

# 12

International  
Journal for  
Nuclear Power



IAEA Fifty Years

Nuclear Power:  
Research and Education

Concluding Report by the Committee  
of Experts on the Brunsbüttel and  
Krümmel Nuclear Power Stations

Microwave In-drum Drying

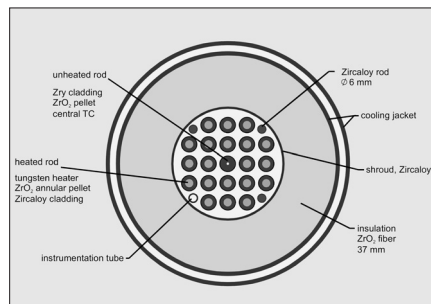
# Internationale Zeitschrift für Kernenergie

## 12

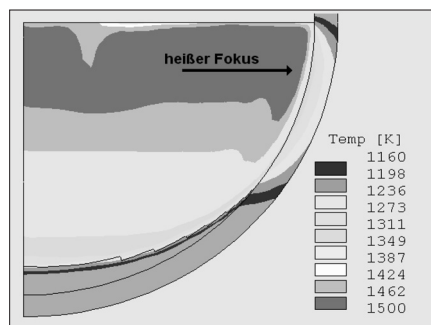
LII/12 · Dezember 2007

Offizielles Fachblatt der Kerntechnischen Gesellschaft e.V.

### Inhalt Contents



Bundle cross section of the QUENCH bundle (Seite 792)



Temperaturfeld bei einer stationären Heizleistung von 35 kW. Temperaturen unterhalb von 1160 K sind hellgrau dargestellt. (Seite 803)



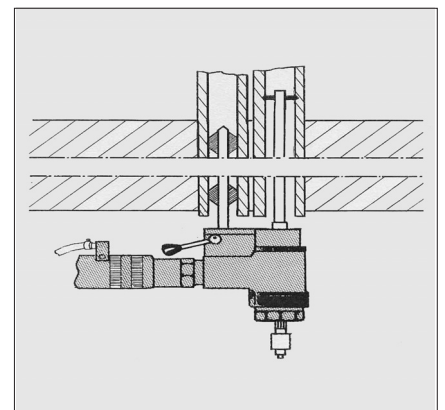
Titelbild: Browns Ferry Nuclear Power Station. Three Boiling Water Reactors with a total capacity of 3,300 MWe net. Unit 1 was reconnected to the grid in 2007 after a lay-up operation since 1985 (Courtesy: Tennessee Valley Authority TVA).

Editorial	775	Nichts ist unsicherer als die Unsicherheit
Content in brief	778	
W. Burkart	780	50 Jahre IAEA: mehr als nur Safeguards Interview mit Professor Werner Burkart <i>IAEA Fifty Years: More than just Safeguards.</i> <i>Interview with Professor Werner Burkart</i>
R. Hassa	762	Abschlussbericht der Expertenkommission zu den Kernkraftwerken Brunsbüttel und Krümmel Vattenfall wird das Maßnahmenpaket und sämtliche Empfehlungen umsetzen <i>Concluding Report by the Committee of Experts on the Brunsbüttel and Krümmel Nuclear Power Stations.</i> <i>Vattenfall to Implement the Set of Measures and all Recommendations</i>
Expertenkommission zu den Kernkraftwerken Brunsbüttel und Krümmel	784	Bericht der Expertenkommission zu den Kernkraftwerken Brunsbüttel und Krümmel <i>Report by the Committee of Experts on the Brunsbüttel and Krümmel Nuclear Power Stations</i>
T. Hollands T. Drath H.-J. Wagner M. K. Koch	791	Ergebnisse der QUENCH-11 SARNET Code Benchmarks mit Berechnungen von ATHLET-CD <i>Results of the QUENCH-11 SARNET Code Benchmark Using ATHLET-CD</i>
H.-G. Willschütz	799	Thermomechanische Modellierung eines Reaktordruckbehälters in der Spätphase eines Kernschmelzunfalls <i>Thermomechanical Modeling of a Reactor Pressure Vessel in the Late Phase of a Core Melt Accident</i>
M. Möller R. Waitz	807	Mikrowellen In-Fass Trocknung Effektives Eindampfen von radioaktiven Flüssigabfällen <i>Microwave In-drum Drying.</i> <i>Effective Evaporation of Radioactive Liquid Waste</i>
N. Reicher Fournel	811	Schweißnahtqualität durch Rohrendbearbeitung <i>Preparing Pipe Ends Prior to Welding Operation</i>

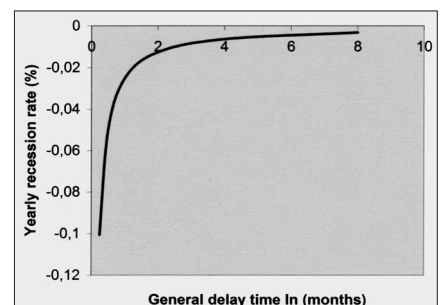
E. Müller	816	Makroökonomische Aspekte des Geldflusses in einer Nationalökonomie als Eigenwertproblem linearer homogener Gleichungen <i>Aspects on Increase and Decrease within a National Economy as Eigenvalue Problem of Linear Homogeneous Equations</i>
VGB PowerTech	823	Forschung für eine nachhaltige Energieversorgung – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats des VGB – 2007 <i>Research for a Sustainable Energy Supply Recommendations of the VGB Scientific Advisory Board 2007</i>
Chr. Ernst	824	Neues Institut der TU Clausthal will zur Lösung der Erstarrung in Endlager-Debatte beitragen <i>New Institute of Clausthal Technical University to Rekindle Final Storage Debate</i>
U. Fischer V.H. Sánchez-Espinoza	825	Wissenschaftler aus aller Welt bei der 2007 Frédéric Joliot/Otto Hahn Summer School on Nuclear Reactors „Physics, Fuels and Systems“ <i>Scientists from all over the World Attend the 2007 – Frédéric Joliot/Otto Hahn Summer School on Nuclear Reactors, „Physics, Fuels, and Systems“</i>
W. Heller	826	Gegen nuklearterroristische Handlungen <i>Against Acts of Nuclear Terrorism</i>
Impressum	827	
Nachrichten	827	
Veranstaltungshinweise	845	
KTG-Mitteilungen	846	
DAtF-Mitteilungen	849	
2007: Inhaltsverzeichnis	850	
2007: Autorenverzeichnis	852	



Neuer MIDD-Prototyp (Seite 810)



Internal tube cutting machine for steam generators; Nuclear Power Plant, France (Seite 811)



Recession Rate Dependent on the General Delay Time In. (Seite 821)

**Beilagenhinweis:** Diesem Heft liegt das Faltblatt „Kernenergie aktuell 2007“ des Deutschen Atomforums e.V. bei.

### Microwave In-drum Drying. Effective Evaporation of Radioactive Liquid Waste (Page 807)

M. Möller and R. Waitz

Liquid radioactive waste arises in normal operation, in the decommissioning phase, and during demolition of nuclear reactors as well as in medical facilities, research, industry, etc. In most installations, the liquid waste volumes arising are condensed/dried to approx. 20 wt.%, but need to be dried further in order to meet the criteria of repository storage. For this purpose, the concentrates must be inerted in a separate drying plant and filled into a container suitable for final storage (e.g. a 200 l drum). Various techniques are employed towards this end, such as thin-film evaporation, vacuum evaporation, etc. As the final storage criteria require a solid salt block with approx. 80% dry matter, the dried product must be directly filled into the container or dried right within this container. The reason for this technique is that the product is cured while cooling. As a result of extensive development work, *Linn High Therm* together with industrial users obtained a patent on a new process for this step in which liquid waste is evaporated by microwave radiation. The Microwave In-drum Drying process (MIDD) is a process of crystallization controlled by evaporation.

A MIDD pilot plant was developed and built and successfully used for various tests of a number of non-radioactive simulants. The results of these tests are described.

As a result of these tests and additional development work, a prototype MIDD plant ready for mass production was built which meets the requirements of industrial operation, especially in terms of safety.

### Preparing Pipe Ends Prior to Welding Operation (Page 811)

N. Reicher Fournel

Pipe welds must meet more and more stringent quality requirements. Pipe end preparation is an ideal way for welds to meet such ambitious demands.

High-precision stationary and portable preparation machines are employed in repair, construction or mass production in almost all branches of industry. Customized solutions are offered in special-purpose machine building. In particular in sensitive areas of industry, such as nuclear power plants, the quality of welds is a factor of outstanding importance. Weld preparation is a basis of excellent results. Remotely operated machines are available for specialized applications of this kind (controlled areas in nuclear facilities, areas posing potential health hazards to operators or work under water).

Whether in planning, chamfering, cutting or internal preparation of pipe ends – equipment designed for the mechanical preparation of pipe ends is of inestimable value. The preparation process furnishes exact, reproducible results, even with different shapes of end profiles, and can be

carried out quickly and reliably. The choice among stationary or portable machines depends on the scope of work to be performed, the point of use, and the working speed. The range of machine features is a function of the requirements to be met by the weld.

This constitutes an interesting potential for industries to optimize their quality and, thus, their market position.

### Aspects on Increase and Decrease within a National Economy as Eigenvalue Problem of Linear Homogeneous Equations (Page 816)

E. Müller

The paper presents an approach which treats topics of macroeconomics by methods familiar in physics and technology, especially in nuclear reactor technology and in quantum mechanics. Such methods are applied to simplified models for the money flows within a national economy, their variation in time and thereby for the annual national growth rate. As usual, money flows stand for economic activities. The money flows between the economic groups are described by a set of difference equations or by a set of approximate differential equations or eventually by a set of linear algebraic equations.

Thus this paper especially deals with the time behaviour of model economies which are under the influence of imbalances and of delay processes, thereby dealing also with economic growth and recession rates. These differential equations are solved by a completely numerical Runge-Kutta algorithm.

Case studies are presented for cases with 12 groups only and are to show the capability of the methods which have been worked out.

(Page 823)

VGB PowerTech

The VGB PowerTech Scientific Advisory Board recommends an increase of the financial support of research and education to develop a sustainable energy supply.

The recommendation is available at [www.vgb.org](http://www.vgb.org).

### New Institute of Clausthal Technical University to Rekindle Final Storage Debate (Page 824)

Chr. Ernst

The new Institute for Repository Research of the *Technical University of Clausthal*, the first university institution in the field of final storage of high-level radioactive waste in Germany, has taken up its activities. The inauguration ceremony and the opening lecture by *Klaus-Jürgen Röhlig*, the new professor for final storage systems, took place at the beginning of the 2007/2008 winter term within the framework of an academic event

at the auditorium of the mining town in the Upper Harz mountains.

In addition to conducting research, the Institute offers a course, unique in the world, on "Management of Radioactive Waste and Waste Hazardous to the Environment."

### Scientists from all over the World Attend the 2007 – Frédéric Joliot/ Otto Hahn Summer School on Nuclear Reactors, „Physics, Fuels, and Systems“ (Page 825)

U. Fischer and V.H. Sánchez-Espinoza

For more than ten years, the *Frédéric Joliot/Otto Hahn Summer School* has been organized alternately by the *Karlsruhe Research Center* in Germany and the *French Commissariat à l'Energie Atomique (CEA)*, Cadarache, in France. This year, the Summer School was held at the Center for Advanced Training in Technology and the Environment of the *Karlsruhe Research Center* on August 29 to September 7.

The overarching topic of the event was the sustainability of nuclear power, including topical issues of generation-IV reactor concepts, transmutation and actinide separation, and geologic final storage.

Next year's *Frédéric Joliot/Otto Hahn Summer School* will be organized by *CEA* at Aix-en-Provence together with the Nuclear Safety Research Program of the *Karlsruhe Research Center*.

### Against Acts of Nuclear Terrorism (Page 826)

W. Heller

The Act on the International Convention of the *United Nations* of April 13, 2005 on Combating Acts of Nuclear Terrorism was promulgated in the German Federal Gazette and entered into force one day later. The Convention expresses the deep concern about the worldwide escalation of all kinds and manifestations of acts of terrorism. What was true in April 2005 (the year the *UN* convention was adopted) is even more true today.

At the same time, however, the Convention recognizes the right of all nations to develop and use nuclear power for peaceful purposes, acknowledging their justified interest in the possible benefits of the peaceful uses of nuclear power. As the Convention was signed in Germany still during the term of office of the *Red-Green* government, this passage is a remarkable acceptance of the realities of the world and past peaceful uses of nuclear power in Germany.

Whether or not the convention will become an effective instrument to be used against acts of nuclear terrorism and threats depends on its entering into force after deposition of 22 ratification documents, and on as many states as possible acceding to it. Irrespective of these aspects, action in the spirit of the Convention should be taken now, criminal law should be adapted, and international cooperation should be improved and strengthened. □

atw Vol. 52 (2007) No. 12 "atomwirtschaft-atomtechnik" is published monthly by

INFORUM GmbH, Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, Germany,

phone +49 30 498555-10 \*\*\* fax +49 30 498555-19 \*\*\* e-mail: [atw@inforum-gmbh.de](mailto:atw@inforum-gmbh.de) \*\*\* [www.atomwirtschaft.de](http://www.atomwirtschaft.de)

Flüssige radioaktive Abfälle fallen sowohl während des regulären Betriebs, der Stilllegungsphase und dem Rückbau von Kernreaktoren als auch in medizinischen Einrichtungen, Forschung, Industrie etc. an. In den meisten Einrichtungen werden die entstehenden Flüssigabfälle bereits auf ca. 20 gew.% eingedickt/ getrocknet, müssen aber weiter getrocknet werden, um die Bedingungen für eine Endlagerung zu erfüllen.

Die Konzentrate müssen dazu in einer separaten Trocknungsanlage inertisiert und in einen endlagerfähigen Behälter (z.B. 200-l-Fass) gefüllt werden. Hierzu werden verschiedene Techniken angewandt wie Dünnschichtverdampfer, Vakuumverdampfer etc. Da die Endlagerbestimmungen einen festen Salzblock mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 80 % fordern, muss das getrocknete Produkt direkt in den Behälter gefüllt bzw. direkt in diesem Behälter getrocknet werden. Grund hierfür ist das Aushärten des Produkts beim Abkühlen.

Als Ergebnis einer umfangreichen Entwicklung hat *Linn High Therm* gemeinsam mit Anwendern aus der Industrie für diese Aufgabe einen neuen Prozess patentiert, der Flüssigabfälle mittels Mikrowellenstrahlung eindampft. Der Mikrowellen In-Fass Trocknungsprozess (Microwave In Drum Drying(MIDD)-Prozess) ist ein durch Verdampfung gesteuerter Kristallisationsprozess.

Eine MIDD-Pilotanlage wurde entwickelt und errichtet, mit der diverse Tests mit verschiedenen nicht radioaktiven Simulaten erfolgreich durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser Tests werden vorgestellt.

Als Ergebnis dieser Tests und weiterer Entwicklungsarbeiten wurde ein serienreifer Prototyp einer MIDD-Anlage gebaut, der die Anforderungen eines industriellen Betriebs, insbesondere hinsichtlich der Sicherheit, erfüllt.

Anschrift der Verfasser:  
Dipl.-Ing. (FH) Malte Möller,  
Dipl. Phys. Roland Waitz  
Linn High Therm GmbH  
Heinrich-Hertz-Platz 1  
92275 Eschenfelden

# Mikrowellen In-Fass Trocknung

## Effektives Eindampfen von radioaktiven Flüssigabfällen

M. Möller und R. Waitz, Eschenfelden

### 1 Einleitung

Flüssige radioaktive Abfälle fallen sowohl während des regulären Betriebs, der Stilllegungsphase und dem Rückbau von Kernreaktoren als auch in medizinischen Einrichtungen, Forschung, Rüstung etc. an. In den meisten Kernkraftwerken werden die entstehenden Flüssigabfälle bereits auf ca. 20 gew.% eingedickt/getrocknet. Allerdings müssen diese konzentrierten Flüssigabfälle weiter getrocknet werden, um die Bedingungen für die Endlagerung zu erfüllen.

Die Konzentrate müssen in einer separaten Trocknungsanlage inertisiert und in einen endlagerfähigen Behälter (z.B. 200-l-Fass) gefüllt werden. Hierzu werden verschiedene Techniken angewandt wie Dünnschichtverdampfer, Vakuumverdampfer etc. Da die Endlagerbestimmungen einen festen Salzblock mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 80 % fordern, muss das getrocknete Produkt direkt in den Behälter gefüllt bzw. direkt in diesem Behälter getrocknet werden. Grund hierfür ist das Aushärten des Produkts beim Abkühlen. Dabei bildet das enthaltene Wasser (ca. 20 gew. %) einen festen kristallinen Salzblock. Außerdem ist eine Behandlung des Flüssigabfalls direkt in einem Endlagergebäude sicherer und ökonomisch günstiger.

Eine häufig angewandte Methode ist die widerstandsbeheizte Erwärmung der Behälterwand. Mit dem Erhitzen der Behälterwand entsteht ein Temperaturgradient zwischen dem äußeren Bereich und dem Kern des Behälters. Da die Temperatur an der Behälterwand am größten ist, beginnt hier die Verdampfungskristallisation. Dadurch entsteht außen eine trockenere Salzschrift, wodurch der thermische Widerstand zum Kern (zum feuchten bzw. flüssigen Medium) hin stetig steigt. Deswegen kristallisiert die Substanz im Inneren meist nur unvollständig, wodurch sowohl die Prozessdauer verlängert als auch die Außentemperatur erhöht werden muss. Da jedoch die Außentemperatur durch den

thermischen Widerstand des Materials und die Prozessbedingungen limitiert ist, muss die Prozessdauer erhöht werden. Die Prozessdauer mit dieser Methode liegt bei ca. 80 Tagen.

### 2 Ein neuer Lösungsansatz

Als Ergebnis einer langen Entwicklung zusammen mit der Deutschen Nuklear Industrie hat *Linn High Therm* einen Prozess patentiert, der Flüssigabfälle mittels Mikrowellenstrahlung eindampft. Der Mikrowellen In-Fass Trocknungsprozess (Microwave In Drum Drying(MIDD)-Prozess) ist ein durch Verdampfung gesteuerter Kristallisationsprozess.

Zusammen mit einem Partner der Nuklearindustrie wurde eine MIDD-Pilotanlage entwickelt und gebaut, mit der diverse Tests mit verschiedenen nicht radioaktiven Simulaten erfolgreich durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser Tests werden im Folgenden noch detailliert behandelt.

Die wichtigsten Eigenschaften und Vorteile des MIDD-Prozesses verglichen mit widerstandsbeheizten Systemen sind:

- Die Wärme wird direkt in der Lösung über das komplette Volumen erzeugt.
- Man erhält minimale Temperaturgradienten und so eine möglichst homogene Kristallisation.
- Die Prozessdauer ist im Vergleich zu widerstandsbeheizten Systemen um den Faktor 10 kürzer (siehe *Bild 1*)

#### 2.1 Die Mikrowellen In-Fass Trocknung

Die MIDD-Anlage wird semikontinuierlich betrieben. Zu Beginn wird eine definierte Menge an Flüssigabfall in den Endlagerbehälter gepumpt, während eine induktive Heizung diesen vorwärmt. Anschließend beginnt die Mikrowellenerwärmung und Flüssigabfall wird über eine Schlauchpumpe kontinuierlich zugeführt. Der Endlagerbehälter und der Mikrowellenapplikator werden auf

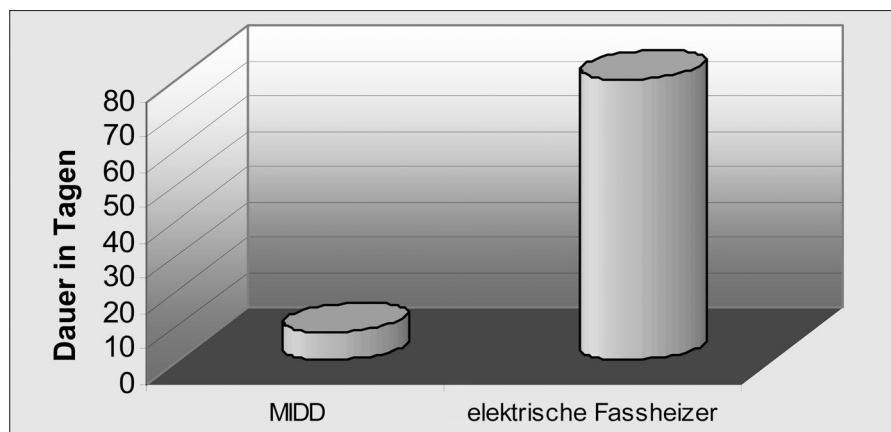


Bild 1: Vergleich der Prozessdauer

ca. 900 mbar evakuiert. Der Dampf wird mit einem Gebläse abgesogen. Ein Tröpfchenabscheider filtert Staubpartikel und mitgerissene Wassertropfen aus dem Dampfstrom, bevor dieser in einem Plattenwärmetauscher auskondensiert. Das Kondensat wird in einem separaten Behälter aufgefangen. Am Ende des Prozesses wird die Zufuhr von Flüssigabfall gestoppt und die restliche Flüssigkeit im Endlagerbehälter mit angepasster Mikrowellenleistung verdampft. Nach dem Abkühlen des Behälters wird dieser durch ein neues Endlagergebinde ersetzt und der Zyklus beginnt von Neuem.

Das Kondensat kann weiterverwendet oder recycelt werden und der feste Abfall in dem Behälter kann endgelagert werden. Während des Prozesses sorgt ein Kühlwasserrückkühler dafür, dass die Kühlflüssigkeit des Plattenwärmetauschers unter einer definierten Temperaturgrenze liegt. Somit ist das vollständige Auskondensieren gewährleistet. Die MIDD-Anlage wird über eine SPS (Simatic S-7) betrieben. Im Handbetrieb werden die einzelnen Komponenten über ein Touchpanel am Steuerpult angesteuert. Neben allen Massenströmen werden Temperaturen, Füllstände, Differenzdrücke überwacht und gemessen, um über eine Gesamtmassenbilanz auf die Dicke der flüssigen Schicht oberhalb des bereits getrockneten Materials rückzuschließen. Diese Schicht ist bedeutend für den automatisierten Betrieb der Anlage. Alle gemessenen Daten werden über einen separaten Datenschreiber visualisiert und dokumentiert. Der Prozess wird über das Touchpanel visualisiert, und Meldungen werden hier dokumentiert.

2.2 Technische Details

Der Mikrowellen-in-Fass-Trocknungsprozess ist ein semikontinuierlicher Kristallisationsprozess (siehe Bild 2). Bevor die Mikrowellenerwärmung beginnt, muss eine definierte Menge an Medium bereits in dem Behälter vorhanden sein.

Erst dann wird die Lösung durch die Mikrowellenstrahlung erwärmt. Die Mikrowellenleistung muss hierbei kontinuierlich

überwacht und gegebenenfalls angepasst werden, da sich aufgrund des steigenden Salzgehalts in der Flüssigkeitsschicht der Siedepunkt verschiebt. Bei einem Trocknungsgrad von 20 gew. % ist die Lösung gesättigt, und die Konzentration sowie der Siedepunkt bleiben konstant. In diesem Bereich wird die MIDD-Anlage betrieben, um das Kristallisationswachstum möglichst konstant zu halten. Das Gleichgewicht stellt sich bei ca. 105 °C und ca. 950 mbar absolut ein. Wenn die Feedzufuhr gestoppt wird, etwa gegen Ende

eines Zyklusses, wird die homogene Flüssigkeitsschicht gestört und es kommt zu örtlichen Übersättigungen. Aufgrund der geringeren thermischen Konduktivität und Kapazität überhitzt hier die Produktoberfläche. Um dies zu verhindern, misst ein Pyrometer die Produktoberfläche. Der Temperaturverlauf des Prozesses ist in Bild 3 zu sehen.

Das Maximum von ca. 70 gew. % an Trockensubstanz wurde aus der Massenbilanz ermittelt. Der restliche Wassergehalt wird beim Abkühlen als Kristallwasser gebunden, der Restfeuchtigkeitsgehalt beträgt ca. 0,2 gew. %.

Die prozessbestimmenden und kontrollierenden Parameter sind die Mikrowellenleistung sowie der Zufluss an Medium (Flüssigkeit). Der Trocknungsgrad ist dabei abhängig von einer genauen Prozesssteuerung. Die in dem Medium gelösten Additive (z.B. 17 gew. % Natriumsulfatlösung) bilden Kristallkomplexe aus, wenn die Temperatur unter einen definierten Wert sinkt. Dabei fällt Natriumsulfat bei Temperaturen unter ca. 32 °C als Komplex (Glauber's Salz (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O)) aus. Um einen bestmöglichen Trocknungsgrad zu erreichen, muss die Mediumtemperatur während des Prozesses stets über dieser Temperaturschwelle gehalten werden. Die

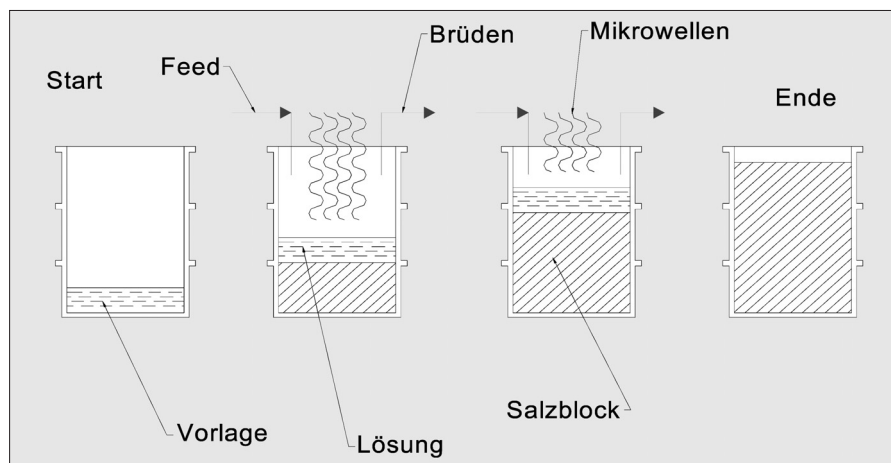


Bild 2: Der MIDD-Prozess

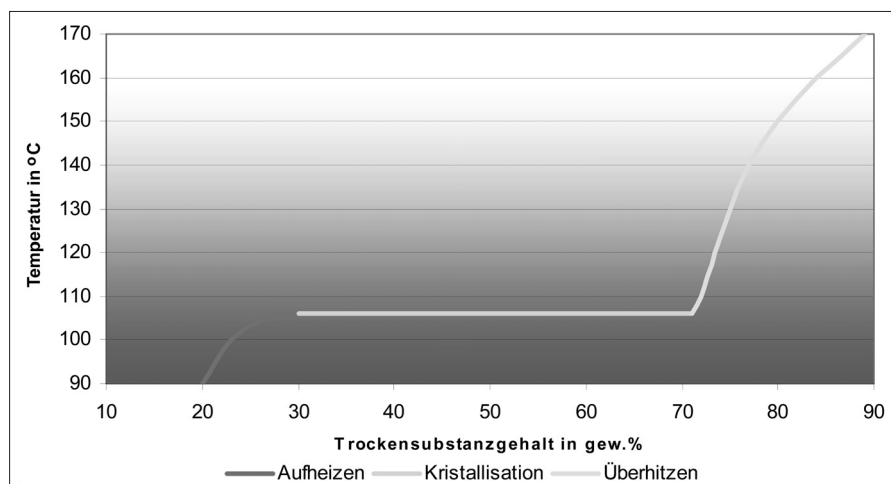


Bild 3: Temperaturverlauf

Verdampfungskristallisation erfolgt kontinuierlich bis der Behälter vollständig mit getrocknetem Produkt gefüllt ist.

### 2.3 Versuchsergebnisse

Mit der MIDD-Laboranlage wurden diverse Tests durchgeführt, um die Prozessparameter zu optimieren. Die wichtigsten Ergebnisse lieferten Tests mit definierten Simulaten, die anhand von Proben echter Flüssigabfälle ermittelt wurden. Diese bestanden zu ca. 82 % H<sub>2</sub>O, 16 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 % Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>) und ca. 1 % Verunreinigungen (Waschmittel, etc.).

Dabei kamen 2 verschiedene Magnetronen zum Einsatz, eines mit 6 kW Leistung und eines mit 20 kW Leistung. Im Folgenden werden die durchschnittlichen Werte der Tests gezeigt. Mit dem 6-kW-Magnetron wurden in ca. 200 h etwa 1.750 kg dieser Lösung eingedampft. Dabei erhielt man ca. 345 kg festes trockenes Salz und ca. 1.045 kg an Kondensat. Dabei wurde jeweils kontinuierlich mit 12 bis 25 kg Chargen getestet. Mit dem 20-kW-Magnetron wurden in ca. 123 h knapp 1280 kg dieses Simulates, in 363 kg trockenes Salz und 917 kg Kondensat eingedampft (siehe *Bild 4*).

Anhand der Testergebnisse lässt sich erkennen, dass bei einer Erhöhung der Leistung

auch eine Erhöhung des Durchsatzes erzielt wurde. Dabei stieg die Verdampfungsrate von 6,3 kg/h auf 7,8 kg/h. Dass von der 2,5-fachen Magnetronleistung nur ca. 25 % zur Erhöhung der Abdampfleistung beitragen, lässt sich durch die stark erhöhten Reflexionsverluste erklären, welche wiederum durch das begrenzte Volumen (200-l-Fass) begründet werden können. Bei weiteren Tests wurde die Feedzufuhr nur mehr semi- bzw. diskontinuierlich betrieben. Dabei wurde festgestellt, dass eine kontinuierliche Zufuhr die Verdampfungsrate um ca. 20 % verbessert.

Ein weiterer Vorteil der leistungsärmeren Variante war der höher erzielte

## Anzeige



Die RWTH Aachen ist mit ca. 30.000 Studierenden, 10.000 Beschäftigten und ihren innovativen Forschungsschwerpunkten eine der führenden technischen Universitäten Europas. Lehre und Forschung sind in besonderer Weise international, praxisnah und interdisziplinär ausgerichtet.

Der Forschungsbereich Energie des Forschungszentrums Jülich befasst sich mit einem ausgewählten Spektrum von energietechnischen Fragestellungen. Eine davon ist die Nukleare Sicherheitsforschung. Dieses Forschungsprogramm widmet sich der Sicherheit von Kernreaktoren und der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Für das **Institut für Energieforschung – Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (IEF-6)** des Forschungszentrums Jülich suchen wir für das **Arbeitsgebiet Nukleare Sicherheitsforschung** eine/n auf dem Gebiet der nuklearen Abfallentsorgung ausgewiesene/n Wissenschaftler/in als

Forschungszentrum Jülich  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Das Forschungszentrum Jülich ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren und eine der größten Forschungseinrichtungen in Europa. Wir arbeiten auf den Gebieten Energie und Umwelt, Information, Schlüsseltechnologien und Gesundheit. Mit den Hochschulen des Landes NRW pflegen wir eine intensive Zusammenarbeit.

## DIREKTORIN / DIREKTOR (W 3)

Die Direktorin/der Direktor wird in einem gemeinsamen Verfahren auf einen Lehrstuhl an die RWTH Aachen berufen („Jülicher Modell“).

Sie/er soll die Fähigkeit und Bereitschaft mitbringen, in Lehre und Forschung neben den Grundlagen zur Kerntechnik insbesondere Konzepte zur Minimierung und Vermeidung sowie Methoden zur Charakterisierung, Behandlung und Entsorgung radioaktiver Abfälle zu entwickeln. Von der Bewerberin/dem Bewerber werden fundierte Kenntnisse auf den genannten Gebieten erwartet, die durch wissenschaftliche Qualifikation und Berufserfahrung belegt sind. Wir erwarten die Fähigkeit zur Leitung eines Instituts mit ca. 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Die aktive Zusammenarbeit im Hochschulbereich, innerhalb des Forschungszentrums, mit der Industrie und internationalen Einrichtungen sowie das Einwerben von Drittmitteln wird vorausgesetzt.

Einstellungsvoraussetzungen sind ein abgeschlossenes Universitätsstudium, Promotion und zusätzliche wissenschaftliche Leistungen, die durch eine Habilitation, im Rahmen einer Juniorprofessur, einer wissenschaftlichen Tätigkeit an einer Hochschule, Forschungseinrichtung oder in einem anderen gesellschaftlichen Bereich erbracht wurden.

Bewerbungen von Frauen werden ausdrücklich begrüßt. Die Verwirklichung der Chancengleichheit ist wichtiger Bestandteil der Personalpolitik des Forschungszentrums Jülich, für die das Prädikat „TOTAL E-QUALITY“ verliehen wurde. Auch die RWTH Aachen ist für ihre Bemühungen um die Gleichstellung von Mann und Frau mit dem „TOTAL E-QUALITY-Award“ ausgezeichnet worden. Bei gleicher Eignung, Befähigung und fachlicher Leistung werden Frauen bevorzugt berücksichtigt, sofern nicht in der Person eines Mitbewerbers liegende Gründe überwiegen. Auf § 8 Abs. 1 Landesgleichstellungsgesetz NW wird verwiesen.

Bewerbungen geeigneter schwerbehinderter Personen sind ausdrücklich erwünscht. Dies gilt auch für Gleichgestellte im Sinne von § 2 SGB IX.

Bewerbungen mit Lebenslauf, Publikationsliste und einer kurzen Darstellung der bisherigen und geplanten Forschungsvorhaben erbittet bis zum 31. Januar 2008 der

Vorstand der  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
52425 Jülich

Weitere Informationen unter: [www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de) [www.rwth-aachen.de](http://www.rwth-aachen.de)

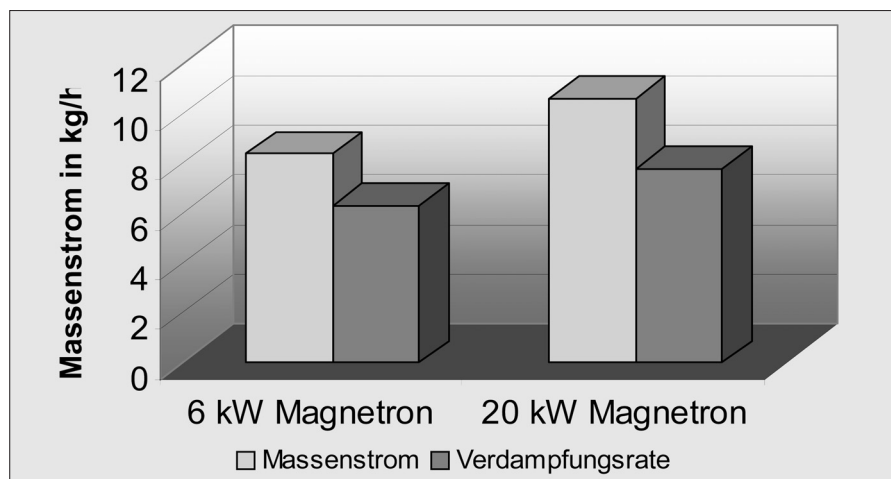


Bild 4: Vergleich der Tests

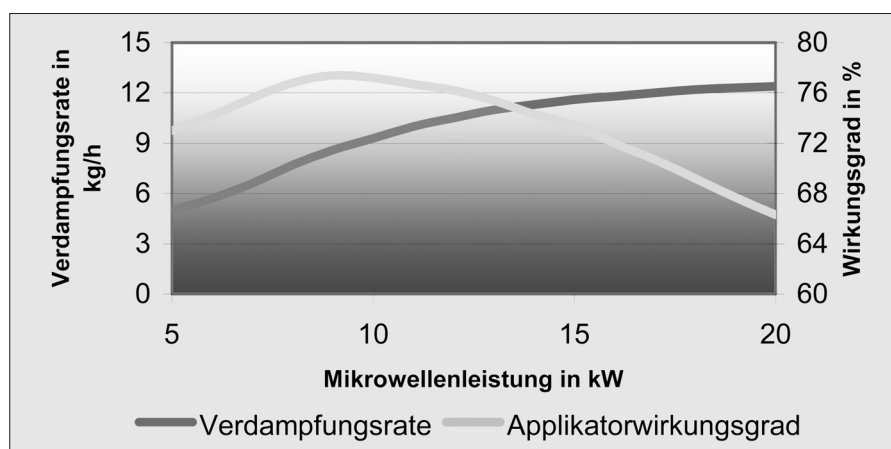


Bild 5: Verdampfungsrate und Wirkungsgrad



Abb. 6: Neuer MIDD-Prototyp

Trocknungsgrad, da die Versuche mit dem 20-kW-Magnetron nicht kontinuierlich gefahren werden konnten. Während dieser Unterbrechungen sank die Temperatur örtlich unter 32 °C. Dabei wurde unverdampftes Wasser in Kristallkomplexen (Glaubersalz) gebunden. Der mit den 6 kW durch-

schnittlich erreichte Trocknungsgrad lag bei ca. 82 %.

In späteren Versuchen wurde das 20-kW-Magnetron leistungsvariabel eingesetzt, um die Leistung mit dem größten Wirkungsgrad zu ermitteln. Die höchsten Verdampfungsraten und der höchste Wirkungsgrad wurden im Bereich des Siedegleichgewichtes ermittelt. Dieses liegt bei ca. 105 °C und einem leichten Unterdruck von ca. 950 mbar (absolut). Der höchst erzielte Applikatorwirkungsgrad lag bei 77,3 % bei einer

Leistung von ca. 9 kW (Behälter: 200-l-Fass). Erhöht oder verringert man die Leistung, reduziert sich der Wirkungsgrad um ca. 10 %. Die Abhängigkeit der Verdampfungsrate von der Leistung und damit vom Wirkungsgrad ist in Bild 5 zu sehen.

## 2.4 Entwicklung eines serienreife Prototyps

Als Ergebnis dieser Tests und weiterer Entwicklungsarbeit an diesem Prozess hat Linn High Therm einen neuen serienreife Prototypen einer MIDD-Anlage gebaut (siehe Bild 6). Die neue Anlage ist bereits auf einen Einsatz in der Industrie hin entwickelt und gebaut worden. Die von der Nuklearindustrie geforderten sicherheitstechnischen Einrichtungen werden in Zusammenarbeit mit einem Partner der deutschen Nuklearindustrie umgesetzt.

Für den Prozess ist es wichtig, einen möglichst guten Applikatorwirkungsgrad zu erzielen sowie ein möglichst homogenes elektromagnetisches Feld. Dazu wurde in der neuen Anlage das bisher einzelne Magnetron durch 9 800-W-Standardmagnetrons ersetzt, welche neben deutlich günstigeren Anschaffungskosten gleichzeitig wesentlich höhere Lebensdauer aufweisen. Alle medienberührende Komponenten bestehen aus Edelstahl, Teflon oder Silikon. Bei der Entwicklung wurde ebenfalls darauf geachtet, dass alle Komponenten (siehe Auflistung unten) leicht zu reinigen, zu warten und zu wechseln sind. Komponenten der Anlage sind:

- Mikrowellenapplikator
- Diverse Fassadapter (z.B. 200-l-Fass, 400-l-Fass)
- Separates Bedienpult
- SPS System Simatic S7
- Universelle Dosieradapter (z.B. für 200-l-Fässer)
- Autarke Stromversorgung (optional).
- 20" Transport-Container (optional).

## 3 Technische Daten

Mikrowellenleistung: 9 mal 800 W  
 Induktive Leistung: ca. 1,5 kW  
 Mikrowellenkammer: entspricht Behältervolumen (z.B. 200-l-Fass)  
 Verdampfungsrate: ca. 8 l/h

- Komponenten:
- Mikrowellenapplikator
  - Diverse Fass-Adapter (z.B. 200-l-Fass, 400-l-Fass)
  - Geschlossener Kühlwasserkreislauf
  - Prozesssteuerung über SPS
  - 20"-Transportcontainer (optional)
  - Autarke Stromversorgung (optional)

## 4 Literaturhinweis

- [1] Brennecke, P., Warnecke E.: Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerbestimmungen, Stand April 1990) – Schachanlage Konrad –, Salzgitter 1990
- [2] Martens B.-R.: Produktkontrolle radioaktiver Abfälle – Schachanlage Konrad –, Salzgitter 1994
- [3] Schilling, R.: Eindampfung von Abfallstoffen mit einem Infrarot-Verdampfer, Dissertation am Institut für Technischen Umweltschutz TU Berlin, Fachgebiet Abfallwirtschaft □