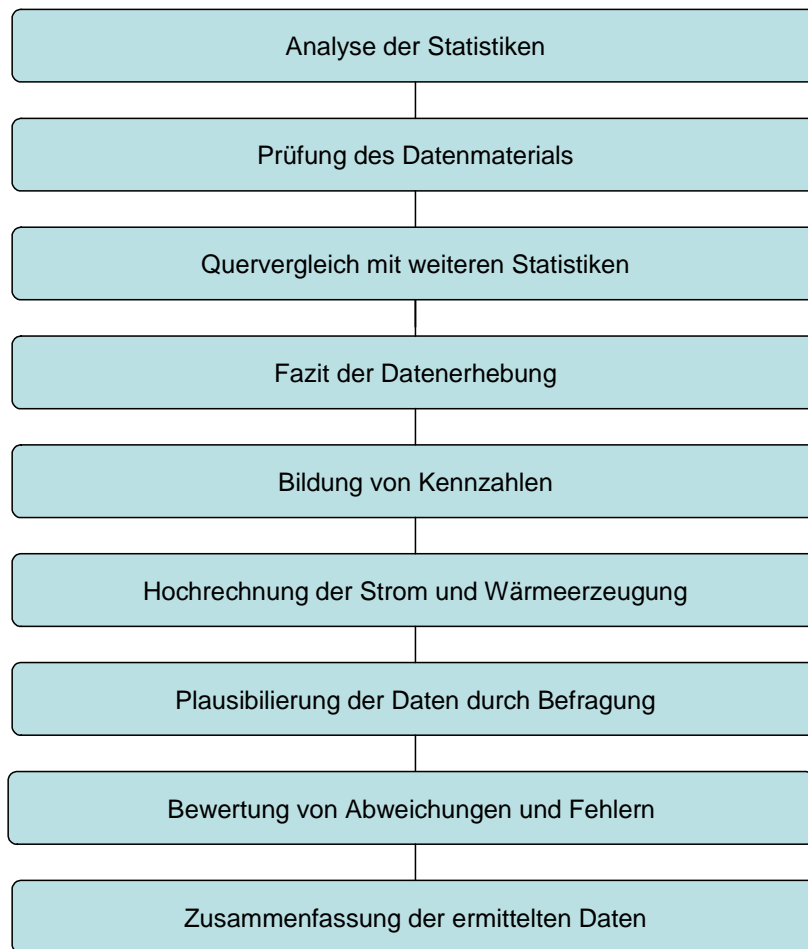
- In der UDI- bzw. McCoy-Statistik sind lediglich technische Daten, wie die elektrische Kraftwerksleistung sowie der Kraftwerkstyp aufgenommen; zudem enthalten sie nicht alle Anlagen zur industriellen Stromversorgung;
- In der Bayernwerk AG-Statistik aus dem Jahre 1999 sind alle dort gemeldeten Anlagen der öffentlichen Stromversorgung Bayerns erfasst. Es wird unterschieden nach konventionellen Kraftwerken und KWK- bzw. BHKW-Anlagen mit Brutto- und Nettoengpassleistung;
- Die VIK-Statistik enthält ausschließlich industrielle Anlagen mit Angaben der Kraftwerksarten, Stromerzeugung, installierter Leistung und erzeugter Strommenge sowie die Anzahl der Stromerzeuger;
- Die ASUE-Statistik enthält ausschließlich BHKW-Anlagen. Es sind nur die Anzahl der Anlagen sowie deren elektrische Leistung bekannt. Die letzte Statistik stammt aus dem Jahr 1998, genaue Angaben zur Erhebungsgrundlage konnten hieraus nicht entnommen werden. Zur Ergänzung wurden Daten von folgenden Ämtern, bzw. Einrichtungen eingeholt:
  - Umweltbundesamt,
  - Landesamt für Umweltschutz,
  - C.A.R.M.E.N. e.V.,
  - Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung
  - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

Wie erläutert, haben die verschiedenen Datenquellen unterschiedliche Strukturen. Es wurde daher versucht, fehlende Daten, z. B. erzeugter KWK-Strom- und Wärmeerzeugung, in den Statistiken so weit wie möglich zu ergänzen. Aus vorhandenen Daten des AGFW Fernwärmehauptberichtes wurden anlagentypische Kennzahlen für Ausnutzungsdauern, Stromkennzahlen usw. gebildet. Diese dienten als Grundlage für die Hochrechnung der Strom- und Wärmeerzeugung für Anlagen aus anderen Quellen, bei denen nur die elektrische Nennleistung angegeben ist. Durch Überlagerung der räumlich und zeitlich unterschiedlich abgegrenzten Zahlenwerke konnte ein weitgehend konsistentes Ergebnis erreicht werden.

Die methodische Vorgehensweise wird in **Abbildung 2-2** zusammengefasst.

Nach der Analyse der Statistiken und der Prüfung der Daten erfolgt ein Quervergleich, um zu ermitteln, ob z. B. die Anzahl der Dampfkraftwerke > 100 MW, die installierte Leistung, die erzeugten Strom- und Wärmemengen in den verschiedenen Statistiken übereinstimmen und welche Abweichungen durch Fehlen einzelner Anlagen entstehen. Anschließend wurde recherchiert, welche Anlagen nicht erfasst wurden und wie groß die zusätzlich aufzunehmende Erzeugerleistung, die Energiemenge usw. sind. Die plausibilisierten Daten wurden abschließend zusammengefasst.

Die großen KWK-Anlagen (> 10 MW) konnten bayernweit umfassend erfasst werden. Es lässt sich jedoch insgesamt nicht ausschließen, dass einige kleinere Anlagen nicht erfasst wurden. Eine Erläuterung der Vorgehensweise bei der Fehlerabschätzung folgt in Kapitel 4.



**Abbildung 2-2:** Vorgehensweise bei der Ermittlung des KWK-Bestandes in Bayern

## 2.2 Definitionen

/AGFW 03/

### 2.2.1 Leistungsbegriffe

#### Leistung $P$ in $W$

ist der Quotient aus einer Arbeit  $W$  und der betreffenden Zeitspanne  $t$ ,

$$P = \frac{W}{t}.$$

Wenn  $t$  sehr klein wird, bestimmt sich die Leistung zu einem beliebigen Zeitpunkt  $t$  durch die zeitliche Ableitung der Arbeit

$$P = \frac{dW}{dt}.$$

**Wärmeleistung  $\dot{Q}$  in W**

ist der wissenschaftlich nicht korrekte, aber technisch übliche Begriff für den Wärmestrom.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}.$$

Konsistent damit wird gelegentlich auch, wissenschaftlich inkorrekt, die Wärme  $Q$  als Wärmearbeit bezeichnet. Korrekt sind die Begriffe Wärmestrom für  $\dot{Q}$  und Wärmemenge für  $Q$ .

**Elektrische Leistung  $P$  in W**

ist bei Gleichstrom gleich dem Produkt aus Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$ ,

$$P = U \cdot I.$$

**Last**

ist die in Anspruch genommene energetische Leistung einer Anlage bzw. Maschine. Anstelle von Anlagen wird im Folgenden von Blöcken gesprochen. Bei Sammelschienenanlagen besteht die Schwierigkeit der Zuordnung des Leistungsbedarfs zu den einzelnen gemeinschaftlichen Anlagenteilen.

**Elektrische Brutto-Leistung  $P_{brutto}$  eines Kraftwerksblocks in W**

ist die an den Generator клемmen abgegebene elektrische Leistung. Die Integration über eine Zeitspanne, wie eine Stunde, einen Tag oder ein Jahr entspricht der Brutto-Arbeit.

**Elektrische Netto-Zielleistung  $P_{el,netto}$  eines Kraftwerksblocks in W**

ist die an der Oberspannungsseite des Maschinentransformators abgegebene elektrische Leistung, vermindert um den elektrischen Leistungsbedarf aller Hilfs- und Nebenanlagen dieses Kraftwerksblocks, der von anderen Kraftwerksblöcken oder dem öffentlichen elektrischen Netz geliefert wird. Die Integration über eine Zeitspanne, wie eine Stunde, einen Tag oder ein Jahr entspricht der Netto-Arbeit.

**Netto-Zielleistung  $\dot{Q}_{netto}$  bei Wärmeerzeugungsanlagen in W**

ist der erzeugte thermische Nutzenthalpiestrom bzw. die an das Wärmenutzungs-system übertragene Wärmeleistung unter Abzug des Leistungsbedarfs aller Neben- und Hilfsanlagen. Vereinbarungsgemäß wird die aus dem Netz bezogene elektrische Leistung für Neben- und Hilfsanlagen unbewertet von der übertragenen Wärmeleistung abgezogen. Die Integration über eine Zeitspanne, wie eine Stunde, einen Tag oder ein Jahr entspricht der thermischen Netto-Energie.

**Netto-Zielleistungen bei Anlagen mit Koppelproduktion**

Anlagen mit Koppelproduktion sind durch die gleichzeitige Erzeugung von Arbeit (meist in Form von elektrischer Energie), Wärme und ggf. weiteren Koppelprodukten, z.B. Kälte, gekennzeichnet. In der Energiewirtschaft ist besonders die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme von Bedeutung (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK).

Die Netto-Zielleistungen  $P_{el,netto}$  und  $\dot{Q}_{netto}$  in W gelten bei Anlagen mit Koppelproduktion wie oben definiert, jedoch muss für den abzuziehenden Leistungsbedarf der Hilfsanlagen eine Aufteilung auf die beiden Zielenergien vereinbart werden. Wegen des relativ kleinen Anteils des Leistungsbedarfs der Nebenanlagen für die Wärmeerzeugung wird in der Praxis keine Aufteilung auf die beiden Zielenergien durchgeführt, vielmehr kann die aus dem Netz bezogene elektrische Hilfsleistung von der erzeugten elektrischen Bruttoleistung abgezogen werden.

Die Integration über eine Zeitspanne wie eine Stunde, einen Tag oder ein Jahr entspricht der Netto-Arbeit des jeweiligen Koppelproduktes.

### **Nennleistung $P_N$ in W**

ist die höchste abgegebene bzw. aufgenommene Dauerleistung einer Erzeugungs- bzw. Verbrauchsanlage, für die sie (gemäß den jeweiligen Liefervereinbarungen) bestellt und installiert ist. Sie ist auf dem Typenschild angegeben.

### **Betriebsleistung $P_B$ in W**

ist die tatsächlich zu einem Zeitpunkt gefahrene Leistung eines Kraftwerksblocks oder eines Kraftwerks.

## **2.2.2 Energietechnische Begriffe**

### **Energieumwandlung (Energieumformung, Energiewandlung)**

ist ein Sammelbegriff für sämtliche Änderungen von Energieformen.

### **Energiewandler**

sind Geräte und Anlagen zum langfristigen vielfachen Gebrauch für Energieumformung bzw. Energiewandlung von Endenergie in Nutzenergie (z.B. Generatoren, Motoren, Öfen, Lampen usw.).

### **Energieanwendung**

ist die Verwendung von Endenergie zur Erzeugung von Nutzenergie (siehe Kapitel 2.2.4) für den jeweiligen Nutzungszweck einer Energiedienstleistung.

### **Energiebedarf**

ist die zum Erstellen einer bestimmten Energiedienstleistung unter Einsatz einer dafür geeigneten Technologie erwartete Einsatzmenge einer oder mehrerer bestimmter Energieformen.

### **Energieverbrauch**

ist die für die Deckung von Energiebedarf verbrauchte Menge einer bestimmten Energieform.

### **Energieverlust**

ist der aus einem System austretende, nicht im Sinne des Prozesses genutzte Teil der zugeführten Energie. Ein solcher Energieverlust kann durchaus in einem anderen System zumindest zu Teilen nutzbar gemacht werden.

## **Umwandlungsverlust**

ist der Verlust an Exergie bei der Umwandlung von einer Energieform in eine andere. Er tritt nicht als Energieverlust in Erscheinung.

## **Abwärme, Fortwärme**

umfasst im technischen, wissenschaftlich nicht korrekten Sprachgebrauch alle den betrachteten Bilanzraum verlassenden thermischen Energieströme. Sie ist Bestandteil der Energieverluste und setzt sich aus Konvektions-, Leitungs- und Strahlungsverlusten sowie der thermischen Enthalpie der austretenden Stoffströme zusammen. Abwärme, die nicht gezielt anderen Energiewandlungsprozessen zugeführt, sondern an die Umgebung freigesetzt wird, ist Fortwärme.

### **2.2.3 Wirkungsgrad und Nutzungsgrad**

#### **Energetischer Wirkungsgrad $\eta$ in % oder Dezimalen**

ist der Quotient aus der nutzbaren abgegebenen Leistung und der zugeführten Leistung. Der Wirkungsgrad ist jeweils nur für stationäre oder quasistationäre Betriebszustände anzugeben. Häufig wird für den energetischen Wirkungsgrad die verkürzte Bezeichnung "Wirkungsgrad" gebraucht.

Wenn sich innerhalb der Messzeit der Betriebszustand der betreffenden Anlage nicht nennenswert ändert, so kann der energetische Wirkungsgrad statt aus den Momentanwerten auch durch den Quotienten der entsprechenden Energiemengen im betrachteten Zeitintervall ausgedrückt werden. Er wird dann mit dem Nutzungsgrad identisch. Da der Lastzustand der Anlage in der Regel wesentlichen Einfluss auf das energetische Betriebsverhalten hat, empfiehlt es sich, den jeweils betrachteten Lastzustand mit anzugeben, z.B. Nennwirkungsgrad, Wirkungsgrad im Bestpunkt oder Teillastwirkungsgrad.

Rein energetisch definierte Kenngrößen, wie der energetische Wirkungsgrad geben nur die energetischen Mengenverhältnisse wieder, erlauben aber nur sehr bedingt Rückschlüsse auf die thermodynamische Güte der betrachteten Energieumwandlung. Hierzu sind die exergetisch definierten Kenngrößen, wie der exergetische Wirkungsgrad heranzuziehen.

Handelt es sich bei der betrachteten Energieumwandlung um die gekoppelte Produktion mehrerer Zielenergien mit nennenswert unterschiedlichen Energiequalitätsgraden (z.B. Strom, Wärme und/oder Kälte bei der Kraft-Wärme-Kopplung), so wird der energetische Gesamtwirkungsgrad, der aus dem Verhältnis der Summe der abgegebenen Zielenergien zur zugeführten Energie gebildet wird auch als Brennstoffausnutzungsgrad bezeichnet. Seine Aussagekraft als Bewertungskriterium beschränkt sich auf die Quantifizierung des Energieverlustes. Zur differenzierten Bewertung einer gekoppelten Energieumwandlung ist es sinnvoll, jede der beiden Zielenergien separat auf die insgesamt zugeführte Energie zu beziehen und diese Größen z.B. als Stromausbeute und Wärmeausbeute zu bezeichnen.



**Energetischer Nutzungsgrad  $\bar{\eta}$  in % oder Dezimalen**

ist der Quotient aus der in einem bestimmten Zeitraum nutzbar abgegebenen Energie und der gesamten zugeführten Energie. Im betrachteten Zeitraum sind alle Pausen-, Leerlauf-, Anfahr- und Abfahrzeiten eingeschlossen.

**2.2.4 Energiewirtschaftliche Begriffe****Primärenergie (Rohenergie, Energierohstoff)**

ist der Energieinhalt von Energieträgern, die in der Natur vorkommen und technisch noch nicht umgewandelt wurden. Man unterscheidet zwischen den an menschlichen Maßstäben gemessen unerschöpflichen bzw. regenerativen, den fossilen und nuklearen Energieträgern.

**Sekundärenergie**

ist der Energieinhalt von Energieträgern, die aus Primärenergie durch einen oder mehrere Umwandlungsschritte gewonnen wurden.

**Bezugsenergie**

ist der Energieinhalt aller gehandelten primären und sekundären Energieträger, die der Endverbraucher bezieht. Der Begriff wurde in älteren Statistiken der neuen Bundesländer häufig verwendet.

**Endenergie**

umfasst nur die Verwendung derjenigen gehandelten Energieträger, die der Erzeugung von Nutzenergie dienen und somit endgültig als Energieträger dem Markt entzogen werden.

Endenergie ist entsprechend den Absprachen bei der Erstellung von nationalen und internationalen Energiebilanzen der Energieinhalt der Bezugsenergie, vermindert um den des nichtenergetischen Verbrauchs und den Energieeinsatz bei der Eigenherzeugung von Strom beim Endverbraucher.

In Eigenanlagen thermisch genutzte Abfall- und Reststoffe sowie Energien aus regenerativen Quellen, die in Eigenaufkommen gewonnen werden, sind in der Bezugs- und Endenergie nicht enthalten, weil sie nicht unmittelbar Gegenstand des kommerziellen Handelns sind. Diese internationale Absprache führt bei technischen Wertungen bei Anlagen und Systemen zu Missdeutungen und Fehlaussagen.

**Zielenergie**

ist die gewünschte Energieform aus einem Energiewandlungsprozess bzw. einer technischen Energieumwandlung.

Die Zielenergie kann aus einer oder - z. B. im Falle der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme in einem Heizkraftwerk - auch aus mehreren unterschiedlichen Energieformen bestehen.

**Nutzenergie**

umfasst alle technischen Formen der Energie, welche der Verbraucher letztendlich benötigt, also Wärme, mechanische Energie, Licht, elektrische und magnetische Feldenergie (z. B. für Galvanik und Elektrolyse) und elektromagnetische Strahlung, um Energiedienstleistungen ausführen zu können. Nutzenergien müssen im Allgemeinen zum Zeitpunkt und am Ort des Bedarfs aus Endenergie mittels Energiewandlern erzeugt werden.

### **Energiedienstleistungen**

sind die aus dem Einsatz von Nutzenergie und anderer Produktionsfaktoren befriedigten Bedürfnisse bzw. erzeugten Güter, wie Beleuchten, Bewegen und Transportieren, Erwärmen von Stoffen und Gütern, u.v.a.m.

Der Energiebedarf für Energiedienstleistungen kann nicht ohne weiteres angegeben werden. Nur unter Voraussetzung bestimmter Energieträger, Energiewandler und Rahmenbedingungen kann eine quantitative Aussage über den Endenergieverbrauch zur Erstellung einer Energiedienstleistung gemacht werden.

### **Brennwert $H_o$ und Heizwert $H_u$ in J**

werden anstelle der früheren Bezeichnung oberer und unterer Heizwert zur Bezeichnung des Energieinhaltes von Brennstoffen verwendet. Der Brennwert gibt die bei vollständiger Verbrennung einer bestimmten Brennstoffmenge freigesetzte Reaktionswärme an, wobei das bei der Verbrennung gebildete Wasser in flüssigem Zustand anfällt. Bei festen und flüssigen Brennstoffen wird der Brennwert auf 1 kg Brennstoff, bei gasförmigen auf 1 m<sup>3</sup> Gas unter Normbedingungen (0 °C, 1013,25 hPa) bezogen.

Der Heizwert gibt die Reaktionswärme bei vollständiger Verbrennung an, sofern das bei der Verbrennung gebildete Wasser in gasförmigem Zustand anfällt. Die Differenz zwischen Brennwert und Heizwert entspricht (siehe auch DIN 9499) der Verdampfungsenthalpie des entsprechenden Wasserdampfes bei 25 °C (2442 kJ/kg).

### **Nettoenergieerzeugung $W_{el,netto}$ oder $Q_{netto}$ in J**

ist das Produkt aus Nennleistung  $P_{N,el,netto}$  oder  $\dot{Q}_{netto}$ , mittlerer Jahresausnutzungsdauer  $T_{aN}$  in Stunden und Lebensdauer  $L$  einer Energieerzeugungsanlage mit der Anzahl der Jahre. Sie gibt im Falle eines Kraftwerks die gesamte, im Laufe der erwarteten Lebensdauer abgegebene, elektrische Energie an nach

$$W_{el,netto} = P_{N,el,netto} \cdot T_{aN} \cdot L,$$

sowie für die Wärme

$$Q_{netto} = \dot{Q}_{netto} \cdot T_{aN} \cdot L.$$

### **Bruttostromerzeugung $A_{Bbr}$**

Die Bruttostromerzeugung einer Erzeugungseinheit ist die in einer Zeitspanne, z.B. ein Jahr, erzeugte elektrische Arbeit gemessen an den Generatorklemmen.

**Nettostromerzeugung  $A_{Bne}$** 

Die Nettostromerzeugung einer Stromerzeugungsanlage ist die um ihren Betriebseigenverbrauch verminderte Bruttostromerzeugung in einer festgelegten Zeitspanne.

**KWK-Nettostromerzeugung  $A_{Bne-KWK}$** 

Die KWK-Nettostromerzeugung in einer Zeitspanne ist die Nettostromerzeugung, die in einer KWK-Anlage unmittelbar im Zusammenhang mit der KWK-Nettowärmeerzeugung steht.

**Anmerkung:** Die KWK-Nettostromerzeugung ist mit dem Begriff KWK-Strom des KWKModG identisch.

EK-/AK-Anlagen (siehe Kapitel 2.2.8) sind in einen Kond- und einen Gegendruckanteil (KWK-Anteil = KWK-Scheibe) aufzuteilen. Diese Aufteilung ist mit Hilfe einer arbeitsbezogenen Stromkennzahl oder über Energiebilanzen möglich.

**Bruttowärmeerzeugung  $Q_{Bbr}$** 

Die Bruttowärmeerzeugung ist die in einem Heizwerks- oder Kraftwerksprozess erzeugte Wärme ohne Abzug des Kraftwerkseigenverbrauchs. Da in der Regel nur die Wärmenetzeinspeisung gemessen wird, liegt die Bruttowärmeerzeugung meist nicht vor.

**Nettowärmeerzeugung  $Q_{Bne}$** 

Die Nettowärmeerzeugung ist die in einer Zeitspanne, z.B. ein Jahr, von einer Wärmeerzeugungsanlage (Heizwerk oder KWK-Anlage) an Wärmeverbraucher außerhalb dieser Anlage mit Hilfe eines Trägermediums (i. A. Wasser oder Dampf) abgegebene und gemessene nutzbare Wärme. Sie setzt sich zusammen aus der Enthalpie des Vorlaufes abzüglich der Enthalpien des Rücklaufes und des Nachspeisemediums (i. d. R. Zusatzwasser).

**KWK-Nettowärmeerzeugung  $Q_{Bne-KWK}$** 

Die KWK-Nettowärmeerzeugung ist die in einer Zeitspanne gemessene Nettowärmeerzeugung eines Heizkraftwerks bzw. einer KWK-Anlage, vermindert um eventuelle Wärmemengen aus ungekoppelter Erzeugung  $Q_{Bne-th}$  (Spitzenheizkesselanlage, Heizwerke oder Frischdampfentnahme).

**Anmerkung:** Die KWK-Nettowärmeerzeugung ist mit dem Begriff Nutzwärme des KWKModG identisch.

**Ungekoppelte Wärmeerzeugung  $Q_{Bne-th}$** 

Ungekoppelte Wärmeerzeugung erfolgt in Heizwerken, Spitzen-, Reservekesselanlagen oder mittels Frischdampfentnahme aus dem Dampferzeuger einer Kraftwerksanlage vor der Energienutzung in einer Dampfturbine.

**Stromkennzahl  $\sigma$** 

Die Stromkennzahl  $\sigma$  ist eine wichtige Größe zur Beurteilung von KWK-Anlagen. Sie lässt sich unterscheiden nach Angaben für kurzzeitige (Ideal-)Bedingungen (leistungsbezogen) und für lange Betriebsintervalle (arbeitbezogen). Sie ergibt sich leistungsbasiert als

tungsbezogen aus dem Verhältnis der elektrischen Leistung  $P_{el}$  zur Nutzwärmeleistung  $\dot{Q}_H$  bzw. dem elektrischen zum thermischen Netto-Wirkungsgrad nach

$$\sigma = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_H} = \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}}$$

Zur Ermittlung der arbeitsbezogenen Stromkennzahl wird für das Betriebsintervall der Quotient der Nettostromerzeugung  $A_{Bne}$  zur Nutzwärmeerzeugung  $Q_{Bne}$  bzw. des elektrischen zum thermischen Nutzungsgrad nach

$$\sigma_A = \frac{A_{Bne}}{Q_{Bne}} = \frac{\bar{\eta}_{el}}{\bar{\eta}_{th}}$$

herangezogen.

### **Stromkennzahl des KWK-Prozesses $\sigma_{KWK}$**

Die Stromkennzahl einer KWK-Anlage ist der Quotient aus der KWK-Nettostromerzeugung und der KWK-Nettowärmeerzeugung und stellt neben dem Nutzungsgrad bzw. dem Wirkungsgrad die wichtigste Kennzahl des KWK-Prozesses dar.

$$\sigma_{KWK} = \frac{A_{Bne-KWK}}{Q_{Bne-KWK}}$$

$\sigma_{KWK}$  ist nur für den reinen KWK-Prozess (= Gegendruckanteil) definiert.

Es ist zwischen der leistungsbezogenen KWK-Stromkennzahl  $\sigma_{KWK}$  in einer Messzeit und der arbeitsbezogenen KWK-Stromkennzahl  $\sigma_{A,KWK}$  in einer Berichtszeit zu unterscheiden.

**Anmerkung:** Die arbeitsbezogene KWK-Stromkennzahl ist mit dem Begriff Stromkennzahl des KWKModG identisch.

## **2.2.5 Betriebswerte**

### **Benutzungsdauer $T_{ben}$ in h**

ist gleich dem Quotienten aus der Arbeit in einer Zeitspanne, z.B. ein Jahr, und der gefahrenen Höchstleistung  $P_{max}$ , d.h. der höchsten Betriebsleistung, innerhalb dieser Zeitspanne:

$$T_{ben} = \frac{W}{P_{max}} \text{ oder } \frac{Q}{\dot{Q}_{max}}$$

### **Benutzungsgrad, Belastungsgrad $g_{ben}$ in % oder in Dezimalen**

ist gleich dem Quotienten aus der Benutzungsdauer  $T_{ben}$  und der dazugehörigen Zeitspanne  $T$ , z.B. ein Jahr,

$$g_{ben} = \frac{T_{ben}}{T} = \frac{W}{P_{max} \cdot T} \text{ oder } \frac{Q}{Q_{max} \cdot T}$$

Für stationären bzw. quasistationären Betrieb gilt:

$$g_{ben} = \frac{P}{P_{\max}} \text{ oder } \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}}$$

### **Ausnutzungsdauer $T_{aN}$ in h**

auch Vollaststundenzahl genannt, ist gleich dem Quotienten aus der abgegebenen Energiemenge in einer Zeitspanne und der Nennleistung der betrachteten Anlage:

$$T_{aN} = \frac{W}{P_N} \text{ oder } \frac{Q}{\dot{Q}_N}$$

## **2.2.6 Anlagentechnische Grundbegriffe**

### **Kraftwerk (KW)**

Ein Kraftwerk ist eine Anlage, die dazu bestimmt ist, durch Energieumwandlung elektrische Energie zu erzeugen.

*Anmerkung:* Nach Art der Energiequelle und -umwandlung im Kraftwerk unterscheidet man Wasser-, Wind-, Solar-, Brennstoffzellen- und Wärmekraftwerke (einschl. Geothermie). Bei Wärmekraftwerken wird nach fossiler (Kohle, Öl, Gas), nuklearer und erneuerbarer (Biomasse, Geothermie, Reststoffe) Brennstoffbasis differenziert.

Nach Art der Antriebsmaschine werden insbesondere Dampfturbinen-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoren-Kraftwerke unterschieden. Eine aktuell gebräuchliche Kombination ist die einer Gasturbine mit nachgeschalteter Dampfturbine (GuD-Kraftwerk).

### **Heizwerk (HW)**

Ein Heizwerk ist eine Anlage, in der eingesetzte Energie ausschließlich in Wärme umgewandelt wird.

### **Heizkraftwerk (HKW)**

Ein Heizkraftwerk ist ein Kraftwerk, dessen wesentlicher Bestandteil eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage ist. Das Heizkraftwerk kann auch Anlagenteile umfassen, in denen nur elektrische Energie (z. B. aus einer Kondensationsturbine) oder nur Wärme (z. B. aus einem Heizkessel) ungekoppelt bereitgestellt werden.

Zusätzlich ist in der Regel eine Hilfskesselanlage vorhanden, welche die Dampfversorgung für Anfahr-, Abfahr- und Bereitschaftsbetrieb sicherstellt.

### **Blockheizkraftwerk (BHKW)**

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) ist ein (i.d.R. kleineres) Heizkraftwerk, welches für die Bedarfsdeckung in einem räumlich begrenzten Versorgungsgebiet ausgelegt ist.

Üblicherweise besteht ein Blockheizkraftwerk aus einer Kombination von Verbrennungsmotoren (KWK-Anlage) und Spitzenheizkesseln. Anstelle der Verbrennungs-

motoren können auch kleine Gasturbinen, Mikrogasturbinen oder Brennstoffzellen eingesetzt werden.

### 2.2.7 Definition von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird die Abwärme bei der Erzeugung mechanischer bzw. elektrischer Energie mittels eines thermodynamischen Prozesses mit meist modular aufgebauten Dampf- oder Gasturbinen, mit Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen als zweite Zielenergie zur nachgeschalteten Nutzung für Heizung bzw. Prozesswärme verwendet. Das vom Anwendungszweck geforderte Temperaturniveau der Abwärme führt beim Dampfkraftprozess dazu, dass auf eine Abarbeitung des Dampfes bis zu üblichen Unterdrücken und Temperaturen von Kondensations-turbinen verzichtet und damit eine Minderung der erzeugbaren Strommenge in Kauf genommen werden muss.

Die ausgekoppelte Wärme aus KWK-Prozessen muss stets oberhalb des Umgebungstemperaturniveaus zur Verfügung stehen. Diese Bedingung wird aber auch von reinen Kondensationskraftwerken erfüllt, bei denen Kühlwasserabwärme für Niedrigtemperaturprozesse, wie Agrotherm, Hortitherm und Limnotherm eingesetzt wird. Ob diese Sonderfälle dann als KWK- Systeme eingeordnet werden können, ist davon abhängig zu machen, ob derartige Beheizungen auch auf der Basis ungekoppelter Erzeugung üblich wären.

Die Energiebilanz einer Kraft-Wärme-Kopplung ergibt sich aus der eingesetzten Brennstoffenergie  $W_B$ , der elektrischen Arbeit  $W_{el}$ , der Heizwärmeabgabe  $Q_H$  und den Verlusten  $Q_V$  zu

$$W_B = W_{el} + Q_H + \sum Q_V$$

Der Gesamtwirkungsgrad der Kraft-Wärme-Kopplung ergibt sich aus dem Verhältnis der Summe der erzeugten Zielleistung zur eingesetzten Brennstoffleistung nach

$$\eta_{KWK} = \frac{P_{el} + \dot{Q}_H}{P_B}$$

Die getrennte Bestimmung von Wirkungsgraden für die Strom- bzw. Wärmeerzeugung bei KWK kann auf verschiedene Weise erfolgen. Sie ist von der Bewertung der erzeugten Zielenergie abhängig. Mit der Bewertung sind in den meisten Fällen Allokationsprobleme verbunden.

Der Grundgedanke der Kraft-Wärme-Kopplung ist, die bei der thermischen Stromerzeugung anfallende Abwärme für Heizzwecke oder industrielle Prozesse zu verwenden. Auf diesem einfachen Grundgedanken basiert u.a. eine bisher übliche Definition der Kraft-Wärme-Kopplung:

*„Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist (allgemein) die Nutzung der bei der thermischen Stromerzeugung anfallenden Abwärme.“*

Für Anlagen, die eine Flexibilität der Wärmeerzeugung gegenüber der Stromerzeugung aufweisen, ist in diesem Zusammenhang wichtig, nur den Stromerzeugungsanteil, der mit einer vollständigen Abwärmennutzung korrespondiert (soweit dies mit technisch üblichen Aufwand möglich ist), als KWK-Strom zu berücksichtigen. Die-

ser KWK-Strom könnte wiederum Gegenstand einer Zertifizierung sein. Die Zertifizierung von KWK-Strom erfolgt in zwei Schritten: Der Einstieg erfolgt über eine Anlagenzertifizierung, diese ermöglicht eine anschließende Produktzertifizierung, die dann mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden kann. Bei der Anlagenzertifizierung werden die Eigenschaften der Anlage so bestimmt, dass anschließend KWK-Strom mit Hilfe von periodischen Zählerablesungen sicher bestimmt werden kann und darüber hinaus eine Grundlage für Plausibilitätskontrollen zur Verfügung steht.

Die Zertifizierung von KWK-Strom würde es zudem erleichtern, dass die Kategorie KWK-Strom bzw. Wärme einer einheitlichen Definition unterliegen würde, auf die sich dann auch z.B. Verordnungen und Gesetze beziehen könnten. So ist beispielsweise in dem bereits vom Bundeskabinett verabschiedeten Entwurf der Energieeinsparverordnung in §3 (3) eine Befreiung von einem Primärenergienachweis für Gebäude vorgesehen, die mindestens zu 70% durch Kraft-Wärme-Kopplung beheizt werden. Eine in einer Norm festgelegte Zertifizierung der KWK-Wärme könnte auch hier für Klarheit sorgen.

Zu unterscheiden ist dabei zwischen Anlagen, bei denen die notwendige Abfuhr der nicht in Strom umgewandelten Wärme vollständig für Wärmeanwendungen erfolgt und Anlagen, bei denen die mit der Stromproduktion verbundene notwendige Wärmeabfuhr teilweise oder vollständig auch ohne Nutzung über Notkühler und/oder Abgasbypass bzw. über Abwärmekondensatoren erfolgen kann.

Daraus lässt sich zunächst die folgende Klassifizierung von Anlagen ableiten:

KWK-Anlagen-Kategorien:

- a) Vollständige Wärmenutzung (BHKW und Dampfkraft-Gegendruckanlagen ohne Notkühler, Gasturbinen ohne Abgasbypassbetrieb).
- b) Stromerzeugung ist teilweise oder vollständig auch ohne Wärmenutzung durch Abfuhr der zwangsläufig anfallenden Abwärme an die Umgebung möglich (z.B. BHKW und Dampfkraft-Gegendruckanlagen mit Notkühler, Gasturbinen mit Abgasbypassbetrieb, Entnahme-Kondensationsanlagen).
  - b1) Die Stromerzeugung wird durch die Menge der genutzten Wärme – abgesehen von Teillasteinflüssen – nicht beeinflusst (alle Anlagen außer Anzapf- und Entnahme-Kondensationsanlagen).
  - b2) Der Stromerzeugungsprozess wird durch die Menge der genutzten Wärme beeinflusst (Anzapf- und Entnahme-Kondensationsanlagen).

Die weitaus meisten Anlagen gehören zur Kategorie a). Dabei handelt es sich um die große Zahl installierter, wärmegeführter Motor-BHKW ohne Notkühler. Die Menge des erzeugten KWK-Stroms entspricht in dieser Kategorie direkt der insgesamt erzeugten Strommenge abzüglich des Stromeigenbedarfs. Eine Messung der genutzten Wärme und eine Messung des Brennstoffbedarfs ist demzufolge für die Ermittlung der KWK-Strommenge nicht erforderlich.

Bei Anlagen der Kategorie b) muss ein anderer Weg beschrrieben werden, da auskoppelbare Wärme auch ohne Nutzung abgeführt werden kann, die damit in Verbin-

dung stehende Stromerzeugung demzufolge keine KWK-Stromerzeugung darstellt. In diesen Fällen ist die KWK-Stromerzeugung  $A_{Bne-KWK}$  aus dem Produkt der tatsächlich genutzten Wärmemenge  $Q_{Bne}$  und der für jede Anlage charakteristischen Stromkennzahl  $\sigma_{KWK}$  zu bilden. Die Stromkennzahl stellt dabei das Verhältnis von Stromproduktion und auskoppelbarer Wärme dar:

$$A_{Bne-KWK} = \sigma_{KWK} \cdot Q_{Bne}$$



Für die Kategorie b2) ist die anlagenspezifische Stromkennzahl  $\sigma_{KWK}$  auf den vorderen Teil der Dampfturbine zu beziehen. Denn die Entnahme-Kondensationsanlage entspricht in dem Abschnitt, der sich bis zur Entnahmestelle erstreckt, einer Gegendruckanlage und damit einer reinen KWK-Anlage. Das bedeutet zugleich, dass sich aus dem für externe Wärmeanwendungen ausgekoppelten Dampf auf die Stromerzeugung des Gegendruckteiles rückschließen lässt (die KWK-Stromerzeugung ist proportional zur entnommenen Wärmemenge bzw. Dampfmenge!). Die Entnahme-Kondensationsanlage lässt sich damit gedanklich in eine Kondensationsscheibe, die die Kondensationsstromerzeugung einer Messperiode beinhaltet, und eine Gegendruckscheibe unterteilen, die die korrespondierende KWK-Stromerzeugung bewirkt.

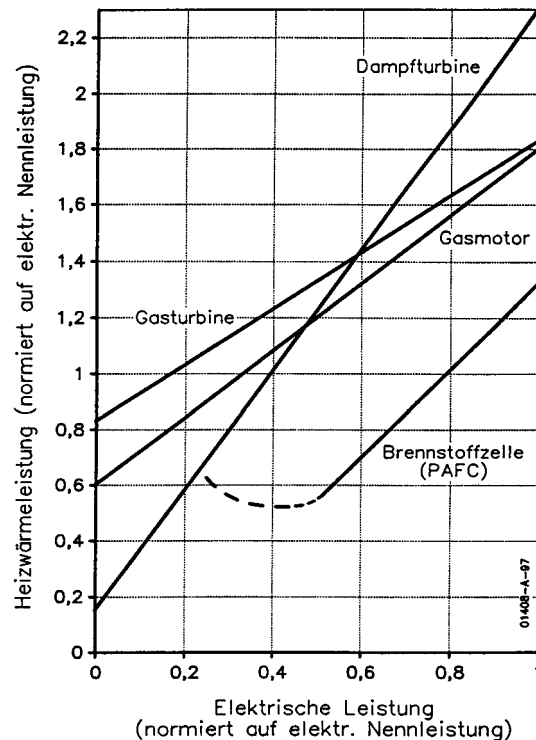
Grundsätzlich kann man die unterschiedlichen Anlagensysteme zur KWK auch in zwei Gruppen gliedern:

- Anlagen mit einem Freiheitsgrad, bei denen in jedem Lastgrad die Strom- und Wärmeerzeugung in einem festen Verhältnis steht, und
- Anlagen mit zwei Freiheitsgraden, bei denen das Verhältnis der Strom- und Wärmeerzeugung variabel sein kann und bei denen teilweise auch eine reine Stromerzeugung möglich wird.

Bei Anlagen mit einem Freiheitsgrad können Strom und Wärme nur gemeinsam erzeugt werden, der grundsätzliche Zusammenhang zwischen Brennstoffaufwand und Koppelproduktion lautet

$$P_B = \frac{\dot{Q}_H}{\eta_{KWK}} \cdot (1 + \sigma)$$

**Abbildung 2-3** zeigt für KWK-Anlagen mit einem Freiheitsgrad die grundsätzlichen Abhängigkeiten der Wärmeleistung von der elektrischen Leistung. Beide Größen sind normiert auf die elektrische Nennleistung. Für den Betrieb mit der elektrischen Nennleistung lassen sich an der Abszisse die Kehrwerte der Stromkennzahl ablesen. Die Kennlinie der phosphorsauren Brennstoffzelle (PAFC) bei einer Rücklauftemperatur von 30 °C zeigt im niedrigen elektrischen Leistungsbereich einen Anstieg der thermischen Leistung. Begründet ist dies Verhalten durch die zusätzliche Inbetriebnahme von elektrischen Heizern, die bei niedrigen Leistungen zum Aufrechterhalten der Betriebstemperatur benötigt werden und dadurch zu einer Verringerung der abgegebenen Nettoleistung führen.

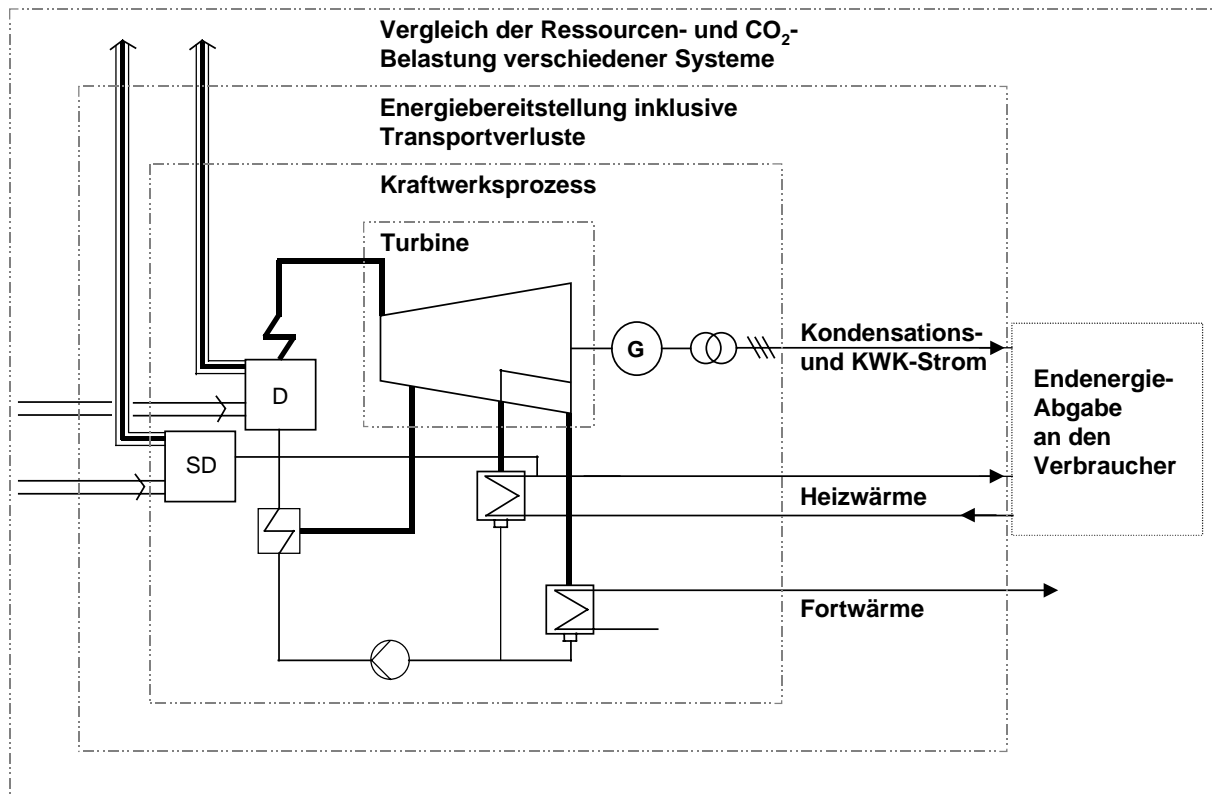


**Abbildung 2-3** Verlauf von Wärme- und elektrischer Leistung für KWK-Anlagen mit einem Freiheitsgrad / AGFW 03/

Bei Anlagen für Kraft-Wärme-Kopplung mit zwei Freiheitsgraden ist neben einer Koppelproduktion von Strom und Wärme auch eine ungekoppelte Stromerzeugung möglich. Der Massenstrom des Arbeitsmediums ist aufteilbar, dadurch kann ein Prozess der Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Prozess der ausschließlichen Stromerzeugung kombiniert werden. Strom- und Wärmeerzeugung sind prinzipiell unabhängig voneinander in gewissen Grenzen variierbar.

Bei Dampfkraftwerken gibt es zwei dieser Anlagentypen die Anzapf-Kondensationsturbine oder die Entnahme-Kondensationsturbine (siehe Kapitel 2.2.8).

In **Abbildung 2-4** ist schematisch ein KWK-Prozess mit zwei Freiheitsgraden dargestellt. Dabei ist neben dem Dampfkessel D ein Spitzendampfkessel SD eingetragen, der zu Spitzendeckungen beim Heizwärmebedarf eingesetzt wird und zugleich eine Reservefunktion hat.

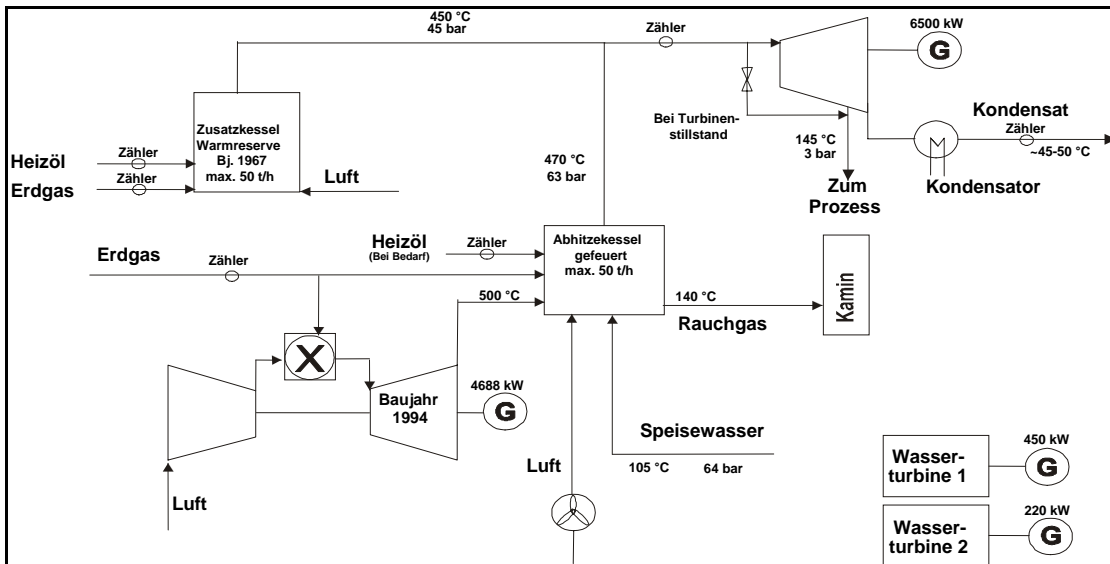


**Abbildung 2-4** Anlagenschema eines KWK-Prozesses mit zwei Freiheitsgraden /AGFW 03/

Soll zusätzlich Heizwärme ausgekoppelt werden, geht die maximal erzeugbare elektrische Leistung um die sogenannte Leistungseinbuße zurück. Sie liegt bezogen auf die jeweilige Heizwärmeleistung zwischen 0,1 und 0,2, abhängig von der Höhe der Entnahmedampfmenge und seiner Sättigungstemperatur. Der thermische Vollastzustand des Kraftwerkes wird durch die Nennlast des Kessels vorgegeben.

Wird bei maximaler Wärmeauskopplung die elektrische Leistung immer weiter verringert, stößt man an eine untere Lastgrenze. Sie ist gegeben durch die Mindestturbinenlast bei der nur noch die Mindestdampfmenge, die zur Kühlung der Stufen notwendig ist, durchgesetzt wird. Dabei wird dann im Kondensationsteil keine mechanische Leistung erzeugt. Dieser Zustand entspricht praktisch einem Gegendruckbetrieb. Schließlich gibt es noch eine thermische Grenze durch die technisch bedingte Kesselmindestlast.

Ein typisches Anlagenschema einer industriellen GuD-Anlage zeigt **Abbildung 2-12**. Das vereinfachte Schema zeigt die Kombination von GuD-Anlage mit Abhitze- und Zusatzkessel. Dieses ermöglicht zusätzlich einen Brennstoffwechsel zwischen Öl und Gas.



**Abbildung 2-5** Vereinfachtes Anlagenschema einer GuD-Anlage zur Strom- und Wärmeerzeugung in einer Papierfabrik

## 2.2.8 Kraftmaschinen in Kraft- und Heizkraftwerken

### Kondensationsturbinen (K)

In einer Kondensationsturbine (siehe **Abbildung 2-6**) wird der Dampf auf sehr niedriges Druckniveau entspannt, damit liegt die Kondensationstemperatur nahe der Umgebungstemperatur. Es nutzt damit einen hohen Anteil der Wärme zur Stromerzeugung.

### Entnahmekondensationsturbinen (EK)

Entnahmekondensationsturbinen (siehe **Abbildung 2-7**) sind Anlagen mit einer Kondensationsturbine, die einen Teil des Dampfmassenstromes zwischen Dampfeintritt in die Turbine und Kondensator auf einer oder mehreren Druckstufen geregelt entnimmt. Der verbleibende Rest des Dampfmassenstromes wird bis zur Kondensation entspannt und erzeugt Strom, wie in einer Kondensationsturbine (kein KWK-Strom). Durch die Dampfenahme verringert sich die Stromerzeugung. Die Stromkennzahl ist bei der Entnahmekondensationsturbine stark prozessabhängig und kann daher sehr variieren.

### Anzapfkondensationsturbinen (AK)

Anzapfkondensationsturbinenanlagen stellen eine vereinfachte Form der Entnahmekondensationsturbinen dar. Statt der geregelten Entnahme erfolgt hier nur eine unregelmäßige Anzapfung in einer oder mehreren Druckstufen.

### Gegendruckturbinen (GD)

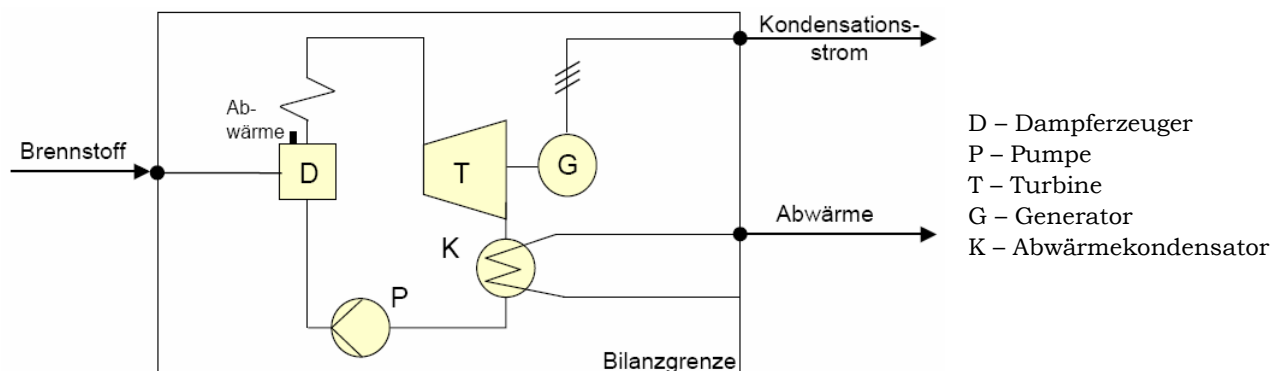
Gegendruckturbinen (siehe **Abbildung 2-8**) sind Anlagen, bei denen der Dampf bis zu einem im Vergleich zu Kondensationsanlagen erhöhten Druck- und Temperaturniveau oberhalb von Umgebungsdruck und Temperatur entspannt wird, so dass er direkt oder über einen Heizkondensator für Heizzwecke oder für technische Prozesse weiter verwendet werden kann. Die Höhe der Stromkennzahlen hängt dabei ab

- von der Temperatur und dem Druck des Frischdampfes
- vom Gegendruck im Heizkondensator und
- vom Temperaturniveau der Heizwärmeabgabe.

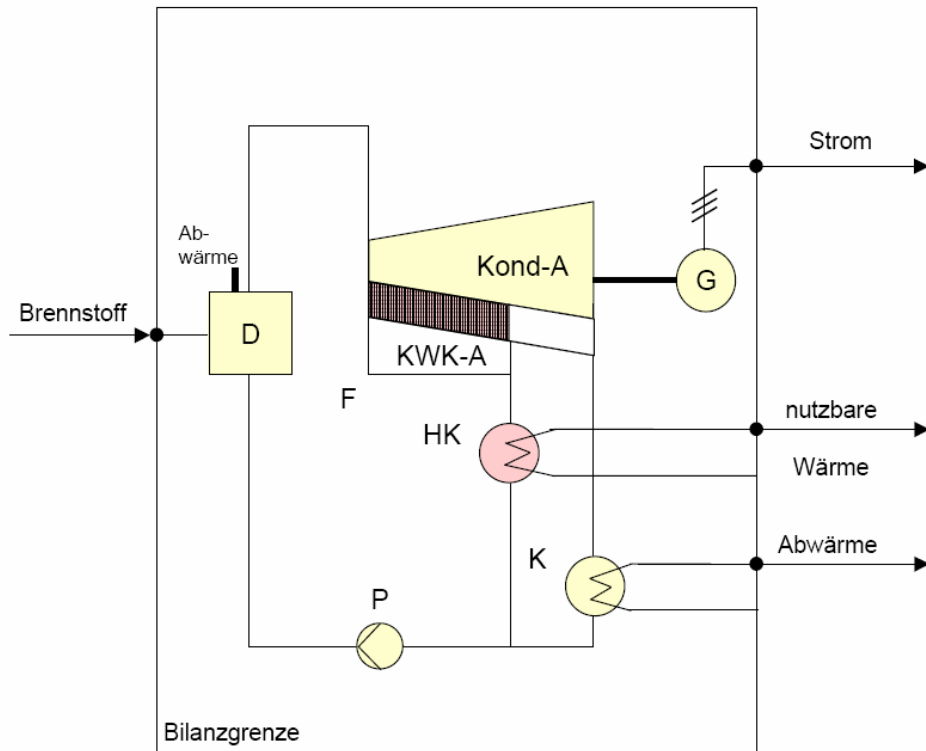
Die Stromkennzahlen liegen bei Gegendruckturbinen je nach Auslegung bei 0,3 bis 0,55.

### Entnahmegegendruckturbinen (EGD)

Entnahmegegendruckturbinen sind eine erweiterte Form von Gegendruckturbinen. Die Entnahme eines Teiles des Dampfmassenstromes auf einer oder mehreren Druckstufen zwischen Dampfeintritt in die Turbine und Heizkondensator/Gegendruckabdampfstutzen ermöglicht die Bereitstellung verschiedener Dampfsorten mit unterschiedlichen Werten von Druck und Temperatur und damit eine bedarfsgerechtere Anpassung der ausgekoppelten Wärmeströme an die unterschiedlichen, erforderlichen Temperaturen bei der Wärmeanwendung. Wie bei den Entnahmekondensationsturbinen ist die Stromkennzahl stark prozessabhängig.



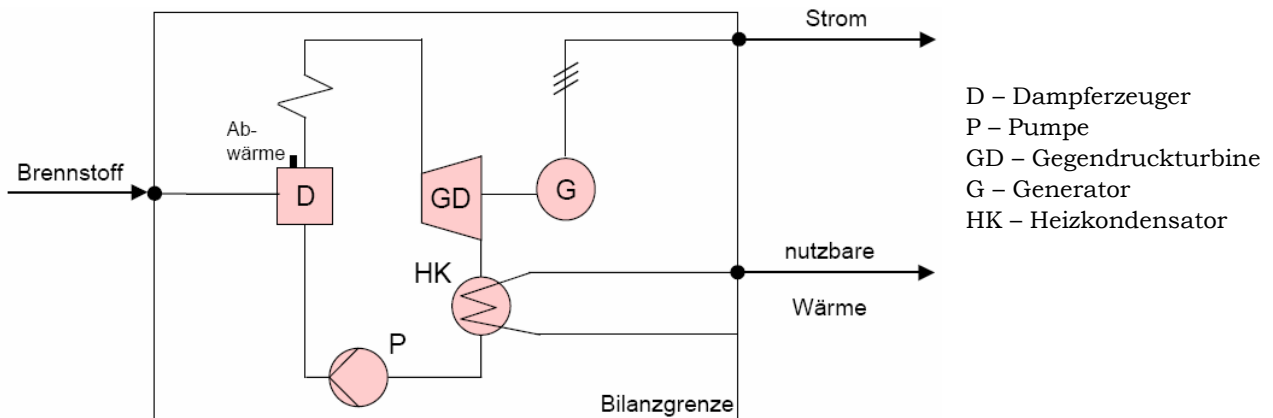
**Abbildung 2-6** Beispiel einer Kondensationsturbinenanlage / AGFW 00/



D = Dampferzeuger    K = Abwärme-Kondensator  
 G = Generator        HK = Heiz-Kondensator  
 P = Pumpe            F = Frischdampfnutzung

Kond-A = Kondensations-Anteil  
 KWK-A = KWK-Anteil

**Abbildung 2-7**    *Strom- und Fernwärmeerzeugung in einer Entnahme-Kondensationsturbinenanlage /AGFW 00/*



D – Dampferzeuger  
 P – Pumpe  
 GD – Gegendruckturbine  
 G – Generator  
 HK – Heizkondensator

**Abbildung 2-8**    *Beispiel einer Gegendruckturbinenanlage /AGFW 00/*

## Gasturbinen

Gasturbinen bestehen aus einem Ansaugluftverdichter, einer Brennkammer und einer Expansionsturbine. In einer Gasturbine können lediglich flüssige und gasförmige Brennstoffe zum Einsatz kommen. Die Abgase der Gasturbine verlassen diese etwa bei Atmosphärendruck und Temperaturen im Bereich um 500 °C. Die sauerstoffreichen Abgase der Gasturbine können direkt oder zur weiteren Dampferzeugung in einem Abhitzeessel genutzt werden.

Bei den heute gewöhnlich realisierten Einwellenanlagen treibt die Turbine den Generator und Luftverdichter an. Die Höhe der Stromkennzahlen hängt ab

- von der Temperatur an Gasturbineneintritt (heute bis 1.200 °C erreichbar)
- vom Druckverhältnis zwischen Gasturbinenein- und -austritt (übliche Werte 8 bis 16) und
- von der Temperatur bei der Heizwärmeabgabe.

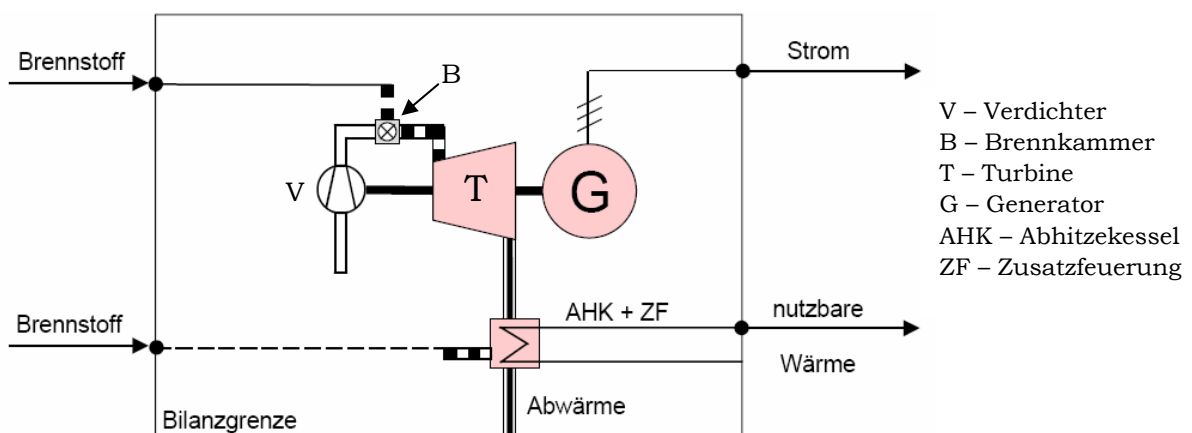
Die Stromkennzahlen liegen bei Nennbetrieb heute üblicherweise bei 0,4 bis 0,8, wobei die hohen Werte von großen Anlagen erreicht werden.

### Gasturbinen mit Abhitzeessel

Im Abhitzeessel einer Gasturbine werden die ca. 500 °C heißen Abgase der Gasturbine genutzt, um Dampf mittleren Drucks zu erzeugen.

### Gasturbinen mit zugefeuertem Abhitzeessel

Da die Abgase der Gasturbine einen hohen Restsauerstoffgehalt haben, ist es möglich, im Abhitzeessel zusätzlichen Brennstoff mit Hilfe des Abgases als vorgewärmter Verbrennungsluft zu verbrennen (siehe **Abbildung 2-9**). Zusätzlich unterscheidet man dabei zwischen dem einfachen Zufeuerungsbetrieb und dem Betrieb mit einem Frischlüfter. Im Falle des Frischlüfterbetriebes wird der Abhitzeessel wie ein konventioneller Kessel betrieben, ohne dass die Abgase der Gasturbine genutzt werden. Dies hat insbesondere Vorteile bei der Flexibilität, da auch eine Dampferzeugung bei Stillstand der Gasturbine sichergestellt werden kann.



**Abbildung 2-9** Gasturbine mit zugefeuertem Abhitzeessel / AGFW 00/

## GuD-Anlagen

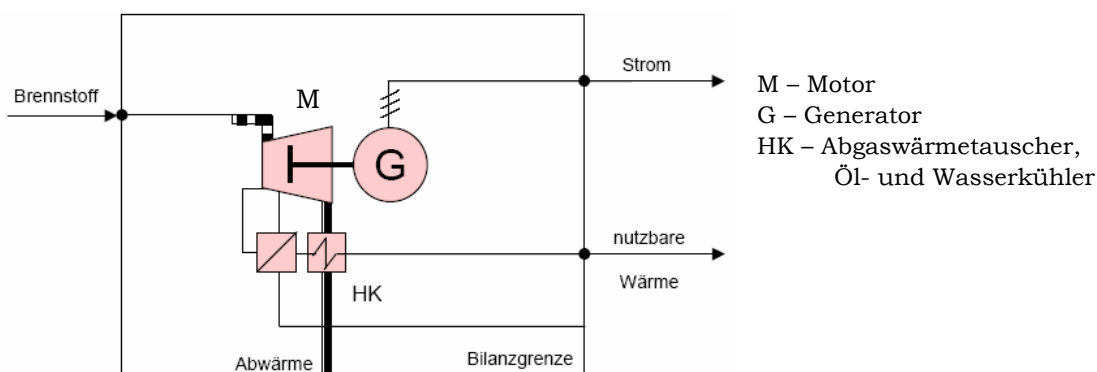
Bei Gas-und-Dampfturbinen-Anlagen (GuD) (auch Kombi-Anlagen genannt) wird der Dampf, der im Abhitzeessel der Gasturbine erzeugt wird, zur weiteren Nutzung in eine Dampfturbine geleitet. Typische KWK-GuD-Anlagen kombinieren Gasturbinen mit Abhitzeesseln und Gegendruck- oder Entnahmekondensations-Dampfturbinen (siehe **Abbildung 2-5**). Wie bei den Entnahmekondensations-turbinen ist die Stromkennzahl stark prozessabhängig und etwa zwischen 0,7 und 1,2.

## Verbrennungskraftmaschinen

Verbrennungskraftmaschinen, also Diesel- oder Ottomotoren werden bei Blockheizkraftwerken eingesetzt (siehe **Abbildung 2-10**). Die Wärmeleistung ergibt sich aus der Kühlleistung von Motorblock, Abgasen, Schmieröl und Generator.

Die Stromkennzahl liegt in den Bereich 0,5 bis 0,9. Sie ist in erster Linie abhängig von den Wirkungsgraden der mechanischen Energieerzeugung des Verbrennungsmotors.

Bei Blockheizkraftwerken wird deren Leistungsabgabe vorzugsweise durch Ein-Aus-Betrieb der Einzelaggregate erreicht, die damit nur in einem Lastpunkt betrieben werden.



**Abbildung 2-10** Schematische Darstellung einer Verbrennungskraftmaschine (Motorisches BHKW) / AGFW 00/



## 2.3 Prüfung des Datenmaterials und Quervergleich

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der oben erläuterten Recherche zusammengefasst. Bei den betrachteten Statistiken wurde zwischen Dampfturbinen, Gasturbinen, kombinierte Gas- und Dampfturbinen (GuD) sowie Blockheizkraftwerken (BHKW) unterschieden. Zu den BHKW kommen zusätzlich noch Biogas- und Biomasseanlagen hinzu.

Eine getrennte Darstellung erfolgte in Anlehnung an die Handhabung der statistischen Ämter für die Bereiche:

- Industrie ohne Bergbau = Verarbeitendes Gewerbe (VA) und
- Öffentliche Fernwärmeversorgung, soweit diese mit KWK erzeugt wird.

Es wird der Datenbestand für 2001 dargestellt, da für dieses Jahr die umfangreichste Informationsmenge zur Verfügung stand. Als Vergleich für die Entwicklung werden zum Teil die Daten der Vorjahre und soweit erforderlich ein Vergleich von Bayern und Deutschland mit aufgeführt.

### 2.3.1 Industrieanlagen

Auswertung der VIK-Statistik

Die nachfolgend ausgewiesenen Daten in **Tabelle 2-1** wurden der „Statistik der Energiewirtschaft“ /VIK 01/ entnommen. Die VIK greift für Ihre Statistik auf die jährlichen Zahlen des Statistischen Bundesamtes zurück. Darin sind ausschließlich Betriebe mit einer installierten elektrischen Leistung zwischen 1 und 50 MW enthalten. Da in Bayern kein Bergbau betrieben wird, wurden zum Vergleich die Angaben für Deutschland lediglich für das verarbeitende Gewerbe dargestellt.

Die Anzahl der insgesamt in Betrieben installierten KWK-Anlagen wird für die Jahre 1998 und 2001 für Bayern und Deutschland angegeben.

Die Anzahl der Stromerzeugungsanlagen mit KWK konnte lediglich für Deutschland ermittelt werden (etwa 1.150 Anlagen). Für Bayern wurde die Anzahl der KWK-Stromerzeugungsanlagen in einem späteren Schritt hochgerechnet.

Die installierte Nennleistung der KWK-Anlagen betrug im Jahr 2001 in Deutschland 7.145 MW und in Bayern 918 MW. Die erzeugte Strommenge beläuft sich insgesamt auf ca. 30.500 GWh für Deutschland und etwa 3.000 GWh für Bayern.

**Abbildung 2-11** zeigt die Entwicklung der industriellen KWK-Anlagen für Deutschland. Die Anzahl der Anlagen (Stromerzeuger) ist in Deutschland seit 1998 um über 15 % zurückgegangen. Die installierte elektrische Nennleistung der Stromerzeuger ist seit 1999 in Deutschland leicht angestiegen, sie liegt im Jahre 2001 aber noch rd. 5 % unter dem Niveau von 1998. Die durchschnittliche Anlagengröße ist um etwas mehr als 10 % angestiegen und lag im Jahre 2001 in Deutschland bei etwa 6,2 MW.

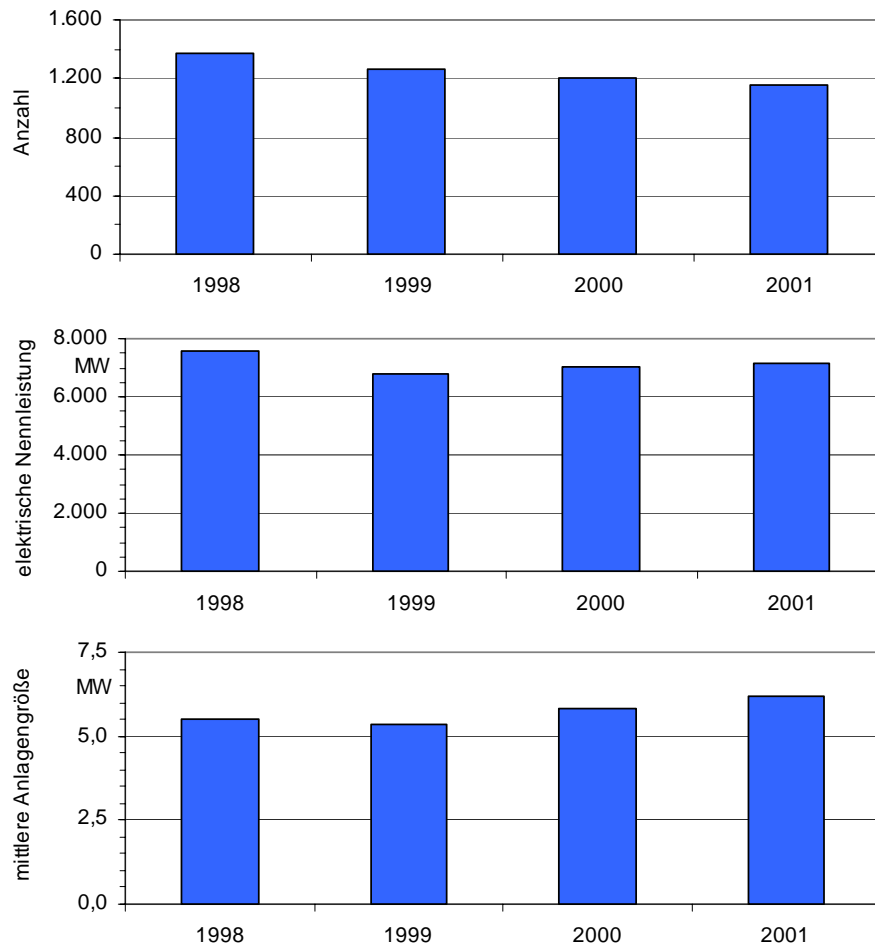
**Tabelle 2-1:** *KWK-Anlagen des Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland und Bayern*

Verarbeitendes Gewerbe	Betriebe mit Leistung bis 50 MW	Stromerzeugungsanlagen	Stromerzeugung aus KWK-Anlagen	Nennleistung der KWK-Anlagen	Nennleistung je Anlage
	Anzahl	Anzahl	GWh	MW	MW
1998 Deutschland	462	1.375	30.886	7.546	5,5
1998 Bayern	89		2.702	863	
1999 Deutschland	421	1.265	28.184	6.797	5,4
1999 Bayern			2.695	863	
2000 Deutschland	393	1.209	28.326	7.019	5,8
2000 Bayern			2.607	816	
2001 Deutschland	369	1.152	30.511	7.145	6,2
2001 Bayern	77		2.973	918	

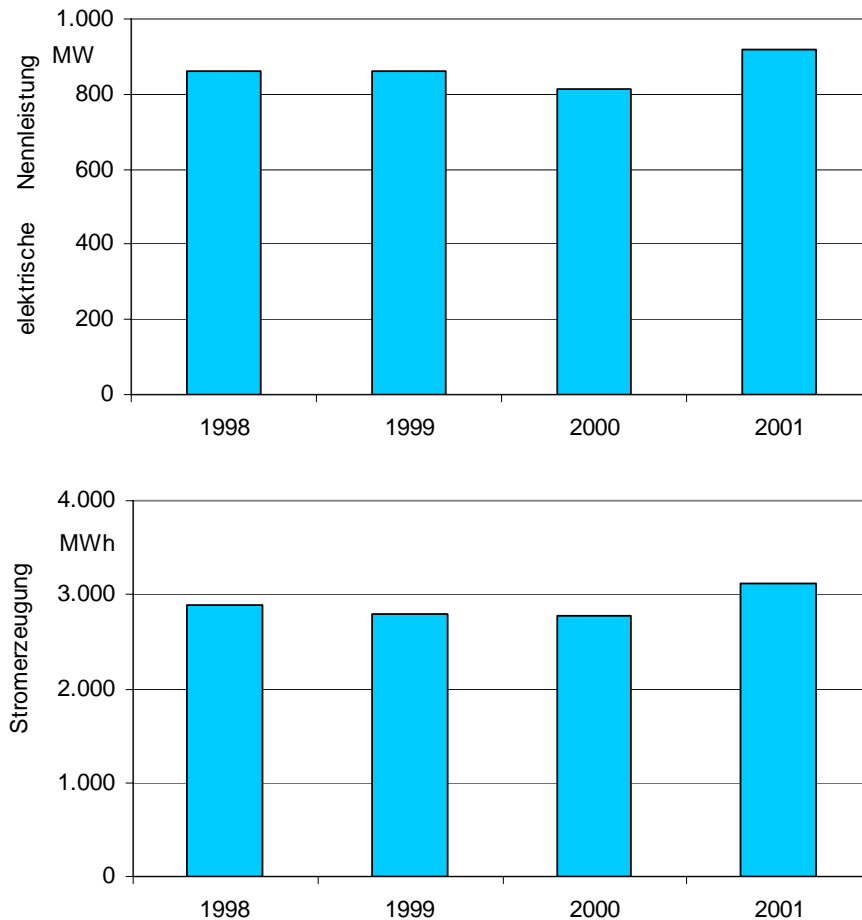
Annahme: Deutschland gesamt abzüglich Kohlebergbau entspricht dem Verarbeitenden Gewerbe

/VIK 01/

Die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen im Verarbeitenden Gewerbe stieg in Bayern leicht an. **Abbildung 2-12** zeigt die Strukturdaten der industriellen KWK-Anlagen für Bayern. Da die Anzahl der bayerischen Anlagen in der Statistik nicht aufgeführt werden, konnten diese in der Grafik nicht berücksichtigt werden. Die elektrische Nennleistung ist seit 1998 um ca. 6 % angestiegen. Dies gilt auch für die Stromerzeugung, die gegenüber 1998 um 10 % höher ist.



**Abbildung 2-11:** *Entwicklung der industriellen KWK-Anlagen in Deutschland / VIK 01/*



**Abbildung 2-12:** *Entwicklung der Nennleistung und Stromerzeugung aus KWK-Anlagen in der bayerischen Industrie / VIK 01/*

### 2.3.2 Öffentliche KWK-Stromerzeugung und Fernwärmeversorgung

Auswertung der AFGW-Statistik:

Zur Beurteilung der öffentlichen KWK-Stromerzeugung wurden die Daten des Fernwärmehauptberichtes der AGFW ausgewertet. Da die Versorger namentlich aufgeführt sind, konnten die bayerischen Fernwärmeversorger, die auch KWK-Strom erzeugen, aufgenommen und nach der Art der Anlagen unterschieden werden. Im Einzelnen sind dies:

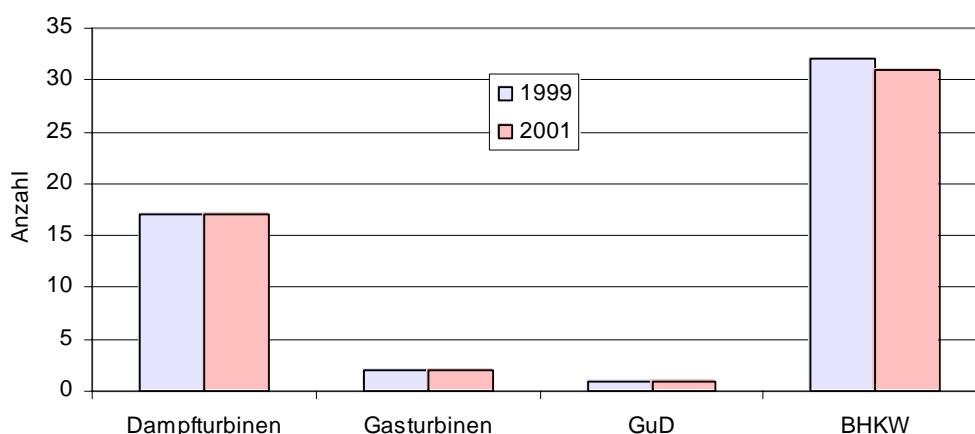
- Dampfturbinen-Kraftwerke,
- Gasturbinen-Kraftwerke,
- GuD-Kraftwerke und
- BHKW.

Nach Informationen der AGFW-Sachbearbeiterin erfasst der Fernwärmehauptbericht ca. 75 % des gesamten deutschen öffentlichen Fernwärmeaufkommens. Wie

bereits erwähnt, werden nur die Angaben der Mitgliedsunternehmen aufgenommen. Nicht alle Unternehmen melden jedoch ihre Erzeugung.

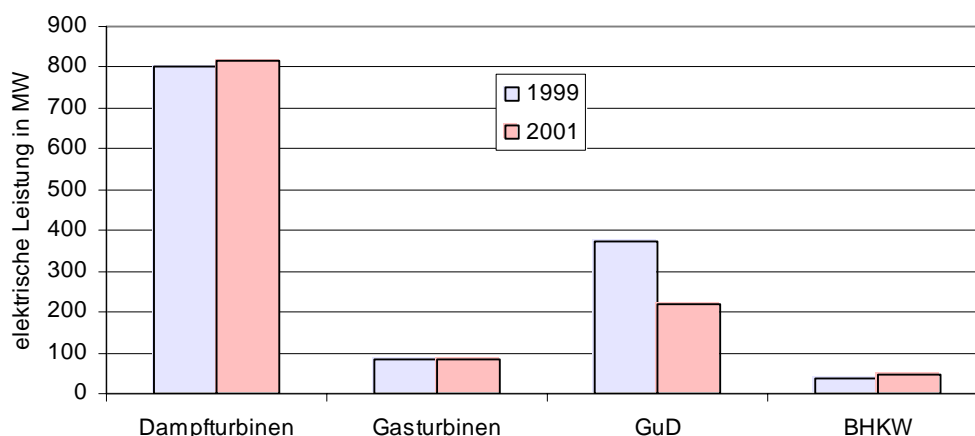
Da bisher die Berichte für die Jahre 1999 und 2001 vorliegen, wurden diese in die Auswertung einbezogen /AGFW 01/ /AGFW 02/.

In **Abbildung 2-13** und **Abbildung 2-14** sind die Anzahl sowie die installierte elektrische Leistung der KWK-Anlagen in Bayern für die Jahre 1999 und 2001 eingetragen. Der größte Anteil der Anlagen entfällt sowohl in Bayern als auch in Deutschland auf die BHKW-Anlagen (siehe dazu **Tabelle 2-2** und **Tabelle 2-3**). Es fällt dabei auf, dass diese in Bayern leicht abnahmen. Der größte Anteil der installierten elektrischen Leistung entfällt dagegen, wie in Abbildung 2-14 dargestellt, sowohl in Bayern als auch in Deutschland auf die Dampfturbinen-Anlagen.



**Abbildung 2-13** Anzahl der KWK-Anlagen zur öffentlichen Fernwärmeversorgung in Bayern

/AGFW 01/ /AGFW 02/



**Abbildung 2-14** Installierte elektrische Leistung der KWK-Anlagen zur öffentlichen Fernwärmeversorgung in Bayern

/AGFW 01/ /AGFW 02/

Aus den Angaben in **Tabelle 2-2** und **Tabelle 2-3** ergibt sich für das Jahr 2001, dass die elektrische Leistung der BHKW-Anlagen in der öffentlichen Versorgung in Bayern nur etwa 4 % aller KWK-Anlagen ausmacht, während sie bundesweit einen Anteil von ca. 5 % aufweist. Der Anteil der Dampfturbinen liegt dagegen bei etwa 70 bzw. 67 % der elektrischen Leistung. Bezogen auf die Wärmeengpassleistung haben die Dampfturbinen einen Anteil von über 80 % bzw. 75%.

**Tabelle 2-2:** *Angaben zu KWK-Anlagen in der öffentlichen Fernwärmeversorgung in Bayern und Deutschland 1999*

Bayern	Anzahl	Wärmenetz- einspeisung GWh	Wärme Engpassleist. MW	elektr. Arbeit GWh	elektr. Leistung MW
Dampfturbinen	17	5.938	2.333	1.632	803
Gasturbinen	2	98	141	65	86
Gas- u. Dampfturbinen	1	211	258	63	372
BHKW	32	238	87	148	37
Summe	52	6.485	2.819	1.908	1.298

Deutschland	Anzahl	Wärmenetz- einspeisung GWh	Wärme Engpassleist. MW	elektr. Arbeit GWh	elektr. Leistung MW
Dampfturbinen	148	44.949	19.458	15.832	7.072
Gasturbinen	49	2.680	1.460	1.416	964
Gas- u. Dampfturbinen	22	10.749	3.240	8.996	2.194
BHKW	330	2.916	1.039	1.908	444
Summe	549	61.294	25.197	28.152	10.674

/AGFW 01/

**Tabelle 2-3:** *Angaben zu KWK-Anlagen in der öffentlichen Fernwärmeversorgung in Bayern und Deutschland 2001*

Bayern gesamt	Anzahl	Wärmenetz- einspeisung GWh	Wärme Engpassleist. MW	elektr. Arbeit GWh	elektr. Leistung MW
Dampfturbinen	17	6.912	1.984	2.235	814
Gasturbinen	2	136	141	71	86
Gas- u. Dampfturbinen	1	778	258	521	218
BHKW	31	244	85	156	45
Summe	51	8.069	2.468	2.983	1.163

Deutschland	Anzahl	Wärmenetz- einspeisung GWh	Wärme Engpassleist. MW	elektr. Arbeit GWh	elektr. Leistung MW
Dampfturbinen	129	44.166	16.842	17.229	6.969
Gasturbinen	45	2.378	1.697	1.252	1.031
Gas- u. Dampfturbinen	22	8.794	2.938	8.009	1.972
BHKW	340	3.077	1.069	1.901	511
Summe	536	58.415	22.546	28.391	10.483

/AGFW 02/

### 2.3.3 BHKW- und Biomasseanlagen

Auswertung der ASUE-Daten:

Um Angaben zu dem Bestand an BHKW-Anlagen in Bayern zu erhalten, wurden die Daten der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch ausgewertet /ASUE 01/. Der letzte Stand der Angaben zu den BHKW in Deutschland beruht auf Zahlenmaterial bis einschließlich 1998. Die Marktübersicht enthält Daten über Anzahl und installierte elektrische Leistung der BHKW-Anlagen für alle Bundesländer. Darüber hinaus werden grundsätzlich alle Einsatzbereiche erfasst, also öffentliche und industrielle Versorgung, sowie landwirtschaftlich und privat genutzte Anlagen. Da die Zahl der kleinen Anlagen <10 kW in den letzten Jahren jedoch stark zugenommen hat, wurden hier in der Statistik Annahmen hinterlegt (siehe /AGFW 02/). **Tabelle 2-4** gibt einen Überblick der Jahre 1995 und 1998.

Die in Deutschland installierte mittlere Leistung je Anlage war rückläufig. Im Jahre 1995 betrug sie noch 528 kW gegenüber 464 kW im Jahre 1998. In Bayern reduzierte sich die durchschnittliche elektrische Leistung je Anlage von 650 kW auf 423 kW um 35 % (siehe **Tabelle 2-5**).

Bei neu installierten BHKW-Anlagen zwischen 1995 bis 1998 betrug in Bayern die durchschnittliche Leistung 190 kW. Die Anlagenzahl hat sich in diesem Zeitraum nahezu verdoppelt. Der Mittelwert der Anlagenleistung für Neuanlagen in Deutschland ist etwa doppelt so groß wie in Bayern und liegt knapp unter 400 kW; dies ist auf große Neuanlagen in den neuen Bundesländern zurück zu führen (siehe Tabelle 2-5).

**Tabelle 2-4:** Marktübersicht BHKW-Anlagen

	1995 Anzahl	inst. Leistung MW <sub>el</sub>		1998 Anzahl	inst. Leistung MW <sub>el</sub>
BW	566	154,4		939	271,3
Bayern	407	264,5		801	339,2
NRW	546	268,5		992	407,0
Hessen	250	73,8		427	113,1
Nieders.	283	122,2		575	203,5
Rhl/Pf.	91	} 154,4		165	45,2
Saarl.	23			34	22,6
Bremen	26			50	45,2
Hamburg	23			68	67,8
M-Vorp.	28			58	67,8
Berlin	51		126	22,6	
Thür.	28		107	90,4	
Schl-Hol.	75	49,7		166	90,4
Sachsen-Anh	43	116,8		108	203,5
Brandenb.	39	59,1		103	113,1
Sachsen	64	79,2		156	180,9
Deutschland	2.543	1.342		4.875	2.261
davon Bayern	16,0%	19,7%		16,4%	15,0%

/ASUE 01/





**Tabelle 2-5:** *Mittlere Anlagenleistung von BHKW und mittlere Leistung der neu installierten Anlagen*

	mittlere Leistung je BHKW Anlage		mittlere Leistung für den Zubau von 95 bis 98  kW
	1995 kW <sub>el</sub>	1998 kW <sub>el</sub>	
BW	273	289	314
Bayern	650	423	190
NRW	492	410	311
Hessen	295	265	222
Nieders.	432	354	279
Rh/Pf.	570	274	--
Saarl.	570	665	--
Bremen	570	904	--
Hamburg	570	998	--
M-Vorpommern	570	1170	--
Berlin	570	179	--
Thür.	570	845	--
Schl-Hol.	662	545	448
Sachsen-Anh.	2716	1884	1334
Brandenb.	1515	1098	844
Sachsen	1238	1160	1105
Deutschland	528	464	394

/ASUE 01/

Auswertung weiterer Quellen:

Von besonderem Interesse ist die KWK-Stromerzeugung aus Biomasse bzw. Biogas. Um einen umfassenden Überblick zum aktuellen Stand zu erhalten, wurden bei den nachfolgend aufgelisteten Ämtern und Einrichtungen Daten erhoben.

Das Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (LfStaD) /Stat 01/ konnte die gemeldeten installierten Leistungen für die Nutzung regenerativer Energien sowie Mengen der KWK-Stromerzeugung zur Verfügung stellen. Die Angaben in **Tabelle 2-6** weisen für das Jahr 2002 eine installierte Leistung von 137 MW sowie eine Stromerzeugung von 725 GWh aus. Daten für das Jahr 2001 stehen nicht zur Verfügung.

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe /FNR 01/ veröffentlicht im Internet alle Biomasseanlagen mit ihren technischen Daten. Aus dieser Liste wurden die Anlagen entnommen die sowohl zur Strom- als auch zur Wärmeerzeugung dienen. In Ergänzung dazu wurden aktuelle Daten vom Umweltbundesamt /UBA 01/, dem Landesamt für Umweltschutz /LFU 01/, C.A.R.M.E.N. e.V. /CAR 01/ und dem Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik /ILT 01/ erfragt. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 2-7** zusammengefasst.

**Tabelle 2-6:** Angaben des LfStaD zur installierten Leistung und KWK-Stromerzeugung von Biomasse- bzw. Biogasanlagen

Brennstoff	Anzahl	el. Leistung in MW	Stromerzeugung in GWh	mittlere Ausnutzungsdauer (gerundet) in h
Deponiegas	32	14	31	2.200
Klärgas	58	15	29	1.950
Biogas	538	46	328	7.150
Biomasse	47	40	235	5.900
sonst. Abfälle	8	22	102	4.650
Summe	683	137	725	5.300

/Stat 01/

Die Summe der recherchierten installierten Leistung in Tabelle 2-7 entspricht mit 133,6 MW<sub>el</sub> nahezu den Aussagen vom statistischen Landesamt. Jedoch stimmt die Anzahl der erfassten Anlagen (591) nicht mit den in Tabelle 2-6 gemeldeten (683) überein. Die Differenz ist vornehmlich auf die fehlende Erfassung von KWK-Anlagen <50 KW zurückzuführen, die in keiner der in Tabelle 2-7 zusammengefassten Statistiken erhoben wurden. Die gemeldeten Anlagen haben eine recht hohe mittlere Ausnutzungsdauer (TA) von rd. 5.300 Stunden. Vor allem die Ausnutzungsdauer von Biogasanlagen lag mit über 7.000 Stunden sehr hoch, während die der Kläranlagen nur knapp 2.000 Stunden erreichten. Belegt man die in Tabelle 2-7 ermittelten Anlagen mit einer Ausnutzungsdauer von 5.000 Stunden und die vom ILT angegebenen Biogasanlagen mit 7.000 Stunden wie vom statistischen Landesamt angegeben, so ergibt sich eine KWK-Stromerzeugung aus Biomasse von rd. 701 GWh. Dies entspricht wiederum gut den Angaben des Statistischen Landesamtes.

**Tabelle 2-7:** Zusammenfassung der Biomasse und Biogas KWK-Anlagen

Quelle	Anzahl	el. Leistung in MW	Stromerzeugung in GWh	therm. Leistung in MW
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe	26	66	330*	307
Umweltbundesamt	6	40	200*	91
Landesamt für Umweltschutz	7	10	50*	34
C.A.R.M.E.N. e.V.	2	1	6*	12
Bay. Landesanstalt für Landwirtschaft (ILT)	550	17	116**	55
Summe	591	134	701	500

\* - Ausnutzungsdauer 5000 h (Annahme)

\*\* - Ausnutzungsdauer 7000 h (vergl. Biogas Tabelle 2-6)

### 2.3.4 Bestand zugelassener KWK-Anlagen in Bayern

Auswertung der BAFA-Statistik:

Die Betreiber von KWK-Anlagen müssen zur Gewährung eines Zuschlags auf den erzeugten Strom einen Antrag stellen. Diese Anträge werden beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zusammengefasst. Von dieser Stelle konnten Angaben zu den zugelassenen Anlagen in Bayern ermittelt werden. Die Anlagen sind aufgeteilt in verschiedene Leistungsklassen:

- < 0,05 MW,
- 0,05 – 1 MW,
- 1 – 2 MW,
- 2 – 10 MW,
- 10 – 100 MW und
- 100 – 500 MW.

Die Wahl der Größenklassen war dabei wesentlich durch das KWK-Ausbaugesetz geprägt. Danach gelten Anlagen bis 2 MW<sub>el</sub> als kleine Anlagen, die ähnlich den Brennstoffzellenanlagen nach dem Gesetz eine höhere Förderung erhalten (siehe Kapitel 6).

In den Angaben des Bundesamtes waren die Zahl der Anlagen sowie die installierten elektrischen und thermischen Leistungen für den Stand Dezember 2002 (siehe **Tabelle 2-8**) und März 2003 (siehe **Tabelle 2-9**) enthalten. Für Dezember 2002 waren darüber hinaus auch noch die erzeugte elektrische Energie sowie die Nutzwärme und die erzeugte KWK-Strommenge angegeben. Da das Gesetz zur Förderung des KWK-Ausbaus erst im April 2002 in Kraft trat, stehen die letzten Angaben nur für den Zeitraum 01.04. bis 13.12.2002 zur Verfügung. Darüber hinaus wurde die Nettostromerzeugung für Anlagen kleiner 2 MW nicht erhoben.

Ergänzend zu den Zahlen in Tabelle 2-8 konnten von der BAFA letzte Angaben zum Stand für Dezember 2003 ermittelt werden. Danach lag die Zahl der registrierten Anlagen zu diesem Zeitpunkt bei 1.070, davon sind etwa 1.000 kleine Anlagen bis 2 MW. Von diesen 1.000 Anlagen waren nach Aussage der BAFA etwas mehr als 400 bereits vor dem Inkrafttreten des KWK Ausbaugesetzes am 01.04.2002 im Dauerbetrieb. Daher lässt sich schließen, dass in der Zwischenzeit ca. 600 kleine Anlagen zusätzlich in den Dauerbetrieb gegangen sind.

**Tabelle 2-8:** Angaben zu den zugelassenen KWK-Anlagen in Bayern, Stand Dez. 2002

Größenklassen elektr. Leistung in MW	Anzahl der KWK- Anlagen	elektrische Leistung MW	thermische Leistung MW	Berichtszeitraum 01.04. - 13.12.2002 Angaben in MWh				
				bereinigte Brennstoff- wärme	Nettostrom- Erzeugung	KWK-Nutzwärme- Erzeugung	KWK-Nettostrom- Erzeugung	ausgespeister KWK-Strom
über 100 bis 500	7	1.614	3.812	11.682.854	3.753.549	2.627.548	1.106.025	1.105.992
über 10 - 100	27	772	2.335	10.272.682	2.578.585	5.066.594	2.339.415	1.895.953
über 2 bis 10	22	118	371	2.859.330	518.594	509.591	219.903	217.611
über 1 bis 2	21	30,8	86,1	494.652	*)	149.055	68.786	52.106
über 0,05 bis 1	166	46,7	74,6	340.082	*)	178.041	111.028	83.670
bis 0,05	523	4,4	10,4	65.727	*)	38.201	17.644	6.969
<b>Summe</b>	<b>766</b>	<b>2.586</b>	<b>6.689</b>	<b>25.715.326</b>	<b>6.850.728</b>	<b>8.569.030</b>	<b>3.862.802</b>	<b>3.362.301</b>

\*) Angaben werden nur für KWK-Anlagen über 2 MW<sub>el</sub> abgefragt  
/BAFA 01/

Die Nettostromerzeugung umfasst die gesamte erzeugte Strommenge. Als KWK-Strom kann jedoch nur der Anteil bezeichnet werden, welcher sich aus der Stromkennzahl der entnommenen Wärmemenge ergibt (siehe Definition zu KWK). Da im Jahr 2001 die gesamte, von einer KWK-Anlage erzeugte Strommenge, erfasst wurde, gibt es in nahezu allen Statistiken das Problem, die zur entnommenen Wärmemenge proportionale Strommenge (KWK-Strom) zu identifizieren.

**Tabelle 2-9:** *Angaben zu den zugelassenen KWK-Anlagen in Bayern, Stand März 2003*

Größenklassen elektr. Leistung in MW	Anzahl der KWK-Anlagen	Summe elektr. Leistung in MW	Summe therm. Leistung in MW	durchschn. elektr. Leistung in MW	durchschn. therm. Leistung in MW
über 100 bis 500	7	1.614	3.812	231	545
über 10 - 100	27	772	2.335	29	86
über 2 bis 10	24	123,1	400	5,1	17
über 1 bis 2	23	33,5	89,7	1,5	3,9
über 0,05 bis 1	198	55,4	97,4	0,28	0,49
bis 0,05	716	6,0	13,8	0,008	0,019
<b>Summe</b>	<b>995</b>	<b>2.604</b>	<b>6.748</b>	<b>2,6</b>	<b>6,8</b>

/BAFA 01/

### 2.3.5 Vergleich mit weiteren Statistiken

Neben den genannten Statistiken stehen weitere Datenbanken zur Auswertung zur Verfügung:

- Kraftwerke in Bayern /Bay 01/
- McCoy Power Report 2002 /Coy 01/
- World Electric Power Plant Database /UDI 01/

Zur Ergänzung der Informationen aus den Fernwärmehauptberichten der AGFW konnten aus den oben genannten Quellen zusätzlich nachfolgende Angaben entnommen werden:

- Standort
- Kraftwerkstyp
- Art des Brennstoffeinsatzes
- Brutto- oder Netto-Engpassleistung und
- Inbetriebnahmedatum

Angaben über die Erzeugung können aus diesen Quellen nicht entnommen werden, dafür aber Informationen zu einigen in der AGFW-Statistik fehlenden Anlagen gewonnen und in der Statistik ergänzt werden. Um eine Aussage über die mögliche KWK-Strom und -Wärmeerzeugung zu erhalten, war anhand verschiedener Kriterien eine Hochrechnung durchzuführen. Hinweise auf die erzeugten Strom- und

Wärmemengen können Erfahrungswerte aus anderen Anwendungen geben. Im Kapitel 3 wird die Methodik zur Verbesserung des Datenbestandes erläutert.

## 2.4 Fazit der Datenerhebung

Zusammenfassend wird nachfolgend eine Übersicht der Problematiken bei der Datenrecherche dargestellt.

Quelle VIK:

- Ursprung der Daten ist das Statistische Bundesamt,
- dabei wird die industrielle Energieerzeugung für die Jahre 1998 bis 2001 dargestellt,
- die Statistik enthält keine Angaben zur Anzahl der Anlagen in Bayern,
- darüber hinaus werden nur die elektrische Leistung und die Stromerzeugung angegeben.

Quelle AGFW:

- Umfasst nur die öffentliche Fernwärmeversorgung 1999 und 2001,
- es wurden nur Mitgliedsunternehmen befragt, dadurch werden nach Aussage der AGFW etwa 75 % der Anlagen in Deutschland erfasst,
- in der Statistik sind die Anlagen für jeden Betreiber zusammengefasst aufgeführt, so dass z.B. bei mehreren Anlagen eines Typs (z.B. Gasturbinenkraftwerk) keine Einzelanlagen ausgewertet werden können.

Quelle Bayernwerk:

- Letzter Stand der Daten von Dezember 1999,
- die Angaben umfassen einzelne Kraftwerke der öffentlichen Energieversorgung,
- neben den Brutto- und Nettoengpassleistungen der verschiedene Kraftwerkstypen sind die jeweiligen Inbetriebnahmezeitpunkte aufgeführt,
- nicht enthalten sind die thermische Leistung und die elektrische und thermische Erzeugung.

Quelle ASUE:

- Die Daten umfassen den Bestand an privaten, öffentlichen und industriellen BHKW-Anlagen,
- der Datenbestand ist relativ alt (letzter Stand 1998),
- kleine Anlagen < 10 kW werden nicht erfasst,
- es werden nur die Anzahl und die installierte elektrische Leistung aufgeführt,
- die Erzeugung kann daher nur hochgerechnet werden.

## Quelle BAFA:

- In der Zusammenstellung der KWK in Bayern sind nur Anlagen enthalten die bei der BAFA gemeldet und für die Zahlung eines KWK-Zuschlags gemäß KWK Ausbaugesetz zugelassen sind,
- die Daten stehen erst seit dem in Kraft treten des KWK-Ausbaugesetzes ab April 2002 zur Verfügung, zuvor wurde lediglich die installierte Leistung und die elektrische Erzeugung ermittelt,
- für 2003 existieren bisher keine Angaben für die Erzeugung sondern nur die Installierte elektrische und thermische Leistung.

## Quelle McCoy und UDI:

- Der Datenbestand ist aktuell, er deckt allerdings den industriellen Bereich im Vergleich zur Statistik von der VIK nicht vollständig ab,
- neben dem Standort können Angaben zum Kraftwerkstyp, der Brutto- bzw. Nettoengpassleistung und zum Inbetriebnahmedatum entnommen werden,
- zur Ermittlung der thermischen Leistung und der Erzeugung muss auf Hochrechnungen zurückgegriffen werden.

## 3 Methodik zur Ergänzung des Datenbestandes

### 3.1 Kategorisierung nach Anlagentypen und Art der Versorgung

Aus den in Kapitel 2.3 ermittelten Daten wurde eine Aufteilung der Leistungen und Erzeugung auf verschiedene Anlagentypen durchgeführt. Dabei war zwischen folgenden Typen zu unterscheiden:

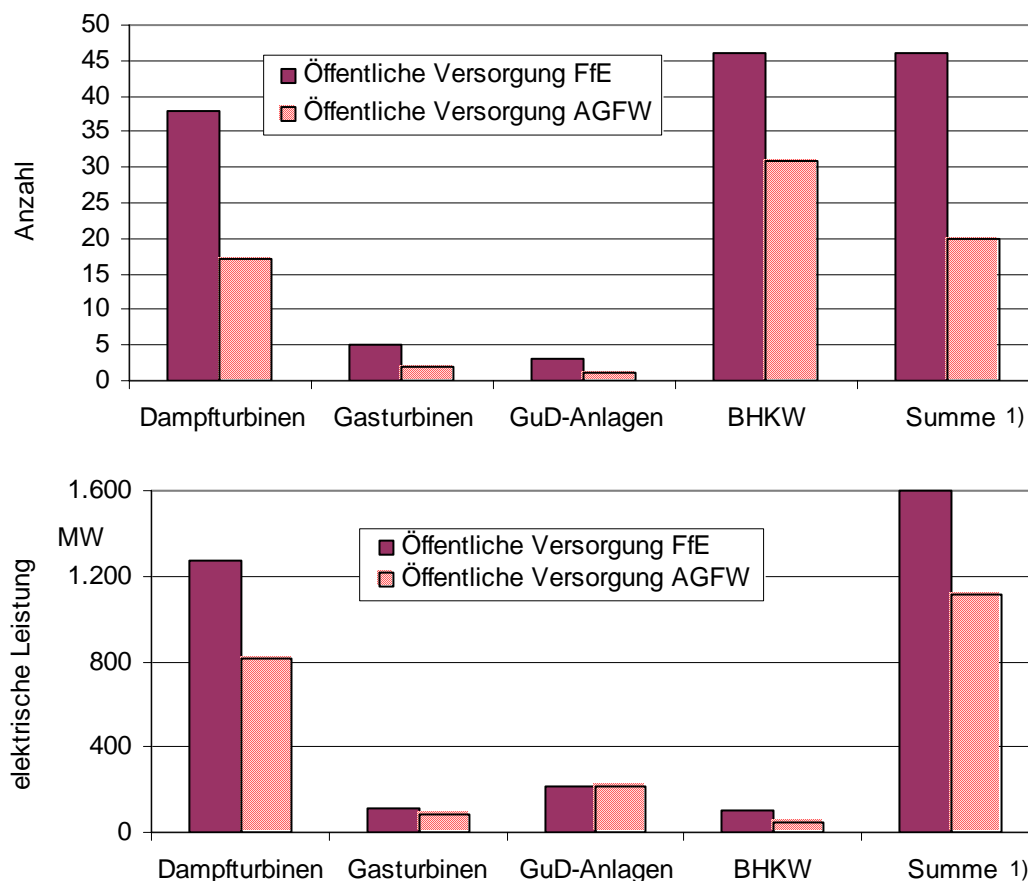
- Dampfturbinenkraftwerke,
- Gasturbinenkraftwerke,
- Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD-Anlagen), sowie
- Blockheizkraftwerke (BHKW-Anlagen).

Weitere Unterscheidungsmerkmale waren die Art des Anlagenbetreibers bzw. dem Anwendungsbereich wie etwa dem Einsatz in der Industrie oder der Deckung des allgemeinen Strom- und Wärmebedarfs durch öffentliche und unabhängige Energieversorger.

Hierzu wurden die Daten aus dem Fernwärmehauptbericht für das Jahr 2001 von der AGFW /AGFW 02/, der Statistik der Energiewirtschaft in Deutschland von der VIK aus dem Jahr 2003 sowie 2000/2001 /VIK 01/, des McCoy Power Plant Reports für das Jahr 2002 /Coy 01/, der UDI Electric Power Plant Database 2003 /UDI 01/ sowie der Übersicht der Kraftwerke in der öffentlichen Energieversorgung der damaligen Bayernwerk Vertriebsgesellschaft aus dem Jahr 1999 herangezogen /Bay 01/.

**Abbildung 3-1** zeigt den so ermittelten Bestand und die installierte elektrische Nennleistung nach Anlagentypen für die öffentliche Versorgung. Die Anzahl der öffentlichen Anlagen beträgt danach 45 ohne BHKW-Anlagen, da diese bereits durch andere Quellen abgedeckt werden. Bei Vergleich mit den Zahlen der AGFW liegen die Zahlen deutlich höher. Dies liegt zum einen daran, dass bei der AGFW nur die Mitgliedsunternehmen befragt werden, welche etwa 75 % der gesamten Anlagen in ihrem Bestand haben. Zum anderen wurden von der FfE einzelne Blöcke gesondert erfasst, im Gegensatz zur AGFW, bei der jeweils Anlagen erfasst wurden. Die Aussage der AGFW, dass nur etwa 75 % der Anlagen erfasst werden, stimmt mit den von der FfE ermittelten Ergebnissen gut überein. Die Anzahl der BHKW-Anlagen ist in etwa so groß, wie die der Dampfturbinen, die elektrische Leistung ist dagegen vernachlässigbar gering. Insgesamt ergibt sich eine installierte Leistung von etwa 1.600 MW.



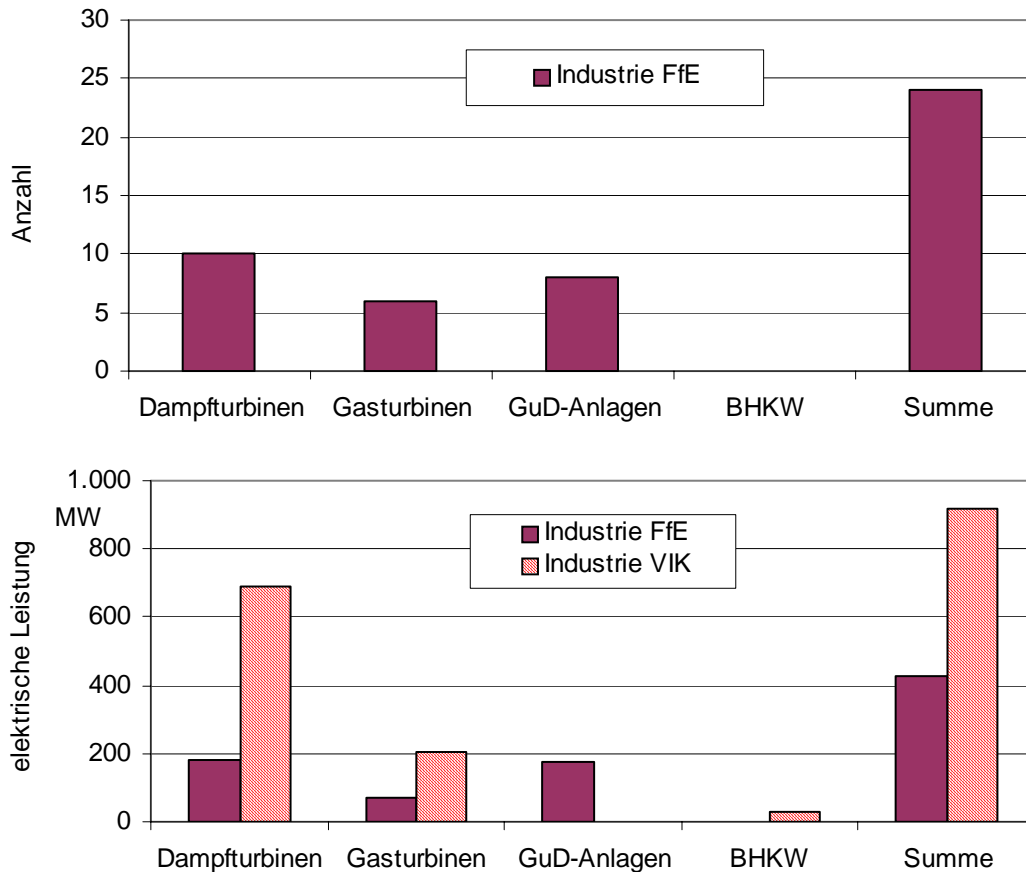


**Abbildung 3-1:** Aufteilung der KWK-Anlagen nach Anlagentypen in der öffentlichen Versorgung in Bayern 2001 <sup>(1)</sup> - Summe ohne BHKW-Anlagen)

Quelle: FfE-Berechnungen und /AGFW 02/

In der oberen Darstellung von Abbildung 3-2 sind nur insgesamt 24 industrielle Anlagen enthalten, da hierfür nur Daten aus /Coy 01/ und /UDI 01/ vorlagen und in diesen Quellen nicht alle Anlagen der industriellen Energieversorgung verzeichnet sind. Da aus der VIK-Statistik die Anzahl der Anlagen nicht ermittelt werden konnte, fehlt hier eine Aufteilung.

Im unteren Teil der Abbildung ist die elektrische Leistung aufgetragen. Vor allem der Vergleich der Angaben für industrielle Dampfturbinen zeigt, dass in den von der FfE ausgewerteten Daten aus /Coy 01/ und /UDI 01/ nur ein Teil der Industrieanlagen enthalten sind. Deshalb finden bei der späteren Ermittlung des gesamten KWK-Bestands in der industriellen Versorgung in Bayern nur mehr die Zahlen der VIK Verwendung. Danach ergibt sich eine installierte Leistung von etwa 920 MW und eine Stromerzeugung ca. 3.000 GWh (siehe auch Tabelle 2-1).



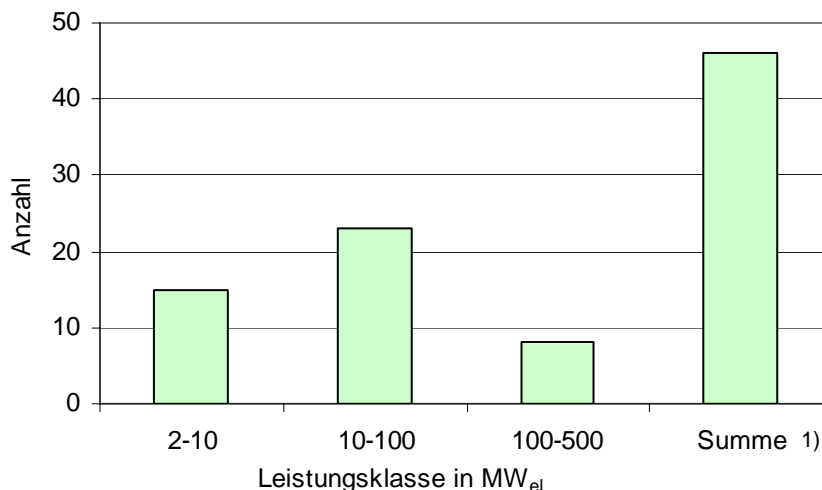
**Abbildung 3-2:** Aufteilung der KWK-Anlagen nach Anlagentypen in der industriellen Versorgung in Bayern 2001

Quelle: FfE-Berechnungen und /VIK 01/

### 3.2 Kategorisierung nach installierter Leistung (Leistungsklassen)

Grundlage für die Darstellung nach Leistungsklassen waren die Datenauswertung aus dem McCoy Power Plant Report des Jahres 2002 /Coy 01/, der UDI Electric Power Plant Database 2003 /UDI 01/ und vom damaligen Bayernwerk /Bay 01/. Dazu wurden die Quellen ausgewertet und die erhaltenen Daten in eine neue Datenbank integriert. In der Zusammenfassung dieser Auswertung wurde insbesondere darauf geachtet, dass keine Doppelzählungen auftraten. Es sind z.B. keine BHKW-Anlagen enthalten, da diese gesondert durch die ASUE-Statistik erfasst werden. In der **Abbildung 3-3** ist das Ergebnis für die Anzahl der KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung aufgetragen.

Bei der Kategorisierung der Anlagen nach der installierten Bruttoengpassleistung wurden, wie bereits in Kapitel 2.3.4 beschrieben, verschiedene Leistungsklassen zu Grunde gelegt (siehe **Tabelle 3-1**).



**Abbildung 3-3:** Aufteilung der KWK-Anlagen nach Leistungsklassen der öffentlichen Versorgung in Bayern für 2001 <sup>(1)</sup> - Zahlen ohne BHKW-Anlagen)

Quelle: FfE-Berechnungen

Die Leistungsklassen 2 - 10 MW und 10 – 100 MW sind am häufigsten vertreten und haben zusammen einen Anteil von über 80 %. Eine entsprechende Darstellung für die Industrie ist nicht möglich, da im verfügbaren Datenmaterial hierzu keine Zahlen vorliegen (siehe Kapitel 2.4 und 3.1).

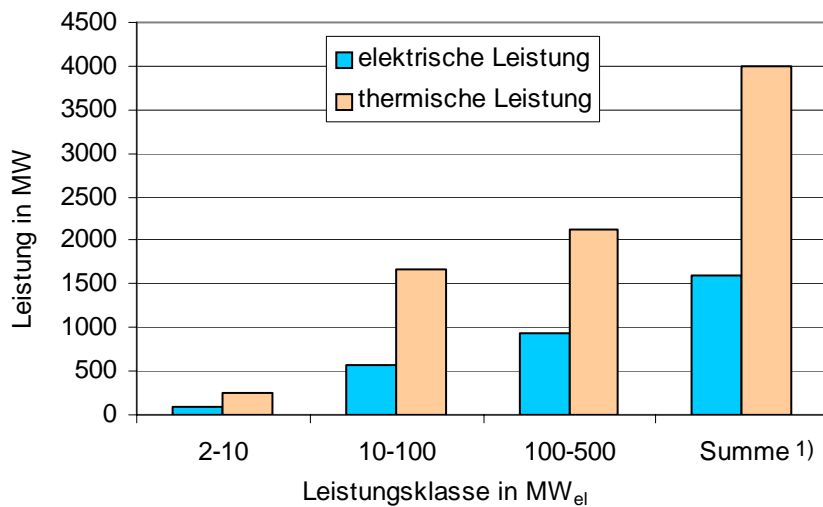
Die Aufteilung der installierten elektrischen und thermischen Leistung nach Leistungsklassen zeigt **Abbildung 3-4**. In dieser Grafik sowie in Tabelle 3-1 sind die BHKW-Anlagen nicht berücksichtigt worden.

Einen zahlenmäßigen Überblick der Leistungsklassen in der öffentlichen Versorgung gibt es nachfolgend dargestellt:

**Tabelle 3-1:** Struktur der Leistungsklassen der KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung in Bayern (ohne BHKW und Biomasse)

Leistungsklassen (in MW)	Anzahl	elektrische Leistung in MW	elektrische Energie in GWh	thermische Leistung in MW	thermische Energie in GWh
<0,05	0	0	0	0	0
0,05-1	0	0	0	0	0
1-2	0	0	0	0	0
2-10	15	80	260	250	650
10-100	23	580	1.490	1.670	4.210
100-500	8	940	2.400	2.120	5.620
Summe (gerundet)	46	1.600	4.200	4.000	10.500

Quelle: FfE-Berechnungen



**Abbildung 3-4:** *Installierte elektrische und thermische Leistung der KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung in Bayern 2001 <sup>(1)</sup> - Zahlen ohne BHKW-Anlagen)*

Quelle: FfE-Berchnungen

### 3.3 Bildung von Kennzahlen zur Hochrechnung

Zur Ermittlung von noch fehlenden Größen war es notwendig aus dem vorhandenen Datenmaterial Hochrechnungen mit Hilfe von Kennzahlen durchzuführen.

Aus den Angaben der AGFW konnten für verschiedene Kraftwerkstypen Kennzahlen gebildet werden. Eine Stromkennzahl errechnet sich aus dem Quotient der elektrischen Arbeit und der Wärmenetzeinspeisung. Diese Kenngröße zeigt die Einsatzweise der unterschiedlichen Energieanlagen für ein Versorgungsobjekt auf. Hohe Stromkennzahlen besitzen verbrennungsmotorisch betriebene BHKW und GuD-Anlagen, die niedrigsten weisen Dampfturbinenanlagen auf. Eine weitere wichtige Kenngröße der Betriebsweise ist die Ausnutzungsdauer, die sich aus den Volllaststunden der jeweiligen Anlage pro Jahr errechnet.

In **Tabelle 3-2** sind die beiden Kennzahlen der betrachteten Anlagentypen für das Jahr 2001 ausgewiesen. Mit Ausnahme der GuD-Anlagen liegen die Stromkennzahlen in Bayern und Deutschland eng beieinander. Die niedrigsten Stromkennzahlen werden in Anlagen mit Dampfturbinen, die höchsten in BHKW und GuD-Anlagen erreicht.

Die GuD-Anlagen in Deutschland liegen mit 0,9 erheblich über denen von Bayern. Der Grund liegt darin, dass in Bayern nur eine Anlage älteren Baujahrs vorhanden ist, die darüber hinaus nach anderen Kriterien ausgelegt wurde. Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren vornehmlich in Ostdeutschland neue GuD-Anlagen mit hohen Stromkennzahlen errichtet (nach AGFW besitzen die Anlagen in Ostdeutschland eine durchschnittliche Stromkennzahl von über 0,9).

Als Mittelwert aller Anlagen ergibt sich für das Jahr 2001 in Bayern eine Stromkennzahl von 0,4 und für Deutschland von 0,5. Bei den BHKW-Anlagen wurde in Deutschland und in Bayern jeweils eine Stromkennzahl von ca. 0,6 erreicht.

**Tabelle 3-2:** *Vergleich der durchschnittlichen Stromkennzahlen in Bayern und Deutschland (gerundet) und Ausnutzungsdauern von KWK-Anlagen*

Anlagentyp	Bayern	Deutschland	Ausnutzungsdauer
Dampfturbinen	0,3	0,4	2000 – 2500 h
Gasturbinen	0,5	0,5	2000 – 2500 h
GuD-Anlagen	0,7	0,9	2500 – 3000 h
BHKW Anlagen	0,6	0,6	4000 h
Mittelwert	0,4	0,5	

/AGFW 02/

Zur Ermittlung der durchschnittlichen Ausnutzungsdauern der KWK-Anlagen von den verschiedenen Kraftwerkstypen wurden die Erzeugungsdaten und die installierte Leistung einzelner Kraftwerke herangezogen. Mittels dieser Kennzahlen konnten dann einzelne Datensätze um die fehlenden Angaben ergänzt werden.

Danach wurde für große (> 50 MW) Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke eine durchschnittliche Ausnutzungsdauer des KWK-Betriebs von 2.000 bis 2.500 Stunden pro Jahr ermittelt. Für mittlere (zwischen 10 und 50 MW) Gasturbinen-, Dampfturbinen- sowie GuD-Anlagen wurden etwa 2.500 bis 3.000 Stunden und für kleine BHKW- und Gasturbinenanlagen mit bis zu 10 MW um die 4.000 Stunden ermittelt.

Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Ausnutzungsdauer und der installierten Leistung der Kraftwerke konnten somit die elektrische Erzeugung und mittels der Stromkennzahl auch die erzeugte Wärmemenge errechnet werden.

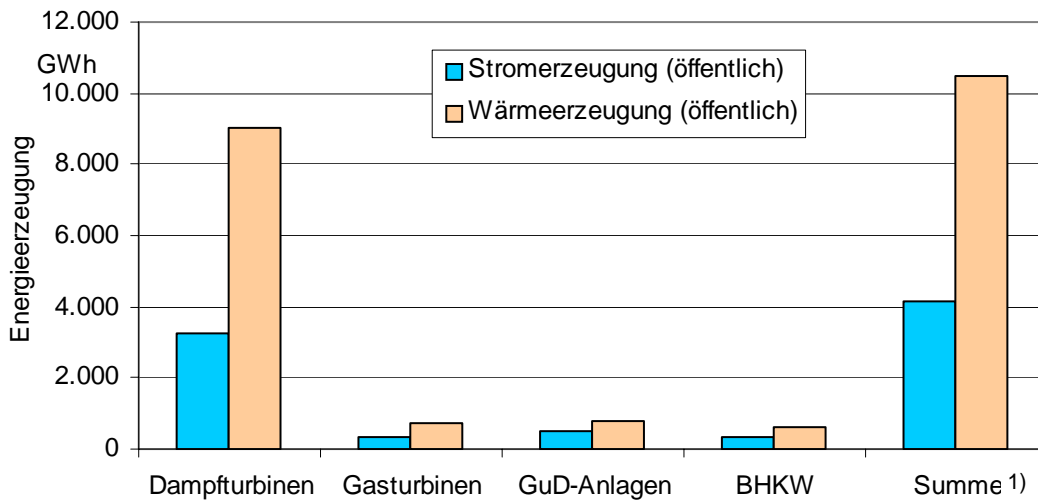
### 3.4 Hochrechnung der Strom- und Wärmeerzeugung

#### **Öffentliche Versorgung:**

Die Strom- und Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen der öffentlichen Versorgung zeigt **Abbildung 3-5** und **Abbildung 3-6** für das Jahr 2001. Zur Ermittlung dieser Daten wurden mit Hilfe der angegebenen durchschnittlichen Ausnutzungsdauern und den durchschnittlichen Stromkennzahlen die fehlenden Größen in den Quellen /Coy 01/, /UDI 01/ und /Bay 01/ errechnet. Die Erzeugung aus Dampfturbinen-Kraftwerken nimmt einen großen Stellenwert in der öffentlichen Energieversorgung ein (fast 80 % der Stromerzeugung). Die Gas- und GuD-Kraftwerke weisen jeweils einen Anteil von 9 bzw. 12 % auf. Der Anteil aus BHKW Anlagen ist trotz größerer Anlagenzahlen relativ gering (ca. 8 %).

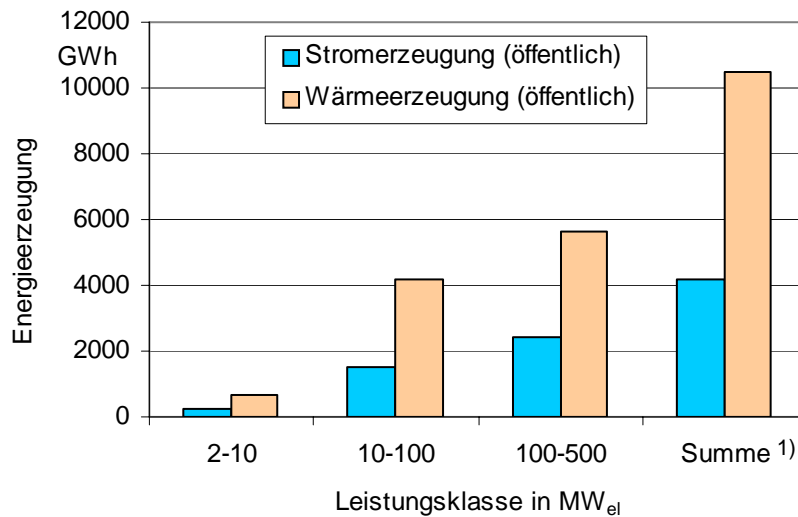
Wie zu erwarten, haben die Leistungsklassen 10 bis 100 MW und über 100 bis 500 MW die höchsten Anteile bei der Energieerzeugung (siehe **Abbildung 3-6**). Sie

betragen zusammen mehr als 90 % der Gesamterzeugung. Obwohl die Leistungs-klasse 2 bis 10 MW eine hohe Bestandszahl aufweist (siehe Abbildung 3-3), liegt der Anteil der Energieerzeugung nur bei rund 7 %. Die Leistungsklassen bis 2 MW sind hier nicht berücksichtigt, da die BHKW-Anlagen gesondert durch die ASUE-Statistik abgedeckt sind.



**Abbildung 3-5:** Hochrechnung der Strom- und Wärmeerzeugung der Öffentlichen Versorgung aus KWK-Anlagen im Jahre 2001 in Bayern (<sup>1)</sup> - Summe ohne BHKW-Anlagen)

Quelle: FfE-Berchnungen



**Abbildung 3-6:** Hochrechnung der Strom- bzw. Wärmeerzeugung der KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung aufgeteilt in Leistungsklassen im Jahr 2001 (<sup>1)</sup> - Summe ohne BHKW-Anlagen)

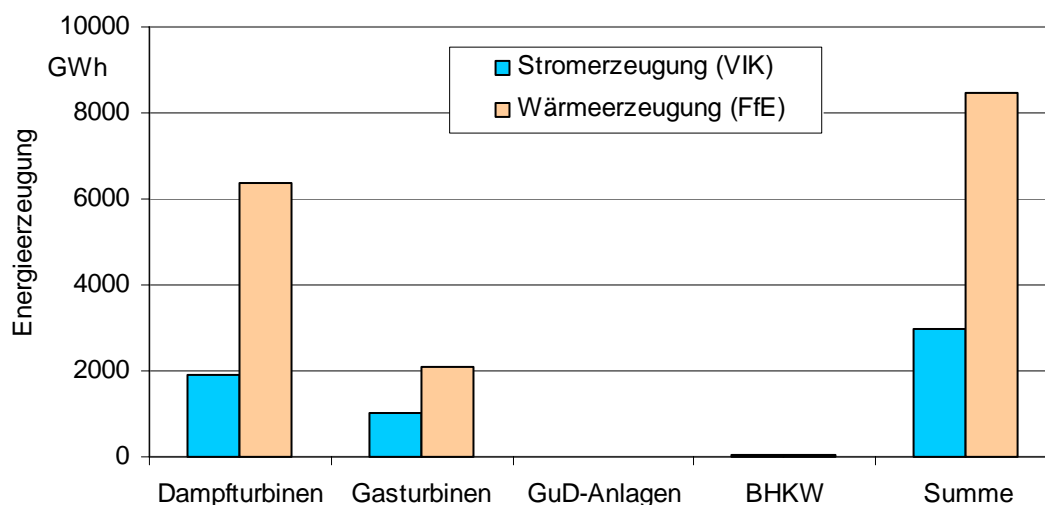
Quelle: FfE-Berchnungen

**Industrie:**

Da die Anzahl der KWK-Anlagen in Bayern in der Statistik der VIK nicht enthalten waren, wurde diese abgeschätzt. Dazu wurde aus der Nennleistung aller installierten KWK-Anlagen Bayerns und der mittleren Nennleistung für Deutschland die Zahl der Anlagen in Bayern abgeschätzt. Vereinfachend wird angenommen, dass sich die mittlere Anlagengröße von Bayern und Deutschland nicht unterscheiden. Daraus ergibt sich eine Zahl von ca. 150 industriellen Anlagen in Bayern im Jahr 2001.

Um aus den Angaben der VIK Statistik eine Abschätzung der erzeugten Wärmemenge zu erhalten, wurden durchschnittliche Stromkennzahlen für die verschiedenen Kraftwerkstypen für Bayern zugrunde gelegt (siehe Tabelle 3-2). Dadurch konnten die Angaben der Stromerzeugung seitens der VIK um die Wärmeerzeugung ergänzt werden (siehe **Abbildung 3-7**).

Da man in der Industrie im Vergleich zur öffentlichen Versorgung im Allgemeinen versucht, auch für die Wärmeerzeugung höhere Nutzungsdauern zu erzielen, ist die hier gemachte Abschätzung der erzeugten Wärmemenge auf Grundlage der Ausnutzungsdauern und Stromkennzahlen der öffentlichen Fernwärmeversorgung eher etwas zu niedrig abgeschätzt. Da jedoch zu den einzelnen Anlagen keine umfassenden Informationen, wie etwa deren Betriebsweise, vorlagen, konnten hier keine anderen Annahmen zu Grunde gelegt werden.



**Abbildung 3-7:** *Strom- und Wärmeerzeugung der industriellen Versorgung aus KWK-Anlagen im Jahre 2001 in Bayern*

FfE-Berechnungen und /VIK 01/

**BHKW-Anlagen:**

Für den Bereich BHKW-Anlagen wurde der Bestand für 2001 schrittweise ermittelt. Angaben des Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung zufolge ist beim Zuwachs durch Neuanlagen durchgehend über alle Größenklassen nach 1998 ein deutlicher Einbruch zu verzeichnen. Wohl ist seit Inkrafttreten des KWK-Gesetzes das Interesse zwar deutlich angestiegen, was sich jedoch nicht in einem konkreten Zuwachs niederschlägt. Der BHKW-Markt ist insgesamt stark rückläufig. Genaue Zahlen über die Entwicklung des Bestandes an BHKW-Anlagen in Deutschland bzw. in Bayern lassen sich nur schwer ermitteln, da z.B. das Statistische Landesamt keine Daten hierzu erhebt und nur einzelne Verbände die Marktentwicklung verfolgen.

Der Bestand an BHKW-Anlagen für das Jahr 2001 wird anhand verschiedener Veröffentlichungen abgeschätzt. In einer gemeinsamen Statistik von ASUE und VDEW aus dem Jahre 2000 sind für Ende 1999 zusätzlich 178 Gasturbinen mit einer Leistung von 832 MW<sub>el</sub> neben dem Bestand für Deutschland aus dem Jahre 1998 aufgeführt. Für 1999 ergibt sich daraus ein Gesamtbestand von 5.053 BHKW-Anlagen mit einer Leistung von 3.093 MW<sub>el</sub>.

Eine Umfrage des Bundesverbandes KWK bei den Herstellern ergab einen Auftragsbestand für Neuanlagen 2001 von ca. 39 MW und etwa 260 Anlagen. Bei einem Marktanteil der an der Umfrage beteiligten Firmen von 75 % errechnen sich daraus für Deutschland etwa 52 MW und ca. 350 BHKW-Anlagen. Der Gesamtbestand im Jahr 2001 für Deutschland kann damit zu etwa 5.400 Anlagen mit einer Leistung von ca. 3.150 MW angesetzt werden. In diesen Zahlen sind, bedingt durch die Erhebung, keine Anlagen unter 10 kW enthalten.

Um eine Abschätzung für den Bestand an BHKW-Anlagen in Bayern durchzuführen, wurden die prozentualen Anteile aus dem Jahr 1998 nach Tabelle 2-4 von 16,4 % der Anlagen und 15 % der installierten Leistung zu Grunde gelegt. Dies entspricht etwa 885 Anlagen und 470 MW.

Um zusätzlich den Bestand von kleinen BHKW-Anlagen mit einzubeziehen, wurden Verkaufszahlen für Bayern der Firma SenerTec zu Grunde gelegt. Daraus ergab sich eine Zahl von etwa 1000 Anlagen im Zeitraum von 1997 bis einschließlich 2001 mit einer durchschnittlichen Leistung von 5 kW. Der Gesamtbestand für Bayern im Jahr 2001 errechnet sich damit zu etwa 1.880 BHKW-Anlagen mit insgesamt 475 MW.

Um abschließend auch für die BHKW- sowie die Biomasse- und Biogasanlagen die Strom- und Wärmeerzeugung zu erhalten, wurde eine Bewertung analog der bei der öffentlichen Versorgung vorgenommen. Für die durchschnittliche jährliche Ausnutzungsdauer von BHKW-Anlagen wurde 4000 Stunden angenommen, die durchschnittliche Stromkennzahl ergibt sich nach AGFW zu etwa 0,6 (siehe Tabelle 3-2). Danach ergibt sich für die elektrische Erzeugung etwa 1.900 GWh und für Wärmeerzeugung etwa 3.150 GWh.

Aus den Zahlen des Landesamtes für Umweltschutz, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft sowie von C.A.R.M.E.N. e.V. (siehe Tabelle 2-7) mit insgesamt 560 kleineren Anlagen und einer elektrischen Leistung von 28 MW konnte unter Annahme einer mittleren Ausnutzungsdauer von 5000 h und einer Stromkennzahl



von 0,6 (wie bei BHKWs) die Wärmeerzeugung aus Biomasse- und Biogasanlagen zu etwa 230 GWh sowie die Stromerzeugung zu ca. 140 GWh ermittelt werden.

### **3.5 Plausibilisierung der Daten**

Zum Abgleich der Datenbank und zur Plausibilisierung der Kennzahlen und Erzeugungsmengen wurden Anfragen an verschiedene Stellen gerichtet. Dies waren z.B. die Firmen BMW in Dingolfing und Haindl in Schongau. Außerdem wurden die Kraftwerksbetreiber der Stadtwerke Augsburg, Würzburg, München, LEW und von e.on (Kraftwerk Zolling) befragt. Zum Abgleich der Zahlen über Biomasse- und Biogasanlagen wurden darüber hinaus Angaben des Umweltbundesamtes, des Landesamtes für Umweltschutz, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, C.A.R.M.E.N. e.V. und des Statistischen Landesamtes einbezogen.

## 4 Zusammenfassung der ermittelten Daten

Wie aus **Abbildung 4-1** zu ersehen, sind die Angaben der elektrischen Leistung für den Bereich „Öffentliche Anlagen“ recht unterschiedlich. Für den Bereich der Industrie existiert mit der Erhebung der VIK hingegen nur eine aussagekräftige Quelle. Ähnliches gilt für den Bereich der BHKW-Anlagen aus der ASUE-Statistik.

Im Gesamtbestand sind Anlagen, die in Statistiken zwar als KWK-Anlage ausgewiesen sind, jedoch offensichtlich nur Kondensationsstrom erzeugen oder nur zur Spitzenlastdeckung eingesetzt werden, nicht enthalten.

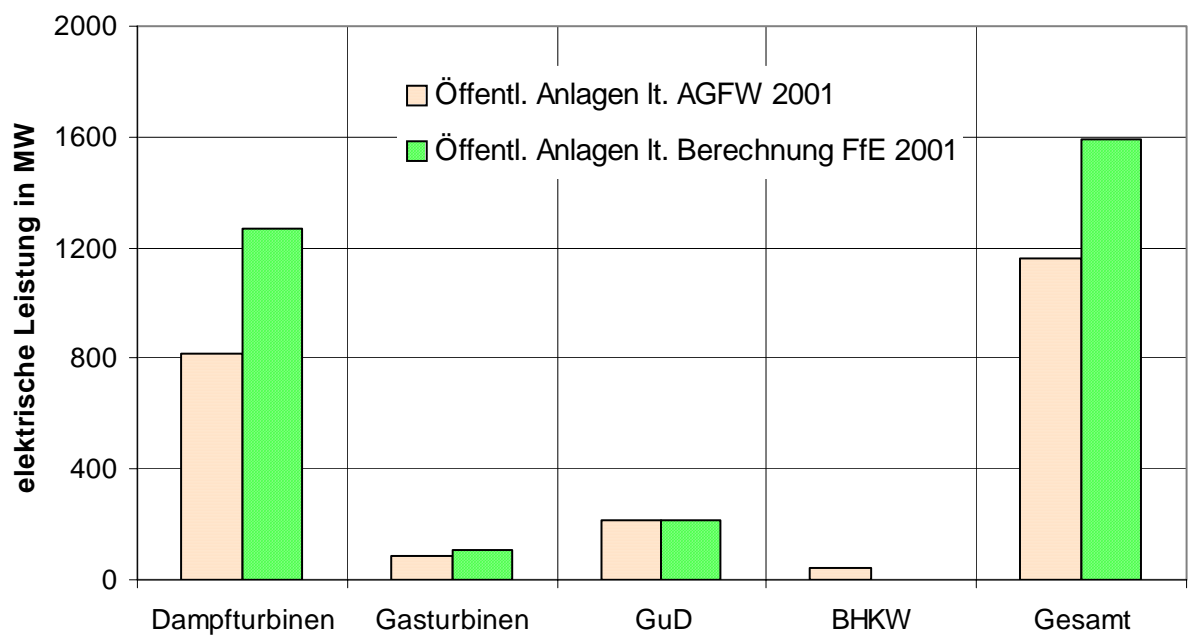
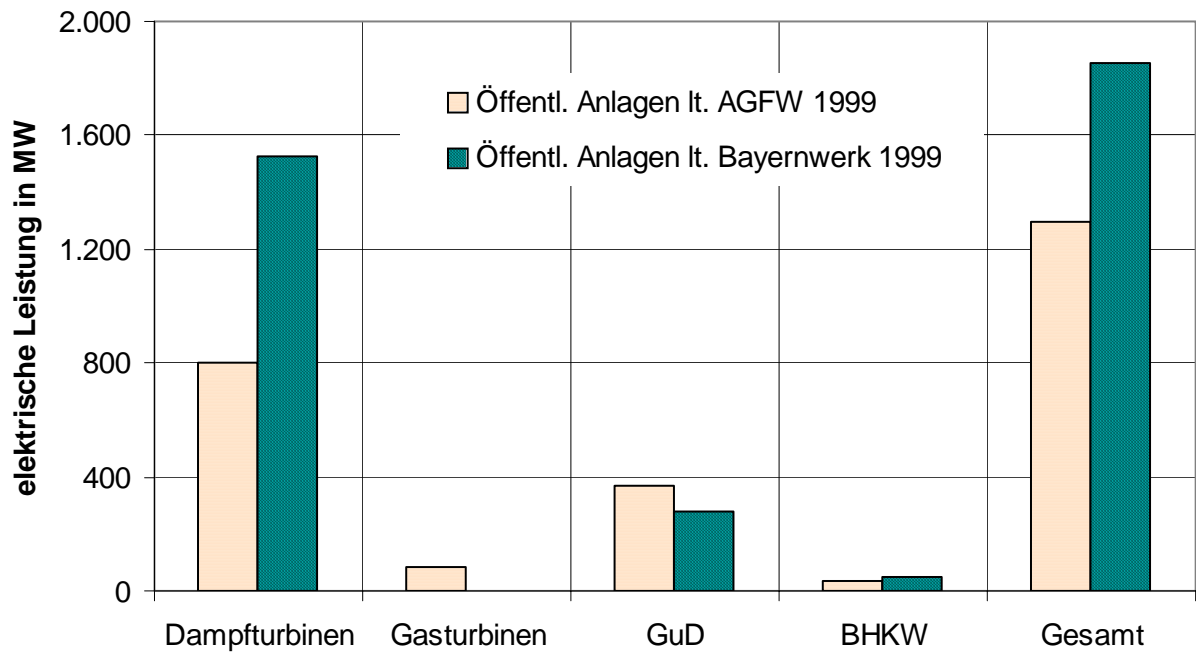
Ein Vergleich der Daten von AGFW und Bayernwerk AG für das Jahr 1999 zeigt (siehe Abbildung 4-1 oben), dass vor allem große Differenzen im Bestand der Anlagen mit Dampfturbinen auftreten. Da die AGFW nur die Anlagen der Mitglieder bzw. die freiwillig gemeldeten erfasst, liegen die Zahlenwerte niedriger. In den Statistiken sind alle berücksichtigten Betreiber namentlich aufgeführt; somit konnte festgestellt werden, welche Anlagen bei AGFW fehlen. Der tatsächliche Gesamtbestand der öffentlichen KWK-Anlagen für das Jahr 2001 exklusive der BHKW-Anlagen beträgt nach FfE-Berechnungen 45 Anlagen und ca. 1.600 MW (schraffierte Säule in Abbildung 4-1 unten). Der Rückgang der installierten Leistung der öffentlichen Anlagen von 1999 auf 2001 (vergleiche Bayernwerk und FfE) ist durch Stilllegung einiger Blöcke, wie etwa Franken II bedingt. Um Doppelzählung zu vermeiden enthält die Auswertung der FfE im Gegensatz zur Datenbank der Bayernwerke darüber hinaus keine BHKWs, da diese durch die Statistik der ASUE abgedeckt sind. Beide Datenbanken (Bayernwerk und FfE) besitzen für den Bestand der öffentlichen KWK-Anlagen eine gute Aussagekraft, allerdings sind die Daten des Bayernwerks von 1999 und somit nicht mehr aktuell. Außerdem liefert diese Quelle keine Angaben zur Erzeugung, so dass diese anhand der Daten der AGFW und mit Kennzahlen hochgerechnet werden muss (siehe Kapitel 3.3).

Die Summe aller KWK-Anlagen in Bayern ist aus **Tabelle 4-1** zu ersehen, wobei für Industrieanlagen zum Teil die Angaben der VIK aus Kapitel 2.3.1 zugrunde gelegt wurden. Diese wurden ergänzt um die Ergebnisse der Hochrechnung aus Kapitel 3.3.

Für die Industrieanlagen wurde die Stromerzeugung aus der VIK-Statistik übernommen. Zur Berechnung der Wärmeerzeugung wurden die in Tabelle 3-2 aufgeführten mittleren Stromkennzahlen für industrielle KWK-Anlagen angesetzt.

Der Bereich „Öffentliche Versorgungsanlagen“ umfasst zum großen Teil (ca. 75 %) die Erzeugungsdaten aus dem AGFW-Hauptbericht. Die Strom- und Wärmeerzeugung der übrigen Anlagen wurden mit Hilfe der Stromkennzahlen der jeweiligen Anlagentypen und der durchschnittlichen Volllaststundenzahl berechnet (siehe Kapitel 3.3).

Die BHKW-Anlagen stellen mit über 90 % den größten Anteil an der Anlagenzahl. Sie tragen jedoch nur ca. 17 % der installierten elektrischen Nennleistung bei. Umgekehrt ist es bei der öffentlichen Versorgung, wo rund 2% der Anlagen über 50 % der Leistung ausmachen.



**Abbildung 4-1:** Bestand an KWK-Anlagen in der öffentlichen Versorgung in Bayern im Jahr 1999 (oben) und 2001 (unten)

**Tabelle 4-1:** KWK-Anlagen in Bayern im Jahre 2001

	Anzahl		Elektr. Nennleistung		KWK-Stromerzeugung		Wärmeerzeugung	
		Anteil in %	in MW	Anteil in %	in GWh	Anteil in %	in GWh	Anteil in %
Öffentliche Versorgungsanlagen (AGFW, McCoy, UDI, FfE)	45	2	1.600	53	4.100	45	10.500	47
Industrieanlagen (VIK / Ergänzung FfE)	150	6	920	31	3.000	33	8.500	38
BHKW-Anlagen (ASUE / Hochrechnung FfE / SenerTec)	1.880	71	475	16	1.900	21	3.150	14
Biomasse- und Biogasanlagen (ILT, LfStaD, C.A.R.M.E.N. e.V., LFU)	560	21	28	1	170	2	280	1
Summe (gerundet)	2.640		3.000		9.200		22.400	

Zur Ermittlung der Strom- und Wärmeerzeugung der BHKW-Anlagen wurde neben einer durchschnittlichen Stromkennzahl von 0,6 eine Ausnutzungsdauer von 4.000 Stunden angenommen. Für die Biomasseanlagen wurde eine Ausnutzungsdauer über 5.000 h und für die Biogasanlagen von 7000 h und in beiden Fällen ebenfalls eine Stromkennzahl von 0,6 angesetzt (siehe Kapitel 3.3).

Die gesamte Stromerzeugung in Bayern aus KWK-Anlagen beträgt somit ca. 9.200 GWh und die Wärmeerzeugung etwa 22.400 GWh.

Unter Berücksichtigung der zu Grunde gelegten Daten kann abschließend folgendes Fazit gezogen werden (siehe auch Kapitel 2.4):

Die Angaben zur Anzahl und zur installierten Leistung lassen sich lediglich bei den öffentlichen Versorgern genau ermitteln. Die elektrische und thermische Erzeugung der Anlagen von öffentlichen Betreibern konnte, wie oben beschrieben aus der AGFW-Statistik zu etwa 75 % ermittelt werden. Da die restlichen Anlagen mittels durchschnittlicher Volllaststunden und anlagenspezifischer Stromkennzahlen berechnet wurden, so dass deren Abhängigkeiten von der Prozessfahrweise im Einzelfall nicht berücksichtigt wurde, liegt der abgeschätzte Fehler bei den in Tabelle 4-1 angegebenen Energien bei ca.  $\pm 10$  %.

Für den Bereich der industriellen KWK lassen sich nur die installierte Leistung und die elektrische Energieerzeugung aus den Angaben der VIK gewinnen. Bei den Angaben zur Anzahl der Anlagen und zur Wärmeerzeugung ist mit einer Ungenauigkeit von bis zu  $\pm 20$  % zu rechnen. Der Grund liegt zum einen darin, dass die durchschnittliche Anlagengröße von Deutschland für die Ermittlung der Anlagenzahl in Bayern übernommen wurde. Dabei wurde somit nicht berücksichtigt, dass in Bayern überwiegend mittelständische Industrie angesiedelt ist. Im Verhältnis zur Schwerindustrie, wie z.B. die chemische Industrie im Rheinland, ist daher anzunehmen, dass in Bayern die durchschnittliche Anlagengröße eher kleiner ist und somit hier eher noch mehr Anlagen installiert sind. Zum anderen wurde eine durchschnittliche Stromkennzahl angesetzt, die jedoch in der Industrie stark von den Prozessbedingungen abhängt, so dass auch bei der Wärmeerzeugung ein großer Fehler angenommen werden muss.

Bei den BHKW-Anlagen wurde die Anzahl und die installierte Leistung durch Hochrechnung aus Zahlen der ASUE von 1995 und 98 ermittelt. Darüber hinaus wurden

Verkaufszahlen der Fa. SenerTec herangezogen. Da bei der Hochrechnung die Entwicklungen der Vergangenheit berücksichtigt wurden, muss bei der Ungenauigkeit der angegebenen Anzahl und Leistung von etwa 10 % ausgegangen werden. Da für die Ermittlung der Erzeugung wiederum durchschnittliche Stromkennzahlen und Ausnutzungsdauern der Anlagen angenommen werden mussten, liegt der Fehler bei diesen Angaben noch höher (mindestens 20 %). Auf Grund der kleinen installierten Leistung und folglich anteilig geringen Erzeugung wirkt sich dies jedoch wenig auf das Gesamtergebnis der installierten Leistung und der Erzeugung aus.

## 5 Fazit

Bayern als Flächenstaat bietet aufgrund der Besiedlungsstruktur und der vergleichsweise geringen Anzahl großindustrieller Ansiedlungen geringen Raum für großtechnische KWK-Stromerzeugung. Der größte Teil der KWK-Stromproduktion stammt aus Dampfturbinen im öffentlichen Bereich und ist an die Fernwärmeversorgung für die Ballungsgebiete gekoppelt. Ungefähr ein Drittel stammt aus industriellen Kraftwerken, lediglich 14 % der Erzeugung tragen Blockheizkraftwerke und sonstige Anlagen bei. Bezogen auf das gesamte Bundesgebiet erzeugen öffentliche Kraftwerke in Bayern ca. 11 % des KWK-Stroms (siehe **Tabelle 5-1** im Verhältnis zu den Angaben in **Tabelle 5-2**). In der Industrie (verarbeitendes Gewerbe) liegt der Anteil bei 10 % des in Deutschland erzeugten Stroms zur industriellen Eigenversorgung. Hervorzuheben sind die Klein- und Kleinstanlagen. Mit ca. 16 % ist der Anteil Bayerns an der BHKW-Stromerzeugung in Deutschland überdurchschnittlich hoch. Verfolgt man die Entwicklung des KWK-Ausbaus, so ist abzusehen, dass sich im kleinen Leistungsbereich in den nächsten Jahren erhebliche Zuwächse ergeben werden.

**Tabelle 5-1:** *KWK-Stromerzeugung des Jahres 2001 für Bayern in GWh*

	Quelle	Anzahl	Leistung in MW	Stromerzeugung in GWh	Anteil Bayern <sup>1)</sup> in %
<b>Allgemeine Versorgung</b>	FfE	45	1.600	4.100	11
	AGFW	20	1.120	2.830	--
<b>Industrie</b>	FfE	150	920	3.000	10
	VIK	--	920	2.970	--
<b>BHKW</b>	FfE	1.880	475	1.900	16
	ASUE	801	339	--	--
<b>Biogas</b>	FfE	560	28	170	--
<b>Summe (grundet)</b>		<b>2.640</b>	<b>3.000</b>	<b>9.200</b>	<b>11</b>
<b>Erzeugung gesamt</b>				83.700	

1) - Anteil der KWK-Stromerzeugung in Bayern an der KWK-Stromerzeugung in Deutschland

**Tabelle 5-2:** *KWK-Stromerzeugung des Jahres 2001 in Deutschland*

	Quelle	Anzahl	Leistung in MW	Stromerzeugung in GWh
<b>Allgemeine Versorgung</b>	FfE	--	--	38.000
	AGFW	196	9.970	26.500
<b>Industrie</b>	FfE	--	--	30.500
	VIK	1.152	7.145	30.511
<b>BHKW</b>	FfE	--	--	12.000
	ASUE	4.875	2.261	--
<b>Summe (grundet)</b>				<b>80.500</b>
<b>Erzeugung gesamt</b>				567.000

## 6 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Das "Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung" (KWKG-Gesetz) hat zum Ziel den "befristeten Schutz und die Modernisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie den Ausbau der Stromerzeugung in kleinen KWKG-Anlagen und die Markteinführung der Brennstoffzelle im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung". (§1 Abs. 2 KWKG)

In dem Gesetz werden auch Klimaschutzziele quantifiziert. So soll gemäß §1 Abs. 1 KWKG, bis zum Jahre 2005 im Vergleich zum Basisjahr 1998 durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung eine Minderung der jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in der BRD in einer Größenordnung von 10 Millionen Tonnen und bis zum Jahre 2010 von insgesamt 23 Millionen Tonnen, mindestens 20 Millionen Tonnen, erzielt werden.

Unter § 2 wird der Anwendungsbereich des KWKG-Gesetzes geregelt. Danach fallen alle KWKG-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Abfall, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen in dessen Geltungsbereich.

Genauere Begriffsbestimmungen folgen im § 3. Die Liste der aufgezählten KWKG-Technologien umfasst:

- Dampfturbinen-Anlagen (Gegendruckanlagen, Entnahme- und Anzapfkondensationsanlagen),
- Gasturbinen-Anlagen (mit Abhitzeessel oder mit Abhitzeessel und Dampfturbinen-Anlage),
- Verbrennungsmotoren-Anlagen,
- Stirling-Motoren,
- Dampfmotoren-Anlagen,
- ORC (Organic Rankine Cycle)-Anlagen sowie
- Brennstoffzellen-Anlagen.

Die Ortsfestigkeit einer KWKG-Anlage wird – gemäß dem Mineralölsteuergesetz – definiert als eine abwechselnde Nutzung der Anlage an maximal zwei Standorten. KWKG-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von bis zu 2 MW<sub>el</sub> gelten nach dem Gesetz als „kleine KWKG-Anlagen“, mit Ausnahme von Brennstoffzellen-Anlagen.

Der von der KWKG-Anlage erzeugte Strom wird mit einem, zwischen Betreiber und Netzbetreiber ausgehandelten Tarif und darüber hinaus mit einem Zuschlag vergütet. Die Höhe des Zuschlags richtet sich nach dem Alter, dem Zeitpunkt einer Modernisierung sowie der Anlagengröße und variiert im Jahr 2003 zwischen 1,53 cent/kWh (Anlagen die vor dem 31.12.1989 in den Dauerbetrieb gingen) und 5,11 cent/kWh (Brennstoffzellen-Anlagen). /KWKG 01/

Die Betreiber begünstigter Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erhalten bis zum Jahre 2010 Zuschlagszahlungen bis zu einer Maximalsumme 4,45 Mrd. € (8,7 Mrd. DM), wobei rund 358 Millionen € (700 Millionen DM) speziell für den Ausbau kleiner

KWK-Anlagen bis zu einer Leistung von 2 MW<sub>el</sub> und Brennstoffzellen-Anlagen zur Verfügung stehen. /Gai 01/.



## 7 Quellenverzeichnis

- /AGFW 00/ Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW): *Zertifizierung von KWK-Anlagen : Ermittlung des KWK-Stromes*. AGFW Arbeitsblatt FW 308, Frankfurt am Main, November 2002.
- /AGFW 01/ Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW): *Fernwärmehauptbericht 1999*. Frankfurt am Main, 1999.
- /AGFW 02/ Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW): *Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 2000 : Technische Bestands- und Veränderungsdaten zur Fernwärmeversorgung in Deutschland 2000*. Frankfurt am Main, Dezember 2001.
- /AGFW 03/ Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW): *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien: Kurztitel Pluralistische Wärmeversorgung*. Band 1: Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Zertifizierungsverfahren und Fördermodelle. Frankfurt, Juli 2001.
- /ASUE 01/ Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE): *BHKW-Marktübersicht 1998*. Hamburg, 1998.
- /BAFA 01/ Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: *Zusammenstellung der zugelassenen KWK-Anlagen in Bayern für das Jahr 2002 und 2003*. Angaben von Herrn Smuck, Referat 437 – Kraft-Wärme-Kopplung, Eschborn, 14.10.2003.
- /Bay 01/ Bayernwerk Vertriebsgesellschaft: *Kraftwerke in Bayern : Öffentliche Elektrizitätsversorgung Stand, 31.12.1999*. München, April 2000.
- /CAR 01/ C.A.R.M.E.N. e.V.: Telefonat mit Herrn Leuchtweis, Februar 2004.
- /Coy 01/ McCoy, R.: *McCoy Power Report 2002*. Naples, Florida, USA, April 2003.
- /FNR 01/ Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: [www.biomasse-info.net](http://www.biomasse-info.net), Januar 2004.
- /Gai 01/ Gailfuß, M.: *Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz*. Innovative KWK-Technologien, BHKW-Infozentrum Rastatt, Rastatt, Januar 2001.
- /ILT 01/ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik (ILT): Angaben von Herrn Dr. Gronauer, Februar 2004.
- /KWK 01/ *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 19.03.2002.

- /LFU 01/ Landesamt für Umweltschutz: Telefonat mit Herrn Schmöckel, Februar 2004.
- /Stat 01/ Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (LfStaD): Angaben von Herrn Filser, Februar 2004.
- /UBA 01/ Umweltbundesamt: Angaben von Herrn Dr. Schneider, Dezember 2003.
- /UDI 01/ Utility Data Institute (UDI): *World Electric Power Plant Database*. Washington DC, USA, September 2003.
- /VIK 01/ Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK): *Statistik der Energiewirtschaft 2000/2001 und 2003*. Verlag Energieberatung GmbH, Essen.