

DK 662.613.5.004.8:666.1.031.2:621.181.62:621.51

## Wirtschaftliche Verwertung von Rauchgasen hinter Glasschmelzwannen

Von Gerhard Körber, Nürnberg

(Vortrag auf der 50. Glastechnischen Tagung am 19. Mai 1976 in Freiburg i. Br.)

(Mitteilung aus der AEG-KANIS Turbinenfabrik GmbH, Nürnberg)

(Eingegangen am 6. Juli 1976)

Das zunehmende Energiebewußtsein und die immer stärker steigenden Preise für Energie, gleich welcher Form, zwingen alle Energieverbraucher, nach Möglichkeiten der Energieeinsparung zu suchen.

Für brennstoffbeheizte Glashütten bietet sich hier ein Heizkraftwerk (HKW) an. Die nutzbare Wärme der gesamten in einer Glashütte anfallenden Rauchgase wird in einem sogenannten Abhitzekegel in Hochdruck-Heißdampf verwandelt. Dieser treibt eine Turbine an. Die Turbine kann entweder einen Generator antreiben und damit Strom erzeugen oder z. B. auch einen zentralen Druckluftkom-

pressor, der die ganze Hütte mit Druckluft versorgt. Eine derartige Verwertung der Rauchgaswärme bringt eine erhebliche Reduzierung des Strombezugs vom Energieversorgungsunternehmen. Eine genaue Untersuchung über die beste Abwärmeverwertung hinter Glaswannen ergab, daß von mehreren betrachteten Varianten die Druckluftherzeugung die wirtschaftlichste ist. Bei Errichtung eines HKW reduzieren sich die Strombezugskosten je nach Größe der Hütte um etwa ein Viertel. Die Pay-Out-Zeit eines solchen HKWs liegt dann unter vier Jahren.

### Economic use of waste gases from glass melting furnaces

Increasing concern about energy and the steeply rising price of all forms of energy mean that all energy consumers must seriously investigate all possible ways of saving energy.

For a typical glass works it is possible to install a heat power unit in which the useful heat from all the waste gases produced in the factory can be turned into high pressure steam in a waste heat boiler. This can be used to drive a turbine which can, in turn, drive an electric generator or compressor which might satisfy all the factory's needs for compressed air. Such

use of the heat in waste gases can substantially reduce the amount of electricity needed for the total energy consumed. Careful investigation of the best way to use the useful heat available from glass tanks shows that production of compressed air is the most economical of the numerous possibilities. Consideration of the whole factory as to a heat power unit can lead to savings in electricity costs of around a quarter but depending on its size. The cost of the necessary equipment can thus be recovered in about four years.

### Récupération économique des gaz de fumée produits par les bassins de verrerie

Une meilleure prise de conscience des problèmes énergétiques et les coûts toujours croissants des différentes formes d'énergie contraignent tous les consommateurs à rechercher les moyens d'économiser l'énergie.

Pour les verreries à chauffage par combustibles, il y a la possibilité d'installer une centrale thermique. La chaleur utile dégagée par tous les gaz de fumée produits dans la verrerie est transformée en vapeur à haute pression dans une chaudière à récupération thermique. La vapeur entraîne une turbine. Cette turbine peut à son tour faire fonctionner une génératrice produisant du courant ou un compresseur central

qui alimente toute l'usine en air comprimé. Une telle utilisation des gaz brûlés permet de réduire considérablement les achats de courant électrique auprès de l'entreprise qui fournit l'énergie. Une étude précise sur la meilleure façon d'exploiter la chaleur perdue par les fours de verrerie a montré que, des différentes solutions proposées, la production d'air comprimé est la plus économique. La construction d'une centrale thermique réduit le coût de l'énergie électrique d'environ un quart, selon la taille de l'usine. Une telle centrale est donc amortie en moins de quatre ans.

Die zunehmende Verteuerung der Energie, gleich welcher Form, zwingt alle Bereiche der Wirtschaft, der Wissenschaft und nicht zuletzt des Staates nach allen Möglichkeiten zu suchen, Energie einzusparen. Die Einsparung kann sowohl durch effektivere Erzeugung und Verteilung als auch durch bessere „Abwärmeverwertung“ erfolgen. Letzteres gilt in besonderem Maße für Produktions- und Verarbeitungsbetriebe, die einen großen Wärmeverbrauch bei hoher Temperatur haben. Sehr oft fällt dann Abwärme bei einer mittleren oder niederen Temperatur an. Diese Restwärme wurde bisher im allgemeinen (und größtenteils heute) nicht oder nicht wirtschaftlich genug verwertet. Ein typisches Beispiel hierfür sind Glashüttenwerke. Sie gehen zum Teil sehr verschwenderisch mit der Energie um, weil sie das große Abwärmepotential nur minimal ausnutzen. Im Rahmen der Planungstätigkeit der Anlagentechnik wurde in einer Studie die wirtschaftlich sinnvollste Verwertung von heißen Rauchgasen aus Glasschmelzwannen untersucht.

### 1. Aufgabenstellung

Die meisten aller betriebenen Glasschmelzwannen zur Hohlglasherstellung werden mit fossilen Brennstoffen beheizt. Die dabei anfallenden Rauchgase haben am Wannenaustritt eine Temperatur von etwa 1500 bis 1600 °C. Sie werden in Luftwärmetauschern gekühlt. Die freiwerdende Wärme wird im Regenerator oder Rekuperator auf die einströmende Verbrennungsluft übertragen. Hinter dem Wärmetauscher haben die Rauchgase je nach Auslegung noch eine mittlere Temperatur von etwa 500 °C. Sehr oft werden auch heute noch die Rauchgase ungenutzt über den Kamin abgeleitet.

Für Produktionsbetriebe mit erheblichem Wärme- und Strombedarf gibt es im allgemeinen folgende Möglichkeiten, eine anfallende Abwärme sinnvoll und wirtschaftlich zu nutzen:

- a) Nutzung für Produktionszwecke (Rückgewinnung), eintretende Stoffströme vorwärmen;

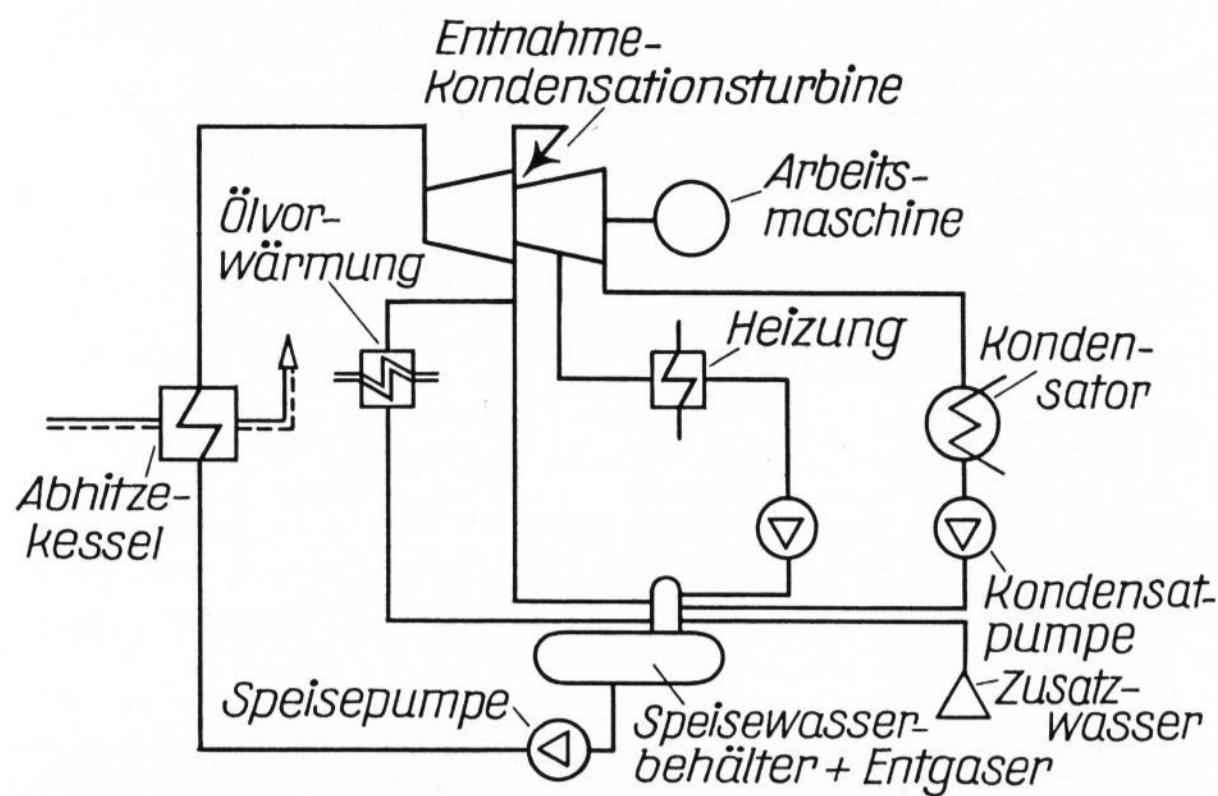


Bild 1. Prinzipskizze eines Abhitze-Heizkraftwerkes.

- b) Nutzung für Heizung;  
c) Verwertung in einem Kraft- oder Heizkraftprozeß.

Die zuerst genannte Möglichkeit ist bei Glashütten zwar teilweise schon verwirklicht (Abwärmennutzung zur Luftvorwärmung im Regenerator oder Rekuperator), jedoch kann prozeßseitig die anstehende Restwärme bei 500 °C nicht verwertet werden.

Eine weitere Absenkung der Rauchgastemperatur im Regenerator auf etwa 350 °C wäre zwar (mit erheblichem Mehraufwand an Investition) möglich, jedoch kann diese so gewonnene Wärme letztlich nicht verwertet werden, da die Wärmebeständigkeit der Steine im Regenerator erreicht wird.

Die Nutzung der verwertbaren Rauchgaswärme nur für Heizzwecke (Möglichkeit b)) scheitert am zu geringen Heizbedarf der Glashütte (sowohl Raumheizung als auch Warmwasser). Außerdem ergibt der jahreszeitlich stark schwankende Heizbedarf keine besonders gute Ausnutzung.

Es bleibt als letzte Möglichkeit die Verwertung der Restwärme in einem Kraft- oder Heizkraftprozeß. Dieser Prozeß wird ein Dampfprozeß sein. Die Verwendung einer Gasturbine scheitert von vornherein, weil die Rauchgase von der Wanne zu sehr verschmutzt ankommen und weil der Rauchgasdruck zu niedrig ist. Im Dampf-Heizkraftprozeß ist die thermodynamisch beste Nutzung möglich. Die Rauchgase können bis etwa 220 °C abgekühlt werden, wenn schweres Heizöl zur Befuerung der Wannen verwendet wird (wegen des Schwefelgehaltes). Ein weiterer Vorteil ist die Energieumwandlung in die edelste Form, nämlich Strom bzw. mechanische Energie.

Der prinzipielle Aufbau des Dampf-Heizkraftwerkes ist aus Bild 1 ersichtlich. In einem Rauchgas-Abhitze-Kessel werden die Rauchgase gekühlt und die freiwerdende Wärme zur Erzeugung von Hochdruck-Heißdampf verwendet. Dieser Heißdampf wird in einer (Entnahme-Kondensations-) Turbine entspannt. An der Entnahmestelle der Turbine wird Dampf zu Heizzwecken entnommen. Der nicht weiter verwertbare Abdampf der Turbine wird im Kondensator kondensiert. Das Kondensat wird mittels Pumpen zum Speisewasserbehälter transportiert und im Entgaser thermisch entgast. Die Kesselspeisepumpe befördert das Speisewasser wieder in den Abhitze-Kessel. Die Dampfturbine kann z. B. einen Generator, einen Kompressor oder ein Gebläse antreiben.

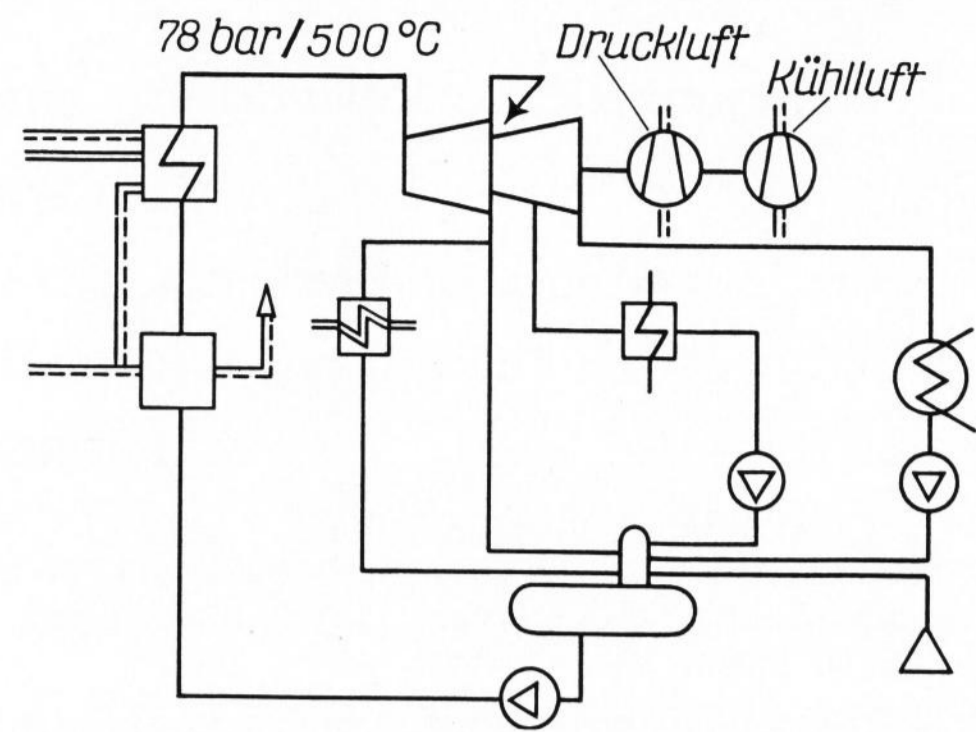


Bild 2. Sattdampf-Abhitze-Kessel, zusätzlich gefeuerter Überhitzer, Kühl- und Drucklufterzeugung (Variante 1).

## 2. Beschreibung der untersuchten Varianten

Bei der Untersuchung über eine möglichst wirtschaftliche Verwertung der Restenergie der Rauchgase stellt sich die Frage der Auslegung (Konzeption) der Anlagenteile, wie z. B. die Wahl des Frischdampfzustandes. Wenn der Abhitze-Kessel mit zusätzlicher Feuerung ausgestattet wird, kann die Frischdampf-temperatur (FD-Temperatur) freizügig gewählt werden. Ist dies nicht der Fall, so hängt die maximal mögliche FD-Temperatur direkt von der Rauchgastemperatur (RG-Temperatur) ab. Es gilt ungefähr:

$$t_{FD} = t_{RG} - 80 \text{ °C.}$$

Der maximal mögliche Dampfdruck ist hierbei ebenfalls abhängig von der Rauchgastemperatur.

Ein weiterer Aspekt ist die Wahl der Energieumwandlung, d. h. ob Strom oder mechanische Energie erzeugt werden soll. Betrachtet man die hauptsächlichen Stromverbraucher einer Hohlglashütte genauer, so erkennt man rasch, daß dies die Druckluft-Kompressoren für Arbeitsluft der Glasmaschinen und Kühlgebläse zur Wannen Kühlung sind.

Für Industriebetriebe allgemein und für Glashütten im besonderen gilt, bei einer Abhitzeverwertung nach Wärmeverbrauchern aller Art zu suchen. Hier ist speziell der Heizwärmebedarf vom eigenen Industriebetrieb und u. U. auch von benachbarten Wärmeabnehmern, d. h. Fernwärme, gemeint. Diese Verwertung der Abwärme ist besonders interessant, da sie bei niedriger Temperatur stattfindet, wo technologisch (also als Prozeßwärme), wie bereits erwähnt, keine Einsatzmöglichkeit mehr besteht.

Die Umwandlung der Restwärme der Rauchgase in Strom bzw. mechanische Energie wird eine wesentliche Minderung des Reststrombedarfs des Industriebetriebes bringen, normalerweise aber keine vollständige Deckung des Strombedarfs. Deswegen ist es sinnvoll, u. a. auch Möglichkeiten zu untersuchen, die den Strombedarf vollständig decken. Aus den angeführten Erläuterungen und Begründungen zeichnen sich die nachfolgenden Varianten ab, die bei der durchgeführten Studie untersucht wurden. Sie haben jedoch auch allgemeinen Charakter. Alle Varianten sehen die Versorgung der Glashütte mit Heizwärme und die Entspannung des Dampfes in einer Entnahme-Kondensationsturbine vor. Der nicht weiter verwertbare Abdampf wird in einem

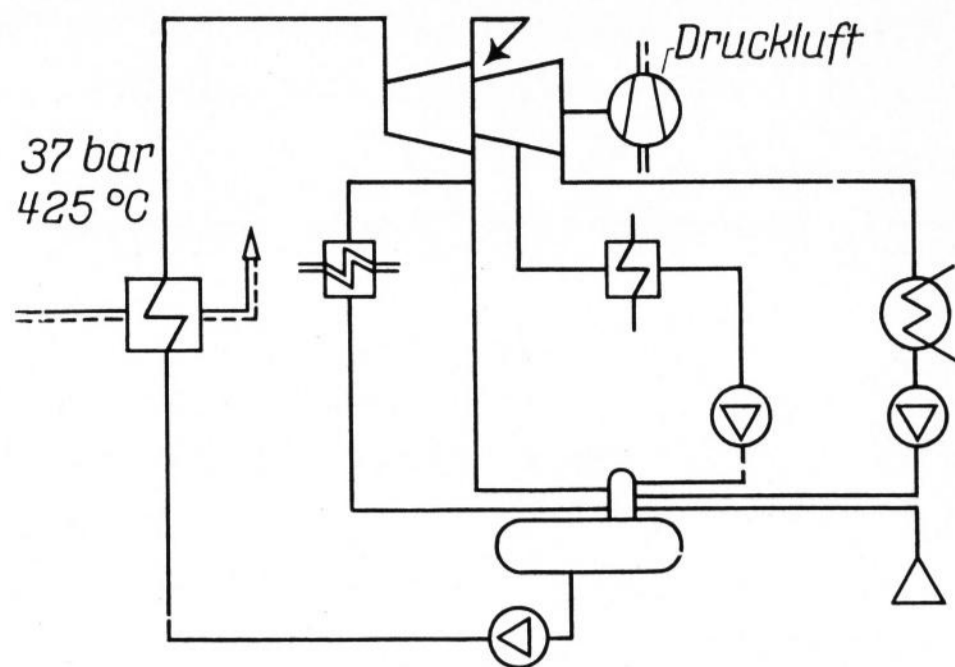


Bild 3. Abhitzeessel ohne Zusatzfeuerung, Druckluft-erzeugung (Variante 2).

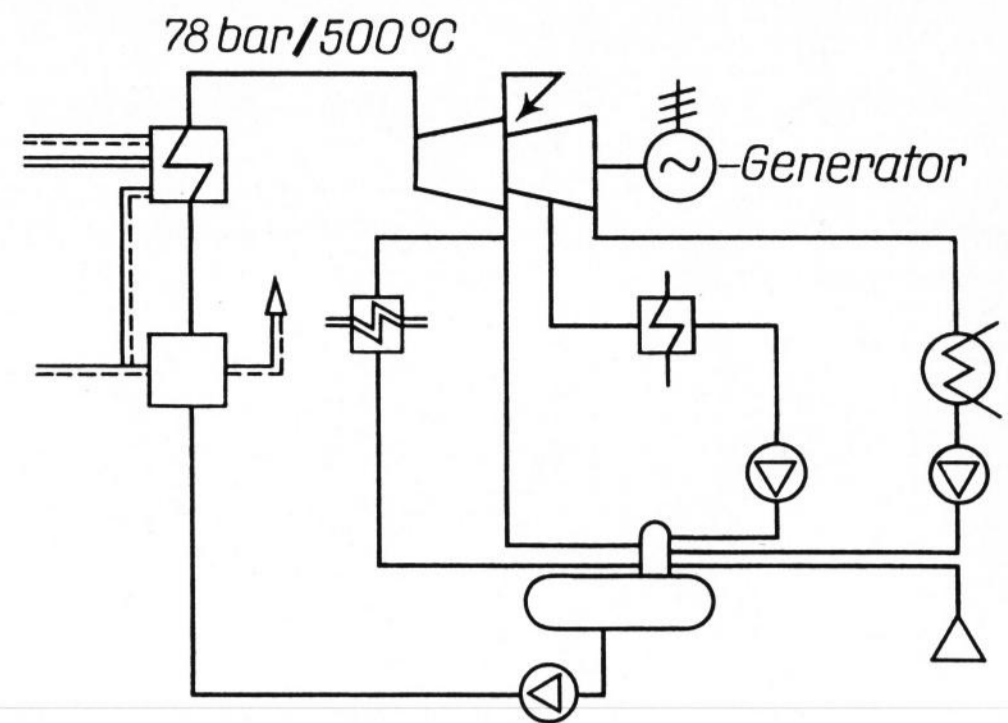


Bild 5. Sattdampf-Abhitzeessel, zusatzgefeuerter Überhitzer, Stromerzeugung (Variante 4).

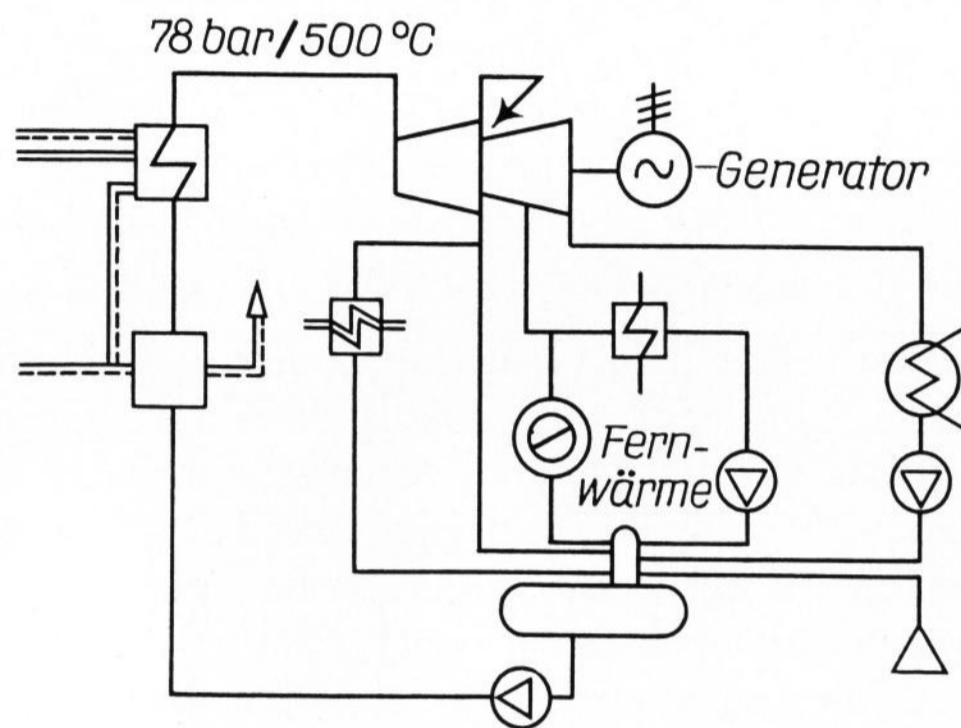


Bild 4. Sattdampf-Abhitzeessel, zusatzgefeuerter Überhitzer, Stromerzeugung und Fernwärmelieferung (Variante 3).

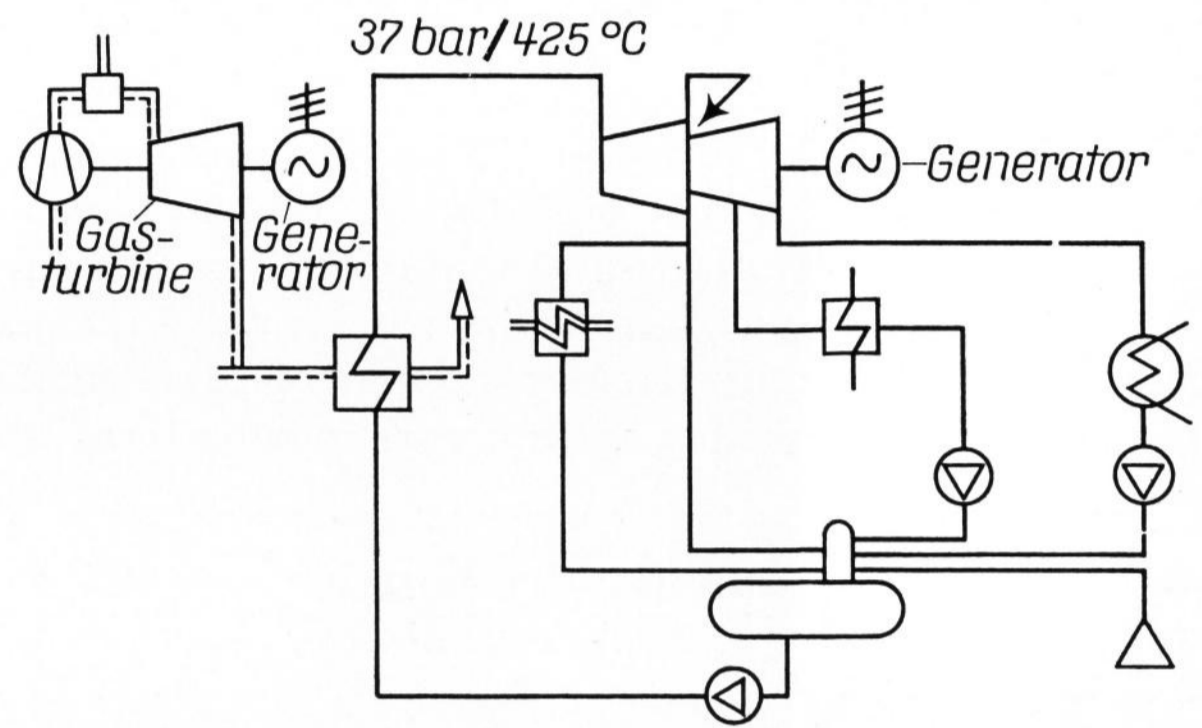


Bild 6. Verwertung von Schmelzwannen- und Gasturbinenabgasen zur Dampferzeugung, Gesamtstromerzeugung (Variante 5).

wassergekühlten Kondensator niedergeschlagen. Die Rückkühlung des Kühlwassers selbst erfolgt bei allen Varianten in einer oder mehreren Ventilator-Kühlturmzellen.

Variante 1 (Bild 2): Hier wird in einem Abhitzeessel Sattdampf von 78 bar erzeugt. Die Überhitzung des Sattdampfes erfolgt in einer Überhitzungsbrennkammer auf 500 °C. Der Dampf wird in der Turbine entspannt. Die Turbine treibt sowohl einen Luftkompressor als auch ein Kühlluftgebläse an.

Variante 2 (Bild 3): Im Abhitzeessel wird Heißdampf von 37 bar/425 °C erzeugt. Es ist keine zusätzliche Feuerung installiert. Die Verwertung des Dampfes erfolgt in einer Entnahme-Kondensationsturbine, die einen zentralen Luftkompressor antreibt zur Versorgung der ganzen Hütte mit Druckluft (Arbeitsluft).

Variante 3 (Bild 4): Erzeugung von 78-bar-Sattdampf in einem Abhitzeessel und Überhitzung in einer Überhitzungsbrennkammer auf 500 °C. Verwertung des Dampfes in einer Entnahme-Kondensationsturbine zum Antrieb eines Generators. Zusätzlich wird Heizdampf für Fernwärmeezwecke abgegeben.

Variante 4 (Bild 5): Wie Variante 1, jedoch treibt die Dampfturbine einen Generator an.

Variante 5 (Bild 6): Erzeugung von 37 bar/425 °C Heißdampf. Die Verwertung des Dampfes geschieht in einer Entnahme-Kondensationsturbine zum Antrieb eines Generators. Zusätzlich wird eine Gasturbine zum Antrieb eines weiteren Generators installiert; die Verwertung ihrer Abgase erfolgt im selben Abhitzeessel.

### 3. Kondensationsprozeß bei „kostenlosem Brennstoff“ (Abwärme) und bei Erzeugung des Kondensationsstroms mit Zusatzfeuerung

An dieser Stelle sei kurz ein qualitativer Vergleich zwischen einem reinen Abhitzeekraftwerk und einem fossil befeuerten Kraftwerk eingeschoben.

Der für den Kondensationsprozeß verfügbare Dampf wird in der Turbine entspannt. Zur Versorgung der Glashütte mit Heizwärme wird der Turbine teilweise entspannter Dampf entnommen. Da aber der Heizwärmebedarf der Glashütte (gilt auch allgemein) relativ gering ist (im Vergleich zum gesamten Wärmeangebot des Dampfes), wird der größte Teil des Dampfes vollkommen entspannt und kondensiert. Die Theorie des Dampf-Kraftprozesses besagt, daß ein einfacher Wärmekreislauf im Kondensationsprozeß ungefähr einen thermischen Wirkungsgrad von 0,3 bis 0,35 hat, d. h. die eingegebene Wärme wird nur zu etwa 1/3 ausgenutzt, 2/3 ist Verlustwärme, die zum allergrößten Teil im Kondensator bei niedriger Temperatur (etwa 30 bis 40 °C) abgeführt werden muß.

Steht nun kostenlose Abwärme zur Verfügung, so ist der erzeugbare Strom trotz des niedrigen Wirkungsgrades ein Gewinn. Ein besserer Wirkungsgrad würde die Wirtschaftlichkeit natürlich weiter verbessern. Wird nun aber Dampf durch fossile Feuerung erzeugt, kann also nur 1/3 der eingesetzten Brennstoffmenge in Stromenergie umgewandelt werden.

Diese Art von Stromerzeugung ist besonders für kleine und kleinste Erzeuger vollkommen unwirtschaft-



Die stromverantwortlichen Kosten sind diejenigen Investitionskosten, die zu Lasten des Kraftwerkes gehen, d. h. von den gesamten Anlagekosten sind diejenigen Kosten abzuziehen, die auch bei Nichterstellung des Kraftwerkes anfallen würden. Diese sind hier z. B. Satt-dampfkessel (= Sattdampfecos), Gebäudeanteil, Kühlwasserversorgung von neu zu installierenden Kompressoren, neue Ölvorwärmer usw.

Als zweiter maßgeblicher Faktor müssen die Kosten für den Reststrombezug berücksichtigt werden. Aus der thermodynamischen Berechnung des Wärmekreislaufes ergibt sich eine von der Turbine erzeugte Nettoleistung. Da es verschiedene Lastpunkte während des ganzjährigen Betriebes gibt, muß der Mittelwert der Leistung zur Berechnung des eigenerzeugten Stromanteils verwendet werden. Beim Beispiel Druckluftherzeugung müssen ebenso wie bei der Nullvariante die volle Deckung und Absicherung des Kraftbedarfs, ob Strom oder mechanische Energie, in die Rechnung einbezogen werden. Durch Multiplikation der mittleren Leistung mit der jährlichen Betriebsstundenzahl (8640 h/a), erhält man die gesamten erzeugten Kilowattstunden pro Jahr. Dies ergibt hier 22,7 Mio. kWh/a netto, d. h. nach Abzug des Eigenbedarfs des Kraftwerkes. Der gesamte Bedarf der Glashütte ist im vorliegenden Fall 75 Mio. kWh/a, wenn die Druckluft elektrisch erzeugt wird. Nun kann man den nötigen Restarbeitsstrombezug ermitteln. Die Vorhalteleistung ist bei der Nullvariante 8,8 MW.

Bei der Stromeigenerzeugung sind 8800—1775 = 7025 kW zu bestellen. Hier ist 1775 kW die Summe aller Notstromaggregate. Für den normalen Betrieb sind jedoch nur 8800—2850 = 5950 kW zu beziehen und zu bezahlen, da gemäß Stromvertrag die tatsächlich bezogene Leistung, jedoch mindestens 70% der bestellten Leistung zu bezahlen sind: 5950 kW sind rund 85% von 7025 kW. Bei dieser Betrachtung geht man zunächst ebenfalls davon aus, daß die Druckluft elektrisch erzeugt wird. Mit diesen Eckgrößen ergeben sich mit dem Stromtarif die Kosten für den restlichen Strombezug.

Die Investitionskosten werden am Bestelltag fixiert, die Stromkosten (für Reststrombezug) sind jedoch variabel, d. h. Preiserhöhungen sind während der gesamten AfA zu erwarten. Es muß deshalb, wie schon erwähnt, ein Mittelwert festgelegt werden. Im vorliegenden Fall ergab sich in Zusammenarbeit mit der Glashütte folgendes: Der Strompreisindex stieg von 1970 bis 1974 gemäß den Angaben des Statistischen Bundesamtes (Bild 8). Für die Zeit von 1975 bis 1980 wurde durch Extrapolation eine durchschnittliche jährliche Steigerung der Strompreise von 6% ermittelt. Tatsächlich wurde dieser Wert in den Jahren 1974 und 1975 weit übertroffen. Diese Preissteigerungstendenz wird zweifellos noch etliche Jahre dauern, da die Energieversorgungsunternehmen großen preislichen Nachholbedarf haben. Eine Annahme von 6%/a Erhöhung durchschnittlich ist also einigermaßen sicher und daher gerechtfertigt. In dem gewählten Beispiel werden die Stromkosten für das Jahr 1980 verwendet, obwohl die AfA bis etwa 1998 dauert. Mit dieser Preissteigerungsrate belaufen sich in dem Beispiel die Kosten für Reststrombezug auf 3,48 Mio. DM/a und die Kosten für die Vorhalteleistung auf 1,26 Mio. DM/a.

Bei der bereits erwähnten Nullvariante ergeben sich somit für einen gesamten Leistungsbedarf von 8,8 MW

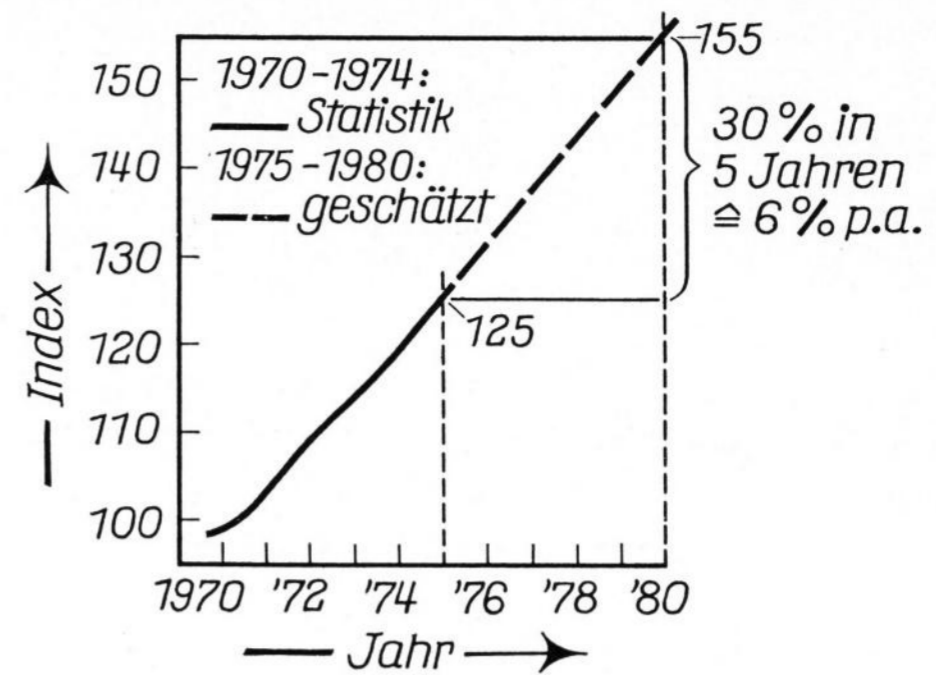


Bild 8. Veränderung des Strompreisindex von 1970 bis 1980 (Index 1962 = 100).

und 75 Mio. kWh/a ein Arbeitspreis von 4,796 Mio. und ein Leistungspreis von 1,86 Mio. DM, insgesamt also 6,656 Mio. DM/a. Mit diesem Betrag müssen die gesamten Jahreskosten der einzelnen Varianten verglichen werden.

Als weiterer Aspekt in der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind die Bedienungskosten, d. h. Personalkosten, zu berücksichtigen.

Um die Bedienungskosten zu senken, ist eine sichere Überwachungseinrichtung mit Teilautomatisierung anzustreben. Gemäß einer Richtlinie des Deutschen Dampfkesselausschusses ist ein Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung (BoB) möglich. Mit BoB kann das Kraftwerkpersonal erheblich reduziert werden:

- 1 Meister für Tagesdienst und als Springer 1
- 1 Kraftwerker je Schicht und 1 Springer  $\frac{4 \times 1}{5}$

Das sind insgesamt 5 Personen, die gemäß BoB für den Kraftwerksbetrieb bei einem 3-Schicht-Betrieb zuständig sind. Für den normalen Betrieb sind 3 Mann Aufsichtspersonal pro Tag ausreichend. Die beiden anderen Personen sind kein Kostenfaktor des Kraftwerkes. Da jedoch die Anlage automatisch fährt, sind durchschnittlich 2 Personen, die ihre volle Arbeitszeit mit dem Kraftwerksbetrieb, der Wartung und Überwachung verbringen, dem Kraftwerk anzulasten. Der dritte Mann kann zu anderen Arbeiten herangezogen werden, muß im Notfall jedoch sofort erreichbar und für das Kraftwerk frei sein. U. U. können weitere Personen, die bereits mit wärmetechnischen Aufgaben betraut sind, zusätzlich für die Betreuung des Kraftwerkes herangezogen werden, so daß sich die effektiven Lohnkosten des Kraftwerkes weiter verringern. Die Jahreskosten für eine Arbeitskraft werden mit rund 40 000,— DM angesetzt, also 80 000 DM/a für Personal.

Für die Teilautomatisierung und Überwachungseinrichtung und die gesetzlich vorgeschriebenen BoB-Überwachungseinrichtungen müssen zusätzliche Anlagekosten berücksichtigt werden.

Um eine Lebensdauer des Gesamtkraftwerkes von 20 Jahren zu erreichen, müssen die Anlagenteile gewartet und notfalls repariert werden. Aus Erfahrung läßt sich sagen, daß die Kosten für Instandhaltung etwa 2% der Investitionskosten jährlich betragen. Setzt man also 2% ein, ergibt das mit der Investitionssumme von DM 7,624 Mio. jährlich DM 152 500 an Instandhaltungskosten.

Nun muß noch ein weiterer Punkt berücksichtigt werden. Die Rauchgase, von den Schmelzwannen

kommend, sind sehr schmutzig (Gemengestaub usw.). Dadurch verschmutzt der Abhitzeessel und muß erfahrungsgemäß 4mal jährlich gründlich gereinigt werden, d. h. der Kessel wird außer Betrieb genommen. Die Reinigungszeit beträgt jeweils rund 24 h, also  $4 \times 24 = 96$  h/a.

Im vorliegenden Fall sind aus betrieblichen Gründen zwei Abhitzeessel nötig. Die Abschaltung (zur Reinigung) erfolgt dann wechselweise, d. h. ein Kessel ist immer in Betrieb und produziert Dampf. Somit kann die Turbine durchgehend betrieben werden.

Um eine Spitze der elektrischen Bezugsleistung zu verhindern, werden mehrere Notstromaggregate während der Kesselreinigung betrieben. Die Kosten für den Dieselmotorkraftstoff sind zu berücksichtigen. Sie ermitteln sich wie folgt:

$$P = 2 \times 96 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 1775 \text{ kW} \cdot 0,26 \frac{\text{l}}{\text{kWh}} \cdot 0,3 \frac{\text{DM}}{\text{l}} = 26600, \text{—} \frac{\text{DM}}{\text{a}}$$

Ein besonders positives Merkmal der Druckluftherzeugung in einem HKW ist der Direktantrieb des Verdichters von der Turbine. Der Autor war bei der Ermittlung der Strombezugskosten zunächst davon ausgegangen, daß die Druckluft elektrisch erzeugt wird. Dies ist jedoch nicht der Fall und muß entsprechend korrigiert werden. Die mechanischen Verluste bei der Kombination Turbine/Kompressor sind also sehr gering, da kein Getriebe nötig ist. Außerdem arbeitet dieser zentrale Kompressor mit einem besseren Wirkungsgrad als die vielen kleinen Kompressoren, die bisher schon vorhanden waren. Weiterhin entfallen die Verluste, die bei Antrieb mit Elektromotor entstehen würden, vollständig. Insgesamt ergibt sich im vorliegenden Fall eine Ersparnis des Leistungsbedarfs für

Druckluftherzeugung von etwa 600 kW. Umgerechnet mit dem Leistungspreis bzw. Arbeitspreis (größter Rabatt) ergibt sich eine Ersparnis von

$$600 \text{ kW} \cdot 210,34 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}} = 126200, \text{—} \text{DM/a}$$

und (Leistungspreis)

$$\text{HT } 1/2 \text{ 600 kW} \cdot 8640 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 8,41 \frac{\text{Pf}}{\text{kWh}} = 218000, \text{—}$$

(Arbeitspreis HT)

$$\text{NT } 1/2 \text{ 600 kW} \cdot 8640 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot 4,36 \frac{\text{Pf}}{\text{kWh}} = 113000, \text{—}$$

(Arbeitspreis NT)

Insgesamt 457200, — DM/a

Diese Ersparnis wird rein durch Einsatz eines zentralen, direktgetriebenen Kompressors erreicht.

In dem konkreten Beispiel wird die Glashütte bisher nur von einem öffentlichen Netz versorgt, das viele Störungen durch Totalausfall oder starke Spannungseinbrüche zu verzeichnen hat. Dadurch entstehen der Hütte jährlich Ausfallkosten (in der Produktion) von rund 200000 DM. Wird nun ein Kraftwerk installiert, so ist eine sehr sichere Kraftversorgung gewährleistet, d. h. es kann davon ausgegangen werden, daß durch zwei voneinander unabhängige Quellen (EVU und Kraftwerk) eine Ausfallgefahr fast sicher gebannt ist. Dies wiederum heißt nichts anderes, als daß durch den Bau des Kraftwerkes — nach Angaben der Glashütte — jährlich 200000, — DM gespart werden.

Nun sind für alle Varianten, auch die Nullvariante, die Jahreskosten (durch Addition der einzelnen Posten) zu ermitteln und zu vergleichen. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Zahlen zusammengestellt. Es ist ersichtlich, daß für die Nullvariante 6,656 Mio. DM Jahreskosten

Tabelle 1. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Vollkomm. Strombezug
Stromverantwortliche Kosten in T DM	10091	7624	9016	8903	12501	—
Kapitalkosten(Zins + Tilgung)in T DM/a	1027,3	776,2	917,8	906,2	1272,6	—
Instandhaltung in T DM/a	201,8	152,5	180,3	178,0	250,0	—
Brennstoffkosten in T DM/a	796,8	—	796,8	796,8	—	—
Bedienungskosten in T DM/a	80	80	80	80	80	—
Kosten für Vorhalteleistung in T DM/a	1093,7	1259,9	1265,1	1121,0	398,5	1860,4
Kosten für Reststrombezug in T DM/a	2578,1	3479,8	2884,8	2689,6	9,9	4795,5
Betriebskosten						
Notstromaggregat in T DM/a	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	—
Ersparnis Ausfallkosten in T DM/a	— 200	— 200	— 200	— 200	— 200	—
Erlös für Fernwärme (30 DM/Gcal) in T DM/a	—	—	— 498,8	—	—	—
Ersparnis durch zentralen Kompressor in T DM/a	457,2	457,2	—	—	—	—
Summe vergleichbarer Jahreskosten in T DM/a	5147,1	5117,8	5452,6	5598,2	5399,4	6656,0
Gewinn gegenüber vollem Strombezug in T DM/a	1508,9	1538,2	1203,4	1057,8	1256,6	—
Pay-Out-Zeit in Jahren	4,97	3,97	5,34	5,85	6,54	—

anstehen. Bei dem betrachteten Beispiel (Druckluft-erzeugung) fallen jedoch nur 5,118 Mio. DM an. Die Differenz von 1,538 Mio. DM bedeuten den jährlichen Nettogewinn bei Errichtung des Kraftwerkes (gegenüber vollständigem Strombezug). Dividiert man die Investitionskosten durch den jährlichen Gewinn, so ergibt sich die Amortisationszeit, hier also  $\frac{7624DMa}{1538DM} = 4,95$  Jahre. Dies entspricht einer Rentabilität von über 20%. Die so ermittelte „Pay-Out“-Zeit gilt, wenn während der ganzen AfA jährlich gleichbleibende Raten für Zins + Tilgung gezahlt werden.

Verfährt man aber so, die Gewinne von der Inbetriebnahme beginnend voll zur Tilgung + Zinszahlung zu verwenden, reduziert sich eben wegen der hohen Anfangstilgung die Pay-Out-Zeit auf 3,97 Jahre. Dies ist ein erstaunlich niedriger Wert, wenn man bedenkt, daß solche komplexen Energieanlagen für 20jährigen Betrieb ausgelegt sind.

Die anderen untersuchten Varianten ergaben ebenfalls gute Werte bezüglich jährlichem Gewinn bzw. Pay-Out-Zeit, jedoch ist die hier betrachtete Variante (Druckluftherzeugung) die beste, sie bringt den größten Gewinn bei geringster Investition.

### 5. Schlußfolgerung

Die Verwertung von heißen Rauchgasen (etwa 500 °C) hinter Glasschmelzwannen ist äußerst wirtschaftlich, wenn über den Dampf-(Heiz)kraftprozeß mechanische Energie in Form von Druckluft erzeugt wird. Auffallend ist, daß im Falle einer Hohlglashütte die nutzbare Energie der Rauchgase ziemlich genau den

Energiebedarf der Druckluftherzeugung deckt, d. h. die bisher im Kamin nutzlos verschwendete Abwärme-Energie wird zur Erzeugung der gesamten Druckluft verwendet. Selbstverständlich ist auch für eine Flachglashütte eine Abwärmenutzung in einem Kraftwerk sinnvoll.

Erwähnt seien noch zwei besonders interessante Aspekte im Zusammenhang mit der Finanzierung, nämlich das Leasing und das Investitionszulagengesetz.

Es ist möglich, daß eine Glashütte ein Kraftwerk mietet. Die Leasing-Firma erstellt das Kraftwerk und vermietet es an die Glashütte. Es müssen monatliche Mietraten bezahlt werden. Außer einer Abschlußgebühr fallen überhaupt keine Investitionskosten an. Das Mieten bedeutet also eine sehr gute Finanzierungsmöglichkeit.

Der zweite angesprochene Punkt ist das Investitionszulagengesetz. Dieses besagt in § 4a, daß für energieeinsparende Investitionen, die nach dem 31. 12. 1974 bestellt oder hergestellt werden, eine Zulage von 7,5% der Investitionskosten bezahlt wird. In dem gewählten Beispiel wurde diese Zulage miteingerechnet.

Der Autor ist der Meinung, daß das abgehandelte Energieproblem in Glashütten bisher noch viel zu wenig beachtet wird und genauerer Untersuchung bedarf. Dies sollte jedoch nur in Zusammenarbeit mit erfahrenen Energiewirtschaftlern geschehen, da Einsparungen bei der Planung sehr teuer werden können. Jedes Industriekraftwerk muß maßgeschneidert werden, da jeder Betrieb anders gelagerte Energieversorgungsprobleme und Randbedingungen aufweist.

### 6. Literatur

- [1] Gellersen, E. und Reinhold, P.: Sinnvolle Nutzung der Abwärme 800 °C heißer Abgase mit dem Regenerativ-Wärmetauscher. *Energie* 26 (1974) S. 143 – 146.
- [2] Lingard, P. A.: Elektrizität und Wärmeerzeugung: Vergleich zwischen der Menge der Energieerzeugung und ihren Kosten. *Heat. Vent. Eng.* 49 (1975) Nr. 575, S. 12 – 14.
- [3] Bender, R. J.: Trouble-free recovery boilers coming up. *Power* 116 (1972) Nr. 10, S. 35 – 36.
- [4] Meckler, M.: Preparing for onsite power. *Power* 119 (1975) Nr. 4, S. 82 – 83.
- [5] Sternlicht, B.: The equipment side of low-level heat recovery. *Power* 119 (1975) Nr. 6, S. 71 – 77.
- [6] Rossmeyer, V. und Langen, J.: Über die Abwärmeverwertung von Glasschmelzöfen zur Stromerzeugung. *Glastechn. Ber.* 40 (1967) S. 432 – 437.
- [7] O. Verf.: Abschreibung und Verzinsung von Anlagekapital. In: VDI-Handbuch Energietechnik. Teil 2. Wärmetechnische Arbeitsmappe. Düsseldorf: VDI-Verl. 1967. Bl. A 5.
- [8] O. Verf.: Richtlinie des Deutschen Dampfkesselausschusses: Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung (BoB). 77R0405