

## **Fernwärmeausbau in Sindelfingen**

**Dipl.-Ing. H. Dienhart, D. Hüge,  
Dipl.-Ing. G. Wember, Dipl.-Ing. G. Gentner  
Stadtwerke Sindelfingen GmbH, Rosenstr. 47, 71063 Sindelfingen**

**Oktober 2005**

### **Kurzfassung**

Seit Gründung der Stadtwerke Sindelfingen GmbH im Jahr 1998 haben die Stadtwerke mit dem Aufbau eines zentralen Fernwärmenetzes ein umweltpolitisch engagiertes und zukunftsweisendes Wärmeversorgungskonzept in Sindelfingen begonnen. Ermöglicht wurde dies durch Vereinbarungen zur Wärmeauskopplung aus dem Heizkraftwerk der DaimlerChrysler AG Werk Sindelfingen und aus dem Restmüllheizkraftwerk des Landkreises Böblingen. Innerhalb eines Zeitraumes von nur fünf Jahren gelang es, den Fernwärmeausbau technisch weitgehend abzuschließen und den angestrebten Wärmeabsatz zu 90 % vertraglich abzusichern. Die Investitionen für das Wärmenetz liegen bei rund 15 Mio. Euro. Die Vorteile für die Umwelt sind beachtlich – verglichen mit Öl- und Gaseinzelheizung und Strom aus dem durchschnittlichen deutschen Kraftwerkspark werden durch den Fernwärmeausbau jährlich rund 19.000 t CO<sub>2</sub> eingespart, eine Einsparung von etwa 50 %.

### **1 Versorgungskonzept**

Die Stadt Sindelfingen mit rund 60.000 Einwohnern ist ein international bekannter Technologie- und Produktionsstandort, ein wichtiges Zentrum für Handel und Dienstleistungen und zugleich ein attraktiver Wohnort. Ein besonderes Merkmal bezüglich der Energieversorgung ist das zentral gelegene Heizkraftwerk der DaimlerChrysler AG (DC) sowie das ebenfalls stadtnah gelegene Restmüllheizkraftwerk des Landkreises Böblingen (RMHKW) (vgl. Abb. 1). Da im Kraftwerk von DC aufgrund der technologischen Optimierungen gesunkenen Prozesswärmebedarfs Kapazitäten vorhanden waren bzw. im Fall des RMHKW bislang keine Wärmenutzung stattfand war es naheliegend, diese umweltfreundlichen Kraftwerke für die Wärmeversorgung von Sindelfingen einzubinden. Überlegungen hierzu gab es bereits seit mehreren Jahren.

Erst mit der Neuordnung der Energieversorgung in Sindelfingen und der damit verbundenen Gründung der Stadtwerke Sindelfingen GmbH im Jahr 1998 wurde ein Durchbruch erzielt.

Nach intensiven Verhandlungen wurde im Dezember 1999 zwischen der DaimlerChrysler AG und den Stadtwerken Sindelfingen eine Wärmebezugsvertrag über die Lieferung von Dampf für einen Industriekunden und Heizwasser für die Einspeisung in das innerstädtische Fernwärmenetz vereinbart. Eine solche Kooperation zwischen einem kommunalen Energieversorger und einem Industrieunternehmen hat es in dieser Größenordnung in der Region bislang noch nicht gegeben.

Schon im Vorfeld konnten erste Fernwärmelieferverträge mit großen Wärmeabnehmern sowie ein umfangreiches Contracting Projekt mit der Firma STP-Elektronische Systeme GmbH zur Dampflieferung abgeschlossen werden. So war bereits zu Beginn des Fernwärmeausbaus eine gewisse Planungssicherheit über den Wärmeabsatz vorhanden.

Mitte 2001 haben die Stadtwerke Verhandlungen mit dem Zweckverband Restmüllheizkraftwerk Böblingen über die Auskopplung von Wärme aus dem Restmüllheizkraftwerk geführt. Dies mündete in der Gründung der „Wärmeauskopplungsgesellschaft Restmüllheizkraftwerk Böblingen mbH“ (WRB), die als Vertragspartner gegenüber dem Restmüllheizkraftwerk auftritt. Gleichberechtigte Gesellschafter der WRB sind die Stadtwerke Sindelfingen GmbH (SWS) und die Neckarwerke Stuttgart Regional AG & Co. KG., jetzt EnBW Regional AG. Die WRB ist für Bau und Betrieb der Wärmeauskopplung zuständig und liefert die Wärme an die SWS zur Einspeisung in das Wärmenetz von Sindelfingen und an die EnBW zur Einspeisung in das Fernwärmenetz in Böblingen.

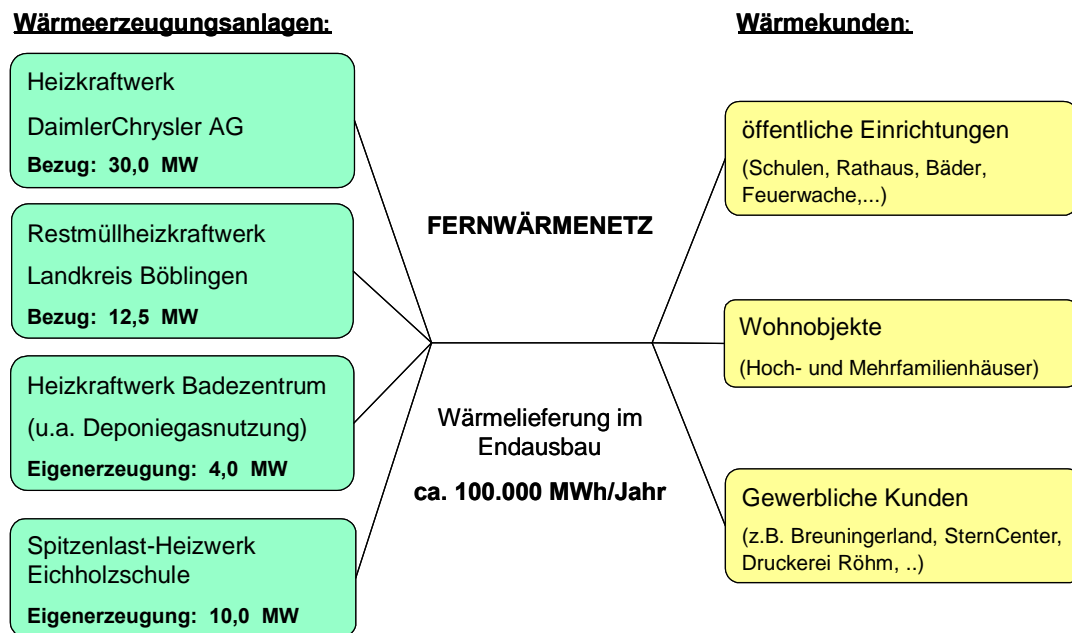
## **2 Wärmeerzeugungsanlagen**

Die Einspeisung in das Sindelfinger Fernwärmenetz erfolgt aus mehreren Anlagen (vgl. Abb. 2). Neben dem Heizkraftwerk der DaimlerChrysler AG, dem Restmüllheizkraftwerk und der BHKW-Heizzentrale Badezentrum ist seit Januar 2005 das Spitzenlastheizwerk Eichholz in den Wärmeverbund integriert. Insgesamt steht zur Wärmeauskopplung eine Leistung von rund 56 MW zur Verfügung. Die maximale Wärmelast im Fernwärmenetz liegt derzeit bei ca. 35 MW liegen.

Das HKW der DaimlerChrysler AG ist ein typisches Industriekraftwerk für die Prozessdampfversorgung des Werkes Sindelfingen. Der Primärdampf mit 110 bar wird über mehrere Dampfturbinen auf die erforderlichen Druckstufen (3, 12 und 24 bar) entspannt. Das Fernwärmenetz der Stadtwerke wird aus der 3 bar Schiene gespeist. Als Brennstoff wird Erdgas eingesetzt.

Das Restmüllheizkraftwerk Böblingen ist seit Mai 1999 in Betrieb. Die Energie aus der Müllverbrennung wurde bislang lediglich zur Stromerzeugung genutzt, eine Wärmenutzung fand nicht statt und wurde erst im Rahmen des Projektes umgesetzt.

**Abbildung 2: Aufbau des Fernwärmenetzes in Sindelfingen**



**Tabelle 1: Übersicht über die Anlagentechnik Erzeugungsanlagen**

	HKW DaimlerChrysler AG	Restmüll-HKW	BHKW Badezentrum	Spitzenlast- Heizwerk
Brennstoff im Regelbetrieb	Erdgas	Müll 140.000 t Nennl.	Deponiegas und Erdgas	Erdgas, Heizöl
KWK-Technik	Dampfturbinen	Dampfturbinen	Gasmotor	----
elektr. Leistung KWK-Betrieb	81 MW <sub>el</sub>	12 MW <sub>el</sub>	2 x 235 kW <sub>el</sub> *) 1 x 265 kW <sub>el</sub>	----
Wärmeleistung	ca. 240 MW	ca. 48 MW	1,5 MW BHKW insg. 4 MW <sub>th</sub>	10 MW
elektr. Nutzungsgr. Gesamtnutzungsgr.	17 % 90 %	---	29 % 85 %	----
nutzbare Wärmeleistung für Fernwärme	30 MW Warmwasser 25 MW Dampf	25 MW davon 12,5 MW für Sindelfingen	4 MW	10 MW
*) Deponiegasbetrieb				

Im Zuge des Fernwärmeausbaus wurde im Oktober 2002 auch eine Wärmeinsel mit rund 6 MW Anschlussleistung, die bislang aus einer BHKW-Heizzentrale versorgt wurde, in das zentrale Fernwärmenetz eingebunden. Das Motor-BHKW bleibt weiter in Betrieb und wird zukünftig vorwiegend mit Deponiegas aus der nahegelegenen Mülldeponie betrieben (EEG-Stromerzeugung). Zusätzlich stehen noch Spitzenlastkessel zur Verfügung.

**Abb. 3: Heizkraftwerk der DaimlerChrysler AG in Sindelfingen**



**Abb. 4: Fernwärmeanbindung an das Restmüllheizkraftwerk Böblingen**



### **3 Fernwärmetechnik**

#### **Wärmeauskopplung Heizkraftwerk DaimlerChrysler AG**

Im Januar 2001 begann die Wärmelieferung aus dem Heizkraftwerk in das Sindelfinger Fernwärmenetz. Eine technische Besonderheit bei der Wärmeauskopplung ist der Energietunnel mit 210 m Länge, der von den Stadtwerken zur Unterquerung eines Teils des Werksgeländes und eines Autobahnzubringers errichtet wurde. Der Tunnel mit einem Durchmesser von 2,2 m wurde in einem Pressverfahren erstellt und führt die beiden Dampf- und Kondensatleitungen für die Belieferung des Dampfkunden sowie die Fernwärmever- und -rücklaufleitung in DN 300. Im Übergabeschacht des Tunnels sind zwei Wärmetauscher mit je 15 MW Leistung zur hydraulischen Entkopplung des Fernwärmenetzes untergebracht. Die Investitionen für die Auskopplung und den Energietunnel betragen ca. 3,0 Mio. Euro.

#### **Wärmeauskopplung Restmüllheizkraftwerk (RMHKW)**

Seit Oktober 2002 erfolgt die Wärmelieferung aus dem RMHKW in das Sindelfinger Netz. Für die Wärmeauskopplung im RMHKW waren Investitionen von ca. 1,5 Mio. Euro erforderlich. Die Anbindung an das Fernwärmenetz in DN 250 hat eine Länge von etwa 4 km und verläuft größtenteils durch ein Waldgebiet, es war aber auch eine Pressung unter einer Eisenbahnlinie erforderlich. Für die Anbindung an das Netz waren Investitionen von rund 2,5 Mio. Euro erforderlich. Die Einbindung nach Böblingen erfolgt über eine rund 4,5 km lange Trasse in das bereits vorhandene Fernwärmenetz.

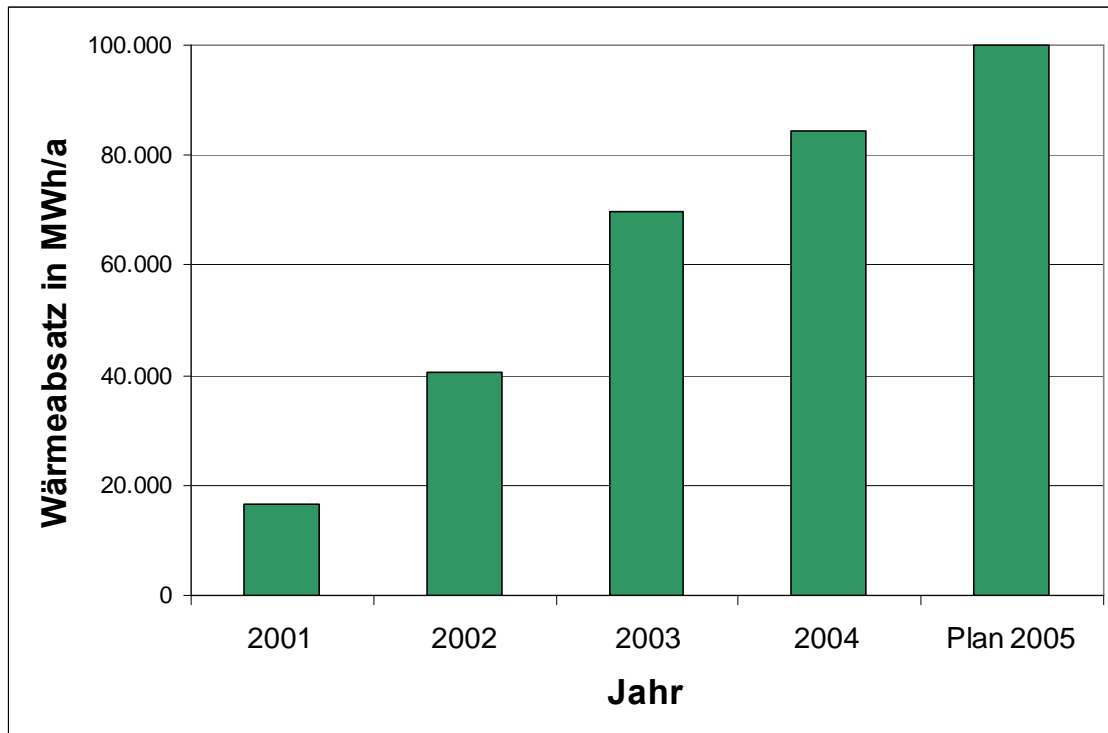
#### **Wärmenetz, Übergabestationen**

Bis Ende 2005 werden rund 17,5 km Fernwärmeleitungen verlegt. Die Ausführung erfolgt überwiegend in DN 250. Zum Einsatz kommen Kunststoffmantelrohre (KMR) mit eingebauter Lecküberwachung (Kupferdrahtsensorik oder Nickel-Chrom-Überwachungssystem) verschiedener Hersteller (ISOPLUS Fernwärmetechnik, Lögstör Rör GmbH, BRUGG Rohrsysteme). Die Vorlauftemperatur im Netz wird über die Außentemperatur gleitend zwischen 110- und 90 °C geregelt.

Bei den Kompakt- bzw. Primärstationen kommen verschiedene Fabrikate der Hersteller F & G Fernwärme-Übergabestationen Bau GmbH, REBARO GmbH Fernwärmetechnik und Anlagenbau, MB – Brassens Fernwärmetechnik GmbH zum Einsatz.

## 4 Wärmekunden

Im Endausbau des Fernwärmenetzes wird eine Anschlussleistung von etwa 61.000 kW und ein Wärmeabsatz von 100.000 MWh angestrebt. Das entspricht etwa 15 % des Sindelfinger Raumwärmebedarfs /1/. Von diesem Absatzziel sind bereits 90 % vertraglich abgesichert. Im Jahr 2004 betrug der Wärmeabsatz bereits 84.000 MWh und konnte gegenüber 2001, dem ersten Jahr der Fernwärmelieferung, um das 5-fache erhöht werden.



**Abb. 5: Entwicklung des Fernwärmeabsatzes im Innenstadtnetz**

Aufgrund vertraglicher Vereinbarungen werden bis 2005 in Sindelfingen 130 Objekte mit Fernwärme beliefert, wobei überwiegend größere Wärmekunden gewonnen werden konnten. Das ergibt sich auch aus der Siedlungsstruktur der mit Fernwärme erschlossenen Gebiete, wo größere Wohnanlagen ab 20 WE sowie Gewerbe- und Dienstleistungsunternehmen anzutreffen sind.

Die Heizleistung der 90 Wohnobjekte schwankt im unteren Leistungsbereich zwischen 50 kW und 100 kW. Objekte in diesem Leistungsbereich werden nur angeschlossen, wenn sie unmittelbar an der Hauptleitung liegen. Im oberen Leistungsbereich handelt es sich um Objekte zwischen 1.000 und 1.800 kW.

Neben der klassischen Fernwärmelieferung wurden bei einigen größeren Heizzentralen umfangreichere Contracting-Vereinbarung bezüglich des Betriebes der

kompletten Heizzentrale inklusive Verteiler, Pumpen und Warmwasserbereitung realisiert. Die Kunden werden in diesen Fällen komplett von den Investitions- und Betriebsaufgaben im Heizraum entlastet.

Bei den 26 öffentlichen fernwärmeversorgten Einrichtungen handelt es sich um nahezu sämtliche städtischen Liegenschaften entlang der Fernwärmetrasse. Das sind Schulen, Kindergärten, aber auch das Rathaus, die Feuerwache, das städt. Krankenhaus oder das Badezentrum. Die durchschnittliche Wärmeleistung liegt bei etwa 850 kW je Objekt.

Von großer Bedeutung für den Fernwärmeausbau sind auch die gewerblichen Kunden, da hier mit durchschnittlich 800 kW je Objekt ebenfalls sehr große Wärmeverbraucher erschlossen werden konnten. Typische Objekte sind Büro- und Geschäftshäuser oder große Einkaufszentren wie das „Breuningerland“ Sindelfingen oder das innerstädtische Einkaufszentrum „Stern-Center“.

**Tabelle 2: Kundenstruktur in 2005 Fernwärme-Innenstadt**

Objekttyp	Anzahl Objekte	Leistung in kW
Wohnanlagen	90	19.000
öffentliche Einrichtungen	26	23.000
Gewerbe, Handel, Dienstleist.	14	11.000
Summe	130	53.000

Neben den Heizwärmekunden wurde bis Mitte 2003 auch ein Industriekunde mit 25 MW über eine rund 500 m lange Dampfleitung beliefert. Mittlerweile hat der Kunde jedoch die Geschäftstätigkeit eingestellt und die Dampflieferung wurde stark reduziert.

Weitere Absatzpotentiale mit einer Anschlussleistung bis zu 50 MW ergeben sich durch die mögliche Erschließung des „Flugfeldes“ auf Böblinger und Sindelfinger Gemarkung. Hier soll ein neuer Stadtteil mit hochwertiger Mischnutzung entstehen. Durch die günstige Lage neben dem Werksgelände von DaimlerChrysler würde sich eine Versorgung mit Fernwärme anbieten.

## 5 Umweltvorteile des Fernwärmeausbaus

Die in das Fernwärmenetz eingespeiste Wärme wird fast vollständig in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erzeugt bzw. es wird bislang ungenutzte Abwärme nutzbar gemacht. Dadurch trägt das Fernwärmeausbauprogramm der Stadtwerke in beachtlichem Umfang zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung bei.

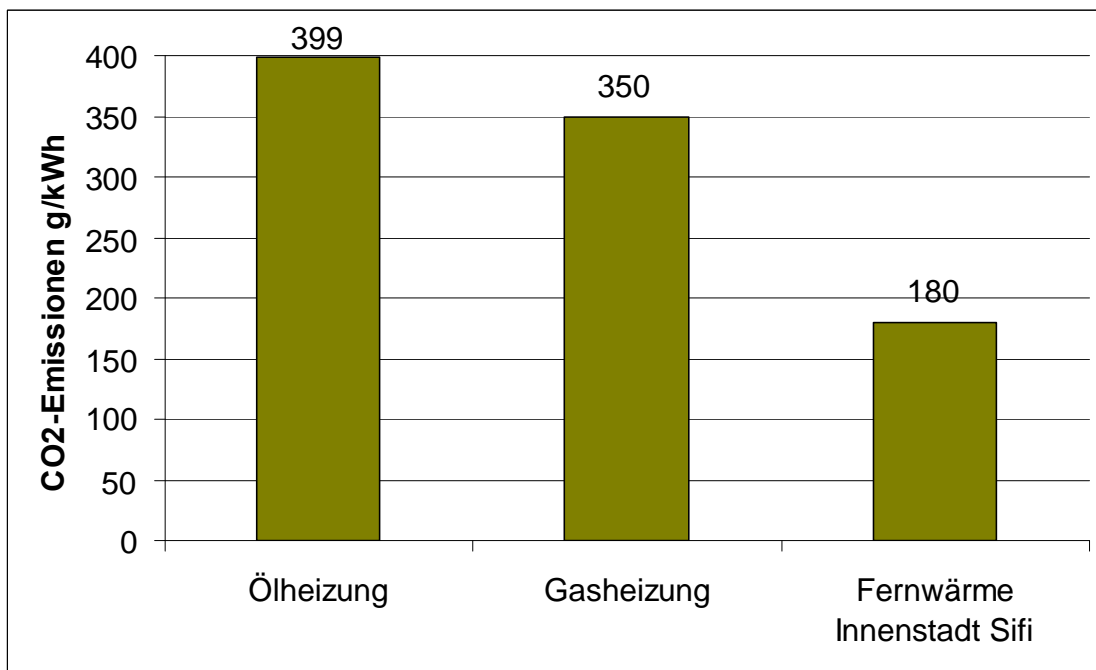
Das Heizkraftwerk von DaimlerChrysler arbeitet nach dem Prinzip der **Kraft-Wärme-Kopplung** (KWK) und wandelt den eingesetzten Brennstoff sowohl in Strom als auch in Heizwärme um. Der Gesamtwirkungsgrad, das ist die nutzbare Energie (Strom und Wärme) bezogen auf den Brennstoffeinsatz, beträgt rund 90 %. Da es sich um ein rein wärmegeführtes Kraftwerk handelt, wird die gesamte Wärmeauskopplung in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Mit den Kraftwerkskenn-daten und unter Berücksichtigung des eingesetzten Brennstoffs Erdgas beträgt der CO<sub>2</sub>-Faktor der Nutzwärme aus dieser Anlage rund 253 g/kWh (Tabelle 3). Dabei wird die Stromerzeugung der KWK-Anlage mit dem mittleren deutschen Kraftwerksmix als Gutschrift bewertet.

Im Restmüllheizkraftwerk Böblingen wurde die Energie aus der Müllverbrennung bislang nur zur Stromerzeugung verwendet und die Abwärme über den Kühlturm ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Das änderte sich durch die Wärmeauskopplung grundlegend - die Abwärme wird jetzt nutzbringend verwendet und ersetzt Öl- und Gaseinzelheizungen. Bei der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung wurde berücksichtigt, dass durch die Wärmeauskopplung aufgrund der Turbinenauslegung die Stromerzeugung abnimmt. Dieser Stromverlust wird mit dem CO<sub>2</sub>-Faktor des durchschnittlichen deutschen Kraftwerksparkes bewertet. Der CO<sub>2</sub>-Faktor der Fernwärme aus dem RMHKW ergibt sich damit zu 165 g/kWh<sub>Nutzw.</sub> (Tabelle 3).

Aufgrund der bisherigen Auslastungsdaten im Wärmenetz ist davon auszugehen, dass die Wärmeeinspeisung zu rund 60 % aus dem Restmüllheizkraftwerk, zu 37,5 % aus der DaimlerChrysler Anlage und zu 2,5 % aus dem Deponiegas-BHKW erfolgen wird. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor der Fernwärme von 180 g/kWh<sub>Nutzw.</sub>, wobei der Brennstoff der Deponiegasanlage als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet wird. Im Vergleich dazu liegt der CO<sub>2</sub> Faktor von durchschnittlichen Bestandsanlagen bei Ölkesseln bei 399 g/kWh<sub>Nutzw.</sub> (Jahresnutzungsgrad 77 %) und bei Gaskesseln bei 350 g/kWh<sub>Nutzw.</sub> (Jahresnutzungsgrad 81 %) /1/. Im Mittel beträgt die CO<sub>2</sub>-Einsparung der Fernwärme im Vergleich zu Öl- und Gaskesseln rund 50 %.

**Tabelle 3: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (bezogen auf 1 kWh Nutzwärme)**

	Heizkraftwerke DaimlerChrysler	Restmüll-Heizkraftwerk Böblingen
Nutzwärme beim Kunden	1,00 kWh	1,00 kWh
Wärmeeinspeisung ab Kraftwerk 1a)	1,11 kWh	1,11 kWh
Nutzungsgrad thermisch / elektr.	73 % / 16,5 %	---
Stromverlustkennziffer	---	0,19 kWh <sub>el</sub> /kWh <sub>th</sub>
Brennstoffbedarf	1,52 kWh <sub>Br</sub>	-----
KWK-Stromerzeugung 1b) Stromeinbuße 1b)	0,24 kWh <sub>el</sub> -----	----- 0,22 kWh <sub>el</sub>
CO <sub>2</sub> -Emissionen je Nutzwärme 2) Stromgutschrift 3)	430,8 gCO <sub>2</sub> /kWh 177,7 gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>	----- -----
CO <sub>2</sub> -Emissionen des Stromverlustes durch Wärmeauskopplung 3)	----	164,5 gCO <sub>2</sub> /kWh
Emissionsfaktor	253 gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>Nutzwärme</sub>	164,5 gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>Nutzwärme</sub>
1a) Netzverluste von durchschnittlich 10 % berücksichtigt		
1b) Pumpstrombedarf mit 1 % der Wärmeeinspeisung berücksichtigt		
2) Emissionsfaktor Brennstoff Erdgas = 283,3 g/kWh <sub>Br</sub> (CO <sub>2</sub> -Äquivalente ab Bohrloch)		
3) bewertet mit Emissionsfaktor 741,2 gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub> (Kraftwerksmix Deutschland)		



**Abb. 3: CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Heizsysteme je 1 kWh Nutzwärme**

**Tabelle 4: CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den Fernwärmeausbau (Endausbau)**

Wärmeabsatz	100.000 MWh
Brennstoffverbrauch Einzelheizungen (Öl- und Gaskessel, eta=77/81%)	126.000 MWh
CO <sub>2</sub> -Emissionen mit Einzelheizungen	36.900 t CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> Emissionen Fernwärme	18.100 t CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> Einsparung durch Fernwärme	<b>18.800 t CO<sub>2</sub></b> 51 %
(CO <sub>2</sub> -Emissionen in Äquivalenten, gesamte Brennstoffketten, Gas=283,3g/kWh <sub>Br</sub> , HEL=306,9 g/kWh <sub>Br</sub> ) Fernwärme, 37,5% der Wärme aus DaimlerChrysler-HKW, 60 % aus Restmüll-HKW, 2,5 % aus Deponiegas-BHKW verdrängt 40 % Anteil Heizöleinzelfeuerung, 60 % Gaseinzelfeuerung	

Im Sinne einer nachhaltigen Energieversorgung können durch den Fernwärmeausbau in Sindelfingen bedeutende Beiträge zur CO<sub>2</sub>-Minderung wirtschaftlich erschlossen werden. Im angestrebten Fernwärme-Endausbau mit ca. 100.000 MWh Absatz im Raumwärmebereich werden in bisherigen Einzelfeuerungen jährlich rund 5,2 Mio. Liter Heizöl und 7,4 Mio. m<sup>3</sup> Erdgas eingespart. Verglichen mit Gas- und Ölkesselanlagen (mittl. Bestand) bedeutet das eine Reduktion an klimarelevanten Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) von ca. 19.000 t pro Jahr (Tabelle 4).

Verglichen mit dem Sindelfinger CO<sub>2</sub>-Ausstoss im Bereich Raumwärme des Jahres 1999 in Höhe von 232.000 t beträgt die CO<sub>2</sub>-Einsparung also rund 8 % /1/. Sollte es zu einer Optimierung des Heizkraftwerkes der DaimlerChrysler AG durch Vorschalten von Gasturbinen kommen, ließe sich der elektrische Wirkungsgrad der Anlage und damit auch die CO<sub>2</sub>-Einsparung der Fernwärme noch deutlich steigern.

**Literatur:**

/1/ Klimaschutzkonzept Sindelfingen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart, März 2001