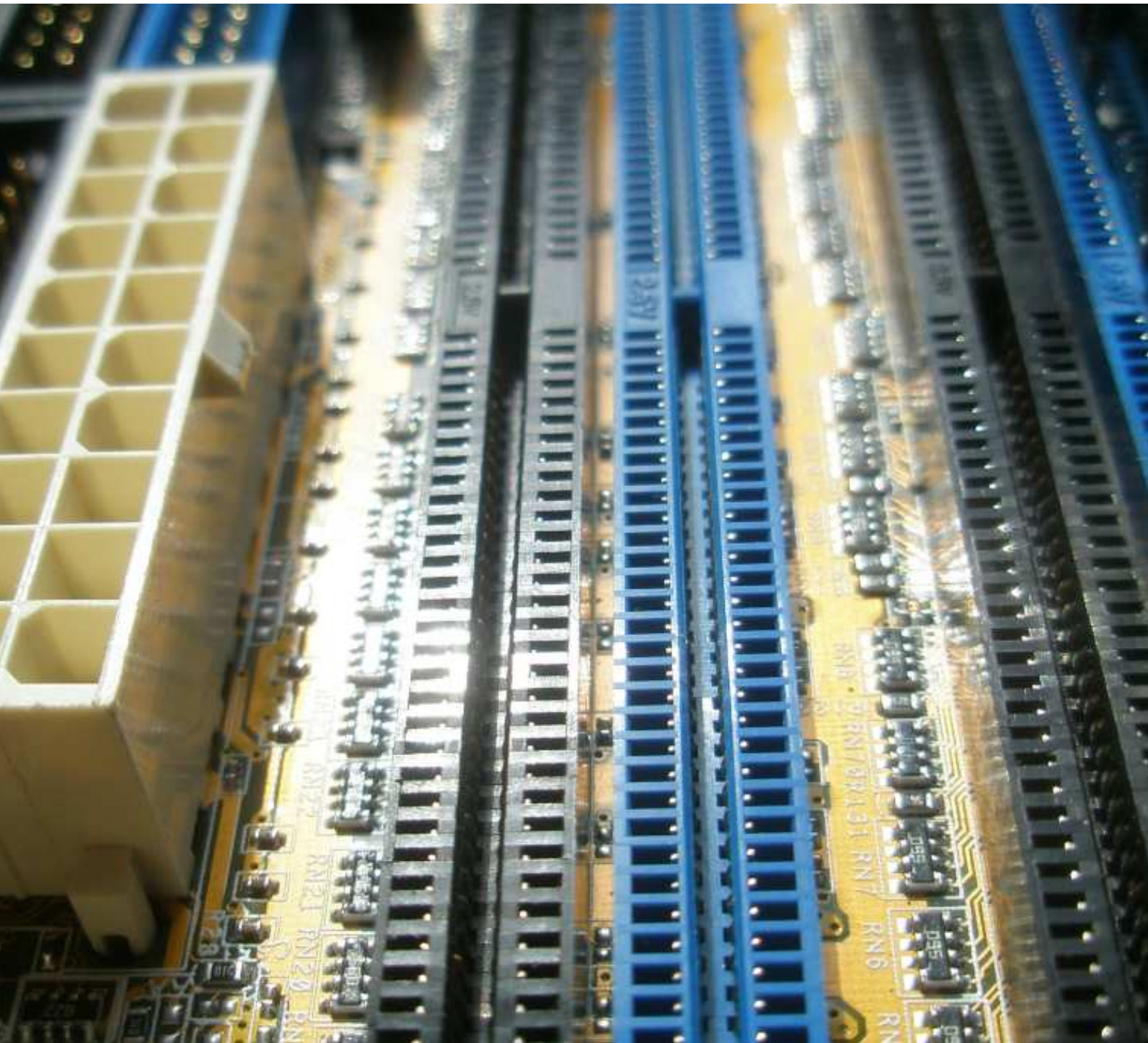


# E Forum



Magazin des Departments Informations- und Elektrotechnik

Jahrgang  
2009



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Inhalt

10 Jahre Bologna-Prozess FRANZ SCHUBERT	3
Neuer Studiengang Mechatronik HANS PETER KÖLZER, THOMAS FRISCHGESELL	4
Anwendungen dynamischer Systeme – ein neuer Forschungsschwerpunkt im Department THOMAS HOLZHÜTER, ULFERT MEINERS, KARL-RAGMAR RIEMSCHEIDER	8
Personalien – neu berufene Professoren am Department THOMAS LEHMANN, MICHAEL RÖTHER	11
Projekt ProSolar – Optisches Prüflabor JÖRG DAHLKEMPER	12
Ein Messgerät zur Bestimmung des Festkörperanteils bei der Meereisentstehung RENÈ FONTES, ROBERT FITZ, IRIS EHLERT	16
Technikgeschichte am Beispiel der Elektronenröhre JOACHIM GÖRTH	22

**IMPRESSUM**  
Hochschule für  
Angewandte Wissen-  
schaften Hamburg  
Fakultät Technik und  
Informatik  
Department  
Informations- und  
Elektrotechnik  
Berliner Tor 7  
20099 Hamburg

Redaktion:  
Prof. Dr.-Ing. Ulf Claussen  
E-MAIL:  
Ulf.Claussen@  
haw-hamburg.de

Titelfoto:  
Ulf Claussen

# 10 Jahre Bologna-Prozess

Im Jahre 1999 haben die Wissenschaftsminister den Beschluss gefasst, bis zum Jahr 2010 einen Europäischen Hochschulrahmen zu schaffen. Diese Grundsatzenscheidung wurde ohne die Absprache mit den Hochschulen getroffen. Erst zwei Jahre später, als es um die Umsetzung ging, sollten die Hochschulen in den Prozess einbezogen werden. Gespräche wurde höchstens mit den Leitungen der Hochschulen, nicht aber mit den Studierenden und den Lehrenden geführt. So war es kein Wunder, dass sich aus den Hochschulen heraus kritische Stimmen und Widerstände gegen den Bologna-Prozess breit machten.

Dennoch haben laut Bundesministerium für Bildung und Forschung die Hochschulen in beeindruckender Weise die Umstellung auf die Bachelor- und Master-Studiengänge vollzogen. Zum Wintersemester 2008/2009 wurden bereits 75 % aller Studiengänge an deutschen Hochschulen als Bachelor-/Master-Kurse angeboten. Besonders bei den Fachhochschulen lag der Anteil der umgestellten Studiengänge schon bei 94 %.

Das beweist, dass die Fachhochschulen ihre Chance genutzt haben, gleichwertige Abschlüsse mit denen der Universitäten anzubieten. Auch haben sie es verstanden, ihre Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auszubauen, und damit hochwertige Master-Angebote zu schaffen. Es scheint, als ob die Fachhochschulen die Gewinner des Bologna-Prozesses sind.

Andererseits könnte die Hochschulart „Fachhochschule“ aus der Hochschullandschaft zukünftig ganz verschwinden. Schon in zehn von den 16 Bundesländern ist der Begriff durch den Namen „Hochschule“ ersetzt worden. Im Wettbewerb der Hochschulen kommt damit auf uns die wichtige Aufgabe zu, den neuen Hochschultyp zu definieren, der anwendungsorientierte Lehre und Forschung betreibt, um uns auch dann noch erfolgreich auf dem Hochschulmarkt behaupten zu können, wenn der „Studierendenberg“ in wenigen Jahren abgebaut sein wird.

In dieser Ausgabe des **E Forums** finden Sie Beiträge aus der Forschungs- und Entwicklungslandschaft des Departments Informations- und Elektrotechnik der HAW Hamburg, die Ihnen die Qualität der von uns angebotenen Ingenieurausbildung vor Augen führen soll.

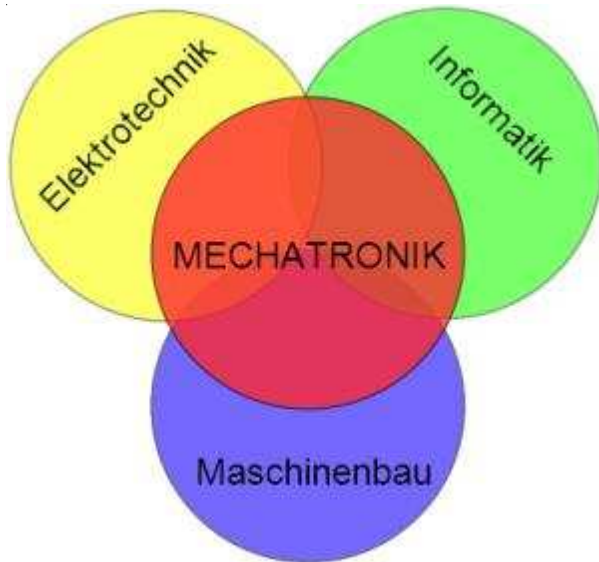
Ich wünsche Ihnen, liebe Leserinnen und Leser diese Magazins, eine interessante Lektüre.



**Prof. Dr.-Ing.  
FRANZ SCHUBERT**  
Leiter des  
Departments  
Informations- und  
Elektrotechnik

*Franz Schubert*





# Neuer Bachelorstudiengang Mechatronik

HANS PETER KÖLZER

Department Informations- und Elektrotechnik

THOMAS FRISCHGESELL

Department Maschinenbau und Produktion

Fakultät Technik und Informatik, Hochschule für Angewandte

Wissenschaften Hamburg

Bild 1:  
Mechatronik auf der Schnittstelle zwischen Elektrotechnik, Maschinenbau und Informatik

**Interdisziplinäre Studiengänge wie Mechatronik integrieren Mechanik, Feinwerktechnik sowie Optik, Elektrotechnik/Elektronik und Informatik. Die Forderung nach technischer Perfektion lässt ständig neue Produkte oder sich adaptierende Systeme entstehen. Damit verbunden steigt der Bedarf an kompetentem Personal. Absolventinnen und Absolventen der Mechatronik haben deshalb ideale Perspektiven für einen schnellen Berufseinstieg. Die HAW Hamburg hat reagiert.**

## Erfolgreicher Start

Zum vergangenen Wintersemester startete die Fakultät Technik und Informatik den Bachelorstudiengang Mechatronik und ergänzte damit das vorhandene Portfolio um ein attraktives Ausbildungsangebot. Die hohe Zahl der Studienbewerber gleich zu Beginn des ersten Durchlaufs bestätigte, dass im Hamburger Raum ein hinreichend großes Interesse unter Studierwilligen für dieses Fach besteht, um die Einrichtung dieses neuen Studienganges zu rechtfertigen. Die in Zukunft noch weiter wachsende Nachfrage nach Absolventen des Bachelorstudienganges Mechatronik hatte die Fakultät auch aus Gesprächen mit industriellen und institutionellen Partnern im Hamburger Umfeld abgeleitet, die Absolventen mit einer breit gefächerten Ausbildung benötigen, die Kompetenzen gleichzeitig in den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik mitbringen.

Begünstigt wurde die schnelle Einrichtung des Studienganges durch den Umstand, dass mit den bestehenden Departments Maschinenbau und Produktion, Informations- und Elektrotechnik, Informatik sowie Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau die Fakultät Technik und Informatik am Campus Berliner Tor die gesamte fachliche Kompetenz für den Aufbau des Studienganges Mechatronik zur Verfügung stellen konnte. Der Bachelorstudiengang Mechatronik wird von allen genannten Departments getragen und durch deren personelle und sächliche Ressourcen unterstützt.

Seit der Einführung des ersten eigenständigen Mechatronik-Studienganges im Jahre

1993 werden heute in Deutschland an Fachhochschulen und Universitäten bereits über 90 Studiengänge zu diesem Thema (Bachelor, Master, Duales Studium) angeboten.

## Warum Mechatronik?

Die Mechatronik ist ein multidisziplinäres Gebiet der Ingenieurwissenschaften, das aus den Disziplinen Maschinenbau, Feingeräte-technik, Elektrotechnik und Informatik entstanden ist. Sie befasst sich mit der Entwicklung und Produktion neuer integrierter mechanisch-elektronischer Systeme mit automatisierten und intelligenten Funktionen.

Mechatronische Systeme sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Egal ob sie in Form von aktiven Fahrwerken oder Sicherheitssystemen wie ABS, ASR und ESP das Autofahren angenehmer und sicherer machen, als Magnetlager vollkommen berührungslos und damit auch verschleißfrei schnell drehende Maschinenteile lagern oder in Form von mikromechanischen Systemen als winzige Pumpen oder Greifer millionenfach auf einer kleinen Siliziumscheibe hergestellt werden können.

Diese Systeme messen über Sensoren Signale, verarbeiten sie in eingebetteten Mikrorechnern und greifen über elektromechanische, pneumatische oder hydraulische Aktoren nach Prinzipien der Regelungstechnik in den mechanischen Prozess ein. Die Funktionen werden dabei außer durch die mechanischen Grundkonstruktionen durch die in Software realisierten Echtzeit-Regelalgorithmen festgelegt.



Prof. Dr.-Ing.  
HANS PETER KÖLZER  
E\_MAIL:  
koelzer@etech.haw-hamburg.de



Prof. Dr.-Ing.  
THOMAS  
FRISCHGESELL  
E\_MAIL:  
leiter-mp@rzbt.haw-hamburg.de

Deshalb erfordert die Mechatronik eine breite Ausbildung von den Grundlagen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik über die Computertechnik bis zur angewandten Informatik und zu Methoden der Computational Intelligence.

Die Integration von Elektronik, Elektrotechnik, Computertechnik und Regelungstechnik mit dem Maschinenbau gewinnt mehr und mehr an Bedeutung bei der Planung, Herstellung und Instandhaltung einer breiten Palette

von technischen Produkten und Prozessen. Die Innovationsfähigkeit in Hochtechnologiebranchen wie der Auto-, Flugzeug- und IT-Industrie hängt zum großen Teil an der Effizienz von Maschinen und Anlagenmodulen mit verteilter Intelligenz

Als Folge davon besteht für Ingenieure die Notwendigkeit, an die Projektierungsarbeit fachübergreifend und ganzheitlich heranzugehen. Der Begriff Mechatronik (Mechanical Engineering-Electronic Engineering) - ein Kunstwort - steht für diese ganzheitliche Herangehensweise. Er wurde ab 1969 von der japanischen Firma Yaskawa Electric Corporation geprägt. Mechatronik lässt sich auch von den drei Kernpunkten des Fachbereiches ableiten. Mechanik und Elektronik als Hauptbereiche, und als Verknüpfung der beiden Teilgebiete die Informatik (Bild 1).

Der Entwickler moderner Geräte und Maschinen steht heute vor der Aufgabe, neuste Technologien aus den Fachgebieten Mechanik, Elektronik, Optik und Informatik zu beherrschen und zusammenzuführen.

### Aufbau und Inhalte

Das siebensemestrige Bachelorstudium (Bild 2) vermittelt den Studierenden insbesondere die Grundlagen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik. Die mechatronischen Grundelemente, Sensoren und Aktoren, sowie die Steuer- und Regelungstechnik zusammen mit der Informatik werden besonders intensiv behandelt.

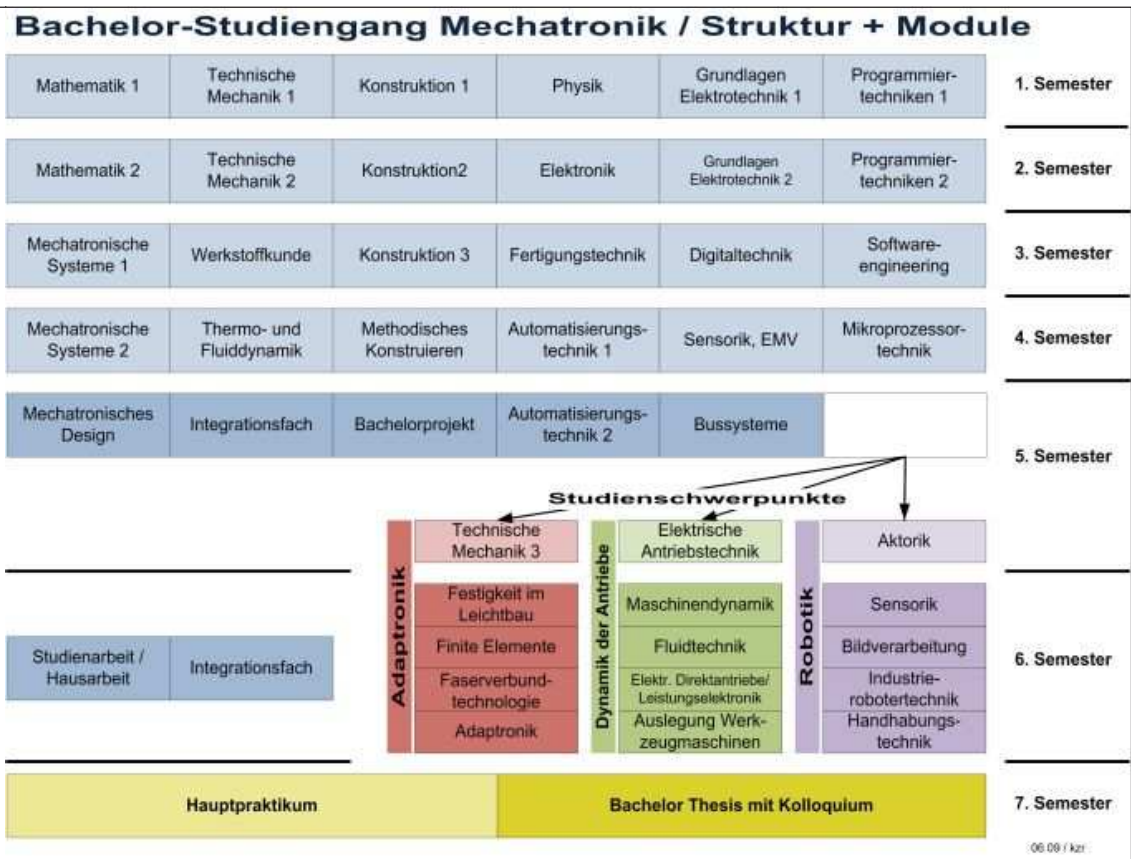


Bild 2: Struktur des Studiengangs Mechatronik

In den ersten Semestern liegt der Schwerpunkt auf den Fächern Mathematik, Mechanik, Elektrotechnik, Digitaltechnik, Konstruktion und Systemtheorie. Dabei wird insbesondere auf den Einsatz computergestützter Methoden vorbereitet. Natürlich lernen die Studenten nicht nur mit „Bleistift und Papier“: Zu den meisten technischen Fächern findet ein Praktikum in einem der Labore der Fakultät statt, in dem systematisch in die Durchführung elektrotechnischer und maschinenbautechnischer Laborarbeit eingeführt wird. Parallel dazu findet eine systematische Ausbildung in den Grundlagen des Programmierens statt.

Ab dem fünften Semester können die Studierenden dank einer modular aufgebauten Studienstruktur eigene Schwerpunkte setzen und zwischen den folgenden drei Studien

Bild 3: Studierende bei der Projektarbeit







**Bild 4:**  
Roof-Control-Modul  
(Quelle: www.kuka.com)

- schwerpunkten wählen:
- Adaptronik
  - Dynamik der Antriebe
  - Robotik

Auch innerhalb der Studienschwerpunkte gehört die praktische Erfahrung im Labor bzw. am Rechner mit zum Ausbildungsziel innerhalb dieses Bachelorstudiums.

Im 7. Semester absolvieren die Studierenden ein berufspraktische Phase im Umfang von 12 Wochen in einem Industriebetrieb eigener Wahl. In dieser berufspraktischen Phase werden praxisrelevante Themen auf ingenieurmäßigem Niveau selbständig bearbeitet, die im Verlauf des Studiums erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten können dabei ausprobiert werden. Diese berufspraktische Phase mündet schließlich im weiteren Verlauf des 7. Semesters in eine Abschlussarbeit, die in der Regel im gleichen Industriebetrieb angefertigt wird.

**Bild 5:**  
Experimentierfahrzeug  
(HAW)



Die Abschlussarbeit kann aber auch in einem der zahlreichen Labore der Fakultät durchgeführt werden.

Durch die frühzeitige Verbindung von Theorie und Anwendung und die Integration einer längeren Praxisphase wird die geforderte Berufsfähigkeit des Bachelor-Absolventen sichergestellt.

Damit verfügen die Absolventinnen und Absolventen über eine Qualifikation, die ihnen den Zugang sowohl zu den regionalen Arbeitsmärkten – zu denen eine Vielzahl von mittelständischen, aber auch national und international tätigen Großunternehmen gehören – als auch zu den nationalen und internationalen Arbeitsmärkten ermöglicht. Sie profitieren von den guten Erfahrungen, die die Unternehmen mit den Absolventen der Fakultät Technik und Informatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg in den vergangenen Jahrzehnten gemacht haben.

Die Regelstudienzeit beträgt sieben Semester und führt zum Hochschulabschluss Bachelor of Science (B.Sc).

## Ausbildungsziele

Wichtigstes Ziel der Ausbildung ist die Entwicklung von Fähigkeiten zur ganzheitlichen Betrachtungsweise mechatronischer Systeme auf der Grundlage der drei Komponenten Maschinenbau, Elektrotechnik/Elektronik und Informatik. Es geht demnach gerade nicht darum, Teilsysteme separat zu entwerfen, zu fertigen und zu optimieren, sondern den Blick auf integrierte Gesamtsysteme zu richten. Damit erlangen die Studierenden eine Qualifikation, mit der sie branchenübergreifend einsetzbar sind.

Nicht nur Unternehmen aus der Elektrotechnik oder aus dem Maschinen- und Anlagenbau benötigen Mechatroniker. Vielmehr bieten sich Einsatzmöglichkeiten in allen Betrieben, die über eigene Produktions- und Fertigungsanlagen verfügen. Bei deren Instandhaltung, Weiterentwicklung und Installation sind Mechatroniker nicht mehr wegzudenken. Sie werden eingesetzt als Entwickler, Projektleiter, in der Beratung und an vielen Schnittstellen vom Rohstoff, über das fertige Produkt bis hin zum Kunden.

Der Studiengang Mechatronik soll zu Tätigkeitsfeldern hinführen, die die Vernetzung der Fachgebiete Elektrotechnik, Maschinenbau und der Informatik erfordern. Durch den interdisziplinären Charakter der Ausbildung sollen die Absolventen zu einer eigenverantwortlichen Ingenieur Tätigkeit in folgenden Arbeitsgebieten befähigt werden:

- Entwicklung (Konzeption, Entwurf, Berechnung, Modelbildung, Simulation und Konstruktion von Hardware und Software für

mechatronische Bauelemente, Geräte, Systeme und Anlagen),

- Fertigung (Arbeitsvorbereitung, Produktion), Qualitätssicherung, Projektierung (Systementwurf von mechatronischen Komponenten),
- Vertrieb (Kundenberatung und Projektentwicklung),
- Montage,
- Inbetriebsetzung und Service,
- Betrieb und Instandsetzung,
- Überwachung und Begutachtung.

Die Absolventen werden in die Lage versetzt, durch mechatronische Denkansätze neue technische Anwendungen über die Entwicklung und Fertigung bis hin zur Produktreife zu führen. Es werden bewusst keine Spezialisten ausgebildet, deren Kenntnisse schon innerhalb kurzer Zeit veraltet wären. Eine breite Ausbildung erreicht vielmehr, dass im Studium erworbenes Wissen langfristig nutzbringend eingesetzt und zukunftsicher weiterentwickelt werden kann.

## Berufsaussichten

Die Chancen angehender Mechatroniker auf dem Arbeitsmarkt gelten derzeit und für die Zukunft als ausgezeichnet. Durch die sehr breite auf Teamarbeit und interdisziplinäre Fähigkeiten angelegte Ausbildung bietet sich den Mechatronik-Ingenieuren und eine große Zahl von Tätigkeitsfeldern in den Bereichen Entwicklung und Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Produktionstechnik, Fertigung und Montage, Qualitätssicherung, aber auch im Vertrieb. Aufgrund des erworbenen Systemdenkens stehen auch Führungspositionen offen. Durch die intensiven Ausbildungsteile in der Informationstechnik können die Absolventen auch in allen Berufsfeldern der technischen Informatik tätig zu werden. Viele der ca. 8000 größeren und kleineren Unternehmen des Maschinenbaus und der Elektrotechnik in Deutschland wenden inzwischen mechatronische Konzepte bei der Produktentwicklung an.

Die Prognosen der Industrie- und Berufsverbände schätzen die Berufschancen der Mechatroniker als besonders gut ein. In diesem Bereich wird auch in Zukunft der Bedarf an gut ausgebildeten Ingenieuren nicht von den Absolventen der Hochschulen gedeckt werden können. Dies bezieht sich nicht nur auf die Metropolregion Hamburg, sondern gilt weltweit.

Durch die zunehmende Durchdringung maschinenbaulicher Produkte von Mechatronik werden die Absolventen in der

- Automobilindustrie,
- Luft- und Raumfahrtindustrie,
- Roboter- und Automatisierungstechnik,

- Medizintechnik,
  - Haushalts- und Consumerindustrie,
  - Produktions- und Fertigungstechnik,
  - Anlagen- und Maschinenbau,
  - Feinwerktechnik,
  - Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie
- benötigt. Besonders für mittelständische Unternehmen sind sie besonders geeignet, fachübergreifende Aufgaben wahrzunehmen.

## Weiterführende Studiengänge:

Studierende, die einen überdurchschnittlich guten Bachelorabschluss erzielen, können sich an der HAW Hamburg innerhalb der Fakultät Technik und Informatik mit einem der folgenden dreisemestrigen Masterstudiengänge weiterqualifizieren:

- M.Eng. Automatisierung
- M.Sc. Mikroelektronische Systeme
- M.Eng. Berechnung und Simulation mechanischer Systeme
- M.Eng. Innovative Energiesysteme
- M.Eng. Produktionstechnik und -management
- M.Sc. Fahrzeugtechnik
- M.Sc. Flugzeugbau

Bild 6:  
Flexible Fertigung im  
Automobilbau  
(Quelle: www.kuka.com)





# Anwendungen Dynamischer Systeme – ein neuer Forschungsschwerpunkt im Department



Prof. Dr.  
THOMAS  
HOLZHÜTER

E-MAIL:  
holzhueter@etech.  
haw-hamburg.de



Prof. Dr.-Ing.  
ULFERT MEINERS

E-MAIL:  
meiners@etech.  
haw-hamburg.de



Prof. Dr.-Ing.  
KARL-RAGMAR  
RIEMSCHNEIDER  
E-MAIL:  
riemschneider@etech.  
haw-hamburg.de

Im Department Informations- und Elektrotechnik wurde der Forschungsschwerpunkt Anwendungen Dynamischer Systeme (ADYS) gegründet. Beteiligt sind fünf Professoren und fünf wissenschaftliche Mitarbeiter. EForum fragt bei den Professoren Holzhüter, Meiners und Riemschneider nach.

**EForum:** *Das Wort Forschungsschwerpunkt klingt nach allgemeiner Hochschulpolitik. Was genau haben Sie vor?*

**Holz­hüter:** Unsere Projekte haben vier sehr konkrete Anwendungen:

Eine Anwendung ist die Zustandserkennung bei ABS-Sensoren, das Ziel ist mehr Sicherheit für das Autofahren.

Im zweiten Vorhaben geht es um das Zusammenwirken von Navigationsinformationen auf einer modernen Schiffsbrücke voller Computer und Sensoren, auch hier geht es um Sicherheit.

Das dritte Projekt betrifft die bessere Lastverteilung in elektrischen Energienetzen, also letztlich eine effiziente Energieverwendung. Und in der vierten Anwendung geht es um Selbstorganisation in verteilten Rechnersystemen, was eine ressourceneffiziente Software erlaubt.

**Riemschneider:** Unser Forschungsschwerpunkt ist ebenso konkret, wie die vier laufenden Projekte, die in diesem Schwerpunkt gebündelt werden. Die Projekte werden von externen Geldgebern – also nicht aus Haushaltsmitteln der HAW oder gar aus Studiengebühren – bezahlt. Die Drittmittelgeber sind das Bundesforschungsministerium und die Industrie. Sie erwarten konkrete Ergebnisse, wenn sie die Mittel an die HAW geben.

**EForum:** *Fünf Professoren in vier Projekten – wo liegen dabei die Gemeinsamkeiten?*

**Meiners:** Jedes Projekt hat seine eigene Anwendung. Zugleich gibt es auch Gemeinsamkeiten, so zum Beispiel in der mathematischen Modellierung.

In allen Anwendungen brauchen wir Rechen-

modelle. Diese Modelle beschreiben wir durch Differential- und Differenzen-Gleichungen. Unsere Werkzeuge sind die Zustandsraum-Darstellung, die Fourier-, Laplace-Transformierte oder die Spektraldarstellung.

Die Rechenmodelle werden in allen vier Projekten für modellbasierte Entwurfsverfahren und Simulationen eingesetzt, um damit beispielsweise Sensoreinstellungen zu bestimmen oder Signalfilter für das Gesamtsystem auszulegen.

Diesen Systemgedanken finden wir übergreifend in allen Projekten unseres Forschungsschwerpunkts.

**Riemschneider:** Wichtig ist es, den aktuellen Zustand eines dynamischen Systems präzise zu beschreiben und zu erkennen. Ein Beispiel ist eine Selbstdiagnose der Sensoren für die Bremsen im Auto. Erkennt ein Sensor zukünftig selbst, ob er „ordentlich“ arbeitet oder nicht, gibt es für den ABS-Eingriff in das Bremssystem ein höheres Zuverlässigkeitsniveau.

**Holz­hüter:** Bei der Schiffsnavigation werden Informationen von vielen Sensoren – wie z.B. vom GPS, Radar oder Kreiselkompass – mit Informationen über die aktuelle Schiffsbewegung zusammengefasst. Wir wollen diese Eingangsinformationen automatisch bewerten und zu einer konsistenten Navigationsinformation fusionieren. Die Firma, die uns beauftragt hat, wird dies als Prototypen in einem verbesserten, computergestützten Schiffs-Navigationssystem verwenden.

**EForum:** *Was nützt ein Forschungsschwerpunkt unseren Studenten? Haben die Professoren nun weniger Zeit für die Lehre?*

**Riemschneider:** Forschungsprojekte sind



kein Freizeitvergnügen, bedeuten also viel Zeitaufwand. Andererseits können Studenten, Mitarbeiter und Professoren durchaus viel Freude an der gemeinsamen Arbeit entwickeln, wenn sie etwas wirklich Neues herausfinden.

**Meiners:** Dadurch, dass viele Studentinnen und Studenten aktiv in unseren Projekten mitarbeiten, bekommen sie Kontakt zu aktuellen Forschungsgebieten. Das ergänzt das Studium in idealer Weise. Das gilt schon für das Bachelor- und natürlich ganz besonders für das Masterstudium.

**EForum:** *Wie ist es für Studierende möglich und sinnvoll mitzuarbeiten?*

**Holzhüter:** In den Projekten bieten wir eine Reihe von Abschlussarbeiten an, einige sind bereits sehr erfolgreich fertig gestellt worden.

**Riemschneider:** Wenn die Arbeit im Rahmen eines Projekts gebraucht wird, so ist eine gute Betreuung vorprogrammiert. Ich habe dabei echte Teamarbeit zwischen Studenten und Mitarbeitern erlebt.

Nach meinen bisherigen Erfahrungen hatten die Studenten mit anspruchsvollen Diplomthemen aus den Forschungsprojekten einen glänzenden Berufseinstieg. Selbstverständlich hatten sie auch vorher im Studium kräftigen Einsatz gezeigt.

**EForum:** *Sollen Drittmittel an die Stelle knapper Haushaltsmittel treten?*

**Meiners:** Die Summe an Drittmitteln, die in den vier Projekten insgesamt eingeworben wurde, beträgt über eine dreiviertel Million Euro.

Die Fakultät Technik und Informatik hat die 12-Millionengrenze bei laufenden und geplanten Drittmittelprojekten überschritten. Das ist wirklich beachtlich und soviel wie nie zuvor.

Dennoch kann und sollte das eingeworbene Geld nicht die Haushaltsmittel ersetzen. Die Drittmittel sind an konkrete Vorhaben gebunden. Es sind dabei Ziele gesetzt, welche die tägliche Arbeit der Hochschule ergänzen, sie aber nicht ersetzen.

**Riemschneider:** Seit Jahrzehnten werden in Haushaltsplänen allerhöchstens 7% für Forschung an der Fachhochschule

zugestanden und zwar als „Kann-Bestimmung“. Dieser zurückhaltende Ansatz ist längst durch die Nachfrage von draußen überholt. Die aktuellen Mittelzuflüsse von Dritten zeigen auch der Politik, dass es sich einfach lohnt, Geld an die HAW zu geben.

**EForum:** *Werden sich also bald alle Professoren darauf konzentrieren, bei der Industrie Gelder einzuwerben oder aufwändige Forschungsanträge zu verfassen?*

**Riemschneider:** Wir sind und bleiben Ingenieure und Wissenschaftler aber keine Vertriebsprofis.

Dennoch könnten die Fachkompetenzen und die langjährigen Industrieerfahrungen unserer Professorinnen und Professoren noch besser an den Markt gebracht werden. Das nutzt in „klingender Münze“ für unser Department, aber noch mehr unserem Ruf als Hochschule.

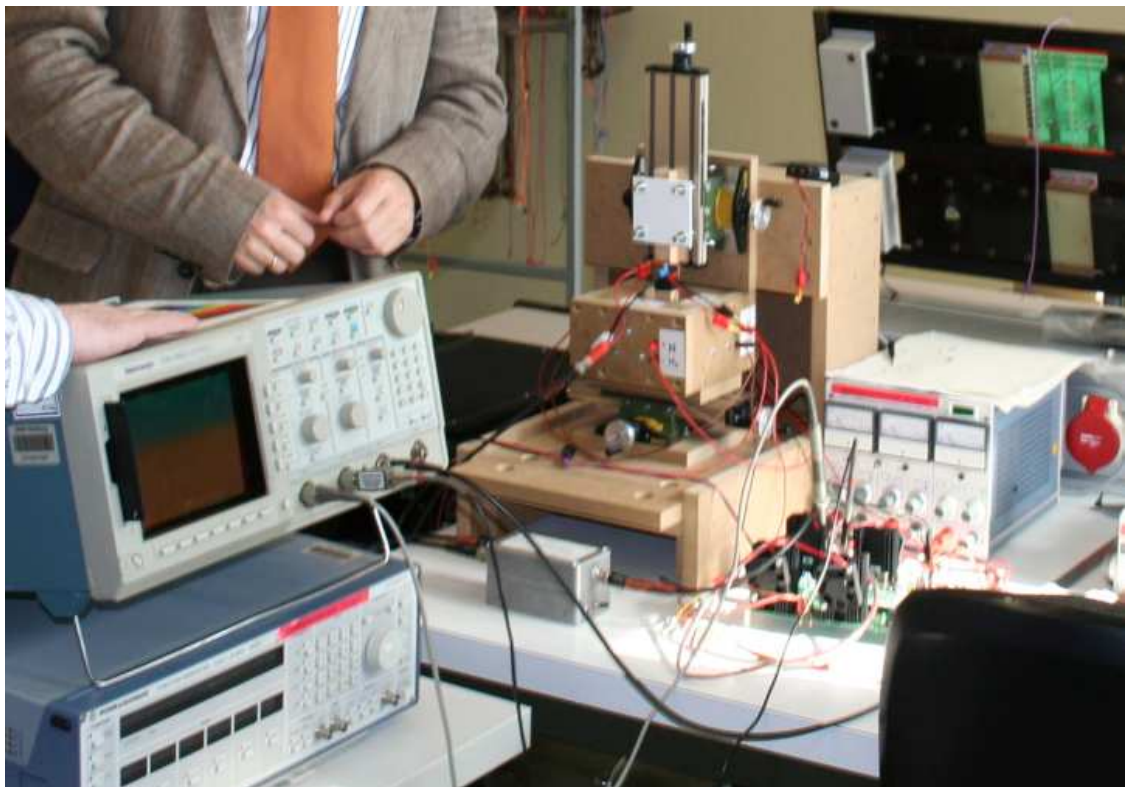
**EForum:** *Welche Perspektive wird den wissenschaftlichen Mitarbeiter für Ihren Einsatz in der Forschung geboten?*

**Riemschneider:** In drei Projekten des Forschungsschwerpunktes ADYS sind kooperative Promotionen fest eingeplant. Die Mitarbeiter können sich somit wissenschaftlich weiterentwickeln und auch formal mit einem Dokortitel qualifizieren.

**EForum:** *Kann ein Forschungsschwerpunkt nun mit reinen Forschungseinrichtungen und Universitäten mithalten? Ist das die Liga, in der wir antreten sollten?*

**Holzhüter:** Forschungseinrichtungen und Universitäten haben eine lange Tradition in der Forschung – wir haben davor großen Respekt.

Experimentalaufbau zur Sensorik





Blick in die Brücke eines modernen Seeschiffs

Das steht jedoch nicht im Widerspruch dazu, auf unserem konkreten Fachgebiet wissenschaftlich zu arbeiten.

Wenn der Forschungsschwerpunkt nun die Projektteams enger zusammenbringt, wird eine fachliche „kritische Masse“ erzeugt. Das schafft nicht nur Selbstbewusstsein, sondern hilft uns auch durch frühzeitige Diskussion und Kritik untereinander.

Aus eigener Erfahrung wissen wir: In der Industrie wird in Teams geforscht und entwickelt. Das wollen wir auch bei ADYS umsetzen.

**Riemschneider:** Wenn wir unsere Stärke an der HAW – den Industriebintergrund – noch mehr ausspielen, können wir auf vielen Gebieten mithalten. Die vielfältigen Kompetenzen an unserer großen technischen Fakultät kann man dafür in die Waagschale werfen. Die Umstellung auf Bachelor- und Masterabschlüsse ist ein Anlass, die Karten neu zu mischen. Ein qualifiziertes Masterstudium braucht den engen Kontakt zur Forschung. Als Team in einem Forschungsschwerpunkt können wir

besser mit anderen Forschungseinrichtungen kooperieren.

**Meiners:** International zählt nicht die rechtliche Stellung einer Hochschule, die in jedem Land anders ist, sondern vor allem ihr Ruf. Angewandte Forschung ist dabei ein sehr wichtiger Aspekt.

Als Ingenieure haben wir die Industrie im Rücken. Die Industrie braucht gründliche theoretische und berufsbezogene Ausbildung. Sie braucht aber auch Absolventen, die mit dem allerneuesten Wissen in die Entwicklungsabteilungen einsteigen können. Das lernt man am besten in der Forschung.

**EForum:** *Wie kann und will die HAW die Forschung unterstützen?*

**Holzhüter:** In unserer Fakultät ist ein Forschungsbüro eingerichtet worden, das die Professoren wirksam unterstützt und entlastet. Das betrifft die Projekteinwerbung und die Mittelverwaltung. Das Forschungsbüro arbeitet sehr engagiert. Die Einrichtung war ein erfolgreicher Schritt, dort nehmen uns Verwaltungsprofis viel administrative Arbeit ab.

**Riemschneider:** Die Studierenden und Mitarbeiter in den Projektteams brauchen gute praktische Arbeitsbedingungen. Das ist bisher mit persönlicher Hilfsbereitschaft und individuellem Einfallsreichtum auch gelungen. In der Zukunft sollte dieser – wohl eher steigende – Aufwand ebenfalls in der Kapazität geplant werden, genauso selbstverständlich wie der Aufwand für die Praktikumslabore.

Die Vorarbeiten für neue Industrie- und Forschungsk Kooperationen sollten noch mehr unterstützt werden. Aus dem Department Informatik gibt es einen interessanten Vorschlag, der mir sehr gefällt. Danach können Professorinnen und Professoren nach ein paar Jahren an der Hochschule wieder eine Zeit lang in der Industrie oder in der Forschung arbeiten. Ein solches Forschungssemester war früher möglich. Das wäre die passende Gelegenheit, um Projekte vorzubereiten und Stoff für aktuelle Lehrinhalte „nachzutanken“.

**EForum:** Vielen Dank und zum Schluss noch ein Hinweis: Weitere Information zum Forschungsschwerpunkt ADYS und zu den laufenden Projekten im Department finden Sie über die Homepage des Departments Informations- und Elektrotechnik: (<http://iweb.etch.haw-hamburg.de>)



v.l.n.r:  
Riemschneider,  
Holzhüter,  
Meiners



# Personalia – neu berufene Professoren am Department

## Prof. Dr. Lehmann

wurde zum Sommersemester 09 auf die Professur „Embedded Systems“ im Department Informations- und Elektrotechnik der HAW berufen.

Professor Lehmann studierte an der Universität Paderborn, damals noch Gesamthochschule Paderborn, Elektrotechnik in der Fachrichtung Automatisierungstechnik. Neben seinem starken Engagement in der studentischen Selbstverwaltung, fand er noch Zeit an einem internationalen Wettbewerb für autonome Roboter teilzunehmen.

Durch sein Parallelstudium in Informatik ergab sich der Kontakt zur Arbeitsgruppe „Entwurf paralleler Systeme“ unter der Leitung von Prof. Dr. rer. nat. Rammig. Nach der Diplomarbeit forschte er in dieser Arbeitsgruppe als wissenschaftlicher Mitarbeiter an Methodiken des Systementwurfs von Echtzeit-Kommuni-

kationsnetzen und an asynchronen Rechnerarchitekturen. Er promovierte auf dem Gebiet des Entwurfs Hardware-naher Software.

Anschließend arbeitet er zunächst als Software-Engineer und später als Software-Architekt für Philips Medical Systems in Hamburg, wo er modellgetriebene Software für Röntgen-Generatoren entwickelte.

Seine Ausbildungsschwerpunkte liegen derzeit im Bereich der Rechnerarchitektur und der Objekt-orientierten Programmierung. Forschungsschwerpunkte sollen weiter im Bereich der Hardware-nahen Software, sowie im Bereich des Modellgetriebenen Systementwurfs für Eingebettete Systeme liegen.



**Prof. Dr.  
THOMAS LEHMANN**  
E-MAIL:  
thomas.lehmann@  
haw-hamburg.de

## Prof. Dr.-Ing. Michael Röther

wurde im März 2009 auf eine Professur „Grundlagen der Elektrotechnik und elektrische Energietechnik“ im Department Informations- und Elektrotechnik der HAW berufen.

Prof. Röther studierte Elektrotechnik an der Universität Stuttgart mit den Schwerpunkten Leistungselektronik, Regelungstechnik und Antriebstechnik. Danach war er wissenschaftlicher Assistent bei Professor Dr. Ing. habil. A. Bohringer am Institut für Leistungselektronik und Regelungstechnik der Universität Stuttgart. Seine Dissertation behandelt die Verbesserung der Betriebseigenschaften Drehfelderregter Stromrichter motoren.

Während seiner vierzehnjährigen Industrietätigkeit war er in verschiedenen Branchen im Vertrieb beratungsintensiver Produkte und Lösungen tätig. Bei der Siemens AG in Erlangen wirkte er im Bereich Walzwerkstechnik als Fachberater in der Akquisition, als Projektleiter in der Abwicklung von Kundenaufträgen und zuletzt als Vertriebsleiter für die elektrotechnische Ausrüstung von Profil- und Drahtstraßen.

Bei der weier electric GmbH in Eutin / Lübeck, einem mittelständischen Hersteller elektrischer Spezialmaschinen für Windenergieanlagen und die dezentrale Energieversorgung, war er als Prokurist für den Vertrieb verantwortlich. Zuletzt widmete er sich bei der Siemens AG in Hamburg im Bereich Marine Solutions modernen Antriebs- und Automatisierungslösungen für eine umweltverträgliche Schifffahrt. Seine international ausgerichtete Industrietätigkeit führte ihn in verschiedene europäische, asiatische und arabische Länder.

Einer seiner Arbeitsschwerpunkte an der HAW wird in der elektrischen Energietechnik auf dem Gebiet der regenerativen Energien liegen. Desweiteren wird er an unserer Partnerhochschule, der University of Shanghai for Science and Technology, lehren.



**Prof. Dr.-Ing.  
MICHAEL RÖTHER**  
E-MAIL:  
michael.roether@  
haw-hamburg.de

# Projekt ProSolar – Optisches Prüflabor

Ein departmentübergreifendes Projekt im Rahmen des  
Forschungsschwerpunkts Optische Sensorik und Bildverarbeitung

JÖRG DAHLKEMPER

Department Informations- und Elektrotechnik

MARCUS WOLFF

Department Maschinenbau und Produktion

Fakultät Technik und Informatik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

## ZUSAMMENFASSUNG

Durch departmentübergreifende Zusammenarbeit konnte in kurzer Zeit ein Prüflabor realisiert werden, das die bestehende Infrastruktur der Fakultät Technik und Informatik durch Laborplätze für optische Prüfverfahren nach dem neuesten Stand der Technik erweitert.

Diese Laborplätze stellen eine ausgezeichnete Ergänzung zu den Aktivitäten der beteiligten Departments und für den Forschungsschwerpunkt Optische Sensorik und Bildverarbeitung dar. Sie tragen dazu bei, die Attraktivität der HAW für Studierende weiter zu erhöhen und unterstützen die Aktivitäten der HAW im Competence Center erneuerbare Energien und Energie-Effizienz (CC4E).

## Zielsetzung

Hinter der Bezeichnung ProSolar steht das Projekt zur Optimierung der Produktion von Solarzellen. Das Ziel dieses Projekts ist es, die an der HAW Hamburg in mehreren Departments agierenden Experten für optische Sensorik und Bildverarbeitung am Beispiel der Qualitätsprüfung von Solarzellen zu vernetzen und dieses Wissen gewinnbringend für die Lehre zu nutzen.

Dazu wurden Laborplätze für die optische Prüfung von Solarzellen aufgebaut, die in einem Prüflabor zur Unterstützung von Bachelor- und Masterarbeiten zur Verfügung stehen und über Laborveranstaltungen in die Lehre eingebunden werden. (Bild 1)

minimalem Ressourceneinsatz sicherstellt.

Vor diesem Hintergrund werden im neu aufgebauten Prüflabor verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Qualität von Solarzellen demonstriert.

Die dazu notwendigen Messverfahren dienen einerseits zur Klassifizierung der Zellen nach gut- und schlecht-Kriterien aber zunehmend auch zur Optimierung der Prozessparameter mit dem Ziel der Optimierung der Ausbringungsmenge (Yield-Management).

Im Folgenden werden die häufig verwendeten Prüfverfahren beschrieben, die bei der Bearbeitung von Siliziumwafern (Waferprozessierung) zur Anwendung kommen.

In der Wafer-Eingangskontrolle findet eine optische Prüfung der Wafer auf Bruch, Risse und Oberflächenbeschädigung statt. Die Wafer werden im Infrarotbereich durchleuchtet. Der Prüfung auf Risse kommt eine besondere Bedeutung zu, da die Zelle im späteren Verlauf der Produktion brechen und zu einem Produktionsstillstand führen könnte. Zusätzlich werden elektrische Prüfungen zur Bestimmung von Dicke und Basiswiderstand des Wafers durchgeführt.

Nach der Oberflächenreinigung und Oberflächentexturierung kann über optische Prüfverfahren der Reflexionsgrad und die Textur



Prof. Dr.-Ing.  
JÖRG DAHLKEMPER  
E-MAIL:  
Joerg.Dahlkemper@  
haw-hamburg.de



Prof. Dr.-Ing.  
MARCUS WOLFF  
E-MAIL:  
Marcus.Wolff@  
haw-hamburg.de

## Stand der Technik

Aktuelle Entwicklungen der Solarindustrie zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Solarzellen konzentrieren sich auf die folgenden Themen:

1. Optimierung der Produktion,
2. Reduktion des Materialverbrauchs,
3. Erhöhung des Wirkungsgrads.

Die Optimierung der Produktion erfordert eine detaillierte Prozesskontrolle, die die Erreichung der geforderten Produktqualität bei





**Bild 1:**  
Laborplätze für die  
optische Prüfung von  
Solarzellen

rierung geprüft werden. Darüber hinaus wird der Ätzabtrag mechanisch gemessen.

Nach dem anschließenden Prozessschritt der Emittendiffusion wird über elektrische Verfahren der Emitterschichtwiderstand im Hinblick auf Homogenität und Größe bestimmt.

Die im Anschluss aufgebrauchte Antireflexschicht wird über spektrale optische Messverfahren auf die Einhaltung der geforderten Schichtdicke und auf Vollständigkeit geprüft.

Optische Prüfsysteme sind außerdem erforderlich, um die im Druckverfahren aufgebrauchte Metallisierung zu prüfen. Dazu werden die Druckposition, die Vollständigkeit der Metallfinger sowie die Fingerbreiten untersucht.

Nach den abschließenden Schritten zur Kontaktbildung und Kantenisolation wird der Widerstand der Zelle elektrisch im Rahmen der Ausgangskontrolle über die Strom-Spannungskennlinie gemessen.

Die Ausgangskontrolle stellt die umfassendste Prüfung dar, bei der neben der zentralen elektrischen Prüfung über die Strom-Spannungskennlinie auch optische Prüfverfahren eingesetzt werden. Diese ermöglichen die Prüfung der Zelle auf Ausbrüche und Beschädigungen der Oberfläche sowie deren Farbe.

In den letzten Jahren sind neue optische Messverfahren für die Ausgangskontrolle entwickelt worden, die bei hoher Ortsauflösung nicht nur die genannten optischen Merkmale prüfen können, sondern auch elektrische Eigenschaften der Zelle messen und damit durch

detaillierte Informationen zur Optimierung des Produktionsprozesses beitragen. Hierzu zählen thermographische Verfahren und die Elektrolumineszenz [Rein07].

## Entwicklung

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Messplätze zur optischen Qualitätsprüfung von Produkten am Beispiel von Solarzellen entwickelt und realisiert.

Einer der Messplätze ist universell zur Prüfung der Kontur und der Oberfläche von Objekten aufgebaut worden, wie sie im Rahmen der Wafer-Eingangskontrolle und der Ausgangskontrolle benötigt wird.

Zusätzlich wurde ein weiterer Messplatz mit Hilfe einer Smart-Kamera realisiert, der die Übertragbarkeit dieser Messverfahren auf ein Bildverarbeitungssystem auf kleinstem Raum ohne zusätzlichen Rechner demonstriert.

Der Schwerpunkt der anderen Messplätze des Prüflabors liegt auf der Demonstration der Leistungsfähigkeit neuer Verfahren zur Ausgangskontrolle. Dabei wird gezeigt, wie die zu prüfenden elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Solarzellen über optische Messungen erfasst werden können.

Dazu wurden Messplätze für die Elektrolumineszenz, die Photoakustik und die Thermographie realisiert.

Im Folgenden werden zwei dieser Ansätze vorgestellt.



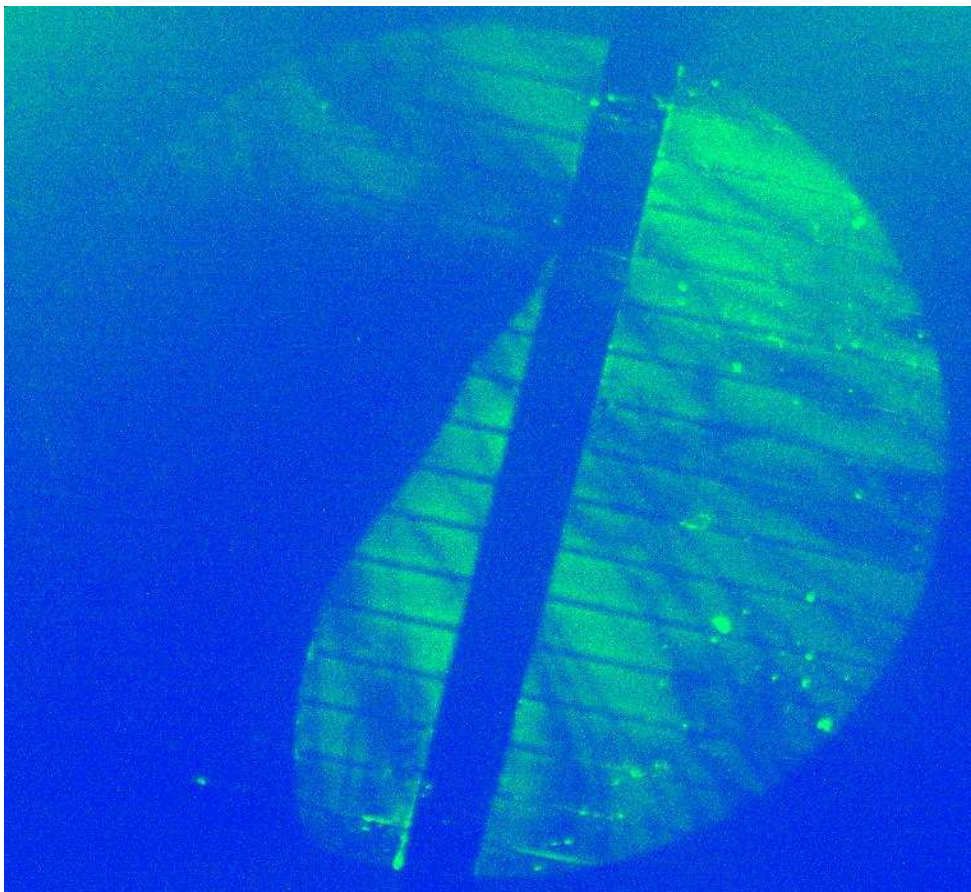
**Bild 2:**  
Polykristalline Solarzelle

## Elektrolumineszenz

Die im Jahre 2005 veröffentlichten Arbeiten des japanischen Nara Institute of Science and Technology liefern einen Ansatz für ein leistungsfähiges Verfahren zur Prüfung der Qualität von Solarzellen durch Ausnutzung der Elektrolumineszenz [Fujuki05].

Hierbei wird eine Solarzelle wie eine Diode in Durchlassrichtung betrieben. Die durch

**Bild 3:**  
Elektrolumineszenzmes-  
sung einer Solarzelle mit  
Haarriss im linken  
Bereich



die strahlende Rekombination erzeugten Photonen können als Leuchterscheinung im nahen Infrarotbereich nachgewiesen werden. Die Intensität der Strahlung ist ein Maß für die Ladungsträgerdichte. Daher werden über dieses Verfahren lokale Änderungen der Ladungsträgerdichte, die beispielsweise durch Risse oder lokale Kurzschlüsse (Shunts) verursacht werden, direkt sichtbar gemacht.

Zur Auswertung der Elektrolumineszenz wird eine hochempfindliche Kamera verwendet, die zur Ausschaltung von Fremdlicht in einer Messzelle arbeitet. Die geringe Lichtintensität macht eine höhere Belichtungszeit bis in den Bereich einer Sekunde notwendig. Die empfindliche Kamera wird zur Reduzierung des thermischen Rauschens zusätzlich gekühlt. Die damit gewonnenen Bilder liefern detaillierte Hinweise über bestimmte Produktions- oder Materialfehler, beispielsweise mechanische Beschädigungen (Microcracks).

Mit dem im Prüflabor realisierten Elektrolumineszenz-Messplatz wurden inzwischen verschiedene Zelltypen untersucht. Bild 3 zeigt die Aufnahme einer Zelle mit einem Haarriss.

Zukünftige Arbeiten werden sich mit der Charakterisierung der Bildinformationen und der automatischen Klassifizierung von Fehlertypen beschäftigen.

## Thermographie

Fehlerhafte Kontaktierungen, Unterbrechungen oder Shunts machen sich durch die lokale Verteilung der Verlustleistung bemerkbar.

Diese lokale Verlustleistung lässt sich als langwellige Infrarotstrahlung über Wärmebildkameras aufnehmen. [Breitenstein07].

Durch den realisierten thermographischen Messplatz wird die Eignung von Wärmebildkameras zur Prüfung von Solarzellen demonstriert.

Bild 4 zeigt die Aufnahme einer Solarzelle mit einem Haarriss, die durch einen extern eingepprägten Strom thermisch angeregt wird.



Aufgrund der aktuellen Entwicklungen im Bereich der kostengünstigen Technologie des Mikrobolometers lassen sich zukünftig neue Anwendungspotenziale für Thermographie-Kameras wirtschaftlich sinnvoll erschließen.

## Projektstand

Der Aufbau der Messplätze ist weitgehend abgeschlossen. Derzeit werden für die einzelnen Messplätze Laborversuche erarbeitet. Diese Versuche werden als Stationsarbeit konzipiert und in laufende Lehrveranstaltungen zur Messtechnik und Bildverarbeitung eingebunden.

Das Prüflabor wurde gemeinsam mit vier weiteren Laboren im Rahmen der 24. Tagung der Initiative Bildverarbeitung ([www.initiative-bildverarbeitung.de](http://www.initiative-bildverarbeitung.de)) vorgestellt, die am 2. April 2009 vom Forschungsschwerpunkt Optische Sensorik an der HAW Hamburg ausgerichtet wurde. Hierbei konnte den 70 Teilnehmern aus Industrie und Forschung ein exzellenter Eindruck über die an der HAW Hamburg gebündelte Kompetenz im Bereich der Bildverarbeitung und der optischen Sensorik vermittelt werden.

## Danksagung

Die Planung und Realisierung des Labors innerhalb von sechs Monaten war nur durch die finanzielle Unterstützung im Rahmen der departmentübergreifenden Projekte sowie der Hilfestellung der vielen beteiligten Personen möglich, denen wir an dieser Stelle herzlich für Ihren Einsatz danken. Besonders erwähnt seien hier unsere Labormitarbeiter Reinhard Astner, Dieter Hasselbring und Sigrid Rachow, die bei dem Umbau des Laborraumes tatkräftig mitgewirkt haben. Für die fachliche Unterstützung möchten wir besonders den Professoren Bernd Baumann, Andreas Meisel, Timon Kampschulte, Hans Peter Kölzer und der Kollegin Andrea Kupke danken. Die vielen Ideen wurden durch den herausragenden Einsatz unserer Studierenden Mario Aldag, Sebastian Draack, Alexander Fischer, Martin Pabst, Christian Schuch, Sebastian Tenzer und Patrick Voigt in die Tat umgesetzt.

## Literatur

[Breitenstein07]

Breitenstein, O.: Infrarotmesstechniken für Solarzellen und Solarmaterialien. Max-Planck-Institute für Mikrostrukturphysik, 2007  
[http://www.mpi-halle.de/mpi/publi/pdf/7287\\_06.pdf](http://www.mpi-halle.de/mpi/publi/pdf/7287_06.pdf)

[Fujuki05]

Fujuki, T.; Kondo, H. et. al.: One shot mapping of minority carrier diffusion length in polycrystalline silicon solar cells using electroluminescence. In: Conference Record of 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 3.-7. Januar 2005, S. 1343-1348

[Rein07]

Rein, S.; Bothe, K.; Sattler, B.: Qualitätssicherung und -kontrolle in der Photovoltaikproduktion. In: FVS BSW-Solar Themen 2007, Mai 2008, Berlin, ISSN 0939-7582, S. 120-127

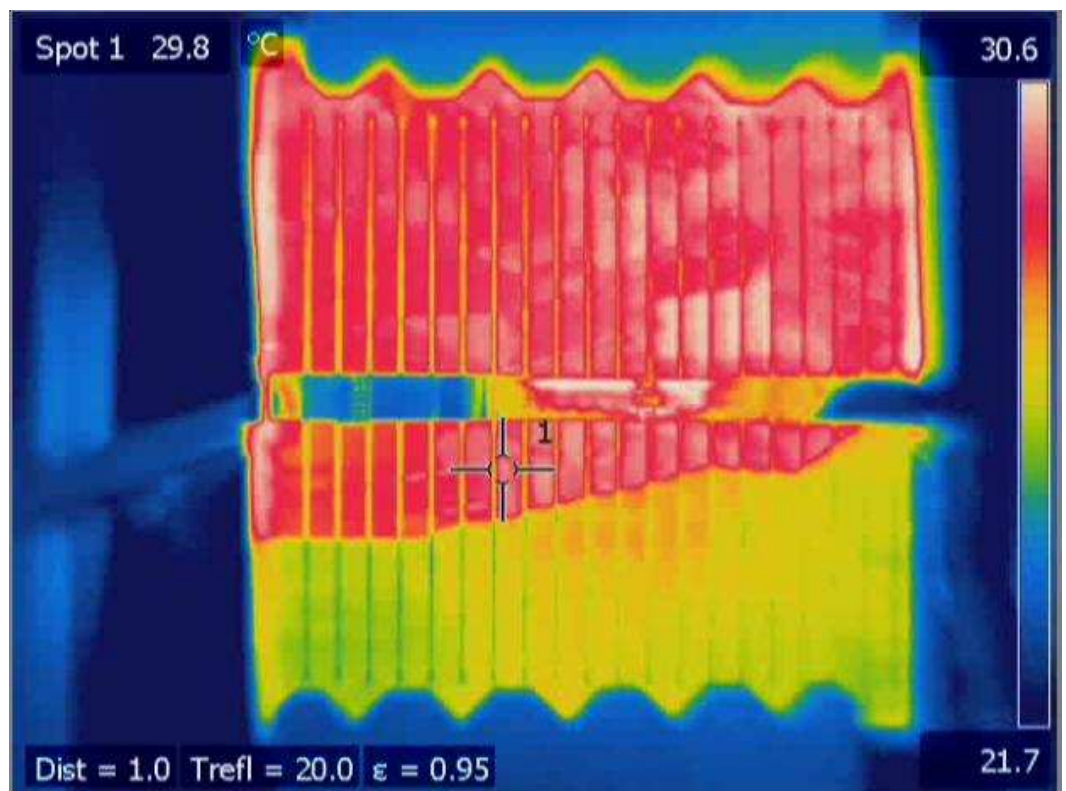


Bild 4:  
Thermographieaufnahme einer Solarzelle mit Haarriss

# Ein Messgerät zur Bestimmung des Festkörperanteils bei der Meereisentstehung



Prof. Dr.-Ing.  
ROBERT FITZ  
E\_MAIL:  
fitz@etech.haw-  
hamburg.de

RENÉ FONTES<sup>(1)</sup>, ROBERT FITZ<sup>(1)</sup>, IRIS EHLERT<sup>(2)</sup>  
(1) Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg,  
Fakultät Technik und Informatik,  
Department Informations- und Elektrotechnik  
(2) Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg



René Fontes

## Zusammenfassung

Die bei der Entstehung und dem Schmelzen polaren Meereises zugrunde liegenden physikalischen Prozesse sind bis heute nicht verstanden. Eine exakte Untersuchung aller Randfaktoren, die bei diesen Vorgängen eine Rolle spielen, ist unerlässlich, um unser Grundlagenwissen zu erweitern und bestehende Klimamodelle zu verbessern. Im Rahmen einer Masterarbeit des Studiengangs Mikroelektronische Systeme wurde ein Messgerät entworfen, welches die Bestimmung des Festkörperanteils und des Salzgehaltes von Meereis ermöglicht. Der Festkörperanteil kann über eine Messung der Impedanz zwischen zwei Platindrähten und der Temperatur im Meereis ermittelt werden [8]. Bei dem hier vorgestellten neu entwickelten Messgerät erfolgt die Signalerzeugung bzw. -analyse über einen FPGA mit nachfolgendem Digital-Analog-Umsetzer (DAC) bzw. Analog-Digital-Umsetzer (ADC), wodurch wesentlich genauere Messungen und erstmals auch Messungen des kapazitiven Anteils der Impedanz möglich sind. Die Wahl eines modularen Designs gestattet das Anschließen einer flexiblen Anzahl von Messsensoren. Die einzelnen Module sind für den wartungsarmen, autarken Langzeiteinsatz im Akkubetrieb unter Extrembedingungen (Temperaturen bis  $-40^{\circ}\text{C}$ ) konzipiert.



Iris Ehlert

## Einleitung

Im Jahre 2007 erreichte die Ausdehnung des sommerlichen Meereises in der Arktis

(siehe Bild 1) einen Minimalwert, der von keinem Klimamodell vorhergesagt werden konnte. Selbst die angesehensten numerischen Klimamodelle scheitern, wenn es darum geht, die räumliche und zeitliche Entwicklung der polaren Eiskappen unserer Erde zu simulieren. Doch wie vorhersagbar ist die zukünftige Entwicklung von Meereis? Um bestehende Klimamodelle zu verbessern, ist ein grundlegend besseres Verständnis all der vielfältigen an der Entstehung von Meereis beteiligten geophysikalischen Prozesse unabdingbar. Meereis ist ein 2-Phasen (fest und flüssig) und 2-Komponenten (Wasser und Salzlake) Medium. Wenn Meereis entsteht, wird das Salz aus dem Salzwasser in Form von salziger Lake durch das sich bildende Frischwassereis eingeschlossen. Bis heute gibt es aber kein Modell, welches sowohl die thermische als auch insbesondere die saline Entwicklung im Meereis gleichzeitig berücksichtigt. Der Salzgehalt jedoch ist ganz

Polares Meereis





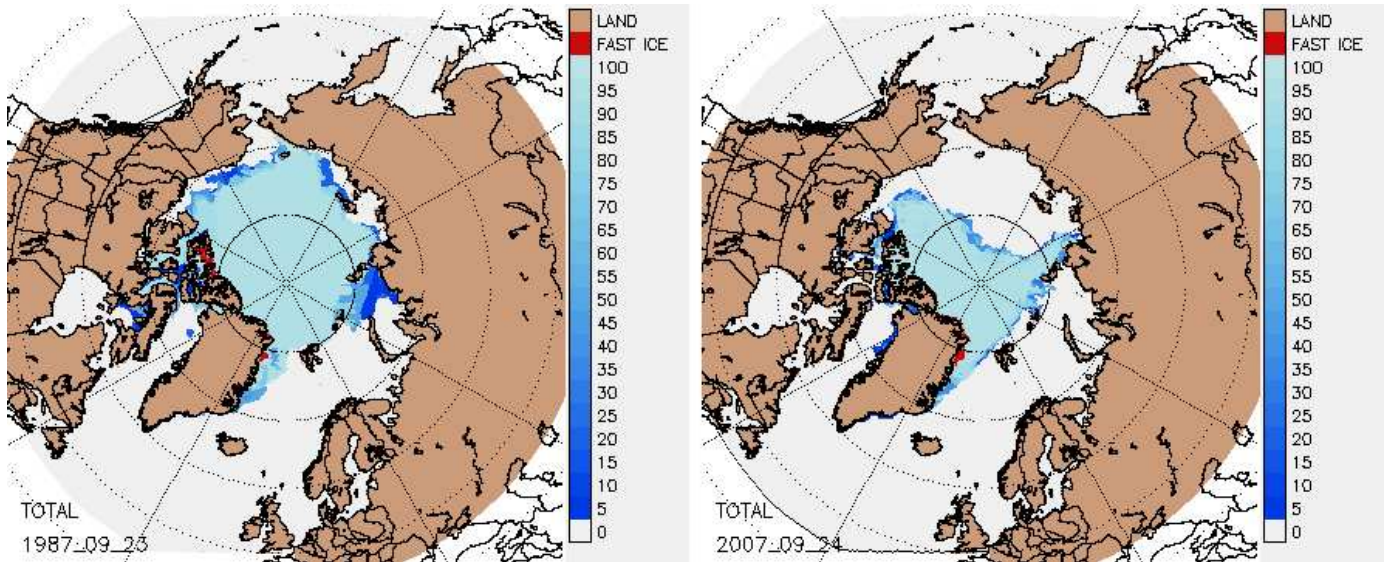


Bild 1: Rückgang des Meereises in den Sommermonaten von 1987 (links) bis 2007 (rechts) [5]

entscheidend für die thermo- und fluiddynamischen, elektromagnetischen und mechanischen Eigenschaften des Eises verantwortlich und sollte daher Bestandteil eines jeden Meer-eis „funktioniert“, sind neue verlässliche Messungen der Salzgehaltsentwicklung im Meer-eis unabdingbar, da bisherige Messungen mithilfe von Eiskern-Bohrungen sehr fehlerbehaftet sind [6]. Aus diesem Grund wurde ein bestehendes Messgerät [4] weiter entwickelt (Harp3d) [2]. Die Harp3d wurde so entwickelt, dass mehrere „Bausteine“ eine den jeweiligen Umständen angepasste flexible räumliche Anordnung, mit einer unterschiedlichen Anzahl von Messensoren, ermöglichen.

Im Rahmen einer Masterarbeit [3] wurde der elektronische Teil der Harp3d neu entwickelt. Der elektronische Neuaufbau soll dabei autark in polaren Gegenden eingesetzt werden, weshalb ein geringer Stromverbrauch und Bauteile mit einer unteren Betriebstemperatur von bis zu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Industrie-Norm) notwendig sind.

Das zugrunde liegende Messprinzip beruht auf der Impedanzmessung zwischen einem Array aus Platindrähten. Das Grundprinzip der Messung besteht darin, dass sich bei dem Anlegen einer Wechselspannung um die Platindrähte in einem salzhaltigen Medium (Brine) eine sogenannte Double-Layer-Kapazität ( $C_D$ ) bildet. Um die Gegebenheiten mittels einer Ersatzschaltung korrekt beschreiben zu können, ist noch ein Widerstand  $R_{\text{brine}}$ , welcher die endliche Leitfähigkeit des umgebenden Mediums berücksichtigt, in Reihe zu  $C_D$  vorzusehen. Diese beiden diskreten Bauteile bilden zusammen das Ersatzschaltbild (siehe Bild 2), welches den Messaufbau in erster Näherung hinreichend gut beschreibt. Dieses Messverfahren wird auch als „ac conductance measurement method“ bezeichnet [4].

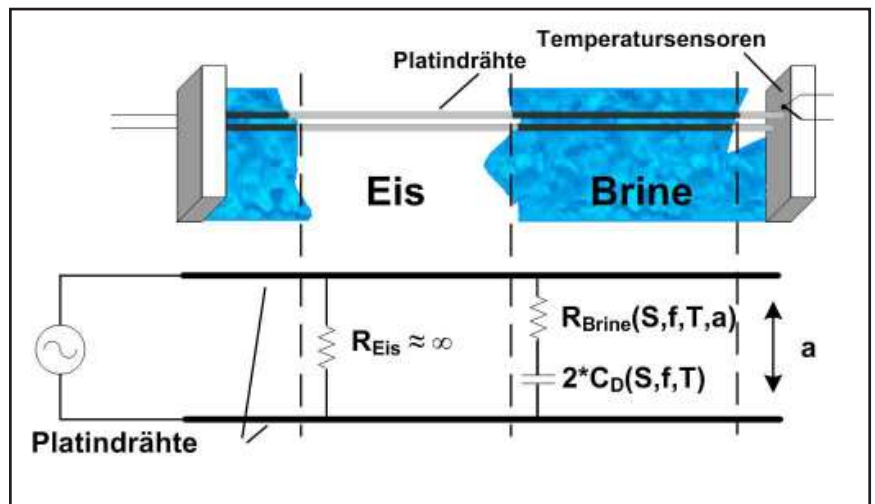
$C_D$  und  $R_{\text{brine}}$  sind dabei abhängig von der angelegten Frequenz  $f$ , der Temperatur  $T$  und dem Salzgehalt  $S$  des umgebenden Mediums (der Abstand  $a$  ist für ein Messsystem konstant). Da in reinem Eis kein Salz enthalten ist, ist hier die zu messende Impedanz unendlich. Der Salzgehalt der Brine kann über die Temperatur bestimmt werden. Durch Messung der Impedanz und der Temperatur ist es somit möglich, den Festkörperanteil (das Eis) zu ermitteln.

Bisherige Messungen [6; 8] haben lediglich über die Impedanz den Festkörperanteil bestimmt. Eine entscheidende Neuerung der Harp3d ist, dass zusätzlich die Phase ermittelt wird, um hieraus  $C_D$  und  $R_{\text{brine}}$  zu bestimmen.

Zur Messung der Impedanz wird von der Harp3d eine Wechselspannung an die Platindrähtepaare angelegt. Aus der gemessenen Spannung sowie dem Strom werden der Effektivwert und die Phase errechnet. Die eigentliche Signalerzeugung und -auswertung geschieht dabei digital in einem FPGA.

Um in Zukunft auch andere Messverfahren außer der „ac conductance measurement method“ nutzen zu können, ist die Harp3d so konzipiert, dass eine variable Signalspannungserzeugung implementiert ist.

Bild 2: Modellbildung



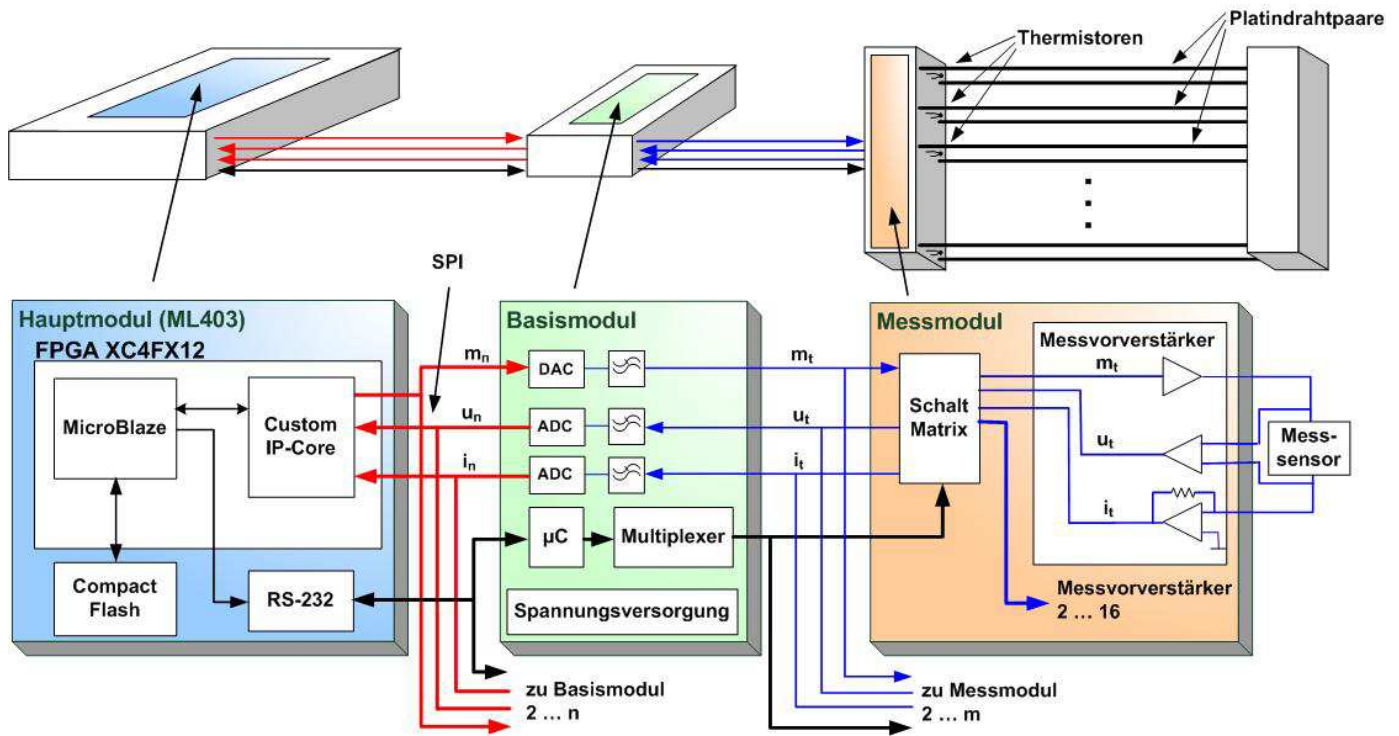


Bild 3: Module des Messsystems

### Funktionsprinzip der Harp3d

Zur Realisierung eines modularen Aufbaus ist die Harp3d in drei Module (Haupt-, Basis- und Messmodul) unterteilt (siehe Bild 3).

Die einzelnen Module sind so konzipiert, dass die Anzahl der jeweiligen Module pro Messaufbau möglichst variabel gehalten werden kann und sich damit an konkrete Messaufgaben hinreichend gut anpassen lässt.

Das Hauptmodul (ML403-Development-Board der Firma Xilinx) dient zur flexiblen digitalen Signalerzeugung, -analyse und -speicherung sowie zur Steuerung der einzelnen Basismodule über einen seriellen Feldbus mit RS-232-Schnittstelle. Über einen Seriellen-Peripherie-Interface-Bus (SPI) in RS-485-Ausführung ist das Hauptmodul mit den digitalen Messsignalen der Basismodule verbunden.

Innerhalb der Basismodule wird das digitale Messsignal über einen DAC analogisiert ( $m_t$ ) bzw. werden die resultierenden analogen Messsignale  $u_t$  und  $i_t$  digitalisiert (ADCs). Ein  $\mu C$  steuert über einen Multiplexer die Anbindung der Messsignale an die nachfolgenden Messmodule.

Die Messmodule verbinden über eine Schaltmatrix die einzelnen Platindrahtpaare bzw. Thermistoren (Messsensor) mit dem Basismodul. Über Messvorverstärker werden die Größen  $m_t$ ,  $u_t$  und  $i_t$  aufbereitet. Pro Basismodul können bis zu acht Messmodule mit jeweils 16 Messsensoren angeschlossen werden.

#### Basismodul

Bild 4 zeigt das in drei Platinen (Spannungsversorgungs-, Steuer- und DAC/ADC-Platine) unterteilte Basismodul.

Mittels zwei abschaltbaren Spannungswandlern (MIC4680: 200kHz Step-Down-Converter) werden mit einem Wirkungsgrad von über 70% aus der 6-12 V Eingangsspannung die +/- 5V Grundspannungen erzeugt. Eine Referenzspannungsquelle (ADR440) liefert eine +2,048V Spannung, welche über drei Impedanzwandler als Referenzspannungen für die ADCs und den DAC dienen.

Die Steuerplatine beinhaltet den  $\mu C$  (Atmega8), welcher zur Anbindung des Basismoduls an das Hauptmodul und an die Messmodule dient. Um eine Kommunikation mit mehreren Basismodulen und dem Hauptmodul zu gewährleisten, werden die Daten als Datagramme übertragen. Jeder  $\mu C$  ist hierzu mit einer individuellen ID ansprechbar. Ferner steuert der  $\mu C$  einen variablen Vorverstärker auf der ADC/DAC-Platine und schaltet die Spannungsversorgung des Basismoduls. Die schaltbare Spannungsversorgung dient zum Energiesparen, da das Messsystem für relativ lange Zeit selbstständig ohne Wartungsintervalle bei extremen Temperaturen arbeiten soll. RS-485-Treiber-ICs wandeln das differenziell übertragene digitale Messsignal der RS-485-Schnittstelle in entsprechende TTL-Pegel.

Die ADC/DAC-Platine beinhaltet die Signalwandlung mittels 16 Bit ADCs (AD7688) und DAC (AD5541). Das analogisierte Messsignal, welches durch die 2,048 V Referenzspannung zwischen 0V und 2,048V liegt, wird über einen aktiven Bessel-Filter dritter Ordnung mit  $f_c=100\text{kHz}$  interpoliert. Eine Verstärkerstufe mit integrierter Addierstufe transformiert das Messsignal auf -1,024V...+1,024V. Im Empfangspfad werden  $u_t$  und  $i_t$  über Addier- und Verstärkerstufen wieder auf 0V...2,048V transformiert. Ak-

tive Bessel-Filter fünfter Ordnung dienen als Anti-Aliasing-Filter. Die Bessel-Filter werden benötigt, um die Phaseninformationen zwischen  $u_t$  und  $i_t$  bestmöglich zu extrahieren.

### Messmodul

Das Messmodul (siehe Bild 3) besteht aus zwei Teilplatinen, der Messvorverstärkerplatine und der Schaltmatrixplatine.

Die Messvorverstärkerplatine dient zum Anschluss der einzelnen Messsensoren. Sie beinhaltet einen rauscharmen Messsignalverstärker (AD8698) sowie zwei Sensorverstärker (AD8510), welche zur Messung des Sensorstromes und der Sensorspannung dienen.

Die Schaltmatrixplatine verbindet die einzelnen Messvorverstärker mit dem Basismodul. Dabei wird neben  $m_t$ ,  $u_t$  und  $i_t$  auch die Spannungsversorgung (+/- 5V) geschaltet. Dies ist notwendig, da die Platindrähte durch das umgebende Salzwasser elektrisch untereinander verbunden sind. Die Vorverstärkerstufen müssen demnach potenzialfrei sein, damit sich die Platindrähte bei Messungen nicht untereinander beeinflussen.

### Hauptmodul, FPGA und Custom-IP-Core

Die genutzten Hardwarekomponenten des ML-403-Development-Boards bestehen im Wesentlichen aus dem FPGA, System-ACE und DDR-RAM.

Auf dem FPGA ist mit Hilfe des Embedded-Development-Kits (EDK) der Firma Xilinx ein Microblaze-Softcore-Processor implementiert. Über den „Processor-Local-Bus“ (PLB) des FPGAs wird der Microblaze an weitere IP-Cores angeschlossen (siehe Bild 5).

Der RS-232-IP-Core dient zur Verbindung des  $\mu$ Cs der einzelnen Basismodule mit dem Microblaze.

Der RAM-IP-Core ist zur Anbindung eines externen 256MB-DDR-RAMs notwendig. Der RAM-Baustein wird genutzt, um die digitalisierten Messsignale zwischenspeichern. Hierzu werden die Messsignale über den DMA-IP-Core direkt von einem Custom-IP-Core in das DDR-RAM übertragen.

Der System-ACE-IP-Core bindet über einen System-ACE-Chip eine Compact-Flash-Card in das System ein. Auf der Compact-Flash-Card werden die ausgewerteten Messsignale abgespeichert. Ferner beinhaltet sie das Programm für den FPGA, welches beim Systemstart über den System-ACE-Chip von der Compact-Flash-Card in den FPGA geladen wird.

Ein in VHDL programmierter Custom-IP-Core dient zur Messsignalerzeugung und zur Anbindung des DACs sowie der ADCs. Bild 6 zeigt den schematischen Aufbau des erstellten Custom-IP-Cores. Die Signalerzeugung erfolgt über diverse Grundsignale, die in einer Addiererstufe zum eigentlichen Messsignal

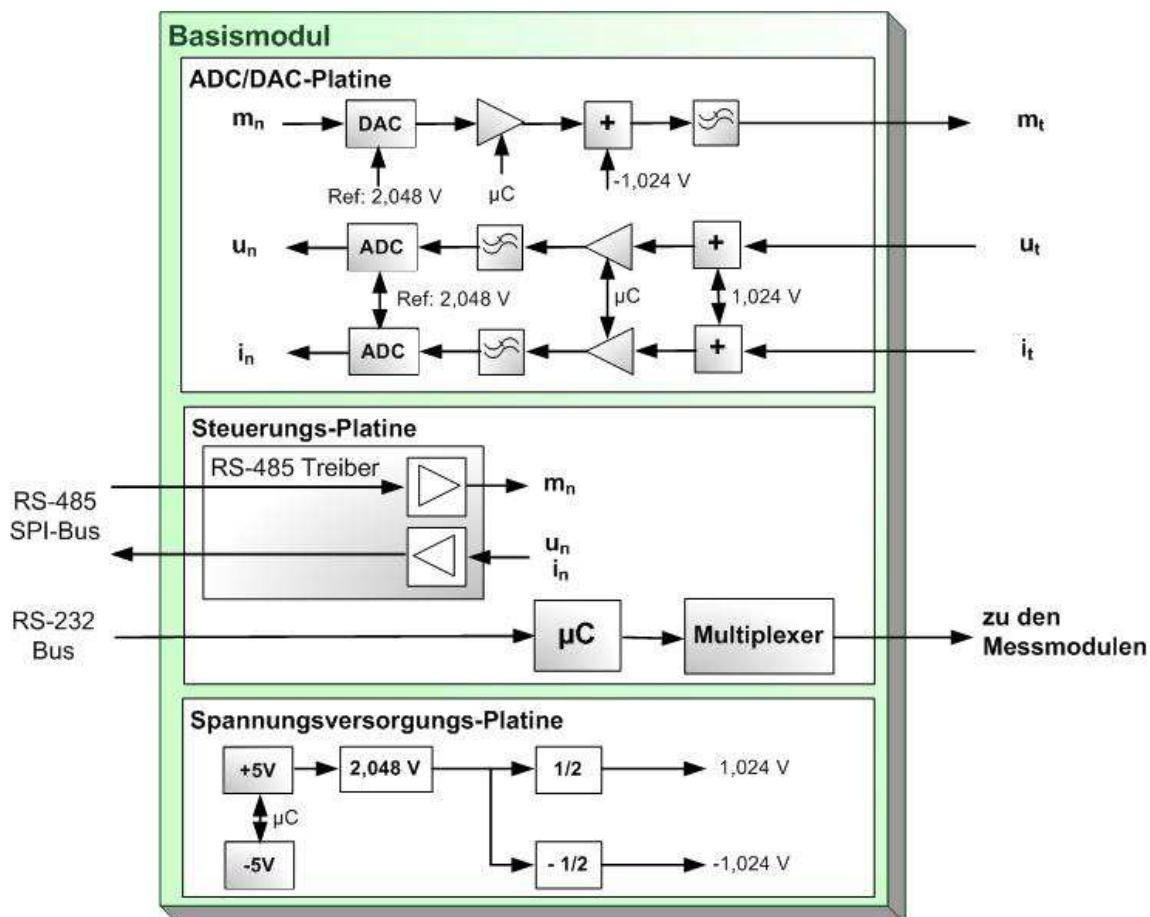
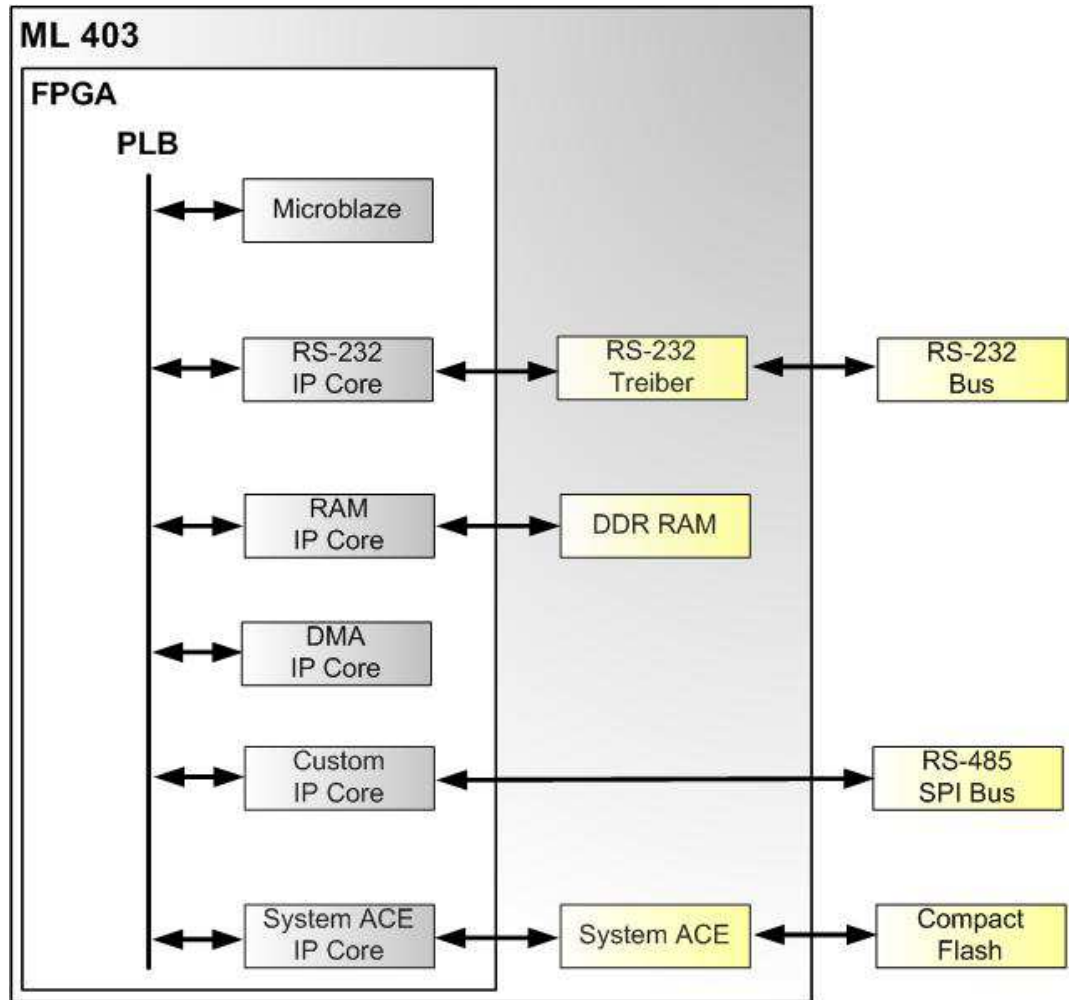


Bild 4: Basismodul



Bild 5: Hauptmodul



zusammengefügt werden. Zur Signal-erzeugung sind ein Direct-Digital-Synthesizer (DDS), eine Gleichspannungsquelle (DC) zum Offset-Abgleich und eine Rechteckspannungsquelle (Square) implementiert. Andere Signalquellen können über einen vierten, noch nicht belegten Eingang der Addierstufe hinzugefügt werden. Die Einstellung der gewünschten Frequenz und der Amplitude erfolgt über Registerwerte, welche über den PLB von einer Software, welche auf dem Microblaze läuft, konfiguriert werden. Die Addierstufe wird ebenfalls über Registerwerte konfiguriert. Eine Anbindung an die anderen IP-Cores erfolgt über den Xilinx-IPIF-Core, welcher die Schnittstelle zum PLB darstellt. Der Clock-Generator-Core erzeugt alle benötigten Clock-Signale.

Der SPI-Core beinhaltet drei SPI-Schnittstellen, welche die Verbindungen zu den auf dem Basisboard befindlichen DAC bzw. ADCs darstellen. Die Eingangssignale (SPI in) werden Interrupt-gesteuert in einen im IPIF befindlichen FIFO übertragen. Über den FIFO und den DMA-IP-Core werden die Empfangssignale anschließend direkt in das DDR-RAM übertragen.

Über einen Registerwert wird der Custom-IP-Core für eine einstellbare Zeit (in Millise-

kundenschritten) gestartet.

## Messablauf

Die Messungen werden mittels eines Programms, das auf dem Microblaze des FPGAs ausgeführt wird, gesteuert.

Über den seriellen Feldbus wird ein individuelles Basisbord mittels einer eindeutigen ID angesprochen und mit Hilfe des  $\mu$ Cs eingeschaltet. Anschließend wird über die Schaltmatrix ein Messsensor ausgewählt.

Über den PLB werden die Registerwerte für die einzelnen Signalerzeugungskomponenten und Addierstufen sequenziell übertragen.

Anschließend wird die Messung für eine einstellbare Zeit gestartet.

Solange Daten am FIFO anliegen und kein Fehler- bzw. Messungsende-Interrupt vom Custom-IP-Core anliegt, werden die Empfangsdaten über den DMA-IP-Core in das DDR-RAM übertragen.

Nach jeder Messung werden die Daten nach Effektivwert und Phase ausgewertet und auf die Compact-Flash-Card gespeichert.

Im Anschluss wird der nächste Messsensor ausgewertet oder das Basismodul wieder ausgeschaltet, um weitere Messsensoren auf einem anderen Basisboard anzusprechen.

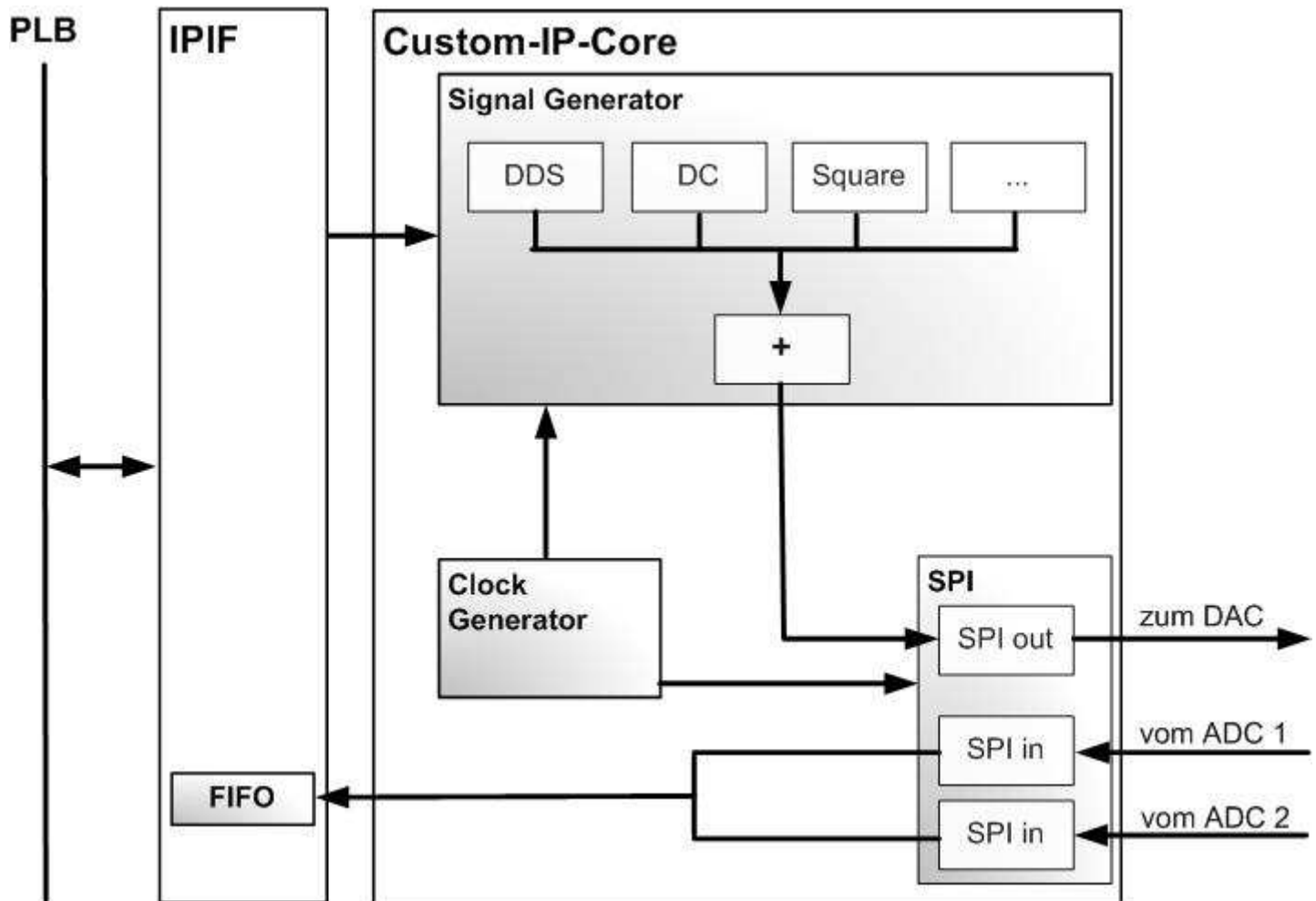


Bild 6: Custom-IP-Core

## Ausblick

Erste Ergebnisse unter realen Bedingungen werden im Anschluss an die Masterarbeit [3] in Feldversuchen erarbeitet werden, nachdem die im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich identifizierten notwendigen Modifikationen am Messaufbau durchgeführt wurden.

## Literatur

- [1] DELLAVALE, D.; SONNAILLON, M.O.; BONETTO, F.J.: FPGA based Multi-Harmonic Control System for Single Bubble Sonoluminescence. In: Programmable Logic, 2008 4th Southern Conference on (2008), S. 269ff.
- [2] EHLERT, I. et al.: Improved in-situ measurements of sea-ice salinity, EGU2009-12405, April 2009.
- [3] Fontes, R. P.: Entwicklung eines autarken Präzisionsmessgerätes in FPGA Technologie zur Messung des Festkörperanteils in Mehrphasensystemen, HAW Hamburg u. FH Westküste, Masterarbeit, April 2009.
- [4] HUNTER, R. J.: Foundations of colloid science. Oxford University Press, Oxford, 1986. – ISBN 0–19–855188–6.
- [5] NSIDC: NSIDC BIST: Compare data: National Ice Center: Weekly Chart Products. [http://nsidc.org/cgi-bin/bist/bist.pl?cong=nic\\_weekly](http://nsidc.org/cgi-bin/bist/bist.pl?cong=nic_weekly), 2009.
- [6] NOTZ, D.: Thermodynamic and Fluid-Dynamical Processes in Sea Ice, University of Cambridge, Diss., 2005.
- [7] RAJENDRAN, A.; NEELAMEGAM, P.: Measurement of conductivity of liquids using AT89C55WD microcontroller. In: Measurement 35 (2004), S. 58ff.
- [8] SHIRTCLIFFE, T. G. L.; HUPPERT, H. E.; WORSTER, M. G.: Measurements of the solid fraction in the crystallisation of a binary melt. In: J. Crystal Growth 113 (1991), S. 566ff.
- [9] XILINX INC. (Hrsg.): PLB IPIF (v2.02a). Xilinx Inc., April 2005.
- [10] XILINX INC. (Hrsg.): XPS Central DMA Controller (v1.00a). Xilinx Inc., April 2007.





Dipl.-Ing.  
JOACHIM GOERTH  
E-MAIL:  
Goerth@etech.haw-  
hamburg.de

# Es war einmal... – und doch kein Märchen: Technikgeschichte am Beispiel der Elektronenröhre

JOACHIM GOERTH

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fakultät Technik und Informatik  
Department Informations- und Elektrotechnik

## Einleitung

Wenn man versuchen will, ein wenig in die Zukunft zu schauen, so hilft dabei ein Blick in die Vergangenheit. Ein Rückblick liefert zusammen mit der Gegenwart zwei Stützstellen, die eine Extrapolation in die Zukunft erlauben. Daher ist die Beschäftigung mit Technikgeschichte auch für tätige Ingenieurinnen und Ingenieure eine Quelle, aus der Ideen, Vorstellungen und Fallbeispiele geschöpft werden können. Oft ist es auch so, dass die Kenntnis der Geschichte das Verstehen der heutigen Technik erleichtert. Manche damalige Entwicklung bringt uns aus heutiger Sicht zum Schmunzeln, manche auch zum Nachdenken darüber, was denn nun Erfolg oder Misserfolg ausgemacht hat.

In diesem Aufsatz wird die Entwicklung der technischen Röhren, insbesondere der Verstärker- oder „Radio“-Röhren, beschrieben. Diese

Röhren entstanden vor etwa 100 Jahren in einem Umfeld, das stark von der Forschung an Gasentladungsröhren bestimmt war. Gasentladungsröhren für Forschungszwecke – oft auch nach dem wohl bekanntesten Glasbläser Heinrich Geissler „Geissleröhren“ genannt – sowie die zu der Zeit noch junge Technik der Glühlampen lieferten den technologischen Hintergrund für Entwicklung der Röhren.

## Röntgenröhre

Die ersten technischen Röhren waren die Röntgenröhren, die bereits kurz nach der Entdeckung dieser Strahlen durch Röntgen Ende 1895 hergestellt wurden. Die durch die Röntgenstrahlen nunmehr möglichen neuen Diagnoseverfahren waren derart überzeugend, dass die Fertigung der Röhren der Entdeckung fast unmittelbar folgte. So lieferte beispielsweise der Glasbläser CHF Müller in Hamburg bereits 1896 industriell gefertigte Röntgenröhren, nachdem er schon 1882 damit begonnen hatte, Glühlampen herzustellen. Bild 1 zeigt eine Skizze der Originalröhre Röntgens aus dem Jahre 1895 und eine zehn Jahre später hergestellte sog. Ionenröntgenröhre der thüringischen Firma Gundelach. In diesem Jahr 1905 stellte CHF Müller (heute Philips Medizin Systeme) bereits die 50.000ste Röntgenröhre her.

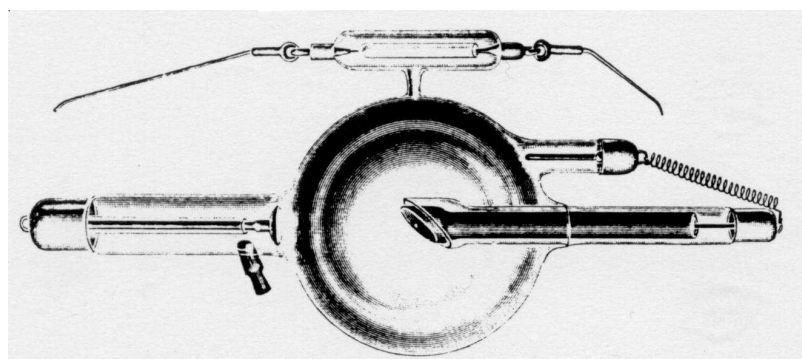
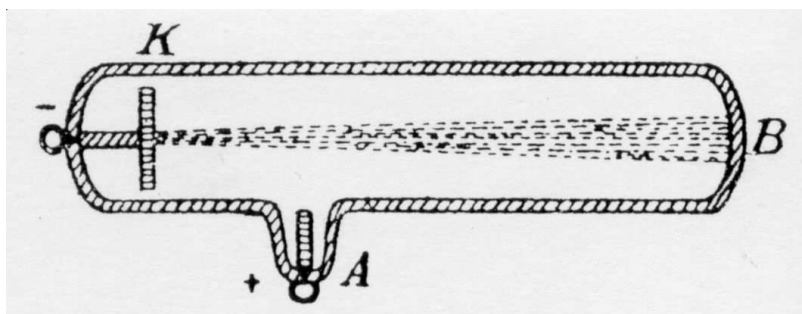
## Gleichrichterröhre

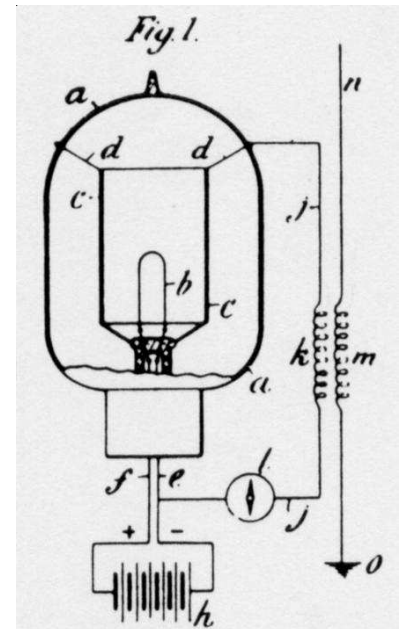
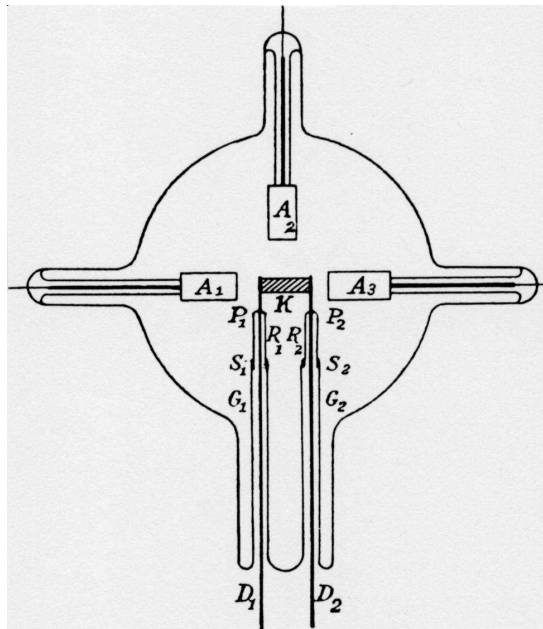
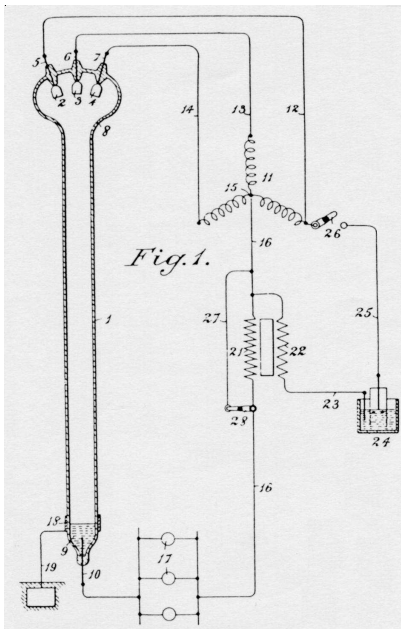
Gleichrichterröhren gehörten gleichfalls zu den frühen Röhren. Die elektrische Funktion „Gleichrichten“ war z.B. erforderlich, wenn man Akkumulatoren aus einer Wechsellspannungsquelle aufladen wollte. Die Kraftwerke, damals eher „electrische Centralen“ genannt, lieferten um 1900 zwar überwiegend Gleichspannung (unter anderem deshalb, weil der damals weltweit als Autorität anerkannte Edison ein großer Verfechter der Gleichspannungsversor-

Bild 1:

Skizze der  
Originalröhre Röntgens  
(1895)  
(oben),

Röntgenröhre  
1905 (Fa. Gundelach/  
Thüringen)  
(unten)





gung war), dennoch setzte sich die Wechselspannung mehr und mehr durch.

Ein weiteres Anwendungsfeld fanden Gleichrichter als Empfangsdetektoren in der seit etwa 1900 aufkommenden Funktechnik, deren größter Vertreter Marconi war.

Bild 2 zeigt den Quecksilberdampfgleichrichter von Hewitt aus dem Jahre 1902 und den Glühkathodengleichrichter von Wehnelt von 1904, die beide Ladegleichrichter und für Drehstrom eingerichtet waren. Der gezeigte Glühkathodengleichrichter von Fleming (ebenfalls 1904) diente in Funkempfängern von Marconi als Empfangsdetektor.

kauf, bestehend aus den Firmen Siemens, AEG, Telefunken und TeKaDe.

Das zweite Anwendungsgebiet war die seit etwa 1900 aufkommende Funktechnik, die beispielsweise durch Marconi bereits im Jahre 1901 eine transatlantische Verbindung möglich machte. Hier war der Empfänger das Problem, das anfangs nur durch unsicher arbeitende Detektoren gelöst werden konnte, z.B. durch den sog. Kohärer oder durch magnetische Detektoren.

Bild 2:  
a) Quecksilberdampfgleichrichter von Hewitt 1902  
b) Glühkathodengleichrichter von Wehnelt 1904  
c) Glühkathodendetektor von Fleming 1904

## Verstärkerröhre

Die Verstärkerröhre entstand etwa gleichzeitig in zwei völlig verschiedenen Anwendungsgebieten. Seit etwa 1880 setzte sich das Telefon als Ergänzung zum bereits bestehenden Telegraphen weltweit durch. Für den Telegraphen gab es einen Verstärker, das Telegraphenrelais. Ein schwacher Strom am Ende einer langen Leitung reichte aus, um mit Hilfe eines Elektromagneten einen starken Strom, der aus einer neuen Batterie kam, einzuschalten und diesen in den nächsten Leitungsabschnitt zu geben. Aus dieser Vorstellung heraus suchte man nach einem „Telefonrelais“, das auch Sprachsignale verstärken sollte. Anfangs experimentierte man mit sehr schnellen mechanischen Relais, die auch schnell genug für Tonfrequenzen waren. Schließlich stellte Robert von Lieben seine Verstärkerröhre vor, eben das „Telefonrelais“. Anfangs (1906) waren seine Röhren mit magnetischer, dann (1910) mit elektrostatischer Steuerung durch ein Gitter ausgestattet. Bild 3 zeigt die Röhre von Liebens als Industrieprodukt 1912. Von Lieben hatte seine Erfindung an ein Konsortium ver-

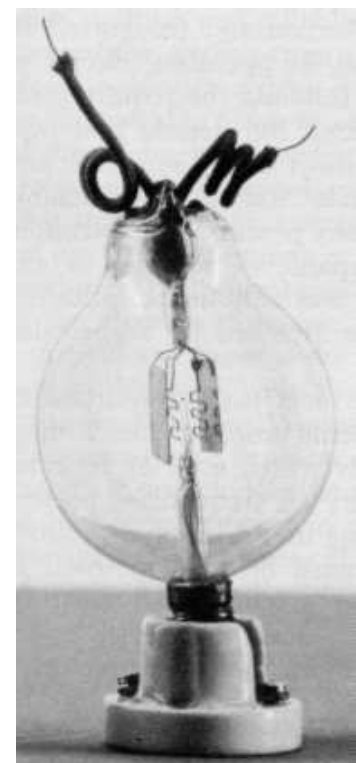
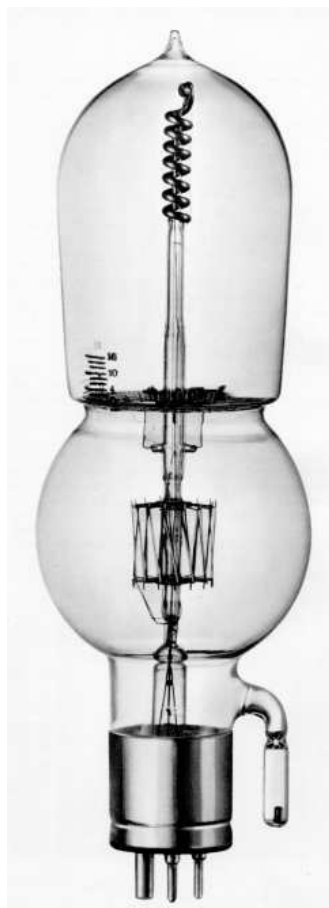


Bild 3:  
Liebenröhre 1912 (links)  
Audion ca. 1910 (rechts)





**Bild 4:**  
Röhren Stand 1918.  
Von links:  
VT1 (USA),  
R (Frankreich),  
RE 11 (Deutschland)

Die bereits erwähnte Gleichrichterröhre von Fleming wurde 1907 von de Forest durch Zusatz eines Gitters, also einer elektrostatisch wirkenden Steuerelektrode, zur ersten Triode entwickelt – von de Forest zusammen mit der Schaltung „Audion“ genannt. (Bild 3).

Auch de Forest in den USA verkaufte seine Erfindung, und zwar an die Telefongesellschaft AT&T. Somit waren die Röhrenpatente in den Händen großer Industriebetriebe, und es setzte eine (durch den militärischen Bedarf des ersten Weltkriegs stark geförderte) wissenschaftliche und industrielle Entwicklung der Röhre ein. Mit dieser Entwicklung sind Namen wie z.B. Richardson, Langmuir, Schottky, Rukop, Barckhausen und van der Bijl verbunden.

Am Ende des ersten Weltkriegs war die Verstärkerröhre bereits ein gut durchentwickeltes Produkt. Bild 4 zeigt Beispiele. Es wurden nicht nur Verstärker- sondern auch Senderöhren gebaut. Diese waren im Prinzip vergrößerte Verstärkerröhren und wurden bis zu Leistungen von etwa 2kW hergestellt.

Nach dem ersten Weltkrieg brach der Markt für Röhren wegen der fehlenden militärischen Nachfrage zusammen. Dennoch: Man hatte erkannt, dass Röhren ein mächtiges Werkzeug der Nachrichtentechnik waren. Als dann in den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhun-

**Bild 5 :**  
Direkt geheizte Röhren  
mit Glühfäden.  
Von links:  
reines Wolfram,  
thoriertes Wolfram,  
Oxidbelag,  
Bariumbelag



derts der Unterhaltungsrundfunk aufkam – in Deutschland z.B. ab 1923 – wurde die Röhre wieder zu einem auch wirtschaftlich bedeutenden Produkt.

Dies führte dazu, dass die Patent- und Lizenzfragen große Bedeutung erlangten. Kartelle waren damals noch normale Mittel der Wirtschaft. So ist die Zeit insbesondere der 20er Jahre geprägt von Patentstreitigkeiten, Kartellbildungen und Lizenzverhandlungen.

Die technische Entwicklung der Verstärkerröhren – nunmehr meist „Radio“-röhren genannt – verlief entsprechend schnell. In den ersten Radiogeräten, soweit diese überhaupt mit Röhren bestückt waren und keine Kristall-detektorempfänger waren, wurden Röhren eingesetzt, die dem Stand von 1918 entsprachen. Diese hatten direkt geheizte Kathoden aus Wolfram, das eine vergleichsweise kleine Elektronenemission zeigt. Sie mussten mithin bei hoher Glühfadentemperatur von ca. 2200°C betrieben werden und leuchteten hell wie Glühlampen, wurden daher Hellstrahler (bright emitter) genannt und hießen in vielen Sprachen „Radiolampen“. Die erforderliche Heizleistung war entsprechend hoch. Da die Stromversorgung der frühen Radiogeräte aus Batterien erfolgte, war dies ein großer Nachteil.

Eher durch Zufall wurde 1922 entdeckt, dass der aus der Glühlampentechnik seit 1908 bekannte Zusatz von knapp einem Prozent Thorium zum Wolfram (hier um die Rekristallisation zu vermindern) die Elektronenemission bedeutend erhöhte, so dass man nun die Glühfäden bei nur noch ca. 1800°C betreiben musste. Dieser Thoriumzusatz war allerdings sehr empfindlich insbesondere gegen Sauerstoff. Daher war ein bedeutend besseres Vakuum erforderlich, das durch einen Getterprozess (Metallniederschlag in der Röhre) sichergestellt wurde. Die mit thoriertem Heizfaden ausgestatteten Röhren leuchteten nur noch matt gelb (dull emitter) und sind an dem spiegelnden Getterbelag zu erkennen.

Ab 1927 wurde die Elektronenemissionsfähigkeit der Glühfäden nochmals dadurch verbessert, dass als emittierende Schicht ein Bariumbelag auf dem (oxidierten) Wolframfaden aufgebracht wurde. Diese Glühfäden wurden bei nur noch ca. 900°C betrieben. Direkt geheizte Röhren ab 1927 waren daher Dunkelstrahler (dark emitter) und sind am dunklen Getterbelag zu erkennen, der nunmehr aus niedergeschlagenem Barium bestand.

Bild 5 zeigt zum Vergleich drei Röhren aus Hamburger Produktion (Marke „Valvo“) mit Heizfäden aus reinem Wolfram (klares Glas), thoriertem Wolfram (spiegelnd getettert). Daneben sind eine Röhre mit Oxidfaden (klar mit roter Kennzeichnung) und eine mit Bariumfaden aus russischer Produktion (mit dunklem Getterbelag) gezeigt.

## Weiterentwicklungen

Ebenfalls ab 1927 kamen Röhren auf den Markt, deren Kathode indirekt geheizt war. Die emittierende Schicht (Bariumoxid) wurde auf ein vom Heizfaden isoliertes Metallröhrchen aufgebracht. Diese Röhren konnten auch aus einem Wechselspannungsversorgungsnetz gespeist werden, ohne dass störendes „Netzbrummen“ auftrat. Mit diesen Röhren ausgestattete Empfänger konnten aus dem Netz gespeist werden, so dass die lästigen Batterien entfielen.

Wegen der damit einfacheren Betriebsspannungsversorgung konnten mit indirekt geheizten Röhren auch umfangreichere Schaltungskonzepte mit vielen Röhren realisiert werden. Daher ging man ab etwa 1930 von der einfachen Geradeausempfängerschaltung zur komfortableren, aber aufwändigeren Superheterodynschaltung über („Super“-Empfänger, seit 1918 bekannt). Bild 6 zeigt den Röhrensatz für einen solchen Super aus dem Jahre 1935.

Die bessere Schaltungstechnik führte dazu, dass auch die Röhren den speziellen Anforderungen in den verschiedenen Schaltungsstufen angepasst wurden. So entstanden neue Röhren:

- Mischröhre, in der die Antennenspannung mit einer intern erzeugten Oszillatorspannung gemischt (multipliziert) und so die Zwischenfrequenz erzeugt wurde,



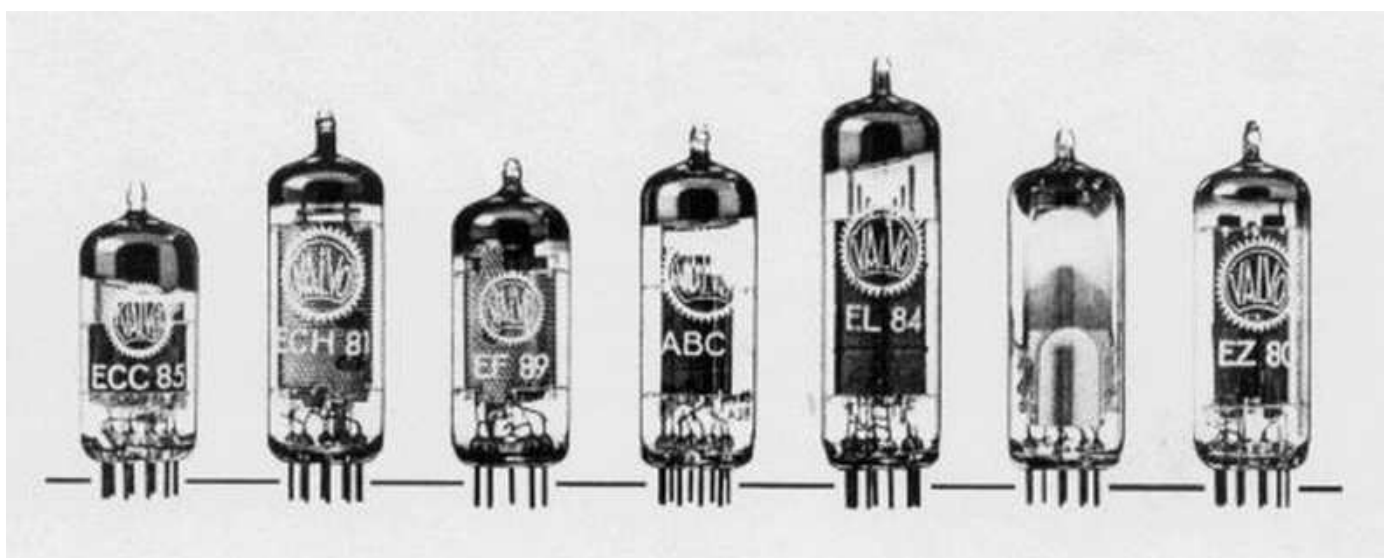
- Zwischenfrequenzröhre, eine Mehrgitterröhre (3 Gitter) mit hoher Verstärkung und Regelkennlinie,
- Demodulatorröhre zur Demodulation der amplitudenmodulierten Spannung,
- Magisches Auge als Abstimmanzeigeröhre zur Erleichterung der Sendereinstellung,
- Lautsprecherröhre zur Erzeugung der für den Lautsprecher erforderlichen Leistung,
- Netzgleichrichterröhre zum Erzeugen der Anodengleichspannung aus dem Versorgungsnetz.

**Bild 6:** Röhrensatz für einen Superheterodynempfänger 1935: Misch-, Zwischenfrequenzverstärker-, Demodulator- und Niederfrequenzverstärkeröhre, magisches Auge, Lautsprecher- und Netzgleichrichterröhre

Diese Röhrentypen wurden später zwar weiter entwickelt, meistens um spezielle elektrische Eigenschaften oder die Fertigungstechnik zu verbessern. Im Prinzip aber wurden sie bis zum Ende der Röhrenzeit in Radiogeräten (etwa 1970) beibehalten. Bild 7 zeigt einen entsprechenden Röhrensatz aus dem Jahre 1957.

Die Zeit des 2. Weltkrieges brachte für die Radoröhre wenig Neues, wohl aber für das

**Bild 7:** Röhrensatz für einen Superheterodynempfänger ca. 1957  
Prinzipiell ist nur die Röhre ECC85 für den Ultrakurzwellenempfang hinzugekommen.





große Gebiet der Hoch- und Höchstfrequenzröhren, die für die Radartechnik entscheidend waren.

Ab etwa 1960 war die Entwicklung der Halbleiter so weit fortgeschritten, dass die Röhren Schritt für Schritt ersetzt wurden. Für das Standardradio war diese Entwicklung etwa 1970 abgeschlossen. Im Bereich der Farbfern-

sehgeräte haben Röhren in den Leistungsteilen bis etwa Mitte der 70er Jahre überlebt.

In diesem kurzen Abriss wurde nur die Entwicklung der „Radio“-Röhre skizziert. Das weite Feld der Röhren für andere Anwendungen, z.B. Höchstfrequenz-, Schalt-, Röntgen-, Sende-, Stabilisator-, Mess- und Gleichrichterröhren, auch das der Telefonverstärkerröhren, konnte keinen Platz finden.

### **Traditionskabinett Elektrotechnik**

Seit etwa 10 Jahren werden zuerst im Fachbereich Informations- und Elektrotechnik, dann in der Fakultät TI als Wahlfächer auch Vorlesungen zur Geschichte der Elektrotechnik angeboten.

So lag es nahe, auch Geräte und Bauteile, die im Zuge der technischen Entwicklung als veraltet aussortiert wurden, wenigstens zum Teil zu bewahren. So wird jetzt mit studentischer Hilfe ein kleines Museum aufgebaut, in dem unsere technischen Relikte zu sehen und anzufassen sind.

Es sind dies zum Beispiel alte Stöpselwiderstände und Widerstandsdekaden, Elektronenröhren oder auch Kernspeicher. Viele in Ehren ergraute Messgeräte vom Zeigerinstrument bis zum Elektronenstrahlspeicheroszilloskop sind vorhanden, ja sogar ein Analogrechner hat es hierher geschafft. Manche Geräte wurden uns gespendet, beispielsweise ein Fernschreiber, dessen mechanische Bits deutlich zu hören und zu sehen sind, oder ein Hochfrequenzheilgerät, wie es in den 1930er Jahren üblich war. Das Bild zeigt Patric Stege, unseren studentischen Betreuer, hinter einem Wechselrichter in der Leistungsklasse von etwa 10 Kilowatt, der mit Thyratrons als gesteuerten Schaltern arbeitet.

Patric Stege  
mit 10 kW Thyatron-  
Wechselrichter

