

# Die Wirtschaftlichkeit der Raumheizung mit Geothermie – Möglichkeiten und Grenzen

Von Manfred Klöpsch und Roland Ziegler, Leimen \*)

In Nordostdeutschland sind günstige geologische Voraussetzungen gegeben, um Erdwärme zur Beheizung von Gebäuden zu nutzen. Wirtschaftlichkeit für diese Heiztechnik erscheint erreichbar, wenn die Erdwärme mit hinreichend hoher Temperatur zur Verfügung steht. Zusätzlich können die Wärmekosten gesenkt werden, wenn die Ausnutzung der Geothermie in Verbindung mit Spitzenerzeugung erhöht wird.

## Summary of the report:

### Economic Aspects of Room Heating Using Geothermal Energy – Possibilities and Limitations

The utilization of the earth's heat for room heating and the preparation of hot water is non-polluting and saves primary energy. The advantages are:

- lower emissions,
- use of a regenerative source of energy,
- efficient use of energy.

In other countries, the earth's heat is being used under favourable geological conditions in Island and in France. In Germany, similarly good possibilities for its use exist in the north-eastern parts of the country. Many deep bores are confirming good geological conditions for a production of thermal water. Water can be extracted at a temperature range of 50 to 100 °C from a depth between 1000 and 2000 m.

A first plant to use hydrothermal occurrences was built on a large scale in Neubrandenburg. Several smaller plants have also been built.

\*) Dr.-Ing. M. Klöpsch ist Geschäftsführer, Dipl.-Ing. R. Ziegler ist Mitarbeiter der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen.

Das Projekt wurde im Rahmen des Verbundprojekts »Analyse der Möglichkeiten zur Sanierung der Fernwärmeversorgung in den neuen Bundesländern« mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie gefördert.

## 1 Allgemeines

Die Nutzung von Erdwärme zur Raumheizung und Warmwasserbereitung ist umweltfreundlich und spart Primärenergie. Die Vorteile sind:

- Verringerung der Emissionen,
- Nutzung regenerativer Energie,
- rationelle Energieverwendung.

Im Ausland wird Erdwärme unter günstigen geologischen Bedingungen in Island und in Frankreich genutzt. In Deutschland bestehen ähnliche Möglichkeiten in den nordöstlichen Landesteilen. Viele Tiefbohrungen bestätigen gute geologische Voraussetzungen für eine Förderung von Thermalwasser. In einer Tiefe zwischen 1000 und 2000 m kann Wasser mit Temperaturen zwischen 50 und 100 °C gewonnen werden.

Eine erste Anlage zur Nutzung hydrothermalen Vorkommen wurde im größeren Maßstab in Neubrandenburg realisiert; daneben gibt es mehrere kleinere Anlagen.

## 2 Die Pilotanlage Neubrandenburg

In Neubrandenburg wird Geothermie seit 1988 zur Fernwärmeversorgung ge-

nutzt. Das Fernwärmenetz ist ein Niedertemperatur-Inselnetz mit einer Temperaturspreizung von 65/35 °C. Die ursprünglichen Planungen sahen einen Ausbau der Fernwärmeversorgung auf eine Anschlußleistung von 20 MW vor. Heute wird ein Gebiet mit etwa 1100 Wohneinheiten und öffentlichen Gebäuden mit einer Anschlußleistung von knapp 10 MW versorgt.

Die geothermische Anlage in Neubrandenburg besteht aus den Komponenten (Bild 1):

- 1 Thermalkreislauf,
- 2 Wärmepumpen-Heizwerk, Geothermische Heizzentrale (GHZ),
- 3 Niedertemperatur-Fernwärmenetz und Hausanlagen.

Es sind zwei Förder sonden in Betrieb, die eine Förderleistung von maximal 175 m<sup>3</sup> haben und Thermalwasser von 50 und 54 °C liefern. Das Thermalwasser wird durch Förderpumpen aus etwa 1200 m Tiefe angesaugt und in 1,3 km Entfernung in dieselbe Gesteinsschicht wieder verpreßt. Das Niedertemperaturheiznetz ist für eine Vorlauftemperatur von 65 °C ausgelegt. Das Temperaturniveau des Thermalwassers von etwa 50 °C reicht auch im Schwachlastbereich nicht aus, um beim Verbraucher eine hinreichende Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C sicherzustellen. Wärmepumpen heben die Heiznetzvorlauftemperatur auf 65 °C an. Die Wärmepumpen sind elektrisch angetriebene Kompressionsmaschinen.

Das Fernwärmenetz besteht aus konventionell im Betonkanal verlegten Leitungen mit Straßenquerungen in Schutz-

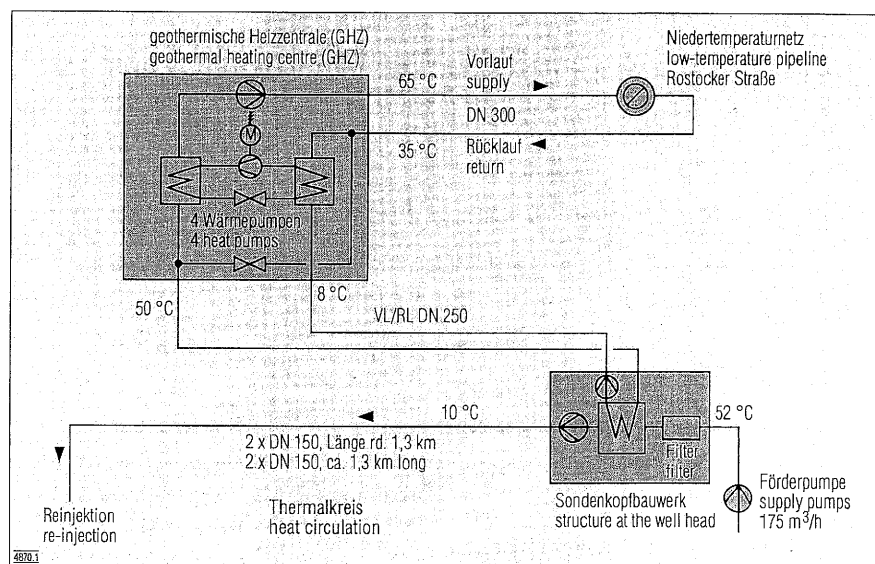
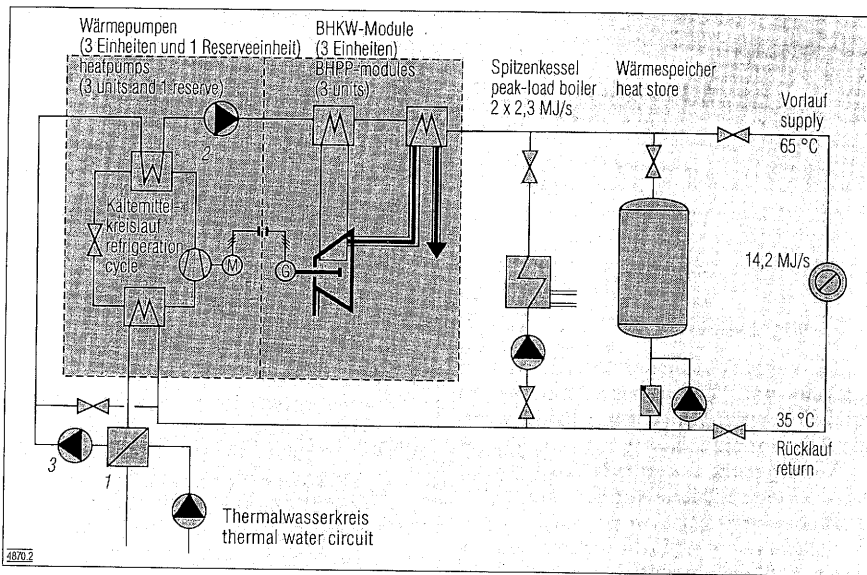


Bild 1. Geothermische Anlage Neubrandenburg, heutige Situation

Figure 1. Geothermal plant at Neubrandenburg, present situation



DM/MWh gegenüber, so wird deutlich, daß diese Kosten auf Dauer unhaltbar sind. Die Anlage muß für einen langfristig wirtschaftlichen Betrieb saniert werden.

### 3 Das Sanierungskonzept für Neubrandenburg

Das Sanierungskonzept der Anlage sieht vor, daß die vorhandenen Wärmepumpen als Kern erhalten bleiben. Um ihren Antrieb auf kostengünstigere Energie umzustellen, wird ihr Antriebsstrom in gasgetriebenen BHKW-Modulen erzeugt. Das ist hier günstiger als der direkte Antrieb der Wärmepumpen mit Gasmotoren. Zusätzlich werden Spitzenkessel mit Zweistoffbrenner installiert, damit die Wärmepumpen aus dem Spitzenlastbetrieb zurückgedrängt werden. Die BHKW machen die Installation eines Wärmespeichers erforderlich. Das Schema des Gesamtkonzepts ist in Bild 2 dargestellt.

Die vorhandenen Wärmepumpenblöcke als wichtigste Erzeugeranlagen sind mit Verdichtern und anderen maschinellen Komponenten ausgestattet. Die erforderliche Reserveleistung des Erzeugerparcs ist so bemessen, daß bei Ausfall der größten Einheit, das ist eine Wärmepumpe, noch 100 % der Höchstlast verfügbar sind.

Die Höchstlast der Erzeugung wird wie folgt dargestellt:

- |  |              |
|--|--------------|
| 1 Grundlast Direktwärmetausch                    | 2 MJ/s       |
| 2 Mittellast drei Wärmepumpen mit BHKW-Antrieben | 6 + 2,5 MJ/s |
| 3 Spitzenlast zwei Kessel Öl/Gas                 | 4,6 MJ/s     |
|  | <hr/>        |
|  | 15,1 MJ/s    |

Bild 3 zeigt die Aufteilung der Jahresarbeit auf die einzelnen Erzeuger.

Die vorgesehene Einsatzreihenfolge erklärt sich aus folgenden Zusammenhängen:

Der Direktwärmetausch ist eine günstige Erzeugung. Sie erfordert als Aufwand lediglich das Umwälzen des Thermalwassers. Die Temperatur des Thermalwassers reicht nicht aus, um in Schwachlastzeiten die gesamte Erzeugung zu tragen. Um hinreichende Warmwassertemperatur beim Abnehmer sicherzustellen, muß die Vorlauftemperatur durch Nachheizen auf 65 °C angehoben werden.

Für den Betrieb im Mittellastbereich werden die Wärmepumpen vom heutigen Strom- auf Gasantrieb umgestellt, indem sie mit BHKW-Modulen mit Gasmotoren ausgestattet werden. Im Hinblick auf eine angemessene Ausnutzung, werden nur drei WP-Blöcke umgerüstet.

Mit zunehmendem Wärmebedarf der Abnahme werden die BHKW nacheinander in Betrieb genommen und ihre Abwärme als Fernwärme eingespeist. Der anfallende Strom wird in das Netz des städtischen EVU eingespeist. Erst wenn die Abwärme aus allen drei Modulen nicht mehr

Bild 2. Sanierungskonzept der geothermischen Heizzentrale GHZ

- Reserve: 1 Wärmepumpe mit elektrischem Antrieb  
 1 Wärmetauscher Thermalwasser  
 2 Netzumwälzpumpe  
 3 Druckerhöhung

Figure 2. Rebuilding concept for the geothermal heating centre GHZ

- Reserve: 1 heat pump with electric drive  
 1 heat exchanger thermal water  
 2 circulatory pump  
 3 pressure step-up means

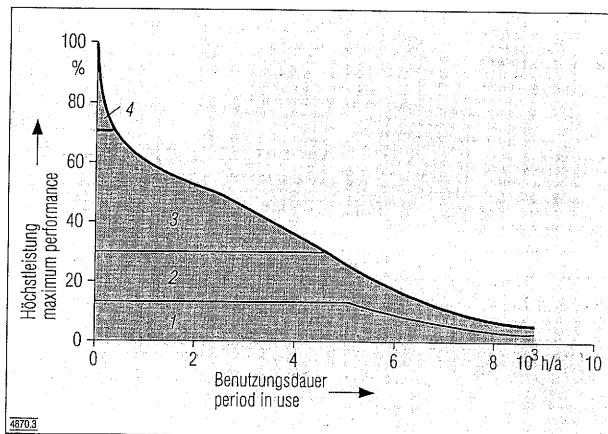


Bild 3. Aufteilung der Jahresarbeit und Einsatzreihenfolge der einzelnen Erzeugungsanlagen

- 1 direkter Wärmetausch  
 2 BHKW-Abwärme  
 3 Wärmepumpen  
 4 Spitzenlastkessel

Figure 3. Distribution of the yearly performance and the order in which the individual production plants are operated

- 1 direct heat-exchange  
 2 waste heat from BHP  
 3 heat pumps  
 4 peak-load boiler

rohrverlegung. Die größte Nennweite ist DN 300, die Druckstufe ist PN 10.

In den Jahren 1990 und 1991 wurden die Wärmepumpen nach und nach in Betrieb genommen. Erste Betriebserfahrungen der Heizperiode 1990/91 zeigten Probleme in bezug auf die Wirtschaftlichkeit und die Versorgungssicherheit. Die Wärmekosten aus der Neubrandenburger Anlage betragen derzeit rd. 200 DM/MWh frei

Abnehmer. Stellt man diesem Wert den mittleren Fernwärmepreis in der Bundesrepublik Deutschland von knapp 100

ausreicht, werden die Wärmepumpen nacheinander zugeschaltet. Als Reserveeinheit wird die vierte vorhandene Wärmepumpe genutzt. Sie wird nur geringe Benutzungsdauern aufweisen und behält ihren Stromantrieb. Wegen des möglichen wechselweisen Betriebs mit den Mittellastblöcken kann dennoch die Reservewärmepumpe im Laufe der Lebensdauer der Anlage normal abgenutzt werden, so daß bei einer späteren Außerbetriebnahme alle Wärmepumpen verschlissen sind.

Für die Anteile der Einsatzenergien (Bild 4) bedeutet dies

Anteil Geothermie (Direktwärmetausch und Wärmepumpen)	40 %
Anteil Erdgas (Gasmotoren und Spitzenkessel)	60 %
	100 %

Bild 4. Energieeinsatz in der GHZ:

Wärmeerzeuger a), Energieeinsatz b)

Figure 4. Energy applied in the GHZ: heat generator a), energy used b)

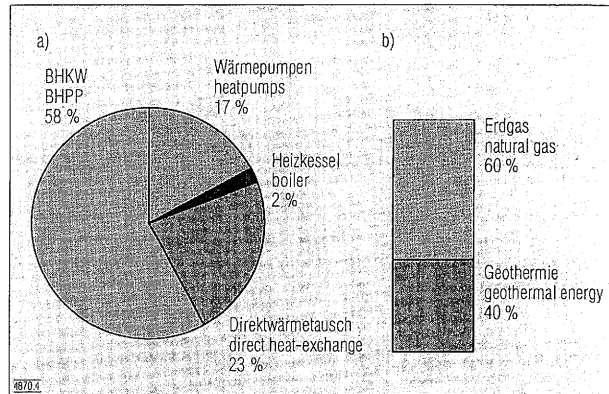
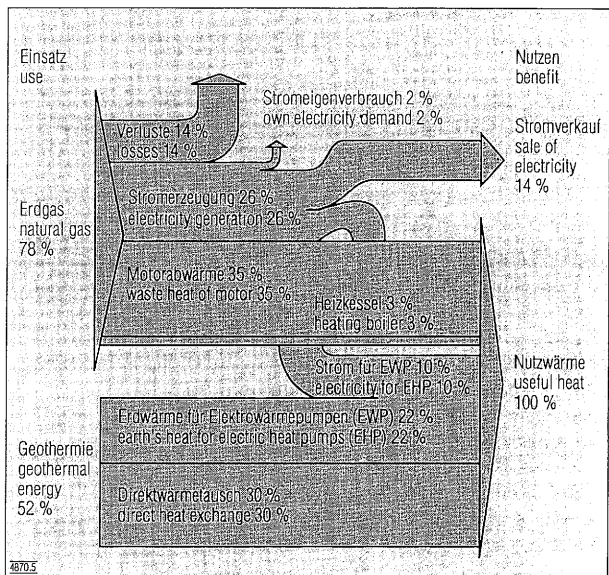


Bild 5. Energieflußdiagramm für die sanierte Anlage in Neubrandenburg

Figure 5. Energy flow diagram for the rebuilt plant in Neubrandenburg



In Bild 5 ist das Energieflußdiagramm für die sanierte Anlage in Neubrandenburg dargestellt.

#### 4 Möglichkeiten und Grenzen der Geothermie

Kostenuntersuchungen zeigen, daß der Neuaufbau einer geothermischen Anlage wie in Neubrandenburg, bei der eine Temperaturerhöhung der Erdwärme erforderlich ist, unter wirtschaftlichen Bedingungen nicht möglich ist. Um generelle Aussagen machen zu können, muß man sich allerdings von der speziellen Situation in Neubrandenburg lösen. Dort liegen durch die kostenlose Eigentumsübertragung und die gezielte staatliche Förderung besondere Gegebenheiten vor.

Die wirtschaftliche Nutzung der Geothermie ist bestimmt durch:

- hohe Investitionen für Bohrungen und Thermalkreis,
- übertragbare Leistung der Geothermie,
- nutzbare Wärmemenge.

Eine geothermische Anlage erfordert Investitionen für zwei Bohrsonden zur Förderung und Reinjektion des Thermalwassers sowie für eine korrosionsbeständige Verbindungsleitung. Der Investitionsbedarf für diese Anlagen beträgt etwa 8 Mio DM. Um die hohen jährlichen Kapitalkosten zu decken, muß dem Thermalwasser eine möglichst große Energiemenge entzogen werden.

Die übertragbare Leistung hängt in erster Linie von der Thermalwassertemperatur ab. Diese bestimmt die Temperaturdifferenz zum Heizungsrücklauf und zusammen mit der Thermalwassermenge die Wärmeleistung der Geothermie. Je niedriger die Rücklafterperatur desto

Bild 6. Wärmeerzeugungskosten von Geothermie in Kombination mit Spitzenkessel

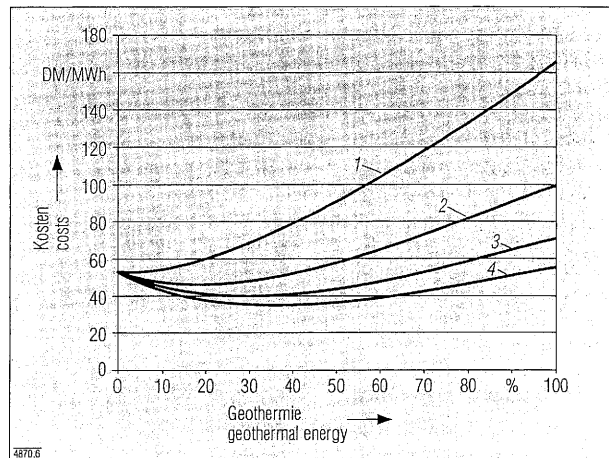
Quellentemperatur:

- 1 50 °C
- 2 60 °C
- 3 70 °C
- 4 80 °C

Figure 6. Costs for heat production using geothermal energy in combination with a peak-load boiler

source temperature:

- 1 50 °C
- 2 60 °C
- 3 70 °C
- 4 80 °C



größer ist die übertragbare Wärmeleistung des Thermalwassers. Das heißt für die Nutzung von Geothermie sind niedrige Rücklauftemperaturen unabdingbar. Eine Förderbohrung hat eine durchschnittliche Förderleistung von 100 m<sup>3</sup>/h. Je nach Schichtmächtigkeit und Porosität der wasserführenden Gesteinsschicht schwankt die Fördermenge zwischen 50 und 200 m<sup>3</sup>/h.

Die nutzbare Wärmemenge steht in engem Zusammenhang mit den jährlichen Vollaststunden der Geothermie. Um die Geothermie stärker auszunutzen, muß sie mit einer Spitzenerzeugungsanlage kombiniert werden. In erster Linie kommen hierfür Spitzenkessel in Frage.

Zur Beurteilung der Kostensituation einer geothermischen Versorgung werden verschiedene Kostenbetrachtungen angestellt, in denen die Quellentemperatur der Erdwärme und die Leistungsanteile von Direktwärmetausch und Spitzenlast zwischen 0 und 100 % variiert wurden. Sie beruhen auf einer Reihe von Schätzungen und den heutigen Energiepreisen. Die Ergebnisse sind in *Bild 6* aufgetragen. Es zeigt sich, daß Geothermieanlagen, die nur Erdwärme im Direkttausch nutzen, mindestens eine Thermalwassertemperatur von 75 °C zur Verfügung stellen müssen (rechter Rand des Diagramms 100 % Geothermie). Nur dann unterschreiten sie die Grenzkosten der Wirtschaftlichkeit von etwa 60 DM/MWh.

Bei höheren Benutzungsdauern, d. h. einem geringeren Leistungsanteil der Geothermie an der Wärmeerzeugung, wird die Schwelle der Wirtschaftlichkeit schon bei niedrigeren Quelltemperaturen erreicht. Bei 60 °C warmem Thermalwasser ist eine Benutzungsdauer von mindestens 5000 h/a erforderlich, entsprechend einem Leistungsanteil von etwa 50 %, um solche Quellen wirtschaftlich nutzen zu können. Bei Temperaturen von weniger als 55 °C ist eine direkte Nutzung der Geothermie nicht mehr kostendeckend. Selbst für geothermische Quellen mit 80 °C verlangt eine optimale Betriebsweise, die Erdwärme mit hoher Benutzungsdauer von etwa 5000 bis 6000 h/a auszunutzen. Generell ist also die Kombination mit einer Spitzenerzeugungsanlage sinnvoll.

## 5 Zusammenfassung

Kostenbetrachtungen zur Nutzung von Erdwärme führen heute auf das Ergebnis, daß Erdwärme im Direktwärmetausch, also monovalent, kostendeckend nutzbar ist, wenn sie mit mindestens 75 °C zur Verfügung steht. Diese Temperaturgrenze vermindert sich um 15 bis 20 K, wenn die geothermische Versorgung mit Spitzenerzeugung in Heizkesseln kombiniert wird, so daß eine Benutzungsdauer für die Geothermie von mindestens 5000 bis 6000 Stunden erreicht wird.

# Korrosionsinhibitoren auf der Basis kationischer oberflächenaktiver Polyamine

Von Eduard Beetz, München/Dresden\*)

**Der Verfasser berichtet über eine Gruppe von Konditionierungsschemikalien für Kesselspeise-, Heiz- und Kühlwasser, die unter dem Namen Helamin im Handel sind. Es sind aliphatische Polyamine, deren Handhabung, Lagerung und Transport unproblematisch ist.**

## Summary of the report:

### Corrosion Inhibitors on the Basis of Cationic Surface-Active Polyamines

The necessity for using a safe, environmental-friendly, non-toxic and economical form of conditioning for heating water in local and district heating systems, has prompted the author to research and report on a group of conditioning chemicals. These chemicals are available in the trade under the chemical designation "long chain aliphatic amines" – partially with the addition of polyacrylates – under the brand name Helamin. They are not only suitable for conditioning heating water, but also ideal for boiler-feed, boiler and cooling water. The author places special value on the fact, that he visited all heating and cogeneration plants named here, and that he was present at boiler inspections, surveyed plants and discussed the results of the conditioning with company engineers, chemists and engineers of the Swiss Association for the Supervision of Pressure Tanks. It may be disclosed in advance, that all involved were highly positive about conditioning with Helamin and will continue with this procedure.

## Allgemeines

Die Notwendigkeit der Anwendung einer sicheren, umweltfreundlichen, nicht-toxischen und wirtschaftlichen Konditionierung von Heizwasser für Nah- und Fernwärmanlagen hat den Verfasser veranlaßt, über eine Gruppe von Konditionierungsschemikalien zu recherchieren und zu berichten, die unter der chemischen Bezeichnung »langkettige aliphatische Amine« – teilweise mit einem Zusatz von Polyacrylaten – unter dem Namen Helamin im Handel sind. Diese sind nicht nur für die Konditionierung von Heizwasser, sondern auch für Kesselspeisewasser von Dampferzeugern und Kühlwasser geeignet. Besonderen Wert legt der Verfasser auf die Tatsache, daß alle hier genannten Heiz- und Heizkraftwerke von ihm besucht wurden und daß er bei Kesselöffnungen und Befahrungen anwesend war, Anlagen besichtigt und sich mit Betriebsingenieuren und Chemikern sowie Ingenieuren des Schweizerischen Vereins für Druckbehälterüberwachung unterhalten und die Ergebnisse der Konditionierung diskutiert hat. Es darf vorweggenommen werden, daß sich alle sehr positiv über die Konditionierung äußerten und dieses Verfahren beibehalten werden.

Die Wirkung der Polyamine wird wie folgt erklärt: aufgrund ihrer chemischen Struktur – die hier nicht weiter erläutert werden soll – unterwandern sie zwar Rost- und Zunderschichten, nicht jedoch die Magnetitschutzschicht. Es besteht also aufgrund von Grenzflächenphänomenen ein Unterschied in der Ablösung zwischen den verschiedenen und unterschiedlichen Eisenoxidschichten. Hierüber ist ein wissenschaftlicher Bericht vorgesehen [1]. Jedenfalls steht bislang fest, daß die Eisenoxidkonzentration in helaminbehandelten Wässern nur so lange zunimmt, bis die Systeme von Rost und Zunder weitgehend befreit sind; daraufhin nimmt die Eisen(oxid-)konzentration ab. Das deutet darauf hin, daß die Chemikalien zwischen den verschiedenen Belägen unterscheiden können. Ein weiterer entscheidender Effekt besteht darin, daß durch die größere Affinität zu Stahl als zu Eisenoxiden offensichtlich und nachgewiesenermaßen ein bestimmter Anteil der Amine auf der

\*) Dr.-phil., Dipl.-Chem. E. Beetz, Beratender Chemiker, München/Dresden, und Lehrbeauftragter an der TU München und FH Rosenheim.