



---

**Forschungszentrum Karlsruhe**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

---

**Wissenschaftliche Berichte**  
FZKA 7235

**Jahresbericht 2005**  
**Institut für**  
**Hochleistungsimpuls- und**  
**Mikrowellentechnik**

**M. Thumm**

**Institut für Hochleistungsimpuls- und**  
**Mikrowellentechnik**

**April 2006**



# **Forschungszentrum Karlsruhe**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 7235

Jahresbericht 2005

Institut für Hochleistungsimpuls-  
und Mikrowellentechnik

Redaktion: M. Thumm

Institut für Hochleistungsimpuls-  
und Mikrowellentechnik

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe**

**2006**

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft  
Deutscher Forschungszentren (HGF)

ISSN 0947-8620

urn:nbn:de:0005-072351

# Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM)

Leitung: Prof. Dr. Dr. h.c. M. Thumm

Zentrale Arbeitsgebiete des Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM) sind die Forschung, Entwicklung, Ausbildung und, in Zusammenarbeit mit der Stabsabteilung Marketing, Patente und Lizenzen (MAP) und industriellen Partnern, der Technologietransfer auf den Gebieten der Impuls- und Mikrowellentechnik bei hohen Leistungen. In diesem Zusammenhang werden folgende Aufgabengebiete bearbeitet: Theoretische und experimentelle Grundlagen der Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik; Theorie und Praxis der Erzeugung intensiver Elektronenstrahlen, starker elektromagnetischer Felder und Wellen und ihrer Wechselwirkung mit Materialien und Plasmen; Anwendung dieser Verfahren bei der Energiegewinnung durch kontrollierte thermonukleare Fusion in magnetisch eingeschlossenen Plasmen, der Material-Prozesstechnik und der Umwelttechnik. Die Arbeiten in beiden Abteilungen erfordern die Anwendung moderner Hochspannungstechnik und Hochspannungsmesstechnik. In Kurzform stellt sich das derzeitige Institutsprogramm wie folgt dar:

## Abteilung für Hochleistungsimpulstechnik:

- Aufschluss von biologischen Zellen mit gepulsten elektrischen Feldern bei Feldstärken im Bereich  $10^6$ - $10^7$  V/m (Elektroporation), z.B. bei der Gewinnung von Zucker aus Zuckerrüben (KEA-Verfahren). Hier konnte der erhebliche wirtschaftliche Vorteil dieses Verfahrens gegenüber konventionellen thermischen Aufschlussverfahren in der Nahrungsmittelindustrie bestätigt werden. Gepulste elektrische Felder sollen auch zur umweltschonenden Keimreduktion in Abwässern aus Kläranlagen und zur Unterstützung der mechanischen Entwässerung und Trocknung von Energiepflanzen für die weitere energetische Verwertung eingesetzt werden (Programm UMWELT und MAP).
- Oberflächenvergütung und Korrosionsschutz von Metallen und Legierungen mit großflächigen gepulsten, hochenergetischen Elektronenstrahlen (GESA-Technik). Durch Einlegieren von Aluminium in Stahl und Umschmelzen von FeCrAlY-Oberflächen mit Hilfe der GESA-Technik konnte ein wirksamer Langzeitschutz gegen Korrosionsangriff in Pb/Bi-gekühlten Reaktorsystemen bei Temperaturen bis zu 650 °C erreicht werden. Die neu in Betrieb genommene GESA IV-Anlage erlaubt die Außenbehandlung von Rohren. Im Rahmen des EU-Projekts ASTERIXE (Advanced Surface Technology for Extended Resistance In eXtreme Environment) wird diese Methode zur Oberflächenvergütung von Materialien für den Einsatz unter extremen Bedingungen fortentwickelt (Programme NUKLEAR und UMWELT).
- Elektrodynamische Fragmentierung (FRANKA-Verfahren) zur Wiederverwertung von Feststoffen wie Altbeton und andere Baustoffe sowie zum Recycling von Werkstoffverbänden, zur Aufbereitung von Mineralien und zum Abtragen und Bohren von Gestein (Programm UMWELT).
- Erzeugung biokompatibler und bioaktiver Schichten auf medizinischen Implantaten und Durchführungen mit der ELBA-Beschichtungsmethode (MAP).

## Abteilung für Hochleistungsmikrowellentechnik:

- Planung, Aufbau und Test des gesamten 10 MW, 140 GHz Elektronen-Zyklotron-Resonanz-Heizsystems (ECRH) für den Dauerbetrieb (CW) am neuen Stellarator W7-X des IPP Greifswald. Insbesondere wird hierbei in Zusammenarbeit mit dem CRPP Lausanne und der europäischen Mikrowellenröhrenindustrie eine 1 MW, 140 GHz, CW Gyrotronröhre und mit dem IPF der Universität Stuttgart das quasi-optische

Übertragungssystem entwickelt. Die Prototypröhre lieferte Weltrekord-Langpulsparameter mit nahezu 1 MW Leistung bei 30 min. Pulslängen (Programm FUSION).

- Entwicklung und Test von 2 MW, 170 GHz Gyrotronröhren mit koaxialem Resonator und stufenweise frequenzdurchstimmbaren 1 MW Gyrotronröhren (105-140 GHz), einschließlich der randgekühlten Mikrowellen-Vakuumfenster aus synthetischem Diamant, für ECRH-Anlagen an Tokamak-Großexperimenten (ITER, ASDEX-Upgrade). Das koaxiale Gyrotron hält mit 2.2 MW den Leistungsweltrekord (Programm FUSION).
- Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Verhalten der ersten Wand und des Divertors von Tokamak-Fusionsreaktoren bei Plasmainstabilitäten (Programm FUSION).
- Sintern von fortschrittlichen Funktions- und Strukturkeramiken, insbesondere von nanostrukturierten Keramiken, mittels Hochleistungsmillimeterwellen bei einer Frequenz von 30 GHz. Systemstudien zu Mikrowellen-Applikatoren für verschiedenste Anwendungen bei den ISM (Industrial, Scientific, Medical)-Frequenzen 0,915 GHz und 2,45 GHz, wie z.B. Herstellung von Flugzeugbauteilen aus Kohlefaserverbundwerkstoffen mittels Mikrowellenprozesstechnik bei 2,45 GHz. Mit der neuen HEPHAISTOS-CA2-Anlage wurden gegenüber der herkömmlichen Prozessierung in Autoklaven verbesserte Materialparameter erreicht (Programme NANOMIKRO und UMWELT, MAP).

Zur Bearbeitung dieser theoretischen und experimentellen Themen stehen ein Workstation-Verbund und zahlreiche Experimentieranlagen zur Verfügung: vier FRANKA-Anlagen, ELBA, KEA, KEA-ZAR, drei GESA-Anlagen, zwei Gyrotron-Teststände mit einer gemeinsamen Mikrowellen-Messkabine, eine Kompakt-Technologie-Gyrotron-Anlage (30 GHz, 15 kW) und verschiedene 2,45 GHz-Applikatoren der HEPHAISTOS-Serie.

Mit der Universität Karlsruhe und zahlreichen Universitäten und Forschungsinstituten des In- und Auslandes gibt es intensive, fruchtbare Kooperationen. Dabei besteht besonders mit der Universität Karlsruhe vor allem auch im Bereich der Ausbildung von Diplomanden und Doktoranden eine sehr enge Zusammenarbeit. Dies zeigt sich in formaler Weise schon dadurch, dass

- der Institutsleiter des IHM auch Professor am Institut für Höchstfrequenztechnik und Elektronik (IHE) der Universität Karlsruhe ist und an dem Graduiertenkolleg "Mischfelder und nichtlineare Wechselwirkungen" der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik mitwirkt;
- der Leiter der Abteilung „Hochleistungsimpulstechnik“ (Prof. Dr.-Ing. Hansjoachim Bluhm) Außerplanmäßiger Professor in der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Karlsruhe ist und auch eine Vorlesung im International Department der Fakultät hält.

Zum Jahresende waren am Institut 41 Mitarbeiter/innen beschäftigt, darunter 18 Akademiker/innen, 7 Ingenieure und 16 Sonstige Mitarbeiter/innen, davon 1 Halbtagskraft.

Wie oben erwähnt, ist ein Akademiker der Universität Karlsruhe Mitarbeiter des Instituts. Zusätzlich wurden 11 Akademiker, 1 Ingenieur und 11 Sonstige Mitarbeiter/innen, davon 1 Teilzeitkraft, aus Fremdmitteln finanziert. Für Technologie-Transfer-Projekte war ferner 1 Techniker dem Institut zugeteilt.

Im Verlaufe des Jahres waren an den Arbeiten des Instituts insgesamt 8 Gastwissenschaftler/innen, 9 Doktoranden/innen (5 vom Forschungszentrum, 4 von der Universität Karlsruhe), 2 Diplomanden/innen, 1 BA-Student, 4 Praktikanten und 11 Auszubildende beteiligt.

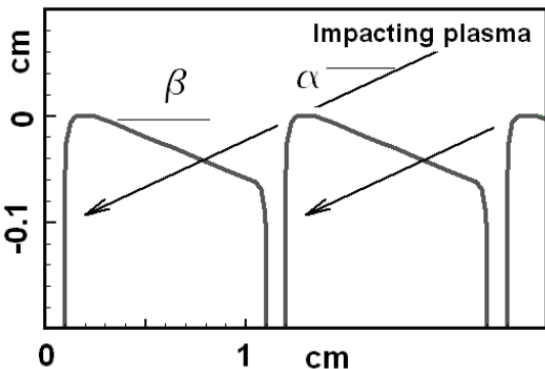
# Programm FUSION: Kernfusion

## Hochbelastbare Komponenten und Versuchseinrichtungen

Zur Demonstration der thermonuklearen Energieerzeugung mit dem zukünftigen Tokamak-Reaktor ITER ist der ELMy H-Modus die bevorzugte Betriebsweise. Dabei können jedoch instabile Bereiche auftreten, entweder Plasmazusammenbrüche mit vollständiger Zerstörung des eingeschlossenen Plasma (Disruptionen), oder so genannte ELM-Ereignisse (Edge Localized Modes) bei denen nur die Plasmaperipherie gestört ist. Bei Zusammenbrüchen erreichen die Leistungen  $Q$  an der Wand bis zu  $30 \text{ MJ/m}^2$  und die Ereigniszeiten  $\tau$  sind bis zu 10 ms. Für ELM Ereignisse werden am Divertor und anderen Wandflächen Leistungen von etwa  $0.5 - 3 \text{ MJ/m}^2$  mit  $\tau$  von  $0.1 - 0.5 \text{ ms}$  und Wiederholfrequenzen von 1 bis 100 Hz erwartet. Nach solchen Transienten können die ITER Divertorschutzplatten beschädigt werden. Die daraus resultierende Erosion wird dominiert durch Verdampfung und Rissbildung bei kohlefaserverstärkten Schutzschichten (CFC), die in der Separatrix-Stoßpunkt Umgebung zum Einsatz kommen sollen, oder durch Schmelzen der metallischen Schutzschichten aus Wolfram, die für den Divertor vorgesehen sind.

Für die Quantifizierung des Schadens an Wolframschutzschichten nach ITER-Plasmaabrissen und ELMs wurden die Computerprogramme FOREV, MEMOS, PEGASUS und PHEMOBRID eingesetzt. Diese Programme wurden in 2005 im Rahmen des EFDA Tasks TW3-TPP-MATDAM auf Experimente am TRINITY (Troitsk, Russland) angewendet, bei denen Graphittargets aus europäischem CFC NB31 einer zyklischen Belastung von  $0.5$  und  $1 \text{ MJ/m}^2$  mit  $\tau = 0.5 \text{ ms}$  ausgesetzt wurden. Speziell mit dem Ziel, zur Validierung dieser FZK Codes beizutragen, wurden auch Experimente mit Wolframtargetts an der Plasmakanonenanlage QSPA-Kh50 (Kharkov, Ukraine) durchgeführt.

**MEMOS Anwendungen:** Das Programm MEMOS wurde zur Beschreibung von verschiedenen Schmelzprozessen auf metallischen Oberflächen entwickelt, unter anderem für solch komplizierte Strukturen wie die Wolfram-Bürsten. MEMOS berücksichtigt den Gefrierpunkt, elektrische Effekte, und den Verlust von Strahlungsenergie. Bereits in 2004 wurde gezeigt, dass die Überhitzung der plasmaseitigen W-Bürstenenden zu einem signifikanten Anstieg der Schmelzrauigkeit bis zu einer Größenordnung von  $1 \mu\text{m}$  führt, dass aber die Abschattung durch benachbarte Bürstenelemente eine starke Überhitzung der Bürstenenden verhindert und die Oberflächenrauigkeit signifikant verringert. Die MEMOS Rechnungen zeigten ausreichende Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen, was die Anwendung des Codes auf Untersuchungen der Schmelzerosion in ITER rechtfertigt. In 2005 wurde MEMOS weiter verallgemeinert und zur genaueren



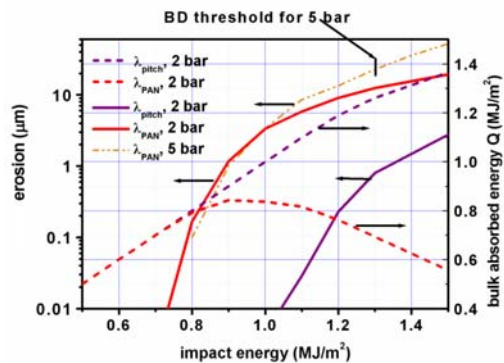
Plasmawechselwirkung mit Wolfram-Bürstenelementen beim Neigungswinkel  $\beta$  und Plasmaauftrittswinkel  $\alpha$ .

Untersuchung des Schatteneffekts eingesetzt (Abbildung). Der optimale Neigungswinkel  $\beta$  der Bürstenoberfläche, der ein Minimum der Oberflächenrauigkeit bringt, wurde für gegebenen Plasma-Auftreffwinkel  $\alpha$  und gegebene Größen der W-Bürsten berechnet. Dabei ergibt sich eine Reduktion der Rauigkeit durch Abschattung bis auf  $0.2-0.4 \mu\text{m}$ , und der optimale Neigungswinkel der Oberfläche  $\beta$  näherungsweise zu  $\beta \approx \alpha/2$ . Typische Größen der Bürstenelemente bei der Modellierung waren: Bürstendurchmesser  $D = 5-10 \text{ mm}$ , Tiefe der Spalte zwischen den Bürsten  $h = 10 \text{ mm}$ , Breite der Spalte  $a = 0.2-1 \text{ mm}$ , Bogenradius der Kante  $R = 0.1-0.5 \text{ mm}$ . Weitere numerische Simulationen zur Optimierung der W-Bürsten sollen in 2006 durchgeführt werden.

**PHEMOBRID und PEGASUS Anwendungen:** Diese Programme wurden zur Schadensermittlung bei CFC eingesetzt. Sie modellieren die dreidimensionale Wärmeleitung, mechanische Spannungen sowie Mikro- und Makrozerstörung in den CFC-Komponenten, sowohl in der CFC-Matrix als auch in den PAN- und Pitch-Fasern. PEGASUS bearbeitet die mikroskopische Skala von einigen  $\mu\text{m}$  bis einigen hundert  $\mu\text{m}$  (einige Wochen Rechenzeit). PHEMOBRID betrachtet die makroskopische Skala von mm bis cm (einige Stunden Rechenzeit) mit einer Rissbildungsschwelle von  $10 \text{ kJ/g}$  und benutzt dabei von PEGASUS produzierte Wärmeleitfähigkeiten. Das phänomenologische Modell in PHEMOBRID war bereits früher durch Simulationen von Experimenten an den Elektronenstrahlanlagen JEBIS (Japan) und JUDITH (FZJ Jülich) verifiziert worden. In 2005 zeigten Rechnungen mit PHEMOBRID, dass lokale Überhitzung signifikant das Einsetzen der Rissbildung beeinflusst. Der Code kann jetzt auch inhomogene Substanzen in einer Anordnung ähnlich der NB31 Faserstruktur simulieren. Es wurden erste Vergleiche zwischen PEGASUS und PHEMOBRID zur Verteilung der Oberflächentemperatur durchgeführt. Außerdem wurden diese Programme auch für Experimente an der Anlage QSPA-T benutzt (siehe nächster Absatz).

### Experimente in Russland und der Ukraine:

**QSPA-T:** Die jüngsten Experimente am QSPA-T wurden mit europäischem CFC und Wolfram mit Wärmebelastungen  $Q < 1.65 \text{ MJ/m}^2$  und Zeitauern  $\tau = 0.5 \text{ ms}$  durchgeführt. Nach diesen Experimenten korreliert die absorbierte Energie linear mit der angelegten Spannung sowohl für W ( $Q$  bis  $\sim 1.1 \text{ MJ/m}^2$ ) als auch für CFC ( $Q$  bis  $1.2 \text{ MJ/m}^2$ ). Eine Extrapolation auf die Energiebelastung von  $1.65 \text{ MJ/m}^2$  ergibt eine Energieabsorption in CFC von  $1.45 \text{ MJ/m}^2$ , was auf das Einsetzen einer starken Kohlenstoffverdampfung hindeutet. Die Programme PEGASUS und PHEMOBRID wurden zur Überprüfung der experimentellen Ergebnisse eingesetzt. Dazu wurde die Temperaturabhängigkeit von thermophysikalischen Parametern von CFC, die für den Temperaturbereich  $0^\circ\text{C}$  bis  $2200^\circ\text{C}$  bekannt sind, auf  $4000^\circ\text{C}$  extrapoliert. Die Abhängigkeit der Verdampfungserosion von der Energiebelastung wurde berechnet unter der Annahme, dass der auftreffende Wärmefluss unter Vernachlässigung der Plasmadampfschicht während  $0.5 \text{ ms}$  konstant ist (Abbildung).

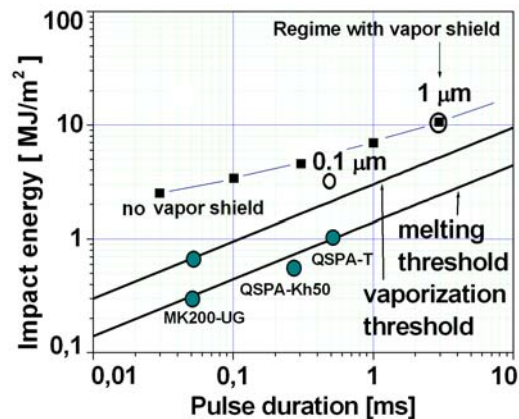


CFC-Erosionsrate und absorbierte Energie, berechnet mit PHEMOBRID, als Funktion von  $Q$ .

Die Experimente sind in sehr guter Übereinstimmung mit den numerischen Ergebnissen für die absorbierte Energie in Pitch-Richtung. Bei einer Erhöhung des Drucks auf 5 bar sagt PHEMOBRID das Einsetzen von Rissbildungserstörung bei  $Q = 1.5 \text{ MJ/m}^2$  voraus, was noch nicht experimentell bestätigt wurde.

**MK-200UG:** An dieser Anlage wurden in 2005 sowohl Wolfram als auch CFC-Targets durch Wasserstoff-Plasmaströme mit Wärmebelastungen von  $Q=0.1-1 \text{ MJ/m}^2$  bei einer Zeitdauer von  $\tau=0.05 \text{ ms}$  beaufschlagt, um das Einsetzen der Verdampfung zu studieren (Abbildung).

Zur Diagnostik wurden Kalorimeter, schnelle Infrarot-Pyrometer und optische Spektroskopie eingesetzt.



*Q- $\tau$  Diagramm für W-Oberflächen bei gepulster Belastung. Ausgefüllte Kreise: Experimentelle Ergebnisse. Durchgezogene Linien: Simulation mit MEMOS.*

Konventionelle CFC-Targets wurden mit gepulsten, ITER-ELM relevanten Plasma-Wärmeflüssen belastet. Die Eigenschaften des Kohlenstoffdampfes wurden in Abhängigkeit von  $Q$  mit zeitlich und räumlich auflösenden Spektrometern im Sichtbaren und im VUV-Bereich untersucht. Bei  $Q > 0.2 \text{ MJ/m}^2$  betrug die Elektronendichte in der Nähe der Targetoberfläche typischerweise  $10^{23} \text{ m}^{-3}$ . Diese Dichte fällt bei einem Abstand von 2-3 cm um eine Größenordnung ab, und bleibt bei diesem Wert bis etwa 15 cm Entfernung. Die spektroskopisch gemessene Plasmatemperatur ergab sich zu 10-30 eV. Die Geschwindigkeit des verdampften Kohlenstoffs wurde neu vermessen und ergab sich zu  $2 \times 10^4 \text{ m/s}$ . Es wurden Ionisationszustände des Kohlenstoffs bis  $C^{+5}$  nachgewiesen.

Für das CFC-Target selbst wurde beobachtet, dass bei  $Q \sim 0.2-0.3 \text{ MJ/m}^2$  die Rate der Erosion (durch Verdampfung oder Rissbildung) entlang der Oberfläche unterschiedlich ist: Bei den PAN-Fasern ist sie signifikant größer als bei den Pitch-Fasern (um eine Größenordnung). Die Erosionsraten steigen mit zunehmendem  $Q$  an.

Außerdem wurde an MK-200UG ein Experiment zur Überprüfung eines theoretischen Ansatzes bei früheren PEGASUS-Rechnungen zu einer speziellen CFC-Struktur mit einem CFC-Schnitt unter einem Winkel von  $45^\circ$  zu den PAN-Fasern durchgeführt. Die rechnerische Simulation hatte einen Reduktionsfaktor von 5 für die Erosionsrate ergeben. Das Experiment deutet darauf hin, dass eine Reduktion tatsächlich auftritt, aber der Reduktionsfaktor konnte nicht quantifiziert werden. Erste Tests zeigen bei diesen hohen Wärmebelastungen eine substantielle Veränderung des Materialverhaltens im Vergleich zu konventionellem CFC: Die Erosionsraten der PAN- und Pitch-Fasern werden etwa gleich groß, was auf eine Verringerung der CFC-Erosion im Vergleich zu konventionellem CFC hinausläuft. Zur Bestimmung der tatsächlichen Erosionsraten bedarf es weiterer experimenteller Untersuchungen.

**QSPA-Kh50:** In 2005 waren die Experimente an dieser Anlage Untersuchungen von Schmelzbewegungen von Wolfram durch Lorentzkraft, hervorgerufen durch elektrische Ströme in der Schmelze quer zu einem Magnetfeld, gewidmet. Bei früheren Experimenten zur Simulation von ITER-ELMs hatte sich ein ziemlich geringer Einfluss des Plasmadruckgradienten auf die Schmelzerosion ergeben, wobei die Ampèrekraft der wesentlichste Faktor sein könnte, im Gegensatz zu Plasmaabbrissen, bei denen der Druckgradient der dominierende Faktor bei der Schädigung von Wolfram ist.

Zu einer systematischen experimentellen Untersuchung wurden Wolfram-Targets aus EU-Herstellung einer großen Anzahl (bis zu 100) von gepulsten Wärmebelastungen von  $0.75 \text{ MJ/m}^2$  mit Pulsdauern von 0.25 ms und Lorentzkraft bis zu  $15-20 \text{ MN/m}^3$  im Magnetfeld von 1.5 T ausgesetzt. Es wurde ausgeprägtes Schmelzen an der Oberfläche beobachtet, aber keine Verdampfung. Die Verteilung der elektrischen Ströme im Plasma vor der Oberfläche des Wolframtargetes und auch der Strom durch das Target wurden als Funktion der Zeit gemessen. Für den Strom durch die Schmelzschicht ergab sich eine maximale Dichte von  $\sim 1.4 \text{ kA/cm}^2$ . Die makroskopische Analyse der Oberfläche wurde mit Profilometrie und Massenverlustmessungen durchgeführt. Die Schmelzgeschwindigkeit wurde auch gemessen; sie ergab sich typischerweise zu etwa 5-6 cm/s. Der Effekt der Lorentzkraft zeigte sich in einer ziemlich ausgeprägten Versetzung der Wolframschmelze mit Formierung von Erosionskratern und Neigung der Oberfläche entlang der Kraft. Durch die räumliche Versetzung vergrößert sich das Profil mit einer Rate von  $0.1 \mu\text{m/Puls}$ . Außerdem wurden auch die Oberflächenmorphologie und der Schaden durch Makrorisse und feine intergranulare Risse studiert.

## Integrale Plasma-Modellierung (Zentral-, Rand- und Divertor-Plasma)

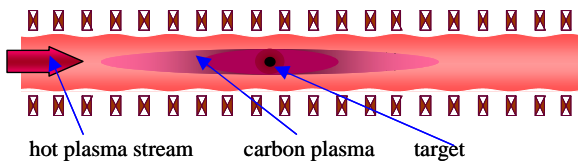
Im zukünftigen Tokamak-Reaktor ITER ist der ELMy H-Modus die bevorzugte Betriebsweise. Dabei können jedoch instabile Bereiche auftreten, entweder Plasmazusammenbrüche mit vollständiger Zerstörung des eingeschlossenen Plasmas, oder so genannte ELM Ereignisse, bei denen nur die Plasma-peripherie gestört wird. Für kohlefaserverstärkte Schutzschichten (CFC) wird die daraus resultierende Erosion durch Verdampfung und Rissbildung dominiert. Das erodierte Material kann eine Dampfschicht bilden, die vor exzessivem Verlauf der Abtragung schützt. Der Dampf wird weiter ionisiert, und die dadurch entstehenden Verunreinigungen breiten sich entlang der magnetischen Feldlinien in die Plasma-Abschältschicht (SOL) aus und können die Plasmastabilität gefährden, insbesondere durch Strahlungsverluste.

Diese Prozesse wurden im Rahmen des EFDA Tasks TW5-TPP-ITERTRAN mit dem Programm FOREV numerisch untersucht. Das IHM entwickelte zudem einen neuen Code TOKES für Plasmagleichgewicht und Stabilität. Das Programm FOREV ist ein zweidimensionaler magnetohydrodynamischer Code zur Berechnung von Verdampfung/Ionisation und Transport der Erosionsprodukte in die SOL. Mit ihm wurden Simulationen des Transports von Strahlung und von Kohlenstoff-Verunreinigungen im ITER-Plasma durchgeführt.

2005 wurde in FOREV der volumetrische Strahlungstransport in toroidaler Tokamakgeometrie implementiert und dann eine Simulation der Strahlungswärmebelastung an der ITER-Wand nach ELMs für transiente Leistungsbelastungen von  $Q = 1 \text{ MJ/m}^2$  bei Pulsdauern von  $\tau = 0.1 - 0.2 \text{ ms}$  durchgeführt. Nach einem phenomenologischen Modell für ELMs bewegt sich heißes Plasma vom Podest konvektiv und diffusiv quer zu den Feldlinien und fließt gleichzeitig zum Target. In FOREV wurden diese Prozesse simuliert durch künstliche Vergrößerung des

entsprechenden Diffusionskoeffizienten im Podest und SOL. Die lineare Zunahme dieses Koeffizienten bis zu  $2\text{-}5\text{ m}^2/\text{s}$  bei  $0.25\text{ ms}$  wurde erhalten durch Extrapolation der Zeitabhängigkeit des Wärmeflusses auf den Divertor und von Podestplasma-Parametern, wie z.B. die Podesttemperatur  $T_{\text{ped}}$ , von Bedingungen bei JET und D-IIID auf solche bei ITER. In der Simulation wurde der Eintrag vom DT Plasma aus dem Podest in die SOL nach  $0.3\text{ ms}$  beendet. Für verdampftes Kohlenstoffplasma wurde sie fortgesetzt und produzierte  $5\cdot 10^{21}$ -  $2\cdot 10^{22}$  Kohlenstoffionen mit einer Dichte in der SOL von  $10^{20}$ - $10^{21}\text{ m}^{-3}$  innerhalb von  $1\text{-}2\text{ ms}$ .

Eine andere Anwendung des Programms war die Verifikation der Rechnungen mit Experimenten an der Plasmaanlage GOL-III. Dabei setzte man ein Kohlenstoffkugeln mit einem Durchmesser von etwa  $2\text{ mm}$  ins Zentrum eines Deuterium-Plasmas (Abbildung).



Schema des GOL-3 Experiments mit Kohlenstoff-Kugelnchen.

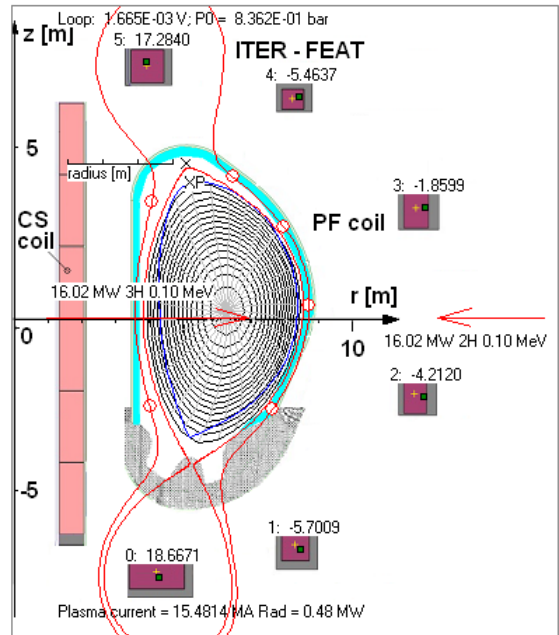
Ein relativistischer Elektronstrahl erhitzt das Plasma bis zu  $1\text{ keV}$ , und das heiße Plasma erwärmt dann das Kugelnchen bis zur Verdampfung und weiter bis zur Ionisierung des Kohlenstoffs. Die Temperatur und die Dichte des Kohlenstoff-Plasmas sind vergleichbar mit denen, die man bei ITER ELMs erwarten kann. Danach wurde die Verbreiterung des Plasmas entlang und quer zum Magnetfeld experimentell gemessen und mit FOREV berechnet. Der Vergleich von Experiment und Simulation erlaubte dann abzuschätzen, ob Turbulenzeffekte in einem solchen expandierten Plasma wichtig sind. Die Längsplasmageschwindigkeit ist ziemlich vergleichbar mit den Rechnungen. Die Querdiffusion des Plasmas wurde mit etwa  $1$  oder  $2\text{ mm}$  abgeschätzt. Dies würde bei ITER einen recht geringen Einfluss von Diffusion im expandierten Plasma bedeuten. Mit FOREV wurden weiterhin einige wichtige Plasmamaparameter, wie z.B. das Verdampfungsanfangsmoment für diese Experimente berechnet.

Ein weiteres wichtiges Problem ist der Transport der Verunreinigungen in der Podestregion und der Zentralregion des eingeschlossenen Plasmas, denn dieser bestimmt eventuell das tatsächliche Verunreinigungsprofil in der Separatrix-Umgebung und damit die Strahlungsverluste durch ELMs. Das liegt daran, dass die Verunreinigungen den Plasmawiderstand signifikant beeinflussen und damit über das aktuelle Stromprofil im Podest auch den X-Punkt und die Belastung an der Divertoroberfläche. Aus diesem Grund, und auch im Zusammenhang mit der Entwicklung eines integrierten Zentrum-Podest-SOL Modells (ICPS) am FZK, wurde im IHM mit Unterstützung der Projektleitung FUSION ein neuer zweidimensionaler Plasmagleichgewichts- und Stabilitätscode TOKES (TOKamak Equilibrium and Stability code) für Podest und Zentralplasma entwickelt. Bis jetzt wurden die folgenden Teile implementiert:

- Automatische Plasmabegrenzung über spezielle Punkte, in welchen der poloidale magnetische Fluss durch die entsprechenden Ströme in den Poloidalfeldspulen fixiert ist, wodurch das Plasma gegen poloidale Störungen stabilisiert wird.
- Ein multifluidales Plasmamodell, mit dem man viele Untersuchungen mit Verunreinigungen und Heliumasche durchführen kann.
- Pfirsch-Schlüter-Plasmatransport mit Berücksichtigung neoklassischer und anomaler Effekte.

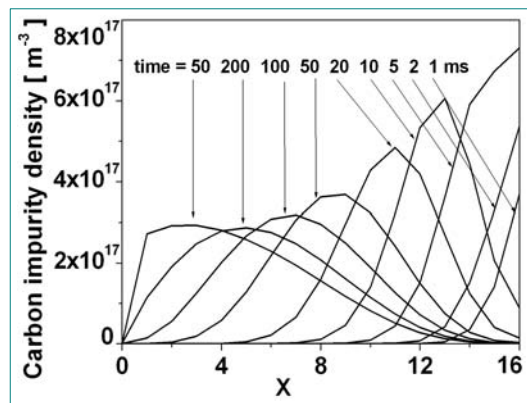
- Die Aufheizung durch Neutralströme und  $\alpha$ -Teilchen.

Die Tokamakplasma-Konfiguration von ITER im Gleichgewicht wurde mit einem Außenmagnetfeld in Flussflächenkoordinaten simuliert (Abbildung).



TOKES Poloidaler Querschnitt. ■ - Spulen für das externe poloidale Magnetfeld, x - X-Punkt. Die Neutralströme sind durch Pfeile angezeigt.

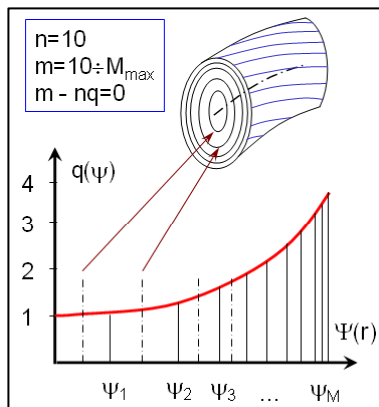
Das toroidale Plasma bewegt sich im Magnetfeld der Spulen, und das Magnetfeld entwickelt sich zusammen mit dem Plasma. Als erste Anwendung wurde eine vollständige ITER-Entladung modelliert und die Plasmakontamination mit Kohlenstoff-Verunreinigungen durch ELMs mit  $1\text{ MJ}/\text{m}^2$  abgeschätzt. Bisher berechnete FOREV die Dichte von Kohlenstoff-Atomen an der Plasmagrenze, und jetzt rechnet TOKES weiter die Diffusion von Kohlenstoff-Ionen zum Plasmazentrum. Es zeigte sich, dass die Ionen in weniger als  $1\text{ s}$  ins Zentrum diffundieren (Abbildung). Das bedeutet, dass ELMs das Tokamakplasma nicht reinigen, weil auf der Peripherie nur eine geringe Menge von Kohlenstoff-Ionen übrig bleibt, und der nächste ELM nur sauberes Plasma ausspülen wird. Die Verunreinigungen sammeln sich im Zentrum auf der Magnetfeldachse und strahlen die Plasmaenergie aus, was TOKES auch berechnet. Bei  $1\text{ MJ}/\text{m}^2$  ergibt die Rechnung eine tolerierbare ITER ELM-Frequenz von  $0.5\text{ Hz}$ .



Räumliche Verteilung von Kohlenstoffverunreinigungen zu verschiedenen Zeitpunkten nach ELM. X bezeichnet die magnetischen Oberflächen von der Magnetachse.



Für theoretische Analysen der Konfigurationsstabilität gegenüber toroidalen Störungen wird das Problem in speziellen Magnetflussflächenkoordinaten betrachtet (Abbildung), die einer sinusförmigen toroidalen Störung angepasst sind. Die numerischen Flussflächen sind auf Resonanzoberflächen gesetzt worden. Bisher wurden Plasmastörungen in flacher Geometrie für eine Schicht betrachtet. Die Implementierung dieses Modells in TOKES ist vorgesehen.



Spezielle Magnetflussflächenkoordinaten  $\psi(r)$  entlang der Magnetfeldlinien zur Untersuchung von Tokamakplasma - Instabilitäten. Die Resonanzoberflächen  $\psi_i$  entsprechen dem rationalen Sicherheitsfaktor  $q=m/n$ .

## Plasmaheiztechnik

### Koaxiales Gyrotron für ITER

Ein Vertrag zur Fertigung eines ersten Prototyps eines koaxialen Gyrotrons mit einer Ausgangsleistung von 2 MW, CW bei 170 GHz wurde zwischen EFDA (European Fusion Development Agreement) und der Firma Thales Electron Devices (TED), Frankreich abgeschlossen. Notwendige Voraussetzungen für den Bau dieses Gyrotrons mit koaxialem Resonator beruhen auf Ergebnissen von Untersuchungen, welche im Forschungszentrum in den letzten Jahren durchgeführt wurden. Bei der Fertigung des ersten industriellen Prototyps des koaxialen Gyrotrons wird die Firma TED von EURATOM Assoziationen (FZK Karlsruhe, CRPP Lausanne und TEKES Helsinki) unterstützt. Im einzelnen werden die physikalische Auslegung und die Spezifikation der Gyrotronkomponenten durch die Assoziationen durchgeführt, während TED für die technische Auslegung und Fertigung zuständig ist.

Im Zusammenhang mit den Aktivitäten am industriellen Prototypgyrotron wurde im Jahr 2005 der Entwurf aller Komponenten eingefroren. Die Fertigung des Prototyps ist in etwa im Zeitplan, so dass die Auslieferung des Gyrotrons für Ende März 2006 erwartet wird. In dem Zeitraum ab Mitte 2006 soll das Gyrotron in einem geeigneten Teststand, welcher zur Zeit bei CRPP Lausanne errichtet wird, untersucht werden.

Parallel zu den Arbeiten am ersten Prototypgyrotron wurden Messungen an einem experimentellen 170 GHz koaxialen Kurzpuls-Gyrotron im FZK durchgeführt. Ziel dieser Messungen war es den Entwurf der Komponenten (Resonator, quasi-optisches (q.o.) HF-Auskopplungssystem) unter realistischen Bedingungen zu überprüfen. Zum Testen des q.o. HF Auskopplungssystem wurde der Teststand für Messungen bei kleinen Leistungen verbessert. Nachfolgend sind die erzielten Ergebnisse kurz zusammengefasst.

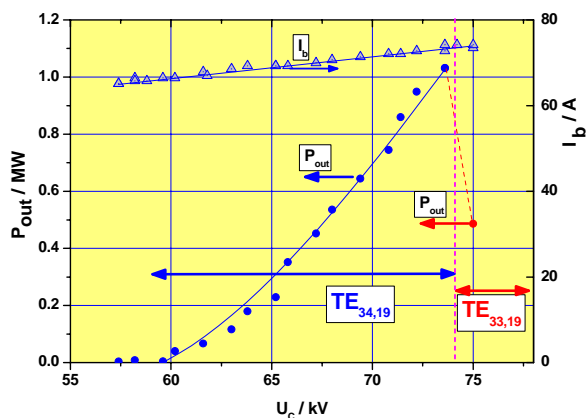
- Parasitäre Schwingungen beim Betrieb des Gyrotrons:

Wie bereits im letzten Jahr berichtet wurden starke parasitäre Schwingungen bei ~260 MHz und 330 MHz beobachtet. In

Simulationen mit dem Programm "CST Microwave Studio" gelang es, das parasitäre Schwingverhalten zu modellieren. Konsequenzen für das Prototypgyrotron werden diskutiert.

- Mikrowellen-Erzeugung:

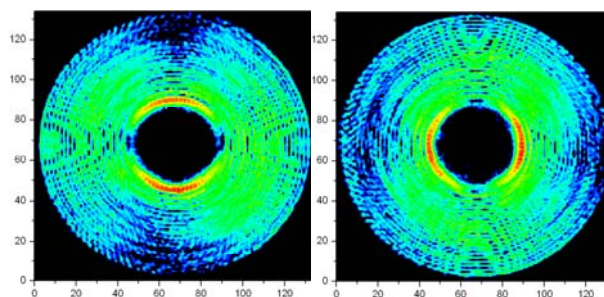
In der Nominalmode bei 170 GHz wurde eine maximale Ausgangsleistung von 1.15 MW gemessen. Im Experiment wurde jedoch ein stärkerer Modenwettbewerb beobachtet als nach den Simulationsrechnungen erwartet. Dadurch wird der Schwingbereich der nominalen Mode eingeschränkt. Ein möglicher Einfluss von Ungenauigkeiten in der Justierung des SC Magneten wurde experimentell ausgeschlossen. Zur Klärung der Diskrepanz zwischen Experiment und Simulation sind weitere Untersuchungen notwendig.



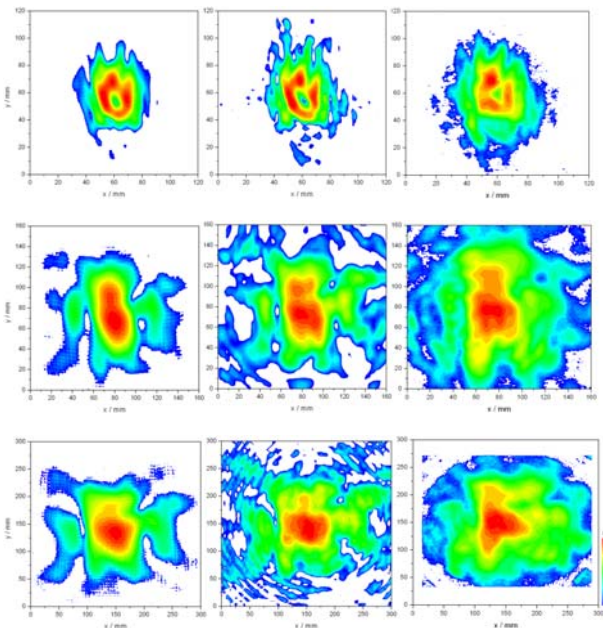
Ausgangsleistung  $P_{out}$  gegen Kathodenspannung  $U_c$  bei  $B_{av}=6.718$  T. Strahlstrom  $I_b \approx 65-75$  A wächst mit  $U_c$  wegen des Schottky-Effekts an.

- Das quasi-optische (q.o.) HF-Auskopplungssystem:

Die Ursache für einen Fehler im 1. Entwurf des q.o. HF Systems wurde gefunden. Der 2. und 3. Spiegel des Systems wurden daher neu entworfen, hergestellt und vermessen. Für die Messungen bei kleinen Leistungen wurde ein neuer Modenerzeuger, welcher die rotierende  $TE_{-34,19}$ -Mode bei 170 GHz mit sehr hoher Reinheit erzeugt, in Betrieb genommen. Die Feldverteilung der erzeugten Mode ist in der nächsten Abbildung zu sehen. Der Anteil der gegenrotierenden Mode  $TE_{+34,19}$  wurde zu weniger als 1% abgeschätzt. Das q.o. System mit den korrigierten Spiegeln wurde sowohl bei kleinen Leistungen ("kalt") als auch im Gyrotron ("heiß") vermessen. Die Ergebnisse der Messungen zeigt die darauf folgende Abbildung. Die Übereinstimmung der experimentellen Ergebnisse mit den Rechnungen ist gut. Die Mikrowellenleistung ist gut fokussiert in der Ebene des Ausgangsfensters des Gyrotron. Leider ist der Anteil der Gauß'schen Grundmode an der Gesamtleistung nur etwas über 60%. Ein verbessertes System mit einem Gauß'schen Anteil über 90% wird untersucht.



$TE_{34,19}$  mode bei 170 GHz - Feldverteilung in beiden Polarizationsrichtungen.



Verteilung des HF-Ausgangsstrahls in folgenden Ebenen. Reihenfolge von oben: 100 mm / 500mm bzw. 1000 mm außerhalb des Fensters. Linke/mittlere und rechte Spalte = Entwurfsrechnungen / "kalte" und "heiße" Messungen.

- Mikrowellenstreustrahlung:

Experimentell wurde ermittelt, dass der Anteil der Mikrowellenstrahlung, welcher als Streustrahlung im Gyrotron verloren geht, etwa 8 % der Ausgangsleistung ausmacht. Um diese Strahlung in definierter Weise zu absorbieren, wurde die Effektivität spezieller interner Absorber experimentell untersucht. Die Anordnung der Absorber im Gyrotron ist in der nächsten Abbildung zu sehen. Diese Absorber bestehen aus einer Reihe von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - Röhren, welche von Wasser durchflossen werden (Abb.).



Blick in die Spiegelbox des Gyrotrons mit der Anordnung der Testabsorber.

## Test des Remote Launcher Systems für ITER

Der sog. Remote Steering Launcher besteht im wesentlichen aus einem rechteckigen Hohlleiter bestimmter Länge und aus Spiegeln am Eingang des Launchers, welche eine Einstrahlung des Mikrowellenstrahls unter verschiedenen Winkeln ermöglichen. Aus dem Launcher tritt der Strahl unter einem entsprechendem Winkel aus. Damit ließe sich der Einstrahlwinkel des Mikrowellenstrahls in das Plasma weit entfernt vom Plasma variieren. Zum Testen eines Prototyps eines solchen Launchers wurde das 170 GHz koaxiale Gyrotron verwendet. Die Tests wurden mit Mikrowellenausgangsleistungen bis 1 MW und

Pulsängen bis ca. 9 ms erfolgreich durchgeführt. Der Gauß'sche Anteil des Ausgangsstrahls war leider nur etwas über 50%. Das folgendem Bild zeigt den Launcher installiert in der Mikrowellenbox.



Blick in die Mikrowellenbox mit dem Remote Launcher.

## ECR Heizung und Stromtrieb – Frequenzdurchstimmbare Gyrotrons

Magnetohydrodynamische (MHD) Instabilitäten sind eines der Hauptprobleme beim magnetischen Einschluss von Kernfusionsplasmen. Die Stabilität ist dabei in einem großen Ausmaß durch die Verteilung der Plasmaströme bestimmt. Der lokalisierte Stromtrieb ist ein leistungsfähiges Werkzeug zur Unterdrückung stromgetriebener Instabilitäten und damit zur Optimierung des Leistungsverhaltens von Tokamaks. Die Unterdrückung der den Plasmadruck begrenzenden MHD-Instabilitäten (so genannte Neoklassische Tearing-Moden) durch lokalisierten Elektron-Zyklotron-Stromtrieb (ECCD) wurde erfolgreich an ASDEX-Upgrade, DIII-D und JT-60U demonstriert.

Die Absorption von HF-Wellen mit der Kreisfrequenz  $\omega$  hängt von der Resonanzbedingung  $\omega - k_z v_z = \omega_c$  ab ( $\omega_c/2\pi$  ist die Zyklotronfrequenz). Dadurch kann den Plasmainstabilitäten durch einen externen lokalisierten Stromtrieb entweder durch Ändern des Einstrahlwinkels oder durch eine bestimmte Einstrahlfrequenz entgegengewirkt werden.

Für die Durchführung solcher Experimente zur Plasma-stabilisierung bei ASDEX-Upgrade am IPP Garching mit fortschrittlicher Elektron-Zyklotron-Resonanzheizung (ECRH) sowie Elektron-Zyklotron-Stromtrieb besteht ein starker Bedarf an durchstimmbaren Mehr-Frequenz-Gyrotrons. Zwei Gyrotrons sind bereits durch das IPP Garching bei der Fa. GYCOM in Nizhny Novgorod, Russland, bestellt. Das erste Gyrotron ist als Zwei-Frequenz-Gyrotron ausgelegt und arbeitet bei 105 GHz und 140 GHz. Das zweite wird ein Mehr-Frequenz-Gyrotron sein, das auf unterschiedlichen Resonatormoden zwischen 105 GHz und 140 GHz betrieben wird. Als Resonatormode wurde bei 140 GHz der  $\text{TE}_{22,8}$ -Modus ausgewählt. Die Frequenz von 105 GHz entspricht dann dem  $\text{TE}_{17,6}$ -Modus.

### Gyrotronresonator

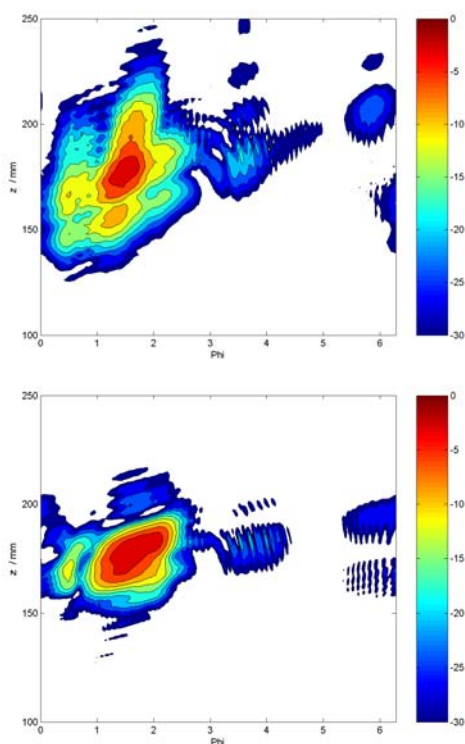
Das bereits am Forschungszentrum vorhandene 140 GHz,  $\text{TE}_{22,6}$ -Gyrotron wurde für den Betrieb im  $\text{TE}_{22,8}$ -Modus modifiziert, um die Ergebnisse direkt mit denen von GYCOM vergleichen zu können. Mit dem  $\text{TE}_{22,6}$ -Gyrotron wurde bereits in früheren Experimenten sehr erfolgreich die Frequenzdurchstimmbarkeit über 15 GHz (132,5 – 147,5 GHz) innerhalb einer Sekunde gezeigt. Der Strahlentunnel, der Kollektor und das supraleitende Magnetsystem werden für das neue Experiment weiter genutzt. Der Resonator, der quasi-optische Wellentyp-

wandler und das Ausgangsfenster wurden modifiziert bzw. für einen Betrieb bei verschiedenen Frequenzen neu ausgelegt.

Der Resonator mit dem Uptaper wurde neu berechnet und gefertigt. Er wurde in Hinsicht auf Breitbandbetrieb mit der Modenreihe von  $TE_{17,6}$  bis  $TE_{23,8}$  entsprechend den Frequenzen von 105 GHz bis 143 GHz optimiert. Einige zusätzliche Moden von  $TE_{24,8}$  bis  $TE_{25,10}$  können bei noch höheren Frequenzen angeregt werden.

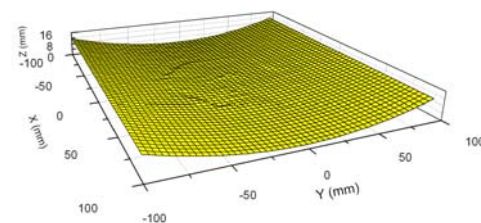
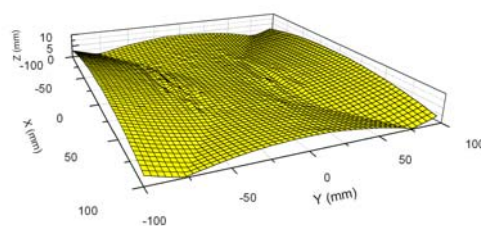
### Quasi-optischer Wellentypwandler

Der quasi-optische Wellentypwandler besteht aus einer Hohlleiterantenne mit periodischer Wandstörung und einem strahlformenden Spiegelsystem, das für die neun Moden  $TE_{17,6}$  bis  $TE_{23,8}$  optimiert wurde. Neue Erkenntnisse haben gezeigt, dass eine Verringerung des Innendurchmessers des Antennen-Hohlleiters eine deutliche Verbesserung des abgestrahlten Feldbildes ermöglicht. Weiter steht inzwischen ein neuartiges Syntheseprogramm zur Verfügung, mit dem deutlich kompliziertere Wandstrukturen in der Hohlleiterantenne berechnet werden können. Die aktuelle Hohlleiterantenne wurde damit optimiert. Dadurch kann die Feldstärke im Bereich des Hohlleiterschnitts teilweise um mehrere Größenordnungen reduziert werden, was eine Verringerung der Beugungsverluste an der Hohlleiterkante zur Folge hat (Abbildungen).



Berechnete Abstrahlcharakteristik der aktuellen (oben) und der verbesserten (unten) Launcherversion.

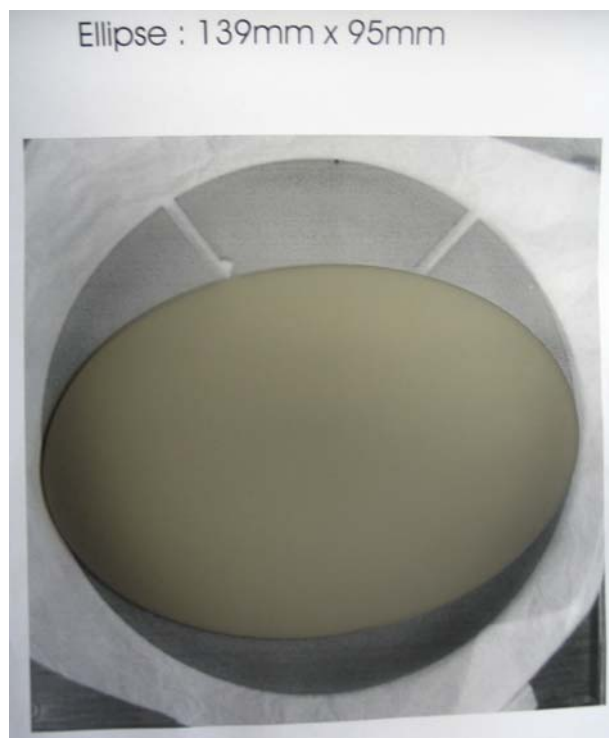
Der erste Spiegel ist ein großer, quasi-elliptischer Spiegel, der zweite und dritte sind adaptierte phasenkorrigierende Spiegel mit einer nicht-quadratischen Funktion der Oberflächenkontur. Zur Reduktion der internen Streustrahlung wurden die beiden phasenkorrigierenden Spiegel neu optimiert. Das neue Design arbeitet zusätzlich zu den phasenkorrigierenden Strukturen mit leicht gekrümmten Spiegeloberflächen (Abb.), wodurch der Fokus des Gaußschen Strahls besser an die Ausgangsfensterebene angepasst werden kann. Bevor das System in das Gyrotron eingebaut wird, werden Kaltmessungen des Wellentypwandlers auf dem Niederleistungsmessplatz durchgeführt.



Berechnete Oberflächenkontur des neuen Spiegelsystems: oben: 2. Spiegel; unten: 3. Spiegel.

### CVD-Diamant Brewsterfenster

Effizienter Betrieb in mehreren Moden bei verschiedenen Frequenzen wird durch die Anwendung eines Brewster-Fensters aus synthetischem Diamant (chemical vapour deposition: CVD) möglich. Durch den großen Brewsterwinkel ( $67,2^\circ$ ) von Diamant wird zum Erreichen einer ausreichenden Aperturgröße für den HF-Ausgangsstrahl eine Diamantscheibe mit großem Durchmesser erforderlich. Eine Scheibe mit einer Dicke von 1,7 mm und einem Durchmesser von 140 mm wurde von Element Six (früher DeBeers) entwickelt und ausgeliefert. Da die Diamantscheibe produktionsbedingt zwei Risse hatte, wurde eine größtmögliche Ellipse (139mm x 95mm) herausgetrennt (Abb.). Damit ist unter dem Brewsterwinkel von  $67,2^\circ$  eine Apertur von 50mm erreichbar.



Elliptische CVD-Diamantscheibe für Brewsterfenster mit Bild der ursprünglichen Scheibe im Hintergrund.

Da bei einer elliptischen Fensterlötlung gegenüber einer runden Anordnung im Diamant deutlich höhere mechanische Spannungen auftreten, werden im Augenblick bei der Firma TED Löttests an einer kleinen Diamantscheibe durchgeführt. Im Erfolgsfall wird die große elliptische Diamantscheibe mit einem Kupferlöttrag versehen, so dass die Scheibe im Betrieb direkt am Rand gekühlt werden kann. Da nicht vor Mitte 2006 mit dem Brewsterfenster aus CVD-Diamant gerechnet wird, wurde zur Durchführung von Hochleistungsexperimenten ein Quarzglasfenster mit den identischen Abmessungen ausgelegt und gefertigt.

## Sonderprojekt Mikrowellenheizung (PMW) für Wendelstein 7-X

Das Vorhaben umfasst die Entwicklung, den Bau und die Inbetriebnahme des kompletten 10 MW, 140 GHz Elektronen-Zyklotron-Resonanz-Heizsystems (ECRH) für nahezu stationären Betrieb (30 Minuten) am zukünftigen Stellarator W7-X in Greifswald in Zusammenarbeit mit dem IPP Garching/Greifswald und dem Institut für Plasmaforschung der Universität Stuttgart sowie in Abstimmung mit der Projektleitung Aufbau W7-X des Max-Planck-Institutes Garching/Greifswald (IPP). Mit der ECRH soll das Plasma aus dem neutralen Füllgas heraus erzeugt (ionisiert) und aufgeheizt werden. Dadurch kann der für Fusionsreaktoren relevante Plasmaparameterbereich mit großer freier Weglänge erreicht werden. Außerdem soll mit der ECRH auch ein nicht-induktiver Strom getrieben werden, der im stationären Betrieb durch die Kompensation unerwünschter Plasmaströme die Sicherstellung des optimierten Plasmaeinschlusses erlaubt. Die Mikrowellenleistung soll von zehn 140 GHz Gyrotrons mit einer Leistung von jeweils 1 MW erzeugt und über zwei quasi-optische Vielstrahl-Übertragungsleitungen von etwa 55 m Länge von den Gyrotrons zum Plasmatorus übertragen werden.

### Seriengyrotrons für ECRH an W7-X

Die intrinsische Fähigkeit von Stellaratoren für einen kontinuierlichen experimentellen Betrieb (continuous wave: CW) kann nur mit einem Dauerstrichheizverfahren hoher Leistung demonstriert werden. Derzeit ist die Realisierung nur mit einem ECRH-System möglich. Die Schlüsseltechnologien hierbei sind Hochleistungsgyrotrons sowie verlustarme Übertragungsleitungen bis hin zur Einstrahlantenne im Torusgefäß mit der Möglichkeit für CW-Betrieb. Für den Stellarator W7-X in Greifswald ist ein 10 MW ECRH-System bei 140 GHz vorgesehen.

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist vertraglich verpflichtet, dieses 10 MW ECRH-System am IPP Greifswald zu installieren, und in einer europäischen Zusammenarbeit zwischen dem Forschungszentrum Karlsruhe, dem Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP) Lausanne, dem Institut für Plasmaforschung (IPF) der Universität Stuttgart, dem Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) in Cadarache und der Mikrowellenröhrenfirma Thales Electron Devices (TED) in Vélizy die Entwicklung der Gyrotrons mit einer Ausgangsleistung von 1 MW durchzuführen.

Die Hauptprobleme von Hochleistungs-Hochfrequenz-Gyrotrons sind gegeben durch die Ohmschen Verluste des Resonators, durch die dielektrischen Verluste im Ausgangsfenster, durch die Leistungskapazität des Kollektors und durch die Streustrahlung, die innerhalb des Gyrotrons absorbiert wird. Die technische Begrenzung der Resonator-Leistungsdichte liegt bei 2 kW/cm<sup>2</sup>. Daher arbeiten Gyrotrons in hohen Volumenmoden mit großem Resonatordurchmesser.

Ein Durchbruch zu hohen Leistungen in kontinuierlichem Betrieb gelang durch die Benutzung von synthetisch hergestellten

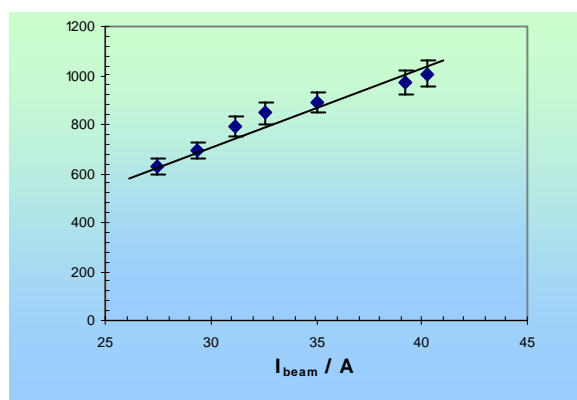
Diamantfenstern (chemical vapor deposited diamond: CVD-diamond). Diese erlauben den kontinuierlichen Betrieb von Gyrotron-Oszillatoren bei einer Leistung von 1 MW und höher.

Der Betrieb der Gyrotrons mit Energierückgewinnung (single-stage depressed collector operation) erhöht den Wirkungsgrad der Oszillatoren auf über 50% und reduziert die Belastung des Kollektors erheblich.

Die Ergebnisse der Langpulsmessungen an der Vorprototypröhre „Maquette“ und der Prototypröhre wurden in den letzten Jahren beschrieben. Mit der Prototypröhre ergaben sich zwei Probleme: die spezifizizierte Leistung konnte nicht ganz erreicht werden (890 kW) und die Pulslänge war auch bei reduzierter Leistung von 537 kW auf gut 15 Minuten limitiert. Die Gründe für die Begrenzung der Ausgangsleistung liegen in der inhomogenen Elektronenemission der Kathode, durch die die Qualität des Elektronenstrahls im Resonator wesentlich beeinträchtigt wird. Die Begrenzung der Pulslänge wurde verursacht durch einen Druckanstieg in der Röhre, der auf eine Erhöhung der Temperatur der inneren Komponenten der internen Ionen-Getter-Pumpen zurückgeführt werden konnte. Die Richtigkeit dieser Annahme wurde mittels einer Infrarot-Aufnahme durch das Diamantfenster nach einem langen Puls bewiesen.

Um Begrenzungen bei den nächsten Röhren zu eliminieren, werden vor der Fertigung bessere visuelle Qualitätskontrollen der einzubauenden Elektronen-Emitterringe durchgeführt. Die Pulslängenlimitierung wurde durch die Versetzung der bisher internen Ionen-Getter-Pumpen nach außen vermieden. In dieser Anordnung ist eine wesentlich bessere Abschirmung der Pumpen gegen HF-Streustrahlung zu erreichen.

Die Wirksamkeit der ersten Maßnahme, die einer besseren Qualitätskontrolle des Elektronen-Emitterrings, konnte schon mit der modifizierten Prototypröhre gezeigt werden. Nach dem Öffnen der Röhre und einer visuellen Untersuchung der inneren Komponenten, bei der aber keine wesentlichen Spuren einer Beschädigung nachgewiesen wurden, wurde die Röhre beim Zusammenbau mit einem neuen qualifizierten Emitterring versehen. Messungen im Kurzpulsbetrieb zeigten bis zu Elektronenströmen von 40 A eine nahezu lineare Abhängigkeit. Bei 40 A wurde eine Ausgangsleistung von einem Megawatt erreicht.

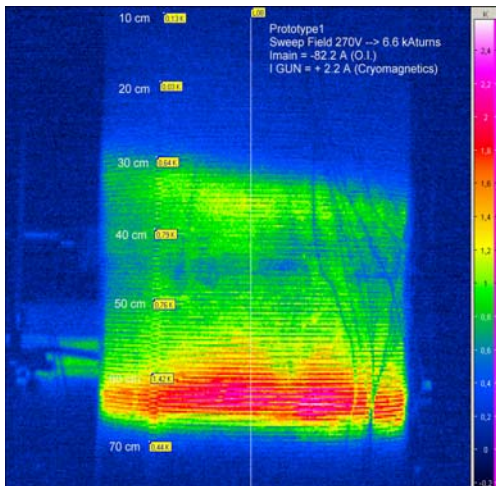


Ausgangsleistung (in Kilowatt) als Funktion des Elektronenstrahlstroms. Bei festem Magnetfeld wurde die Beschleunigungsspannung zur Erzielung maximaler Ausgangsleistungen variiert.

Die technische Begrenzung der Ausgangsleistung an W7-X Gyrotrons ist in der Hauptsache durch die Belastung des Kollektors durch den Elektronenstrahl gegeben, obwohl die Belastung durch normalleitende DC- und AC-Spulen und die dadurch bewirkte Auf- und Abverschiebung (Sweeping) des

Elektronenstrahl entlang der Kollektoroberfläche reduziert wird. Dieses Sweeping wird mit 7 Hz durchgeführt. Höhere Frequenzen sind nicht effektiv wirksam, da die Amplitude des von außen angelegten Magnetfeldes im Inneren durch den „Skinneffekt“ stark reduziert wird. Die maximale Belastung des Kollektors wird durch Vorgabe von TED auf 1,3 MW beschränkt. Bei einem Wirkungsgrad von 45% bedeutet dies eine Ausgangsleistung von 1,05 MW.

Seitens des Forschungszentrums wurde ein radiales Sweepsystem (mit einem transversal angelegten Magnetfeld) untersucht. Dieses System reduziert zwar zunächst nicht die Verlustleistungsdichte, ist jedoch einfacher und kostengünstiger zu fertigen. Dies gilt besonders, da der untere Teil des Kollektors aus Edelstahl gefertigt ist und damit höhere Sweep-Frequenzen möglich sind. Durch Betrieb bei 50 Hz und einer Auslegung derart, dass die Magnete mit einer Ansteuerung von 220 Volt (Drehstrom) betrieben werden, ergab sich eine sehr einfache Anordnung. Die hohe Sweep-Frequenz weist zudem den Vorteil auf, dass die Temperaturschwankungen auf der inneren Oberfläche des Kollektors wesentlich reduziert sind und dadurch das Problem der zyklischen Ermüdung verringert werden kann.



*Kollektor-Temperaturverteilung auf Grund der Erwärmung durch den Elektronenstrahl.*

Dieses System wurde an der Prototypröhre getestet und entspricht den Erwartungen. Die Ergebnisse stimmen sehr gut mit der Theorie überein. Wie schon erwähnt, ergeben sich jedoch keine Vorteile in Bezug auf die thermische Belastung. Mit Hilfe einer Amplitudenmodulation der Anregungsspannung oder durch eine Kombination von radialem und axialem „Sweeping“ wird jedoch eine Verringerung der Belastung erwartet. Eine Reduktion der Belastung ist auch extrem wichtig für den Entwurf von Gyrotrons mit koaxialem Resonator für Ausgangsleistungen von bis zu 2 MW z.B. für ITER. Messungen an diesem System werden zu Beginn des Jahres 2006 durchgeführt.

Sieben Seriengyrotrons wurden bei Thales Electron Devices (TED) bestellt. Zusammen mit der Vorprototypröhre „Maquette“, der Prototypröhre und der im Auftrag von IPP bei CPI entwickelten Röhre werden in Greifswald zehn Gyrotrons zur Verfügung stehen. Für den Betrieb dieser Röhren wurden acht supraleitende Magnetsysteme bei der Firma Cryomagnetics Inc., USA, bestellt, so dass mit den schon für die Röhrenentwicklung gelieferten Magnetsystemen von Oxford und ACCEL ebenfalls 10 Systeme zur Verfügung stehen werden.

Um die oben geschilderten Probleme der Leistungs- und Pulsängenbegrenzung zu vermeiden, wurde auch bei der Fertigung der ersten Seriengyrotrons auf eine gute Qualität und eine gute Temperaturhomogenität des Elektronenemitters

geachtet, und die Ionen-Getter-Pumpen extern angebracht. Weiterhin wurde zwecks einer besseren Kühlung der Teil des Gyrotrons, in dem die größte Streustrahlung erwartet wird, doppelwandig ausgeführt. Schlecht zu kühlende Edelstahloberflächen wurden zwecks geringerer HF-Absorption mit Kupfer beschichtet.

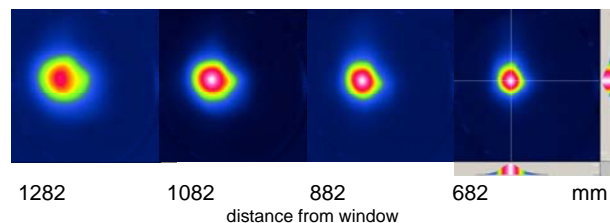
Die erste Serienröhre wurde im Februar 2005 ans Forschungszentrum geliefert. In Kurzpulsexperimenten wurde das Verhalten der Ausgangsleistung untersucht. Sie verhielt sich wie die Prototypröhre: es wurde keine Sättigung der Ausgangsleistung mit zunehmendem Strahlstrom gefunden. Bei



*Erste Serienröhre im Teststand des Forschungszentrums Karlsruhe.*

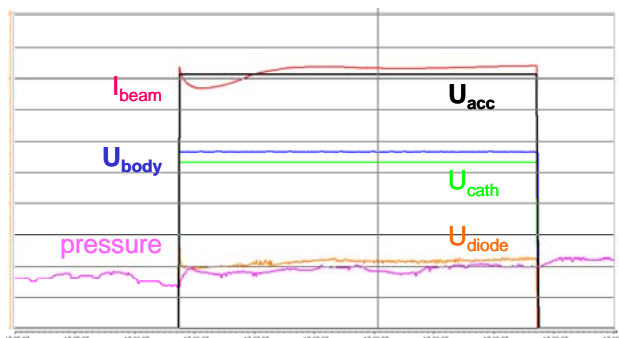
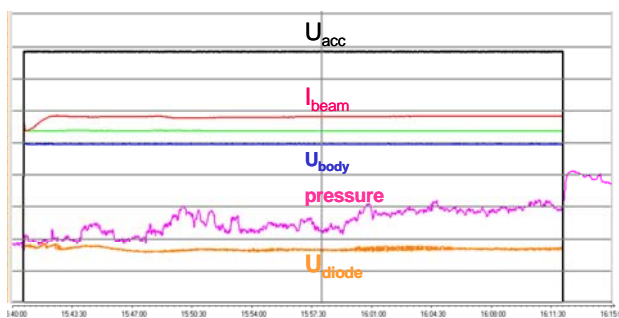
40 A ergab sich eine Ausgangsleistung von einem Megawatt, die bis zu 50 A auf 1,15 MW anstieg. Diese lineare Abhängigkeit zeigt die gute Emission der Kathode bis hin zu hohen Elektronenströmen. Die Wirkungsgrade ergaben sich zu 31% bei 40A und 30% bei 50A.

Die transversale Hochfrequenz (HF) - Verteilung des Ausgangsstrahls wurde in verschiedenen Abständen zum Ausgangsfenster gemessen, und daraus die Strahlparameter der fundamentalen Gaußschen Verteilung bestimmt. Im Gegensatz zur Prototypröhre, bei der eine Versetzung des HF-Strahl um 12 mm nach rechts (entgegen Strahlrichtung beobachtet) aufgetreten war, ergab sich bei dieser Röhre eine Verschiebung ebenfalls um 12 mm, jedoch in entgegengesetzter Richtung. Aus den Strahlverteilungsmessungen wurde der Gaußsche Anteil zu 97,5% errechnet.



*Strahlverteilungsmessungen in verschiedenen Abständen zum Fenster.*

Wegen der Neutralisation und der Ausdehnung der Resonatoren müssen Gyrotronparameter wie z. B. das Magnetfeld im Resonator und an der Elektronenkanone im Langpulsbetrieb anders gewählt werden. Die Optimierung dieser Parameter wurde mit Pulslängen von einer Sekunde durchgeführt. Dabei wird angenommen, dass die Ausgangsleistung sehr gut durch die leicht zu messende Frequenzverschiebung wiedergegeben wird. In einem Magnetfeldbereich zwischen 5,52 – 5,56 T wurde kein Maximum der Ausgangsleistung gefunden; stattdessen stieg sie leicht mit zunehmendem Magnetfeld an. Die entsprechenden Beschleunigungsspannungen für maximale Ausgangsleistung folgten sehr gut der Resonanzbedingung, dass das Verhältnis zwischen dem Magnetfeld und dem relativistischen Faktor  $\gamma$  konstant sein soll. Es wurde jedoch eine starke Abhängigkeit der Ausgangsleistung von dem Magnetfeld in der Elektronenkanone bzw. vom Elektronenstrahlradius im Resonator gefunden. Diese Messungen wurden mit einem konstanten Elektronenstrom von 40 A durchgeführt, jedoch wurde der Elektronenstrahlradius bei konstantem Resonator-Magnetfeld durch Veränderung des Magnetfeldes am Emitter optimiert. Die richtige Mode konnte nur in einem engen Bereich des Elektronenstrahlradius zwischen 10,25 und 10,43 mm angeregt werden. Oberhalb dieser Radien wurden Nachbar-moden oder entgegengesetzt rotierende Moden angeregt, unterhalb ereignete sich ein Pulsabbruch durch Überstrom. Der optimale Wert für den Elektronenradius nimmt leicht mit zunehmendem Magnetfeld und Elektronenstrom zu.



Gyrotronparameter für Pulse von 180 s, 922 kW (unten) und 1893 s, 570 kW (oben).

Im Langpulsbetrieb wurde die Leistung kalorimetrisch durch den Temperaturanstieg des Wassers in der HF-Absorberlast bestimmt. Diese Last befindet sich im Abstand von 5-6 m von dem Gyrotronfenster. Der HF-Strahl wird durch zwei zwischen Gyrotron und Last befindlichen Spiegeln fokussiert und auf die Last gerichtet. Um die Verlustleistungsdichte in der Last zu erniedrigen, wird der linear polarisierte HF-Strahl des Gyrotrons durch zwei Polarisatoren in einen zirkular polarisierten umgewandelt. Der erste Anpassspiegel enthält eine gerillte Oberfläche (Gitter), sodass ein fester Bruchteil der HF-Leistung ausgekoppelt und auf eine kleine Empfangsantenne gerichtet werden kann. Im Prinzip ist nach einer Kalibrierung damit eine Leistungsmessung möglich, wegen der leichten Verstellbarkeit (Dämpfungsglied) wird diese Anordnung jedoch nur zu relativen Messungen z. B. während eines Pulses benutzt.

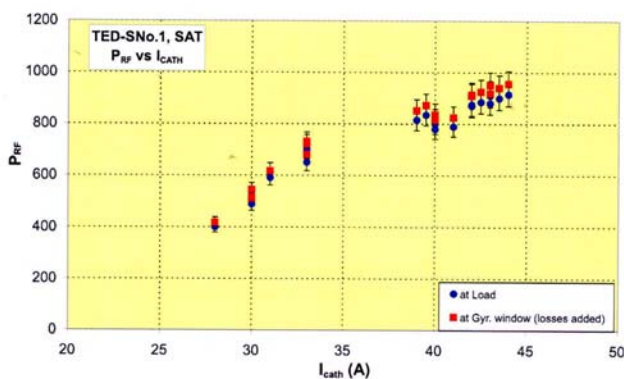
Wegen der hohen Kollektorbeklastung wird im Langpulsbetrieb das Gyrotron nur mit Energierückgewinnung betrieben. Die Elektronen werden nach der Wechselwirkung im Resonator mit einer einstufigen Gegenspannung abgebremst. Die Resonatorspannung  $U_{body}$  liegt im Allgemeinen zwischen 25 und 30 kV, die Kathodenspannung  $U_{cath}$  damit zwischen -55 und -50 kV.

Die Abbildung zeigt die Betriebsparameter für zwei Pulslängen: 3 Minuten (unten) und 30 Minute (oben) bei reduziertem Strahlstrom. Dargestellt sind der Strahlstrom  $I_{beam}$ , die Zwischenspannung  $U_{body}$ , die Beschleunigungsspannung  $U_{acc}$ , die Diodensignal  $U_{diode}$  und der Druck innerhalb der Röhre gemessen durch den Strom der Ionen-Getter-Pumpen. Der Druck innerhalb der Röhre steigt nur sehr leicht während des dreißigminütigen Pulses an.

Die höchste Ausgangsleistung in der Absorberlast betrug 906 kW. Die Streustrahlverluste bestimmt durch kalorimetrische Messung von Absorbern innerhalb der Mikrowellen-Messkammer ergab sich die Ausgangsleistung zu 922 kW bei einem Wirkungsgrad von 45%. Mit 906 kW innerhalb der Last konnte der spezifizierte Wert von 900 kW als Gaußscher Anteil erreicht werden.

Auf Grund des Hochspannungsnetzgerätes im Forschungszentrum ist die Pulslänge bei Elektronenströmen oberhalb 30 A auf 180s begrenzt. Längere Pulse können nur bei reduzierten Strömen bis zu 30 A durchgeführt werden. Die Abbildung zeigt auch die Parameter bei einer Ausgangsleistung von 570 kW und einer Pulslänge von 1893 s. Das Diodensignal zeigt ein sehr stabiles Verhalten, das dem Stromverlauf sehr gut folgt. Das Einschwingverhalten des Elektronenstroms ist durch die Elektronenkühlung des Emitters mit manuellem Nachregeln bestimmt. Die Skala für den Druck ist logarithmisch mit einem Faktor 1,8 je Skalenstrich. Der Druckanstieg während des Pulses ist kleiner als ein Faktor zwei und endet bei ungefähr  $6 \cdot 10^{-9}$  mbar.

Nach diesen erfolgreichen Messungen am Forschungszentrum Karlsruhe wurde die Röhre für Hochleistungs-Langpuls-messungen an das IPP Greifswald geliefert. In dreißigminütigen Pulsen wurden Leistungen bis zu 870 kW in der Last nachgewiesen, und unter Berücksichtigung der Streustrahlung errechnete sich damit eine Gesamt-Ausgangsleistung von 920 kW (siehe Abbildung). Dies stellt erneut einen Weltrekord in der in einem Puls erhaltenen HF-Energie dar. Die Röhre wurde nach diesen Tests versiegelt, so dass die Garantiezeit erst nach Wiedereinschalten der Röhre, das ist nach Inbetriebnahme der Kathodenheizung, beginnt.



Übersicht der Ausgangsleistungen für verschiedene Elektronen-Ströme und verschiedene Pulslängen. Extrapolation der Ströme zeigt, dass man bei etwa 45 A eine Ausgangsleistung von 1 MW erreichen würde.

Das zweite Seriengyrotron wurde von TED Ende November 2006 ans Forschungszentrum geliefert. Nach Installation der Röhre in den Teststand des Forschungszentrums wurde Anfang Dezember 2005 mit den Kurzpulsexperimenten begonnen. Bisher wurde eine Ausgangsleistung von 960 kW bei Pulslängen von 1 ms erreicht. Die Experimente werden weiter geführt.

Sechs der acht supraleitenden Magnete von Cryomagnetics sind bereits ans Forschungszentrum bzw. an das IPP Greifswald geliefert worden. Die ersten beiden waren im Magnetfeld begrenzt und erreichten nur 5-7 % oberhalb des Feldes für Normalbetrieb (5,56 T). Die Systeme wurden dennoch akzeptiert, jedoch wurden für die nächsten Magnete die Erfüllung der vollen Spezifikation (10% über Sollfeld) gefordert. Auf Grund einer geringfügigen Änderung des Magnetaufbaus wurden diese Werte bei den weiteren Magneten erreicht.

Die letzten beiden Magnete werden Anfang 2006 an das IPP geliefert werden.

### Übertragungsleitungen für ECRH an W7-X

Die Übertragungsleitungen bestehen aus Einstrahl- (single beam waveguides: SBWG) und Vielstrahl-Elementen (multi-beam waveguides: MBWG). Für jedes Gyrotron wird eine Anpassoptik mit fünf Spiegeln benutzt. Zwei dieser Spiegel (M1,M2) formen den Ausgangsstrahl des Gyrotrons zu einem Gaußschen Strahl mit den richtigen Parametern, zwei weitere Spiegel (P1,P2) mit geeigneter Oberflächenrillung ermöglichen eine Polarisations-einstellung, die für optimale Absorption in dem Plasma benötigt wird. Ein fünfter Spiegel (M3) richtet den Strahl zu dem System aus ebenen Spiegeln (beam combining optics: BCO), das fünf Strahlen zu einem Übertragungssystem zusammenfasst und sich am Eingang des Vielstrahlübertragungssystems befindet. Die Vielstrahlspiegel sind so ausgelegt, dass sie bis zu sieben Strahlen (fünf bei 140 GHz, einen bei 70 GHz und einen Ersatzkanal) vom Gyrotronbereich (Eingangsebene) zur Stellarator-Halle (Ausgangsebene) übertragen können. Diese Optik besteht aus vier fokussierenden Spiegeln mit optimierter Oberflächen in konfokaler quadratischer Anordnung und gewährleistet daher geringe Modenkonversion.

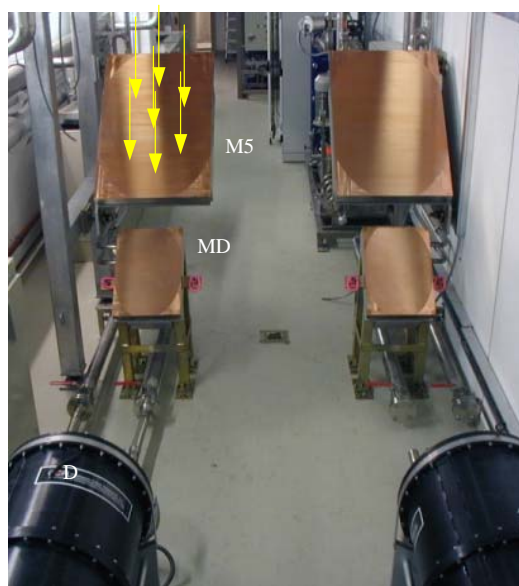
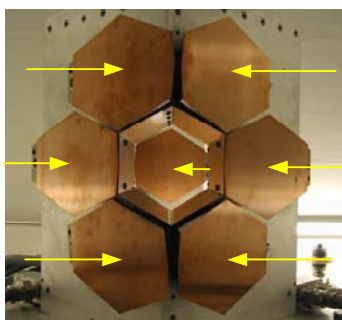
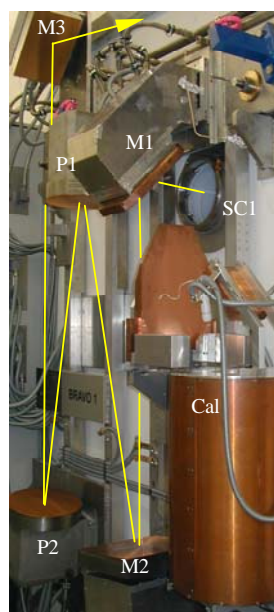
Zusätzliche ebene Spiegel sind angebracht, um die Übertragungsleitung an die Gebäudeform anzupassen. In der Ausgangsebene der MBWG trennt eine Spiegelanordnung (beam divider optics: BDO) die Strahlen und verteilt sie auf die einzelnen Einkoppelanordnungen am Torus und zu den einzeln verstellbaren Antennen im Torus. Um die gesamte Leistung zur Torushalle zu übertragen, sind zwei symmetrisch angeordnete MBWG-Übertragungsleitungen installiert.

Alle Spiegel bis zur Torushalle sind inzwischen gefertigt und installiert. Die Auslegung der Spiegel im Experimentierbereich W7-X sowie die zugehörigen Stütz- und Abschirmstrukturen ("Türme") sind weitergeführt worden; es liegt nun ein detaillierter Entwurf vor. Die Spiegel vom Typ M14 sind bereits detailliert und zur Fertigung vergeben. Im Rahmen der Abnahmetests der beiden Gyrotrons "CPI" und "TED Serienröhre No. 1" konnten Teile der Übertragungsleitungen mit 900 kW in Pulsen mit bis zu 30 Minuten Länge getestet werden. Hierbei gab es keine nennenswerten Probleme. Es zeigt sich jedoch, dass zusätzliche Maßnahmen zur Absorption von Streustrahlung im Übertragungskanal getroffen werden müssen. Hochleistungstests für die MBWGs sind in Vorbereitung. Hierzu werden Retroreflektorspiegel gefertigt, die einzelne vorwärts laufende Strahlen in einen anderen Übertragungskanal des MBWG in Rückwärtsrichtung einkoppeln und damit Tests mit den stationären Absorberlasten am Anfang der Übertragungsleitungen ermöglichen. Die Retroreflektorspiegel werden Anfang 2006 zur Verfügung stehen.

Alle 10 Kurzpuls kalorimeter (siehe Abbildung (a)) sind eingebaut, so dass für jedes neu installierte Gyrotron eine Messung der Ausgangsleistung möglich ist. Die Optimierung von Leistungsmonitoren wurde fortgeführt. Die Integration der Hohlleiter- und Gitter-Richtkoppler erfolgt im Zuge der Fertigung der Oberflächen der Anpassspiegel M1, die nach der Strahlvermessung der einzelnen Gyrotrons durchgeführt wird.

### In-Vessel-Komponenten für ECRH an W7-X

Ein motorgesteuerter Prototyp der ECRH-Antenne wurde in der Hauptwerkstatt des Forschungszentrums fertig gestellt. Seine



Blick in den Strahlentunnel des ECRH-Systems in Greifswald. a) Das linke Bild zeigt die Anpassoptik M1,M2 und die Polarisatoren P1,P2, sowie M3, den Umschaltspiegel SC1 und das Kurzpuls kalorimeter CAL für ein Gyrotron. b) In der Mitte sind die Spiegel zur Zusammenführung von bis zu sieben Strahlen (BCO) gezeigt (gesehen vom ersten MBWG-Spiegel M5). Die einzelnen Strahlen, die von den links und recht angebrachten Spiegeln M3 kommen, fallen auf diese ebenen Spiegel M5 und werden auf M5 des Vielstrahlübertragungssystems gelenkt. c) Das rechte Bild zeigt einen Blick in den Strahlentunnel mit zwei großen Vielstrahlspiegeln M5 und den Spiegeln MD, die einen ausgewählten Strahl in die Hochfrequenzlangpulslast D lenken.



*Hochspannungskontrollsystem für die Gyrotrons. Es besteht aus dem Modulator für die Bodyspannung ( „Single-stage depression voltage zur Energierückgewinnung ), der Kathodenheizung und der Thyatron-Schutteinheit.  
Links: Hochspannungskontrollsystem der W7-X Gyrotrons (von links: Modulator, Crowbar und Zündungsspule).  
Rechts: Einzelheiten des Modulators: Röhrengehäuse mit Kühlschläuchen und HV-Isolatoren.*

mechanischen Eigenschaften wurden getestet. Der „push-pull“ Antriebsmechanismus lieferte eine schnelle, präzise und reproduzierbare Positionierung über den gesamten Winkelbereich. Die Verfügbarkeit wurde in einer Langzeitbelastung von 10.000 Zyklen erfolgreich bewiesen. Die Verträglichkeit des Motorantriebes in dem erwarteten Magnetfeld von W7-X (<40mT) wurde ebenfalls gezeigt. Parallel dazu wurde eine betriebssichere Wasserkühlung innerhalb der „push-pull“ Rohre entwickelt. Zwei Konzepte wurden dabei untersucht: in die universellen Verbindungen integrierte Bälge und spiralförmig um die Verbindungen gewickelte Rohre. Nur mit der zweiten Anordnung wurde eine befriedigende Zuverlässigkeit in zyklischen Tests mit maximalem Ablenkwinkel erzielt.

Die spiralförmig angeordneten Rohre werden zur Zeit in die Prototypantenne eingebaut. Daher können in Kürze integrale Zuverlässigkeitstests in der ECRH Streustrahlungskammer unter Vakuumbedingungen durchgeführt werden.

Auf der Grundlage der gegenwärtigen Erfahrungen wurde ein Konzept für die 10 ECRH-Serienantennen entwickelt. Der detaillierte Entwurf und die Konstruktion sind für 2006 vorgesehen.

Alle 10 CVD-Diamant-Torusfenstereinheiten wurden geliefert. Die im Institut für Materialforschung des Forschungszentrums durchgeführten Messungen der Materialeigenschaften der fertig gelöteten Fensterscheiben sind abgeschlossen.

#### **Kühlsystem für ECRH an W7-X**

Die Wasserkühlung wurde an die bisher gelieferten Gyrotrons angeschlossen und in Betrieb genommen. Auf Grund der Erfahrungen mit dem ersten Seriengyrotron muss die Anlage auf voll entsalztes Wasser umgestellt werden. Entsprechende Arbeiten sind im Gange.

Das CPI-Gyrotron benötigt – im Gegensatz zu den von Thales gelieferten Röhren – sauerstoffreies Wasser. Dazu wurde eine mobile Deoxydationsanlage mittels Permeationsfilter installiert.

#### **Energieversorgung für ECRH an W7-X**

Für den Betrieb der Gyrotrons mit vorgespanntem Kollektor ist eine präzise geregelte Hochspannung für die Beschleunigung des Elektronenstrahls notwendig, die von einem "HV-Modulator"

geliefert wird. Der Strahlstrom wird dabei über die Heizung der Kathode kontrolliert. Im Falle eines Durchschlags im Gyrotron schützt ein parallel geschalteter Thyatron-Crowbar das Gyrotron vor Beschädigung.

Die Herstellung der Modulatoren sowie der Kathodenheizung/Crowbar-Einheiten wird im IPF Stuttgart durchgeführt. Anfängliche Schwierigkeiten mit Hochspannungsüberschlägen im Crowbar konnten durch Änderung der Außenbeschaltung des Thyatron beseitigt werden. Bis Ende 2005 wurden 4 komplette Hochspannungssysteme ans IPP Greifswald geliefert und erfolgreich in Betrieb genommen.

Die Fertigung der Serienmodulatoren (einschließlich der Kathodenheizung und des Sicherheitssystems) ist im Gange. Die meisten Teile sind bereits bestellt. Der erste Serienmodulator wurde im Dezember 2004 im IPF der Universität Stuttgart getestet und zu Beginn des Jahres 2005 an das IPP Greifswald ausgeliefert. Zwei weitere sind bereits an das IPP geliefert.

#### **MSR-Technik für ECRH an W7-X**

Das Vorhaben umfasst die Entwicklung und den Aufbau der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR), sowie der Mikrowellendiagnostik für die ECRH an W7-X.

Das bestehende und im FZK getestete Konzept bewies seine Einsatzfähigkeit auch in den Gyrotrontests am IPP Greifswald, wurde jedoch an die besonderen Bedingungen angepasst, verbessert und erweitert.

Für die Tests der TED-Seriengyrotrons und der dazu gehörigen Magneten von Cryomagnetics wurde eine neue Kontroll-Software sowie eine an dieses angepasste Visualisierung entwickelt und installiert.

Beteiligte Mitarbeiter:

DI A. Arnold (Universität Karlsruhe), K. Baumann, Dr. B. Bazylev (Gastwissenschaftler), H. Budig, Ing. J. Burbach (IMF I), **Dr. G. Dammertz**, Dr. I. Danilov (IMF I), DI J. Flamm (Universität Karlsruhe), Dr. G. Gantenbein, Dr. R. Heidinger (IMF I), Dr. S. Illy, DI J. Jin, Dr. R. Kochergov, **DI K. Koppenburg**, H.-R. Kunkel, Dr. I. Landman, DI W. Leonhardt, B. Mattern, A. Meier (IMF I), D. Mellein,



DI G. Neffe, Dr. P. Pestchanyi (Gastwissenschaftler), **Dr. B. Piosczyk**, DI O. Prinz, DI T. Rzesnicki, Dr. R. Schneider, U. Saller, DI M. Schmid, P. Severloh (IMF I), W. Spiess, M. Stoner, J. Szczesny, Prof. M. Thumm, R. Vincon, Dr. X. Yang, C. Zöller

Externe Mitarbeiter am „Sonderprojekt Mikrowellenheizung (PMW) für Wendelstein 7-X“:

H. Babylon (IPF Stuttgart), Dr. P. Brand (IPF Stuttgart), M. Grünert (IPF Stuttgart), Dr. W. Kasperek (IPF Stuttgart), M. Krämer (IPF Stuttgart), R. Munk (IPF Stuttgart), F. Müller (IPF Stuttgart), P. Salzmann (IPF Stuttgart), H. Schlüter (IPF Stuttgart), Dr. K. Schwörer (IPF Stuttgart), D. Wimmer (IPF Stuttgart),

B. Berndt (IPP Greifswald), Dr. H. Braune (IPP Greifswald), Dr. V. Erckmann (IPP Greifswald), F. Hollmann (IPP Greifswald), L. Jonitz (IPP Greifswald), Dr. H.-P. Laqua (IPP Greifswald), Dr. G. Michel (IPP Greifswald), F. Noke (IPP Greifswald), F. Purps (IPP Greifswald), T. Schulz (IPP Greifswald), DI M. Weißgerber (IPP Garching)

## Programm NANOMIKRO

### Nanoskalige Schichtsysteme und Oberflächen

#### Nanomaterialogie

In Zusammenarbeit mit der Abteilung Nanomineralogie des ITC-WGT wurden Untersuchungen zur Neutralisation von Schichtladungen in Bentoniten durch eine Millimeterwellenbehandlung im Vergleich zu konventionellen Verfahren weitergeführt. Während anfangs  $\text{Li}^+$ -Kationen benutzt wurden, um sie über den Hofmann-Klemen-Effekt in die Oktaederlücken der Schichtstruktur einzudiffundieren, wurden nun die Versuche mit größeren Kationen ( $\text{Ni}^{2+}$  und  $\text{Cu}^{2+}$ ) fortgesetzt. Die Ergebnisse der Analyse stehen noch aus und werden bis Ende Januar 2006 erwartet. Parallel dazu wurde ein Konzept für eine Mikrowellenanlage erstellt, die es erlauben soll, während der Mikrowellenbestrahlung der Schichtsilikate mit einem FTIR Spektrometer nicht-thermische Effekte zu analysieren und somit die bisher gefundenen Ergebnisse besser zu verstehen. Die Anlage befindet sich aktuell noch im Aufbau (s. Abbildung) und wird nach Fertigstellung der Software zur Anlagensteuerung Anfang 2006 in Betrieb gehen.

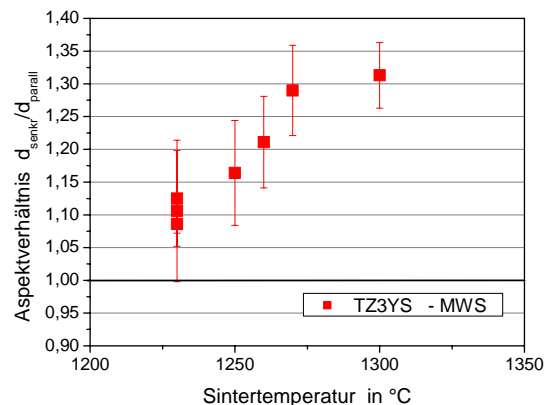


Mikrowellenanlage zur Integration in ein FTIR Spektrometer.

#### Mikrowelleneffekt

Theoretische Überlegungen, von V. Semenov und K. Rybakov, IAP in Nizhny Novgorod, Russland, führen zu der Erwartung, dass sich die Poren in Keramikgrünkörpern während des Sinterns im linear polarisierten Mikrowellenfeld abhängig von der Feldrichtung asymmetrisch schließen. Ein experimenteller Nachweis solch eines Verhaltens könnte somit einen direkten

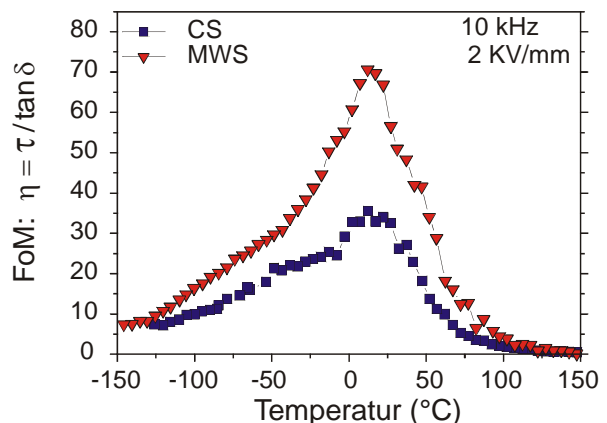
Zugang zur Verifikation der theoretischen Ansätze liefern. Deshalb wurden entsprechende Untersuchungen in einem speziellen 2,45 GHz Wellenleiterresonator durchgeführt. Die verwendeten keramischen Grünkörper wurden von der Uni Saarbrücken zur Verfügung gestellt, die durch elektrophoretische Abscheidung aus nanoskaligen,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  stabilisierten  $\text{ZrO}_2$ -Pulvern hergestellt worden waren. Die so gesinterten Proben wurden hinsichtlich ihrer Porenstruktur analysiert. Setzt man die Porendurchmesser, die senkrecht bzw. parallel zur angelegten Feldrichtung gemessen wurden, ins Verhältnis und berechnet zu den einzelnen Stichproben die statistischen Mittelwerte, ist bei den bisher untersuchten Proben eine signifikante Abweichung von 1 zu finden. Dabei zeichnet sich zudem ein Trend ab, bei dem die Abweichung von 1 mit zunehmender Temperatur zunimmt, wie in der folgenden Abbildung zu sehen ist. Dieses Verhalten unterstützt die Vorstellung, dass das Erreichen höherer Temperaturen höhere Mikrowellenleistungen erfordert, womit die Poren höheren Feldstärken ausgesetzt sind. Dies wiederum sollte den Effekt der Porenasymmetrie verstärken.



Aspektverhältnis der Poren in gesinterten  $\text{ZrO}_2$ -Proben in Abhängigkeit von der Sintertemperatur als Beweis für einen nichtthermischen Mikrowelleneffekt.

#### Funktionskeramiken

Die im letzten Jahr in Zusammenarbeit mit dem IMF3 mit Millimeterwellen gesinterten Dickschichten aus elektrisch steuerbaren, keramischen Dielektrika wurden an der TU Darmstadt auf ihre dielektrischen Eigenschaften bzw. deren Durchstimmbarkeit  $\tau$  untersucht. Die Ergebnisse bei den bisher untersuchten Barium-Strontium-Titanat (BST) Dickschichten zeigen im untersuchten Frequenz- und Temperaturbereich deutlich bessere Eigenschaften im Fall der mit Millimeterwellen gesinterten Proben als im Fall konventionell gesinteter Proben, wie auszugsweise die folgende Abbildung zeigt.



Verhältnis der Durchstimmbarkeit  $\tau$  zum dielektrischen Verlustwinkel  $\tan\delta$  (Figure of Merit: FoM) als Funktion der Temperatur für konventionell (CS) und mit Millimeterwellen gesinterte (MWS) BST-Dickschichten.

## Beteiligte Mitarbeiter

H.-R. Kunkel, Dr. G. Link, Fr. S. Miksch, K.-T. Schäfer, Dr. S. Takayama (Gastwissenschaftler), Prof. M. Thumm

# Programm NUKLEAR: Nukleare Sicherheitsforschung

## Reduzierung der Radiotoxizität

### Thermohydraulische und material-spezifische Untersuchungen zur Wärmeabfuhr von thermisch hochbelasteten Oberflächen mit Hilfe der Flüssigmetallkühlung

Flüssiges Blei und Blei-Wismut werden weltweit als geeignetes Spallationsmaterial und Kühlmittel für beschleunigergetriebene Transmutationsanlagen betrachtet. In solchen Anlagen soll langlebiger hochradioaktiver Abfall (Plutonium, minore Actiniden) aus existierenden Leistungsreaktoren in kurzlebige Radionuklide oder stabile Elemente umgewandelt werden, mit dem Ziel, die Radioaktivität, das Volumen und die Wärmemenge des in ein Endlager einzubringenden radioaktiven Abfalls entscheidend zu verringern.

Das mittelfristige Ziel des Institutsbeitrags besteht in der Entwicklung eines Korrosionsschutzes für Strukturwerkstoffe in Kontakt mit flüssigem Pb bzw. PbBi durch Oberflächenbehandlung mittels gepulster Elektronenstrahlen (GESA-Verfahren) und in der Konditionierung des Kühlmittels (Pb, PbBi) hinsichtlich der Sauerstoffaktivität, zur Ausbildung von oxidischen Korrosionsschutzschichten und damit zur Minimierung der Flüssigmetallkorrosion.

Die Ergebnisse im Berichtszeitraum lassen sich wie folgt zusammenfassen:

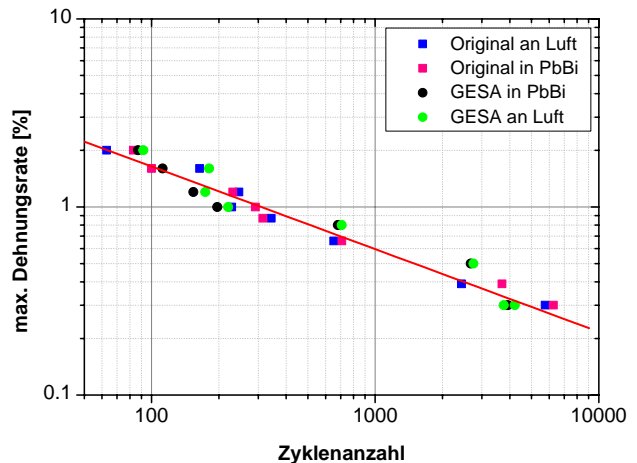
Im Rahmen des Kooperationsvertrages mit JNC, Japan, wurden die Korrosionsuntersuchungen in PbBi an Stählen und ihren Schweißnähten zur Bestimmung des Einflusses von Transienten der Temperatur und Sauerstoffaktivität abgeschlossen.

Es zeigte sich, dass bei zyklischer Änderung der Sauerstoffkonzentration um zwei Größenordnungen (von  $10^{-6}$  Gew. % auf  $10^{-8}$  Gew. %) bei einer konstanten Temperatur von 550 °C das Verhalten der Stähle stark von ihrer Zusammensetzung abhängt. Während die Oxidschichten auf dem mit 12 % Cr-Anteil etwas chromreicheren P122 Stahl, trotz zyklischer Erniedrigung der Sauerstoffaktivität, stabil bleiben, zeigt der T91-Stahl (10 % Cr-Anteil) einen ausgedehnten Lösungsangriff. Des Weiteren zeigt sich, dass Schweißnähte, trotz ihrer größeren Kornstruktur, ähnlich korrosionsbeständig sind wie das entsprechende Strukturmaterial. Proben, die an GESA mit Al oberflächenlegiert wurden, ließen weder einen Oxidations- noch einen Lösungsangriff erkennen.

Bei Auslagerungsversuchen zur Untersuchung des Einflusses von Temperaturtransienten bei konstantem Sauerstoffgehalt zeigte sich, dass bei zyklischen Temperaturwechseln (von 550 °C auf 650 °C) und einer Sauerstoffkonzentration von  $10^{-6}$  Gew. % bei T91-Stahl eine verstärkte Oxidationskorrosion eintritt. Aufgrund lokaler Defekte kommt es beim ODS Stahl zu partiellem Lösungsangriff. An der Oberfläche der mittels GESA Al-legierten Stähle wachsen schützende Al-Oxidschichten. Bei konstant niedrigem Sauerstoffgehalt von  $10^{-8}$  Gew. % und zyklischen Temperaturwechseln weisen alle Stahlproben (inklusive der mittels GESA-Verfahren behandelten Proben) einen großflächigen Lösungsangriff auf. Die Sauerstoffaktivität ist unter diesen Bedingungen zu gering, um schützende Oxidschichten auszubilden.

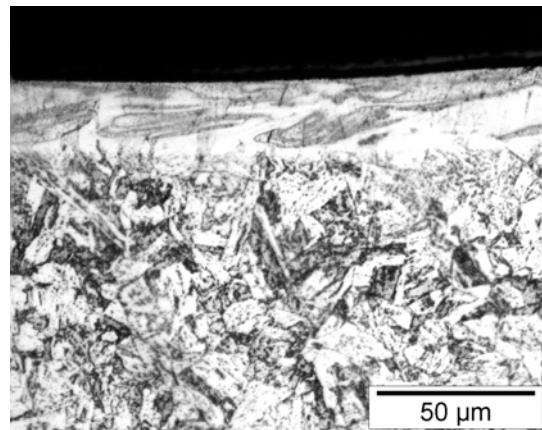
Die Langzeitauslagerungsversuche in den Pb/Bi-Kreisläufen des IPPE Obninsk mit FeCrAlY-beschichteten, GESA behandelten Hüllrohrproben aus austenitischem 1.4970 Stahl bei drei unterschiedlichen Temperaturen (500, 550, und 650 °C) wurden fortgesetzt. Selbst nach 5000 h Auslagerungszeit bei 600 °C war keinerlei Beeinflussung durch das Flüssigmetall erkennbar.

In Experimenten zur Niedrig-Lastwechsel-Ermüdung (in Pb/Bi und an Luft) an FeCrAlY-beschichteten und anschließend mit GESA behandelten Stahlproben konnte nachgewiesen werden, dass die mechanischen Eigenschaften der Stähle nach der Behandlung erhalten bleiben (s. folgende Abb.). Des Weiteren konnte belegt werden, dass das Flüssigmetall bei 550 °C keinen Einfluss auf die Plastoermüdung besitzt.



Niedrig-Lastwechsel-Ermüdung von T91-Stahl an Luft und in PbBi bei 550 °C, mit und ohne GESA-Behandlung.

Um die mechanischen Eigenschaften von GESA-behandelten FeCrAlY-Schichten auf T91 Stahl unter Neutronenbestrahlung zu ermitteln, wurden Zugversuchs-, und Wechselbiegeproben hergestellt und für Bestrahlungsversuche im französischen Phénix-Reaktor bereitgestellt. Die Untersuchung der Proben vor der Bestrahlung zeigte, dass die FeCrAlY-Schicht nach dem Umschmelzen geglättet, verdichtet und mit dem Grundwerkstoff legiert wird (s. Abb.). Durch das Einlegieren mischt sich der Grundwerkstoff mit der Schicht, was zu einer leichten Änderung der chemischen Zusammensetzung der Oberflächenschicht führt. Während die Eisenkonzentration leicht zunimmt, erniedrigt sich die Konzentration von Cr und Al (s. Tabelle 1 am Ende des Abschnitts).



Angeätzter Querschliff einer FeCrAlY-Schicht auf T91 Stahl nach der GESA-Behandlung.

Untersuchungen an der zylindrischen GESA IV-Anlage ergaben, dass, wegen der relativ hohen Strahldivergenz, die auf einem Hüllrohr mit 8,4 mm Durchmesser erreichbare Energiedichte weniger als 27 J/cm<sup>2</sup> beträgt. Zum Aufschmelzen der Oberfläche werden allerdings mindestens 35 J/cm<sup>2</sup> benötigt. Um die geforderte Energiedichte zu erreichen wurde der Pulsgenerator umgebaut mit dem Ziel, die Pulsdauer zu verlängern. Mit ersten Ergebnissen wird im nächsten Jahr gerechnet.

Element	Original FeCrAl [Gew. %]	Nach GESA-Behandlung [Gew. %]
Fe	78.1	81.6
Cr	14.3	12.8
Al	7.4	5.6

Tabella 1: Zusammensetzung der Oberflächenschicht vor und nach der GESA-Behandlung.

#### Beteiligte Mitarbeiter:

Fr. Dr. A. Heinzel, R. Huber, DI M. Kieser, **Dr. G. Müller**, Dr. G. Schuhmacher (Gastwissenschaftler), Dr. H. Muscher, A. Sivkovich, Dr. A. Weisenburger, DI (FH) F. Zimmermann

## Programm UMWELT: Nachhaltigkeit und Technik

### Verfahren der Hochleistungsimpulstechnik zur Regenerierung von Abwässern und zum Kohlenstoffmanagement

Die Behandlung biologischer Zellen mit starken gepulsten elektrischen Feldern kann zur irreversiblen Bildung großer Poren in der Zellmembran führen. Dieser in der Literatur mit Elektroporation bezeichnete Vorgang kann einerseits zur effektiven Gewinnung der Zellinhaltsstoffe, andererseits zur Abtötung von Mikroorganismen genutzt werden. Mittelfristige Ziele der Institutsarbeiten auf diesem Gebiet sind die umweltschonende Keimreduktion in Abwässern aus Kläranlagen und die effektive Gewinnung der Inhaltsstoffe biologischer Zellen für die Nahrungsmittelindustrie sowie die pharmazeutische und chemische Industrie. Daneben soll die elektroporationsunterstützte mechanische Entwässerung und Trocknung von Energiepflanzen für die weitere energetische Verwertung untersucht werden. Voraussetzung für die industrielle Nutzung der Elektroporation ist die Verfügbarkeit zuverlässiger und wirtschaftlicher Hochspannungsimpulsgeneratoren.

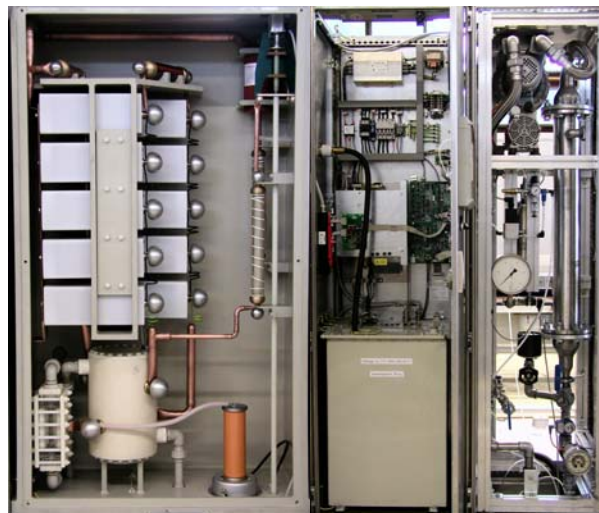
#### Keimabtötung

*Ein neues Verbundprojekt zur Entkeimung von Problemabwässern.* In den vergangenen Jahren wurden vermehrt Antibiotika resistente und human pathogene Keime in Klinikabwässern nachgewiesen. Zu deren Eliminierung fallen herkömmlich angewandte Methoden wie Chlorung oder Ozonisation wegen der Bildung toxischer Verbindungen mit der organischen Beifracht aus. Die Entkeimung mittels UV-Licht ist in trüben Abwässern nicht einsetzbar. Vor diesem Hintergrund wurde zum 1.8.2005 ein BMBF-gefördertes Verbundprojekt unter Beteiligung des Forschungszentrums (IHM, ITC-WGT), der Universitätsklinik Mainz und eines mittelständischen Anlagenbauers initiiert. Ziel dieses Projektes ist es, die Elektroimpulsbehandlung von Abwasser zur nachhaltigen Keimabtötung einzusetzen.

Im ersten Projektabschnitt wurde mit der Bestimmung der optimalen Impulsparameter zur Entkeimung mittels hoher gepulster elektrischer Felder, wie Impulsform, -dauer und -anzahl in Laborversuchen begonnen und die Nachhaltigkeit der Technik im Hinblick auf die Bildung von Keimen mit "Elektro-

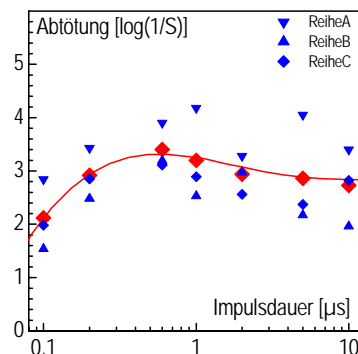
resistenz" und mutagenen Veränderungen nach Elektroimpulsbehandlung geprüft (Ergebnisse: s. unten).

Daneben wurde zusammen mit dem Industriepartner eine Pilotanlage zur Entkeimung aufgebaut (s. Abb.). Der Industriepartner plant als weitere Anwendung die Entkeimung von industriellen Prozesswässern.



Kettenleitergenerator 60 kV, 1kJ, 10 Hz.

*Modellhafte Bestimmung der Abtötungsraten an Laborbakterienstämmen in Abwässern.* Dafür wurde der Laborstamm *Pseudomonas putida* DSM 291 verwendet. Zur Optimierung der Elektroimpulsbehandlung wurden die physikalischen Parameter der Impulsbehandlung variiert. Der Energieeintrag pro Behandlung wurde durch die Anpassung der Impulszahl, immer konstant gehalten und lag bei unseren Untersuchungen bei etwa 120 J/ml. Es konnte gezeigt werden, dass die Inaktivierungsrate durch Elektroimpulsbehandlung von *P. putida* bei konstanten Feldstärken (40 kV/cm) von der Impulsdauer (0,1-10 µs) abhängig ist. In der folgenden Abbildung ist der über drei Versuchsreihen gemittelte Wert der Abtötungsrate in Abhängigkeit von der Impulsdauer dargestellt. Die maximale Inaktivierungsrate von 3,3 ± 0,7 log Stufen wird mit Impulsdauern von etwa 1 µs erreicht.



Mittelwerte der Abtötungsrate in Abhängigkeit von der Impulsdauer. Behandlungsfeldstärke und -energie waren konstant.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde für jede Impulsdauer die Feldstärke bis zur maximalen dynamischen Durchbruchfeldstärke der Suspension erhöht. Die Inaktivierungsraten waren in diesem Fall unabhängig von der Impulsdauer und erreichten ebenfalls den maximalen Wert von 3,4 ± 0,7 log Stufen. Der Energieeintrag wurde auch in diesen Versuchen durch Anpassung der Impulszahl konstant gehalten.

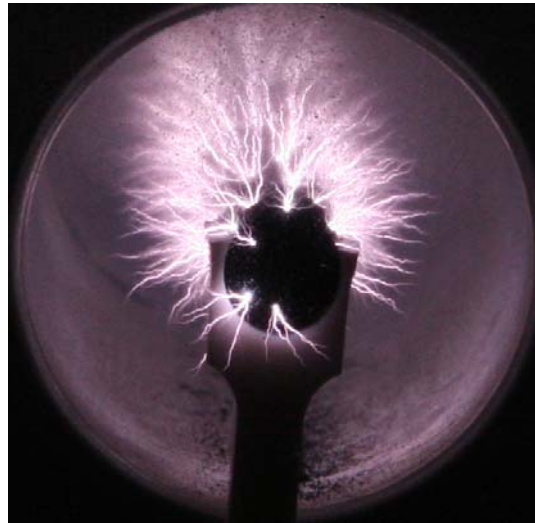
Zur Optimierung des Verfahrens wurde außerdem der Einfluss der Impulsform auf die Inaktivierung von *P. putida* untersucht. Das Ergebnis ist für die Entwicklung und Auslegung der Impuls-generatoren von großer Bedeutung. Der technische Aufwand und die Herstellungskosten eines Impuls-generators, für Rechteckimpulse sind höher als die für einen Impuls-generators, mit exponentiell abfallenden Impulsen. Zu diesem Zweck wurden die Ergebnisse der Inaktivierungs-raten mit Hilfe einer statistischen Relevanzanalyse ausgewertet. Vier Versuchsreihen mit jeweils 5 Proben wurden durchgeführt. Die Bestimmung der Inaktivierungsrate erfolgte durch dreireihiges Plattieren und mit Epifluoreszenz. Für die Elektroimpulsbehandlung wurden 10 Rechteckimpulse mit einer Feldstärke von 80 kV/cm und 600 ns Impulsdauer von einem Kabelimpuls-generators erzeugt. Die exponentiell abfallenden Impulse entstanden durch eine einfache Kondensatorentladung (3,3 nF und 13,36 nF). Es wurden Spitzenfeldstärken von 160 bzw. 80 kV/cm und Impuls-abklingzeiten von 300 bzw. 1200 ns angewendet. Der Energie-eintrag pro Behandlung betrug 70 J/ml. Die Verteilung der Inaktivierungs-raten zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Impulsformen. Die in der Literatur häufig vertretene Annahme, dass Rechteckimpulse bei gleichem Energieeinsatz eine um bis zu eine log-Stufe höhere Abtötungs-rate verglichen mit anderen Impulsformen erzielen, konnte damit nicht bestätigt werden.

*Untersuchungen zur Veränderung der Erbinformation durch Elektroimpulsbehandlung.* Hierfür wurde der Laborstamm *P. putida* durch wiederholte Behandlung mit Elektroimpulsen auf Veränderungen der Erbinformation untersucht. Nach jeder Behandlung wurden die überlebenden Bakterien auf Nährböden rekultiviert und in der folgenden Behandlung dem gleichen Impulsprotokoll ausgesetzt. Nach jeweils drei solchen Zyklen wurde die Inaktivierungsrate durch Plattieren auf Agarnährböden bestimmt und die Reinheit der Kultur überprüft. Insgesamt wurden 30 Generationszyklen aus zwei unterschiedlichen Zellreihen untersucht. Im Rahmen der statistischen Streuung blieb die Inaktivierung der Bakterien dabei konstant. Somit konnte die Ausbildung einer Elektro-resistenz bei Bakterien des untersuchten Typs über 30 Generationen ausgeschlossen werden. Auch die Suche nach mutagenen Veränderungen der Erbinformation, die mit Hilfe der gepulsten Feld-Gelelektrophorese an der Johannes-Gutenberg Universität Mainz durchgeführt wurde, verlief negativ.

*Unterwasserkoronaentladungen.* Der Einsatz von Unterwasserkoronaentladungen ist eine Möglichkeit zur Steigerung der Effizienz bei der Keimabtötung. Unterwasserkoronaentladungen sind durch hohe elektrische Feldstärken an der Streamerspitze, Druckimpulse, intensive UV-Strahlung und die Erzeugung von Oxidantien wie OH-Radikale,  $H_2O_2$ ,  $O_3$ , etc. gekennzeichnet. Es wird erwartet, dass die kombinatorische Wirkung dieser Effekte zu einer effizienteren Abtötung von Mikroorganismen führt.

Für die Entkeimung von Abwässern sind große Durchsätze erforderlich. Wir haben daher damit begonnen, einen skalierbaren Reaktor mit beschichteter Keramikanode zu untersuchen, in dem Streamerentladungen großvolumig erzeugt werden können (Abbildung).

Hauptziel der im Rahmen einer Doktorarbeit durchgeführten Untersuchungen ist die quantitative Bestimmung der spezifischen, auf die eingesetzte Energie bezogenen, Produktionsrate von Oxidantien. Hierfür werden selektive chemische Reagenzien eingesetzt. Wegen der hohen Reaktivität und der extrem kurzen Lebensdauer erwies sich insbesondere der selektive Nachweis der OH-Radikale als schwierig. Als geeignet hat sich schließlich das Bi-Natriumsalz der Terephtalsäure (NaTA) herausgestellt, das nach der Reaktion mit OH-Radikalen zu 2-Hydroxyterephtalsäure umgewandelt wird, welche eine intensive Fluoreszenz zeigt. Die Eichung des synthetisierten NaTA ist noch nicht abgeschlossen.



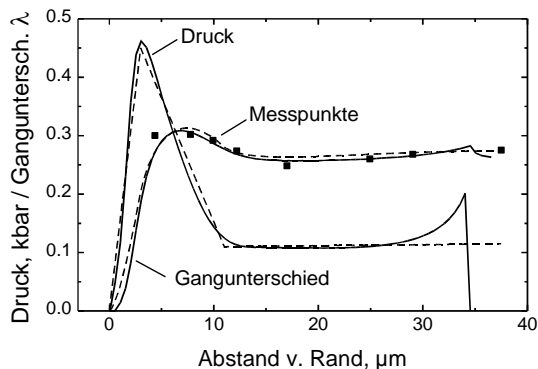
*Koaxialer Reaktor zur Erzeugung von Multi-Streamern. Die Anode besitzt eine ca. 300  $\mu\text{m}$  dicke poröse Keramikschicht.*

Zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften gepulster Koronaentladungen in Wasser wurden die Untersuchungen an einzelnen in Spitze-Platte-Geometrie ausgelösten Unterwasser-streamern fortgeführt. Durch Verwendung eines Reflexions-gitters (300 Striche/mm) konnte der nutzbare Wellenlängenbereich des 2D-abbildenden Spektrometers bis 250 nm in den UV-Bereich erweitert werden. Mit einer Streak-Kamera wurde die zeitliche Entwicklung des Emissionsspektrums bzw. der Durchmesser des Entladungskanals jeweils in der Nähe der Anodenspitze aufgezeichnet.

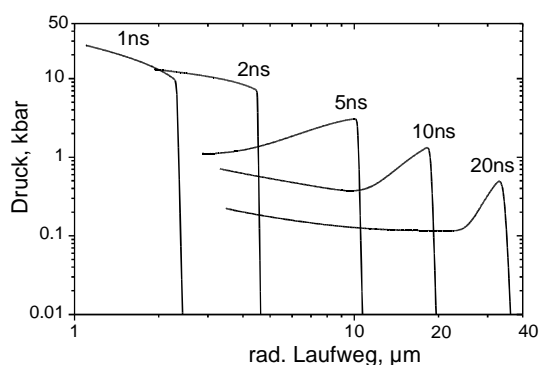
Durch die Erweiterung des Spektralbereichs konnten die OH-Banden bei 306 nm bzw. 282 nm beobachtet werden. Diese emittieren erst ab etwa 400 ns nach Beginn des Stromanstiegs und, ebenso wie die Linien des atomaren Wasserstoffs, nur während der Phasen, in denen Strom fließt. Die spektrale Intensitätsverteilung der Rotations-Banden bei 306 nm wird durch die Ionentemperatur, die bei 282 nm durch die Elektronentemperatur bestimmt. Da bei Koronaentladungen ein nicht-thermisches Plasma entsteht, setzt die Interpretation der Spektren die genaue Kenntnis der vorliegenden Spezies und deren Zustände voraus.

Zur Bestimmung des zeitlichen Druckverlaufs in den Entladungskanälen (Streamern) wurde von Mach-Zehnder-Interferogrammen ausgegangen. Diese zeigen eine 2D-Momentaufnahme (3ns Belichtungszeit) der optischen Gangunterschiede in der Umgebung des Streamers. Die Gangunterschiede rühren von der Änderung des Brechungsindex her, der durch die – im Idealfall zylindrische – Druckwelle verursacht wird, die vom expandierenden Streamer ausgeht. Da die Qualität der Messdaten nicht ausreicht, um mittels Abel-Inversion den radialen Verlauf des Brechungsindex zu bestimmen, wurde versucht, durch „Ausprobieren“ ein radiales Druckprofil zu finden, mit dem sich der gemessene Verlauf des Gangunterschieds reproduzieren lässt. Dies gelingt nach wenigen Iterationsschritten (vergl. die folgende Abb.).

Das so gewonnene Druckprofil ist die Momentaufnahme einer zylindrischen Druckwelle, die das Resultat aus zeitabhängiger Druckquelle im Streamer, druckabhängiger Ausbreitungsgeschwindigkeit und einem näherungsweise  $1/r$ -Abfall der Amplitude mit dem Abstand von der Quelle ist. Zur Simulation der Wellenausbreitung wurde ein 1D-Lagrange-Code in Zylinder- bzw. Kugelgeometrie erstellt, in dem der Druck  $p = p(\rho)$  mit Hilfe der Hugoniot-Koeffizienten als Funktion der Dichte dargestellt wird. Eingabegröße ist der Streamerradius als Funktion der Zeit.



Radiale Druckprofile und resultierender Ganguntersch. im Vergleich mit Messwerten. Gestrichelt: „Ausprobieren“, durchgehende Linien: Ergebnisse aus Hydrodynamik-Rechnung.



Zeitliche Entwicklung des radialen Druckprofils. Nach 20 ns stellt sich das in vorherigen Abbildung dargestellte Druckprofil ein, mit dem der gemessene Ganguntersch. reproduziert wird.

Die obige Abbildung zeigt Rechenergebnisse zur zeitlichen Entwicklung des radialen Druckprofils. Um nach 20 ns Laufzeit das dargestellte Profil zu erhalten, muss wegen des durch die Zylindergeometrie bedingten  $1/r$ -Abfalls im Streamer anfangs kurzzeitig (für 1-2 ns) ein Druck von fast 30 kbar wirken, der innerhalb der 20 ns exponentiell auf etwa 200 bar abfällt. Die Ursache der kurzen, intensiven Druckpulse ist unklar. Möglicherweise werden diese durch transversale elektrische Kräfte im Feldgradienten nahe der Streamerspitze ausgelöst.

### Zellaufschluss

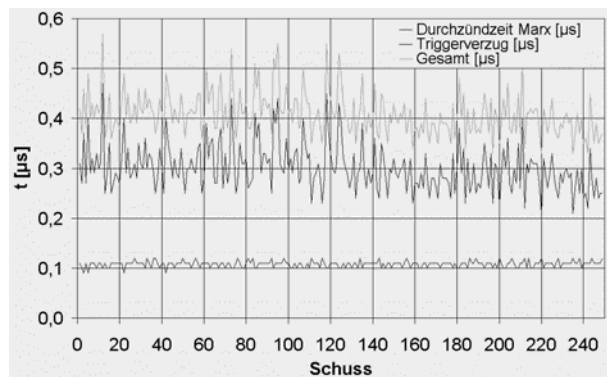
Ziel dieser Arbeiten ist die Erhöhung der Ausbeute an Nähr- und Rohstoffen aus pflanzlichen Zellen mit Hilfe gepulster elektrischer Felder. Um die in einer biologischen Zelle akkumulierten Rohstoffe oder Nahrungsmittel gewinnen zu können, muss die Zellmembran und meist auch noch die Membran von Organellen, die im Inneren der Zelle als Speicher dienen, geöffnet werden. Dies kann effektiv mit Hilfe starker gepulster elektrischer Felder durch Elektroporation erfolgen.

Planungen zum Funktionsmuster II zur Elektroporation von Zuckerrüben: Seit 2002 ist auf dem Gelände unseres Kooperationspartners SÜDZUCKER AG eine Anlage zur Elektroporation von Zuckerrüben im Tonnenmaßstab erfolgreich im Versuchsbetrieb. Aufbauend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen wird nun eine größere Anlage geplant, die einen Teilstrom der Fabrik kontinuierlich bearbeiten soll.

Um Erfahrungen mit dem Langzeitbetriebsverhalten eines Marx-Generators zu gewinnen, wurde in diesem Jahr ein Teststand für den Langzeittest eines Marx-Generators in Betrieb genommen. Dabei diente eine erste Messkampagne der

Erprobung der neuartigen Überspannungstriggerung. Im Rahmen dieser Erprobung konnten einige Verbesserungsmöglichkeiten an der Trigger-Elektronik erkannt und implementiert werden.

Für einen synchronen Betrieb mehrerer Marx-Generatoren, wie er für die neue Anlage erforderlich wird, ist eine geringe Streuung der Durchschaltzeit des Marx-Generators entscheidend. Angestrebt wurde ein Jitter von 200 ns. Nach einigen Optimierungsarbeiten im Bereich der Funkenstrecken konnte mit einer Vorionisation der 1. Funkenstrecke ein Jitter von unter 100 ns erreicht werden. Die folgende Abbildung zeigt an der Anlage gemessene Durchschaltzeiten, getrennt nach Schaltzeit des Triggers, Durchbruchzeit des Marxgenerators und gesamter Schaltzeit.



Schaltzeiten von Trigger und Marx-Generator bei Vorionisation der ersten Funkenstrecke. (obere Kurve: Gesamtdurchzündzeit; mittlere Kurve: Triggerverzug; untere Kurve: Durchzündzeit des Marx alleine)

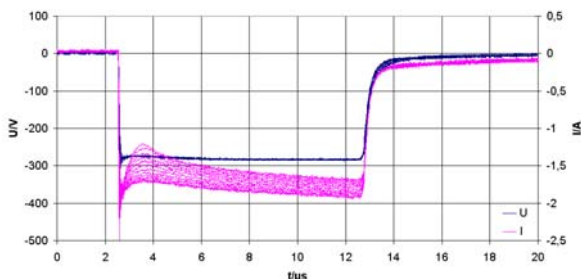
Eine weitere Untersuchung widmete sich einer ersten Abschätzung des Funkenstreckenabbrandes. Hierzu wurde der Gewichtsverlust der Funkenstrecken nach 500.000 Schuss ermittelt. Exemplarische Werte zeigt Tabelle 2. Unter den in der Tabelle genannten Bedingungen nimmt der Funkenstreckenabstand hochgerechnet um ca. 1,7 mm pro Kampagne (200 Mio. Schuss) zu. Dieser Wert kann durch eine Druckänderung im Funkenstreckenturm oder durch eine Elektrodennachführung beherrscht werden, auch wenn beim Betrieb mit höherem Strom ein erhöhter Abbrand zu erwarten ist.

Funkenstrecke Nr.:	Abbrand während 500 000 Schuss	Abbrand pro Schuss
1	0,080 g	160 ng
3	0,084 g	168 ng
5	0,080 g	160 ng
7	0,093 g	186 ng

Tabelle 2: Elektrodenabbrand nach 0,5 Millionen Schuss (aperiodisch gedämpfter Kurvenverlauf:  $\dot{I}=4.5$  kA,  $t_n=1.4$  μs, Lastintegral: 20.4 A<sup>2</sup>s, Ladung pro Puls: 49 mC).

Für Untersuchungen zum energieoptimalen Aufschluss pflanzlicher Zellen wurde ein Versuchsaufbau zur Bepulung scheibenförmiger Probestücke mit Rechteckimpulsen erstellt. Die Aufschlussgradmessung erfolgt dabei einerseits mittels einer Impedanzmessung und einer neuartigen Phasenwinkel-messung, andererseits können dem Pulsstromverlauf Informationen über die Aufladung der Membrankapazität und die anschließende Porenbildung entnommen werden. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch Spannungs- und Stromverläufe

mehrerer Pulse während eines Versuchsdurchlaufs. Deutlich ist bei den ersten Pulsen die Aufladung der Membrankapazität mit anschließender Stromzunahme infolge der Porenbildung zu erkennen. Bei fortschreitendem Zellöffnungsgrad nähert sich der Stromverlauf mehr und mehr dem rechteckförmigen Spannungsverlauf an.



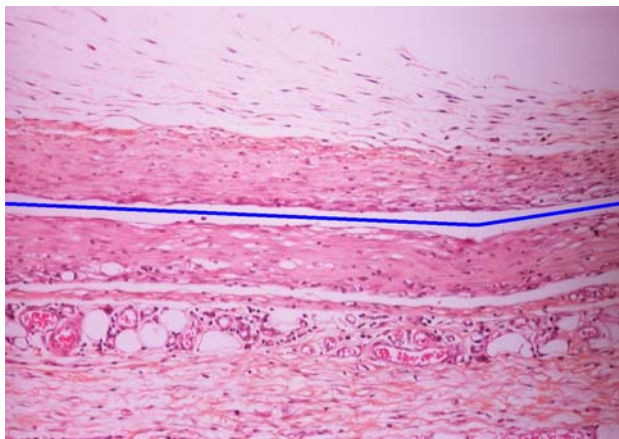
*Spannungs- und Stromverlauf bei der Elektroporation einer Rübenprobe mit Rechteckpulsen.*

Mit den mobilen Elektroporationsanlagen KEA-Mobil und KEA-Wein wurden auch im vergangenen Berichtszeitraum zusammen mit dem Industriepartner Lutz&Kern mehrere Versuchskampagnen zur Elektroimpulsbehandlung von Obstmaischen und Gemüse für die erhöhte Extraktion von Säften durchgeführt. U.a. wurden Karotten mit dem Ziel behandelt, die Karotinausbeute zu erhöhen und die Blanchierenergie einzusparen. Blanchierte Karotten führten nach der Elektroimpulsbehandlung zu einer um 15% erhöhten Karotinausbeute.

#### **Beschichtung von medizinischen Implantaten mit bioaktiven Oberflächen**

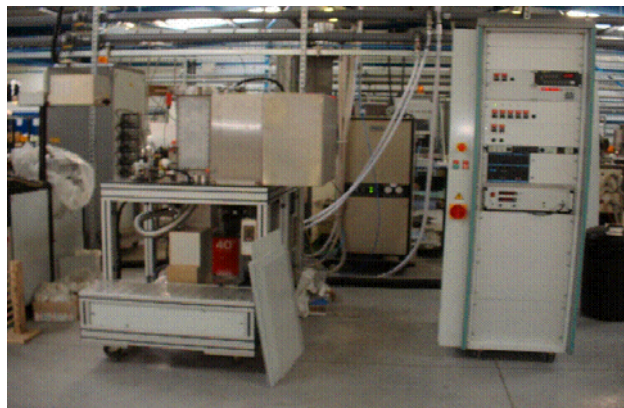
Das EU-Projekt InCoMed (Innovative Coating of Temperature Sensitive Medical Implants with Biofunctional Materials) wurde im Mai dieses Jahres abgeschlossen. Ziel dieses Projekts war es die Gewebsanbindung von Implantaten und insbesondere von flexiblen, hitzeempfindlichen subkutanen Durchführungen durch Beschichtung mit bioaktiven Glasschichten mit Hilfe der Elektronenstrahlablation (ELBA-Verfahren) zu verbessern.

Als letztes Arbeitspaket wurden im Frühjahr Proben aus TiAlV und PDMS beidseitig mit bioaktiven Gläsern beschichtet und anschließend für in vivo Tests beim Kooperationspartner BIOMATECH in Versuchsratten implantiert. Insgesamt wurden 6 Ratten mit je einer beschichteten TiAlV- bzw. PDMS-Probe und den entsprechenden unbeschichteten Referenzproben versehen. Die Ratten wurden nach 14 bzw. 28 Tagen getötet und die Proben zur weiteren Untersuchung entnommen.



*Ein histologisches Präparat ohne Implantat. Die Lage des Implantats entspricht der in der Mitte befindlichen blauen Linie.*

Neben den abschließenden Tierversuchen wurde in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner TEER Coatings, England, der Prototyp einer industriellen Beschichtungsanlage aufgebaut und in Betrieb genommen. Das EU-Projekt konnte daher sowohl auf der biologisch-medizinischen als auch auf der Anlagenseite erfolgreich beendet werden. Vor einem klinischen Einsatz sind jedoch erhebliche weitere Tests erforderlich.

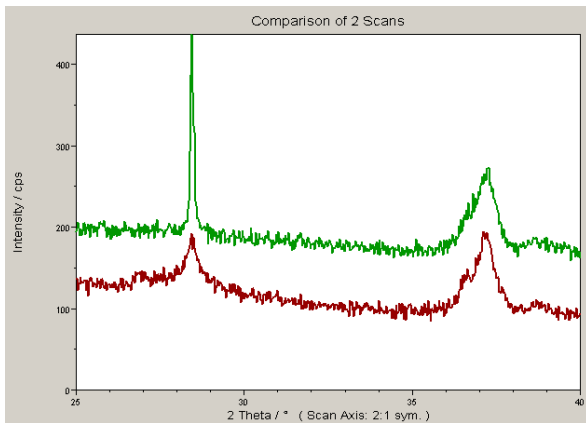


*Die ELBA-Beschichtungsanlage von TEER, links Pumpstand und Vakuumkammer, rechts die Steuer- und Hochspannungselektronik.*

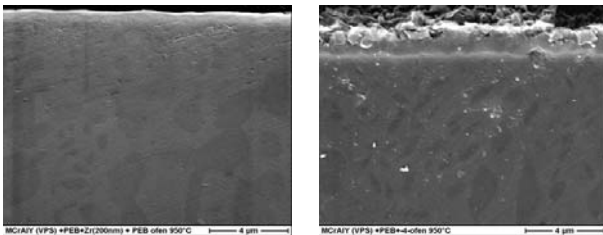
#### **Verbesserung der Eigenschaften von Werkstoffoberflächen mit GESA inklusive Arbeiten zu ASTERIXE**

Für moderne Dünnschichtsolarzellen auf Siliziumbasis werden dünne Si-Schichten amorph abgeschieden. Diese müssen kristallisiert werden, um eine hohe Effizienz der Gesamtzelle zu erreichen. Erste Behandlungen mit dem gepulsten Elektronenstrahl der GESA zeigen dass dies gelingen kann. Deutlich ist der 111 Reflex des kristallinen Siliziums im Röntgenspektrum der mittels GESA behandelten geschmolzenen Probe zu erkennen (s. Abb.). Eine homogene gleichmäßige Umschmelzung ist jedoch mit den momentan möglichen Elektronenenergien von 70 keV nicht realisierbar. Erste Auslegungsrechnungen ergeben, dass für eine optimierte Kristallisation ein stabiler Elektronenstrahl von ca. 40 keV von Vorteile wäre.

Im Rahmen des im Januar 2004 gestarteten EU-Projektes ASTERIXE wurden unterschiedliche dort definierte Aufgaben ausgeführt. Ein Schwerpunkt der Arbeiten war die Weiterentwicklung von sogenannten Bondcoats (MCrAlY - Schichten) auf Turbinenschaufeln. Hierbei wurde der Ansatz verfolgt durch Einlegieren von Ti und Zr, die zuvor mit Magnetronsputtern auf der Oberfläche abgeschieden wurden, das Oxidationsverhalten des MCrAlY zu verbessern. Erste Experimente zeigen, dass sich Ti in größeren Mengen problemlos einlegieren lässt, Zr jedoch schon ab einem Anteil von 1 Gew. % zur Rissbildung führt. Durch Reduzierung der abgeschiedenen Schichtdicke auf < 300 nm gelingt es rissfreie Zr-haltige Oberflächen herzustellen. Erste Experimente mit solchen Schichten zeigen eine deutliche Reduktion des Oxidwachstums im Vergleich mit unlegierten Schichten, wobei der Effekt von Zr deutlich stärker zu sein scheint als von Ti (s. Abb.). Ob damit auch eine Verbesserung der Haftfestigkeit von Wärmedämmschichten einhergeht wird noch eingehend untersucht.



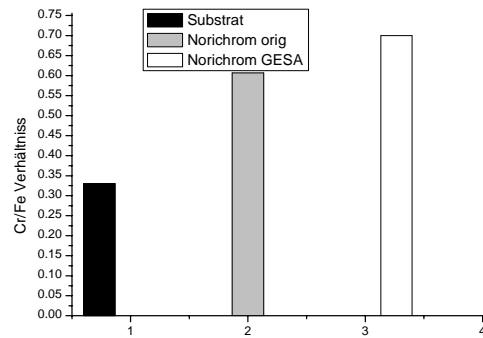
Röntgenspektrum von Si-Schichten vor (untere Kurve) und nach (obere Kurve) der Oberflächenmodifikation mit GESA.



Mit Zr und GESA Umschmelzung nur GESA Umschmelzung

Querschliff von MCrAlY Proben nach einer Oxidation von 200h bei 950 °C.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten lag in der Oberflächenlegierungsbildung. Wolfram wurde in Ti-Legierungen oberflächlich einlegiert und die so erhaltenen Proben werden auf Ihre Verschleißfestigkeit hin bei einem Projektpartner untersucht. Als weitere Option wird untersucht inwieweit sich solche oberflächenlegierten Schichten als Unterlage für zusätzliche Wolframschichten eignen. Als Idee steht dahinter die Anpassung der Oberflächenenergien des Basismaterials und der Beschichtung. Erste Experimente jedoch zeigen eine Reduktion der Haftfestigkeit nachträglich abgeschiedener Wolframschichten. Sehr wahrscheinlich sind die durch die GESA-Umschmelzung eingebrachten Zugeigenspannungen in der oberflächenlegierten Schicht und die aus der nachfolgenden Beschichtung resultierenden Druckeigenspannungen der Wolframschicht die Hauptursache für diese reduzierte Haftfestigkeit. Inwieweit eine Wärmebehandlung der umgeschmolzenen Oberflächenschicht diese Eigenspannungen reduzieren kann, soll zukünftig untersucht werden. Eine weitere vielversprechende Anwendung sind Noricromschichten auf Duplex-Stahl. Es gelang, die mittels gepulster Elektronenstrahlverdampfung (EBPVD) abgeschiedenen Schichten durch Umschmelzung mit dem GESA-Elektronenstrahl an die Oberfläche anzubinden und zu verdichten. Nach der GESA Behandlung lag das Chrom-Eisen Verhältnis bei über 65 % was ein Indikator für die noch vorhandene Noricromschicht ist (s. Abb.). Erste Untersuchungen hinsichtlich Abriebfestigkeit zeigen bereits bei nur abgeschiedenen Schichten gute Eigenschaften. Diese Untersuchungen und hinzukommende Korrosionstests werden Anfang nächstes Jahr an mit GESA umgeschmolzenen Noricromschichten von einem Industriepartner durchgeführt werden.



Cr/Fe Verhältnis nach der GESA Umschmelzung einer Noricromschicht auf Duplexstahl.

Aufgrund von Untersuchungen zur Härtesteigerung von Zahnrädern nach einer GESA 2 Umschmelzung im vergangenen Jahr und dem Problem reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wurde die Strahlhomogenität und die Reproduzierbarkeit mittels Röntgendiagnostik untersucht. Es zeigte sich das in erster Linie die Synchronisation der Kondensatorentladung mit den Magnetfeldspulen für diese mangelnde Wiederholbarkeit verantwortlich war. Zusätzliche Streak- und Framingaufnahmen zeigten, dass die GESA 2 in Ihrer aktuellen Konfiguration einen deutlich homogenen Strahl aufweist als GESA 1.

## Industrielle Mikrowellentechnik

### Prozessierung von Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK)

Die technologische Weiterentwicklung der innovativen 2.45 GHz HEPHAISTOS-Technologie (High Electromagnetic Power Heating Autoclaveless Injected Structures Oven System) konnte durch die Entwicklung eines weiteren Satzes von homogen abstrahlenden Wellenleitern, die statt wie bislang nur vertikal polarisiert auch in horizontaler Richtung polarisiert abstrahlen, realisiert werden. Dabei wird eine sehr homogene Raumabstrahlung bei fast reflexionsfreier Anpassung der transmittierten Leistung an den Applikator und seine Last erhalten.

Am Mikrowellensystem HEPHAISTOS-CA1 wurden mit der EADS, Ottobrunn weitere Arbeiten an einem Material- und Probenprogramm durchgeführt. Dabei konnten durch die Verwendung thermoelektrischer Folien auch metallische GLARE Laminare erfolgreich prozessiert werden. Untersuchungen der EADS zeigten gute Materialqualität.

Durch Beimischung von im IMF3 hergestellten Nanopulvern auf Ferritbasis (mit magnetischem Moment) in kommerzielle Harzsysteme konnte eine Veränderung des Ankopplungsverhaltens sowie der Temperaturverteilungen während des Vernetzens und Aushärtens im Polymer unter Mikrowellenbeaufschlagung nachgewiesen werden. Weiterhin konnte mit Grundlagenexperimenten gezeigt werden, dass Fehlstellen und Materialinhomogenitäten von CFK-Strukturen durch dielektrische Messvorgänge quantitativ ermittelt werden können. Dieses eröffnet die Möglichkeit, technische CFK-Strukturen durch die Entwicklung einer Non-Destructive-Testing (NDT) Methode zu qualifizieren.

Ebenfalls wurden rheologische Untersuchungen für Temperierungs- und Infiltrationszwecke an ausgewählten Harzsystemen vorgenommen. Dazu wurde ein prototypischer Mikrowelleninjektor (FZK-patentiert) für Grundlagenuntersuchungen im Rahmen einer Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit der

EADS gebaut und getestet. Die Untersuchungen zeigten keine nachteiligen Wirkungen auf die Harz- oder Polymerisierungseigenschaften. Ein nach einem neuen Wirkungsprinzip entwickelter Harzinjektor für die autoklavfreie Harztemperierung und -injektion in CFK-Verbundstrukturen wurde aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Eine Erfindungsmeldung wurde erstellt.

Ein weiteres HEPHAISTOS-System CA1P für Verbundwerkstofffertigung und Polymerchemie, sowie auch weitere Autoklaveinsatzsysteme basierend auf dem HEPHAISTOS-Konzept sind fertig ausgearbeitet und im Auftrag an die Fa.Vötsch für die Fertigung freigegeben. Die Anlage wird im Februar 2006 zur Verfügung stehen und im März 2006 auf der JEC in Paris ausgestellt werden.

**Technologie Transfer Projekt: HEPHAISTOS-Serie**

Das System HEPHAISTOS-CA2 wurde erfolgreich fertiggestellt und in Betrieb genommen. Sämtliche Mikrowellenkomponenten wurden im IHM entwickelt und gebaut und zeigen einzeln und im Zusammenspiel sehr gute Ergebnisse. Auf üblicherweise erforderliche Standard-Mikrowellenkomponenten wie Isolatoren bzw. Zirkulatoren konnte durch hochoptimierte neuartige Wellenleiterantennen-Einkopplung verzichtet und eine erhebliche Kostenseinsparung der Anlagenkosten, sowie eine Erhöhung der Energieeffizienz und –produktivität gewonnen werden.

Im HEPHAISTOS-CA2 konnten mit Erfolg 3D-Strukturen der Fa. Eurocopter ausgehärtet werden. Verschiedene große Teile in Prepreg (CFK, sowie GFK) wurden ebenfalls erfolgreich prozessiert. Detaillierte Materialtests werden in 2006 durchgeführt werden können. Das soweit fertiggestellte HEPHAISTOS-CA2 Großsystem wird Anfang des Jahres 2006 zum Institut für Flugzeugbau IFB (Uni Stuttgart) überstellt und dort betrieben werden. Ein weiterführendes Ziel ist dann die Integration des Systems in eine neue ganzheitliche Fertigungsstrasse (IFB Faserverbund Technikum) zur Demonstration.

Das BMBF-Projekt „Innovative, modulare Mikrowellentechnik zur Aushärtung von Faserverbundstrukturen“ wurde vom BMBF genehmigt. Der Projektstart wird nach letzter Auskunft des Projektträgers mit Eingang des Zuwendungsbescheides voraussichtlich im Juli 2006 erfolgen.

Mit der Fa. Dieffenbacher, Eppingen, wird auf Auftragsbasis eine 927 MHz Mikrowellenanlage für Holzlaminiierung in Neuseeland optimiert. Es besteht in Folge sehr großes Interesse am Austesten und Übernehmen der HEPHAISTOS-Technologie als Nachfolgetechnologie der bestehenden Anlagenkonzepte. Weiterführende Aktivitäten gemeinsam mit der Fa. Dieffenbacher sind Anfang 2006 geplant.



HEPHAISTOS-CA2-Mikrowellenanlage.

**Management von Baustoffen und Bauwerken**

*1. Bearbeitung von Materialproben*

An der Anlage FRANKA-0 wurden die grundlegenden Experimente zur Fragmentierung und zum Aufschluss der unterschiedlichsten Materialien (Gesteinsproben, Mineralien, Schlacken, Verbrennungsrückstände, Verbundwerkstoffe etc.) in Kooperation mit den jeweiligen Industriepartnern fortgesetzt. Unter dem Aspekt einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Nutzung vorhandener Rohstoffe wurden die wesentlichen elektrischen Parameter der Hochspannungsentladung und die Geometrie des Reaktionsraums optimiert. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde von der schweizer Firma Ammann die industrielle Laboranlage 'LAURA' konzipiert, gebaut und erfolgreich in Betrieb genommen (Abbildung).



Die industrielle Laboranlage LAURA der Firma Ammann, Langenthal.

*2. Baustoffrecycling und Abreinigung*

Mit den folgenden, allgemeinen Zielsetzungen wurden in 2005 die experimentellen Arbeiten zur Aufarbeitung von Betonbruch an der in 2004 aufgebauten und in Betrieb genommenen Anlage FRANKA-5 fortgesetzt. Dabei stand beim Recycling des nicht kontaminierten Verbundwerkstoffs Beton der Aspekt der Schonung der natürlichen Ressourcen und der CO<sub>2</sub> Einsparung sowie dessen möglichst sortenreine Trennung in die Zuschlagstoffe Sand/Kies und den Zementstein im Vordergrund. Bei der Behandlung von kontaminiertem Beton ist die Anreicherung der Schadstoffe im Zementstein bzw. die Abreinigung der Zuschlagstoffe von Bedeutung, weil dadurch eine Reduktion der Deponekosten bzw. die Vermarktung der abgereinigten Zuschlagstoffe ermöglicht wird.

An der Anlage FRANKA-5 wurden mit verschiedenen Parametersätzen abzureinigender Betonbruch in Mengen von jeweils etwa 40kg mittels einer Unterwasser-Vibrosiebrinne durch insgesamt 5 Arbeitsfunkenstrecken, die entsprechend 'schwache' Pulse erzeugten, behandelt. Die Ergebnisse bezüglich der Abreinigung des Betonbruchs bestätigen die Richtigkeit des neuen Konzepts: durch die schwachen Entladungen wird der Zementstein von der Oberfläche der Zuschlagstoffe abgetragen



wobei diese selbst weitgehend unbeschädigt bleiben. Dadurch lässt sich die erforderliche Qualität des gewonnenen Zementsteins erreichen, da der Beitrag von mineralischen Komponenten in der Feinstfraktion infolge der Fragmentierung der Zuschlagstoffe entscheidend reduziert werden konnte. Analog hierzu konnte der Qualitätsstandard der abgereinigten Zuschlagstoffe entsprechend verbessert werden. Demnach ist gemäß den industriellen Anforderungen die Abreinigung von Betonbruch hinsichtlich der Qualität der Produkte erreichbar. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wird jedoch stark von den durch den Verschleiß bedingten Anlagenwartungskosten beeinträchtigt. Deshalb sind weitere Experimente bezüglich des Elektrodenabbrandes erforderlich, mit deren Hilfe die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bei geplanten Massendurchsätzen bis zu 10t/h untersucht werden kann.

Da die Vertragsverhandlungen zum Betonrecycling zwischen den beteiligten Industrieunternehmen im Jahr 2005 noch nicht abgeschlossen werden konnten, wurden die experimentellen Arbeiten zur Untersuchung des Aufmahls von Gangquarz intensiviert und die FRANKA-0 Anlage entsprechend den speziellen Anforderungen modifiziert. Mittels des durchgeführten umfangreichen Versuchsprogramms konnte nachgewiesen werden, dass sich für den untersuchten Gangquarz sowohl hinsichtlich der geforderten Kornverteilung als auch des erzielten Massendurchsatzes die vorgegebenen Ziele erreichen lassen. Allerdings kann für dieses Aufmahlen nicht der für die Betonabreinigung vorgesehene Anlagentyp verwendet werden. Nachdem die bei der Quarzaufbereitung beteiligten Industrieunternehmen gegen Ende 2005 zu einem Vertragsabschluss gekommen sind, sollen die erwarteten Vorteile des elektrodynamisch fragmentierten Gangquarzes hinsichtlich der nachfolgenden verfahrenstechnischen Aufbereitung in 2006 verifiziert werden.

### *3. Abtragen und Bohren*

Zwischen den beim elektrodynamischen Abtragen und Bohren beteiligten Industriepartnern konnte erst gegen Ende 2005 weitgehende Übereinkunft in den Vertragsverhandlungen erzielt werden. Machbarkeitsstudien verbunden mit Experimenten an der FRANKA-xyz mit dem Ziel einer Steigerung der Abtragraten sind für das kommende Jahr geplant.

### *4. Dauertests*

Bei den Studien zur Wirtschaftlichkeit von elektrodynamischen Fragmentierungsanlagen hat sich die Lebensdauer der Hochspannungskomponenten, die Erosion der Funkenstrecken des Marxgenerators und der Verschleiß der Arbeitsfunkenstrecken als sehr wesentlich herausgestellt. Gegenwärtig werden die bisher vorliegenden Resultate aus den durchgeführten Abbrandversuchen mit den aus der Literatur bekannten Ergebnissen verglichen, mit dem Ziel, Skalierungsgesetze abzuleiten.

### **Beteiligte Mitarbeiter:**

Dr. J. Akhtar, DP W. An, Dr. K. Baumung, **Prof. Dr. H. Bluhm**, DP P. Brenner, H. Brüsemeister, DI L. Buth, Dr. V. Engelko (Gastwissenschaftler), **Dr. L. Feher**, Dr. W. Frey, DA M. Funke, DP H. Giese, MSc. S. Gupta, Dr. C. Gusbeth, **Dr. P. Hoppé**, DI F. Lang, K. Leber, E. Menesklou, Dr. **G. Müller**, Dr. H. Muscher, V. Nuss, K. Paulus, Dr. M. Sack, KD. Schorb, T. Seitz, DI J. Singer, DI S. Stanculovic, R. Stängle, DI R. Sträßner, Dr. A. Weisenburger, A. Wolf, R. Wüstner, H. Zimmermann

## Publikationsliste

### Programm FUSION: Kernfusion

#### Buchbeitrag

Lee, Y.J.; Schneider, R.; Munz, C.D.; Kemm, F.  
Hyperbolic GLM scheme for elliptic constraints in computational electromagnetic and MHD.  
Warnecke, G. [Hrsg.]  
Analysis and Numerics for Conservation Laws  
Berlin [u.a.]: Springer, 2005 S.385-404

#### Publikationen in begutachteten Zeitschriften:

Bandura, A.N.; Chebotarev, V.V.; Garkusha, I.E.; Makhlay, V.A.; Marchenko, A.K.; Solyakov, D.G.; Tereshin, V.L.; Trubchaninov, S.A.; Tsarenko, A.V.; Landman, I.  
Application of quasi-steady-state plasma streams for simulation of ITER transient heat loads.  
Czechoslovak Journal of Physics, 54(2004) Part 1-3, Suppl. C, S.53-56

Bazylev, B.N.; Janeschitz, G.; Landman, I.S.; Pestchanyi, S.E.  
Erosion of macrobrush tungsten armor after multiple intense transient events in ITER.  
Fusion Engineering and Design, 75-79(2005) S.407-11  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.141

Bazylev, B.N.; Janeschitz, G.; Landman, I.S.; Pestchanyi, S.E.  
Erosion of tungsten armor after multiple intense transient events in ITER.  
Journal of Nuclear Materials, 337-339(2005) S.766-70  
DOI:10.1016/j.jnucmat.2004.10.070

Bazylev, B.N.; Landman, I.S.; Pestchanyi, S.E.  
Erosion of ITER divertor armour and contamination of SOL after transient events by erosion products.  
Problems of Atomic Science and Technology: Series: Plasma Physics, (2005) Nr. 1, S.49-53

Borie, E.  
Lamb shift in muonic hydrogen.  
Physical Review A, 71(2005) S.032508/1-8  
DOI:10.1103/PhysRevA.71.032508

Borie, E.  
Lamb shift of muonic deuterium.  
Physical Review A, 72(2005) S.052511/1-7  
DOI:10.1103/PhysRevA.72.052511

Braune, H.; Brand, P.; Krampitz, R.; Leonhardt, W.; Mellein, D.; Michel, G.; Müller, G.; Sachtleben, J.; Winkler, M.; W7-X ECRH Teams at IPP, IPF and FZK  
HV-system for CW-gyrotrons at W7-X and the relevance for ITER.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.56-65  
DOI:10.1088/1742-6596/25/008

Cirant, S.; Berrino, J.; Gandini, F.; Granucci, G.; Iannone, F.; Lazzaro, E.; D'Antona, G.; Farina, D.; Koppenburg, K.; Nowak, S.; Ramponi, G.  
Crucial issues of multi-beam feed-back control with ECH/ECCD in fusion plasmas.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.223-33  
DOI:10.1088/1742-6596/25/1/027

Dammertz, G.; Alberti, S.; Bariou, D.; Brand, P.; Braune, H.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Giguët, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Kasperek, W.; Laqua, H.P.; Lievin, C.; Leonhardt, W.; Michel, G.; Müller, G.; Neffe, G.; Piosczyk, B.; Schmid, M.; Thumm, M.

140-GHz high-power gyrotron development for the stellarator W7-X.

Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.217-21  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.067

Dammertz, G.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Borie, E.; Brand, P.; Braune, H.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Giguët, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Jin, J.; Kasperek, W.; Koppenburg, K.; Laqua, H.P.; Legrand, F.; Leonhardt, W.; Lievin, C.; Magne, R.; Michel, G.; Müller, G.; Neffe, G.; Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.; Schmid, M.; Thumm, M.; Minhquang, T.; Yang, X.  
Development of multimegawatt gyrotrons for fusion plasma heating and current drive.  
IEEE Transactions on Electron Devices, 52(2005) S.808-17  
DOI:10.1109/TED.2005.845859

Elzendoorn, B.S.Q.; van Asselen, M.P.A.; Bongers, W.A.; Genuit, J.W.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plomp, T.C.; Ronden, D.M.S.; Verhoeven, A.G.A.  
Development of a full scale ECRH mm-wave launching system mock-up for ITER.  
Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.449-54  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.167

Federici, G.; Zhitlukhin, A.; Arkhipov, N.; Giniyatulin, R.; Klimov, N.; Landman, I.; Podkovyrov, V.; Safronov, V.; Loarte, A.; Merola, M.  
Effects of ELMs and disruptions on ITER divertor armour materials.  
Journal of Nuclear Materials, 337-339(2005) S.684-90  
DOI:10.1016/j.jnucmat.2004.10.149

Garkusha, I.E.; Bandura, A.N.; Byrka, O.V.; Chebotarev, V.V.; Landman, I.S.; Makhlay, V.A.; Marchenko, A.K.; Solyakov, D.G.; Tereshin, V.I.; Trubchaninov, S.A.; Tsarenko, A.V.  
Tungsten erosion under plasma heat loads typical for ITER type I ELMs and disruptions.  
Journal of Nuclear Materials, 337-339(2005) S.707-11  
DOI:10.1016/j.jnucmat.2004.10.008

Grisola, C.; Bekris, M.; Likonen, J.; Coad, P.; Semerok, A.; Brennan, D.; Piazza, G.; Rosanvallon, S.; JET-EFDA Contributors  
JET contributions to the ITER fuel cycle issues.  
Fusion Engineering and Design, 75-79(2005) S.679-83  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.035

Hogge, J.P.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Benin, P.; Bonicelli, T.; Bruschi, A.; Chavan, R.; Cirant, S.; Dumbrajs, O.; Fasel, D.; Gandini, F.; Giguët, E.; Goodman, T.; Heidinger, R.; Henderson, M.; Illy, S.; Jin, J.; Lievin, C.; Magne, R.; Marmillod, P.; Mondino, P.L.; Perez, A.; Piosczyk, B.; Porte, L.; Rzesnicki, T.; Santinelli, M.; Thumm, M.; Tran, M.Q.; Yovchev, I.  
Development of a 2-MW, CW coaxial gyrotron at 170 GHz and test facility for ITER.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.33-44  
DOI:10.1088/1742-6596/25/1/005

Kasperek, W.; Brand, P.; Braune, H.; Dammertz, G.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Hollmann, F.; Grünert, M.; Kumric, H.; Jonitz, L.; Laqua, H.P.; Leonhardt, W.; Michel, G.; Noke, F.; Plaum, B.; Purps, F.; Schmid, M.; Schulz, T.; Schwörer, K.; Thumm, M.; Weissgerber, M.  
Status of the 140 GHz, 10 MW CW transmission system for ECRH on the stellarator W7-X.  
Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.243-48  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.247

- Kessler, G.; Kulcinski, G.L.  
Potential of mirror systems as future fusion power reactors.  
Transactions of Fusion Science and Technology, 47(2005) S.205-11
- Landman, I.S.  
Simulation of multi-atomic interactions in H-O-W system with the MD code CADAC.  
Fusion Engineering and Design, 75-79(2005) S.417-21  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.285
- Landman, I.S.; Bazylev, B.N.; Garkusha, I.E.; Loarte, A.; Pestchanyi, S.E.; Safronov, V.M.  
Simulation of tokamak armour erosion and plasma contamination at intense transient heat fluxes in ITER.  
Journal of Nuclear Materials, 337-339(2005) S.761-65  
DOI:10.1016/j.jnucmat.2004.10.083
- Leuterer, F.; Grünwald, G.; Monaco, F.; Münich, M.; Schütz, H.; Rytter, F.; Wagner, D.; Zohm, H.; Franke, T.; Dammertz, G.; Heidinger, H.; Koppenburg, K.; Thumm, M.; Kasperek, W.; Gantenbein, G.; Hailer, H.; Denisov, G.G.; Litvak, A.; Zapevalov, V.  
Status of the new ECRH system for ASDEX upgrade.  
Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.199-203  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.262
- Ogorodnikova, O.V.; Pestchanyi, S.; Koza, Y.; Linke, J.  
Modelling of thermal shock experiments of carbon based materials in JUDITH.  
Journal of Nuclear Materials, 337-339(2005) S.791-94  
DOI:10.1016/j.jnucmat.2004.10.074
- Piosczyk, B.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Illy, S.; Jin, J.; Leonhardt, W.; Michel, G.; Prinz, O.; Rzesnicki, T.; Schmid, M.; Thumm, M.; Yang, X.  
A 2 MW, 170 GHz coaxial cavity gyrotron. Experimental verification of the design of main components.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.23-32  
DOI:10.1088/1742-6596/25/1/004
- Plaum, B.; Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Schwörer, K.; Grünert, M.; Braune, H.; Erckmann, V.; Hollmann, F.; Jonitz, L.; Laqua, H.P.; Michel, G.; Noke, F.; Purps, F.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Gandini, F.; Verhoeven, A.G.A.; ECRH Groups at IPP Greifswald, FZK Karlsruhe and IPF Stuttgart  
High-power tests of a remote steering launcher mock-up at 140 GHz.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.120-129
- Takahashi, K.; Illy, S.; Heidinger, R.; Kasugai, A.; Minami, R.; Sakamoto, K.; Thumm, M.; Imai, T.  
Development of reliable diamond window for EC launcher on fusion reactors.  
Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.305-10  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.234
- Thumm, M.; Yang, X.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Michel, G.; Pretterebner, J.; Wagner, D.  
A high-efficiency quasi-optical mode converter for a 140-GHz 1-MW CW gyrotron.  
IEEE Transactions on Electron Devices, 52(2005) S. 818-24  
DOI: 10.1109/TED.2005.845791
- Thumm, M.  
High power gyro-devices for plasma heating and other applications.  
International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 26(2005) S.483-503  
DOI:10.1007/s10762-005-4068-8
- Verhoeven, A.G.A.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Elzendoorn, B.S.Q.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Saibene, G.; Stuivinga, M.; Zohm, H.  
Design of the mm-wave system of the ITER ECRH upper launcher.  
Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.431-35  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.340
- Verhoeven, A.G.A.; Elzendoorn, B.S.Q.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Danilov, I.; Fernandez, A.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kleefeldt, K.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Saibene, G.; Zohm, H.  
Design of the remote-steerable ECRH launching system for ITER upper ports.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.84-91  
DOI:10.1088/1742-6596/25/1/011
- Yang, X.; Dammertz, G.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Leuterer, F.; Meier, A.; Piosczyk, B.; Wagner, D.; Thumm, M.  
Design of an ultra-broadband single-disk output window for a frequency step-tunable 1 MW gyrotron.  
Fusion Engineering and Design, 74(2005) S.489-93  
DOI:10.1016/j.fusengdes.2005.06.119
- Zohm, H.; Thumm, M.  
On the use of step-tuneable gyrotrons in ITER.  
Journal of Physics: Conference Series, 25(2005) S.274-82  
DOI:10.1088/1742-6596/25/1/033

**Sonstige Publikationen die in gedruckter Form vorliegen:**

Auweter-Kurtz, M.; Fertig, M.; Petkow, D.; Stindl, T.; Quandt, M.; Munz, C.D.; Adamidis, P.; Resch, M.; Roller, S.; D'Andrea, D.; Schneider, R.  
Development of a hybrid PIC/DSMC code.  
29th Internat.Electric Propulsion Conf.(IEPC), Princeton, N.J., October 31 – November 3, 2005  
Madison, Wis.: Omnipress, 2005; CD-ROM

Bandura, A.N.; Chebotarev, V.V.; Garkusha, I.E.; Makhlay, V.A.; Marchenko, A.K.; Solyakov, D.G.; Tereshin, V.L.; Trubchaninov, S.A.; Tsarenko, A.V.; Landman, I.  
Application of quasi-steady-state plasma streams for simulation of ITER transient heat loads.  
21st Symp.on Plasma Physics and Technology, Praha, CZ, June 14-17, 2004

Bazylev, B.N.; Ogorodnikova, O.V.; Linke, J.  
Modeling of tungsten erosion experiments in JUDITH.  
European Congress on Advanced Materials and Processes (Euromat 2005), Praha, CZ, September 5-8, 2005  
<http://www.extremat.org/media/static/Paper%20Bazylev.pdf>

Bongers, W.A.; Graswinckel, M.F.; Fernandez, A.; Bruschi, A.; Elzendoorn, B.S.Q.; Heidinger, R.; Schwoerer, K.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Lammers, R.; Piosczyk, B.; Ronden, D.M.S.; Rugebregt, M.R.; Verhoeven, A.G.A.  
Low- and high-power measurements on a remote steering upper port launcher mockup for ITER.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.425-26, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Braune, H.; Brand, P.; Krampitz, R.; Leonhardt, W.; Mellein, D.; Michel, G.; Müller, G.; Winkler, M.; W7-X ECRH Teams at IPP, IPF and FZK

HV-system for CW-gyrotrons at W7-X and the relevance for ITER.

3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005, Book of Abstracts

Braune, H.; Brand, P.; Krampitz, R.; Leonhardt, W.; Mellein, D.; Michel, G.; Müller, G.; Winkler, M.; W7-X ECRH Teams at IPP, IPF and FZK

HV-systems for the ECRH installation at W7-X. Potentials to meet the requirements of ITER gyrotrons.

17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc.S.479-90

Cirant, S.; Berrino, J.; Gandini, F.; Granucci, G.; Iannone, F.; Lazzaro, E.; D'Antona, G.; Farina, D.; Koppenburg, K.; Nowak, S.; Ramponi, G.

Crucial issues of multi-beam feed-back control with ECH/ECCD in fusion plasmas.

3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005

Dammertz, G.; Illy, S.; Piosczyk, B.; Schmid, M.; Bariou, D. Collector sweeping system for high power gyrotrons. IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005 Proc. Vol.1, S.293-94, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Dammertz, G.

Development of a 1-MW, CW gyrotron at 140 GHz for electron-cyclotron-resonance-heating in fusion plasma devices.

6th Internat.Vacuum Electronics Conf. (IVEC 2005), Noordwijk, NL, April 20-22, 2005

Noordwijk: ESA, 2005 S113-14, WPP-246

Dammertz, G.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Borie, E.; Brand, P.; Braune, H.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Giguët, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Kasperek, W.; Koppenburg, K.; Laqua, H.; Legrand, F.; Leonhardt, W.; Lievin, C.; Michel, G.; Müller, G.; Neffe, G.; Piosczyk, B.; Schmid, M.; Thumm, M.; Tran, M.Q.

Experimental results on the 140 GHz, 1 MW, CW gyrotrons for the stellarator W7-X.

IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005 Proc. Vol.1, S.235-36, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Dammertz, G.; Alberti, S.; Arnold, A.; Brand, P.; Braune, H.; Borie, E.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Giguët, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Kasperek, W.; Koppenburg, K.; Kuntze, M.; Laqua, H.; LeCloarec, G.; Legrand, F.; Leonhardt, W.; Lievin, C.; Magne, R.; Michel, G.; Müller, G.; Neffe, G.; Piosczyk, B.; Schmid, M.; Schwörer, K.; Thumm, M.; Tran, M.Q. Experimental results on the 1st series-tube of the 140 GHz, 1 MW, CW gyrotron.

17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc.S.145-62

Dammertz, G.; Alberti, S.; Arnold, A.; Brand, P.; Braune, H.; Borie, E.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Giguët, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Kasperek, W.; Koppenburg, K.; Kuntze, M.; Laqua, H.; LeCloarec, G.; Legrand, F.; Leonhardt, W.; Lievin, C.; Magne, R.; Michel, G.; Müller, G.; Neffe, G.; Piosczyk, B.; Schmid, M.; Schwörer, K.; Thumm, M.; Tran, M.Q. Progress in the development of 1-MW, CW gyrotrons for the Stellarator W7-X.

Litvak, A. [Hrsg.]

Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004

Nizhny Novgorod : Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005 S.371-76

Darbos, C.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Bouquety, F.; Clary, J.; Hogge, J.P.; Lennholm, M.; Lievin, C.; Magne, R.; Thumm, M.

New design of the gyrotron used for ECRH experiments on Tore Supra.

Litvak, A. [Hrsg.]

Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004

Nizhny Novgorod : Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005 S.409-14

Erckmann, V.; Brand, P.; Braune, H.; Dammertz, G.; Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Laqua, H.P.; Michel, G.; Thumm, M.; Weissgerber, M.; W7-X ECRH Teams at IPP, FZK and IPF The 140 GHz, 10 MW, CW ECRH system for W7-X: A training field for ITER.

IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005 Proc. Vol.1, S.1-2, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Plaum, B.; Schwörer, K.; Grünert, M.; Erckmann, V.; Hollmann, F.; Jonitz, L.; Laqua, H.; Michel, G.; Noke, F.; Purps, F.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Gandini, F.; Verhoeven, A.G.A.; ECRH groups at IPP Greifswald, FZK Karlsruhe and IPF Stuttgart.

High-power tests of a remote steering launcher mock-up at 140 GHz.

Litvak, A. [Hrsg.]

Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004

Nizhny Novgorod : Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005 S.409-14

Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Plaum, B.; Schwörer, K.; Erckmann, V.; Laqua, H.; Michel, G.; ECRH Groups at IPP Greifswald, FZK Karlsruhe and IPF Stuttgart

High-power tests and analysis of a remote steering launcher mock-up for ECRH on ITER.

IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005 Proc. Vol.2, S.549-50, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Dammertz, G.; Erckmann, V.; Grünert, M.; Hollmann, F.; Jonitz, L.; Laqua, H.; Michel, G.; Purps, F.; Schulz, T.; Schwörer, K.; Weissgerber, M.

Progress report on the ECRH transmission system at the stellarator W7-X.

IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005 Proc. Vol.2, S.427-28, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

- Gantenbein, G.; Grünert, M.; Kasperek, W.; Plaum, B.; Schwörer, K.; Dammertz, G.; Erckmann, V.; Hollmann, F.; Jonitz, L.; Laqua, H.; Michel, G.; Noke, F.; Purps, F.; Schulz, T.; Weissgerber, M.  
Results from high-power tests of the 140 GHz/10 MW CW system for ECRH on the stellarator W7-X.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc.S.361-69
- Garkusha, I.E.; Bandura, A.N.; Byrka, O.V.; Chebotarev, V.V.; Landman, I.S.; Makhraj, V.A.; Marchenko, A.K.; Solyakov, D.G.; Tereshin, V.I.; Trubchaninov, S.A.; Tsarenko, A.V.  
Tungsten erosion under plasma heat loads typical for ITER type I ELMs and disruptions.  
16th Internat.Conf.on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices, Portland, Maine, May 24-28, 2004
- Heidinger, R.; Danilov, I.; Fischer, U.; Hailfinger, G.; Kleefeldt, K.; Meier, A.; Stratmanns, E.; Thumm, M.; Verhoeven, A.G.A.  
Design and analysis of windows and structural components for the ITER ECRH upper port plug.  
Litvak, A. [Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod : Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005 S.292-97
- Heidinger, R.; Danilov, I.; Meier, A.; Spaeh, P.; Piosczyk, B.; Thumm, M.; Bongers, W.A.; Graswinckel, M.; Lamers, B.; Verhoeven, A.G.A.  
Design and performance tests of a high power torus window for a remotely steered EC launcher.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.565-66, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005
- Hogge, J.P.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Benin, P.; Bonicelli, T.; Bruschi, A.; Chavan, R.; Cirant, S.; Dumbrajs, O.; Fasel, D.; Gandini, F.; Giguet, E.; Goodman, T.; Heidinger, R.; Henderson, M.; Illy, S.; Jin, J.; Lievin, C.; Magne, R.; Marmillod, P.; Mondino, P.L.; Perez, A.; Piosczyk, B.; Porte, L.; Rzesnicki, T.; Santinelli, M.; Thumm, M.; Tran, M.Q.; Yovchev, I.  
Development of a 2-MW, CW coaxial gyrotron at 170 GHz and test facility for ITER.  
3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005  
LRP 806/05 (August 2005) S.29-40
- Hogge, J.P.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Beunas, A.; Bonicelli, T.; Chavan, R.; Cirant, S.; Dumbrajs, O.; Drumm, O.; Fasel, D.; Giguet, E.; Goodman, T.; Henderson, M.; Illy, S.; Jin, J.; Lecloarec, G.; Lievin, C.; Magne, R.; Mondino, P.L.; Piosczyk, B.; Porte, L.; Rzesnicki, T.; Santinelli, M.; Sterck, A.B.; Thumm, M.; Tran, M.Q.; Verhoeven, A.G.A.; Yovchev, I.  
Development of a 2 MW, CW, 170 GHz coaxial cavity gyrotrons for ITER.  
Litvak, A. [Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod : Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005 S.393-97
- Illy, S.; Dammertz, G.; Schmid, M.; Piosczyk, B.; Raff, S.; Bariou, D.  
A comparison of different collector sweeping concepts for high power gyrotrons.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S.301-11
- Jin, J.B.; Piosczyk, B.; Thumm, M.; Rzesnicki, T.; Zhang, S.C.  
Investigation of a mirror system for a high power coaxial-cavity gyrotron.  
6th Internat.Vacuum Electronics Conf. (IVEC 2005), Noordwijk, NL, April 20-22, 2005  
Noordwijk: ESA, 2005 S.275-78  
WPP-246
- Jin, J.B.; Thumm, M.; Rzesnicki, T.; Piosczyk, B.; Dammertz, G.  
Investigation of an advanced quasi-optical mode converter for a coaxial gyrotron.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.1, S.299-300, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005
- Kartikayan, M.V.; Singh, G.; Borie, E.; Piosczyk, B.; Thumm, M.  
An 84 GHz, 500 kW, conventional cavity gyrotron.  
Jit, S. [Hrsg.]  
Electro 2005: Emerging Trends in Electronics; Proc. of the Symp., Bhu, IND, February 3-5, 2005, S.62-64
- Kartikayan, M.V.; Singh, G.; Borie, E.; Piosczyk, B.; Thumm, M.  
Design studies of an 84 GHz, 500 kW, CW gyrotron.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.387-88, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005
- Kasperek, W.; Dammertz, G.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Grünert, M.; Holzhauer, E.; Kumric, H.; Laqua, H.P.; Leuterer, F.; Michel, G.; Plaum, B.; Schwörer, K.; Wagner, D.; Wacker, R.; Weissgerber, M.  
High-power millimetre wave transmission systems and components for electron cyclotron heating of fusion plasmas.  
Hirshfield, J.L. [Hrsg.]  
Quasi-Optical Control of Intense Microwave Transmission.  
Proc.of the NATO Advanced Research Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, February 17-20, 2004  
Dordrecht: Springer Netherlands, 2005 S.241-52  
(NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry; 203)
- Koppenburg, K.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Prinz, H.O.; Thumm, M.; Yang, X.  
Recent results of the step-tunable 105-140 GHz, 1MW gyrotron development at Forschungszentrum Karlsruhe  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.1, S.291-92, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005
- Landman, I.S.; Pestchanyi, S.E.; Bazylev, B.N.  
Numerical simulations for ITER divertor armour erosion and SOL contamination due to disruptions and ELMs.  
Fusion Energy 2004: Proc.of an Internat.Conf., Vilamoura, P, November 1-6, 2004, Wien: IAEA, 2005  
CD-ROM IT/P3-26, IAEA-CSP-25/C
- Laqua, H.; ECRH Teams at IPP, IPF and FZK  
The ECRH-system at IPP-Greifswald. Status and first integrated tests.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S. 79-91
- Lievin, C.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Benin, P.; Bonicelli, T.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Fasel, D.; Giguet, E.; Goodman, T.; Heidinger, R.; Henderson, M.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Jin, J.; Mondino, P.L.; Piosczyk, B.; Porte, L.; Rzesnicki, T.; Thumm, M.; Tran, M.Q.; Yovchev, I.  
Development of a 2-MW, CW coaxial gyrotron at 170 GHz for electron-cyclotron-resonance-heating in ITER.

6th Internat. Vacuum Electronics Conf. (IVEC 2005), Noordwijk, NL, April 20-22, 2005  
Noordwijk: ESA, 2005 S.21-24, WPP-246

Michel, G.; Prinz, O.; Rzesnicki, T.  
Mode converter design for coaxial gyrotrons.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat. Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.373-74, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Illy, S.; Jin, J.; Leonhardt, W.; Michel, G.; Schmid, M.; Thumm, M.; Yang, X.  
170 GHz, 2 MW, CW coaxial cavity gyrotron. Experimental verification of the design.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat. Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.1, S.289-90, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Piosczyk, B.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Illy, S.; Jin, J.; Leonhardt, W.; Michel, G.; Prinz, O.; Rzesnicki, T.; Schmid, M.; Thumm, M.; Wagner, D.; Yang, X.  
A 2 MW, 170 GHz coaxial cavity gyrotron. Experimental verification of the design and general status.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S.119-33

Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Illy, S.; Jin, J.; Leonhardt, W.; Michel, G.; Schmid, M.; Thumm, M.; Yang, X.  
A 2 MW, 170 GHz coaxial cavity gyrotron. Experimental verification of the design of main components.  
3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005, Book of Abstracts

Piosczyk, B.; Arnold, A.; Borie, E.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Heidinger, R.; Illy, S.; Jin, J.; Koppenburg, K.; Michel, G.; Rzesnicki, T.; Thumm, M.; Yang, X.  
Development of advanced high power gyrotrons for EC H&CD applications in fusion plasmas.  
Litvak, A. [Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod: Inst. of Applied Physics, Russian Acad. of Sciences, 2005 S.377-82

Piosczyk, B.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Heidinger, R.; Illy, S.; Jin, J.; Koppenburg, K.; Leonhardt, W.; Neffe, G.; Rzesnicki, T.; Schmid, M.; Thumm, M.; Yang, X.; Alberti, S.; Chavan, R.; Fasel, D.; Goodman, T.; Henderson, M.; Hogge, J.P.; Tran, M.Q.; Yovchev, I.; Erckmann, V.; Laqua, H.P.; Michel, G.; Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Müller, G.; Schwörer, K.; Bariou, D.; Beunas, A.; Giguet, E.; Leclourec, G.; Legrand, F.; Lievin, C.; Dumbrajs, O.  
Development of steady-state 2 MW, 170 GHz gyrotrons for ITER.  
20th IAEA Fusion Energy Conf., Vilamoura, P, November 1-6, 2004. Proc. on CD-ROM Paper FT/1-1Rc; Wien: IAEA, 2005 IAEA-CSP-25/CD, zugl. in Report LRP 804/05 (May 2005) S.61-68

Plaum, B.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Schwörer, K.; Braune, H.; Grünert, M.; Hollmann, F.; Jonitz, L.; Laqua, H.P.; Michel, G.; Noke, F.; Purps, F.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Gandini, F.; Verhoeven, A.G.A.; ECRH Groups at IPP Greifswald, FZK Karlsruhe and IPF Stuttgart  
High-power tests of a remote steering launcher mock-up at 140 GHz.  
3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005, Book of Abstracts

Prinz, O.  
Design and development of a broadband real-time 100-175 GHz frequency measurement system for gyrotron diagnostics.  
EUROCON 2005: the Internat. Conf. on Computer as a Tool, Beograd, YU, November 21-24, 2005  
Proc. on CD-ROM S.1871-74, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Prinz, H.O.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Koppenburg, K.; Thumm, M.  
Investigations on mode converters for multi-frequency gyrotrons.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat. Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.1, S.297-98, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Prinz, H.O.; Arnold, A.; Koppenburg, K.; Thumm, M.  
New broadband real-time frequency measurement system at FZK.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S.329-37

Rzesnicki, T.; Jin, J.; Piosczyk, B.; Thumm, M.; Michel, G.; Wagner, D.  
170 GHz, 2 MW coaxial cavity gyrotron. Design and experimental verification of the RF output system.  
6th Internat. Vacuum Electronics Conf. (IVEC 2005), Noordwijk, NL, April 20-22, 2005  
Noordwijk: ESA, 2005 S.303-06, WPP-246

Rzesnicki, T.; Jin, J.; Piosczyk, B.; Thumm, M.; Michel, G.; Wagner, D.  
170 GHz, 2 MW coaxial cavity gyrotron. Design and experimental verification of the RF output system.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S.223-34

Rzesnicki, T.; Jin, J.; Piosczyk, B.; Thumm, M.; Michel, G.; Wagner, D.  
170 GHz, 2 MW coaxial cavity gyrotron. Design verification of the new RF output system.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat. Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.519-20, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Schmid, M.; Dammertz, G.; Illy, S.; Thumm, M.; Lievin, Ch.  
Transverse field collector sweep system for the W7-X gyrotrons. Engineering and first results.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005  
Proc. S. 313-28

Thumm, M.; Jin, J.; Kartikeyan, M.V.; Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.  
Design of a 170 GHz, 4 MW coaxial super gyrotron with dual-beam output.  
Litvak, A. [Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod: Inst. of Applied Physics, Russian Acad. of Sciences, 2005, S.365-70

- Thumm, M.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Michel, G.; Pretterebner, J.; Wagner, D.; Yang, S.  
Highly efficient quasi-optical mode converter system for a 1 MW, 140 GHz, CW gyrotron.  
Litvak, A.[Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod: Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005, 304-09
- Thumm, M.; Arnold, A.; Drumm, O.; Jin, J.; Koppenburg, K.; Michel, G.; Piosczyk, B.; Prinz, O.; Rzesnicki, T.; Wagner, D.; Yang, X.  
Quasi-optical mode converters in advanced high-power gyrotrons for nuclear fusion plasma heating.  
Hirshfield, J.L. [Hrsg.]  
Quasi-Optical Control of Intense Microwave Transmission: Proc. of the NATO Advanced Research Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, February 17-20, 2004  
Dordrecht : Springer Netherlands, 2005 S.325-51  
(NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry; 203)
- Thumm, M.; Arnold, A.; Borie, E.; Dammertz, G.; Danilov, I.; Dumbrajs, O.; Heidinger, R.; Illy, S.; Jin, J.; Koppenburg, K.; Michel, G.; Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.; Yang, X.  
Research on advanced high power gyrotrons at FZK.  
Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf. on High-Power Particle Beams, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004, Proc. S. 399-404  
St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Rs.Inst., 2005  
Auch als CD-ROM
- Thumm, M.  
State-of-the-art of high power gyro-devices and free electron masers. Update 2004.  
Wissenschaftliche Berichte, FZKA-7097 (Februar 2005)
- Verhoeven, A.G.A.; Elzendoorn, B.S.Q.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Danilov, I.; Fernandez, A.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kleefeldt, K.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Saibene, G.; Zohm, H.  
Design and test of a remote steering upper port launcher for ITER.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.423-24, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005
- Verhoeven, A.G.A.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Elzendoorn, B.S.Q.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Saibene, G.; Zohm, H.  
Design of the mm-wave system of the ITER ECRH upper launcher.  
Litvak, A.[Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod: Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005, 281-85
- Verhoeven, A.G.A.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Danilov, I.; Elzendoorn, B.S.Q.; Fernandez, A.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kleefeldt, K.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Saibene, G.; Zohm, H.  
The remote-steering ECRH upper launcher for ITER.  
3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005
- Wagner, D.; Grünwald, G.; Leuterer, F.; Manini, A.; Monaco, F.; München, M.; Ryter, F.; Schütz, H.; Zohm, H.; Franke, T.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Thumm, M.; Kasperek, W.; Gantenbein, G.; Denisov, G.G.; Litvak, A.; Zapevalov, V.  
Current status of the new ECRH system for ASDEX upgrade.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.1, S.24-25, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005
- Wagner, D.; Grünwald, G.; Leuterer, F.; Monaco, F.; München, M.; Schütz, H.; Ryter, F.; Wilhelm, R.; Zohm, H.; Franke, T.; Dammertz, G.; Heidinger, H.; Koppenburg, K.; Thumm, M.; Yang, X.; Kasperek, W.; Gantenbein, G.; Hailer, H.; Denisov, G.G.; Litvak, A.; Zapevalov, V.  
Status of the new ECRH system for ASDEX upgrade.  
Litvak, A.[Hrsg.]  
Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating: Proc. of the 13th Joint Workshop, Nizhny Novgorod, Russia, May 17-20, 2004  
Nizhny Novgorod: Inst.of Applied Physics, Russian Acad.of Sciences, 2005, 320-25
- Wagner, D.; Grünwald, G.; Leuterer, F.; Manini, A.; Monaco, F.; München, M.; Schütz, H.; Ryter, F.; Zohm, H.; Franke, T.; Heidinger, R.; Thumm, M.; Kasperek, W.; Gantenbein, G.; Denisov, G.; Litvak, A.; Zapevalov, V.  
The new ASDEX upgrade ECRH system.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S. 93-107
- Wagner, F.; Andreeva, T.; Baldzuhn, J.; Benndorf, A.; Bolt, H.; Boscarly, J.; Bosch, H.S.; Braeuer, T.; Brakel, R.; Brand, P.; Cardella, A.; Czerwinski, M.; Damiani, C.; Dammertz, G.; Duebner, A.; Ehmler, J.H.; Elio, F.; Endler, M.; Erckmann, V.; Feist, J.; Fillunger, M.; Gantenbein, G.; Gardebrecht, W.; Gasparotto, M.; Giesen, B.; Greuner, H.; Greve, H.; Grigull, P.; Grote, H.; Harmeyer, E.; Hartfuss, H.J.; Hartmann, D.; Hein, B.; Heinemann, B.; Holtum, D.; Huguet, M.; Hurd, F.; Jaksic, N.; Kasperek, W.; Kisslinger, J.; Klinger, T.; Knauer, J.; Krampitz, R.; Laqua, H.; Lentz, H.; Liesenberg, K.; Maier, J.; Maix, R.; Mendelevich, b.; Michel, G.; Nagel, M.; Naujoks, D.; Niedermeyer, H.; Nuehrenberg, c.; Opitz, A.; Pfeiffer, G.; Pietsch, M.; Reich, J.; Risse, K.; Rong, P.; Rummel, K.; Rummel, T.; Sborchia, C.; Schauer, F.; Schroeder, R.; Schulz, U.; Schweizer, S.; Simon-Weidner, J.; Sochor, M.; Sonnerup, L.; Streibl, B.; Tretter, J.; Thumm, M.; Viebke, H.; Wanner, M.; Wegener, L.; Weissgerber, M.; Werner, A.; Winkler, M.  
Physics, technologies and status of the Wendelstein 7-X device.  
20th IAEA Fusion Energy Conf., Vilamoura, P, November 1-6, 2004  
Proc.on CD-ROM Paper IAEA-CN-116/FT/3-5  
Wien: IAEA, 2005, IAEA-CSP-25/CD
- Yang, X.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Leuterer, F.; Piosczyk, B.; Prinz, O.; Wagner, D.; Thumm, M.  
Modification of the quasi-optical mode converter for a multi-frequency gyrotron at FZK.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005, Proc. S.235-49
- Yang, X.; Arnold, A.; Borie, E.; Dammertz, G.; Drumm, O.; Koppenburg, K.; Prinz, O.; Wagner, D.; Thumm, M.  
New internal beam-forming mirror system for a multi-frequency 1 MW F-band gyrotron.  
Menzel, W. [Hrsg.]  
German Microwave Conf. (GeMic 2005), Ulm, April 5-7, 2005  
Proc.on CD-ROM S.164-67

Yang, X.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Drumm, O.; Koppenburg, K.; Piosczyk, B.; Wagner, D.; Thumm, M.  
Newly designed internal phase-correcting mirrors for a multi-frequency 1 MW gyrotron at FZK.  
6th Internat. Vacuum Electronics Conf. (IVEC 2005), Noordwijk, NL, April 20-22, 2005  
Noordwijk: ESA, 2005, S.127-30, WPP-246

Yang, X.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Piosczyk, B.; Prinz, O.; Wagner, D.; Thumm, M.  
Progress towards optimization of phase-correcting mirrors for a multi-frequency gyrotron.  
IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat. Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2 S.618-19, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Zhitlukhin, A.; Federici, G.; Giniyatulin, R.; Landman, I.; Linke, J.; Loarte, A.; Merola, M.; Podkovyrov, V.; Safronov, V.  
Experimental assessment of the effects of ELMs and disruptions on ITER divertor armour materials.  
Fusion Energy 2004: Proc. of an Internat. Conf., Vilamoura, P, November 1-6, 2004, Wien : IAEA, 2005  
CD-ROM IT/P3-30, IAEA-CSP-25/CD

Zohm, H.; Thumm, M.  
Can frequency step-tuning replace poloidal angle scanning for ECRH launchers.  
3rd IAEA Technical Meeting on ECRH Physics and Technology for ITER, Como, I, May 2-4, 2005

#### ***Vorträge, die nicht in gedruckter Form vorliegen:***

Bazylev, B.N.; Janeschitz, G.; Landman, I.S.; Pestchanyi, S.E.  
Erosion of dome armour after multiple disruptions and ELMs in ITER.  
32rd EPS Conf. on Plasma Physics, Tarragona, E, June 27 – July 1, 2005

Bongers, W.A.; Graswinckel, M.F.; Fernandez, A.; Bruschi, A.; Elizendoorn, B.S.Q.; Heidinger, R.; Schwoerer, K.; Kruyt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Ronden, D.M.S.; Schmid, M.; Verhoeven, A.G.A.  
Low- and high-power measurements on a remote steering upper port launcher mockup for ITER.  
7th Biennial ECH Transmission Line Workshop, Virginia Beach, Va., September 14-16, 2005

Borie, E.  
Lamb shift of muonic hydrogen and deuterium.  
QED, Quantum Fluctuations and the Search for New Forces, Les Houches, F, June 5-9, 2005

Dammertz, G.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Piosczyk, B.; Thumm, M.  
Development of multimegawatt gyrotrons for fusion plasma devices.  
US-JPN-EU RF Technology Exchange Workshop, Santa Cruz Calif., June 15-17, 2005

Dammertz, G.; Arnold, A.; Heidinger, R.; Jin, J.; Koppenburg, K.; Leonhardt, W.; Neffe, G.; Piosczyk, B.; Rzesnicki, T.; Schmid, M.; Thumm, M.; Yang, X.; Alberti, S.; Hogge, J.P.; Tran, M.Q.; Yovchev, I.; Erckmann, V.; Laqua, H.; Michel, G.; Gantenbein, G.; Kasperek, W.; Müller, G.; Schwörer, K.; Dumbrajs, O.; Bariou, D.; Giguët, E.; Legrand, F.; Lievin, C.  
High power gyrotron development at Forschungszentrum Karlsruhe for fusion applications.  
32nd IEEE Internat. Conf. on Plasma Science (ICOPS 2005), Monterey, Calif., June 18-23, 2005, Book of Abstracts S.110

Erckmann, V.; W7-X ECRH Teams at IPP, FZK and IPF  
Status and first integrated tests of the 10 MW, 140 GHz ECRH-system for W7-X.  
6th Internat. Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005, Book of Abstracts H5

Heidinger, R.; Danilov, I.; Meier, A.; Spaeh, P.; Piosczyk, B.; Schmid, M.; Thumm, M.; Bongers, W.A.; Graswinckel, M.; Lamers, B.; Verhoeven, A.G.A.  
Transmission and cooling studies of the torus window for a remotely steered EC launcher.  
7th Biennial ECH Transmission Line Workshop, Virginia Beach, Va., September 14-16, 2005

Kasperek, W.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Plaum, B.; Schwörer, K.; Wacker, R.; Grünert, M.; Hollmann, F.; Jonitz, L.; Laqua, H.P.; Michel, G.; Noke, F.; Purps, F.; Wagner, D.; Chirkov, A.V.; Denisov, G.G.; Kuzikov, S.V.; Ohkubo, K.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Gandini, F.; Verhoeven, A.G.A.; W7-X ECRH Teams at IPP, FZK and IPF  
Low- and high-power investigations of an ITER remote steering launcher mock-up.  
6th Internat. Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005  
Book of Abstracts H16

Kochergov, R.; Landman, I.S.; Janeschitz, G.  
Simulation of MHD instabilities dynamics for a tokamak plasma.  
10th IAEA Technical Meeting on H-mode Physics and Transport Barriers, St. Petersburg, Russia, September 28-30, 2005

Landman, I.S.; Janeschitz, G.  
Contamination and radiation losses in post-ELM tokamak plasma.  
32rd EPS Conf. on Plasma Physics, Tarragona, E, June 27 – July 1, 2005

Laqua, H.P.; Erckmann, V.; Brakel, R.; Braune, H.; Maaßberg, H.; Marushchenko, N.; Michel, G.; Turkin, Y.; Ullrich, S.; Dammertz, G.; Thumm, M.; Brand, P.; Gantenbein, G.; Kasperek, W.; W7-X ECRH Teams at IPP, FZK and IPF  
The steady-state ECRH-system at Wendelstein 7-X.  
15th Internat. Stellarator Workshop, Madrid, E., October 3-7, 2005, Book of Abstracts S.137

Louksha, O.; Piosczyk, B.; Sominski, G.; Thumm, M.; Samsonov, D.  
Electron emission inhomogeneity and low-frequency parasitic oscillations in a gyrotron.  
7th Workshop on High Energy Density and High Power RF, Kalamata, GR, June 13-17, 2005

Louksha, O.I.; Piosczyk, B.; Sominski, G.G.; Thumm, M.; Samsonov, D.B.  
Effect of electron emission inhomogeneity on electron beam characteristics and output parameters of a 4-mm gyrotron.  
6th Internat. Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005  
Book of Abstracts S17

Pestchanyi, S.; Landman, I.  
Improvement of the CFC structure to withstand high heat flux.  
7th Internat. Symp. on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), Tokyo, J, May 22-27, 2005



Pestchanyi, S.; Arzhannikov, A.V.; Astrelin, V.T.; Burdakov, A.V.; Ivanov, I.A.; Ivantsivsky, M.V.; Kuklin, K.N.; Mekler, K.I.; Polosatkin, S.V.; Postupaev, V.V.; Rovenskikh, A.F.; Sinitzky, S.L.; Sulyaev, Yu.S.; Zubairov, Eh.R.  
Simulation of carbon plasma transport at ITER-relevant conditions in GOL-3 facility.  
European Fusion Theory Conf.(EFTC-11), Aix-en-Provence, F, September 26-28, 2005, Book of Abstracts S.81

Pestchanyi, S.; Landman, I.  
Simulation of ELMs and impurity plasma transport in SOL.  
European Fusion Theory Conf.(EFTC-11), Aix-en-Provence, F, September 26-28, 2005, Book of Abstracts S.82

Piosczyk, B.; Dammertz, G.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Thumm, M.  
Development of multi-megawatt gyrotrons at Forschungszentrum Karlsruhe.  
21st IEEE/NPSS Symp.on Fusion Engineering (SOFE 05), Knoxville, Tenn., September 26-29, 2005  
Book of Abstracts S.77

Piosczyk, B.; Alberti, S.; Bariou, D.; Benin, P.; Bonicelli, T.; Dammertz, G.; Dumbrajs, O.; Fasel, D.; Giguet, E.; Goodman, T.; Heidinger, R.; Henderson, M.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Jin, J.; Lievin, C.; Michel, G.; Mondino, P.L.; Porte, L.; Rzesnicki, T.; Thumm, M.; Tran, M.Q.; Yang, X.; Yovchev, I.  
Progress in the development of the 170 GHz coaxial cavity gyrotron for ITER.  
6th Internat.Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005  
Book of Abstracts S9

Sabchevski, S.; Zhelyazkov, I.; Benova, E.; Atanassov, V.; Dankov, P.; Thumm, M.; Dammertz, G.; Piosczyk, B.; Illy, S.; Tran, M.Q.; Alberti, S.; Hogge, J.P.  
Development of new generation software tools for simulation of electron beam formation in novel high power gyrotrons.  
Internat.Workshop and Summer School on Plasma Physics, Kiten, BG, June 8-12, 2005

Sabchevski, S.; Zhelyazkov, I.; Benova, E.; Atanassov, V.; Dankov, P.; Thumm, M.; Arnold, A.; Jin, J.; Rzesnicki, T.  
Quasi-optical converters for high-power gyrotrons: a brief review of physical models, numerical methods and computer codes.  
Internat.Workshop and Summer School on Plasma Physics, Kiten, BG, June 8-12, 2005

Thumm, M.  
Development of advanced high-power millimeter wave gyrotrons at FZK.  
Vortr. National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Shanghai, China, 28. März 2005

Thumm, M.; Alberti, S.; Arnold, A.; Bariou, D.; Dammertz, G.; Darbos, C.; Dumbrajs, O.; Gantenbein, G.; Erckmann, V.; Giguet, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Jin, J.; Kasperek, W.; Lievin, C.; Magne, R.; Michel, G.; Piosczyk, B.; Prinz, O.; Rzesnicki, T.; Schwörer, K.; Tran, M.Q.; Yang, X.; Yovchev, I.  
Gyrotron development in EU for present fusion experiments and for ITER.  
7th Internat.High Energy Density and High Power RF Workshop, Kalamata, GR, June 13-17, 2005

Thumm, M.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Jin, J.; Koppenburg, K.; Michel, G.; Piosczyk, B.; Prinz, O.; Rzesnicki, T.; Wagner, D.; Yang, X.  
Quasi-optical mode converters in advanced high-power gyrotrons for fusion plasma applications.  
7th Biennial ECH Transmission Line Workshop, Virginia Beach, Va., September 14-16, 2005

Thumm, M.; Alberti, S.; Arnold, A.; Dammertz, G.; Erckmann, V.; Gantenbein, G.; Giguet, E.; Heidinger, R.; Hogge, J.P.; Illy, S.; Kasperek, W.; Laqua, H.P.; Lievin, C.; Magne, R.; Michel, G.; Piosczyk, B.; Schwörer, K.; Tran, M.Q.; Yang, X.  
Status of 1 MW, 140 GHz, CW gyrotron for W7-X.  
6th Internat. Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005  
Book of Abstracts S4

Thumm, M.  
The 10 MW, 140 GHz, continuous wave ECRH-system for the stellarator W7-X.  
Vortr.: Institute of Plasma Physics, Hefei, China, 31. März 2005

Verhoeven, A.G.A.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Danilov, I.; Elzendoorn, B.S.Q.; Fernandez, A.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kleefeldt, K.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Zohm, H.  
Millimeter-wave design of the ITER upper ECRH launcher.  
US-JPN-EU RF Technology Exchange Workshop, Santa Cruz, Calif., June 15-17, 2005

Verhoeven, A.G.A.; Bongers, W.A.; Bruschi, A.; Cirant, S.; Danilov, I.; Elzendoorn, B.S.Q.; Fernandez, A.; Gantenbein, G.; Graswinckel, M.F.; Heidinger, R.; Kasperek, W.; Kleefeldt, K.; Kruijt, O.G.; Lamers, B.; Piosczyk, B.; Plaum, B.; Ronden, D.M.S.; Saibene, G.; Serikov, A.; Zohm, H.  
Millimeter-wave design of the ITER upper ECRH launcher.  
6th Internat. Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005  
Book of Abstracts H17

Wagner, D.; Grünwald, G.; Leuterer, F.; Manini, A.; Monaco, F.; München, M.; Ryter, F.; Schütz, H.; Zohm, H.; Franke, T.; Heidinger, R.; Koppenburg, K.; Thumm, M.; Kasperek, W.; Gantenbein, G.; Denisov, G.G.; Litvak, A.; Zapevalov, V.  
First tests with the new ECRH system for ASDEX upgrade.  
7th Biennial ECH Transmission Line Workshop, Virginia Beach, Va., September 14-16, 2005

#### **Erteilte Patente**

Piosczyk, B.  
Kollektorwand und Kollektorspulengruppe eines Gyrotrons.  
DE-PS 10 105 441 (17.4.2002)  
EP-OS 1 362 358 (19.11.2003)  
EP-PS 1 362 358 (17.8.2005)

## Programm NANOMIKRO

### Nanoskalige Schichtsysteme und Oberflächen

#### Publikationen in begutachteten Zeitschriften:

Link, G.; Wolff, M.; Takayama, S.; Thumm, M.; Falk, G.; Clasen, R.

The densification behavior of zirconia ceramics during millimeter-wave sintering.  
Ceramic Forum International: cfi/Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, 82(2005) Nr.13, S.312-16

Wolff, M.; Falk, G.; Clasen, R.; Link, G.; Takayama, S.; Thumm, M.

Densification behavior of zirconia ceramics sintered using high-frequency microwaves.

Ceramic Engineering and Science Proceedings, 26(2005) S.373-80

#### Sonstige Publikationen die in gedruckter Form vorliegen:

Arzhannikov, A.V.; Ginzburg, N.S.; Kalinin, P.V.; Kuznetsov, S.A.; Peskov, N.Yu.; Rozental, R.M.; Sinitsky, S.L.; Stepanov, V.D.; Thumm, M.; Zaslavsky, V.Yu.; Zotova, I.V.

Two-stage generation of terahertz radiation on the base of intercavity stimulated scattering in planar two-beam FEM with 2D Bragg resonator (Project of experiment an ELMI accelerator).

6th Internat.Workshop on Strong Microwaves in Plasmas, Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005  
Book of Abstracts S37

Konoplev, I.V.; McGrane, P.; Ronald, K.; Cross, A.W.; He, W.; Whyte, C.G.; Phelps, A.D.R.; Robertson, C.W.; Speirs, D.C.; Ginzburg, N.S.; Peskov, N.Yu.; Sergeev, A.S.; Thumm, M.  
Experimental study of a FEM based on a 2D distributed feedback cavity.

IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.2, S.499-500, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Link, G.; Hauser-Fuhlberg, M.; Janek, M.; Nüesch, R.; Takayama, S.; Thumm, M.; Weisenburger, A.  
High temperature processing of powders using millimeter-waves.

4th World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004  
New York, N.Y.: AIChE, 2005 S.54

Schulz, R.L. [Hrsg.]  
Microwave and Radio Frequency Applications: Proc. of the 4th World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004  
Arnold, Md.: The Microwave Working Group, Ltd., 2005 S.261-70

Link, G.; Takayama, S.; Thumm, M.; Wolff, M.; Falk, G.; Clasen, R.

Non-thermal effects of MM-wave sintering on the microstructure of zirconia ceramics.

IRMMW-THz 2005: The Joint 30th Internat.Conf.on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf.on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol.1, S.229-30, Piscataway, N.J.: IEEE, 2005

Link, G.; Wolff, M.; Takayama, S.; Thumm, M.; Falk, G.; Clasen, R.

The densification behavior of zirconia ceramics during millimeter-wave sintering.  
Jahrestagung der Deutschen Keramischen Gesellschaft in Verbindung mit dem Symp. Hochleistungskeramik, Selb, 10.-13. Oktober 2005

Link, G.; Takayama, S.; Thumm, M.; Wolff, M.; Falk, G.; Clasen, R.

The effect of mm-wave sintering on microstructure evolution in zirconia ceramics.  
17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005. Proc.S.527-38

Link, G.; Takayama, S.; Thumm, M.; Wolff, M.; Falk, G.; Clasen, R.

The influence of millimeter waves on densification behavior of zirconia ceramics.

Leonelli, C. [Hrsg.]  
10th Internat.Conf. on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005  
Proc. Book S.395-98  
Modena: Universita degli Studi, Microwave Application Group, 2005. Auch auf CD-ROM.

McGrane, P.; Konoplev, I.V.; Thumm, M.; Cross, A.W.; He, W.; Phelps, A.D.R.; Ronald, K.; Whyte, C.G.; Ginzburg, N.S.; Peskov, N.Yu.; Sergeev, A.S.

Co-axial 2D Bragg structures with corrugated outer and inner conductors.

6th Internat.Vacuum Electronics Conf. (IVEC 2005), Noordwijk, NL, April 20-22, 2005  
Noordwijk: ESA, 2005 S.291-92

Ogawa, I.; Idehara, T.; Nagao, K.; Ando, H.; Wagner, D.; Thumm, M.

Development of a functional quasi-optical system for gyrotron applications as a radiation source.

The Joint 30th Internat.Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf. on Terahertz Electronics (IRMMW-THz 2005), Williamsburg, Va., September 19-23, 2005

Fukui: Research Center for Development of Far-Infrared Region, Univ.of Fukui, 2005  
FIR FU-66 (July 2005)

IRMMWTHz 2005: The Joint 30th Internat.Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 13th Internat.Conf. on Terahertz Electronics, Williamsburg, Va., September 19-23, 2005  
Proc. Vol. 2, S.379-80  
Piscataway, M.J. : IEEE, 2005

Peskov, N.Yu.; Ginzburg, N.S.; Denisov, G.G.; Kuzikov, S.V.; Sergeev, A.S.; Arzhannikov, A.V.; Kalinin, P.V.; Sinitsky, S.L.; Thumm, M.

Electrodynamical properties of two-dimensional Bragg structures.

17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005  
Proc. S. 393-403

Sato, M.; Matsubara, A.; Kawahata, K.; Motojima, O.; Hayashi, T.; Takayama, S.; Agrawal, D.; Roy, R.

Microscopically in-situ investigation for microwave processing of metals by visible light spectroscopy.

Leonelli, C. [Hrsg.]  
10th Internat.Conf.on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005. Proc.Book S.277-80  
Modena: Universita degli Studi, Microwave Application Group, 2005

Takayama, S.; Link, G.; Miksch, S.; Sato, M.; Ichikawa, J.; Thumm, M.

Behaviour of powder compacts of metals and alloys during millimeter-wave heating.

Leonelli, C. [Hrsg.]

10th Internat.Conf.on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005. Proc.Book S.281-84

Modena: Universita degli Studi, Microwave Application Group, 2005. Auch auf CD-ROM.

Takayama, S.; Link, G.; Miksch, S.; Thumm, M.; Sato, M.; Ichikawa, J.

Experimental investigation on millimetre-wave heating of powder compacts of metal and metal alloy.

17th Joint Russian-German STC Workshop on ECRH and Gyrotrons, Greifswald, May 30 – June 4, 2005

Proc.S.511-25

Takayama, S.; Link, G.; Sato, M.; Thumm, M.

Microwave sintering of metal powder compacts.

4th World Congress on Microwave and Radio Frequency

Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004

New York, N.Y.: AIChE, 2005 S.68-69

Schulz, R.L. [Hrsg.]

Microwave and Radio Frequency Applications: Proc. of the 4th

World Congress on Microwave and Radio Frequency

Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004

Arnold, Md.: The Microwave Working Group, Ltd., 2005

S.311-18

Thumm, M.; Feher, L.; Link, G.

Micro- and millimeter-wave processing of advanced materials at Karlsruhe Research Center.

Miyake, S. [Hrsg.]

Novel Materials Processing by Advanced Electromagnetic

Energy Sources (MAPEES'04): Proc.of the Internat.Symp., Osaka, J, March 19-22, 2004

Kidlington [u.a.]: Elsevier, 2005 S.93-98

Whyte, C.G.; Ronald, K.; Phelps, A.D.R.; Konoplev, I.V.;

McGrane, P.; Cross, A.W.; He, W.; Robertson, C.W.; Ginzburg, N.S.;

Peskov, N.Yu.; Sergeev, A.S.; Thumm, M.

Experimental study of a high power free electron maser based on a co-axial two-dimensional Bragg cavity.

Engelko, V. [Hrsg.]

15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St.

Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.446-49

St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005

Auch als CD-ROM

Wolff, M.; Falk, G.; Clasen, R.; Link, G.; Takayama, S.;

Thumm, M.

Densification behavior of zirconia ceramics sintered using high-frequency microwaves.

29th Internat.Cocoa Beach Conf.on Advanced Ceramics and

Composites, Cocoa Beach, Fla., January 23-28, 2005

#### **Vorträge, die nicht in gedruckter Form vorliegen:**

Ciovati, G.; Halbritter, J.

Analysis of the medium field Q-slope in superconducting cavities made of bulk niobium.

12th Internat.Workshop on RF Superconductivity, Ithaca, N.Y.,

July 10-15, 2005

Book of Abstracts S.21

Cross, A.W.; Konoplev, I.V.; McGrane, P.; He, W.; Phelps, A.D.R.;

Whyte, C.G.; Ronald, K.; Ginzburg, N.S.; Peskov, N.Yu.;

Sergeev, A.S.; Thumm, M.K.

Co-axial free-electron maser based on two-dimensional distributed feedback.

32nd IEEE Internat.Conf.on Plasma Science (ICOPS 2005),

Monterey, Calif., June 18-23, 2005

Book of Abstracts S.353

Halbritter, J.

Dc and rf transport in growth boundary networks of band gap – or Mott – insulators in the normal or superconducting state.

Vortr.: Technische Universität Dresden, 9. Mai 2005

Halbritter, J.

Superconducting Nb RF cavity: intrinsic versus extrinsic properties.

Vortr.: Fermilab, Chicago, Ill., 30. Juni 2005

Halbritter, J.

The Nb oxide system – implications for SRF cavities.

12th Internat.Workshop on RF Superconductivity, Ithaca, N.Y.,

July 10-15, 2005

Halbritter, J.

Tunneling through niobiumpentoxide and niobium oxidation.

Vortr.: Jefferson Laboratory, Newport News, Va., 6. Juli 2005

Konoplev, I.V.; Cross, A.W.; Ginzburg, N.S.; McGrane, P.; He, W.;

Peskov, N.Yu.; Phelps, A.D.R.; Robertson, C.W.; Ronald, K.;

Sergeev, A.S.; Thumm, M.; Whyte, C.G.

Study of co-axial free electron maser based on two-dimensional distributed feedback.

6th Internat.Workshop on Strong Microwaves in Plasmas,

Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005

Book of Abstracts S34

Link, G.; Wolff, M.; Takayama, S.; Falk, G.; Clasen, R.;

Thumm, M.

Evidence for non-thermal effects during microwave sintering of

zirconia ceramics?

6th Internat.Workshop on Strong Microwaves in Plasmas,

Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005

Book of Abstracts D19

Peskov, N.Yu.; Ginzburg, N.S.; Denisov, G.G.; Kuzikov, S.V.;

Sergeev, A.S.; Arzhannikov, A.V.; Kalinin, P.V.; Sinitsky, S.L.;

Thumm, M.

Peculiarities of mode spectrum of planar 2D Bragg resonator

(theory and experiment).

6th Internat.Workshop on Strong Microwaves in Plasmas,

Nizhny-Novgorod, Russia, July 25 – August 1, 2005

Book of Abstracts S62

Phelps, A.D.R.; Konoplev, I.V.; McGrane, P.; Cross, A.W.; He,

W.; Whyte, C.G.; Ronald, K.; Thumm, M.K.; Ginzburg, N.S.;

Peskov, N.Yu.; Sergeev, A.S.

Co-axial Ka-band free-electron maser using two-dimensional

distributed feedback.

7th Workshop on High Energy Density and High Power RF,

Kalamata, GR, June 13-17, 2005

Rozental, R.; Glyavin, M.; Luchinin, A.; Ginzburg, N.; Link, G.;

Thumm, M.

Excitation of several axial eigenmodes in gyrotrons with

mismatched window-simulations and experimental studies.

32nd IEEE Internat.Conf.on Plasma Science (ICOPS 2005),

Monterey, Calif., June 18-23, 2005

Book of Abstracts S.208

### ***Erteilte Patente***

Baumgärtner, H.; Feher, L.; Link, G.  
Mikrowellentechnischer Durchlauferhitzer.  
DE-PS 10 128 038 (1.7.2002)  
EP-OS 1 393 595 (3.3.2004)  
US-PS 6 917 022 (12.7.2005)

Möbius, A.; Mühleisen, M.  
Wärmestrahleinrichtung zur zusätzlichen gezielten thermischen  
Prozessierung eines Objektes in einem Mikrowellenofen.  
DE-OS 10 114 021 (2.10.2002)  
DE-PS 10 114 021 (31.1.2005)

## Programm NUKLEAR: Nukleare Sicherheitsforschung

### **Publikationen in begutachteten Zeitschriften:**

Engelko, V.; Müller, G.

Formation of plasma and ion flux on a target, irradiated by an intense electron beam.

Journal of Applied Physics, 98(2005) S.013303/1-7  
DOI:10.1063/1.1944217

Koppitz, T.; Jung, P.; Müller, G.; Weisenburger, A.; Futakawa, M.; Ikeda, Y.

Improved cavitation resistance of structural materials in pulsed liquid metal targets by surface hardening.

Journal of Nuclear Materials, 343(2005) S.92-100  
DOI:10.106/j.nucmat.2004.08.034

Müller, G.; Engelko, V.; Weisenburger, A.; Heinzel, A.

Surface alloying by pulsed intense electron beams.

Vacuum, 77(2005) S.469-74  
DOI:10.1016/j.vacuum.2004.09.018

### **Sonstige Publikationen die in gedruckter Form vorliegen:**

Aoto, K.; Müller, G.; Weisenburger, A.; Heinzel, A.; Furukawa, T.  
Stability of oxide layer formed on high-chromium steels in LBE under oxygen content and temperature fluctuation.

Proc.of the 13th Internat.Conf.on Nuclear Engineering (ICONE-13), Beijing, China, May 16-20, 2005  
CD-ROM Paper 50362

Beijing: Chinese Nuclear Society, 2005

Engelko, V.I.; Kuznetsov, V.S.; Kuryshv, V.O.; Müller, G.; Vyazmenova, G.A.

Electron source for producing radial converging electron beam.

Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004, Proc. S.103-106  
St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res.Inst., 2005  
Auch als CD-ROM

Furukawa, T.; Konys, J.; Müller, G.; Aoto, K.

Corrosion behavior of high chromium steels in flowing lead-bismuth at 823K under active oxygen control.

Proc.of the 13th Internat.Conf.on Nuclear Engineering (ICONE-13), Beijing, China, May 16-20, 2005  
CD-ROM Paper 50145

Beijing: Chinese Nuclear Society, 2005

Markov, V.G.; Müller, G.; Engelko, V.; Kashtanoc, A.D.;

Lavruhin, V.S.; Yakovlev, V.A.

Corrosion-mechanical strength of structural materials including those after modification being in contact with lead and lead-bismuth.

Eurocorr 2005 : The European Corrosion Congress, Lisboa, P, September 4-8, 2005

Book of Abstracts S.639. Proc. on CD-ROM

Weisenburger, A.; Müller, G.; Heinzel, A.; Engelko, V.; Rusanov, A.

Corrosion of modified FeCrAlY coated cladding tubes in liquid PbBi.

Eurocorr 2005: The European Corrosion Congress, Lisboa, P, September 4-8, 2005

Book of Abstracts S.635. Proc.on CD-ROM

### **Vorträge, die nicht in gedruckter Form vorliegen:**

Broeders, C.; Kessler, G.

How can Pu with >7% Pu-238 (denatured Pu) be generated.

Workshop on Future Nuclear Systems and Fuel Cycles, Karlsruhe, September 1-2, 2005

Heinzel, A.; Müller, G.; Weisenburger, A.

Steel corrosion in LBE at different temperatures and oxygen concentrations.

Vortr.: Japan Atomic Energy Research Institute(JAERI), Tokai-Mura, 17. Februar 2005

Heinzel, A.

Transmutation, eine Möglichkeit zur Vernichtung hochradioaktiven Abfalls.

Vortr.: Kunst und Wissenschaft am Forschungszentrum Karlsruhe, 16. Juni 2005

Heinzel, A.

Transmutation, eine Möglichkeit zur Vernichtung hochradioaktiven Abfalls und Betrachtungen zur Lösung der Materialprobleme bei der Entwicklung einer Transmutationsanlage.

Vortr.: Verband Baden-Württembergischer Wissenschaftlerinnen, Freiburg, 12. November 2005

Kessler, G.; Goel, B.; Höbel, W.; Seifritz, W.

Strategy for proliferation resistance of Pu (denaturing).

Workshop on Future Nuclear Systems and Fuel Cycles, Karlsruhe, September 1-2, 2005

## Programm UMWELT: Nachhaltigkeit und Technik

### **Publikationen in begutachteten Zeitschriften**

Omar, A.S.; Akhtar, M.J.

A generalized technique for the reconstruction of permittivity profiles with a controllable resolution in an arbitrary coordinate system.

IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 53(2005) S.294-304

DOI:10.1109/TAP.2004.838784

Paulson, M.; Feher, L.; Thumm, M.

Parameter optimisation modeling using stationary 1D-electrothermal model to improve temperature homogeneity.

Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 39(2004) Nr. 3/4, S.141-51

Pliquett, U.; Gallo, S.; Hui, S.W.; Gusbeth, Ch.; Neumann, E. Local and transient structural changes in stratum corneum at high electric fields: Contribution of Joule heating.

Bioelectrochemistry, 67(2005) S.37-46

DOI:10.1016/j.bioelechem.2004.12.003

Sack, M.; Schultheiss, C.; Bluhm, H.

Triggered Marx generators for the industrial-scale electroporation of sugar beets.

IEEE Transactions on Industry Applications, 41(2005) S.707-14

DOI:10.1109/TIA.2005.847307

Zaretsky, E.B.; Kanel, G.I.; Razorenov, S.V.; Baumung, K.

Impact strength properties of nickel-based refractory superalloys at normal and elevated temperatures.

International Journal of Impact Engineering, 31(2005) S.41-54

DOI:10.1016/j.ijimpeng.2003.11.004

### **Sonstige Publikationen, die in gedruckter Form vorliegen:**

Akhtar, M.J.; Feher, L.; Thumm, M.

A generalized approach for measuring the dielectric properties of lossy composite materials.

4th World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004

New York, N.Y.: AIChE, 2005 S.146-47

Schulz, R.L. [Hrsg.]

Microwave and Radio Frequency Applications : Proc. of the 4th World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004

Arnold, Md.: The Microwave Working Group, Ltd., 2005

S.383-90

Akhtar, M.J.; Feher, L.; Thumm, M.

A multi-layered waveguide technique for determining permittivity and conductivity of composite materials.

Menzel, W. [Hrsg.]

German Microwave Conf.(GeMic 2005), Ulm, April 5-7, 2005

Proc. on CD-ROM S.37-40

Akhtar, M.J.; Feher, L.; Thumm, M.

Measurement of dielectric and conductive properties of avionic materials at 2.45 GHz using two-step approach.

39th Annual Microwave Symp., Seattle, Wash., July 13-15, 2005 Proc. S.58-61

Blacksburg, Va. : Internat.Microwave Power Institute, 2005

Akhtar, M.J., Feher, L.; Thumm, M.

The measurement of complex permittivity tensor of uniaxial anisotropic composite materials using a waveguide method.

Leonelli, C. [Hrsg.]

10th Internat.Conf.on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005

Proc.Book S.24-27

Modena: Universita degli Studi, Microwave Application Group, 2005

Arkhipov, A., Mishin, M.; Müller, G.; Sominski, G.

Apparatus for 2d electron energy analysis in high-power beams.

Engelko, V. [Hrsg.]

15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St.

Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.601-04

St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005

Auch als CD-ROM

Arkhipov, A.; Engelko, V., Kovalev, V.; Mishin, M.; Müller, G.; Sominski, G.

Energy and oscillatory characteristics of a high-power long-pulse electron beam.

Engelko, V. [Hrsg.]

15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St.

Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.170-73

St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005

Auch als CD-ROM

Bluhm, H.

Industrial scale processing and inactivation of biological cells with pulsed electric fields.

Non-Thermal Medical/Biological Applications of Ionized Gases and Electromagnetic Fields : ICOPS 2004 Minicourse,

Baltimore, Md.; July 1-2, 2004

Proc. on CD-ROM

Norfolk, Va.: Center for Bioelectrics, Old Dominion University,

2005

Bluhm, H.; An, V.; Baumung, K.; Brenner, P.; Buth, L.; Engelko, V.; Frey, W.; Giese, H.; Gusbeth, C.; Heinzel, A.; Hoppe, P.; Müller, G.; Sack, M.; Schultheiss, C.; Singer, J.; Strässner, R.; Weisenburger, A.

Progress in high-power-particle beams and pulsed power for industrial applications at Forschungszentrum Karlsruhe

Engelko, V. [Hrsg.]

15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St.

Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.607-12

St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005

Auch als CD-ROM

Feher, L.; Thumm, M.

Aerospace CFRP structure fabrication with the 2.45 GHz Hephaistos system.

Miyake, S. [Hrsg.]

Novel Materials Processing by Advanced Electromagnetic

Energy Sources (MAPEES'04): Proc.of the Internat.Symp.,

Osaka, J, March 19-22, 2004

Kidlington [u.a.]: Elsevier, 2005 S.129-34

Feher, L.; Thumm, M.; Drechsler, K.

Development of an industrial 2.45 GHz HEPHAISTOS-CA2

microwave processing system for avionic composite fabrication.

39th Annual Microwave Symp., Seattle, Wash., July 13-15, 2005

Proc. S.53-57

Blacksburg, VA.: Internat.Microwave Power Institute, 2005

Feher, L.; Drechsler, K.

Development of industrial 2.45 GHz microwave processing technology for composite applications.

Composites Europe 2005, Barcelona, E, October 6-7, 2005

Proc.on CD-ROM 6th7

- Feher, L.; Drechsler, K.; Filsinger, J.; Thumm, M.  
Development of the industrial 2.45 GHz HEPHAISTOS-CA2 microwave processing system for composite fabrication.  
Leonelli, C. [Hrsg.]  
10th Internat.Conf.on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005  
Proc.Book S.56-59  
Modena: Universita degli Studi, Microwave Applications Group, 2005. Auch auf CD-ROM
- Feher, L.; Borie, E.  
Electromagnetic wave propagation – a methodical discussion on field prediction techniques.  
Leonelli, C. [Hrsg.]  
10th Internat.Conf.on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005  
Proc.Book S.412-14  
Modena: Universita degli Studi, Microwave Applications Group, 2005. Auch auf CD-ROM
- Feher, L.; Thumm, M.; Drechsler, K.  
Gigahertz and nanotubes – perspectives for innovations with novel industrial microwave processing technology.  
Nanomat 6. Szene : Workshop des Netzwerks Nanomaterialien des BMBF, Karlsruhe, 7.-8. April 2005
- Feher, L.; Nuss, V.; Seitz, T.; Thumm, M.  
Industrial composite curing with the 2.45 GHz HEPHAISTOS system.  
4th World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004  
New York, N.Y.: AIChE, 2005, S.35-37
- Feher, L.; Filsinger, J.  
New approaches for the application of microwave heating for processing composite materials in the aeronautic industry.  
39th Annual Microwave Symp., Seattle, Wash., July 13-15, 2005  
Proc.S.50-52  
Blacksburg, Va.: Internat.Microwave Power Institute, 2005
- Gräber, R.; Feher, L.; Drechsler, K.; Filsinger, J.  
Microwave curing of high performance composite materials for aerospace applications with HEPHAISTOS.  
39th Annual Microwave Symp., Seattle, Wash., July 13-15, 2005  
Proc.S.62-65  
Blacksburg, Va.: Internat.Microwave Power Institute, 2005
- Hunyar, C.; Feher, L.; Thumm, M.  
Simulations and experiments on the effects of millimeter-wave heating of orthotropic and anisotropic CFRP composites.  
4th World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Tex., November 7-12, 2004  
New York, N.Y.: AIChE, 2005 S.170-71
- Müller, G.; Engelko, V.I.; An, V.; Bluhm, H.J.; Kuznetsov, V.S.; Kovalev, V.G.; Vyazmenova, G.A.  
Investigation of mechanisms leading to precession of intense electron beams.  
Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.75-80  
St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005  
Auch als CD-ROM
- Muscher, H.  
The first approach of turbulence modelling for the description of eddies in thin Al-layers.  
Turbulente Strömungen im Fokus von Physik und Technik: WE-Heraeus Ferienschule für Physik, Potsdam, 12.-15. September 2005. CD-ROM. Postdam: Universität Potsdam, 2005
- Paulson, M.; Feher, L.; Thumm, M.  
Quasi-stationary electro-thermal heating model for microwave/hybrid-processed materials using Greens function techniques.  
Miyake, S. [Hrsg.]  
Novel Materials Processing by Advanced Electromagnetic Energy Sources (MAPEES'04): Proc.of the Internat.Symp., Osaka, J, March 19-22, 2004  
Kidlington [u.a.]: Elsevier, 2005 S.125-28
- Prinz, H.O.; Arnold, A.; Koppenburg, K.; Thumm, M.  
Development of a broadband real-time frequency measurement system for high power mm-wave gyrotrons.  
Menzel, W. [Hrsg.]  
German Microwave Conf. (GeMic 2005), Ulm, April 5-7, 2005  
Proc.on CD-ROM S.41-44
- Schultheiss, C.; Brenner, P.; Buth, L.; Bluhm, H.  
Survey on pulsed electron beam deposition work in technique and medicine.  
Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St.Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc.S.674-72  
St.Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res.Inst., 2005  
Auch als CD-ROM
- Shulov, V.A.; Engelko, V.I.; Müller, G.; Tkachenko, K.I.; Paikin, A.G.; Belov, A.B.  
Mechanisms of element redistribution into the surface layer of refractory alloy parts during their irradiation by intense pulsed electron beams.  
Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.647-50  
St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005  
Auch als CD-ROM
- Shulov, V.A.; Engelko, V.I.; Müller, G.; Paikin, A.G.; Belov, A.B.; Lvov, A.F.  
Mechanisms of salt corrosion resistance alterations of refractory steels irradiated by intense pulsed electron beams.  
Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.651-54,  
St.Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005  
Auch als CD-ROM
- Shulov, V.A.; Engelko, V.I.; Müller, G.; Paikin, A.G.  
Processing of gas turbine engine blades with intense pulsed electron beams.  
Engelko, V. [Hrsg.]  
15th Internat.Conf.on High-Power Particle Beams, St. Petersburg, Russia, July 18-23, 2004. Proc. S.618-21  
St. Petersburg: D.V. Efremov Scientific Res. Inst., 2005  
Auch als CD-ROM
- Stanculovic, S.; Feher, L.; Thumm, M.  
Design of nonresonant slotted waveguide feeds for 2.45 GHz industrial microwave heating systems.  
Leonelli, C. [Hrsg.]  
10th Internat.Conf.on Microwave and High Frequency Heating, Modena, I, September 12-15, 2005  
Proc.Book S.454-57  
Modena: Universita degli Studi, Microwave Application Group, 2005. Auch auf CD-ROM
- Stanculovic, S.; Feher, L.; Thumm, M.  
Slotted waveguides for 2.45 GHz industrial applicators.  
Noordwijk: ESA, 2005 S.21-24, WPP-246

Stanculovic, S.; Feher, L.; Thumm, M.  
Optimization of slotted waveguides for 2.45 GHz applicators using novel slot types.  
Miyake, S. [Hrsg.]  
Novel Materials Processing by Advanced Electromagnetic Energy Sources (MAPEES'04): Proc.of the Internat.Symp., Osaka, J, March 19-22, 2004  
Kidlington [u.a.]: Elsevier, 2005 S.135-38

Weisenburger, A.; Landhäußer, E.; Müller, G.; Puls, C.  
Increase of wear resistance of gears by hardening applying pulsed electron beam.  
Internat.Conf.on Gears: Europe invites the World, Garching, September 14-16, 2005  
Düsseldorf: VDI-Verl., 2005 S.1055-70 (VDI-Berichte; 1904.2)

#### **Vorträge, die nicht in gedruckter Form vorliegen:**

An, W.; Baumung, K.; Bluhm, H.J.  
Investigation of pulsed corona discharges in water by fast imaging diagnostics.  
15th IEEE Pulsed Power Conf., Monterey, Calif., June 13-17, 2005  
32nd IEEE Internat.Conf.on Plasma Science (ICOPS 2005), Monterey, Calif., June 18-23, 2005. Book of Abstracts S.342

Bluhm, H.  
Gepulste elektrische Felder zur Zellmanipulation: Vom Labor zur technischen Anwendung.  
Physik seit Albert Einstein: 69. Jahrestagung der DPG, Berlin, 4.-9. März 2005  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.40(2005) SYPP 1.3

Bluhm, H.J.; Sack, M.; Schultheiss, C.; Brenner, P.; Frey, W.; Gusbeth, C.  
Efficient exploitation of plant cells by pulsed electric fields.  
Internat.COE Forum on Pulsed Power Science, Kumamoto, J, November 13, 2005

Bluhm, H.J.; An, W.; Baumung, K.; Frey, W.; Gupta, S., Gusbeth, C.  
Pulsed electric fields and underwater corona discharges for sewage water treatment.  
Internat.COE Forum on Pulsed Power Science, Kumamoto, J, November 13, 2005

Frey, W.; Kolb, J.F.; Schoenbach, K.H.; Beebe, S.J.  
Echtzeitmessung der Membranaufladung bei Säugerzellen in gepulsten elektrischen Feldern im Nanosekundenbereich.  
Physik seit Albert Einstein: 69. Jahrestagung der DPG, Berlin, 4.-9. März 2005  
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, R.6, B.40(2005) K 5.3

Gupta, S.B.; Bluhm, H.  
Investigation of underwater streamer discharges for water disinfection.  
2nd Workshop on Cold Atmospheric Plasma Discharges, Brügge, B, August 30 – September 2, 2005

Kolb, J.; Frey, W.; White, J.A.; Price, R.O.; Blackmore, P.F.; Beebe, S.J.; Joshi, R.P.; Schoenbach, K.H.  
Measurements of the transmembrane voltage in biological cells for nanosecond pulsed electric field exposures.  
15th IEEE Pulsed Power Conf., Monterey, Calif., June 13-17, 2005

Kolb, J.F.; Frey, W.; White, J.A.; Price, R.O.; Blackmore, P.F.; Beebe, S.J.; Joshi, R.P.; Schönbach, K.H.  
Real-time imaging of membrane potentials during exposure to nanosecond pulsed electric fields.  
Photonics West: Lasers and Applications in Science and Engineering, San Jose, Calif., January 25-27, 2005

Kolb, J.F.; Frey, W.; White, J.A.; Price, R.O.; Blackmore, P.F.; Beebe, S.J.; Joshi, R.P.; Schoenbach, K.H.  
Real-time imaging of transmembrane voltages of Jurkat cells exposed to nanosecond pulsed electric fields.  
4th Internat.Symp. on Nonthermal Medical/Biological Treatments using Electromagnetic Fields and Ionized Gases (ELECTROMED), Portland, Oreg., May 15-18, 2005

Sack, M.; Bluhm, H.  
Long-term test of a triggered Marx-generator in repetitive operation.  
15th IEEE Pulsed Power Conf., Monterey, Calif., June 13-17, 2005

Schrooten, J.; Bobin-Dubreux, S.; Eloy, R.; Brenner, P.; Vander Sloten, J.; Schultheiss, C.  
Cytotoxicity control of bioactive glass S53P4 thin coating.  
19th European Conf.on Biomaterials, I, September 11-15, 2005

#### **Erteilte Patente**

Feher, L.; Link, G.  
Hochmodiger Mikrowellenresonator zur thermischen Prozessierung.  
DE-PS 10 329 412 (31.1.2005)  
DE-OS 10 329 412 3.2.2005)  
EP-OS 1 494 506 (5.1.2005)

Feher, L.  
Kompaktes millimeterwellentechnisches System zum Enteisen und/oder Vorbeugen einer Vereisung der äußeren Oberfläche von meteorologischen Einflüssen ausgesetzten Hohlraum- oder Schalenstrukturen.  
Compact millimeterwave system for de-icing and for preventing the formation of ice on the outer surfaces of shell structures exposed to meteorological influences.  
DE-OS 10 016 259 (18.10.2001)  
DE-PS 10 016 259 (16.1.2002)  
US-PS 6 642 490 (4.11.2003)  
EP-PS 1 284 903 (12.1.2005)

Feher, L.; Pabsch, A.  
Microwave device for de-icing, or keeping hollow bodies free from ice and method for the operation of the device.  
US-PS 6 787 744 (7.9.2004)  
EP-OS 1 377 503 (7.1.2004)  
EP-PS 1 377 503 (23.2.2005)

Feher, L.; Nuss, V.; Seitz, T.; Flach, A.  
Mikrowellenresonator, eine aus einem solchen Mikrowellenresonator modular aufgebaute Prozessstraße, ein Verfahren zum Betreiben nach diesem Verfahren thermisch prozessierte Gegenstände/Werkstücke mittels Mikrowelle.  
DE-PS 10 329 411 (31.1.2005)  
DE-OS 10 329 411 (10.2.2005)  
WO-OS 2005/00452 (13.1.2005)



Frey, W.

Rotationssymmetrische Elektrodenanordnung aus einer mit Hochspannung beaufschlagten, stabförmigen Elektrode. Maßnahmen zur Vermeidung von lokal zerstörerisch wirkenden elektrischen Felddichten an einer rotations-symmetrischen Elektrode.

DE-OS 10 126 646 (1.6.2002)

DE-PS 10 126 646 (23.10.2002)

EP-OS 1 266 693 (18.12.2002)

EP-PS 1 266 693 (5.10.2005)

Giese, H.; Edinger, W.; Hoppe, P.; Singer, J.; Stemmermann, P.; Schweike, U.

Prozessreaktor und Betriebsverfahren für die elektrodynamische Fragmentierung.

DE-OS 10 346 650 (19.5.2005)

Giese, H.; Frey, W.; Sträßner, R.; Schormann, A.; Giron, K.

Verfahren zum Betreiben einer Fragmentierungsanlage und Fragmentieranlage zur Durchführung des Verfahrens.

DE-PS 10 342 376 (3.2.2005)

Sack, M.

Trigger-/Zündeinrichtung an einem aus n Stufenkondensatoren bestehenden Marx-Generator.

DE-OS 10 320 425 (16.12.2004)

Schultheiss, C.; Kern, M.

Elektroporationsreaktor zur kontinuierlichen Prozessierung von stückigen Produkten.

DE-PS 10 144 479 (3.4.2003)

EP-OS 1 424 910 (9.6.2004)

HU-OS 0 401 095 (28.9.2004)

PL-OS 367 363 (21.2.2005)

Schultheiss, C.; Frey, W.; Söhner, M.

Gepulste Plasmaquelle für einen gasgefüllten Teilchenbeschleuniger. Gasgefüllter Teilchenbeschleuniger mit einer gepulsten Plasmaquelle.

DE-OS 19 849 894 (29.6.2000)

DE-PS 19 849 894 (28.1.2000)

EP-PS 1 123 641 (1.6.2005)

Schultheiss, C.; Buth, L.H.O.

Kanalfunkenquelle zur Erzeugung eines stabil gebündelten Elektronenstrahls.

DE-PS 10 207 835 (15.1.2003)

EP-OS 1 479 090 (24.11.2004)

Schultheiss, C.

Verfahren zum kontinuierlichen nichtthermischen Aufschluß und Pasteurisieren industrieller Mengen organischen Prozessguts durch Elektroporation und Reaktor zum Durchführen des Verfahrens.

Method and reactor for the non-thermal decomposition and pasteurisation of organic process materials by electroporation.

DE-PS 10 144 486 (11.11.2002)

EP-OS 1 425 104 (9.6.2004)

PL-OS 367 359 (21.2.2005)

Väth, W.; Frey, W.

Verfahren zur rechnergestützten Prozessführung einer Fragmentieranlage.

DE-PS 10 302 867 (17.11.2003)

EP-OS 1 585 597 (19.10.2005)