



## Das Unternehmen

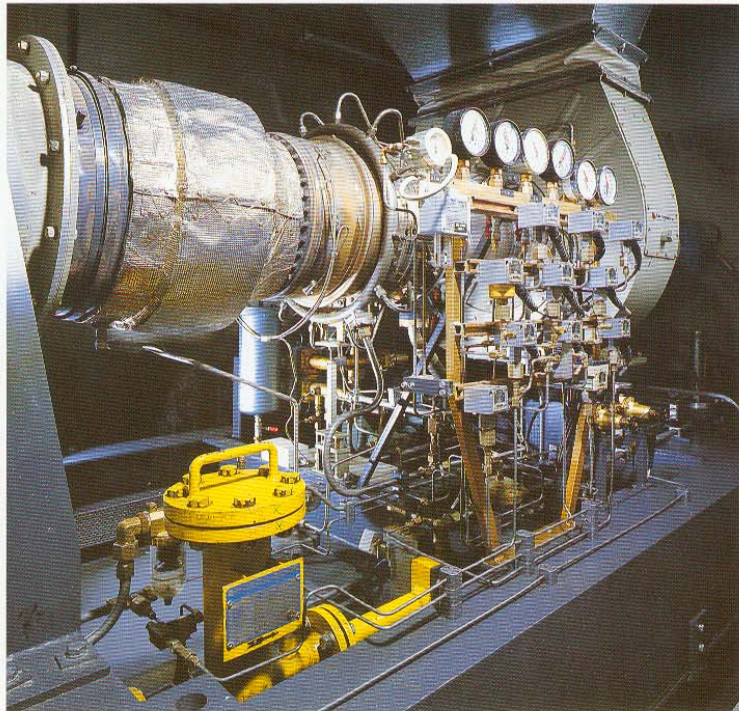
Mit einer Pechfabrik fing es an. Pech für Brauereien und für die Schuhindustrie – das war die Keimzelle der heutigen „Tivoli Werke AG“ in Hamburg-Eidelstedt. Der Gründer des Unternehmens, Herr Richard Eisenbeiss, kaufte die ehemalige Tivoli Brauerei und begann dort vor etwa 70 Jahren mit der Malzherstellung. Heute ist die Tivoli AG ein Unternehmen, das Malz für die Brauereien und technische Klebstoffe für Industrieunternehmen herstellt.

**Tivoli Werke AG**  
Reichsbahnstraße 99  
22525 Hamburg

**Aufgaben des BHKW:**  
Strom- und Wärmeversorgung

**Investitionskosten:** 2,64 Mio. DM  
**Davon förderfähig:** 2,587 Mio. DM  
**Zuschußbetrag der FHH:** 0,905 Mio. DM

**Technische Daten:**  
**Betriebsweise:** Wärmeverrang  
**Antrieb:** 1 Gasturbine  
**Typ:** Solar Saturn T 1500  
**Benutzungstunden:** 8500 h/a  
**Elektrische Leistung:** 1080 kW  
**Thermische Leistung:** 3380 kW  
**Nutzungsgrad:** 93 %  
**Inbetriebnahme:** Mai 1992



*Kernstück der Gasturbinenanlage bestehend aus Verdichter, Brennkammer und Turbine.*



Die im Freien auf einem Dach installierte Gasturbinenanlage.

## Ausgangssituation

Der vorhandenen Kesselanlage der Tivoli Werke, die bereits 1987 teilweise auf Erdgas umgestellt worden war, stand eine weitere Umrüstung bevor. Grund waren die für 1992 vorgesehenen verschärften Umweltschutzaufgaben. Die TA Luft forderte künftig beim Verfeuern von schwerem Heizöl niedrige Abgasemissionswerte, die durch nachgeschaltete Maßnahmen technisch nicht machbar und unwirtschaftlich waren. Da in der Mälzerei Wärme und Strom in erheblichen Mengen gleichzeitig über das ganze Jahr verbraucht werden, bot sich der Einsatz einer Anlage zur Kraft-Wärme-Kopplung an. Schon 1989 beschloß man, eine energiewirtschaftliche Untersuchung zu erstellen.

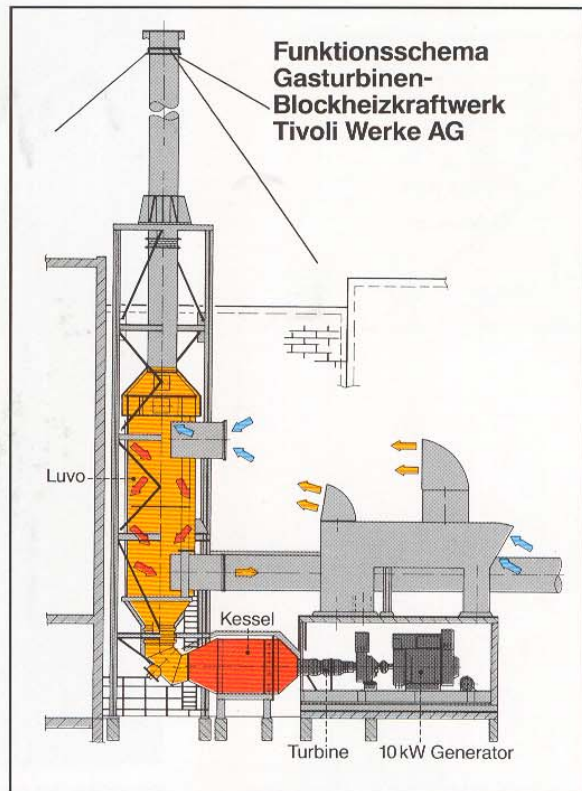
## Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasturbinen

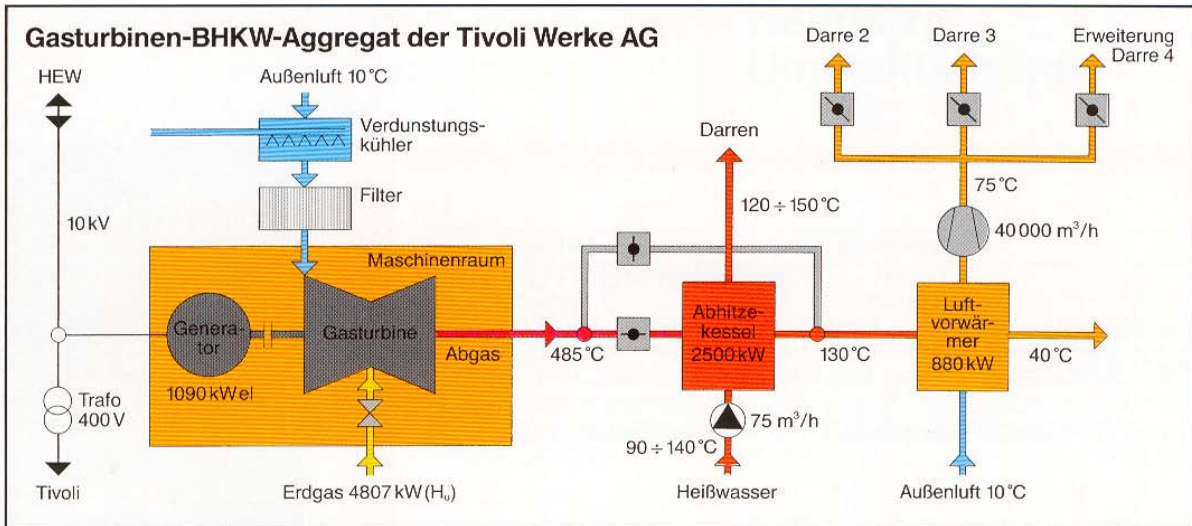
Unter Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) versteht man die kombinierte Nutzung der mechanischen Arbeit eines Verbrennungsmotors oder einer Gasturbine und der bei der Verbrennung entstehenden Abwärme in einem speziell dafür konstruierten Kraftwerk, dem Blockheizkraftwerk (BHKW).

Bei einer Gasturbine wird die mechanische Energie nicht wie bei der Motorenanlage in einer Kolbenmaschine, sondern in einer Strömungsmaschine erzeugt. Diese Energie wird zum Antrieb eines Generators genutzt, der sie in elektrische Energie umwandelt. Der elektrische Wirkungsgrad ist bei Gasturbinen geringer als bei Motorenanlagen. Erst bei sehr großen Einheiten erreichen Gasturbinen einen vergleichbaren elektrischen Wirkungsgrad wie die Motorenanlagen. Gasturbinen stehen in einem Leistungsbereich zur Verfügung, der von etwa 2 MW<sub>el</sub> bis zu sehr großen Anlagen mit mehr als 100 MW<sub>el</sub> reicht.

Die parallel zur Stromerzeugung anfallenden Abgase werden mit einer Temperatur von ca. 500 °C dem Wärmetauscher zugeführt und dort auf 100 bis 150 °C heruntergekühlt. Durch die hohen Abgastemperaturen besteht die Möglichkeit, Prozeßdampf zu erzeugen. Hierin besteht ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem Verbrennungsmotor, der grundsätzlich einen großen Teil der Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau zur Verfügung stellt.

Die Anwendung von Gasturbinen konzentriert sich also auf einen Einsatzbereich, in dem Prozeßwärme auf höherem Temperaturniveau benötigt wird.





## Konzeption und Planung der Kraft-Wärme-Anlage

Im Falle der Tivoli Werke war der Einfallsreichtum des Planers in Bezug auf den Aufstellungsort der Anlage gefragt. Im Bereich des alten Kesselhauses war kein Platz vorhanden, deshalb wurde das Gasturbinen-BHKW neben dem Kesselhaus über einer Werkstraße aufgebaut. Die Last wird aus Brandschutzgründen von Betonträgern abgefangen.

Das Turbinenaggregat ist in einen Betoncontainer eingebaut, der zum Zwecke größerer Wartungsfreundlichkeit begehbar ausgelegt ist. Der Abhitzeessel und der Luftvorwärmer sind im Freien aufgestellt. Der Schornstein ist praktisch nur ein Abgasrohr von einem Meter Durchmesser, unisoliert und aus Gründen der Standfestigkeit abgespannt. Die folgende Skizze verdeutlicht diesen Aufbau.

Die Kriterien für die Auslegung des BHKW wurden durch den Mälzereibetrieb vorgegeben. Aus Brauergerste wird in mehreren Arbeitsschritten wie Weichen, Keimen und Darren das Malz für die Brauereien hergestellt. Die wesentlichen Wärmeverbraucher sind die Darren.

In ihnen wird ganzjährig in durchgehendem Betrieb mit aufgeheizter Luft dem fertiggekeimten Grünmalz die Feuchtigkeit entzogen und das Aroma gebildet. Die größten Stromverbraucher sind die Ventilatoren in den Darren und den Keimkästen und die Kompressen der Kälteanlage.

Aus der betrieblichen Erfahrung stellten die Tivoli Werke an das künftige Versorgungskonzept die Anforderungen:

- hohe Betriebssicherheit,
- Wärmeversorgung mit zwei Brennstoffen, davon einer lagerfähig,
- Heißwassertemperatur von 150 °C, damit auch dunkles Malz hergestellt werden kann,
- Stromversorgung parallel zum HEW-Netz, damit bei Ausfall des BHKW's keine Betriebsunterbrechung eintritt.

Die Entscheidung fiel auf eine Gasturbine, weil sie Heißwasser von 150 °C erzeugen kann. Auch die kompakte Bauweise, die eine Dachaufstellung ermöglichte und geringer Wartungsbedarf sowie hohe Zuverlässigkeit beim Einsatz nur eines Aggregates waren Gründe für diese Wahl. Zwei Aggregate hätten

einen schlechteren elektrischen Wirkungsgrad gehabt und das Kostenlimit überschritten.

## Prinzipbeschreibung

Der Aufbau des Gasturbinen-BHKW-Aggregates ist in dem folgenden Schema dargestellt:

Die Abgase der Turbine mit einer Temperatur von 485 °C werden in einem Abhitzeessel mit Zwangsdurchlauf auf 130 °C heruntergekühlt und erwärmen im Gegenstrom das Heißwasser auf 120 °C bis 150 °C. Die Leistung beträgt ca. 2.500 kW. Abgasseitig nachgeschaltet ist ein Luftvorwärmer mit einer Heizleistung von ca. 880 kW, in dem die Abgase je nach Außentemperatur auf ca. 40 °C abgekühlt werden. 40.000 m³/h Außenluft werden auf 75 °C erwärmt und den Trocknungsprozessen in den Darren zugeführt.

Der Abhitzeessel ist mit einem Bypass ausgerüstet. Am Vormittag, wenn die Darren ent- und wieder beladen werden, ist der Wärmebedarf geringer als die Vollasterzeugung, dann wird in Abhängigkeit des Wärmebedarfs der Luvo abgeschaltet und nur der zusätzlich erforderliche Teil der erzeugten Wärme in das Heißwassersystem abgegeben. Die Gasturbine ist dabei durchgehend mit ihrer Nennlast in Betrieb.

In die Verbrennungsluftzuführung zur Turbine ist ein Verdunstungsluftkühler eingebaut, mit dem im Sommer bei Außentemperaturen über 20 °C der Leistungsabfall begrenzt wird.

## Die TA Luft und das Hamburger Förderprogramm

Die BHKW-Anlage wurde durch einen Zuschuß der Hansestadt Hamburg zu den Investitionskosten gefördert. Dafür waren Emissionsgrenzwerte einzuhalten, die weit unter den Anforderungen der TA Luft liegen. Nachstehend sind die Emissionen, entsprechend den Grenzwerten der TA Luft, der Umweltbehörde Hamburg und die Meßwerte bei der Abnahme aufgeführt.

	Grenzwerte		Meßwerte
	TA Luft (mg/m <sup>3</sup> )	Umweltbehörde* (mg/m <sup>3</sup> )	(mg/m <sup>3</sup> )
Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	350	200	150
Kohlenmonoxid (CO)	100	100	35–40
Rußzahl	max. 4	< 1	< 1

Die Istwerte werden ohne Sekundärmaßnahmen wie Wassereindüsung oder Katalysatoren erreicht. \* Förderrichtlinien vom 22. 4. 91

## Der Energieträger: Erdgas

Die von der Umweltbehörde geforderten niedrigen Emissionswerte und hohen Wirkungsgrade können mit dem Einsatz von Erdgas erreicht werden. Im vorliegenden Fall erfolgt als Novum die Belieferung mit Erdgas ungerregelt mit ca. 13 bar aus dem Hochdrucknetz der Hamburger Gaswerke.

## Betriebsergebnis

Mit dem Einbau des Gasturbinen-Blockheizkraftwerkes in die Energieversorgung der Tivoli Werke AG wurden eine Reihe von Vorteilen erreicht. Durch optimale Anpassung an den Bedarf und Einbindung in den Produktionsprozeß erreicht das GT-BHKW einen Jahresnutzungsgrad größer 90 % bei einem Jahresdauerbetrieb von etwa 8500 Volllaststunden im Jahr.

Mußten früher Stromkosten von über 1 Mio. DM bezahlt werden, ergibt sich heute als Summe aus Strombezug und Einspeisung eine Gutschrift von 110.000,- DM.

Die Betriebskostensparnis beträgt bei den zugrundegelegten Energiepreisen für Strom und Erdgas 500.000,- DM/a.

### Gasturbine mit Eigenstromversorgung im Vergleich zur konventionellen Wärmeerzeugung mit Strombezug beim EVU

	BHKW	nur Kessel
Brennstoffkosten	DM/a 1.630.000	1.200.000
Stromkosten	DM/a ./ 110.000	1.020.000
Unterhaltungskosten	DM/a 200.000	–
Betriebskosten-Ersparnis	DM/a 1.720.000 DM/a ./ 500.000	2.220.000 –
Investitionskosten ohne Förderung	DM 2.640.000	
mit Förderung	DM 1.735.000	

# HEINGAS

Herausgeber:  
Hamburger Gaswerke GmbH  
Heidenkampsweg 99, 20097 Hamburg  
in Zusammenarbeit mit der  
Freien und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde

## Ausführung der BHKW-Anlage:

### Ausführung:

BHKW-Gasturbinenanlage:  
Tuma Turbomach SA  
CH 6805 Mezzovico (Schweiz)

Heißwassertechnik:  
Henry Juul  
Alsterdorfer Straße 278  
22297 Hamburg

BHKW-Maschinenhaus:  
Helmut Peters  
Bauunternehmen GmbH  
Horner Landstraße 302–304  
22111 Hamburg

### Gesamtplanung:

ENERATIO  
Ingenieurbüro für rationellen  
Energieeinsatz GmbH  
Alsterdorfer Straße 278  
22297 Hamburg

