

An aerial photograph of Frankfurt, Germany, taken at dusk. The city lights are visible against the twilight sky. In the foreground, a large industrial facility, likely a power plant, is illuminated with warm orange and yellow lights. A prominent tall, cylindrical chimney stands on the left side of the plant. The city extends into the distance, with various buildings and streets lit up.

## Strom und Wärme aus Heizkraftwerken in Frankfurt

Unsere zuverlässige  
Energieversorgung für  
die Rhein-Main-Region





Seite 3	Strom – die alltäglichste Sache der Welt
Seite 4	Von den Anfängen der öffentlichen Frankfurter Stromversorgung
Seite 7	Aktuelle Infrastruktur der Strom- und Wärmeversorgung – Daten und Fakten
Seite 8	Wie ein Heizkraftwerk funktioniert
Seite 9	Kraft-Wärme-Kopplung – ökonomisch und ökologisch ein Gewinn
Seite 10	Modernste Kraftwerkstechnik schont Energieressourcen und Umwelt
Seite 11	HKW West
Seite 18	HKW Mitte (Allerheiligenstraße)
Seite 19	HKW Messe
Seite 20	HKW Niederrad
Seite 22	Heiz-Kälte-Werk Fraport
Seite 24	MHKW Nordweststadt
Seite 26	Blockheizkraftwerke und Mikrogasturbine
Seite 27	Biomasse-Kraftwerk Fechenheim
Seite 28	Die Standorte der Mainova Kraftwerksanlagen
Seite 30	KMS – Kraftwerks-Management-System

*Abb. links: Umspannwerk Süd – eine der Kuppelstellen, an der sowohl hochgespannter Fremdstrom transformiert und ins Frankfurter Netz eingespeist als auch der an der Leipziger Börse verkaufte „Frankfurter Strom“ ins überregionale Verbundnetz eingestellt wird.*

*Abb. rechte Seite: In einem unterirdischen Schacht verläuft die 18-bar-Fernwärmeleitung zwischen dem HKW Messe (Fotostandort) und dem HKW West und unterquert dabei das Gleisvorfeld des Frankfurter Hauptbahnhofs.*

## Wir sind von hier

Seit 110 Jahren wächst Frankfurts Strom- und Wärmeversorgung kontinuierlich mit den vielfältigen Bedürfnissen ihrer Kunden. Jahr für Jahr investiert Mainova hohe Millionenbeträge in den Ausbau und die Optimierung der

Radiowecker, elektrische Zahnbürste, Föhn, Kaffeemaschine, Toaster, Eierkocher – die Auswahl elektrischer Geräte, die alleine in der ersten halben Stunde nach dem Aufstehen zum Einsatz kommen, ließe sich beliebig erweitern. Dass der Strom aus der Steckdose kommt und dass das Licht angeht, wenn der entsprechende Schalter betätigt wird, ist normalerweise den wenigsten einen Gedanken wert. Fällt er allerdings einmal für eine kurze Zeit aus, wird schnell deutlich, wie wichtig Strom für das Funktionieren unseres Alltags ist.

Natürlich wissen Sie, dass Strom nichts anderes darstellt als eine vielfältig nutzbare Energieform, die überwiegend durch Umwandlung thermischer Energie (z. B. in fossilen Brennstoffen) bzw. kinetischer Energie (z. B. von Wasser- und Windkraft) produziert wird. Aber: Wie wird aus der im Ruhrgebiet geförderten Steinkohle, aus dem aus der Nordsee oder der Barentssee nach Frankfurt gepumpten Erdgas die Energie, mit dem sich Computer, Waschmaschine und Pürrierstab betreiben lassen? Was ist alles nötig, damit zuhause auf Knopfdruck das Licht angeht?

Auf den folgenden Seiten möchten wir Sie gerne etwas über die unterschiedlichen Bereiche informieren, die bei der Strom- und Wärmeerzeugung reibungslos zusammenspielen müssen, und Ihnen die in unseren Heizkraftwerksanlagen eingesetzte Technik etwas näherbringen. Das Spektrum reicht dabei von den Anfängen der öffentlichen Energieversorgung in Frankfurt, als „Umweltbewusstsein“ und „Klimawandel“ noch Fremdworte waren, über den Aspekt der Versorgungssicherheit bis hin zu zukunftsweisenden Projekten. Denn mit dieser Broschüre wollen wir vor allem auch aufzeigen, wie Mainova sich als Energieversorger seiner Verantwortung stellt und bei der Verwirklichung von Klimaschutz-Zielen mit beispielhaften und ressourcenschonenden Innovationen und Lösungen vorangeht.



Erzeugungsanlagen samt zugehöriger Infrastruktur und fördert innovative Technologien. Damit Versorgungssicherheit, Klimaschutz und ein verantwortungsbewusster Umgang mit den Ressourcen auch in Zukunft gewährleistet sind.

# Von den Anfängen der öffentlichen Frankfurter Stromversorgung



Mit seiner Erfindung der Glühlampe revolutioniert Edison die Straßenbeleuchtung. Er gibt damit auch in Europa den entscheidenden Anstoß für den Aufbau öffentlicher Stromversorgungen. 1881 formiert sich in Frankfurt die „Elektrotechnische Gesellschaft“, um Forschungsarbeiten über die Anwendung der Elektrizität in Industrie und Technik zu unterstützen.

1886 beginnt man in Frankfurt über den Bau eines zentralen Elektrizitätskraftwerkes zu diskutieren. Dabei kommt es zu einem langjährigen Disput über die Frage, ob Gleichstrom\*, einphasiger\*\* oder dreiphasiger Wechselstrom (= Drehstrom, Seite 8/9) vorzuziehen sei. Leopold Sonnemann, Herausgeber der Frankfurter Zeitung, greift mit einer genialen Idee in diesen so genannten Frankfurter Systemstreit ein. Angeregt durch die Pariser Weltausstellung, schlägt er der Elektrotechnischen Gesellschaft das Projekt einer internationalen elektrotechnischen Ausstellung vor. Hier könnten die konkurrierenden Stromsysteme vor einer breiten Öffentlichkeit ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen.

## Technische Meisterleistung: Erstmals fließt Strom über eine Strecke von 175 km

Begeistert greift man seinen Vorschlag auf. Die Ausstellung entsteht auf dem Gelände des ehemaligen Rhein-Neckar-Bahnhofs; von Mai bis Oktober 1891 werden rund 1,2 Millionen Besucher aus aller Welt gezählt. Technischer Höhepunkt ist die Demonstration einer wirtschaftlichen Übertragung von Hochspannungs-Drehstrom. Erzeugt wird er im 175 km entfernten Zementwerk Lauffen am Neckar von einem durch eine Wasserturbine angetriebenen Drehstromgenerator. Der Lauffener Strom bringt am Eingang der Ausstellung 1.000 Lampen zum Glühen und treibt eine 100 PS starke Pumpe an, die einen rund 7 m hohen Wasserfall speist.

\* Gleichstrom nur für kurze Übertragungswege geeignet, da hohe Transportverluste; lässt sich jedoch in Batterien speichern, die Stromproduktion kann zeitweilig aussetzen

\*\* einphasiger Wechselstrom gegenüber Gleichstrom weniger Transportverlust; hat als Niederspannungsstrom nur 123 Volt, kein Anschluss an überregionales Verbundnetz möglich



4 Kraftwerk West in der Gutleutstraße um 1895



Maschinenraum des Kraftwerks West um 1895

Abb. rechts: 1901 hat Frankfurt die größte Dampfturbine der Welt; ihre Leistung beträgt 3.000 PS.

Dennoch setzt man in Frankfurt zunächst auf den einphasigen Wechselstrom. Nach jahrelangen Verhandlungen fällt die Entscheidung zur Errichtung eines eigenen Kraftwerkes – eine „elektrische Centralanstalt für Beleuchtung und Arbeitsübertragung auf Grund des Wechselstrom-Transformatorsystems mit Sekundärnetz“. Am 12. Oktober 1894 wird in der „Centrale“ des ersten öffentlichen Frankfurter Elektrizitätswerkes, am Standort des heutigen Heizkraftwerkes West in der Gutleutstraße, erstmals Strom mit einer Leistung von 2.000 kW erzeugt.

Vier Tage später fließt der Strom durch das damals rund 60 km lange Frankfurter Versorgungsnetz. Eine Kilowattstunde des so genannten Lichtstroms kostet 80 Pfennig.



Um den rasant ansteigenden Strombedarf zu decken, geht die Stadt schon kurz nach der Jahrhundertwende neue Wege. Als Ersatz für die schwerfälligen Kolbendampfmaschinen, die nur ungefähr 4 Prozent der Brennstoffenergie in Strom umsetzen und eine maximale Nutzleistung von 500 kW erbringen, gibt Frankfurt die bis dahin größte Dampfturbine der Welt mit einer Leistung von 3.000 PS (2.200 kW) in Auftrag. Bis 1908 folgen vier weitere Dampfturbinen mit je 3.500 kW Leistung, 1912 kommen zwei Maschinensätze von je 8.000 kW hinzu, so dass die Gesamtleistung zu diesem Zeitpunkt bei rund 32.000 kW liegt.

### Und dann doch: Drehstrom

Mit der Entscheidung zugunsten von einphasigem Wechselstrom (mit 43,5 Hz) stellt die Frankfurter Stromversorgung für Jahrzehnte eine Art Insellösung dar. 1926 erfolgt die längst fällige Umstellung des Stadtnetzes auf Drehstrom mit 50 Hz. Jetzt kann mit PreussenElektra ein erster Fremdstromliefervertrag abgeschlossen werden. Damit ist die kontinuierliche Stromversorgung der Frankfurter Kunden endgültig gewährleistet. In den Jahren 1926 bis 1930 wird die Kraftwerksleistung durch die Aufstellung von zwei weiteren Entnahme-Kondensationsturbinensätzen mit jeweils 16.000 kW verdoppelt.

Ab 1928 wird der Ausbau einer Fernwärmeversorgung vorangetrieben. Zunächst werden die standortnahen Unikliniken und die Hafenbetriebe angeschlossen. Dabei wird ein Teil der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme über die so genannte Kraft-Wärme-Kopplung (Seite 9) in Form von Dampf über eine Leitung zu den Kunden transportiert und dort für Heizzwecke eingesetzt.



1903 arbeiten vier Kolbendampfmaschinen.



Kraftwerk West im Jahr 1920



Abb. links: Mit Fertigstellung des letzten Bauabschnitts von Block 1 (1964) steigt die Leistung des HKW West auf 152 MW.

Mit Frankfurts Aufschwung Anfang der fünfziger Jahre steigt auch der Energiebedarf stark an. Obwohl das Kraftwerk mehr als doppelt so viel Energie als vor dem Krieg erzeugt, muss der Bezug von Fremdstrom kontinuierlich erhöht werden. Es ist an der Zeit, die städtischen Erzeugungskapazitäten zu erneuern und zu erweitern. 1954 wird der erste Bauabschnitt – von insgesamt vier – des Heizkraftwerks West in Betrieb genommen. Da eine räumliche Ausweitung an diesem Standort nicht möglich ist, müssen die alten Anlagen zuvor demontiert werden. Ersetzt wird der alte Maschinenpark u. a. durch zwei Turbinen mit 10 bzw. 20 MW elektrischer Leistung.

### Kontinuierliche Kapazitätsausweitung

In den folgenden Jahren wird die Leistung des Kraftwerks stufenweise ausgebaut. 1964 steigt der Jahresverbrauch erstmals über eine Milliarde Kilowattstunden; 42 Prozent dieser Abgabemenge

können in eigenen Anlagen erzeugt werden. Es folgen 1989 die beiden baugleichen Blöcke 2 und 3 mit jeweils 61,5 MW. 1994 wird Block 4 errichtet, eine Gasturbinenanlage mit 99 MW.

Bereits 1956 entsteht in der Allerheiligenstraße ein Außenwerk des HKW West mit einer Leistung von 4,0 MW elektrisch und 75 MW thermisch. 1962 wird die Turbinenstation „Wilhelm-Leuschner-Straße“ mit 4,2 MW elektrischer Leistung in Betrieb genommen. Im gleichen Jahr erfolgt die Grundsteinlegung für das HKW Nordweststadt, das 1967 ans Netz geht. Ab 1963 versorgen drei Heizwasserkessel am Kraftwerksstandort Niederrad die Wärmekunden in den benachbarten Vororten; mit der Inbetriebnahme von Block 1 wird 1967 aus dem Heizwerk das Heizkraftwerk Niederrad, das in der Folge in mehreren Schritten erweitert, modernisiert und schließlich 2005 mit einer leistungsstarken Gas- und Dampfturbinen(GuD)-Anlage ausgestattet wird. Ab 1987 liefert das HKW Messe Wärme und zwei Jahre später auch Strom. 1995 nimmt das Heiz-Kälte-Werk Fraport seinen Betrieb auf und wird in den Folgejahren zur größten Anlage ihrer Art in Europa ausgebaut. 2005 entsteht als Gemeinschaftsprojekt mit WISA, einem Unternehmen der Holzentsorgungsbranche, das Biomasse-Kraftwerk Fechenheim.



1954 wird Block 1 in Betrieb genommen.



1956 beträgt die Leistung bereits 68 MW.

# Aktuelle Infrastruktur der Strom- und Wärmeversorgung – Daten und Fakten

<b>Strom</b>	Stand 2006
<b>Kabelnetz</b>	
Hochspannungskabel 110 kV (km)	161
Mittelspannungskabel 10 - 30 kV (km)	2.280
Niederspannungskabel 0,4 kV (km)	2.544
<b>Freileitungen (km)</b>	149
Hausanschluss (km)	607
Beleuchtungskabel (km)	1.516
Hausanschlüsse (Stück)	68.140
Eingebaute Zähler (Stück)	389.860
Stromleuchten (Stück)	62.125
HKWs el. Nettoleistung (MW)	474
BHKWs el. Nettoleistung (MW)	6
<b>Wärme</b>	
Fernwärme-Verteilungsanlagen (km)	155
Anzahl Wärmekunden (Zähler)	23.412
Nahwärme-Verteilungsanlagen (km)	30
Wärmeerzeugung HKWs (MW)	1.057
Wärmeerzeugung BHKWs (MW)	7
<b>Stromabsatz in Mio. kWh</b>	3.439
davon Eigenerzeugung	1.541
davon in Kraft-Wärme-Kopplung	0,664
<b>Wärme-/Kälteabsatz in Mio. kWh</b>	1.844
Haushalte und Kleingewerbekunden	520
Großkunden (inkl. Dampfverkauf)	1.215
Kältelieferung Flughafen	109

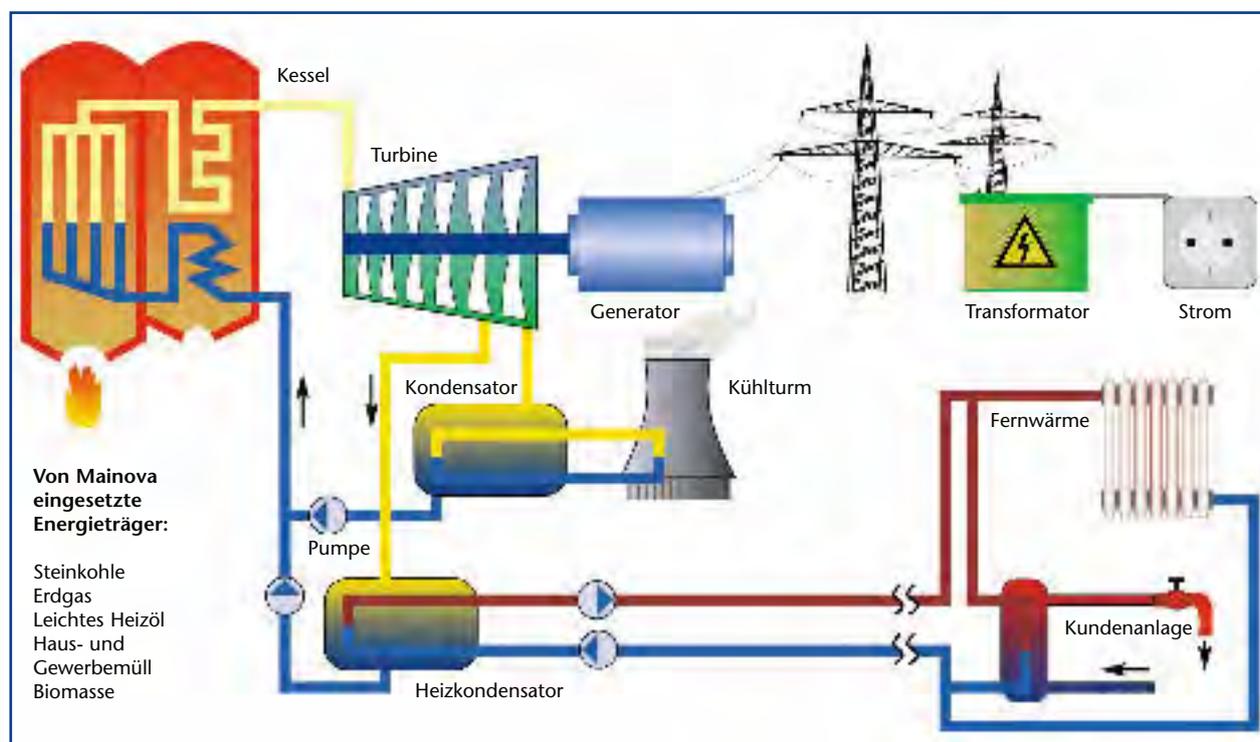


## Wie ein Heizkraftwerk funktioniert

Durch das Verbrennen eines Energieträgers – in den Heizkraftwerken von Mainova sind dies in erster Linie Erdgas, fein gemahlene Steinkohle, Hausmüll- und Gewerbeabfall, Holzabfälle und Grünschnitt oder, als Reserve-Brennstoff, Heizöl – in einem Heizkessel verwandelt sich das in einem Rohrsystem eingeschlossene chemisch gereinigte und entmineralisierte Speisewasser in Dampf. Dieser wird mit hohem Druck auf die Schaufeln einer Turbine geleitet, die den Generatorläufer im Generator antreibt. Der so erzeugte Drehstrom hat eine Frequenz von 50 Hertz und wird über Blocktransformatoren hochgespannt und via Umspannwerk ins Stromnetz eingespeist.

Die Besonderheit eines Heizkraftwerkes besteht darin, dass ein Teil der Dampfmenge nicht wieder in den Dampfkreislauf zurückgeleitet, sondern ausgekoppelt und in ein Ferndampfnetz eingespeist wird. Dabei hat der ursprünglich mit 140 bar in die Turbine eingetretene Dampf immer noch einen Druck von 18 bar. Auf dem Weg zu den Heizanlagen der Kunden wird er erneut über Turbinen geleitet, wo er zur weiteren Stromerzeugung eingesetzt wird und sich dabei auf 3,5 bar entspannt. Bei Mainova geschieht dies in der Turbinenstation „Wilhelm-Leuschner-Straße“ sowie in den Heizkraftwerken Mitte (Allerheiligenstraße) und Messe.

Eine immer häufiger verwendete Alternative zur Fernwärmeversorgung mittels Dampf ist die Versorgung mit Fernheizwasser. Bei dieser Technik wird die Wärmeenergie des ausgekoppelten Dampfes bereits im Heizkraftwerk via Wärmetauscher auf einen Wasserkreislauf übertragen.



## Das Prinzip des Drehstromgenerators

Ein elektrischer Generator besteht aus dem rotierenden Läufer mit einem Feldmagneten und dem feststehenden Gehäuse, dem so genannten Ständer. In einem Drehstromgenerator werden gleichzeitig drei Wechselspannungen erzeugt, wobei die drei kreisförmig angeordneten Induktionsspulen im Ständer um jeweils  $120^\circ$  versetzt sind. Daher erreichen die induzierten Wechselspannungen innerhalb einer Periode (=  $1/50$ stel Sekunde, siehe nebenstehenden Stromkurvenverlauf) zeitlich versetzt ihren Höchstwert.

# Kraft-Wärme-Kopplung – ökonomisch und ökologisch ein Gewinn

Stellen Sie sich vor, Sie nehmen einen Apfel, beißen zwei-, dreimal hinein und werfen den Rest einfach weg ... Dies beschreibt in etwa den Umgang großer, auf Stromerzeugung ausgelegter Kondensationskraftwerke mit dem von ihnen eingesetzten Brennstoff. Je nach Kraftwerkstyp bleibt mehr als die Hälfte der Energie ungenutzt und wird in Form von Abwärme über Kühltürme an die Umwelt abgegeben. Im Gegensatz hierzu wird bei der Kraft-Wärme-Kopplung – um bei dem eingangs erwähnten Beispiel zu bleiben – der Apfel, bis auf einen kleinen Rest, nahezu vollständig verzehrt: KWK-Anlagen produzieren neben Strom auch Wärme und erreichen, je nach eingesetzter Technik, einen Brennstoffnutzungsgrad von bis zu 90 Prozent.

## KWK-Vorteile im Überblick

- Heizkraftwerke produzieren verbrauchsnahe und speisen ihre Leistung (Strom und Wärme) in räumlich konzentrierte Versorgungsnetze ein.
- Da ein guter Teil der Stromkosten auf Transport und Verteilung entfällt, sorgen kurze Transportwege für ein günstigeres Preisniveau.
- KWK-Anlagen gewinnen aus 100 Prozent fossiler Primärenergie bis zu 90 Prozent Nutzenergie (Strom, Heiz- und Prozesswärme).
- KWK trägt entscheidend zur Reduzierung klimaschädlicher Emissionen, vor allem CO<sub>2</sub>, bei.
- KWK nutzt einen Teil der Primärenergie, die zur Wärmeversorgung von Privathaushalten eingesetzt werden muss, zusätzlich zur Stromerzeugung; Strom stellt sozusagen ein hochwertiges „Abfallprodukt“ aus der Wärmeerzeugung dar.
- Wärmeversorgung durch KWK-Anlagen macht Einzelfeuerungsanlagen und Hauskamine überflüssig und erspart der Umwelt deren ungefilterte und mit Schadstoffen belastete Abgase.

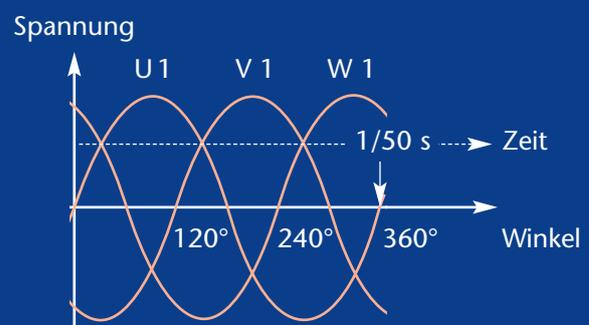
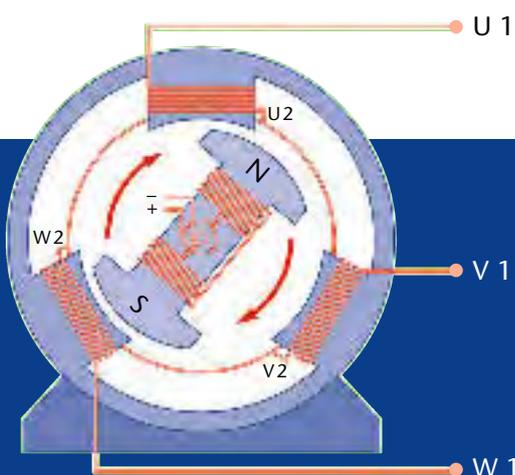
## Vielfältige Einsatzmöglichkeiten

KWK-Anlagen kommen idealerweise überall dort zum Einsatz, wo Fern- und Nahwärmesysteme vorhanden sind, die eine flächendeckende, aber auch punktuelle Wärmeversorgung ermöglichen:

- zur Bereitstellung von Prozesswärme für Industrie und Gewerbe, Landwirtschaft und Gartenbau
- zur Wärmeversorgung einzelner Wohn- und Bürogebäude, Kaufhäuser oder öffentlicher Einrichtungen wie z. B. Schwimmbäder oder Krankenhäuser
- zur gleichzeitigen Wärme- und Stromversorgung von kompletten Neubaugebieten oder Industrie- und Gewerbeparks durch so genannte Blockheizkraftwerke (BHKW)

## KWK-Anlagen in allen wirtschaftlich sinnvollen Größenordnungen

Die Bandbreite reicht von riesigen Dampfturbinenanlagen mit bis zu mehreren Hundert Megawatt elektrischer Leistung bei gleichzeitiger Wärmeauskopplung über Gasturbinen-Anlagen, die innerhalb weniger Minuten auf Vollast-Betrieb hochgefahren werden können, bis hinunter zu Motor-BHKWs mit 3 kW elektrischer und 10 kW thermischer Leistung und den Ausmaßen einer Haushalts-Waschmaschine.





Rauchende Schornsteine galten noch bis in die sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts als Ausdruck einer florierenden Wirtschaft. Frühe Aufnahmen von Kraftwerken mit qualmenden Schloten lassen nur vage das Ausmaß der Umweltbelastung erahnen, mit der die Strom- und Wärmeenergieerzeugung in ihren Anfangsjahren verbunden war. Zwar wurden die 1928 errichteten Kessel des Kraftwerks West bereits mit Staubabscheidern ausgerüstet, doch gibt es keine aussagefähigen Messergebnisse, die nachträglich Auskunft über deren Wirksamkeit geben könnten.

Mit der Mitte der siebziger Jahre aufkommenden Diskussion über das Waldsterben (Stichwort „Saurer Regen“) und dem wachsenden Umweltbewusstsein in der Bevölkerung rückten auch Forderungen nach wirksamen Emissionsbegrenzungen, vornehmlich für Staub, Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>x</sub>), in den Vordergrund.

Heute sind beim Bau und bei der Modernisierung von Kraftwerksanlagen sowie bei der Erzeugung von Strom und Wärme eine Vielzahl von gesetzlichen Bestimmungen zu befolgen (*siehe untenstehende Tabelle*) und Schadstoff-Grenzwerte einzuhalten. Doch dank des Einsatzes modernster Technik liegen die Emissionswerte der von Mainova betriebenen Heizkraftwerke heute deutlich unter den vom Gesetzgeber festgeschriebenen zulässigen Höchstwerten. So konnten einige Emissionen gegenüber den achtziger Jahren um über 90 Prozent gesenkt werden.

## Im Vordergrund steht die Umwelt

Emission	Gesetzl. Bestimmungen	Behördliche Auflagen
Wärme (Kühlwasser, Kühlluft)	BlmSchG* Wasserhaushaltsgesetz	Kühlverfahren, Wärmelastplan Temperaturnachweis
Schall	BlmSchG, TA Lärm**	Schallschutzgutachten, Schallschutz
Chemische Rückstände (Abwässer)	BlmSchG Wasserhaushaltsgesetz Landeswassergesetz	Neutralisierung, Klärung
CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Staub (im Rauchgas)	BlmSchG, TA Luft*** Großfeuerungsanlagen- Verordnung	Immissionsschutzgutachten, Kamin- höhen, Brennstoffwahl, Entschwefelung, Entstickung, vollständige Verbrennung
Verbrennungs- und Prozess-Rückstände: Asche, Asche-Gips-Gemisch, Schlacke	Abfallbeseitigungsgesetz	Nachweispflicht, Deponie, Wiederverwertung

\* Bundes-Immissionsschutzgesetz \*\* Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm bzw. \*\*\* zur Reinhaltung der Luft

## Klimaschutz hat bei Mainova oberste Priorität

Mit der Auszeichnung „Climate Star 2004“ würdigte das „Klima-Bündnis“, ein Zusammenschluss europäischer Städte und Gemeinden, die Anstrengungen und Erfolge von Mainova und der Stadt Frankfurt auf dem Gebiet des Klimaschutzes. Durch kontinuierlichen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sowie permanente Optimierung ihrer Erzeugungsanlagen leistet Mainova einen vorbildlichen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Jüngstes Beispiel dieses international beachteten Engagements ist das im Herbst 2005 in Betrieb genommene Biomasse-Kraftwerk Fechenheim (*s. auch Seite 27*).



„Frankfurts Wärmedom“ überschreibt die Mainzer Allgemeine Zeitung im August 1989 ihren Artikel über den postmodernen Kraftwerksbau mit seinen markanten rostroten Zwillingstürmen. 1989, knapp zwei Jahre nach der Grundsteinlegung im April 1987, geht das HKW West mit den neuen Blöcken 2 und 3 ans Netz. Sie erzeugen in Kraft-Wärme-Kopplung jeweils 61,5 MW elektrische und 105 MW thermische Leistung. Befeuert werden die Anlagen zurzeit mit deutscher und kolumbianischer Steinkohle. Langfristige Lieferverträge garantieren ein hohes Maß an Versorgungssicherheit.

Zur Sicherung von Spitzenlasten dient Block 4 mit seiner 1994 in Betrieb genommenen Gasturbinenanlage. Sie kann im Bedarfsfall innerhalb weniger Minuten hochgefahren werden und eine elektrische Leistung von 99 MW zur Verfügung stellen. Das 500 °C heiße Rauchgas erzeugt in einem nachgeschalteten Abhitzekessel Dampf, der mit einer Leistung von 160 MW ins Fernwärmenetz der Innenstadt eingespeist werden kann.

*Abb. rechts: Unterer Teil des Sprühabsorbers (Teil der Rauchgasreinigungsanlage) mit Materialabzug für die REA-Rückstandsprodukte*



## Erzeugungskapazitäten HKW West

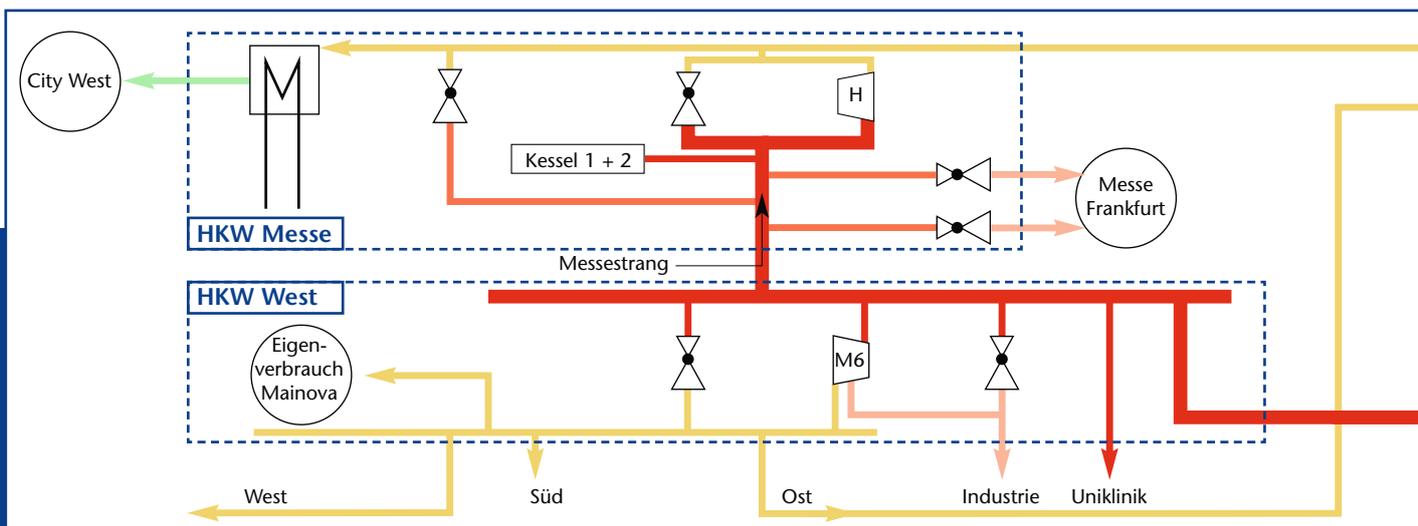
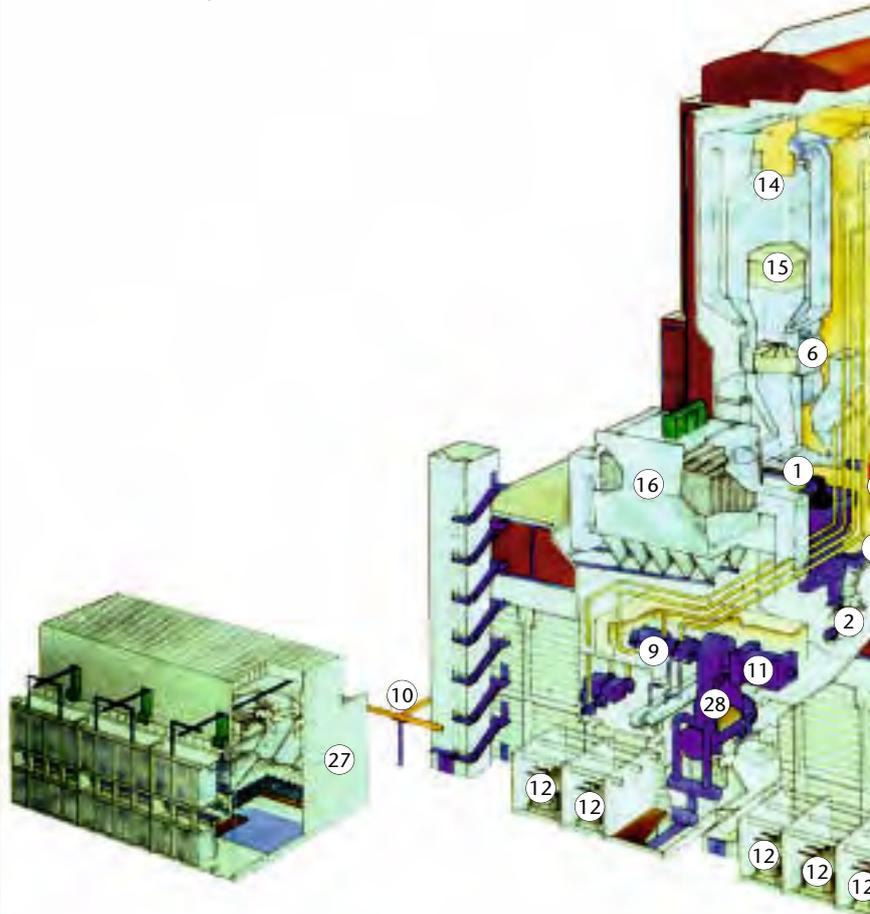
	Baujahr	elektrische Leistung	thermische Leistung
Maschine 4	1953	19,7 MW	
Maschine 6	1956	2,4 MW	
Block 2	1989	61,5 MW	105,0 MW
Block 3	1989	61,5 MW	105,0 MW
Block 4	1994	99,0 MW	160,0 MW

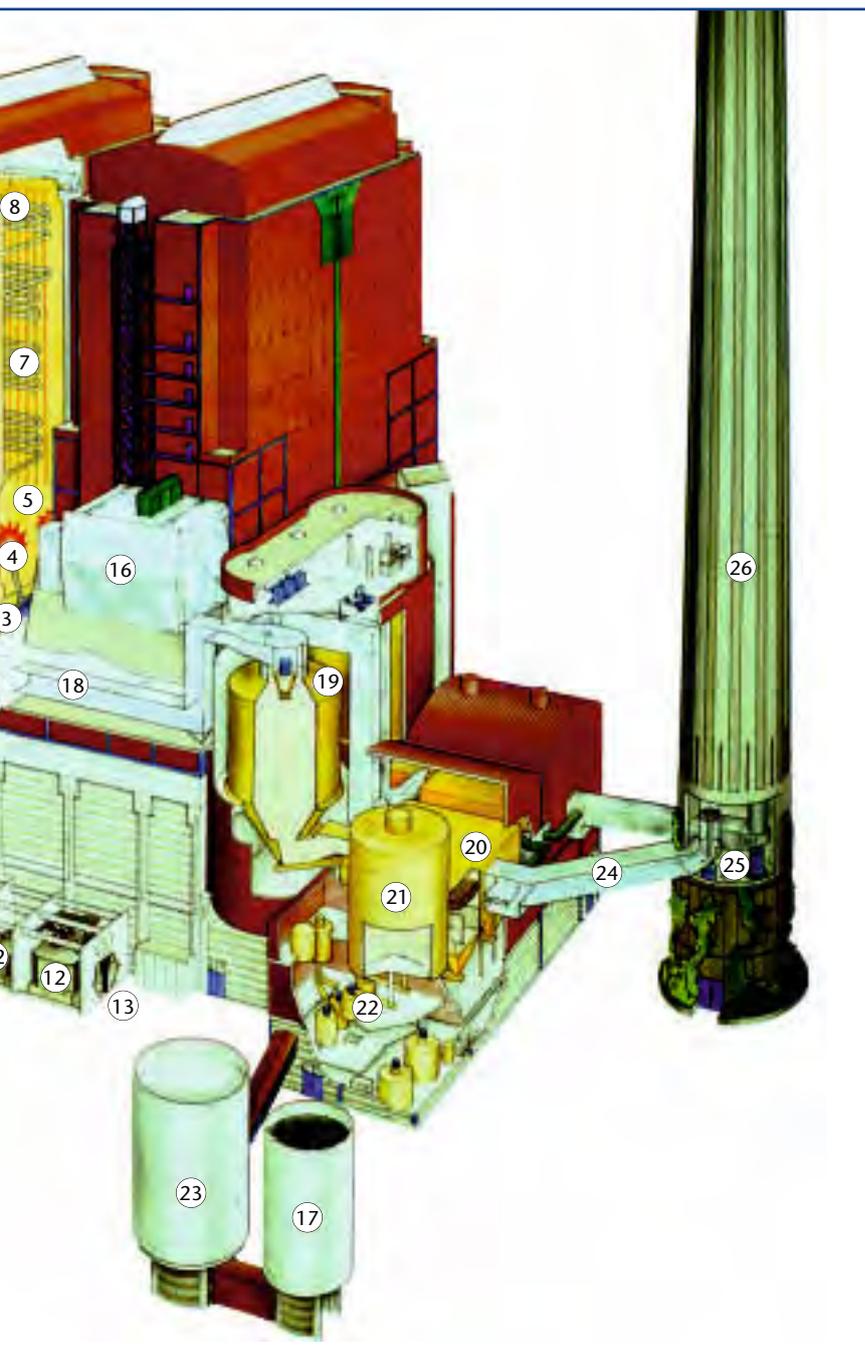


Das HKW West stellt zusammen mit den Außenwerken – HKW Mitte (Allerheiligenstraße), HKW Messe und der Turbinenstation Wilhelm-Leuschner-Straße – einen Verbund dar. Die Fernwärme gelangt über zwei Leitungstrassen ins innerstädtische Dampfnetz (s. Grafik). Eine verläuft unter dem Gleisfeld des Hauptbahnhofs zum Messegelände, die zweite verläuft parallel zum nördlichen Mainufer. Eine separate Leitung (Abb. oben) führt über den Main zum Universitätsklinikum.

Der Fernwärmedampf, der das HKW West mit 18 bar verlässt, wird in den Außenwerken erneut über Turbinen geleitet, wo er unter Erzeugung von Strom auf 3,5 bar entspannt. Mit diesem Druck gelangt der Dampf über das insgesamt 42 km lange Innenstadtnetz zu Kundenanlagen.

## HKW West, Blöcke 2 und 3





## Erläuterungen

- 1 Kohletransportband
- 2 Kohlemühlen
- 3 Kohlestaubleitungen
- 4 Kohlebrenner
- 5 Feuerraum
- 6 Verbrennungsluftvorwärmer
- 7 Kesselheizflächen
- 8 Zwischenüberhitzerrohrbündel
- 9 Dampfturbine
- 10 Fernwärmeausleitung  
= Fernwärmeversorgung
- 11 Generator
- 12 Transformatoren
- 13 Generatorausleitung  
= Stromversorgung
- 14 Entstickungsanlage
- 15 Katalysatorelemente
- 16 Elektrofilter
- 17 Flugaschesilo
- 18 Rauchgaskanal
- 19 Sprühabsorber  
(Rauchgasentschwefelung)
- 20 Schlauchfilter
- 21 Brantkalksilo
- 22 Kalklöschbehälter
- 23 Reststoffbehälter der  
Rauchgasentschwefelungsanlage
- 24 Reingasleitung
- 25 Saugzug
- 26 Schornstein
- 27 Rückkühlanlage
- 28 Kondensator

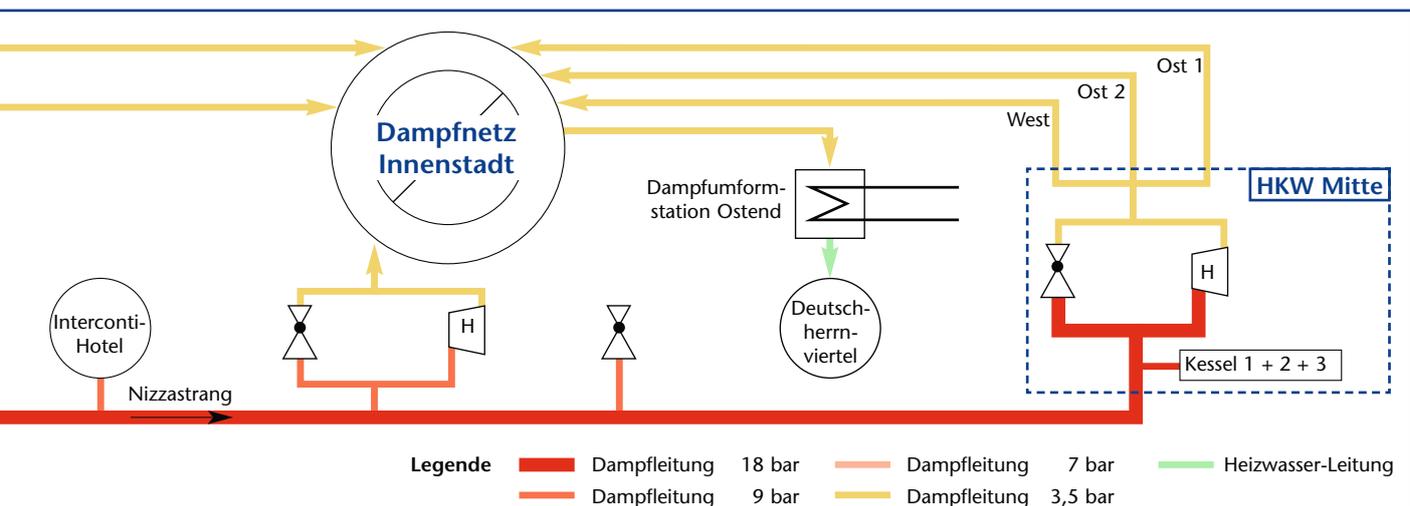
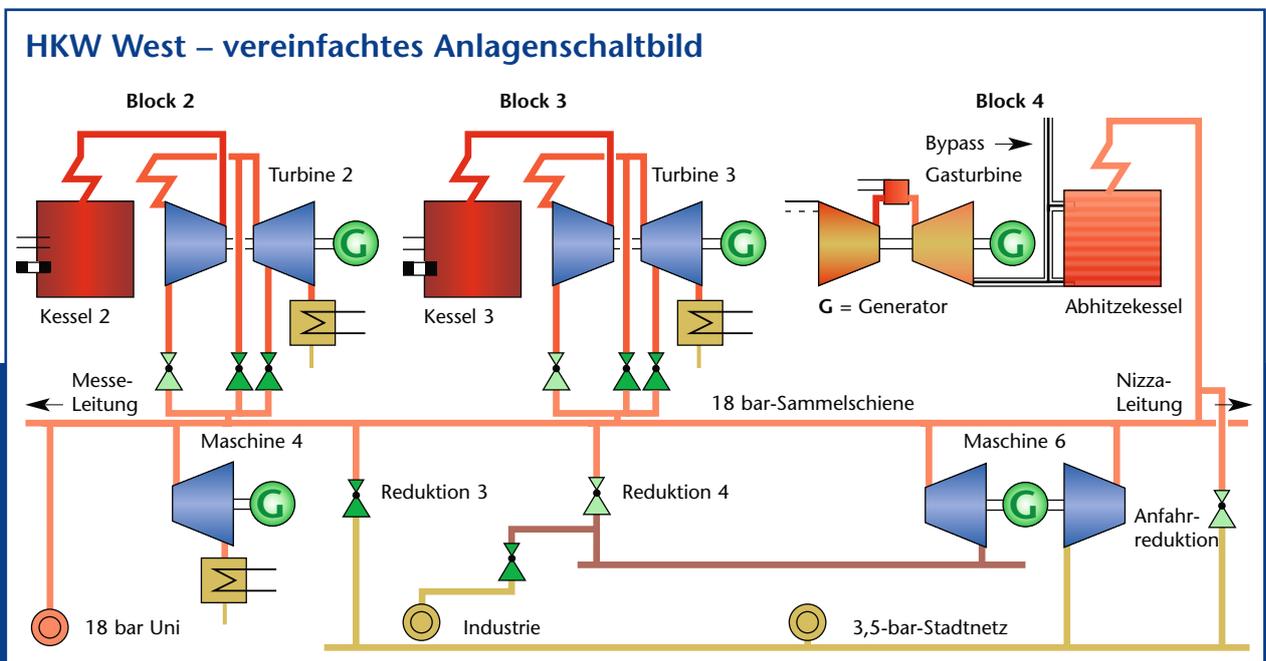




Abb. oben: Blick in die Schaltwarte des HKW West.  
Abb. unten: Jede von über 4.500 Einzelkomponenten ist im Leitsystem abgebildet. Eventuelle Fehlerquellen werden so sofort lokalisiert und behoben.

**Alles im Blick, alles im Griff**

Kraftwerke werden „gefahren“ – inzwischen fast nur noch per Mausklick. Vom Leitstand aus kommuniziert das Fahrpersonal via Prozessrechner mit den verschiedenen Automatisierungssystemen und -ebenen. Sämtliche für die Prozess- und technische Betriebsführung relevanten Informationen laufen an Bildschirmüberwachungsplätzen zusammen. Dabei werden mehrere Tausend Komponenten – Motor- und Stellantriebe, Ventile, Armaturen usw. – mit ihren jeweiligen Betriebszuständen im System abgebildet und können, obwohl Teilprozesse vollständig automatisiert sind, vom Personal erforderlichenfalls direkt angesteuert und beeinflusst werden. Das Zusammenwirken modernster Kommuni-



kations- und Automatisierungstechnologie garantiert den sicheren, störungsfreien und wirtschaftlichen Ablauf des Kraftwerksbetriebes.

### Speisewasser – Betriebsmittel Nr. 1

Ohne Wasser kein Dampf. Um jedoch Korrosionen und Ablagerungen in den Hochdruckkesseln und Turbinen zu vermeiden, ist ein Speisewasser notwendig, das frei ist von Salzen, organischen Substanzen und Korrosionsrückständen. Da im Wasserdampfkreislauf Wasserverluste entstehen, müssen diese kontinuierlich ersetzt werden. Für die Herstellung von Speisewasser werden aus Wasser mit Trinkwasserqualität in so genannten Vollentsalzungsanlagen durch Ionenaustausch alle Salze so weit entfernt, dass nur noch Spuren im Bereich von wenigen  $\mu\text{g/L}$  (Millionstel Gramm pro Liter) vorhanden sind. Wesentliches Qualitätskriterium stellt die Leitfähigkeit dar. Hier werden Messwerte nahe null erzeugt (z. B. Kieselsäure  $\text{SiO}_2$ :  $10\mu\text{g/L}$ , Natrium Na:  $1\mu\text{g/L}$ , Leitfähigkeit:  $0,06\mu\text{S/cm}$ ).

Fernheizdampf kommt vom Kunden als Kondensat in das Heizkraftwerk zurück und ist nicht immer frei von Verunreinigungen. Diese können entstehen durch Luftzutritt, defekte Wärmetauscher und Korrosionsprodukte. Die Aufarbeitung des Kondensats erfolgt zunächst über vorgeschaltete mechanische Filter und anschließend über Ionenaustauscher, um auch hier, wie in der VE-Anlage, restliche Ionen zu entfernen. Die Wasserqualität wird online überwacht.

*Abb. oben: Turbinenkondensatreinigungsanlage, kurz TKR, des HKW West. Abb. rechts: Großrevision im Block 3 – sämtliche Anlagenbestandteile werden akribisch unter die Lupe genommen.*



## Nur sichere Anlagen garantieren eine sichere Versorgung

Da der Maschinenpark eines Kraftwerks während seiner rund 8.000 jährlichen Betriebsstunden extremen Materialbelastungen ausgesetzt ist – allein der 30 Tonnen schwere Turbinenläufer dreht sich während dieser Zeit ca. 1,4 Mrd. Mal –, erfolgen neben den jährlichen Revisionen alle 9 bis 10 Jahre so genannte Großrevisionen. Dann wird die Anlage über einen Zeitraum von gut einem Vierteljahr in zwei Schichten von rund 50 internen und externen Spezialisten in nahezu sämtliche Einzelteile zerlegt, inspiziert, teilweise erneuert und wieder zusammengesetzt. Kosten einer solchen Aktion: rund 12 Mio. Euro.

**Rauchgasentstickung, -entschwefelung und -entstaubung**

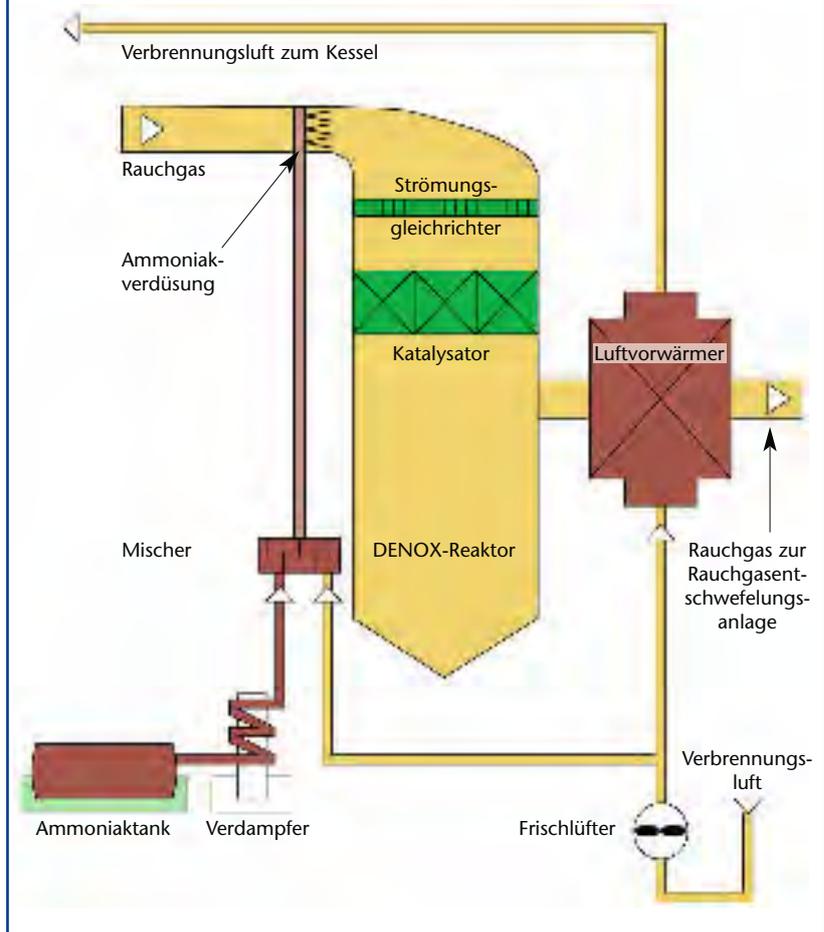
Die Kesselanlagen der Blöcke 2 und 3 sind in drei Ebenen mit jeweils 4 Brennern modernster Bauart ausgestattet, die durch spezielle Dosierung der vorgewärmten Luftströme für eine hocheffiziente und gleichzeitig stickoxidarme Verbrennung der Kohle sorgen. Die Entstickung des Rauchgases erfolgt in einem aufwändigen Prozess in großen Katalysatoren, in denen die Stickoxide durch das Eindüsen eines feinen Ammoniak-Luftgemischs in Stickstoff und Wasser umgewandelt werden.

In der Entschwefelungsanlage werden die Rauchgase mit Kalkmilch besprüht. Das im Rauchgas enthaltene Schwefeldioxid reagiert mit dem Kalk überwiegend zu Sulfit, einer Vorstufe von Gips. Dieses Produkt aus der Kohleverfeuerung wird mit Silofahrzeugen abtransportiert und u. a. als Düngemittel eingesetzt.

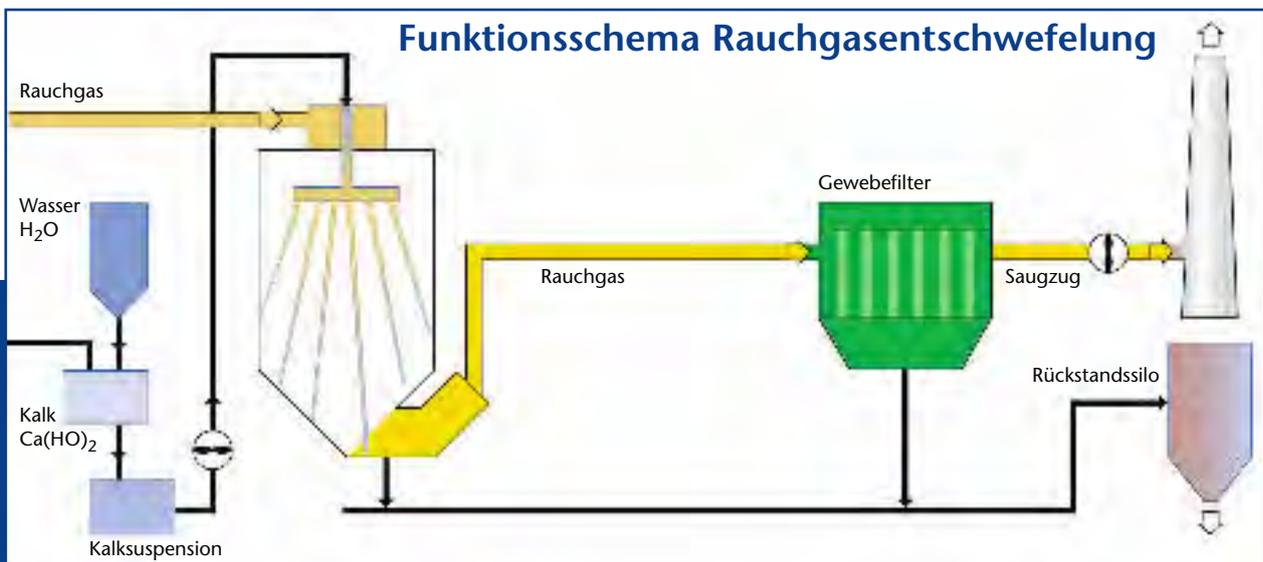
In den Blöcken 2 und 3 fallen jeweils bis zu 275.000 m<sup>3</sup> Rauchgas in der Stunde an. Im ungereinigten Rohgas sind zwischen 1.600 und 1.800 mg Schwefeldioxid enthalten; der gesetzliche Grenzwert liegt bei 8 Prozent des Rohgasgehaltes, maximal 200 mg/m<sup>3</sup>. Mainova unterschritt diese Marke bereits 1990, als der gesetzliche Grenzwert noch doppelt so hoch war.

Die im Rauchgas enthaltenen Staub- und Flugaschepartikel werden in zwei Reinigungsstufen ausgefiltert. In der ersten – der Entschwefelungsanlage vorgelagerten – Stufe durchströmt das Rauchgas einen Elektrofilter, in dem die Staubteilchen elektrostatisch aufgeladen werden, so dass sie sich an den Elektroden –

**Funktionsschema Rauchgasentstickung**



**Funktionsschema Rauchgasentschwefelung**



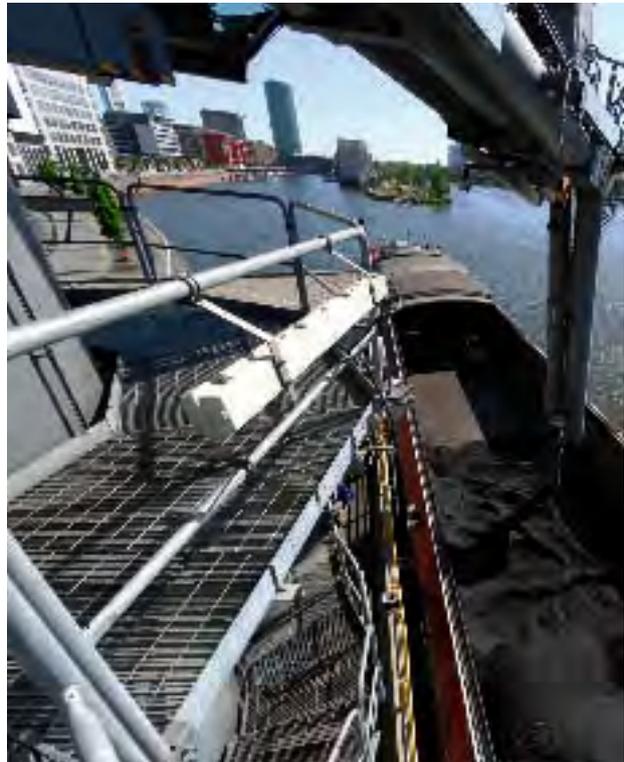
große Metallplatten – anlagern. Regelmäßiges Abklopfen dieser Platten lässt den Staub in darunter liegende Auffangtrichter rieseln. In der zweiten Reinigungsstufe scheiden 1.792 hochwirksame Gewebefilterschläuche je Block die Entschwefelungsprodukte und restliche Staubpartikel aus dem Rauchgas. Mit einem Reststaubgehalt von 8 bis 10 mg/m<sup>3</sup> liegt die Gesamtstaubreduzierung im HKW West um mehr als 50 Prozent unter dem gesetzlichen Grenzwert von 20 mg/m<sup>3</sup>.

Natürlich arbeiten sämtliche von Mainova betriebenen Heizkraftwerke hinsichtlich der Vermeidung von Emissionen auf höchstem umwelttechnischen Niveau.

### **Mehr als 1.000 Tonnen Kohle pro Tag – längst eine saubere Sache**

Der offene Kohleumschlag gehört schon seit 1985 der Vergangenheit an. Ein geschlossenes Kohle-Silo- und Transportsystem verhindert, dass beim Löschen der Schiffs- oder Bahnladungen und beim Transport vom Silo zu den Kohlemühlen (*Abbildung unten; die Aufnahme entstand während der Großrevision im Block 3*) im Inneren des HKW West Kohlestaub nach außen gelangt und die unmittelbare Umgebung beeinträchtigt.

Im Zuge der Neubebauung am Westhafen wurde die Kohleumschlagsstation umgebaut und behutsam in das optische Erscheinungsbild des neuen Quartiers integriert. Die neue Entladestelle arbeitet nahezu staubfrei und transportiert die Kohle über ein geschlossenes System auf Bändern mitten durch einen Bürokomplex.





Das HKW Mitte ist ein typisches Beispiel für die Industriearchitektur der fünfziger Jahre: ein in zwei „Stufen“ gegliederter Stahlbetonskelettbau mit zu den Straßenfronten (Allerheiligenstraße/Kurt-Schumacher-Straße) hin geschosshohen Fensterflächen. Es wurde 1953 als Außenwerk des HKW West zur Unterstützung der Ferndampfversorgung und zum Ausbau des Innenstadtdampfnetzes errichtet und 1986 von Kohle auf Erdgas umgestellt.

### Betrieb nur im Winter und in Ausnahmefällen

Heute ist es nahezu ausschließlich in den Wintermonaten in Betrieb, während in den Sommermonaten die Wärmeversorgung komplett vom HKW West aus erfolgt. Darüber hinaus geht es bei außerplanmäßigen Bedarfsspitzen ans Netz, wenn im HKW West eine der turnumständigen Revisionen durchgeführt werden muss oder eine Störung vorliegt. Bei erhöhtem Wärmebedarf im Fernheiznetz erfolgen von hier aus mittels Fernsteuerung der Einsatz und die Überwachung der Dampfreduzierstation Seckbacher Gasse und der Turbinenstation Wilhelm-Leuschner-Straße.

Die Anlage gliedert sich in Dampf Hochdruck-, Dampf Niederdruck- und Kondensatsystem. Der Hochdruckteil besteht aus drei Dampferzeugern mit einer Dampfleistung von jeweils rund 28 Tonnen pro Stunde. Der Niederdruckverteiler kann sowohl von der im Werk installierten Heizkraftmaschine, in der sich der 18-bar-Dampf unter Erzeugung von Strom auf 3,5 bar entspannt, als auch über eine Dampfreduzierstation gespeist werden. Das Niederdruckdampfsystem dient hauptsächlich der Dampfverteilung in das 3,5-bar-Fernheiznetz der Innenstadt und der Versorgung der Dampfumformstation Ostend, von wo aus das auf dem ehemaligen Schlachthofgelände entstandene Deutschherrnviertel sein Heizwasser bezieht. Das Kondensatsystem besteht aus zwei Behältern, in denen das von den Kunden zurückfließende Kondensat gesammelt und in den Wasserdampfkreislauf zurückgeführt wird. Die thermische Leistung des HKW Mitte liegt bei 75 MW, seine elektrische bei 4,0 MW.

Die Anlage gliedert sich in Dampf Hochdruck-, Dampf Niederdruck- und Kondensatsystem. Der Hochdruckteil besteht aus drei Dampferzeugern mit einer Dampfleistung von jeweils rund 28 Tonnen pro Stunde. Der Niederdruckverteiler kann sowohl von der im Werk installierten Heizkraftmaschine, in der sich der 18-bar-Dampf unter Erzeugung von Strom auf 3,5 bar entspannt, als auch über eine Dampfreduzierstation gespeist werden. Das Niederdruckdampfsystem dient hauptsächlich der Dampfverteilung in das 3,5-bar-Fernheiznetz der Innenstadt und der Versorgung der Dampfumformstation Ostend, von wo aus das auf dem ehemaligen Schlachthofgelände entstandene Deutschherrnviertel sein Heizwasser bezieht. Das Kondensatsystem besteht aus zwei Behältern, in denen das von den Kunden zurückfließende Kondensat gesammelt und in den Wasserdampfkreislauf zurückgeführt wird. Die thermische Leistung des HKW Mitte liegt bei 75 MW, seine elektrische bei 4,0 MW.

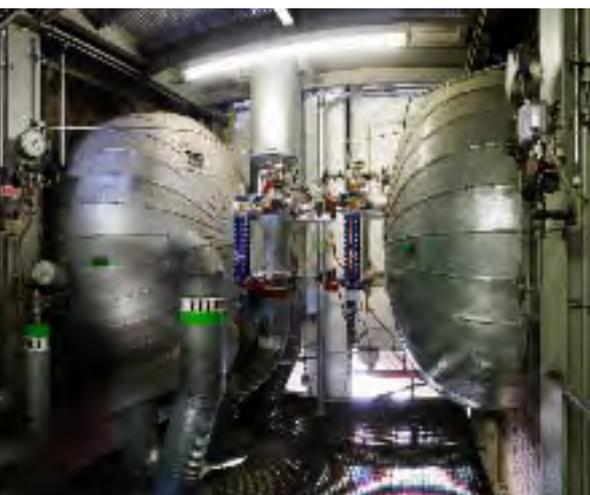


Abb. links außen: Obere Kesseltrommel der Kessel 2 und 3 mit Wasserstandsanzeige.  
Abb. links: Gegendruckturbinen und 4,0-MW-Generator

## Technische Daten HKW Mitte

Kessel 1-3		Dampfreduzierstation		Gegendruckturbinen H 1	
Baujahr	1953/86	18/3,5 bar	Fernheiznetz	elektrische Leistung	4,0 MW
thermische Leistung	75 MW				

Um den steigenden Wärmebedarf der Messe und der City West, die zu diesem Zeitpunkt allerdings nur auf dem Reißbrett existiert, zu decken, beschließen die Stadtwerke in den frühen achtziger Jahren, auf dem Gelände der Messe ein Spitzenheizwerk zu bauen.

Unter Federführung des Architekten Prof. Oswald M. Ungers entsteht es im so genannten Gleisdreieck als integrativer Bestandteil des markanten Torhauses. Die Fassade des würfelförmigen Baus besteht aus einem mit Glasbausteinen ausgefachten quadratischen Betonraster. Die Rauchgasabführung erfolgt über eine im Innern des 117 m hohen Torhauses verlaufende Schornsteinanlage; „Frankfurts schönster Kamin“ titelt die Presse. Ein Teil der neuen 2,4 km langen 3,5-bar-Fernwärmeleitung verläuft über die Via Mobile zu den innerstädtischen Verbrauchsstellen.



Die beiden 1987 in Betrieb genommenen Dampfkessel, so genannte Naturumlauf-Dampferzeuger, liefern in der Stunde jeweils bis zu 80 Tonnen Frischdampf mit einer Temperatur von 340 °C und einem Betriebsdruck von 18 bar. Dieser wird in Dampfreduzierstationen auf 9 bar zur Einleitung in das Dampfnetz der Messe und auf 3,5 bar zur Einleitung in das Fernwärmenetz entspannt.

Die thermische Gesamtleistung des HKW Messe liegt bei 125 MW; die Anschlussleistung der Messe Frankfurt GmbH beträgt 62 MW. In der Spitzenleistung kann das Heizkraftwerk Messe gut ein Viertel der Gesamtlast des Fernwärme-Stadtnetzes erzeugen. Die zwei Jahre später aufgestellte Dampfturbine erreicht darüber hinaus in Kraft-Wärme-Kopplung 5,3 MW elektrische Leistung. Als Brennstoff dienen Erdgas und leichtes Heizöl. Dieses wird jedoch nur in absoluten Ausnahmefällen als Reserve eingesetzt; der Inhalt der Heizöltankanlage reicht für maximal rund 18 Stunden Volllastbetrieb.



Abb. rechts: Speisewasserbehälter im HKW Messe. Sein Fassungsvermögen beträgt 80.000 l (80 m<sup>3</sup>).

## Technische Daten HKW Messe

Kessel 1-2	
Baujahr	1987
thermische Leistung	125 MW

Dampfreduzierstationen	
18/9 bar	Dampfnetz Messe
18/3,5 bar	Fernheiznetz
18/0,3 bar	Eigenbedarf

Gegendruckturbine H 3	
Baujahr	1989
elektrische Leistung	5,3 MW



Das Heizkraftwerk Niederrad startet innerhalb der Frankfurter Energieversorgung Anfang der sechziger Jahre als reines Heizwerk. Zunächst drei, später fünf mit schwerem Heizöl befeuerte Heizwasserkessel liefern die Fernwärme für die Wohnsiedlungen im Süden und Südwesten der Stadt. Doch der stetig steigende Fernwärmebedarf lässt die vorhandenen Kapazitäten schnell an ihre Grenzen gelangen. Mit der Inbetriebnahme von Block 1 in 1967 wird aus der Anlage ein Heizkraftwerk, fortan wird in Kraft-Wärme-Kopplung auch Strom erzeugt.

Der Ausbau der Bürostadt Niederrad und die Erweiterungen am Flughafen Frankfurt machen abermals eine Erhöhung der Erzeugerkapazitäten notwendig. 1972 folgt mit Block 2 eine weitere KWK-Anlage. Ein Mitteldruckkessel sowie drei im Jahr 1998 installierte Heizwasserkessel liefern zusammen zusätzlich 140 MW thermische Leistung.

Umweltbewusstsein und strengere gesetzliche Auflagen bezüglich der Emissionen führen Mitte der achtziger Jahre zu einer Umstellung des Brennstoffs von schwerem auf schwefelarmes leichtes

Heizöl – jedoch nur noch als Ausfallreserve: Der Hochdruckkessel des Blocks 2 wird künftig vorrangig mit Erdgas betrieben. 2002 beschließt Mainova, das HKW Niederrad im Rahmen der KWK-Förderung umfassend zu modernisieren und Block 1 durch eine effiziente GuD-Anlage (Gas- und Dampfturbine) zu ersetzen. Mit Beginn der Winterheizperiode 2005/2006 ist sie einsatzbereit.

## GuD-Technik

In der Gasturbine wird die Verbrennungswärme direkt zur Stromerzeugung genutzt. Anschließend wird das heiße Rauchgas durch einen zusatzgefeuerten Abhitzekeessel geführt, wo der noch immer hohe Wärmegehalt des Gases zur Dampferzeugung genutzt wird. Dieser Dampf wird auf eine Turbine geleitet, die ebenfalls Strom erzeugt. Aus der Turbine wird nach dem KWK-Prinzip ein Teil des Dampfes ausgekoppelt, der einen großen Teil seiner Energie in einem Wärmetauscher an das Fernheizwasser abgibt.

Die GuD-Anlage im HKW Niederrad hat von allen Anlagen den höchsten Brennstoffnutzungsgrad – sie nutzt die Primärenergie Erdgas zu annähernd 90 Prozent – und wird daher zur Grundlastversorgung eingesetzt. Ihre jährliche Betriebsdauer ist auf ca. 8.250 Stunden (344 Tage) ausgelegt. In diesem Zeitraum trägt sie zur Reduzierung von mehr als 20.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei.

## Erzeugungskapazitäten HKW Niederrad

	Baujahr	elektrische Leistung	thermische Leistung
Block 1 (GuD-Anlage)	2005	76 MW	90 MW
Block 2 (Dampfturbine)	1972	60 MW	98 MW
Mitteldruckkessel	1972		80 MW
Heizwasserkessel 1 - 3	1998		60 MW

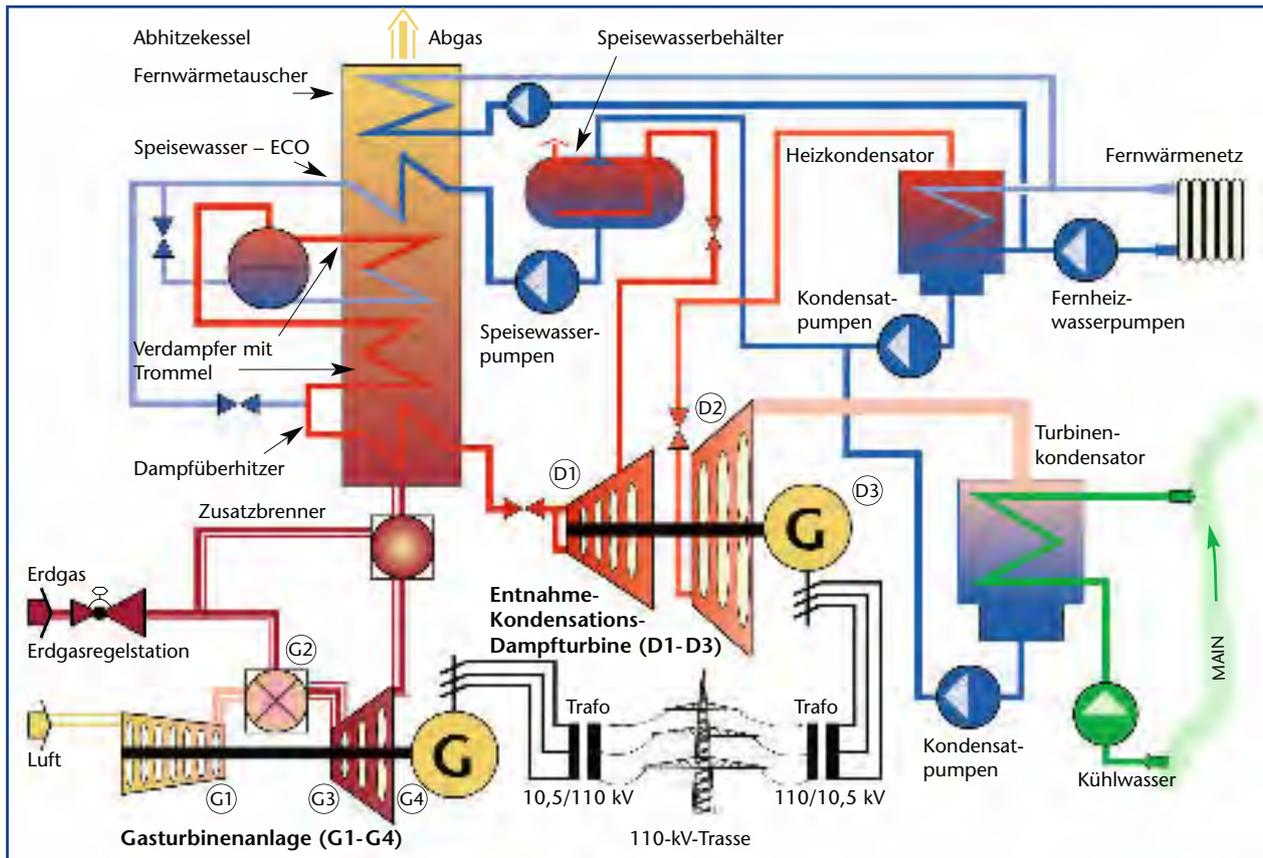
## Heizwassernetz Niederrad

Das Fernheiznetz Niederrad hat eine Netzlänge von ca. 44 km. Angeschlossen sind rund 1.600 Kunden mit einer Gesamtleistung von 320 MW. Größter Kunde ist Fraport mit einer Anschlussleistung von 160 MW. Ein Teil der „Spitzenwärme“ wird direkt im Heiz-Kälte-Werk Flughafen erzeugt (Seite 22).

Abb. linke Seite: Das architektonisch wenig ansprechende Gebäude der Anlage erhielt durch die Farbkomposition von Friedrich von Garnier eine bemerkenswerte Fassade. Rechts: Zirkulationspumpen des Fernwärmetauschers im Abhitzeessel des Blocks 1.



## Prinzipschaltbild der 2005 errichteten GuD-Anlage im HKW Niederrad



### Legende:

#### Gasturbinenanlage

- G 1 = Verdichter
- G 2 = Brennkammer
- G 3 = Gasturbine
- G 4 = Gasturbinen-Generator

#### Entnahme-Kondensations-Dampfturbine

- D 1 = Hochdruckteil
- D 2 = Kondensationsteil
- D 3 = Dampfturbinen-Generator



Bereits seit 1967 versorgt das damals aus einem Anlagenblock bestehende HKW Niederrad den Flughafen über eine Fernwärmeleitung mit Heizwasser. Um dessen stetig steigenden Wärmebedarf zu decken, geht das Heizkraftwerk bereits fünf Jahre später mit einem zweiten Block ans Netz.

Ende der achtziger Jahre stellt sich eine neue Aufgabe: Der Flughafenbetreiber (heute Fraport) benötigt zur Klimatisierung des Terminals 2 auch Kälte. Die Stadtwerke erhalten in der Ausschreibung den Zuschlag, 1989 beginnen die anspruchsvollen Planungen. Da die Anlage nicht auf der „grünen Wiese“ entstehen kann, sondern in ein bereits bestehendes Gebäude integriert werden muss, sind eine Vielzahl innovativer Lösungen erforderlich. So werden z. B. die Dampferzeuger aus Platzgründen übereinander angeordnet. Insgesamt 47 Kühltürme (25 mit je 2 MW und 22 mit je 1,6 MW Kühlleistung) finden paarweise auf dem Dach des Gebäudes Platz.

## Größte Anlage ihrer Art in Europa

1994 geht das Heiz-Kälte-Werk mit fünf Absorptionskältemaschinen mit einer Leistung von je 4,5 MW sowie drei Dampferzeugern in Betrieb. Da die Dampferzeugungskapazität von 42 MW nur im Sommerhalbjahr voll ausgelastet ist, kann sie im Winter in 40 MW Fernwärmeleistung umgesetzt werden.



Abb. links: Eine von zurzeit sechs Kompressionskältemaschinen. Da die Anlage sich in einem teilweise als Büro genutzten Gebäude befindet, wird die von den Aggregaten ausgehende Vibration durch entsprechende Dämpfungsmaßnahmen ausgeschaltet (kl. Bild).

## Technische Daten

<b>Kälteleistung</b>	3 x 4.500 kW (A)
	6 x 7.500 kW (K)
<b>Fernwärmeleistung</b>	2 x 20 MW
<b>Dampferzeugung</b>	3 x 14,4 MW
<b>elektr. Antriebsleistung</b>	6 x 1.350 kW

<b>Kaltwassertemperaturen</b>	6/12 °C
<b>Kühlwassertemperaturen</b>	27/37 °C
<b>Kaltwassermenge</b>	3 x 645/6 x 1.075 m <sup>3</sup> /h
<b>Kühlwassermenge</b>	3 x 709/6 x 760 m <sup>3</sup> /h

Auf Grund der positiven Erfahrungen fällt seitens Fraport schon bald die Entscheidung, auch Terminal 1 sowie die übrigen bisher eigenversorgten Gebäude an das Heiz-Kälte-Werk anzuschließen. Neue Leitungen werden verlegt, die Kapazität erweitert. Zwei Aggregate der ersten Ausbaustufe werden abgebaut und insgesamt sechs Kompressionskältemaschinen mit je 7,5 MW Kälteleistung



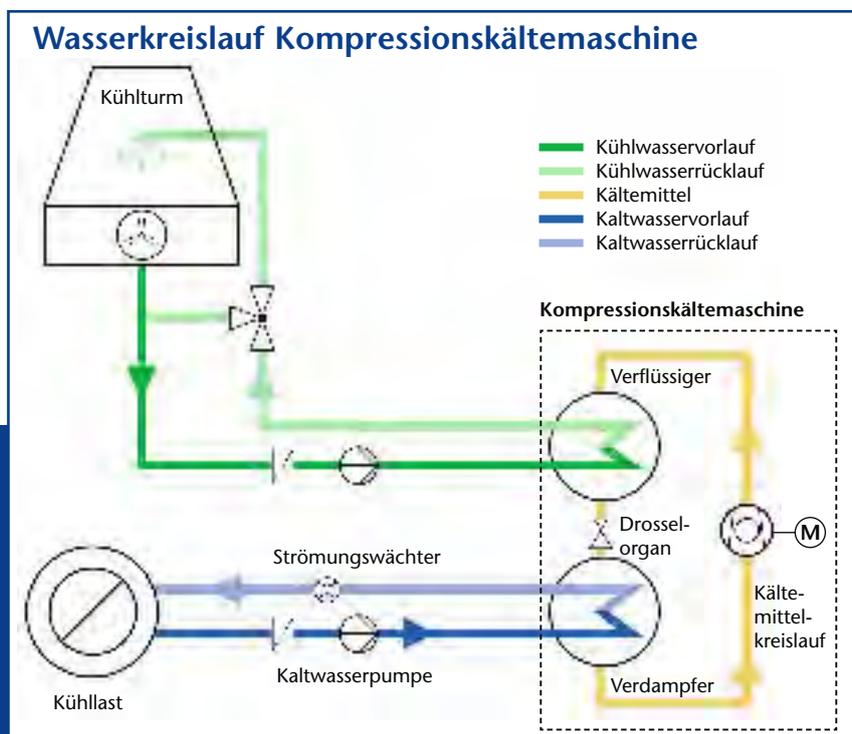
aufgestellt, so dass Mainova aktuell mit einer Kapazität von 58,5 MW Kälteleistung Europas größte Kälteerzeugung betreibt. Mittelfristig (2008 bzw. 2009) sollen auch die restlichen drei Absorptionskältemaschinen der wirtschaftlicheren Kompressionskältetechnik weichen. Danach werden die Dampferzeuger als Stand-by-Reserve für die Fernwärmeversorgung des weiter wachsenden Flughafens dienen.

### Heizwerk Süd

Die Fernwärmeversorgung des Südbereiches des Flughafens mit der Cargo City und der Wartungshalle für den Airbus A 380 erfolgt durch das von den US-Streitkräften übernommene Heizwerk Süd auf dem ehemaligen Gelände der Rhein-Main-Airbase. Im Hinblick auf den Bau des Terminals 3 sind in absehbarer Zukunft der Ausbau der dortigen Versorgungskapazitäten (aktuell 15,4 MW Fernwärmeleistung) sowie der Anschluss an das nördlich der Landebahnen verlaufende Fernheiznetz von Mainova vorgesehen.

### Wie aus Wärme Kälte wird ...

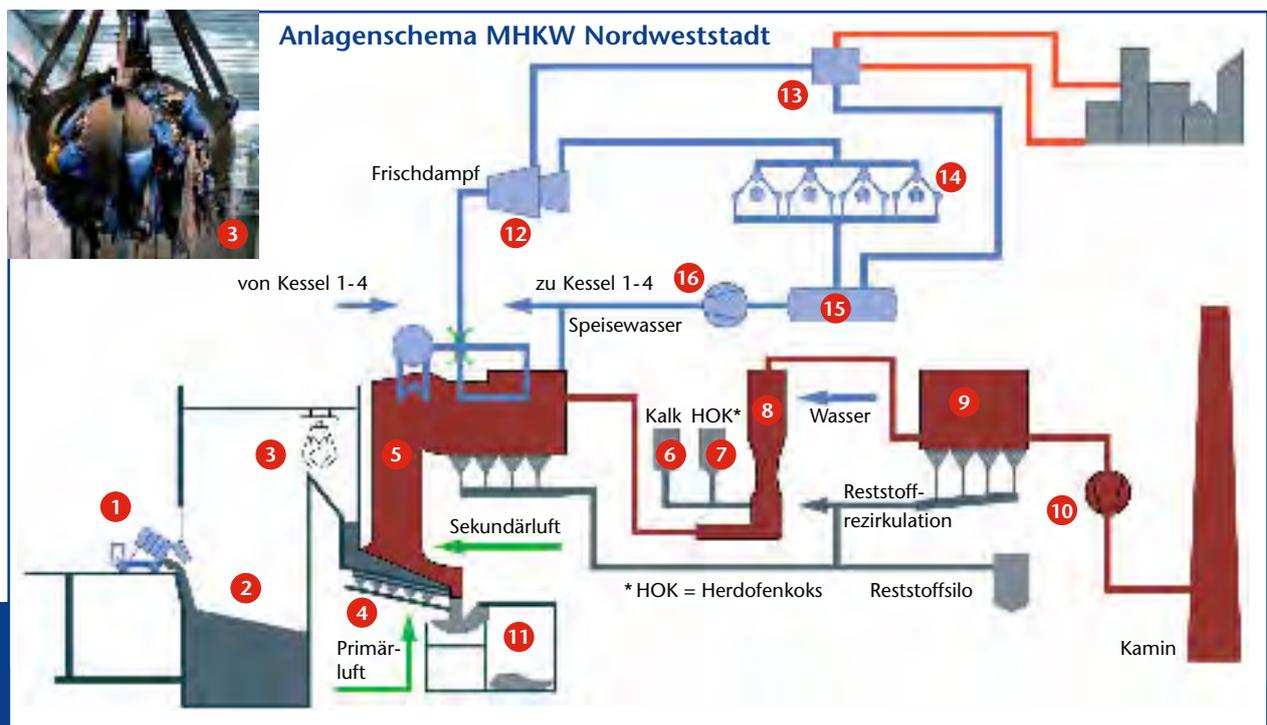
Derzeit wird Kälte noch auf zweierlei Weise erzeugt: in Absorptionskältemaschinen mit Hilfe von Dampf aus Dampferzeugern sowie in Kompressionskältemaschinen mit 10-kV-Motoren. Beim Kompressionskälteprozess wird ein Kältemittelgas mechanisch verdichtet und anschließend wieder verflüssigt (s. Grafik). Dabei wird ihm durch Kühlwasser Wärme entzogen. Während das erwärmte Kühlwasser über Kühltürme (Abb. oben) rückgekühlt wird, nimmt das verflüssigte Kältemittel im Wärmetauscher des Verdampfers die Verdampfungswärme des durch Rohre geführten Kaltwassers auf und kühlt es von 12 °C auf 6 °C ab. Mit dieser Temperatur fließt es zurück zu den Fraport-Anlagen.





Die Nordweststadt entsteht in den Jahren 1962 bis 1968 als Trabantenstadt auf den Gemarkungen der Stadtteile Niederursel und Heddernheim. Um diese neue Siedlung komplett mit Fernwärme versorgen zu können und klimaschädliche Einzelfeuerstellen von vornherein überflüssig zu machen, errichteten die Stadtwerke Frankfurt in unmittelbarer Nachbarschaft ein Heizkraftwerk. „Ein Stadtteil mit nur einem Kamin“ heißt es in der Frankfurter Presse. Parallel dazu entsteht eine Abfallverbrennungsanlage, kurz AVA. Eine vorausschauende, ressourcenschonende Entscheidung, denn im Müll steckt ein enormes Energiepotenzial. Aber nicht nur das: Durch die Müllverbrennung und entsprechende Substitution fossiler Energieträger ergibt sich eine erhebliche Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

1967 gehen beide Anlagen in Betrieb. Von Anfang an wird die bei der Abfallverbrennung anfallende Abwärme im HKW in Form von Dampf genutzt und in Kraft-Wärme-Kopplung sowohl Strom als auch Fernwärme produziert, die als Heizwasser zu den Kunden gelangt. Doch trotz der engen „Zusammenarbeit“ operieren beide Anlagen mehr oder weniger unabhängig voneinander; das HKW ist Kunde und bezieht über eine Verbindungsleitung jährlich viele Tausend Tonnen AVA-Dampf.



### Legende:

1 Müllanlieferung	5 Müllkessel	9 Gewebefilter	13 Heizkondensator
2 Müllbunker	6 Vorlagebehälter Kalk	10 Saugzug	14 Luftkondensator
3 Müllkran	7 Vorlagebehälter HOK	11 Schlackebunker	15 Speiswasserbehälter
4 Rostfeuerung	8 Circoclean-Reaktor	12 Turbo-Generator	13 Speiswasserpumpen

## Aus zwei mach eins

Im HKW wurden zwei aus den sechziger Jahren stammende Turbinen durch eine leistungsstärkere ersetzt. In der Abfallverbrennungsanlage werden umfangreiche Sanierungsarbeiten und Neubaumaßnahmen durchgeführt. Seit dem 1. Januar 2007 sind das Heizkraftwerk und die Abfallverbrennungsanlage als Müllheizkraftwerk ein Anlagenverbund. Die ursprünglich getrennten Leitwarten wurden zu einer räumlichen Einheit zusammengelegt, wo auf schultafelgroßen Bildschirmen (Abb. oben rechts) die Prozesse überwacht und gesteuert werden.



Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten wird die jährliche Müllverbrennungskapazität bei 525.000 Tonnen liegen. Das MHKW ersetzt somit rund 175.000 Tonnen Steinkohle. Der Energieinhalt des Restmülls stammt zu 50 bis 60 Prozent aus seinem biogenen Anteil und ist somit CO<sub>2</sub>-neutral, da das CO<sub>2</sub> bereits während des Wachstums durch Photosynthese der Atmosphäre entzogen und gebunden wurde.



## Haus- und Gewerbemüll als Energielieferant

Der Müll wird zunächst mit leichtem Heizöl angefeuert. Danach findet die selbstständige Verbrennung bei einer Feuerraumtemperatur von mindestens 850 °C (Abb. Mitte) statt. Feste Verbrennungsrückstände (ca. 200 bis 250 kg/t) werden in einer Schlackeauffbereitungsanlage (Deponie Wicker) in ihre Inhaltsstoffe – Glas, Metall und Schlacke – zerlegt und weiterverwendet (z. B. im Straßenbau). Das Rauchgas wird in einer Rauchgasreinigungsanlage in einem zweistufigen Verfahren von Schadstoffen und Staub befreit. Die rund 50 bis 60 kg/t anfallenden Rauchgasreststoffe werden deponiert.



Nach Abschluss der Arbeiten wird das MHKW Nordweststadt gerade auch unter dem Aspekt des Umweltschutzes eine der modernsten Anlagen in Deutschland sein.

Abb. rechts: Luftvorwärmer für Fluidrinnen zum Transport der Rauchgasreinigungsrückstände

## Erzeugungskapazitäten MHKW Nordweststadt

	Baujahr	elektrische Leistung	thermische Leistung
Müllkessel 1-4	2006/9		je 63,0 MW
Turbine 3	1988	26,0 MW	50,0 MW
Turbine 7	2005	46,5 MW	100,0 MW
Heizwasserkessel 1-3	1972		17,0 MW
Heißdampfkessel 1-2	1992		122,0 MW

# Blockheizkraftwerke und Mikrogasturbine



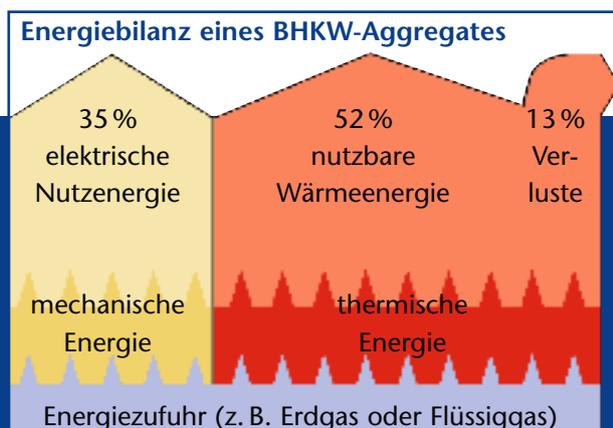
Abb. links: Seit 2002 betreibt Mainova im Tropicarium des Palmengartens ein Blockheizkraftwerk. Abb. oben: Blick vom Generator zum Motorenmodul.

Ein Blockheizkraftwerk stellt eine unter Umweltgesichtspunkten optimal arbeitende Versorgungslösung dar, denn es liefert auf engstem Raum und unter hervorragender Nutzung der eingesetzten Primärenergie Wärme für ein räumlich konzentriertes Nahwärmenetz und – in Kraft-Wärme-Kopplung – gleichzeitig Strom, der über einen 10-kV-Trafo ins öffentliche Netz eingespeist wird. Mainova betreibt in Frankfurt insgesamt 11 Blockheizkraftwerke mit 7,8 MW thermischer und 5,5 MW elektrischer Leistung.

Eines davon ist die Ende 1996 in Betrieb genommene Anlage im Frankfurter Palmengarten, von der aus auch das benachbarte Biologische Institut der Goethe-Universität versorgt wird. Sie besteht aus zwei erdgasbetriebenen BHKW-Modulen und drei zusätzlichen Kesseln. Überschüssige Wärmeleistung der beiden Module wird in sechs Wärmespeichern mit jeweils fünf m<sup>3</sup> Fassungsvermögen zwischengelagert. Sind diese „voll“, schalten die Module automatisch ab und der weitere Wärmebedarf wird durch das Entladen der Wärmespeicher gedeckt; erst dann fahren die Module wieder an. Ist der Wärmebedarf größer als die Gesamtleistung der beiden Module (1,44 MWth), werden automatisch die drei Kessel (Gesamtleistung 6,2 MWth) zugeschaltet. Die Anlage fährt komplett ferngesteuert, Personal ist nur bei Wartungs- und Revisionsarbeiten anwesend (*weitere Mainova Blockheizkraftwerke siehe Seiten 28/29*).

## Mikrogasturbine – kompakte Alternative mit hohem thermischen Wirkungsgrad

Seit 2002 betreibt Mainova im Panoramabad Bornheim eine Mikrogasturbine mit 100 kW elektrischer und 152 kW thermischer Leistung. Die Technik dieser Aggregate hat ihren Ursprung im Turbolader der Automobilindustrie. Rotierende Permanentmagneten erzeugen im Generator einphasigen Wechselstrom mit 2.333 Hz und 500 V, der in zwei Stufen zunächst in Gleichstrom und anschließend in dreiphasigen Wechselstrom mit 50 Hz und 400 V umgewandelt wird. Zwar liegt der elektrische Wirkungsgrad etwas unter dem eines BHKWs, doch ist der thermische Wirkungsgrad entsprechend höher und die Mikrogasturbine daher hervorragend zur Wärmegrundlastversorgung geeignet.



## Daten BHKW Palmengarten

elektrische Leistung	422 kW je Modul
thermische Leistung	622 kW je Modul
Gesamtwirkungsgrad	87,1 %
Kesselanlage	1 x 1,4 MW, 2 x 2,4 MW
Wärmehöchstlast	7.100 kW
Wärmemedium	Wasser, V = 90 °/R = 70 °C

# Biomasse-Kraftwerk Fechenheim

Im Jahr 2005 nahm das Biomasse-Kraftwerk auf dem Gelände der Allessa-Chemie in Frankfurt-Fechenheim seine umweltfreundliche Wärme- und Stromproduktion auf. Die Anlage wurde im Rahmen der Klimaschutzstrategie der Stadt Frankfurt von Mainova als Mehrheitsgesellschafterin und WISA, einem Unternehmen der Holzentsorgungsbranche, errichtet. Jährlich kann das in Kraft-Wärme-Kopplung betriebene BKF rund 100.000 Tonnen Holzabfälle und Grünschnitt in rund 94.000 MWh Dampf und ca. 70.000 MWh Strom umwandeln. Die ausgekoppelte Wärme entspricht dem Wärmebedarf von 8.000 Einfamilienhäusern, die erzeugte Strommenge reicht aus, 20.000 Haushalte zu versorgen.

Holz verbrennt nahezu CO<sub>2</sub>-neutral, denn es setzt die Mengen an Kohlenstoffdioxid frei, die es zuvor während seines Wachstums aus der Atmosphäre aufgenommen hat. Im Vergleich zu Einzelfeuerungsanlagen oder gar offenen Kaminen ist die Primärenergieausbeute in einer solchen Großanlage wesentlich höher und der Schadstoffausstoß um ein Vielfaches geringer. Eine moderne mehrstufige Rauchgasreinigung nach strengsten europäischen Richtlinien ermöglicht sogar die Beimischung und Verfeuerung von verunreinigtem Holz.

Dank ihrer zentralen Lage weist die Anlage eine vorbildliche Umweltbilanz auf: insbesondere wegen der kurzen Transportwege bei der Holzanlieferung und der räumlichen Nähe zu den Wärmekunden. Jährlich erspart sie der Umwelt CO<sub>2</sub>-Emissionen in einem Gesamtvolumen von rund 85.000 Tonnen. Für das BKF, eine der modernsten und umweltverträglichsten Anlagen ihrer Art in Deutschland, wurde der Stadt Frankfurt, gemeinsam mit Mainova, die Auszeichnung „Climate Star 2004“ verliehen.

*Die direkt aus den Überhitzern des Kessels kommende Frischdampfleitung wurde zur Kompensation der Wärmedehnungen in Schleifen verlegt (Abb. rechts).*



## Daten Biomasse-Kraftwerk Fechenheim

Feuerungswärmeleistung	44 MWth
Kesselleistung (Dampf)	ca. 50 t/h bei 65 bar/450 °C
Ø Wirkungsgrad Kessel	> 90 %
elektrische Leistung	12,4 MW bei Vollkondensation

Brennstoffbedarf	ca. 105.000 t/Jahr
Menge Grünabfall/Altholz aus Frankfurt und Umgebung	ca. 80.000 t/Jahr
CO <sub>2</sub> -Ersparnis	ca. 85.000 t/Jahr

# Die Standorte der Mainova Kraftwerksanlagen



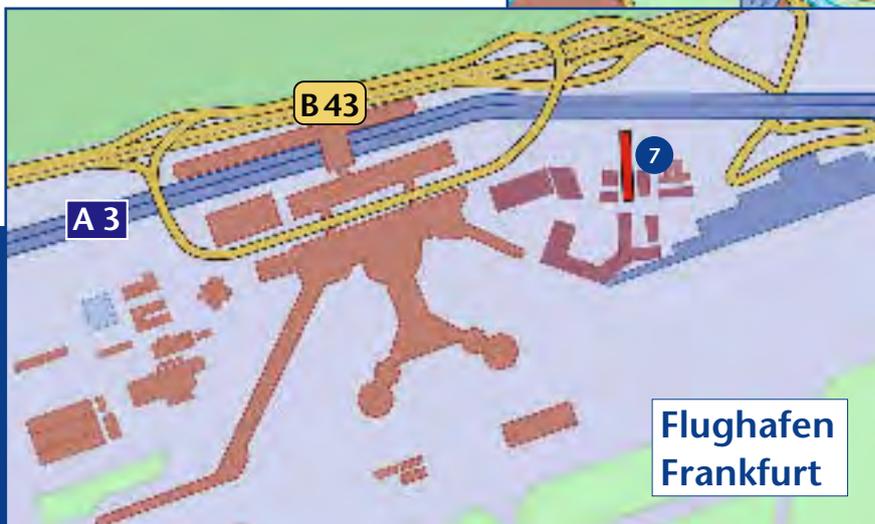
**HKW West**  
Gutleutstraße 231  
60327 Frankfurt



**HKW Niederrad**  
Lyoner Straße 8  
60528 Frankfurt



**HKW Messe**  
Am  
Dammgraben 2  
60486 Frankfurt





**MHKW Nordweststadt**  
Hedderheimer Landstraße 145  
60439 Frankfurt



**HKW Mitte**  
Allerheiligentor 2  
60311 Frankfurt



**Biomasse-Kraftwerk Fechenheim**  
Alt Fechenheim 34  
60382 Frankfurt



**Heiz-Kälte-Werk Fraport**  
Tor 3

*Ohne Abb.:* **(8) Turbinenstation**  
Wilhelm-Leuschner-Straße 5  
60329 Frankfurt

## Standorte Blockheizkraftwerke (Auswahl)

	kWel / kWth		kWel / kWth
BHKW Nibelungenplatz ( 9 )	680 / 1.220	BHKW Helmholtzschule ( 14 )	5,5 / 12,5
BHKW Palmengarten ( 10 )	844 / 1.244	Panoramabad Bornheim ( 15 )	100 / 152
BHKW Raimundstraße ( 11 )	1.457 / 1.796	BHKW Schillerstraße ( 16 )	50 / 82
BHKW Oberer Ornberg ( 12 )	1.464 / 1.796	BHKW Sossenheimer Weg ( 17 )	600 / 960
BHKW Brandhöfchen ( 13 )	15 / 35	BHKW Landessportbund	250 / 422

## Strom nach Fahrplan

In den fünf Heizkraftwerken werden rund 45 Prozent des in Frankfurt an Mainova-Kunden gelieferten Stroms produziert. Die restlichen zur Versorgung der Kunden benötigten 55 Prozent bezieht Mainova über die Leipziger Strombörse. Allerdings sind diese beiden Zahlen nur theoretischer Natur, denn in einem offenen Wettbewerbsmarkt trennt sich der Stromfluss vom Handel. Mainova tritt daher an der Börse nicht nur als Käufer, sondern auch als Verkäufer auf. Und das bedeutet, dass in Frankfurt erzeugter Strom – auch wenn dieser physikalisch in der Mainmetropole bleibt – bisweilen andernorts „verbraucht“ wird. Das mag verwirrend klingen, ist aber im Prinzip ganz einfach: Beim Bezug von und Handel mit Strom geht es für einen Energieversorger darum, den Strombedarf seiner Kunden möglichst preisgünstig abzudecken – ob durch vorteilhaften Einkauf an der Börse oder Vermarktung der eigenen Stromproduktion.

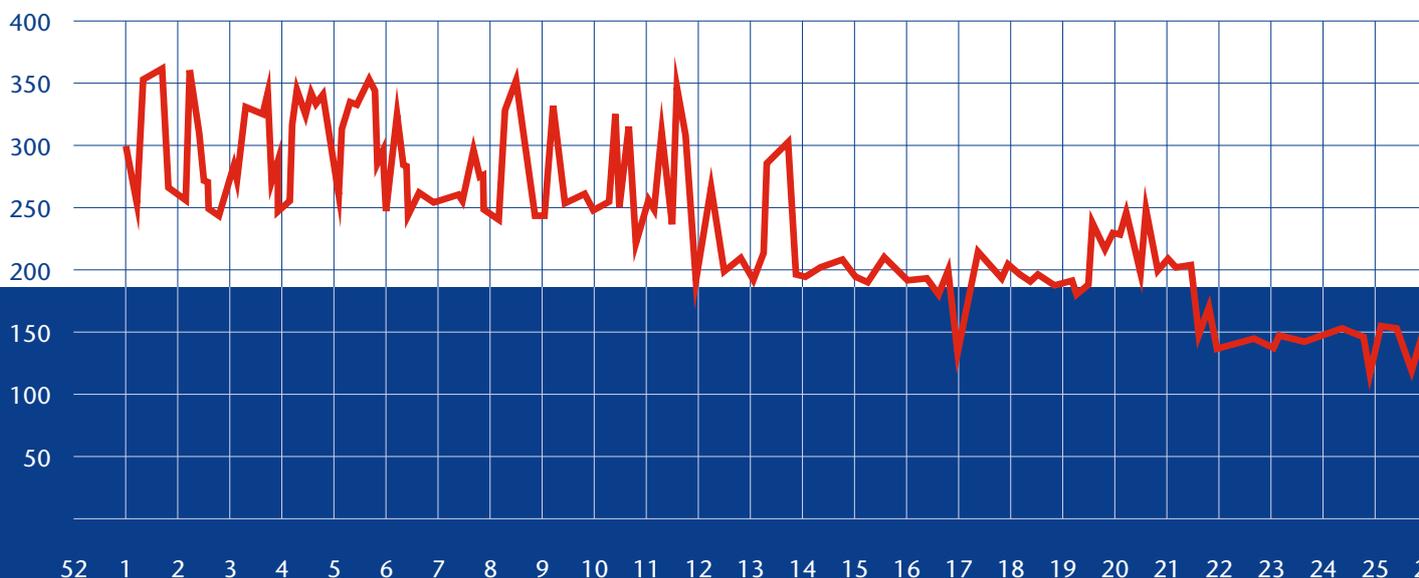
Strom kann man nicht auf Vorrat produzieren und wie eine Ware irgendwo einlagern. Strom muss dann mit gleichbleibender Spannung im Netz zur Verfügung stehen, wenn er benötigt wird. Daher ist eine akribische Einsatzplanung für jedes Kraftwerk unerlässlich. Der Fahrplan für Frankfurts Heizkraftwerke wird in erster Linie durch das Wetter bestimmt, denn sie fahren wärmegeführt; Strom fällt sozusagen als Koppelprodukt bei der Wärmeerzeugung an.

Der Jahresfahrplan wird auf Basis des letztjährigen Wärmelastverlaufs unter Einbeziehung zu erwartender Anschlusswertveränderungen erstellt. Außerdem fließen Termine von großen Veranstaltungen wie Messen und auch Feiertage, die sich von Jahr zu Jahr verschieben, in diese erste Planung mit ein.

Aus allen diesen Parametern leiten die Experten eine Langfrist-Wärmeprognose ab, die Aufschluss über die erforderliche Wärmeproduktion und die dabei anfallenden Strommengen der kommenden zwei Jahre gibt. Diesen Strom aus der Kraft-Wärme-Kopplung vermarktet Mainova langfristig. So kann es sein, dass schon heute die für einen bestimmten Stichtag in zwei Jahren erwartete Strommenge zu einem heute fixierten Preis verkauft wird. Aus den Preisen für den gesamten Strom des Jahres ergibt sich ein Durchschnittspreis, mit dem kalkuliert werden kann. Würde man hingegen den Strom zum jeweiligen Tagespreis verkaufen, wäre man zu sehr den Marktschwankungen ausgeliefert.

Natürlich wird diese Langfrist-Einsatzplanung weiter konkretisiert und durch eine Monats- und schließlich eine Tageseinsatzplanung präzisiert. Hier wird dann je nach aktueller Wettervorhersage am Vortag oder

## MW Höchstlastverlauf der Stromeigenerzeugung 2006, dargestellt in Kalenderwochen (KW)



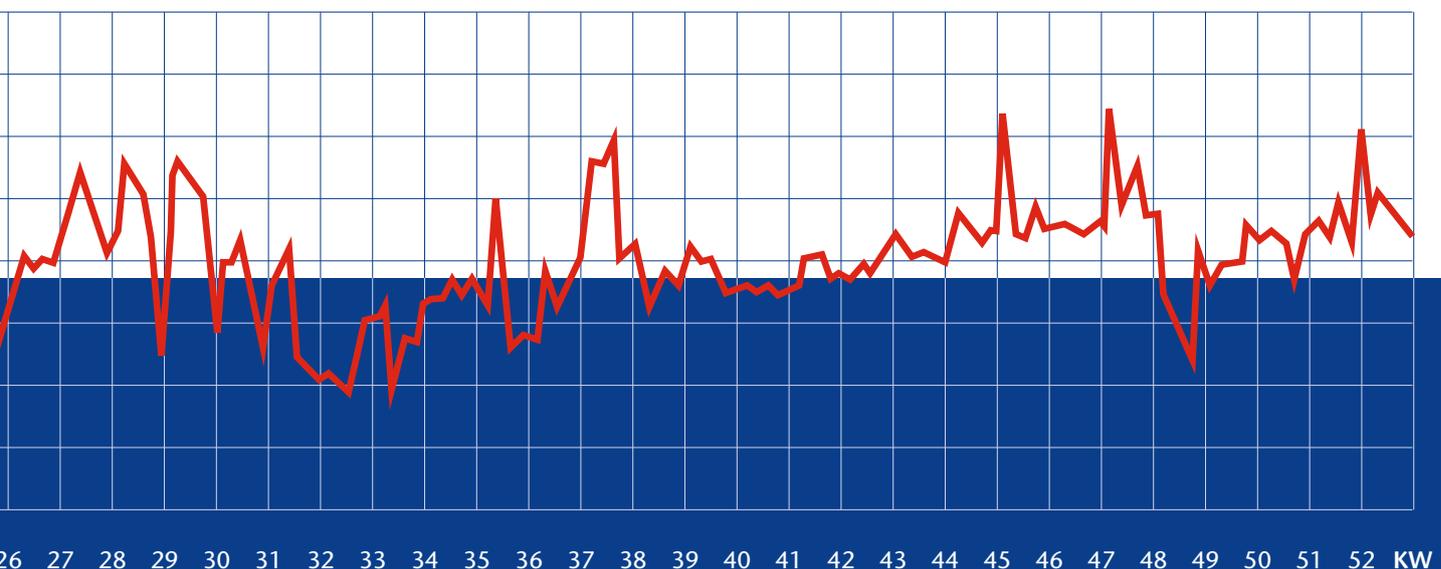
vor dem Wochenende entschieden, ob zusätzliche Strommengen auf dem Markt angeboten werden. Findet sich zum kalkulierten Preis an der Leipziger Börse ein Abnehmer, wird tags darauf produziert – oder eben nicht.

### In Minuten auf Höchstlast

Hierzu kommt in erster Linie die Gasturbinenanlage im HKW West zum Einsatz, denn diese kann in Minutenschnelle hochgefahren werden. Sie macht es nicht nur möglich, kurzfristig unerwartete Stromspitzen abzudecken, sondern mit ihr lässt es sich schnell auf die Entwicklung des Strompreises an der Börse reagieren. Doch die Anlage bringt bisweilen selbst dann Geld, wenn sie nicht arbeitet, denn sie nimmt, sofern sie nicht zur Bewältigung von Lastspitzen benötigt wird, an der so genannten Minutenreserve teil. Darunter versteht man eine Art „Stand-by“, die von den vier großen Netzbetreibern bezahlt wird. Diese sind nämlich gesetzlich verpflichtet, eine bestimmte Netzreserve vorzuhalten. Mainova gehört zu einem von der Saar Energie koordinierten Pool von Erzeugern, die gemeinsam die öffentlich ausgeschriebene Reserveleistung abdecken können. Wenn es vom Fahrplan her passt, wird die Anlage zur Reserve angemeldet. Und wenn es dann auch noch vom Preis her passt, erhält Mainova und damit das HKW West den Zuschlag. Dies bedeutet dann aber auch, dass die Gasturbinenanlage im Fall des Falles in sekundengenau dokumentierten sieben Minuten mit Höchstlast am Netz sein muss. In der Regel dauert ein solcher Einsatz zwischen 30 und 60 Minuten; bleibt der drohende Versorgungsengpass aus und wird die Minutenreserve nicht abgerufen, wird die bloße Bereitstellung vergütet.

### „Wir sind von hier“

Dieses bereits eingangs der Broschüre erwähnte Motto von Mainova bringt die Summe vieler Vorteile auf den Punkt: Die Nähe, die Standorte der Heizkraftwerke mitten im Netz, verbunden mit kurzen Transportwegen, der hohe Anteil der Eigenstromerzeugung in umweltschonender Kraft-Wärme-Kopplung und die Fähigkeit, mit den eigenen Anlagen Versorgungssicherheit im Städtetz zu gewährleisten – für die zuverlässige Versorgung unserer Kunden.





Mainova AG  
Solmsstraße 38  
60623 Frankfurt am Main  
[www.mainova.de](http://www.mainova.de)