



Jahresbericht

des

Institutes für Elektrische Energietechnik

TU Clausthal

Bericht Nr. 6 (1995)

Dezember 1995

Prof. Beck

IEE

Inhaltsverzeichnis

0 VORWORT	1
1 LEHRE.....	3
1.1 VORLESUNGEN, NEUE STUDIENGÄNGE.....	3
1.2 ÜBUNGEN, PRAKTIKA.....	4
1.3 SEMINARVORTRÄGE	5
1.4 STUDIEN- UND DIPLOMARBEITEN	6
2 VERÖFFENTLICHUNGEN, DISSERTATIONEN, TECHNISCHE NOTIZEN	11
2.1 ZEITSCHRIFTEN- UND TAGUNGSAUFSÄTZE, PATENTE.....	11
2.2 VORTRÄGE / SEMINARE.....	12
2.3 TECHNISCHE NOTIZEN UND BERICHTE, VORLESUNGSMANUSKRIPTE	14
2.4 GEFÖRDERTE FORSCHUNGSVORHABEN	14
2.5 VERANSTALTUNGEN, EXKURSIONEN, GASTAUFENTHALTE.....	16
3 FORSCHUNGSARBEITEN.....	17
3.1 AUSBAU DER INSTITUTSEINRICHTUNGEN	17
3.2 PROJEKTBLÄTTER	17
4 PERSONELLE BESETZUNG.....	71
4.1 HAUPTAMTLICHE MITARBEITER DES INSTITUTS (SIEHE AUCH ANLAGE 22A)..	71
4.2 VON DER LEHRVERPFLICHTUNG BEFREITE HOCHSCHULLEHRER	72
4.3 NEBENAMTLICH TÄTIGE HOCHSCHULLEHRER	72
4.4 WISSENSCHAFTLICHE HILFSKRÄFTE	73
4.5 MITGLIEDSCHAFTEN IN DEN SELBSTVERWALTUNGSGREMIEN DER UNIVERSITÄT	74
5 ANLAGEN.....	75

0 Vorwort

Liebe Freunde, Förderer und Mitarbeiter-Innen des Instituts, das auslaufende Jahr steht wie das folgende unter dem „Dekanatsstern“. Dies bedeutet, daß ich neben der Institutsarbeit die Geschäfte des Fachbereichs Maschinen- und Verfahrenstechnik (MVT) lenken werde. Angesichts der über uns wegrollenden Sparwelle, die 1116 Stellen an den Niedersächsischen Hochschulen zur Konsolidierung des Landeshaushaltes wegschwemmen wird, ist diese Aufgabe keine ganz einfache. Unsere Hochschule soll dabei in den nächsten vier Jahren 60 Stellen bzw. 8% des Etats einsparen. Da derzeit die Auslastung des Fachbereichs MVT wegen der Diversifikation in den Studiengängen mit ca. 80% noch gut ist, konnte ein drastischer Stellenabbau verhindert werden. Allerdings besteht eine 6-monatige Wiederbesetzungssperre, die unser Institut im nächsten Jahr treffen wird. Durch die Flexibilität des versuchsweise eingeführten Globalhaushaltes an der TU Clausthal konnten die freiwerdenden Landesstellen mit verringerter Vergütung allerdings ab dem 1. April 1996 wieder besetzt werden. Da das sogenannte Ingenieurprivileg der Deutschen Forschungsgemeinschaft, nach dem wissenschaftliche Mitarbeiter im ingenieurwissenschaftlichen Bereich bisher eine 100% BAT IIa erhielten, in Zukunft auch restriktiver gehandhabt wird, ist diese institusinterne Lösung vertretbar. Es muß also auch bei uns kürzer getreten werden, wenn auch zunächst im zumutbaren Rahmen. Andere Fachbereiche unserer Hochschule und damit auch die Institute hat es schwerer getroffen.

Es bleibt abzuwarten, ob die jetzt erkennbaren Einschnitte in unsere Arbeit noch größer werden oder wieder zuwachsen können. Allerdings hat das sehr gute Engagement der Mitarbeiter-Innen des Instituts dazu geführt, daß mehr Drittmittel als in den letzten Jahren zur Verfügung standen. Dies führte neben der Erweiterung der Grundausstattung auch zu einer Verdoppelung der Anzahl der Hilfsassistenten. Dies hat neben einer merklichen Steigerung der Lehr- und Forschungstätigkeit der Institusbelegschaft auch eine Intensivierung der Außenwirkung zur Folge, weil die wissenschaftlichen Arbeitsergebnisse weitere Verbreitung finden können (Student-Innen werden Absolvent-Innen).

Allen die an dem guten Jahresergebnis mitgewirkt haben, sei hierfür herzlich gedankt; selbstverständlich geht dieser Dank auch an die externen Förderer, Helfer und Freunde. Mit den besten Wünschen für ein gesundes Jahr 1996 verbleibe ich

Prof. Beck

Dez. 1995

1 Lehre

1.1 Vorlesungen, neue Studiengänge

Die folgenden Vorlesungen wurden in diesem Jahr von Mitarbeitern des IEE angeboten. Die Zahlen geben jeweils die ungefähre Zahl der Teilnehmer an.

Beck	Grundlagen der Elektrotechnik I/II	100
Beck	Elektrische Energietechnik (früher Elektrische Antriebe)	50
Beck	Regelung elektrischer Antriebe	12
Beck	Energieelektronik	14
Canders	Elektrische Maschinen	8
Diemar	Elektrowärme	5
Helmholz	Theorie der Wechselströme I/II	15
Wehrmann	Elektrische Energieerzeugung	10
Wehrmann	Energieverteilung in elektrischen Netzen	5

Insgesamt wurden im Verlauf dieses Jahres 392 Vor- und Hauptdiplomprüfungen von den prüfungsberechtigten Hochschullehrern bzw. Lehrbeauftragten des Institutes abgenommen.

Außer im Fach „Grundlagen der Elektrotechnik I/II“, in dem Vorexamensklausuren geschrieben wurden (202 Teilnehmer), fanden alle Haupt- (190 Teilnehmer) und Nachprüfungen mündlich statt.

Die Einführung des neuen Studienganges Elektrotechnik wurde wegen derzeitiger Überkapazitäten in den Niedersächsischen Hochschulen in diesem Fach und den laufenden Einsparmaßnahmen zur Konsolidierung des Landeshaushalts zurückgestellt.

Der Fachbereich Maschinen- und Verfahrenstechnik hat in seiner ersten Sitzung im WS 95/96 die Einführung eines Studienganges Energiesystemtechnik beschlossen. Derzeit läuft eine An-

hörung der Vertreter des Industrie- und Energieversorgungsbereichs mit dem Ziel, die Diplomprüfungsordnung unter Einbeziehung der Kenntnisse der Abnehmer unserer Absolventen zu Beginn 1996 zu verabschieden.

Die erstellte Projektstudie (Anlage 1) zu diesem neuen Studiengang fand bisher überwiegende Zustimmung; auch im Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur. Mit der Einrichtung des neuen Studienganges ist zum WS 96/97 zu rechnen.

1.2 Übungen, Praktika

Im Berichtszeitraum wurden folgende Übungen und Praktika angeboten. Die Zahlen geben jeweils die ungefähre Teilnehmerzahl an.

Große Übung	zu Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann)	75
Tutorien	zu Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Kanakis und wissenschaftliche Hilfskräfte)	149
Tutorien	zur Klausurvorbereitung Vordiplom Elektrotechnik (Kanakis und wissenschaftliche Hilfskräfte)	158
Praktika	zu Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Kayser, wissenschaftliche Mitarbeiter und Hilfskräfte)	240
Übung	zu Elektrische Energietechnik (Engel)	50
Übung	zu Regelung elektrischer Antriebe (Goslar)	12
Übung	zu Energieelektronik (Sourkounis / Wenske)	15
Praktikum	zu Energieelektronik (Wenske)	15
Übung	zu Elektrische Energieerzeugung (Mendt)	8
Übung	zu Energieverteilung in elektrischen Netzen (Mendt)	5
Praktikum	Elektrische Antriebe I (Alders)	5
Grundpraktikum	im Hauptstudium (Pflichtversuch elektrische Antriebe) (Kanakis)	105

Der im letzten Jahr erfolgreich eingeführte Vorlesungs- und Übungsbetrieb mit Rechneinbindung im Fach „Regelung elektrischer Antriebe“ wurde in diesem Jahr auf den Vorlesungs- und Übungsbetrieb im Fach „Energieelektronik“ ausgedehnt. Hierzu wurden den Studierenden Möglichkeiten gegeben, selbstständig Schaltungen der Energieelektronik auf Rechnern mit Hilfe des international eingeführten Simulationsprogrammes „PSPICE“ zu analysieren. Darüber hinaus hielten Student-Innen im Rahmen der Vorlesung eigene Vorträge zum Lehrstoff, der im vorlesungsbegleitenden Skript enthalten ist. Das Ziel war es, die Präsentationsfähigkeiten und die freie Rede zu schulen.

1.3 Seminarvorträge

Im Rahmen des diesjährigen Gemeinschaftsseminars mit dem Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik wurden von den Teilnehmer-Innen folgende Vorträge gehalten:

Kinder, J.	BMFT- Neuere geförderte Projekte I
Kurde, M.	BMFT- Neuere geförderte Projekte II
Schwartz, R.	Strom oder Askese
Karakaidos, A.	Inselbetriebe
Alfermann, M.	Mitteltemperaturwärme: Haushaltsgeräte
Exarchou, C.	Mitteltemperaturwärme: Haushaltsgeräte
Jaensch, A.	LCP-Fallstudie, Stadtwerke Hannover
Brinkmann, N.	Energiesparbirnen: Stand-by-Betrieb
Wieland, P.	Photovoltaik
Fiksdal, T.	Wärmepumpen
Enskonatus, K.	Niedrigenergiehäuser
Boldt, K.	Niedrigenergiehäuser
Berkan, J.	Gas-, Ölkessel, Durchlauferhitzer
Rädler, M.	Solarthermie
Wenzel, M.	Graue Energie
Riebenstahl, R.	Methanol aus Biomasse
Kremer, B.	Kumulierter Energieverbrauch

Ferner wurden die folgenden Vorträge gehalten:

Knollmann, J.	Anmerkung zum Entwurf von Zustandsregelungen mit Beobachter anhand eines Simulationsmodells
---------------	---

Shahib, Z.	Stand der Technik bei Gleichstromlichtbogenöfen zur Elektro- stahlerzeugung
Pierschke, Th.	„Der Stand der Technik von Insulated Gate Bipolar Transisto- ren“ (IGBT's) im Hinblick auf den Einsatz in Pulswechselrich- tern
Chen, J.	Nachbildung eines GTO-Thyristors für die Simulation
Vollmer, D.	Konzept einer Raumzeigerregelung zur Inselnetzführung mittels eines Pulswechselrichters

Zum Abschluß der Projektarbeit „Planung des Windparks Bockswieser Höhe“ wurden im Rahmen einer Institutsveranstaltung (Anlage 2) von den Projektbearbeitern folgende öffentli-
che Vorträge gehalten

Schwetje, T.	Schallimmissionsprognoserechnung für Windparks
Gärtner, V.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Windenergiekonvertern
Jahn, J.	Klimaeinflüsse auf Windkraftanlagen
Heckmann, J.	Windrotorarten und Leistungsschwankungen
Rösner, J.	Netzurückwirkungen von Windparks
Assenmacher, R.	Powermanagement-Systeme in Windparks

1.4 Studien- und Diplomarbeiten

Studienarbeiten

Krüger, J.	Auswertung von Wechselstrommessungen an elektrochemischen Halbzellen Betreuer: Beck
Holl, M.	Ordnungsreduktion des Modells des Antriebsstranges einer elektrischen Lokomotive Betreuer: Alders

- Stoll, S. Entwurf und Implementierung einer Zustandsregelung mit Schätzeinrichtung in einem Echtzeit-Transputer-System zur Dämpfung der Torsionsschwingungen in einem schwingungsfähigen Antriebsstrang
Betreuer: Engel
- Rorig, J. Modellierung und Simulation des dynamischen Verhaltens einer elektrischen Lokomotive
Betreuer: Engel
- Bokämper, S. Projektierung, Betrieb und Wartung von privatfinanzierten GuD-Kraftwerken
Betreuer: Wehrmann
- Riebenstahl, R. „Methanol“ - Proträt eines Energierohstoffes
(Literaturrecherche über den Energierohstoff Methanol)
Betreuer: Beck
- Richerzhagen, M. Erweiterung einer bestehenden Regelung eines Gleichstrommotors auf der Basis der Fuzzy-Logik und Vorschlag einer hardwaremäßigen Realisierung
Betreuer: Kayser
- Schaper, R. Entwurf und Simulation einer Regelung zur Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses einer Drehstromlokomotive an einem Prüfstand
Betreuer: Alders
- Vollmer, D. Entwurf, Realisierung und Prüfen eines Regelkonzeptes zur Führung eines Inselnetzes durch einen standardisierten Pulswechselrichter mit implementierter feldorientierter Asynchronmaschinenregelung
Betreuer: Wenske
- Schell, A. Entwurf und Implementierung einer Zustandsregelung auf Basis eines Zweimassenmodells zur Dämpfung der Torsionsschwingungen in einem schwingungsfähigen Antriebsstrang
Betreuer: Engel

- Steinmeier, N. Entwurf und Simulation einer zeitdiskreten Zustandsregelung mit einem Kalman-Filter
Betreuer: Engel
- Kurde, M. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Windparkgeometrie und Windparkwirkungsgrad
Betreuer: Sourkounis
- Schwetje, T. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Schallimmissionsberechnung für einen Windpark
Betreuer: Sourkounis
- Gärtner, V. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Windkraftanlagen
Betreuer: Kanakis
- Jahn, J. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Klimaeinflüsse auf Windkraftanlagen
Betreuer: Kanakis
- Heckmann, J. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Windrotorarten und Leistungsschwankungen
Betreuer: Kanakis
- Rösner, J. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Netzverträglichkeit eines Windparks
Betreuer: Wenske
- Assenmacher, R. Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“ (Projektarbeit)
Entwurf eines Energiemanagements für einen Windpark
Betreuer: Wenske
- Schröder, M. Implementierung und Simulation von neuen Verfahren zur Kraftschlußregelung von elektr. Grenzleistungslokomotiven
Betreuer: Engel
- Hohlweg, F. Implementierung und Untersuchung einer Regelung zur Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses einer elektrischen Lokomotive an einem Prüfstand
Betreuer: Alders

2 Veröffentlichungen, Dissertationen, Technische Notizen

2.1 Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Patente

Zeitschriften- und Tagungsaufsätze

Siehe hierzu auch die Anlagen 3-12.

- | | |
|-----------------------|---|
| Beck / Engel | State Controller with Kalman Filter damping Torque Oscillations in AC Traction Drives. In: IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference, International Symposium on Electric Power Engineering, Stockholm, Sweden, June 18-22, 1995, Bd. "Electrical Machines and Drives". Stockholm: IEEE Power Engineering Society 1995. S. 397...402 |
| Beck / Engel | New Control Concept for Overload Minimized Traction Drives. In: 6th European Conference on Power Electronics and Applications, Sevilla, Spain, September 19-21, 1995, Bd. 2. Brüssel: EPE Association 1995. S. 2.047..2.052 |
| Beck / Alders / Engel | Neues Regelkonzept für elektrische Hochleistungstraktionsantriebe mit Berücksichtigung der schwingungsfähigen Mechanik. In: 40. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, 18.-21. September 1995, Bd. 4. Ilmenau: Technische Universität Ilmenau 1995. S. 482...487. |
| Beck / Kahmann | Echtzeit Simulation eines geregelten Gleichstromlichtbogenofens In: elektrowärme international 53 (1995) B1, März S. 4-12 |
| Beck / Engel | Mechatronik bei Hochleistungsantrieben, aktive Schwingungsbedämpfung. In: Clausthaler Technologie Nachrichten (1995) Nr. 5/95 |

- Beck / Harste / Kayser /
Zenner Möglichkeiten der Lebensdauererlängerung von Komponenten
mechanisch-elektrischer Antriebssysteme durch Untersuchung
des Gesamtsystems. In: 2. Magdeburger Maschinenbau-Tage,
14. und 15. September 1995, Tagungsband 1. Otto-von-
Guericke-Universität Magdeburg S. 55-76
- Beck / Goslar Erprobung der Gezielten Eigenwertvorgabe an einem Antriebs-
system mit hoher Getriebeübersetzung. In: VFWH (1996)
- Beck / Kayser Lastkollektivierung durch aktive Schwingungsdämpfung in An-
triebskomponenten mechanisch-elektrischer Systeme, Teil 1.
In: VDI-Schwingungstagung '95 „Schwingungen in Antrieben -
Analyse, Beurteilung, Beeinflussung, Überwachung“,
Veitshöchheim, 25. und 26. September 1995 VDI-Verlag,
VDI Berichte 1220
- Beck / Kanakis Ausgleichsschwingungsfreies Schalten von Asynchronmaschinen
In: etz Antriebstechnik Heft 6-7/1995, S. 24...32
- Beck / Sourkounis / Wenske Torsionsschwingungen in Antriebssträngen mit hydrodynami-
scher Kupplung. In: Antriebstechnik 34 (1995) Nr. 5. S. 62-67

Patente:

- Beck / Engel / Stoll Verfahren zur verschleißorientierten Kraftschlußregelung mit
variablen Arbeitsintervall für Triebfahrzeuge mit stromrichter-
gespeisten Fahrmotoren - Anmeldetag 25. Oktober 1995 Akten-
zeichen: P19539652.9

2.2 Vorträge / Seminare

- Engel State Controller with Kalman Filter damping Torque Oscillati-
ons in AC Traction Drives. Bei der IEEE/KTH Stockholm
Power Tech Conference, International Symposium on Electric
Power Engineering, Stockholm, Schweden, 22. Juni 1995

- Engel New Control Concept for Overload Minimized Traction Drives.
Bei der 6th European Conference on Power Electronics and
Applications, Sevilla, Spanien, 20. September 1995
- Alders Neues Regelkonzept für elektrische Hochleistungstraktionsan-
triebe mit Berücksichtigung der schwingungsfähigen Mechanik.
Bei: 40. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Techni-
sche Universität Ilmenau, 18.-21. September 1995
- Kayser Lastkollektivierung durch aktive Schwingungsdämpfung in An-
triebskomponenten mechanisch-elektrischer Systeme
Bei: VDI-Schwingungstagung '95 „Schwingungen in Antrieben
- Analyse, Beurteilung, Beeinflussung, Überwachung“,
Veitshöchheim, 25. September 1995
- Goslar Bericht zum Stand des Forschungsvorhabens VFWH-AW 121,
Mitgliederversammlung VFWH, Düsseldorf, 31. Mai 1995
- Goslar Ein aktives Konzept zur maximalen Dämpfung der mechani-
schen Eigenkreisfrequenzen, Betreuerkreissitzung VFWH-AW
121, Clausthal-Zellerfeld, 6. Juli 1995
- Goslar Eine analytische Betrachtung der Methode der Gezielten Eigen-
wertvorgabe am Zweimassen-Schwinger, Präsentation For-
schungsantrag, Mitgliederversammlung VFWH, Düsseldorf, 6.
Dezember 1995
- Beck Der ICE und seine zukünftigen Generationen, Rotaract Goslar,
27. September 1995
- Beck Umweltschutz durch Regenerative Energien, Lions, Helmstedt,
1. November 1995
- Beck Alternative Studienkonzepte, Ringvorlesung ASTA TUC,
14. November 1995

2.3 Technische Notizen und Berichte, Vorlesungsmanuskripte

Technische Notizen und Berichte:

Alders, J.	Derzeitiger Stand bei der Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses einer elektrischen Lokomotive am Bahnprüfstand des IEE 02/95
Thamodaran, M.	Neukonzeption, Auslegung und Bau einer Schweißanlage zum Engspalt-Schweißen von Eisen- und Stahlguß (Teil 1: Stand der Technik) 01/95
Wolf, A.	Experimentelle Untersuchung eines neuen Konzepts zur Thyristorspeisung von Drehstrom-Lichtbogenöfen 06/95
Wolf, A.	Experimentelle Untersuchung eines neuen Konzepts zur Thyristorspeisung von Drehstrom-Lichtbogenöfen (Teil 2) 10/95
Kanakis, A.	Mechanische Auslegung eines Prüfstandes zur Modellierung des Antriebsstranges einer Windkraftanlage 03/95
Thamodaran, M.	Neukonzeption einer Metall-Inertgas Schweißanlage 01/05
Thamodaran, M.	Schaltungskonzept einer MIG-Schweißanlage, Teil 1: Auslegung und Simulation der elektrischen Größen des Leistungsteils für Gleichstrom 05/95
Thamodaran, M.	Schaltungskonzept einer MIG-Schweißanlage, Teil 2: Auslegung und Simulation der elektrischen Größen des Leistungsteils für Impulsstrom 07/95

2.4 Geförderte Forschungsvorhaben

DFG-Antrag - Sonderforschungsbereich 180, zusammen mit dem Institut für Betriebsfestigkeit und Maschinelle Anlagentechnik der TU Clausthal

„Erhöhung der Verfügbarkeit und des Ausnutzungsgrades von Shredderanlagen (Shredder)“
(A18)

Bearbeiter: Dr.-Ing. Sourkounis

DFG-Antrag

„Minimierung von Lastkollektiven bei Bahnantrieben durch digitale Wellenmomentbeobachtung und -regelung“, Kennwort „Lastkollektivminimierte Bahnantriebe“

(Be 1496 /1-1)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Engel

DFG-Verbundantrag zusammen mit dem Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der TU Clausthal und dem Institut für Elektrotechnik der BA Freiberg

„Minimierung von Lastkollektiven bei Bahnantrieben durch eine Kraftschlußregelung mit aktiver Torsionsschwingungsunterdrückung“, Kennwort „Lastkollektivminimierte Bahnantriebe“

(Be 1496 / 1-2)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Engel

DFG-Antrag

„DFG-Schwerpunktprogramm ‘Systemintegration elektrischer Antriebe’, ‘Lastkollektivminimierung im Antriebsstrang von elektr. Hochleistungsantrieben durch Einsatz unscharfer Logik‘“, Kennwort „Fuzzy-Antriebsschutzregler“

(Be 1496 /2-2)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Kayser

DFG-Antrag

„Lastkollektivminimierung im Antriebsstrang von elektr. Hochleistungsantrieben durch Einsatz unscharfer Logik“

(Be 1496 /2-3)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Kayser

DFG-Antrag

„Stromrichterspeisung und Maschinenregelung für neuartige Reluktanzmotoren mit doppelseitiger Polausprägung“

(Be 1496 / 3-1)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Tavana-Nejad

VFWH-Forschungsantrag

„Erprobung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe an einem Betriebssystem mit hoher Getriebeübersetzung“

(VFWH AW 121)

Bearbeiter: Dipl.-Math. Goslar

2.5 Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte

Exkursionen:

Im Rahmen der Vorlesungen Hochspannungstechnik / Elektrische Energieverteilung wurde eine Exkursion zur Firma ABB Calor Emag Schaltanlagen AG durchgeführt. WS 94/95 (Teilnehmer 20 Personen)

Im Rahmen der Vorlesung „Elektrische Energietechnik“ wurden im Berichtszeitraum die folgenden zwei Exkursionen durchgeführt:

Geschäftsbereich Werke, Niederlassung Hamburg-Eidelstedt der Deutschen Bahn AG (ICE-Werkstatt), SS 95 (Teilnehmer 30 Personen)

Preussag-Stahl AG Salzgitter, SS 95 (Teilnehmer 25 Personen)

Gastaufenthalte:

Vom 15. Oktober bis zum 21. Oktober diesen Jahres besuchten Prof. Dr.-Ing. Koziol und Dr.-Ing. Hanzelka von der AGH Krakau das IEE.

3 Forschungsarbeiten

3.1 Ausbau der Institutseinrichtungen

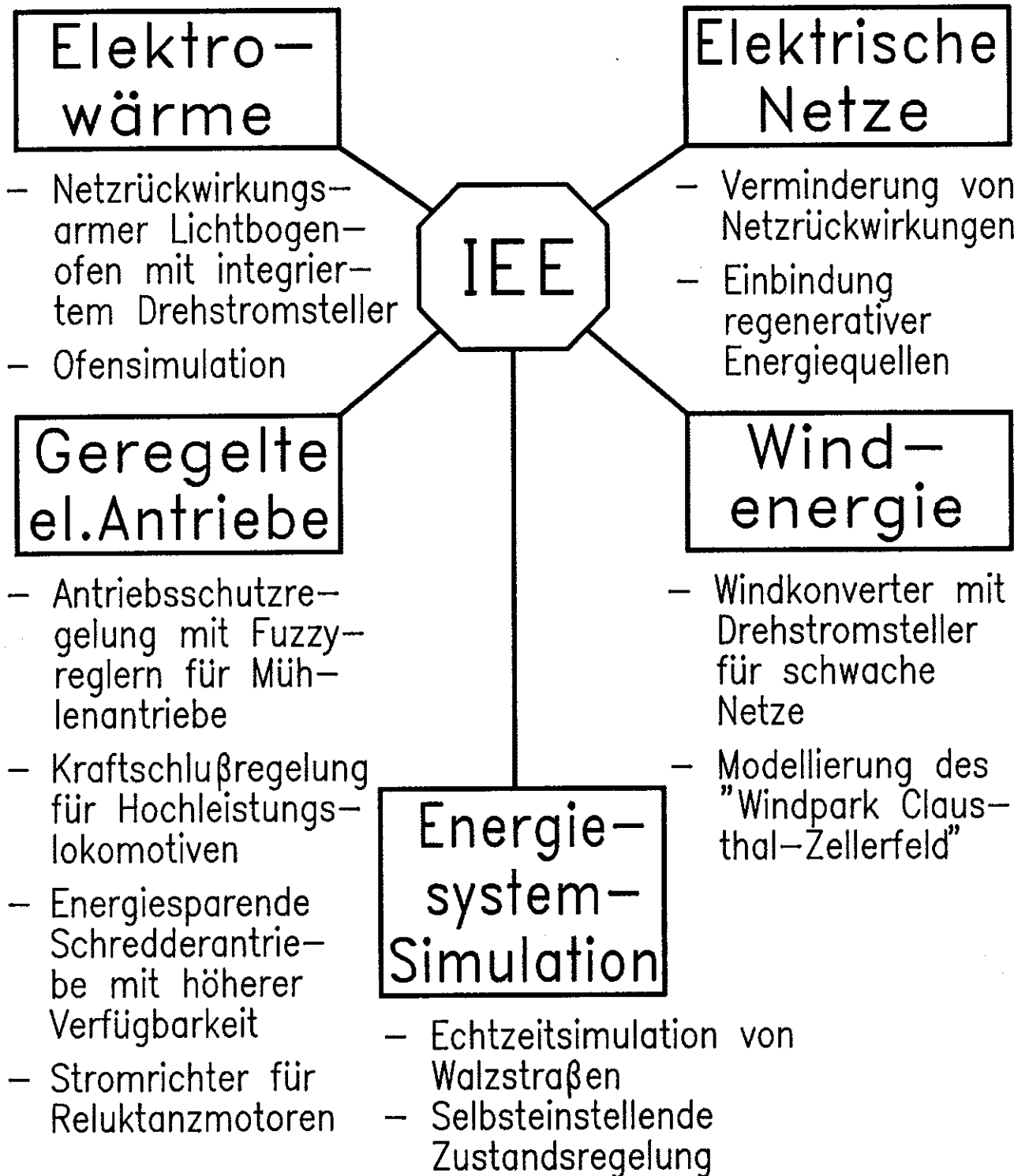
Zur weiteren Komplettierung der Institutseinrichtungen wurden laut Inventarbuch folgende Neuanschaffungen getätigt:

- 14 Kanal Magnetband (Firma Teac)
- 4 Kanalszillograph (Firma Textronix)
- FUZZY-Regler Trainingboard und Schrankgeräte (Firma Kahlert)
- 2,5 kW Photovoltaik-Generator in Fassadenkonstruktion
- Parallel-Rechner-Bediensystem (Mantovani AXIL 245)
- Belastungseinrichtung mit Gleichstrommotor, 150 kW, 1000 U/min (Firma Piller)
- Drehmomentmeßwelle (Firma HBM)

3.2 Projektblätter

Die folgende Übersicht und die sich anschließenden neuen bzw. aktualisierten Kurzbeschreibungen der von den wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführten Forschungstätigkeiten geben Auskunft über den derzeitigen Stand der laufenden Projekte des Institutes.

Forschungsschwerpunkte des Instituts für Elektrische Energietechnik



Übersicht: Forschungsschwerpunkte

Stand: Dez.1995

Solarstrom im Oberharz

Im Januar 1995 beantragte das **IEE** bei der Hochschulleitung (Titel "Unterhaltung, Ersatz und Ergänzung betrieblicher Einbauten" und "Bleibeverhandlungen Prof. Beck") die Installation eines Solargenerators, der in die Außenfassade des Institutsgebäudes (Südseite) integrierbar sein sollte.

Begründung:

Es handelt sich um eine Ergänzung der Energieversorgungsanlagen des IEE unter Einbeziehung einer regenerativen Energiequelle. Derartige Anlagen sind bisher an der TU nicht vorhanden. Die Nutzung regenerativer Energien gehört jedoch einerseits zum Lehr- und Forschungsgebiet des IEE und kann andererseits die umweltrelevanten Aktivitäten der TU öffentlichkeitswirksam unterstreichen. Der Solargenerator läßt sich hervorragend in die bestehenden elektrischen Anlagen für Lehr- und Forschungszwecke einbinden. Die erforderlichen hausinternen Installationsarbeiten und die Beschaffung der zugehörigen Kabel, Schalt- und Umrichteranlagen (Materialwert ca. 10.000,- DM) werden aus Institutsmitteln bestritten. Besonders aktuell war der eingereichte Antrag durch die für 1995 vorgesehene Sanierung der Fassade des Institutsgebäudes. Durch Kombination beider Maßnahmen sollte erheblich Geld eingespart werden (bis zu 20.000,- DM).

Im Sommer 95 wurde die Planung abgeschlossen und das Projekt ausgeschrieben. Es wurden kundenspezifisch gefertigte PV-Module im Rastermaß der vorhandenen Fassadenelemente vorgesehen. Daraus ergab sich folgende Konfiguration:

Pfosten-Riegel-Konstruktion zur Anbringung der PV-Anlage:	+10.304,00 DM
23 PV-Module: 710 x 1269 mm, ca. 108 W peak, bestehend aus 77 Zellen:	+41.618,50 DM
Einsparung durch die entfallenden Fassadenelemente:	-10.851,40 DM
Mehrkosten für die Photovoltaikanlage:	41.071,10 DM

Es wurden polykristalline PV-Zellen mit einem Wirkungsgrad von ca. 12-14% ausgewählt. Die technischen Daten der Module, das Anlagenkonzept und eine Energie-Ertragsberechnung sind in der Anlage angegeben.

Die fassadenseitige Installation erfolgte im Oktober 95. Die bauseitigen elektrischen Installationsarbeiten wurden von Mitarbeitern des **IEE** durchgeführt. Hierzu zählen die Installation der in der Fassade verlegten elektrische Verkabelung, die Durchführung in das Gebäude bis hin zu einem zentralen Anschlußpunkt (PV-Modul-Sammelkasten) in einem Installationsschacht und der elektrische Anschluß der PV-Module zeitsynchron zu deren Anbringung in der Fassade. Hierbei wurden ca. 900 m Leitung und 50 m Kabelkanal verbaut.

Seit Abschluß der Außen-Arbeiten wird die Installation im Gebäude zur Netzanbindung des Generators weitergeführt. Im Anschluß an die Netzanbindung Anfang 1996 soll die Integration in den Versuchstand AMOEVES zur Einbindung verschiedener regenerativer Energiequellen in das elektrische Netz erfolgen. In dieser Phase und bei der Optimierung des Netz-Parallelbetriebes (Leistungsregelung) werden entsprechende Teilaufgaben als Studien- und Diplomarbeiten vergeben sowie ein neuer Versuch zum Fachpraktikum Energieelektronik aufgebaut.

Projektbearbeiter:

Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Datum:

15.12.1995

BV: Universität, Clausthal-Zellerfeld

Erläuterung des Exposés

Für die Fassadensanierung des Institutes für Elektrische Energietechnik der Universität in Clausthal-Zellerfeld ist der Einsatz von photovoltaischen Elementen zur umweltfreundlichen Gewinnung von elektrischem Strom vorgesehen.

Die Photovoltaikmodule sollen im Attikabereich installiert werden.

Für diesen Bereich sind polykristalline Module mit blau-schimmernden Zellen ($\eta = \text{ca. } 13 - 14\%$) ausgewählt worden.

Der Aufbau des Exposés ist so gegliedert, daß zunächst die Ansicht aus Süd-Westen mit Lage des geplanten Photovoltaik-Bereiches gezeigt wird.

In den technischen Vorbemerkungen sind die Grundlagen der Synergie-Fassaden erläutert.

Es folgt die Modulbeschreibung und die Datenblätter der Module mit den zugehörigen Maßangaben und den elektrischen Werten.

Die elektrische Systemtechnik stellt die Struktur des elektrotechnischen Konzeption vor und gibt einen Überblick über den Aufbau der Anlage.

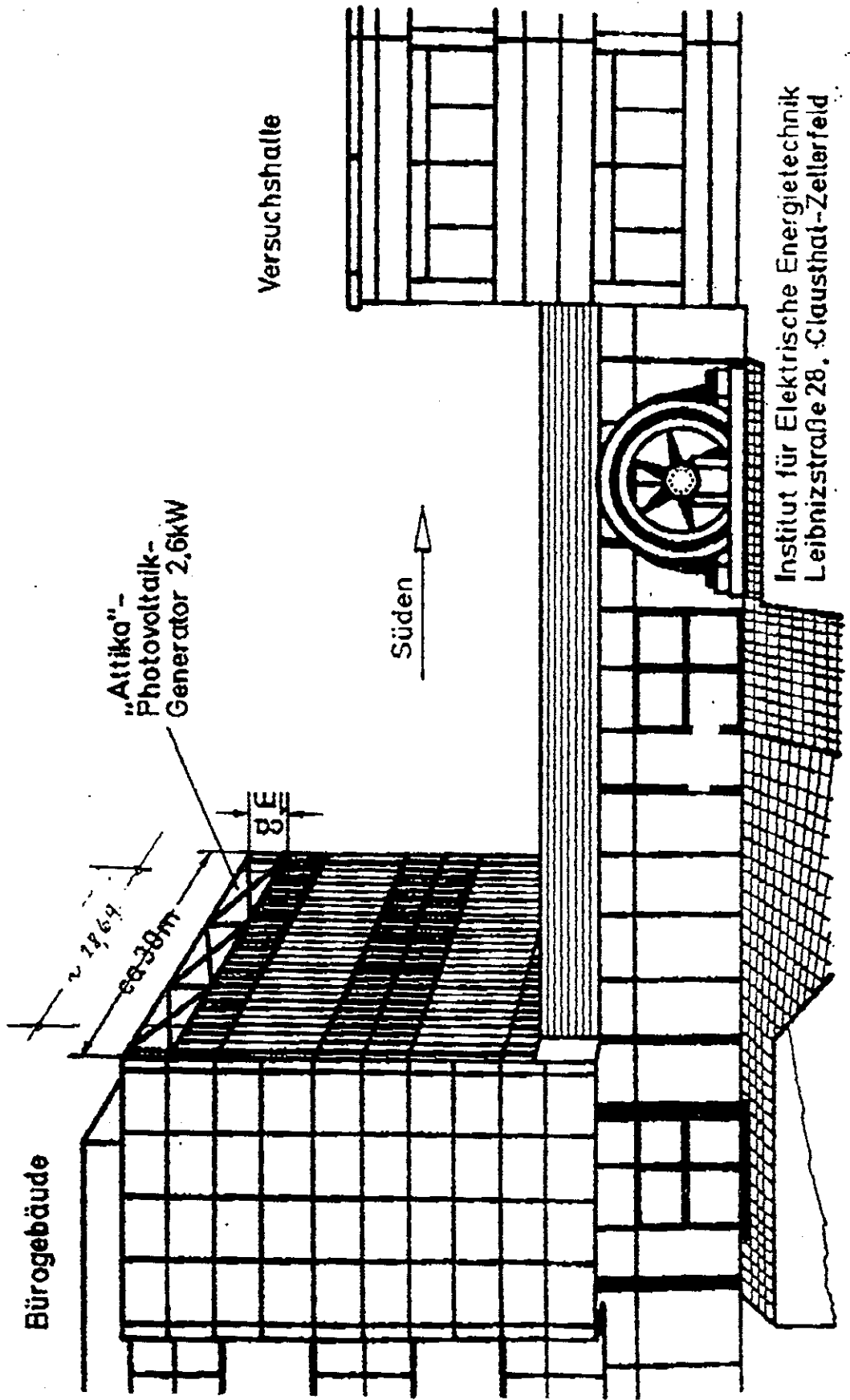
Hierbei ist zunächst ein netzgekoppelter Generator mit insgesamt 20 aktiv geschalteten Modulen vorgesehen. Die restlichen 2 Module können zu Meß- und Versuchszwecken genutzt werden.

Den Grundlagen zur Berechnung des Jahresenergieertrages folgt der Ertrag bei Einsatz von polykristallinen Zellen.

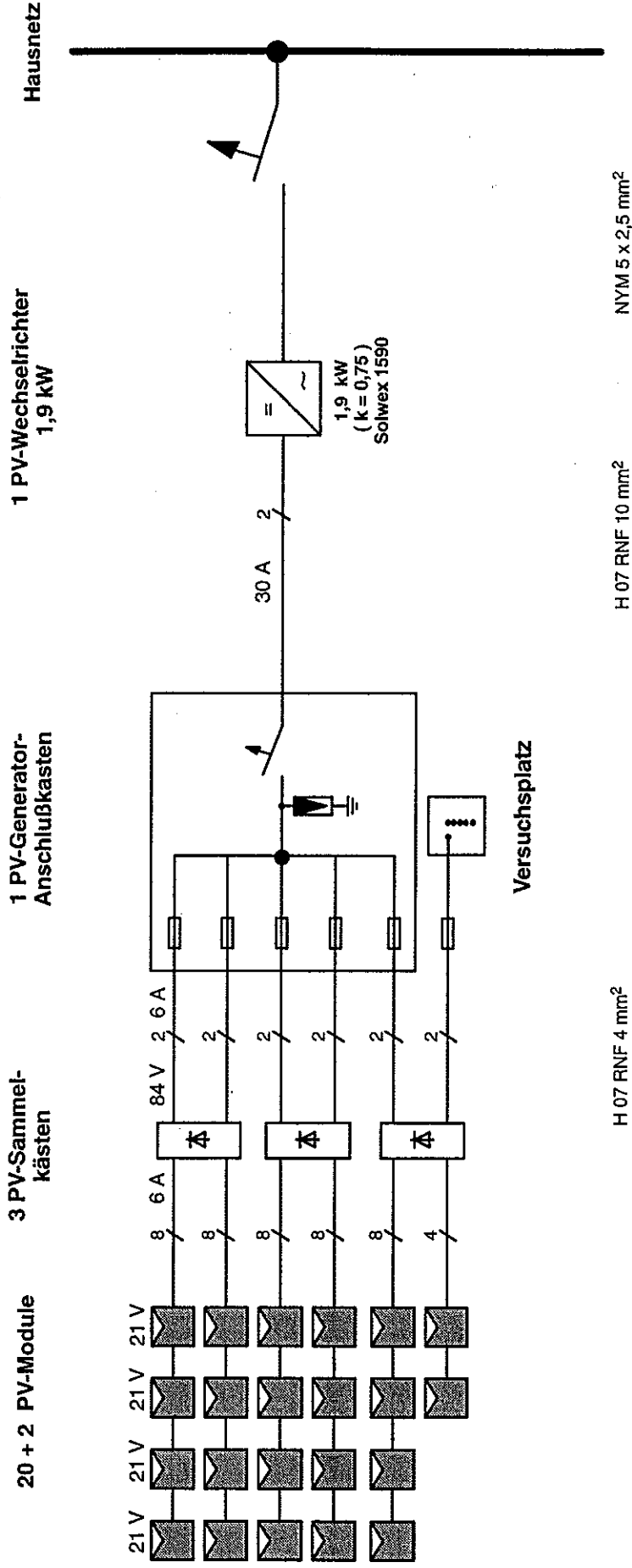
Es folgen Angaben über die Einsparung von fossilen Energieträgern durch den Betrieb der Photovoltaik-Anlage, sowie die dazu gehörige Umweltentlastung innerhalb der Anlagen-Lebensdauer.

Das Nutzungsbeispiel gibt Aufschluß über die Verwendbarkeit der erzeugten elektrischen Energie innerhalb des Gebäudes.

Ansicht aus Süd-Westen



Anlagenkonzept



Gesamtleistung des PV-Generators: ca. 2,5 kWp

Jahresenergieertrag Photovoltaikanlage im Netzparallelbetrieb

Module mit polykristallinen Zellen

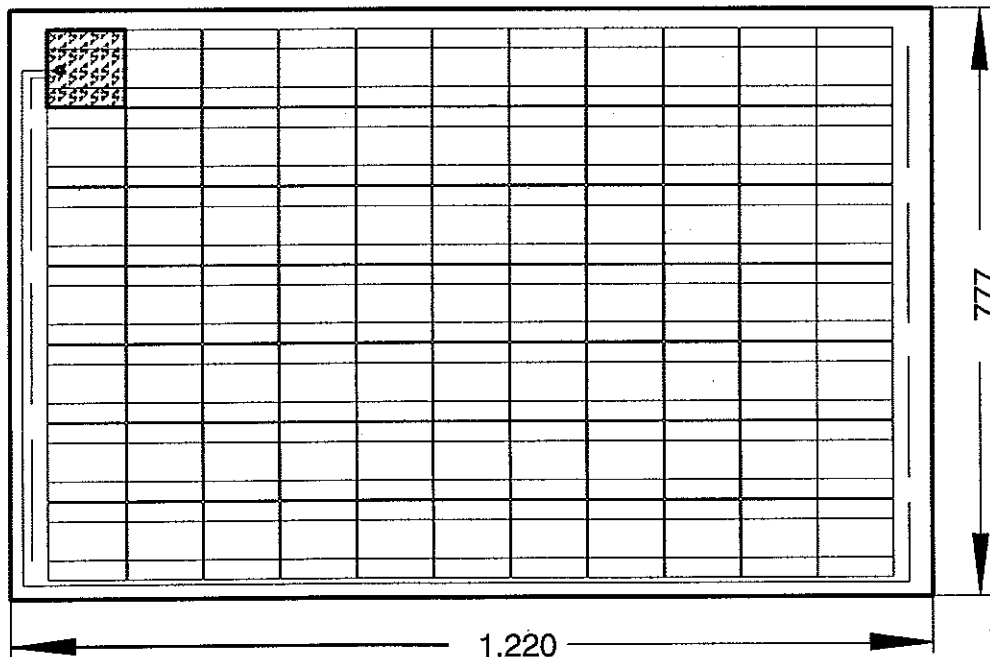
1.) Örtliches Strahlungsangebot (Globalstrahlung)		970 kWh/(m ² a)		
Bezugsstandort : Clausthal-Zellerfeld				
2.) Einbaufaktor (Himmelsrichtung, Einbauwinkel, Besch.)	x	0,73		
= Strahlungsangebot für PV-Anlage	=	710 kWh/(m ² a)		Strahlungsangebot
3.) Gesamtfläche der aktiven Solarzellen	x	17,6 m ²		Solarzellenfläche
4.) Wirkungsgrad der Solarzellen (bei 25°C)	x	0,14		
5.) Einfluß der Betriebstemperatur (Abschlag)	x	0,90		
6.) Kabelverluste (rd. 2%)	x	0,98		
7.) Nutzungsgrad des PV-Wechselrichters	x	0,85		Systemwirkungsgrad

mögliche Jahresenergieausbeute ca. 1.300 kWh / a

BV: Universität, Clausthal-Zellerfeld

Modultyp A: polykristallin "Kyocera"

Stückzahl: 21
 Größe: B x H = 1.220 x 777 mm , S = 10 mm
 Belegung: 11 x 7 = 77 Zellen
 Zellenart: polykristallin (Kyocera) 100 x 102 mm
 Spannung: U = ca. 35 V
 Strom: I = ca. 3,1 A
 Leistung: P = ca. 108 Wp
 Zellenabstand: horizontal 2 mm, vertikal 2 mm
 Randabstand: horizontal 50 mm, vertikal 25,5 mm
 Leiterbahnen: horizontal
 Anschlußart: Anschlußdose (links oben) mit Bypassdiode





- Stand der Technik :** - Antrieb mit unregelter Asynchronmaschine und hydrodynamischer Kupplung als Überlastsicherung
- Problem:**
- Selbsterregte Torsionsschwingungen im Antriebsstrang beim Hochlaufvorgang der Shredder-Anlage (s. Abb. 1)
 - Anregung von Torsionsschwingungen im Antriebsstrang durch den Shredder-Prozeß
 - Änderungen der Anlagenparameter, wie z. B. Hammerform oder Luftspalt zwischen Hammer und Gehäuse, sowie Zusammensetzung des Schrottgutes beeinträchtigen die Effektivität des Shredder-Prozesses und führen im allgemeinen zur Verminderung des Durchsatzes (geringerer Ausnutzungsgrad)
- Ziel:**
- Durch Ausnutzung der kinetischen Energie in den rotierenden Massen (Schwungradeneffekt) sollen mit geeigneten Regelkonzepten Lastspitzen im Antriebsstrang sowie im speisenden Netz unterdrückt werden; "drehzahl-elastischer Betrieb" (s. Abb. 2)
 - Die zur Lastkollektivminimierung erforderlichen Leistungsstellreserven sollen durch Anpassung der Antriebssystemstruktur reduziert werden.
 - Durch Regelkonzepte mit nichtlinearen Reglern soll eine weitere Verbesserung des Ausnutzungsgrades erreicht werden. Hierbei steht die Aufwandsreduzierung der leistungselektronischen Stellglieder (z. B. Umrichter) im Vordergrund.
 - Die ungünstigen Einflüsse der zeitvarianten Anlagenparameter und der Schrottart auf dem Shredder-Prozeß sollen durch automatische Nachführung der Regler- und Betriebsparameter (hier: Drehzahl) kompensiert werden.
- Lösungsweg:**
- Durch Betriebsmessungen sind Erkenntnisse über das Betriebsverhalten in Zusammenhang mit dem Shredder-Prozeß gewonnen worden.
 - Vergleichende theoretische und experimentelle Untersuchungen möglicher Antriebskonzepte unter den Gesichtspunkten der Lastkollektivminimierung und der dazu erforderlichen Leistungsstellreserven.
 - Endgültige Definition eines Antriebssystems für die Shredder-Anlage, welches die gestellten Anforderungen erfüllt.
 - Entwurf und Erprobung einer Betriebsführung zur Anpassung der Drehzahl auf die Änderungen der Anlagenparameter
 - Übertragung der Ergebnisse auf einen Versuchsshredder; experimentelle Untersuchungen am Versuchsshredder.

Bearbeiter: Dr.-Ing. Constantis Sourkounis

Datum: 8.12.95

Projekt: Shredder- Lastminimierende energiesparende Antriebe

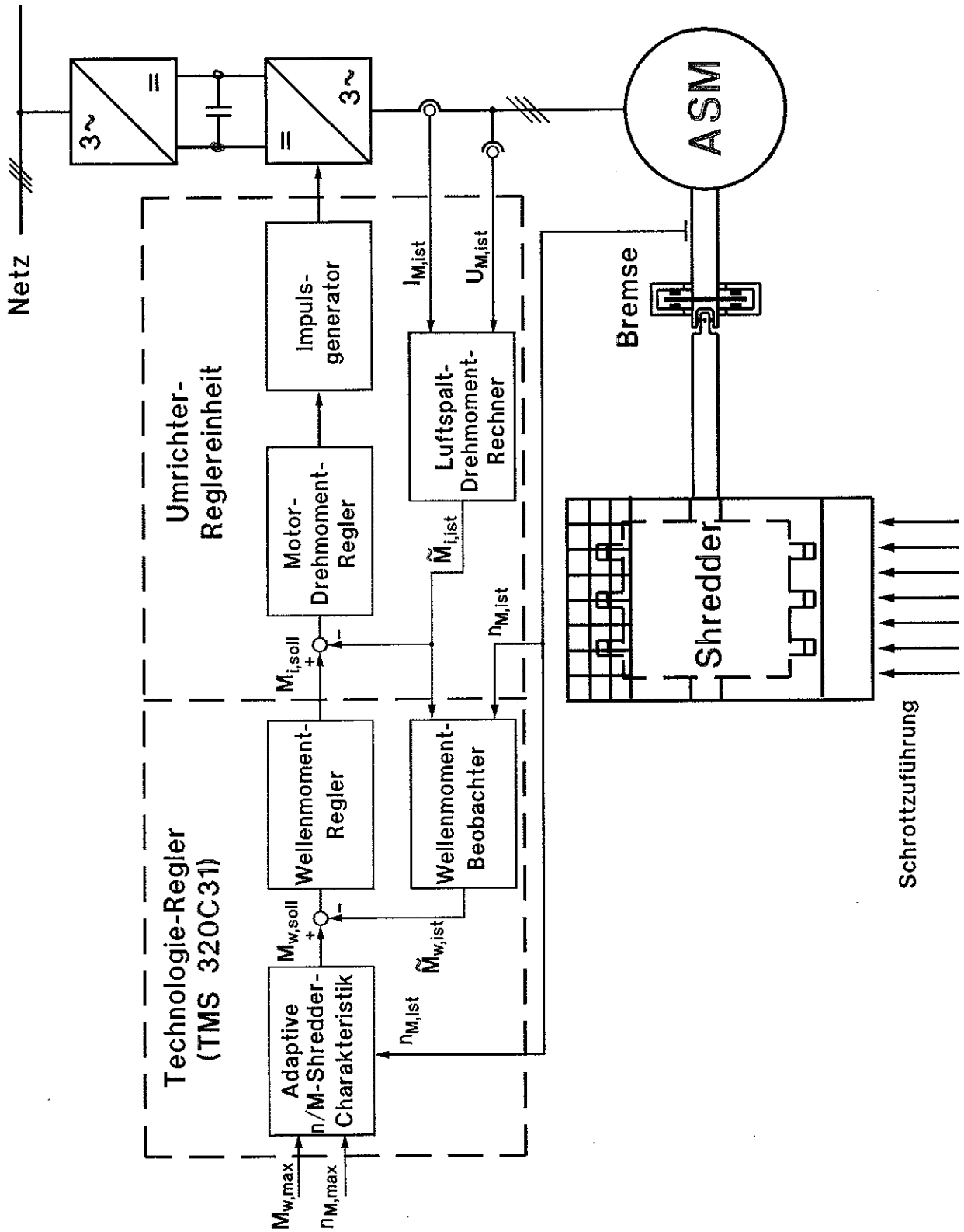


Abb. 2: Antriebstruktur zur aktiven Dämpfung von Torsionsschwingungen im Antriebsstrang

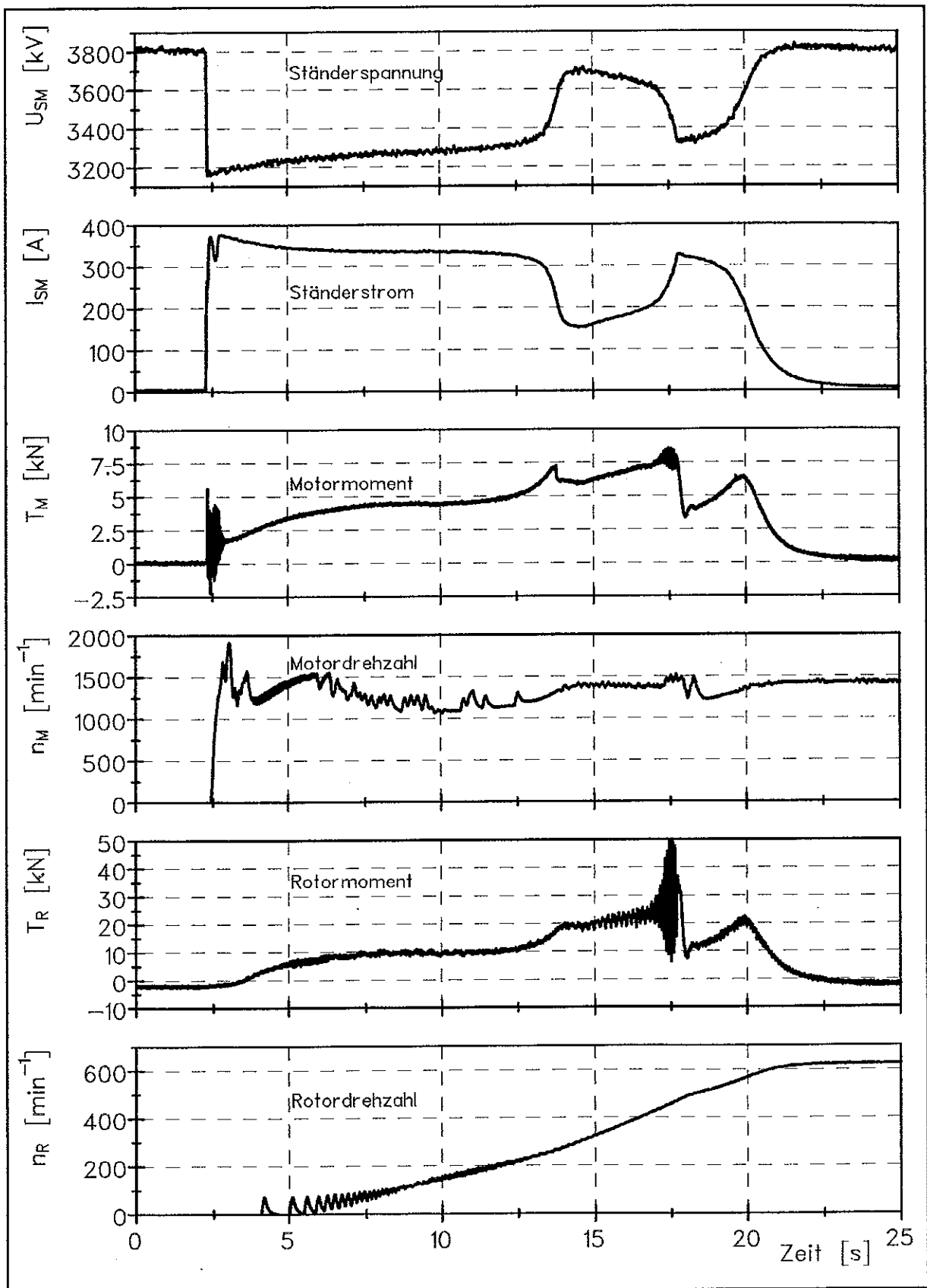


Abb. 1: Gemessene Zeitverläufe von Betriebsgrößen während des Hochlaufvorganges



-
- Problem:** Untersuchung der möglichen Einsatzbereiche der Echtzeit-Simulation verschiedener Antriebssysteme am Beispiel einer realen technischen Anlage
- Stand der Technik:**
- ♦ Zur Zeit werden Simulationen hauptsächlich in Teilgebieten eingesetzt, z. B. zur Optimierung von Regelkreisen oder zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens von Feder-Masse-Systemen, dabei werden fast ausnahmslos Offline-Simulationen durchgeführt
 - ♦ "Prozeßbegleitende" Echtzeitsimulation wird selten bei komplexen Systemen eingesetzt, i. allg. wegen zu geringer Rechengeschwindigkeiten
- Arbeitsschritte:**
- ♦ Offline-Simulation einer realen Anlage zur Abschätzung der erforderlichen Rechenleistungen
 - ♦ Validierung der Simulationsergebnisse durch Vergleich mit Meßdaten des realen Systems
 - ♦ Erarbeiten eines ausbaufähigen Konzeptes für die Soft-/Hardware-Investitionen zur Echtzeit-Simulation
 - ♦ Realisierung des Soft-/Hardware-Konzeptes zur Echtzeit-Simulation
 - ♦ Entwicklung und Erprobung verschiedener Parallelisierungsstrategien (automatische Compiler-Parallelisierung, strukturelle Parallelisierung, 'Load-Balancing', etc.)
 - ♦ Entwicklung und Untersuchung von Konzepten zur Anwendbarkeit des Echtzeit-Simulators
 - ♦ Erprobung der Konzepte im Online-Betrieb
- Ziel:** Einsatz von Echtzeitsimulation im Online-Betrieb zur Prozeßüberwachung und Prozeßsteuerung durch die Einbindung von Diagnose- und Prognoseverfahren aufgrund von Ereignissen im Prozeß. Eine besondere Berücksichtigung soll hierbei zum einen die Verwendung standardisierter Software und 'low cost'-Hardware finden, zum anderen soll eine durchgängige Linie von der Modellerstellung bis hin zum parallelisierten lauffähigen C-Programm erkennbar sein.
- bisherige Ergebnisse, laufende Arbeiten:**
- ♦ Mit dem gewählten Simulationsmodell wurden umfangreiche Simulationen durchgeführt, um eine Abschätzung über die, für die Echtzeitsimulation erforderlichen Rechenzeitverkürzungen zu erhalten. Dabei wurde festgestellt, daß ein "Speed-Up" von 50 (bezogen auf die Offline-Simulation mittels des Simulationssystems Netasim mit Benutzung eines Prozessors auf einer SUN-SparcStation 10) allein für die Teilmodelle 'mechanische Antriebsstränge' und 'Walzspaltmodell' erforderlich ist.
 - ♦ Der o. g. Speed-Up zur Echtzeit-Simulation soll durch Parallelisierung erreicht werden. Dabei wird auf eine Durchgängigkeit von der Offline-Simulation zur Online-Simulation geachtet. D. h. vom offline erstellten Simulationsmodell (in der entsprechenden Simulationssprache) wird durch Code-Generierung ein Quellprogramm erzeugt, das nach Erweiterung mit den Parallelisierungsstrukturen auf die echtzeitfähige Rechnerhardware portiert wird.
-



- ♦ Für die o. g. Rechnerhardware sind Konzepte für die Beschaffung eines Massiv-Parallel-Rechners erarbeitet und ein entsprechender Großgeräteantrag erstellt worden.
- ♦ Die Verwendbarkeit der erzeugten Quellprogrammcodes (Vergleich der Simulationsergebnisse, Lesbarkeit des Quellcodes, etc.) der zur Verfügung stehenden Simulationssysteme wurde überprüft. Beim augenblicklichen Kenntnisstand wird für die weiteren Arbeiten der Parallelisierung das AutoCode-Modul aus dem Simulationssystem MatrixX verwendet (vgl. Bild 2).
- ♦ Der Code-Generierer aus MatrixX bietet die Benutzung sog. Templates bei der C-Codegenerierung. Solche Templates werden zur Zeit entwickelt um die grafisch programmierte Modellstruktur in ein parallelisiertes Programmgerüst einzubetten (vgl. Bild 1). Dieses Programmgerüst wird so gestaltet sein, daß ein Wechsel zwischen verschiedenen Kommunikationswerkzeugen möglich ist. Im augenblicklichen Stadium werden zur Kommunikation zwischen den Prozessen die Betriebssystemeigenschaften von Solaris 2.4 (demnächst Solaris 2.5) für die 'Socket-Kommunikation' genutzt. PVM, MPI und betriebssystemspezifisches Message-Passing sind als weitere Alternativen ins Auge gefaßt.

Dokumente:

"Mögliche Anwendungsgebiete für den Einsatz eines Echtzeitsimulators im Bereich des Walzstraßenbetriebs", Technische Notiz, *IEE* intern, W. Mendt, 5/93

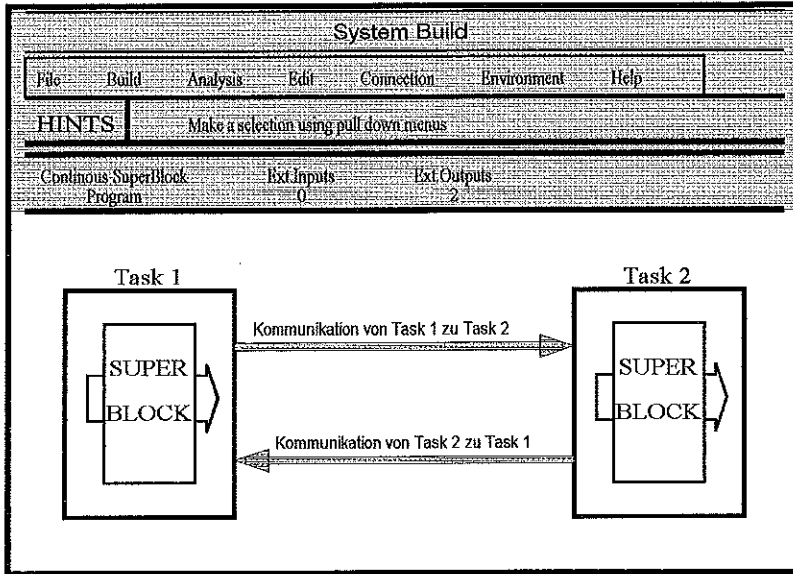
"Untersuchungen zur Validierung eines Walzspaltmodells", Technische Notiz, *IEE* intern, W. Mendt, 9/94

"Vergleich der Simulationsergebnisse von Netasim und MatrixX mit denen des durch AutoCode generierten C-Programms ", Technische Notiz, *IEE* intern, W. Mendt, Erscheinen voraussichtlich 1/96

Bearbeitungszeitraum: voraussichtlich bis Ende 1996

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Wolfram Mendt (Tel. 0 53 23 / 72 29 38)

Datum: 6. Dezember 1995



Grafische Programmierung des Simulationsmodells mit gebräuchlicher Simulationssoftware auf Standard-Workstation.

Hierbei werden zwei wichtige Vorteile erkennbar:

- 'parallele' Strukturen des Modells bildlich leicht vorstellbar
- Programmiermodell für Dokumentation verwendbar

C-Code-Generierung
 Compilieren auf der Zielhardware

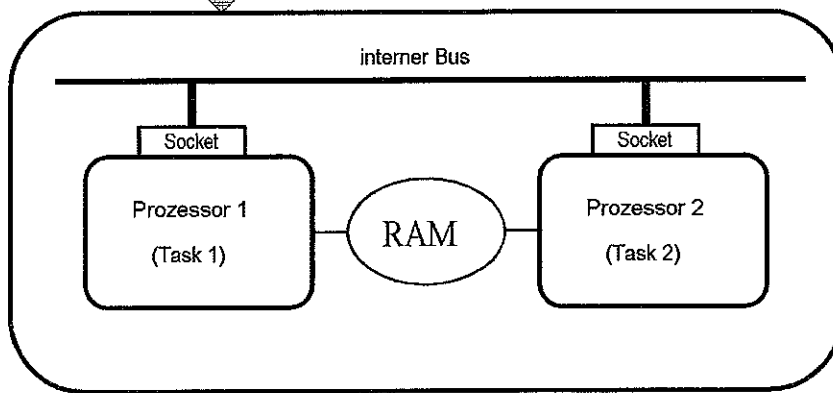
Template-File

```

@SEGMENT gen_task defn(@
@IFF ntasks 1 le 0@@RETURN 0@@ENDIF
@FILECLOSE@@
@FILEOPEN("stdout", "append")@@
@FILECLOSE@@
@LOOP i=1, 1 le ntask 1, i=i plus 1@@
@SCOPE SUBSYSTEM i@
@IFF continous_b@@
@IFF i eq continous_id@
@define_integrator()@
@ENDIF@@
@ENDIF@
@define_subsystem()@
if(iinfo[1]){
    SUBSYS_INIT[1]= FALSE;
    iinfo[1]= 0;
}
return;
EXEC_ERROR: ERROR_FLAG[i]= iinfo[0];
iinfo[0]= 0;
}
@ENDLOOP@
@ENDSEGMENT@
    
```

Mit Hilfe des Template-Files soll aus der programmierten Modellstruktur das parallelierte C-Quellprogramm erzeugt werden.

Aus diesem Quellprogramm wird auf der Zielhardware durch den Compiler das lauffähige Programm erzeugt.



Durch die rasanten Entwicklungen auf dem Workstationmarkt kann als Zielhardware eine Mehr-Prozessor-Workstation verwendet werden. Dadurch erhält man eine hohe Rechenleistung bei einem niedrigeren Preis als bei speziellen Parallel-Rechner-Systemen.

Eine solche Entscheidung wird zudem durch die Tendenz erleichtert, auch die hierfür verfügbaren Betriebssysteme (z. B. Solaris) mehr und mehr echtzeitfähig zu gestalten.

Bild 1: Eine durchgängige Linie für den Entwicklungsingenieur von der Modellprogrammierung bis zum Einsatz des echtzeitfähigen Simulationsprogramms

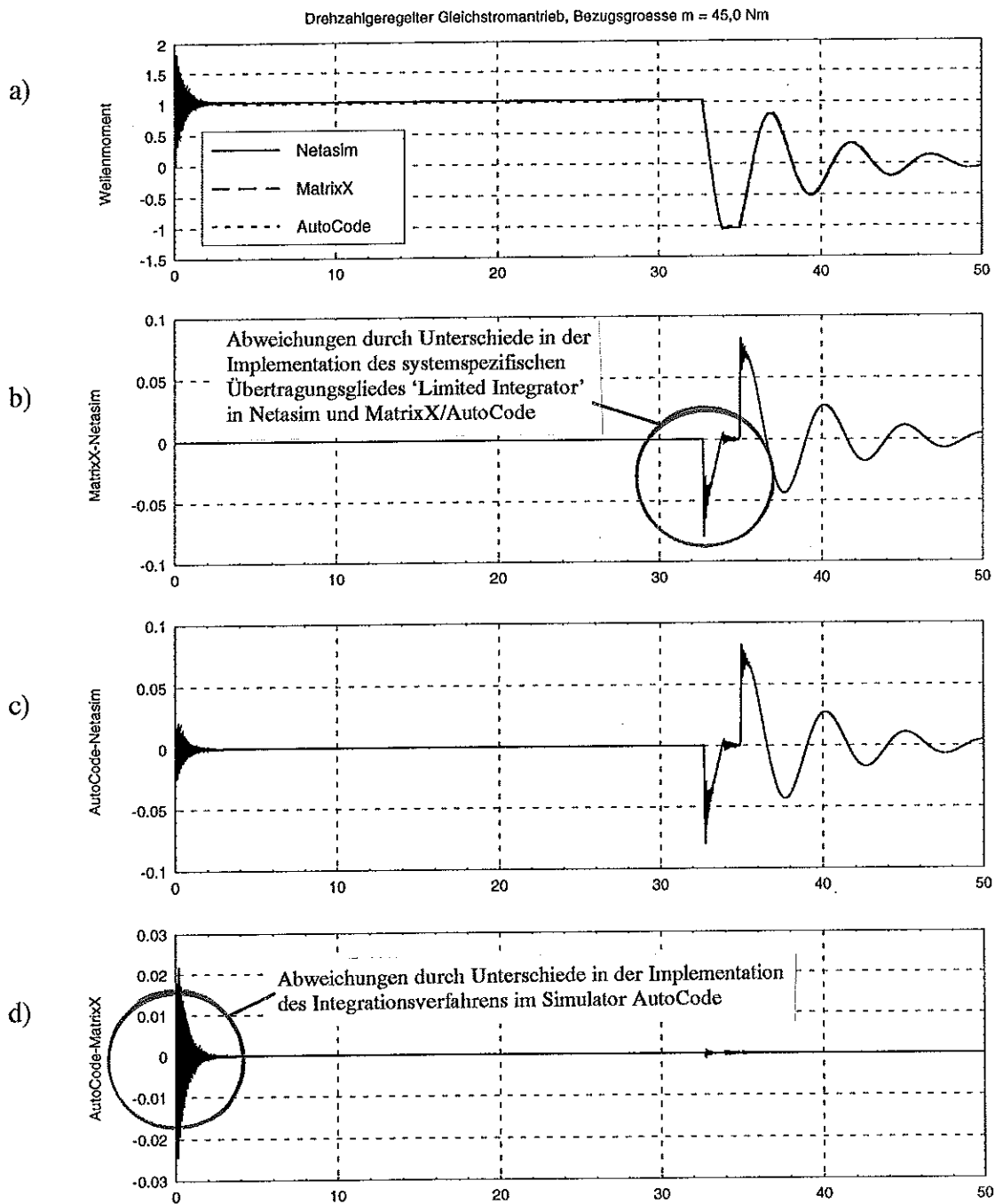


Bild 2: Wellenmoment im mechanischen Teilsystem (Zwei-Massenschwinger mit folgendem Massenverhältnis: Motormasse:Schwungmasse = 1:40) des Modells 'Drehzahl geregelter Gleichstromantriebsprüfstand'

- a) Simulierter Signalverlauf des Wellenmomentes, normiert
- b) Absolute Abweichung im Simulationsergebnis zwischen Netasim und MatrixX
- c) Absolute Abweichung im Simulationsergebnis zwischen Netasim und AutoCode
- d) Absolute Abweichung im Simulationsergebnis zwischen MatrixX und AutoCode



-
- Problem:** Torsionsschwingungen belasten die Antriebsstränge moderner Hochleistungslokomotiven und reduzieren die Lebensdauer der mechanischen Komponenten. Hohe Antriebsleistungen führen zu starkem Radverschleiß.
- Ziel:** Nachbildung des dynamischen Verhaltens und der Rad-Schiene-Kontakte des Antriebsstranges eines Drehstrom-Bahnantriebes als Grundlage für Forschungsarbeiten zur Bedämpfung von Torsionsschwingungen und Entwicklung von Kraftschlußregelungen für Bahnantriebe (Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Engel).
- Stand der Technik:** Siehe Jahresbericht 1992
- Lösungsweg:** Siehe Jahresbericht 1993
- Vorteile angestrebter Lösungen:** Siehe Jahresbericht 1992
- Stand der Untersuchungen:**
- Abschluß des mechanischen Prüfstandsbaus.
 - Inbetriebnahme, Untersuchung und Optimierung des Stellgliedes "direktumrichtergespeiste Synchronmaschine".
 - Inbetriebnahme eines hochdynamischen Prozeßrechnersystems auf Transputerbasis für Regelungsaufgaben am Prüfstand.
 - Umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Kraftschlußnachbildung am Prüfstand.
 - Wesentliche Verbesserung der Realitätsnähe der Kraftschlußnachbildung am Prüfstand durch Einsatz neuer Regelungshardware und Anwendung regelungstechnischer Korrekturglieder.
 - Erfolgreicher Abschluß der Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses an beiden Rädern.
- Dokumentation:** Alders, J./ Beck, H -P./ Engel, B.: Neues Regelkonzept für elektrische Hochleistungstraktionsantriebe mit Berücksichtigung der schwingungsfähigen Mechanik. Tagungsband des 40. internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium in Ilmenau, Band 4, Dagmar Schipanski, Ilmenau: Technische Universität Ilmenau 1995. S. 482-487.
-

Projekt: Bahnprüfstand



Brey, Marco/ Knierim, Jörg: Untersuchung des Modells eines Prüfstandes zur Nachbildung des Antriebsstranges einer elektrischen Lokomotive. Mathematisches Praktikum: Dezember 1994.

Alders, Jürgen: Derzeitiger Stand bei der Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses einer elektrischen Lokomotive am Bahnprüfstand des IEE. Technische Notiz: Februar 1995.

Holl, Michael: Ordnungsreduktion des Modells des Antriebsstranges einer elektrischen Lokomotive. Studienarbeit: März 1995.

Schaper, Rainer: Entwurf und Simulation einer Regelung zur Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses einer Drehstromlokomotive an einem Prüfstand. Studienarbeit: Mai 1995.

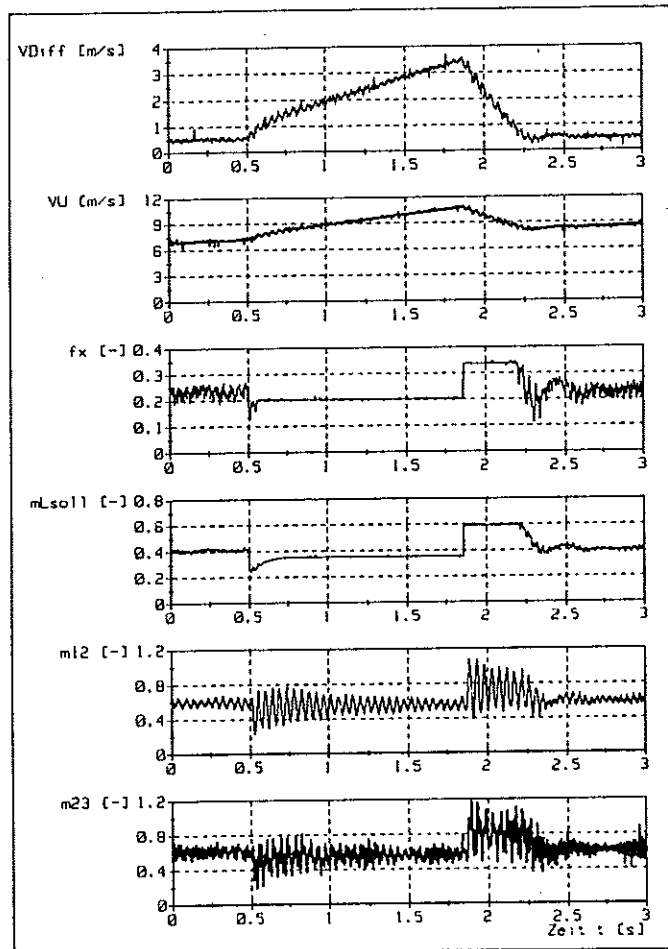
Hohlweg, Frank: Implementierung und Untersuchung einer Regelung zur Nachbildung des Rad-Schiene-Kraftschlusses einer elektrischen Lokomotive an einem Prüfstand. Studienarbeit: Dezember 1995.

Alders, J.: Nachbildung des Antriebstranges einer elektrischen Lokomotive und des Rad-Schiene-Kraftschlusses mit umrichtergespeisten Drehfeldmaschinen für einen Bahnprüfstand. Dissertation (Dokumentation in Vorbereitung, erscheint 1996).

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Jürgen Alders (Tel.: 72-2593)

Datum: 8.12.1995

Projekt: Bahnprüfstand



Am Bahnprüfstand des IEE nachgebildeter Schleudervorgang einer elektrischen Lokomotive. Beim Zeitpunkt $t = 0,5$ sek bricht der Längskraftschlußbeiwert f_x auf 60% des vorherigen Wertes ein und steigt bei $t \approx 1,8$ sek wieder auf 100% an. Nachgebildet wurde hier ein Rad-Schiene-Kontakt. Der Fahrmotor wird momentengeregelt ohne Kraftschlußregelung mit dem Antriebsmoment $m_A = 0,4$ betrieben.

- v_{diff} : Differenzgeschwindigkeit zwischen Rad und Schiene
- v_U : Umfangsgeschwindigkeit des Rades
- f_x : Kraftschlußbeiwert in Längsrichtung
- m_{Lsoll} : Bezogenes Kraftschlußsollmoment
- $m_{1,2}$: Bezogenes Moment in der Nachbildung der Hohlwelle (1. Welle)
- $m_{2,3}$: Bezogenes Moment in der Nachbildung der Radsatzwelle (2. Welle)
- i : Modellmaßstab: $i = 100$
- m_A : Bezogenes Antriebsmoment
- M_N : Bezugsmoment: $M_N = 360 \text{ Nm}$

Projekt: Bahnprüfstand
Meßergebnis eines Schleudervorganges



- Problem:** Im Antriebsstrang elektrischer Grenzleistungslokomotiven kommt es zu Torsionsschwingungen, die die Lebensdauer der mechanischen Komponenten herabsetzen.
- Ziel:** Minimierung der Lastkollektive bei Bahnantrieben durch aktive Bedämpfung der Torsionsschwingungen mittels digitaler Zustandsregelung (Zusammenarbeit mit Dipl.-Ing. Alders und Prof. Beckert, TU Bergakademie Freiberg).
- Stand der Technik und Lösungsweg** siehe Institutsbericht 1992
- Ergebnisse in 1995:**
- Der in 1994 gestellte Fortsetzungsantrag "Lastkollektivminimierte Bahnantriebe" wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) genehmigt. Das Projekt wird für ein 3. Jahr von der DFG gefördert.
 - Der Bahnprüfstand erhielt seinen endgültigen Aufbau mit Getriebe und Nachbildung der 20Hz- und 50Hz-Eigenschwingung (siehe auch Projektblatt Alders).
 - Im Rahmen dieses Projektes wurde der Meß-PC zum ersten Mal in Betrieb genommen und zu Messungen intensiv genutzt.
 - Im Echtzeittransputersystem GEATRAC wurden außer einer konventionellen einschleifigen Drehzahlregelung verschiedene neue Regelkonzepte implementiert und erprobt:
 - Zustandsregler und Zustandsbeobachter für Zweimassenschwinger
 - Zustandsregler und Zustandsbeobachter für Dreimassenschwinger
 - Neue Kraftschlußregelung mit variablen Arbeitsintervall
 - Durch den Zustandsbeobachter kann z. B. das Drehmoment in der Hohlwelle gut geschätzt werden.
 - Durch die Zustandsregelung wird eine deutliche aktive Schwingungsbedämpfung erreicht, verglichen mit einer konventionellen Drehzahlregelung (s. Meßergebnisse).
 - Die Kraftschlußregelung mit variablen Arbeitsintervall, die einen Kompromiß zwischen Verschleiß und Kraftschlußausnutzung sucht, wurde zum Patent angemeldet (s. Anhang).
 - Veröffentlichungen und Vorträge bei den folgenden Konferenzen:
 - *State Controller with Kalman Filter damping Torque Oscillations in AC Traction Drives.* IEEE/KTH Power Tech Conference, Stockholm, Schweden.



- *New Control Concept for Overload Minimized Traction Drives*. 6th European Conference on Power Electronics and Applications, Sevilla, Spanien (s. Anhang).
- *Neues Regelkonzept für elektrische Hochleistungstraktionsantriebe mit Berücksichtigung der schwingungsfähigen Mechanik*. 40. Internationales Kolloquium TU Ilmenau (Vortrag Dipl.-Ing. Alders).

- Infoblatt im Rahmen der Clausthaler Technologie Nachrichten: *Mechatronik bei Hochleistungsantrieben - Aktive Schwingungsbedämpfung*. (s. Anhang)

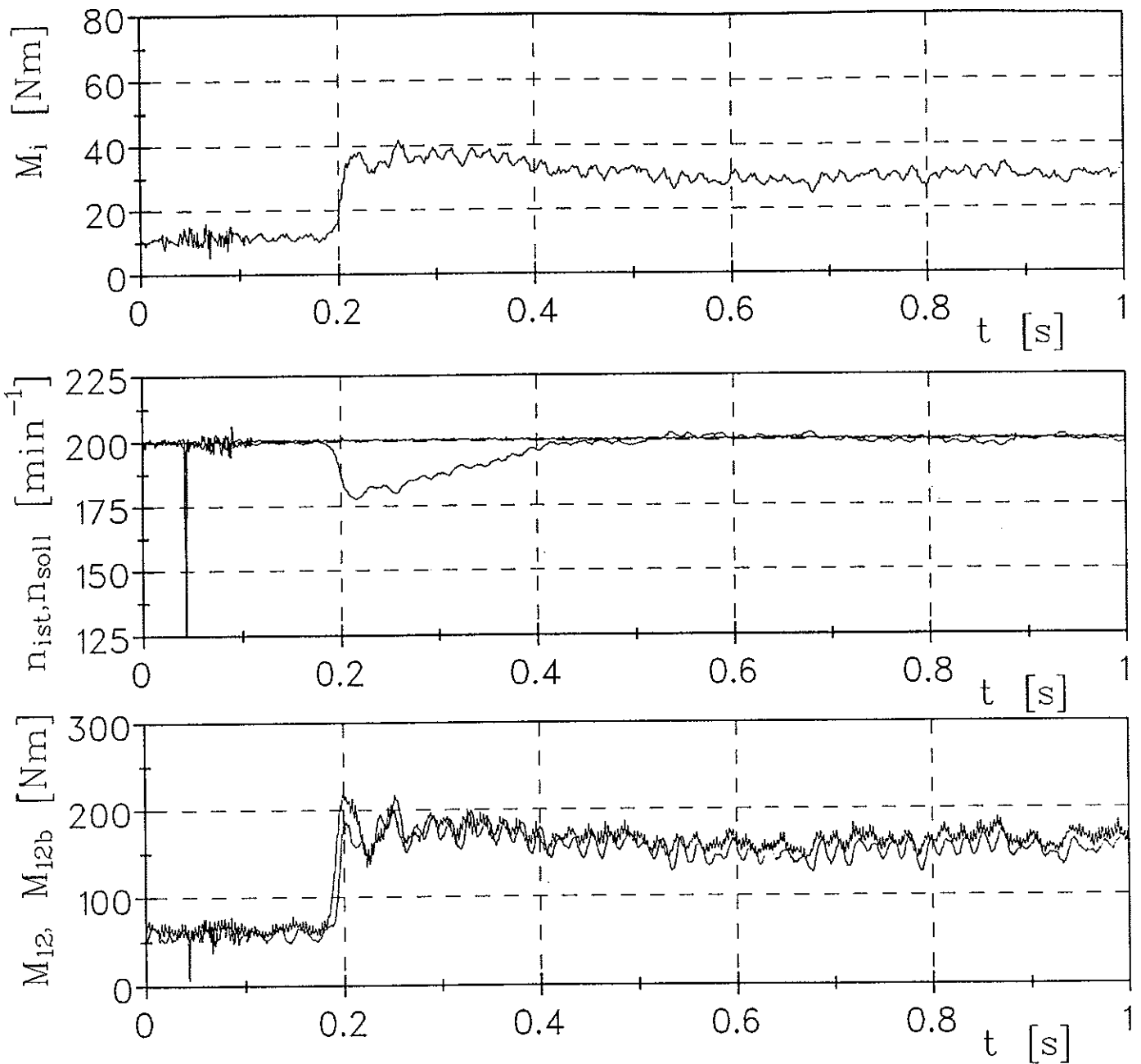
- Außerdem wurden 1995 zu diesem Projekt die folgenden internen Schriften erstellt:
 - Stoll, S.: *Entwurf und Implementierung einer Zustandsregelung mit Schätzeinrichtung in einem Echtzeit-Transputer-System zur Dämpfung der Torsionsschwingungen in einem schwingungsfähigen Antriebsstrang*. Studienarbeit.
 - Rorig, J.: *Modellierung und Simulation des dynamischen Verhaltens einer elektrischen Lokomotive*. Studienarbeit.
 - Schell, A.: *Entwurf und Implementierung einer Zustandsregelung auf Basis eines Zweimassenmodells zu Dämpfung der Torsionsschwingungen in einem schwingungsfähigen Antriebsstrang*. Studienarbeit.
 - Steinmeier, N.: *Entwurf und Simulation einer zeitdiskreten Zustandsregelung mit einem Kalman-Filter*. Studienarbeit.
 - Steulmann, G.: *Entwurf und Implementierung auf einem Echtzeit-Transputersystem einer Zustandsregelung zur Dämpfung der Torsionsschwingungen in einem Dreimassenschwinger*. Studienarbeit.
 - Schröder, M.: *Implementierung und Simulation von neuen Verfahren zur Kraftschlußregelung von elektrischen Grenzleistungslokomotiven*. Studienarbeit.
 - Heckel, V.: *Einsatz der Methode der gezielten Eigenwertvorgabe zur Zustandsregelung des schwingungsfähigen Antriebsstranges einer Grenzleistungslokomotive*. Diplomarbeit.

Voraussichtliches Ende: 31.3.1996

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Engel (Tel.: 72-2592)

Datum: 1.12.95

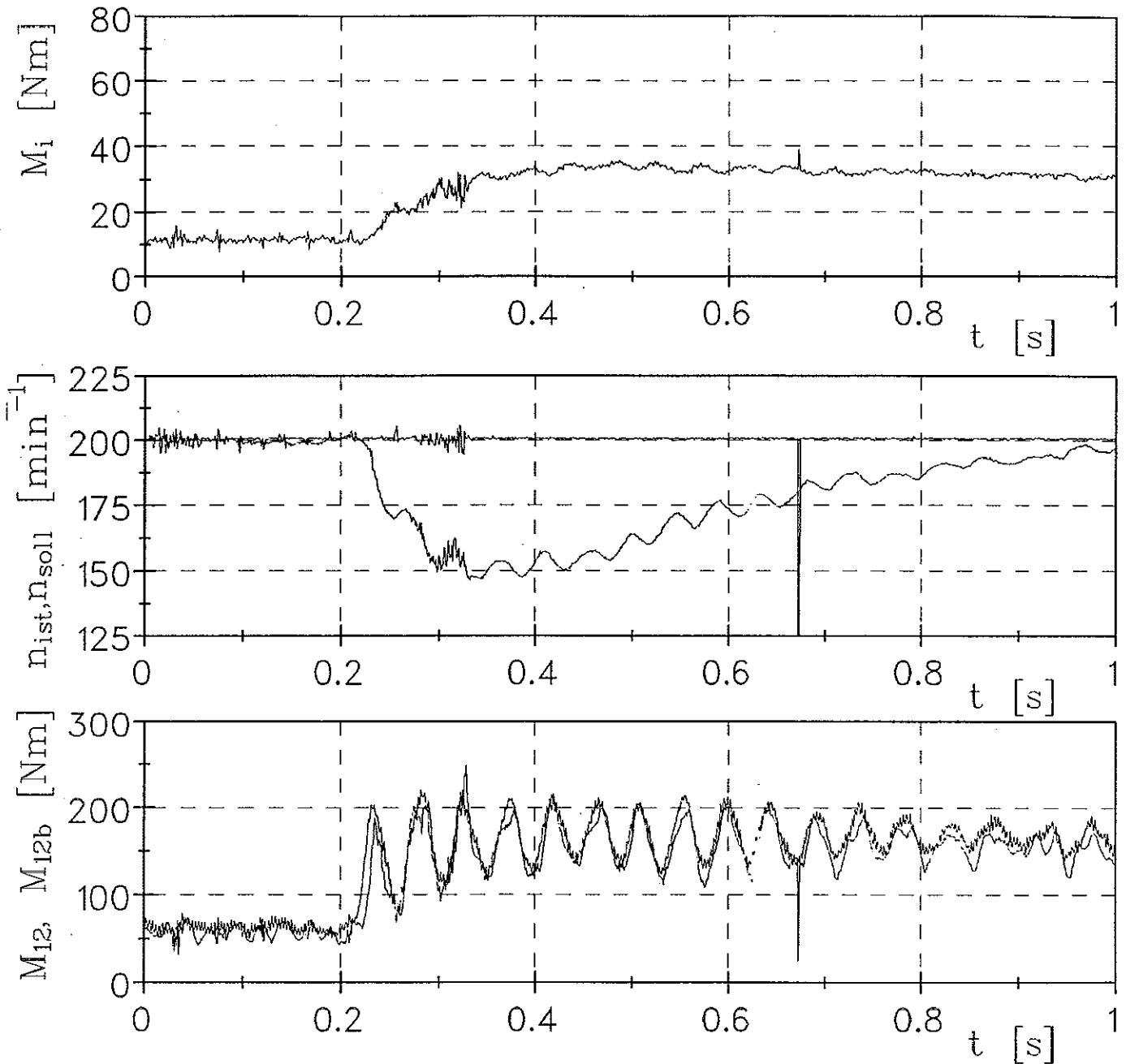
Projekt: Lastkollektivminimierte Bahnantriebe



Zeitverläufe des Luftspaltmomentes M_i , der Söldrehzahl n_{soll} und der Motordrehzahl n_1 sowie des mit Meßwelle gemessenen Hohlwellenmomentes M_{12} und des durch den Beobachter geschätzten Hohlwellenmomentes M_{12b} .

Projekt: Lastkollektivminimierte Bahnantriebe

Messung: Störverhalten von Zustandsregelung mit Zustandsbeobachtung



Zeitverläufe des Luftspaltmomentes M_i , der Sollzahl n_{soll} und der Motordrehzahl n_1 sowie des mit Meßwelle gemessenen Hohlwellenmomentes M_{12} und des durch den Beobachter geschätzten Hohlwellenmomentes M_{12b} .

Projekt: Lastkollektivminimierte Bahnantriebe
Vergleichsmessung: Störverhalten der konventionellen Drehzahlregelung

- Ziel:** Weiterentwicklung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe. Die Gezielte Eigenwertvorgabe ist ein heuristisches Verfahren zur Synthese eines Zustandsreglers. Die bisherige Heuristik soll durch eine analytische Formulierung ersetzt werden. Ferner soll versucht werden, den Entwurf von Zustandsreglern so zu automatisieren, daß eine Selbsteinstellung möglich wird.
- Probleme:** Für den Anwender einer Zustandsregelung ist der Zusammenhang zwischen den Reglerparametern und der Dynamik des Regelkreises nicht offensichtlich. Die Angabe einfacher Faustformeln soll in diesem Sinne die Transparenz der Zustandsregelung erhöhen und ihre Anwendung erleichtern.
Gerade bei der Zustandsregelung von elektro-mechanischen Hochleistungsantrieben erfordert die Dämpfung der mech. Eigenkreisfrequenzen eine hohe Stellenergie, von der meist jedoch nur ein Bruchteil zur Verfügung steht. Es wird daher ein aktives Konzept zur Dämpfung der mech. Eigenkreisfrequenzen unter Berücksichtigung der Stellgrößenbeschränkung vorgeschlagen.
- Lösungsweg:**
- Abhängigkeit der Rückführvektoren von der geforderten Dämpfung der ersten mechanischen Eigenkreisfrequenz.
 - Abhängigkeit des maximalen Luftspaltpmoments von den Beträgen der Rückführvektoren.
 - Analytische Formulierung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe.
 - Untersuchungen zur Synthese eines adaptiven Reglers. Konzept einer Selbstadaptation des Reglers.
- Dokumentation:**
- Beck, H.-P.; Krüger, M.; Goslar, M.: Optimierung der Regelung von Drehstromantrieben in der Hüttenindustrie: Von der einschleifigen Drehzahlregelung zur Zustandsregelung mit der Gezielten Eigenwertvorgabe. Schlußbericht Forschungsvorhaben VFWH-AW118, November 1994.
 - Beck, H.-P.; Goslar, M.: Erprobung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe an einem Antriebssystem mit hoher Getriebeübersetzung. Schlußbericht Forschungsvorhaben VFWH-AW121, Dezember 1995.
 - Goslar, M.: Betrachtung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe im Frequenz-, Bild- und Zeitbereich. Technischer Bericht IEE (intern), Januar 1995.

Vorträge:

- 31. Mai 1995: Bericht zum Stand des Forschungsvorhabens VFWH-AW121, Mitgliederversammlung VFWH, Düsseldorf.
- 6. Juli 1995: Betreuerkreissitzung VFWH-AW121, Clausthal-Zellerfeld.
- 6. Dezember 1995: Präsentation Forschungsantrag, Mitgliederversammlung VFWH, Düsseldorf.

Bearbeiter: Dipl.-Math. M. Goslar
Tel. 72-3702

Datum: 11. Dezember 1995

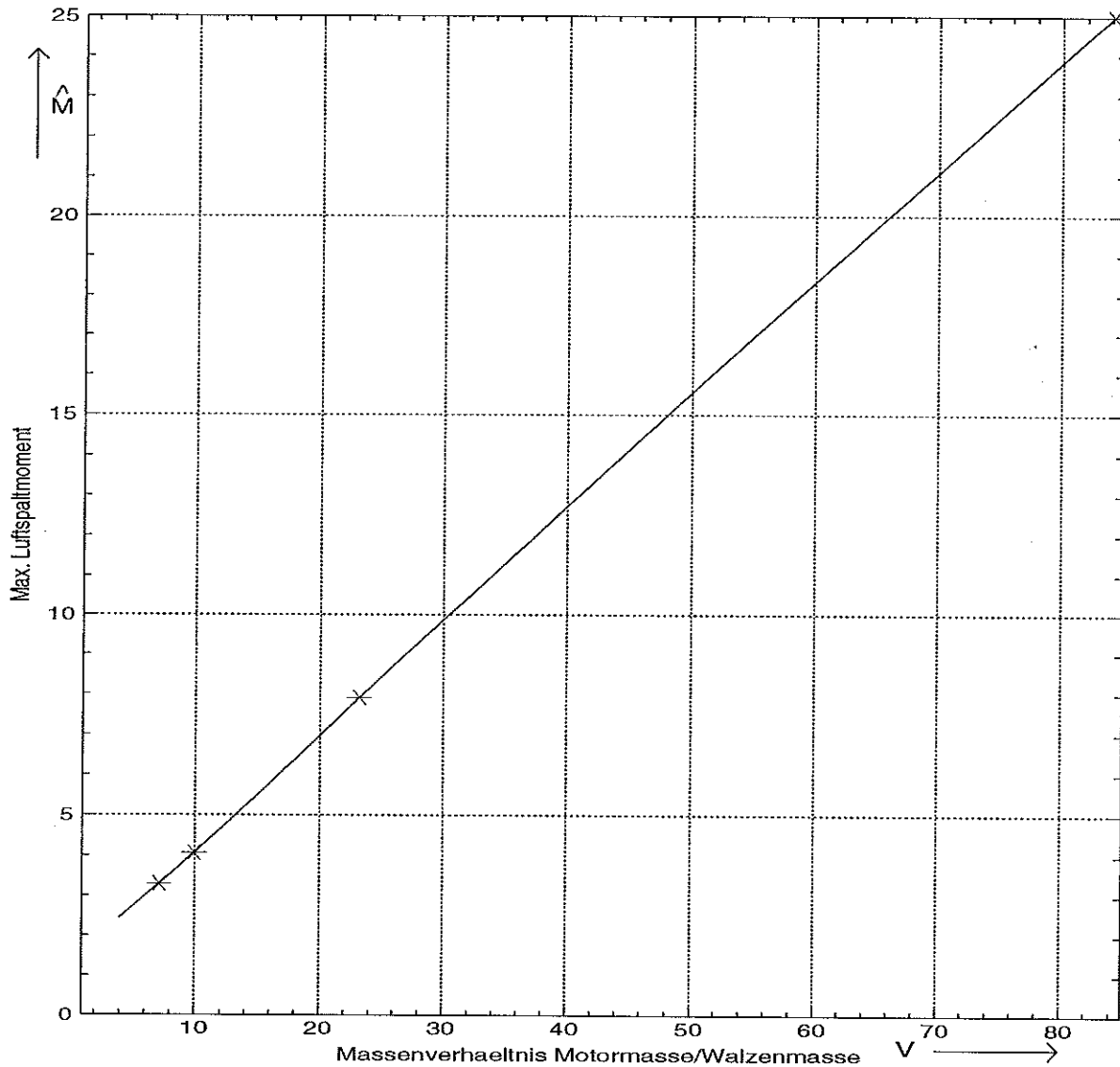


Bild 1: Mittels Simulation ermittelter Zusammenhang zwischen dem Massenverhältnis $V = \frac{J_{Motor}}{J_{Walze}}$ der 2-Massenschwinger und dem - bei einer beliebig hohen Dämpfung des ersten mechanischen Eigenwertpaars - erforderlichen maximalen Luftspaltmoment \hat{M} im Falle eines Nennlastsprungs.



Ziel: Leistungsregelung von Windenergiekonverter mit Asynchrongenerator und Drehstromsteller, zum Betrieb am leistungsschwachen Netz (Verringerung von Netzurückwirkungen).

Problem: Spannungs- und Leistungsschwankungen am Verknüpfungspunkt der WKA bei Schaltvorgängen und aerodynamische Einflüsse (Turmschatteneffekt), mechanische Belastungen des Antriebsstrangs, niedrige Lebensdauer der Antriebskomponenten

Lösungsweg: -Bedämpfung der elektrischen und mechanischen Schwingungen bei Schaltvorgängen von Windkonverter am leistungsschwachen Netz mittels Drehstromsteller. Reduzierung der Netzurückwirkungen beim Ein- und Abschalten der WKA.

-Sanftes Betriebsverhalten des Windkonverters bei Leistungsschwankungen (Windböen, Turmschatteneffekt), durch Ausweichen der Anlage auf höhere Rotordrehzahl (Drehzahlvariabilität, Ausnutzung des Schwungradeffektes).

-Reduzierung von Netzurückwirkungen durch den Einsatz von Generatoren mit "weichem" Betriebsverhalten (Vermeidung von Netzspannungseinbrüchen).

Prüfstand: -Modellaufbau des elektromechanischen Antriebsstrangs eines ausgeführten Windkonverters (Windrotor, Kupplung, Generator) mit Drehstromsteller, zur Nachbildung des dynamischen Betriebsverhaltens.

-Entwurf und Realisierung des aerodynamischen Verhaltens des Windrotors unter Berücksichtigung des Turmschatteneffekts durch Mikrorechner (μ -C).

-Entwurf und Realisierung einer Istwert-Erfassung aus den Raumzeigern der Ständerströme und -spannungen.

-Entwurf und Realisierung einer Leistungsregelung zur Bedämpfung von kurz- und langfristigen Leistungsschwankungen (Windböen, Turmschatteneffekt).

-Entwurf und Realisierung einer Betriebsführung mittels eines μ -C.

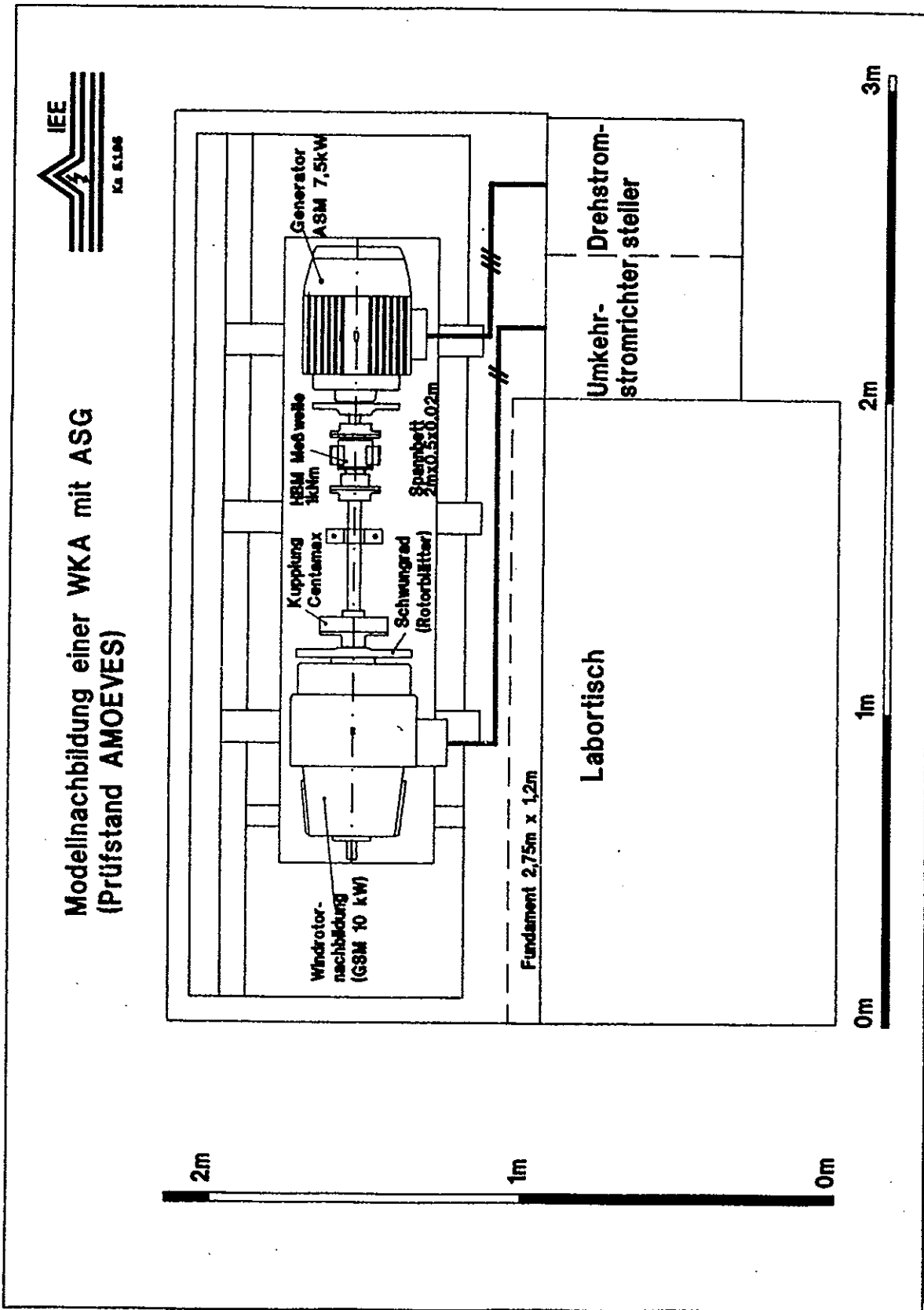
Stand der Untersuchung: -Messungen am Prüfstand-Modell und Optimierung der Betriebsführung

Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Kanakis (Tel.: 72-3637)

Datum: 14.12.1995

Projekt: AMOEVES

Teilprojekt: Windenergiekonverter mit Asynchrongenerator am leistungsschwachen Netz



Modellnachbildung einer WKA mit ASG
 (Prüfstand AMOEVES)

Abb. 1: Prüfstandmodell eines leistungsgeregelten Windkonverters mit Asynchrongenerator und Drehstromsteller

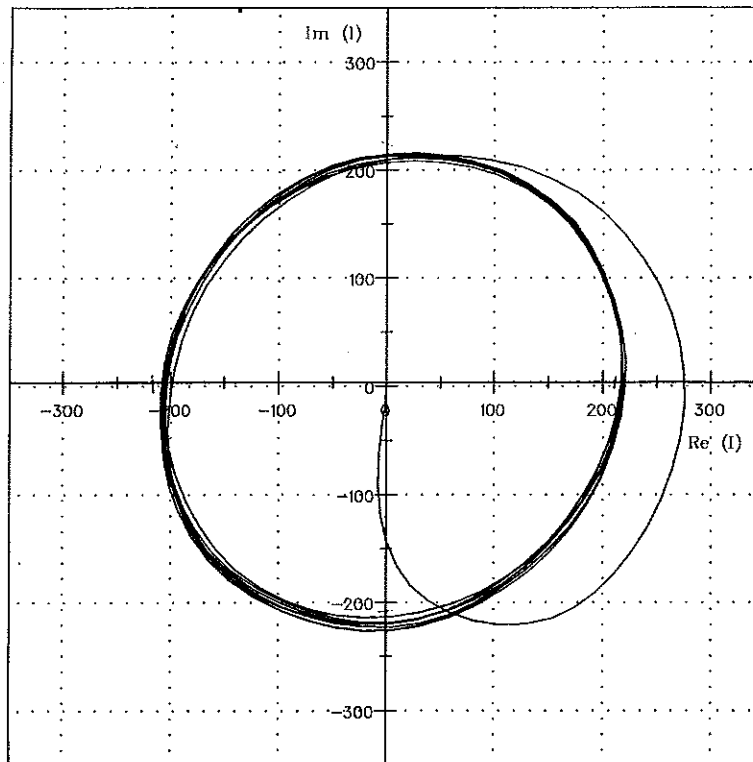


Abb.2: Raumzeiger der Ständerströme beim gleichzeitigen Einschalten der Asynchronmaschine am Netz beim Motorbetrieb (Messung am Prüfstandmodell)

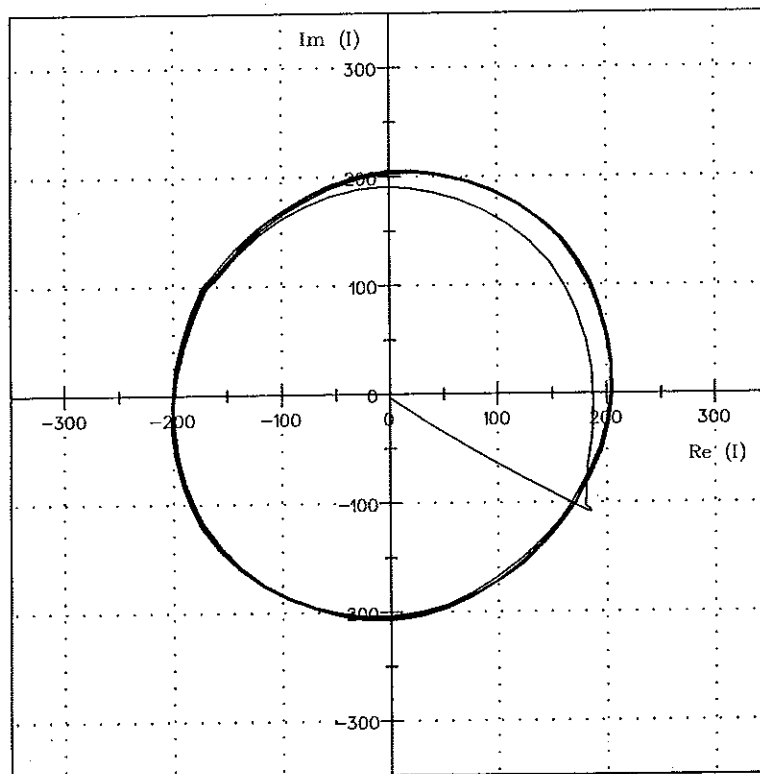


Abb.3: Raumzeiger der Ständerströme beim ausgleichsschwingungsfreien Einschalten der Asynchronmaschine am Netz beim Motorbetrieb (Messung am Prüfstandmodell)

Projekt: AMOEVES

Teilprojekt: Windenergiekonverter mit Asynchrongenerator am leistungsschwachen Netz

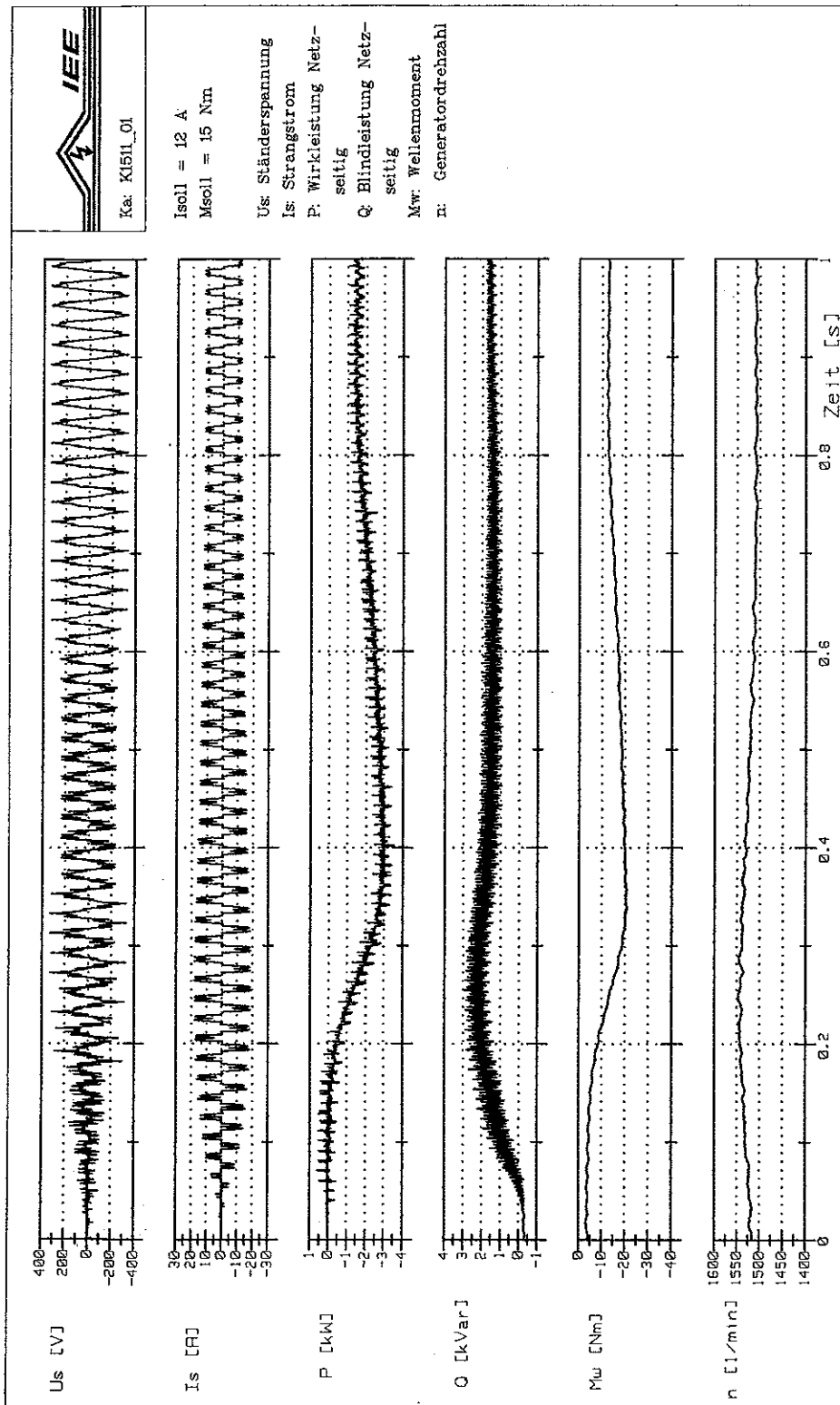


Abb. 4: Sanftes Einschalten des Asynchronengenerators an das Netz (Messung am Prüfstandmodell)



-
- Problem:** In Schwermaschinen- bzw. verfahrenstechnischen Anlagen führen Blockierungen sowie pendelnde Torsionsmomente in der Antriebswelle in der Regel zu Betriebsstörungen bzw. zu Schäden an der Antriebsanlage und damit zu einer Verringerung der Lebensdauer.
- Ziel:** Die Reduzierung der Lastkollektive in den Antriebssträngen durch eine elektronische Überlastsicherung bzw. eine "Fuzzy-Antriebsschutzregelung".
- Stand der Technik:** Betriebsstörungen und Belastungen der genannten Art können zu einem vorzeitigen Ausfall/Verschleiß der Maschinenanlage führen. Wartung und Reparatur von Sicherheitskupplungen führen zu Produktionsausfällen.
- Lösungsweg:**
1. Entwicklung eines unkonventionellen Regelkonzeptes für Gleichstromantriebe auf Basis der Fuzzy-Logik.
 2. Vergleich mit anderen Regelkonzepten (Drehzahlregelung, Zustandsregelung, u.a.).
 3. Simulation dieser Konzepte.
 4. Erstellen eines Prüfstandes (Zwei-Massen-Schwinger, 85 kW - Gleichstromantrieb).
 5. Erprobung des entwickelten Konzeptes am Prüfstand und Vergleich mit dem Konzept der "Drehzahlregelung".
- Bisherige Ergebnisse:**
1. Entwicklung/Erprobung unterschiedlicher Regelkonzepte.
 2. Simulationsergebnisse zu den Regelkonzepten.
 3. Antrag bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG gestellt und nunmehr im dritten Jahr in Folge bewilligt bekommen. Gemeinschaftsvorhaben mit dem Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (Prof. Zenner) der TU Clausthal.
 4. Prüfstand konzipiert und erstellt.
 5. Erfolgreiche Erprobung des Konzeptes am Prüfstand. Die rechnerische Lebensdauer der Antriebswelle erhöht sich um den Faktor 16.
 6. Mehrere Vorführungen des Prüfstandes vor Besuchern aus der Industrie und Hochschulen.

**Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Schwermaschinenhauptantriebe, Lebensdauer-
verlängerung von Antriebskomponenten**



Veröffentlichungen:

Kayser, Hubert

"Electronic equipment for the prevention of damages in rolling mill systems"

Konferenz "Metall Forming '92"

Krakau, Polen, September 1992

Beck, Hans-Peter; Kayser, Hubert; Liu, Jiping; Zenner, Harald
"Lebensdauererhöhung von Antriebskomponenten mittels unterschiedlicher Antriebsregelungen"

Tagung "Mechanisch-elektrische Antriebstechnik - Zukunftssicherung durch Systemoptimierung"

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

Fulda, November 1994

VDI Berichte 1146

Beck, Hans-Peter; Harste, Dirk; Kayser, Hubert; Zenner, Harald

"Möglichkeiten der Lebensdauererhöhung von Komponenten mechanisch-elektrischer Antriebssysteme durch Untersuchung des Gesamtsystems"

2. Magdeburger Maschinenbau-Tage

Magdeburg, September 1995

Beck, Hans-Peter; Harste, Dirk; Kayser, Hubert; Zenner, Harald

"Lastkollektivminimierung durch aktive Schwingungsdämpfung in Antriebskomponenten mechanisch-elektrischer Systeme"

Tagung "Schwingungen in Antrieben - Analyse, Beurteilung, Beeinflussung, Überwachung"

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

Veitshöchheim, September 1995

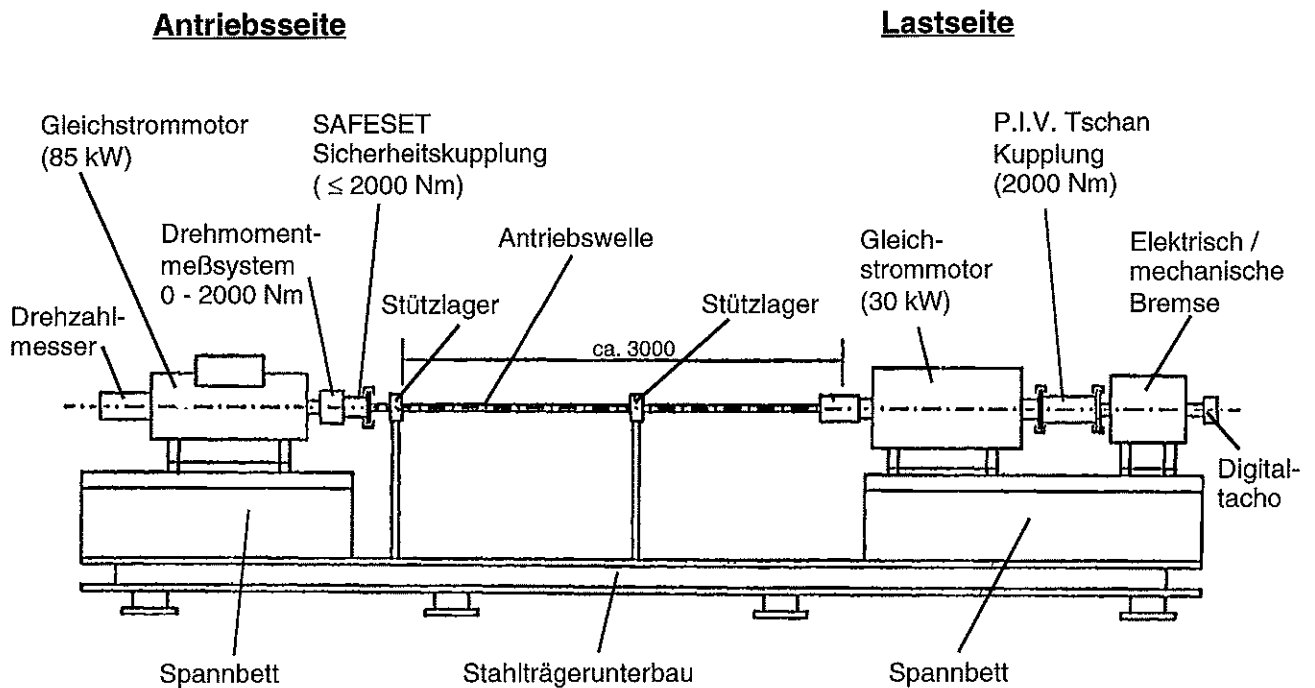
VDI Berichte 1220

Voraussichtliches Ende: 10/1996

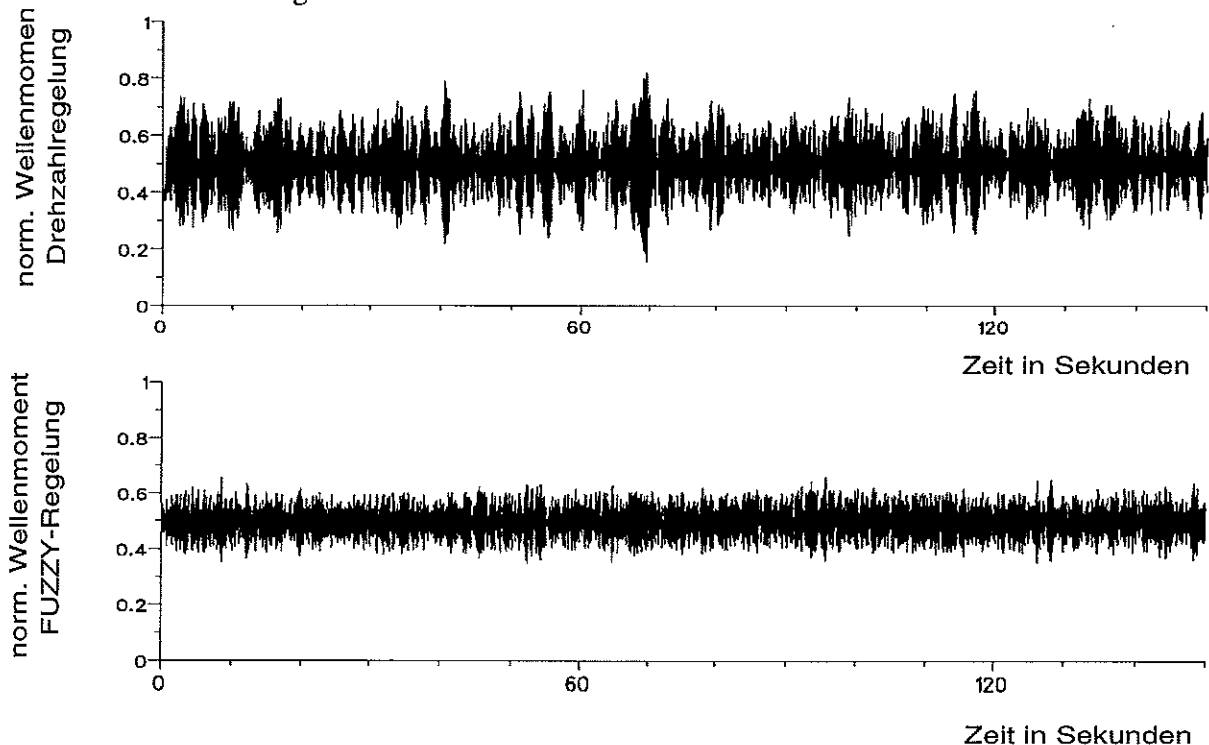
Bearbeiter: bis 12/1995 Dipl.-Ing. Hubert Kayser (Tel. 72-2572)
ab 01/1996 N.N.

Datum: 11. Dezember 1995

**Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Schwermaschinenhauptantriebe, Lebensdauer-
verlängerung von Antriebskomponenten**

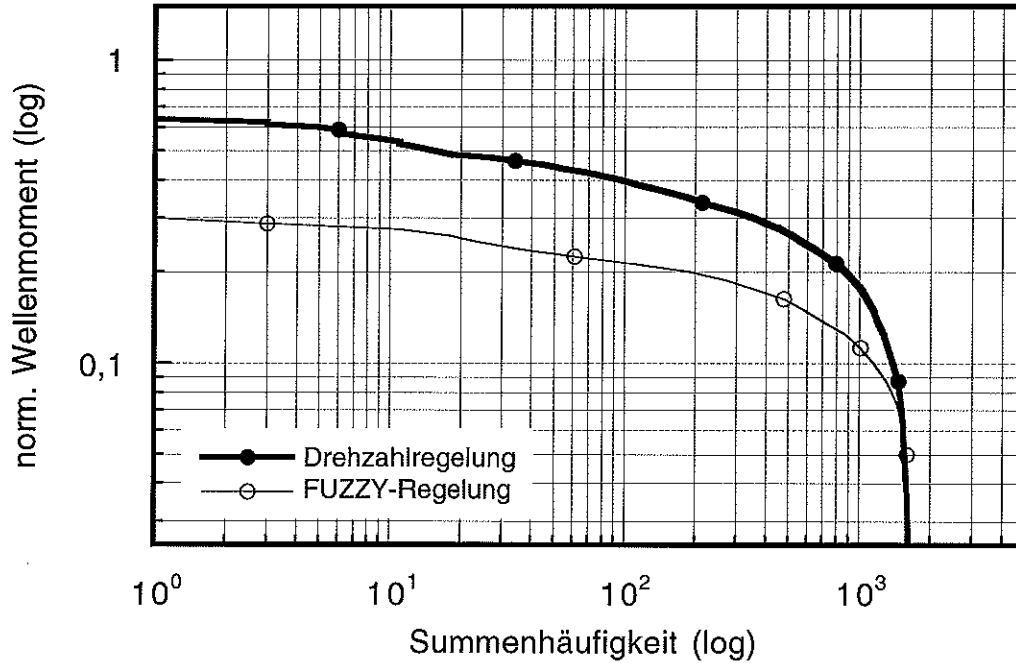


Schematische Darstellung des Prüfstandes im IEE

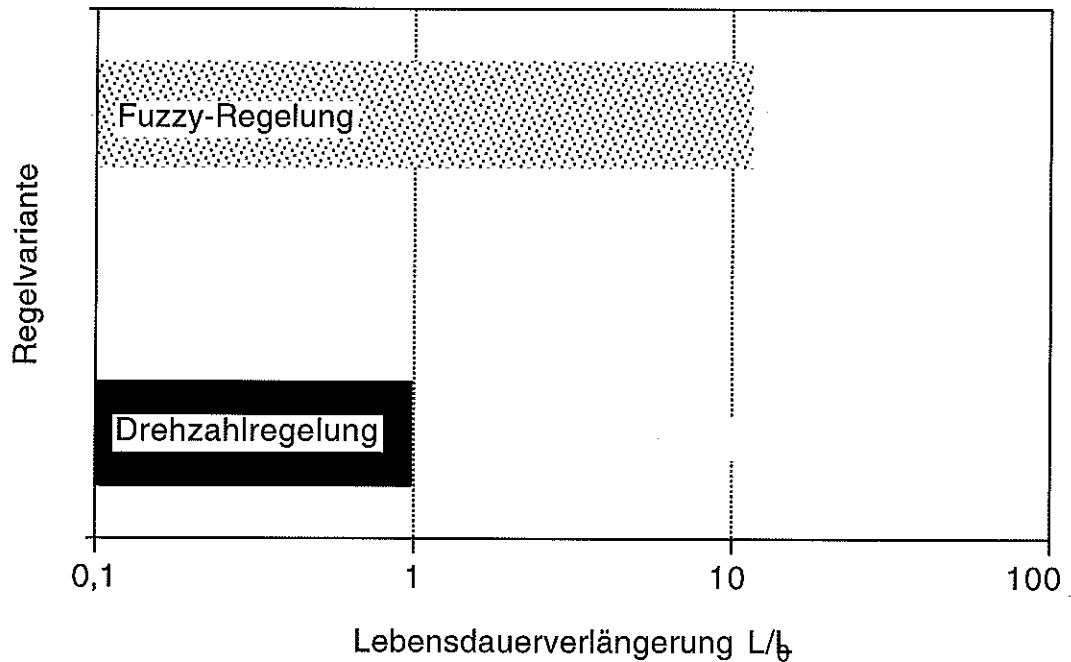


Zeitverläufe des Wellenmomentes bei Drehzahlregelung (oben) und Fuzzy-Antriebsschutzregelung (unten), Versuchsergebnisse am Prüfstand

**Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Schwermaschinenhauptantriebe, Lebensdauer-
 verlängerung von Antriebskomponenten**



Amplitudenkollektive des Wellenmomentes (Versuchsergebnisse)



Ergebnisse der Lebensdauerrechnung (Versuchsergebnisse)

**Projekt: Elektronische Überlastsicherung für Schwer-
maschinenhauptantriebe, Lebensdauer-
verlängerung von Antriebskomponenten**



- Problem:**
- Stromrichterspeisung neuartiger Reluktanzmaschinen in Transversalflußbauweise unter dem bisherigen Einsatz des aufwendigen klassischen Stromrichters (Zweiquadrantenstellers als Einzelstrangschaltung) mit hohem Blindleistungsbedarf und "harter" Kommutierung lediglich durch Zwischenkreisspannung.
- Ziel:**
- Reduzierung des Blindleistungsbedarfes
 - Verbesserung des Leistungsfaktors
 - Verringerung der Ein- und Ausschaltverluste
 - Weiche Kommutierung
- Damit => bessere Maschinen- und Stromrichterausnutzung
- Lösungsweg:**
- Antiparallele Schaltung der Maschinenstränge
 - Erstellung u. Realisierung des zugehörigen Schaltungskonzeptes für das Stromrichter-Leistungsteil als sogenannter "Kommutierungskonverter" (Bild 2)
 - Integration eines Kommutierungstransformators zur Symmetrierung der Stranginduktivitäten in die Maschinenstränge
 - Einstellung eines optimalen Vorzündwinkels zur Unterdrückung des Blindleistungsbedarfes und Erhöhung des Leistungsfaktors
- Prüfstand:**
- Klassischer Maschinenstromrichter mit dem Spannungszwischenkreis zur Untersuchung des Betriebsverhaltens des Prototyps der Reluktanzmaschine "vierphasige Ausführung der elektrisch erregten Transversalflußmaschine" (Bild 1)
 - Implementierung und hardwaremäßige Realisierung des neuen Leistungsteils nach Bild 2 in Planung
- Stand der Untersuchungen:**
- Siehe IEE-Jahresbericht Nr.5 -`94
 - Simulationsergebnisse bzgl. der neuen Schaltungsvariante mit dem Symmetrierungstransformator (T) bestätigen die reduzierte Schaltheufigkeit und weiche Kommutierung (s. Bild 3 u. Bild 4). Die Kommutierungsspannung wird nicht nur von dem Zwischenkreis sondern zusätzlich durch die Gegeninduktionsspannung bereit gestellt; hierbei ist der Transformator für den im Arbeitsbereich optimalen Betrieb noch auszulegen. Der Blindleistungsbedarf kann dann mit einer optimal eingestellten Vorzündung reduziert werden.
- Dokumentation:**
- IEE-Technische Notizen (siehe IEE-Jahresbericht Nr.5 -`94)
 - Genehmigter DFG-Antrag`95
 - Technische Notiz erscheint in Februar `96 (Studienarbeit : Frühjahr `96)
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Pascha Tavana-Nejad (Tel: 72-3821)

Datum: 07.12.95

Projekt: Stromrichterspeisung neuartiger Reluktanzmotoren mit doppelseitiger Polausprägung

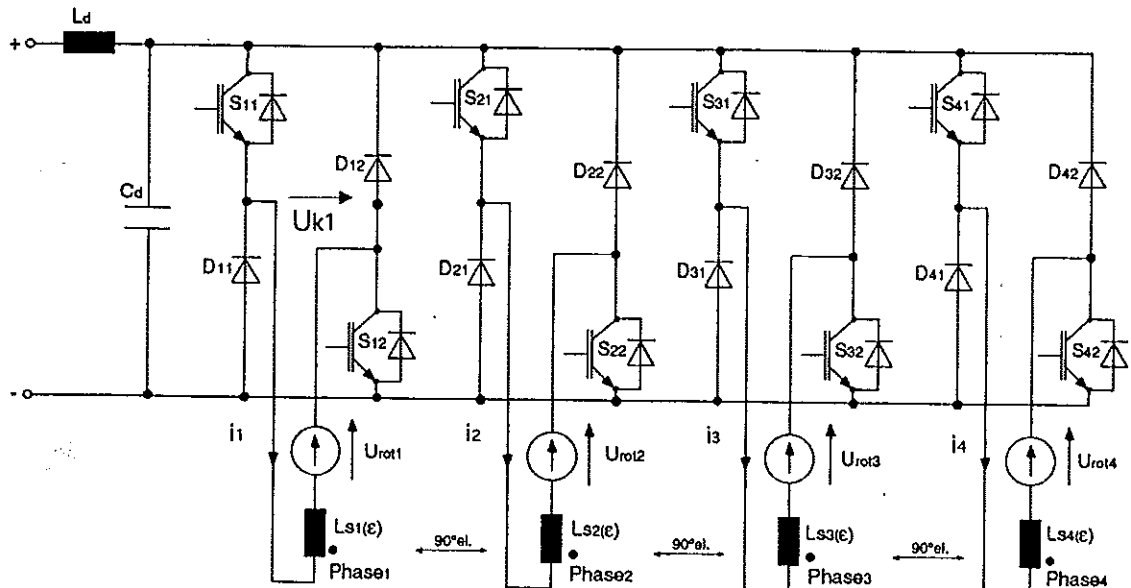


Bild 1: Bestehende Schaltung des Leistungsteils der vierphasigen Reluktanzmaschine "Klassischer Stromrichter als 2Q-Steller"

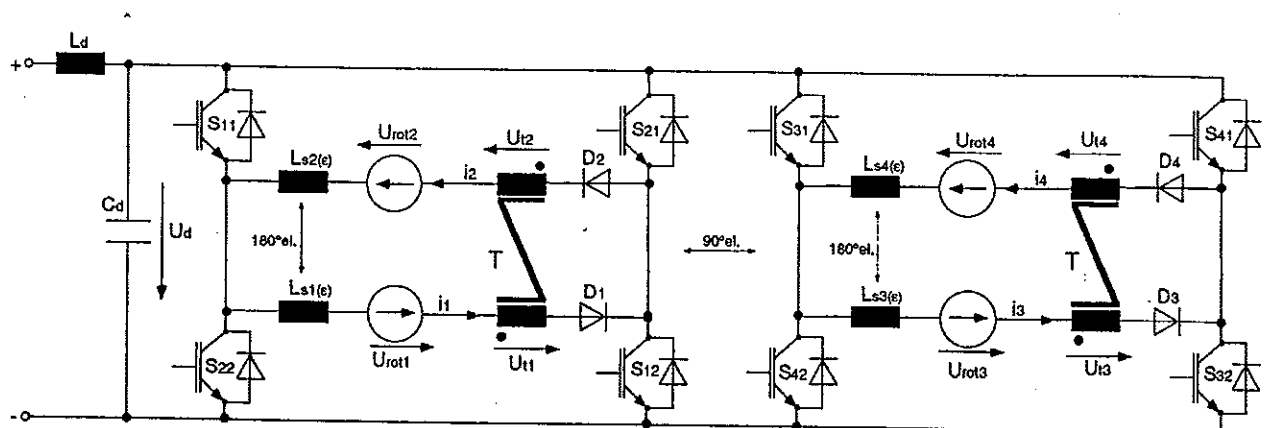


Bild 2: Ausführung des "Kommutierungskonverters (neue Schaltung mit sanfter Kommutierung)" für eine vierphasige Reluktanzmaschine

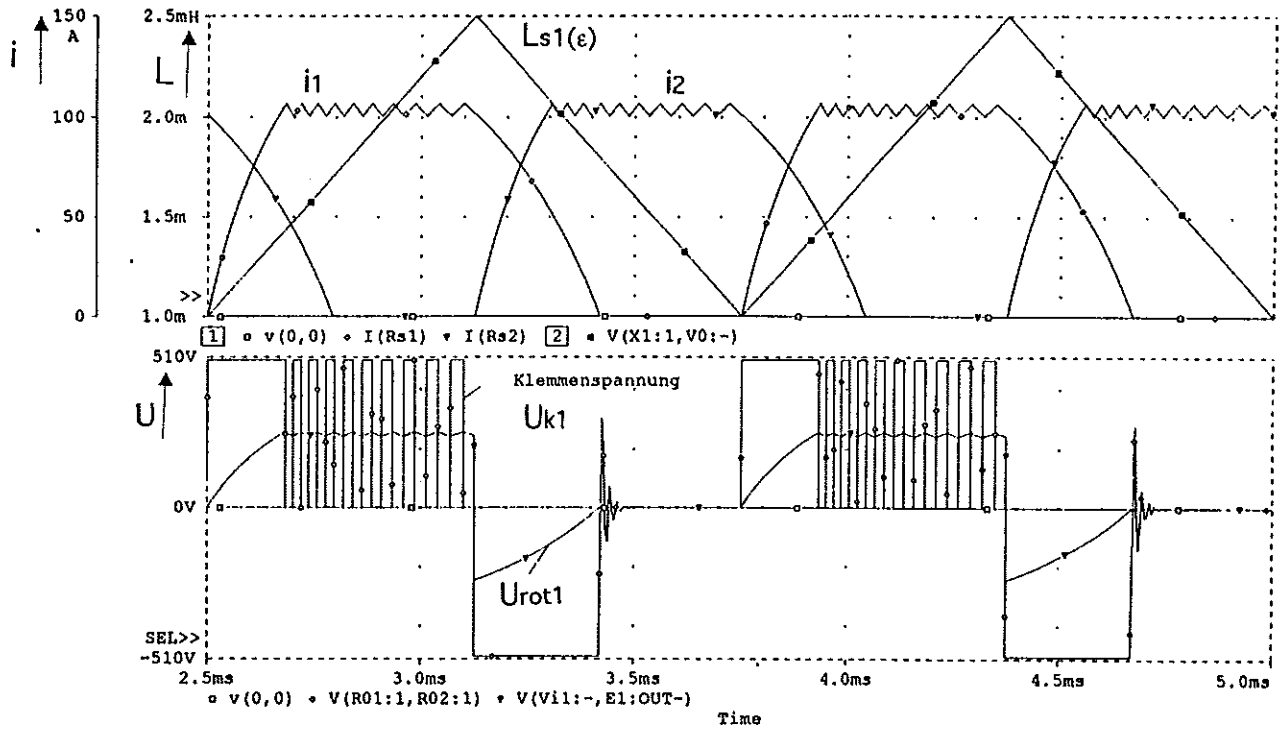


Bild 3: Maschinenstrom- und Spannungsverläufe mit der Schaltung nach Bild 1

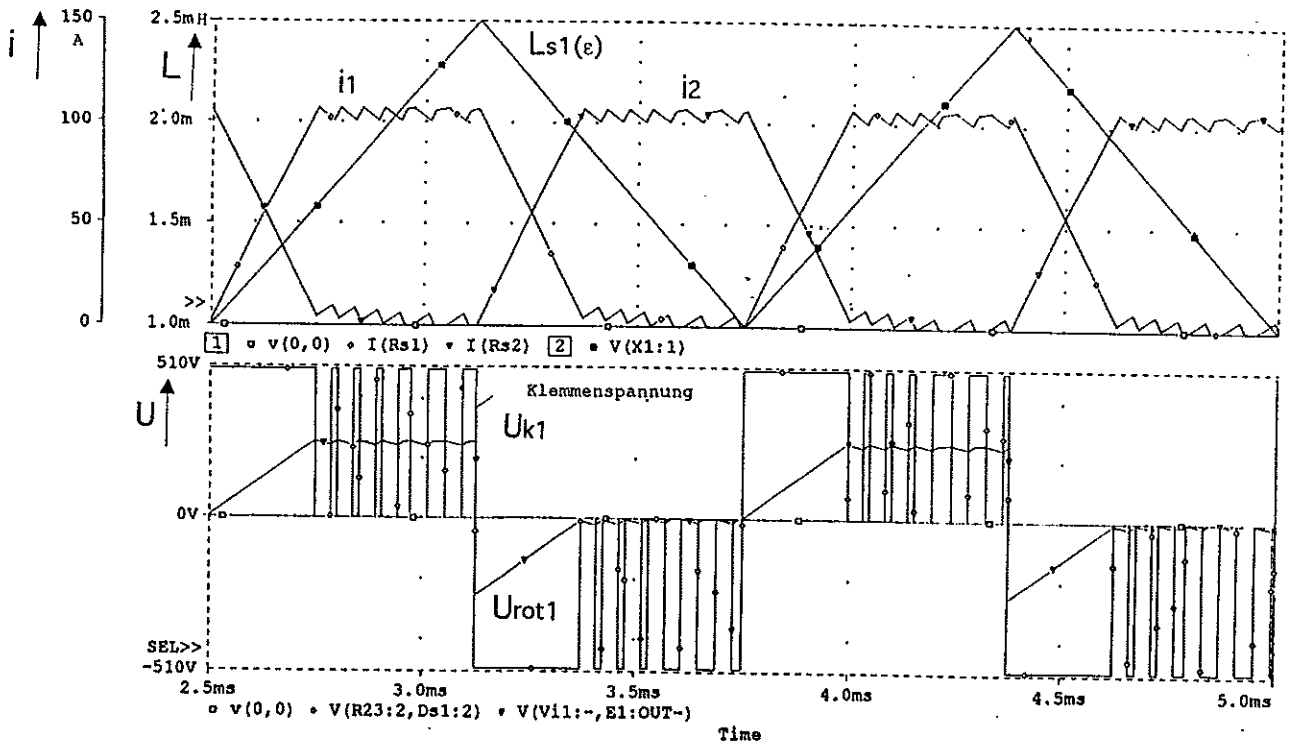


Bild 4: Maschinenstrom- und Spannungsverläufe mit der Schaltung nach Bild 2



Problem, Ziel: Konstruktion einer Metall-Inert-Gas (MIG) Schweißanlage zum Engspaltschweißen von Gußwerkstoffen bis 150mm Dicke. Variables Schweißen mit Gleichstrom und Impulsstrom bei weitem Einstellbereich der Schweißparameter für Spaltbreiten bis 12 mm.

Lösungsweg:

- Führung des Schweißdrahtes im Brenner nach dem Rotationsverfahren (Bild 1)
- Einsatz einer vollgesteuerten Drehstrombrückenschaltung mit Freilaufdiode (B6F)
- Blindleistungskompensation auf der Primärseite
- Entwicklung eines Schutzkonzepts
- Auslegung und Simulation des Leistungsteils
- Auslegung und Simulation der Hilfsantriebe sowie der Führung des Schweißbrenners im Spalt
- Konstruktion der Anlage nach Bild 1 und experimentelle Optimierung der Schweißparameter

Stand der Untersuchungen:

- Auslegung des Leistungsteils der Anlage und Simulation in NETASIM abgeschlossen
- Schutzkonzept erstellt
- Konzeption des Prüfstandaufbaus wird zur Zeit erstellt

Dokumentation: Technische Notizen des *IEE* (Verfasser: M.Thamodaran):

- "Neukonzeption einer Metall-Inertgas Schweißanlage" (1/95)
- "Schaltungskonzept einer MIG-Schweißanlage"

Teil 1: 'Auslegung und Simulation der elektrischen Größen des Leistungsteils für Gleichstrom' (4/95)
Teil 2: 'Auslegung und Simulation der elektrischen Größen des Leistungsteils für Impulsstrom' (7/95)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. M. Thamodaran (Tel: 72-2939)

Datum: 8.12.1995

Projekt: Engspaltschweißen von Stahl- und Eisenguß nach dem MIG-Verfahren

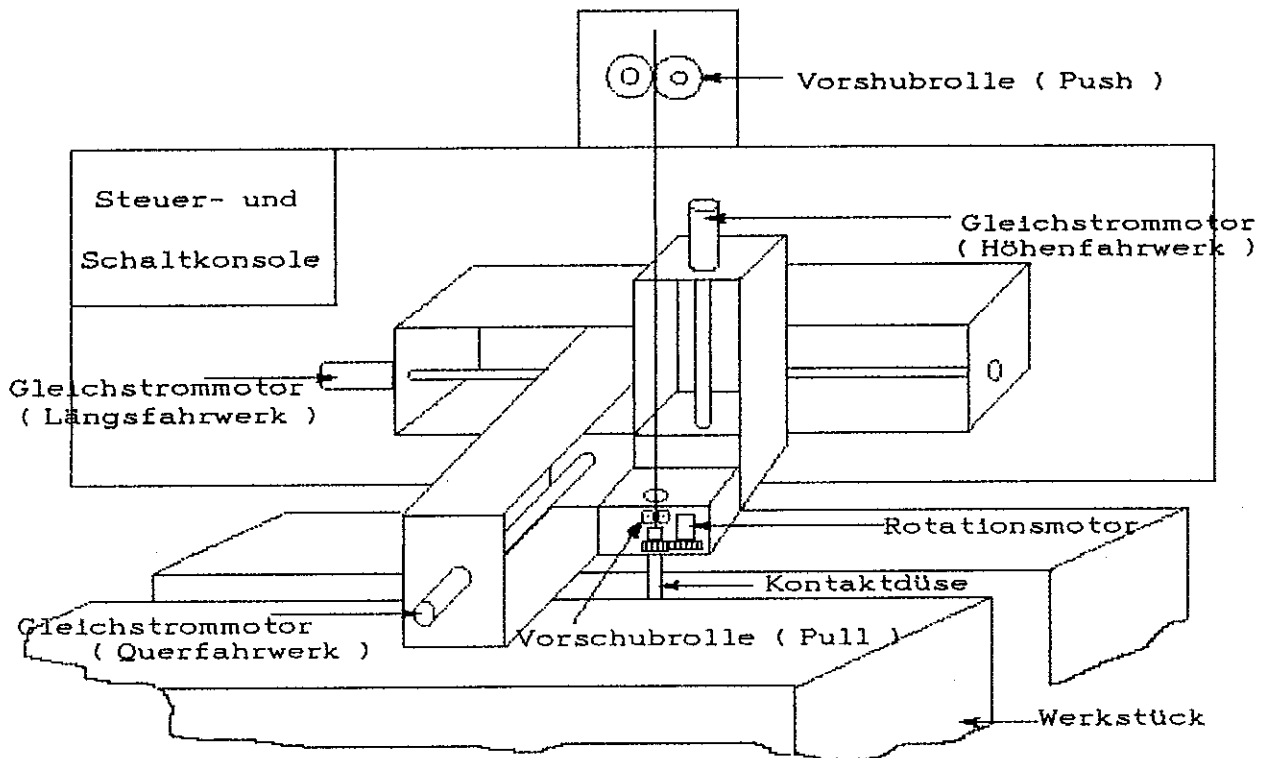


Bild 1: Prinzipieller Aufbau des Schweißgerätes nach dem Rotationsverfahren

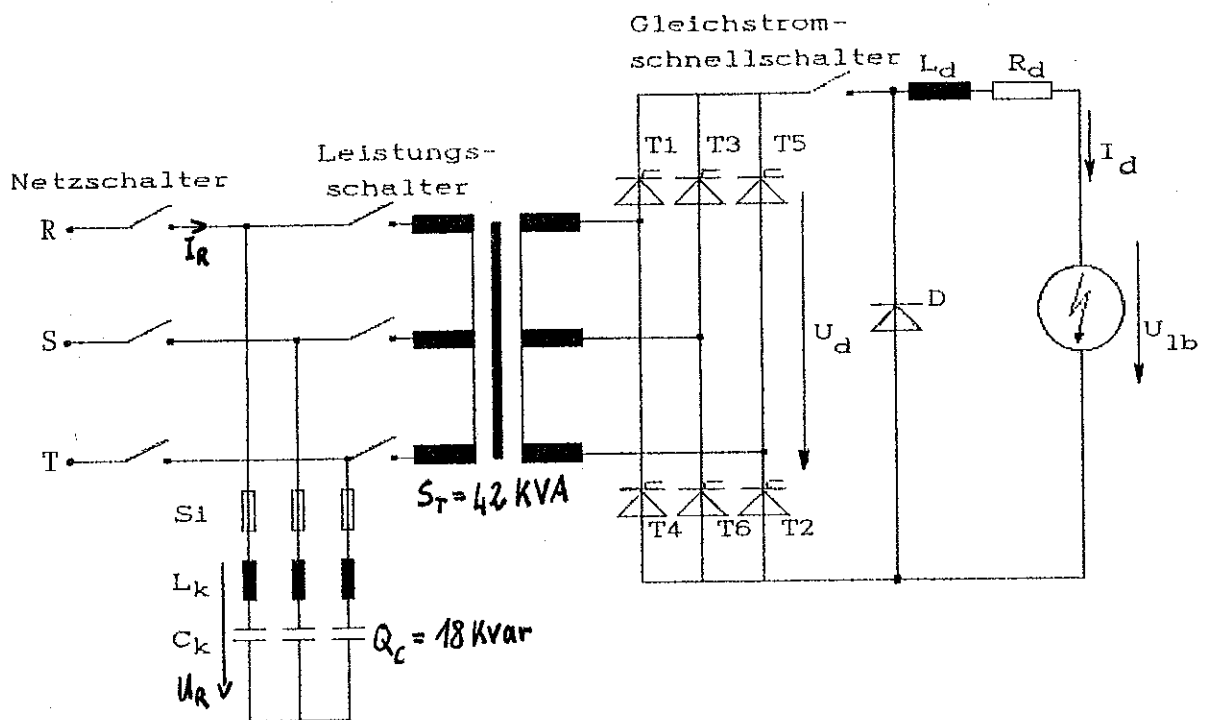


Bild 2: Schaltbild des Leistungsteils der Schweißanlage

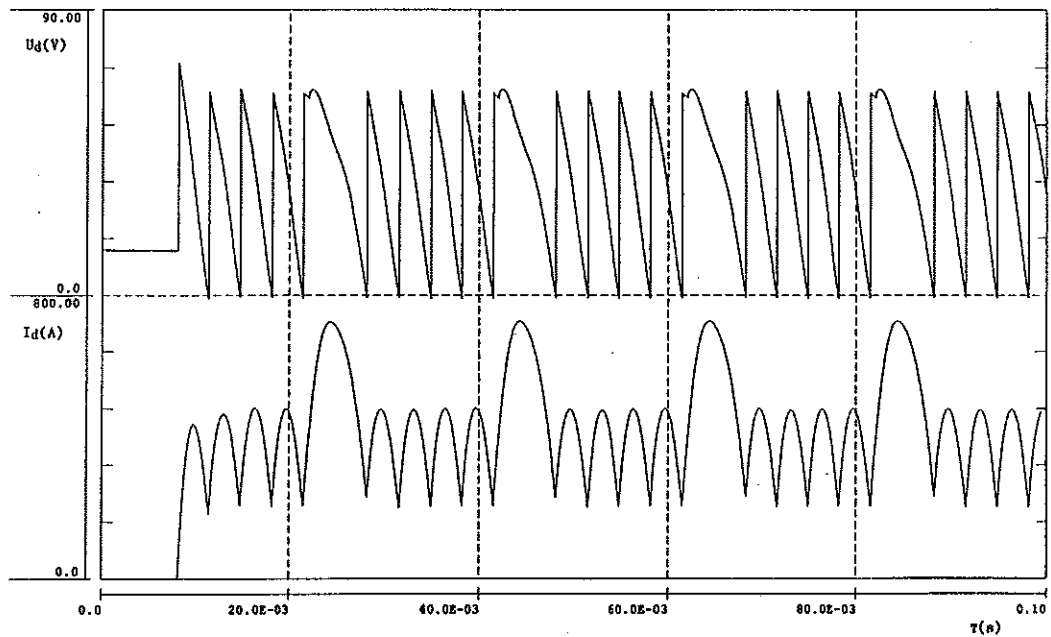


Bild 3: Simulierter Zeitverlauf von Brückenausgangsspannung und -strom bei einer Impulsfrequenz von 50 Hz

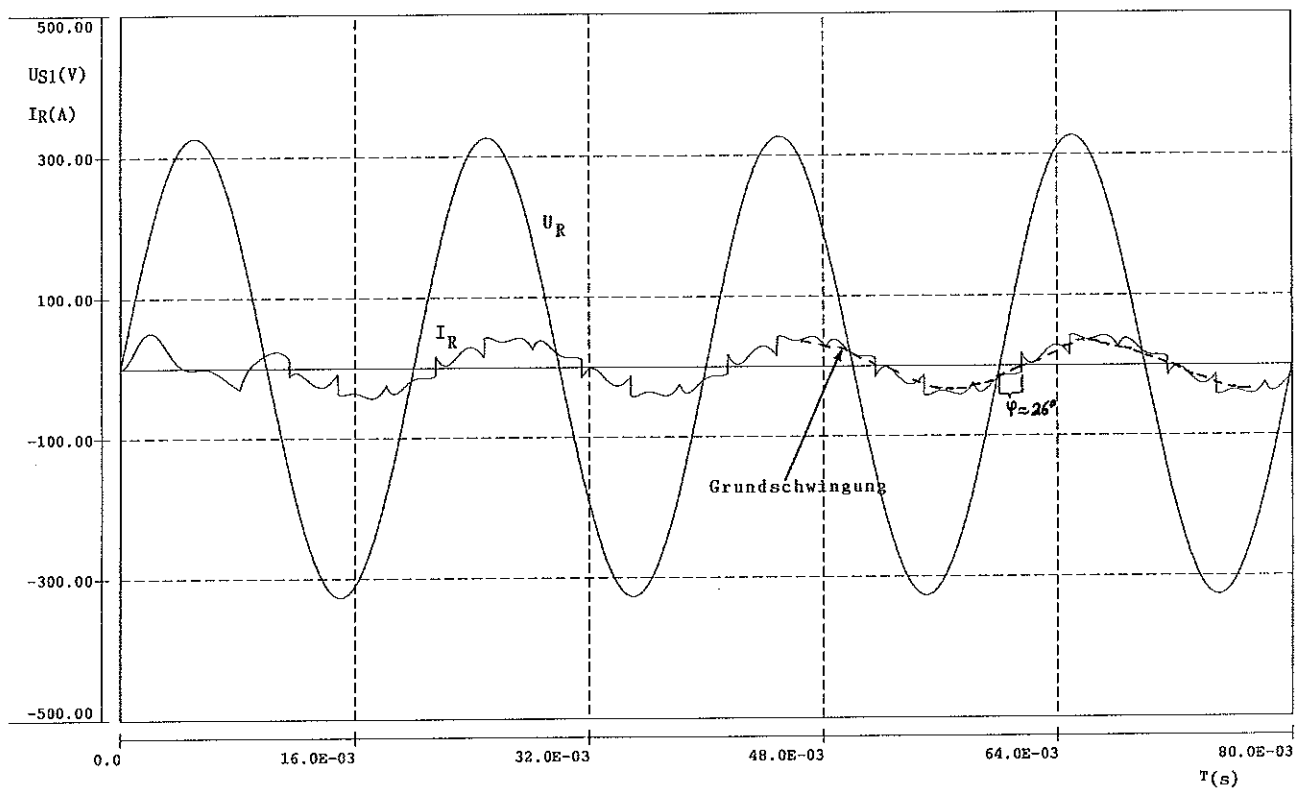


Bild 4: Simulierter Zeitverlauf von Netzspannung und Netzstrom bei Ansteuerung der Brücke mit 60° (Mit Kompensationsanlage)

Problem, Ziel: Einbindung von regenerativen Energiequellen in leistungsschwache Verbund- und autonome Inselnetze unter Beachtung der derzeitigen VDEW Normen für die zulässige Netzzrückwirkungen

Lösungsweg: siehe Jahresbericht 1994

Prüfstand: - PWR zur Netzführung im Testbetrieb (Bauabschnitt 3)

Stand der

Untersuchungen: - Entwurf und Teilrealisierung einer Spannungsregelung über Raumzeigergrößen für einen autonomen Inselnetzbetrieb mit Hilfe des GTO-PWR an einer passiven Last nach Bild 1,2

Studienarbeiten zu dieser Teilaufgabe:

- 1) Entwurf, Realisierung und Prüfen eines übergeordneten Regelungskonzeptes zur Führung eines Inselnetzes durch einen standardisierten Pulswechselrichter mit implementierter, feldorientierter Asynchronmaschinenregelung (Vollmer , abgeschlossen 7/95)
 - 2) Entwurf und Realisierung einer analogen und digitalen Meßwertverarbeitung mit Signalprozessorkern zur Transformation gemessener Drehstromnetzgrößen in ihre Raumzeigerdarstellung nach DIN 13321 (Hoeck, voraussichtlich abgeschlossen 3/96)
- Auslegung der passiven Filterkomponenten zur Erzeugung einer näherungsweise sinusförmigen Spannung am PCC durch den zur Netzführung eingesetzten PWR

Studienarbeiten zu dieser Teilaufgabe:

- 1) Untersuchung des umrichtergeführten Inselnetzverhaltens mittels digitaler Simulation und Auslegung einer passiven Filtereinrichtung zur Reduktion der Oberschwingungsbelastung am Verbraucheranschlußpunkt (Pierschke, voraussichtlich abgeschlossen 1/96)

Projekt: **AMOEVES** (Autonome Modulare Energieversorgungssysteme)

Teilprojekt: Einbindung regenerativer Energiequellen in schwache Netze

- Aufbau einer Gleichspannungsschiene mit hochdynamischer Spannungsregelung und PC- Steuerung (Batteriesimulator) zur Speisung des PWR (Prinzipskizze siehe Bild 3)

Studienarbeiten zu dieser Teilaufgabe:

- 1) Entwurf und Realisierung einer elektronischen Einrichtung zur Nachbildung des stationären und dynamischen Verhaltens der Batteriespeisung eines gepulsten Spannungsumrichters
(Smolenski, voraussichtlich abgeschlossen 2/96)

Weitere Aktivitäten

innerhalb der

Amoeves-Gruppe

- Betreuung einer Projektarbeit zur Planung einer Windparkerweiterung auf der Bockswieser Höhe (Clausthal-Zellerfeld), speziell auf dem Gebiet der Netzverträglichkeit und eines Energiemanagements für diesen Winpark

Innerhalb der Projektarbeit betreute Studienarbeiten:

- 1) Oberschwingungsprognoserechnungen für die geplante Windparkerweiterung und Auslegung passiver Filterelemente zur Reduktion der Netzurückwirkungen auf ein nach den VDEW Richtlinien zulässiges Maß
(Rösner, abgeschlossen 8/95)
 - 2) Konzipierung verschiedener Powermanagement-Konzepte für die Windparkerweiterung unter besonderer Berücksichtigung der Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit des Windparks
(Assenmacher, abgeschlossen 8/95)
- öffentliche Seminarvortragsreihe über die Arbeiten im Rahmen des Projekts Bockswieser Höhe und Windenergie am 10. und 11.12.1995 im Audimax der TU-Clausthal

Projekt: **AMOEVES** (Autonome Modulare Energieversorgungssysteme)

Teilprojekt: Einbindung regenerativer Energiequellen in schwache Netze



Weitere Studienarbeiten für das AMOEVES-Projekt:

- 1) Mittels des Programmsystems NEPS soll ein Teil des Clausthaler Versorgungsnetzes digital nachgebildet und analysiert werden
(Moritz, voraussichtlich abgeschlossen 2/96)
- 2) Entwurf und Realisierung einer elektronischen Einrichtung zur Lastparameterschätzung eines Energieversorgungsnetzes
(Enk, voraussichtlich abgeschlossen 1/96)

Tätigkeiten

außerhalb der

AMOEVES-Gruppe -

Modernisierung bzw. Erweiterung der Stromrichter für das Fachpraktikum Energieelektronik (B6-Folgebetrieb, Leistungsteil für Vier-Quadranten Transistorsteller, Konzept für GTO-PWR "Press Pack Type")

Studienarbeiten auf diesem Themengebiet:

- 1) Entwurf und Realisierung einer universellen Impulsformer- und Verstärkerstufe für Transistorschalter in der Energieelektronik
(Wenzel, voraussichtlich abgeschlossen 3/96)

SfB 180

- Veröffentlichung in der Zeitschrift "Antriebstechnik" Mai 95 Torsionsschwingungen in Antriebssträngen mit hydrodynamischer Kupplung
(Verfasser: H.-P. Beck, C. Sourkounis, J. Wenske)
- Vortrag über die oben genannte Themenstellung vor Vertretern der Fa. Lindemann (Vortragender: J. Wenske)

Fuzzy-Antriebsregelungen

- Inbetriebnahme, Test eines Pulswechselrichters (Typ Mini-inverter D 84 kVA) an zwei Asynchronmaschinen
- Mitbetreuung eines Studienarbeiters (Herr Lücker) am Fuzzy-Antriebsregelungs-Prüfstand (PWR-Regelung, Anpassung)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Jan Wenske (Tel: 72-3702)

Datum: 10.12.1995

Projekt: **AMOEVES** (Autonome Modulare Energieversorgungssysteme)

Teilprojekt: Einbindung regenerativer Energiequellen in schwache Netze

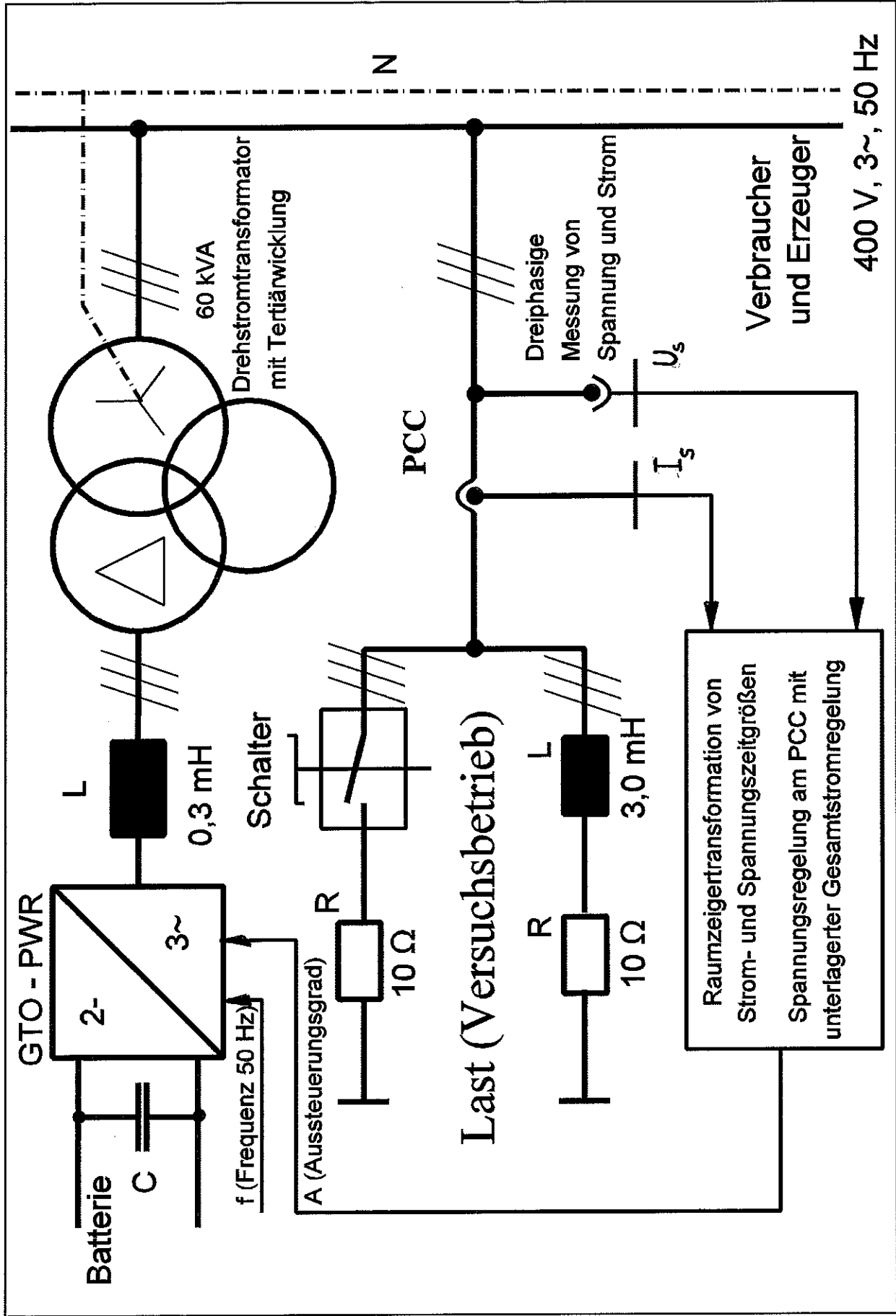


Bild 1 PWR zur Netzföhrung im Versuchsbetrieb mit Spannungsregelung an einer passiven Last

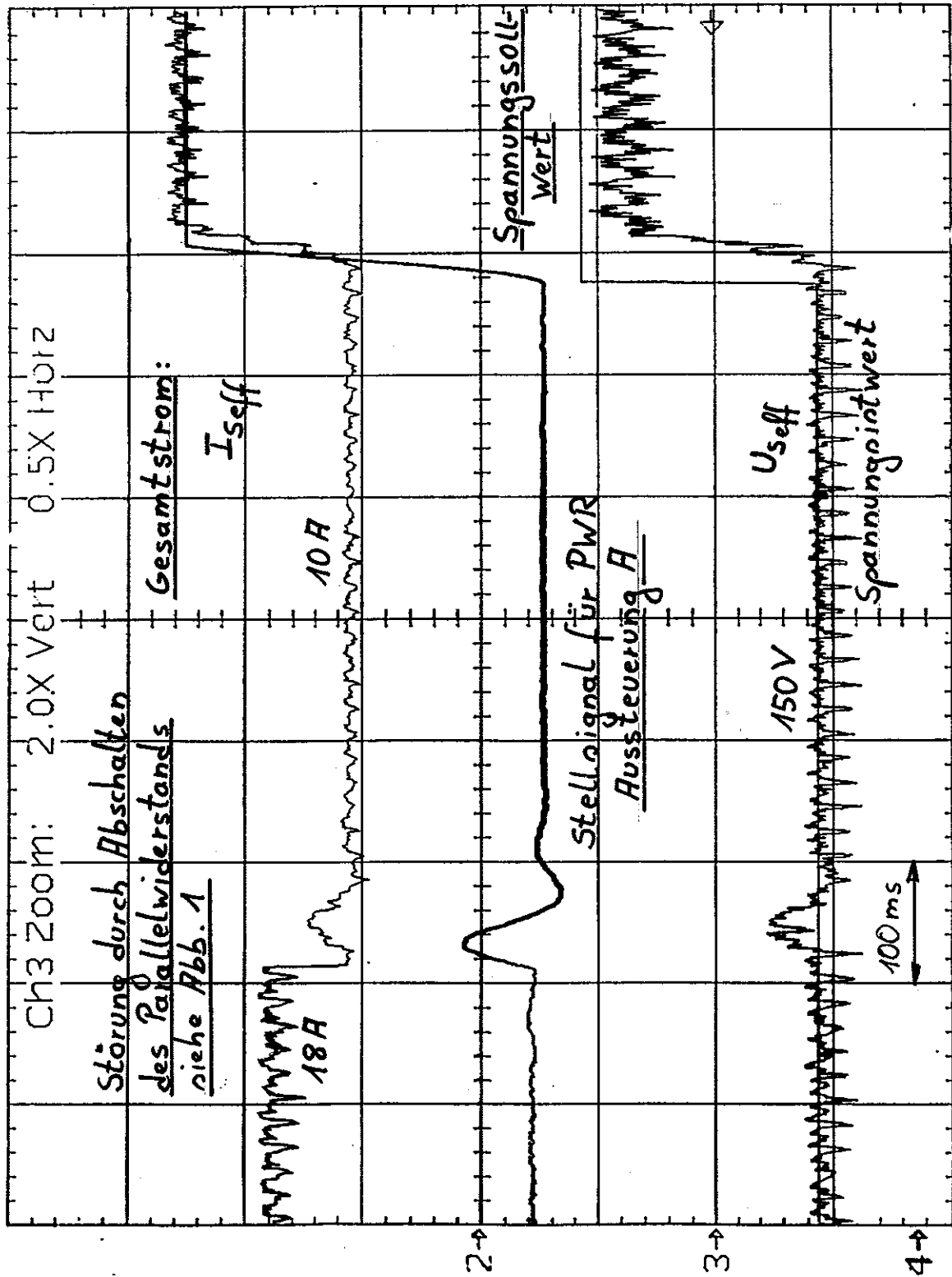


Bild 2 Raumzeiterregung nach Bild 1 bei Störgrößenaufschaltung und Sollwertsprung

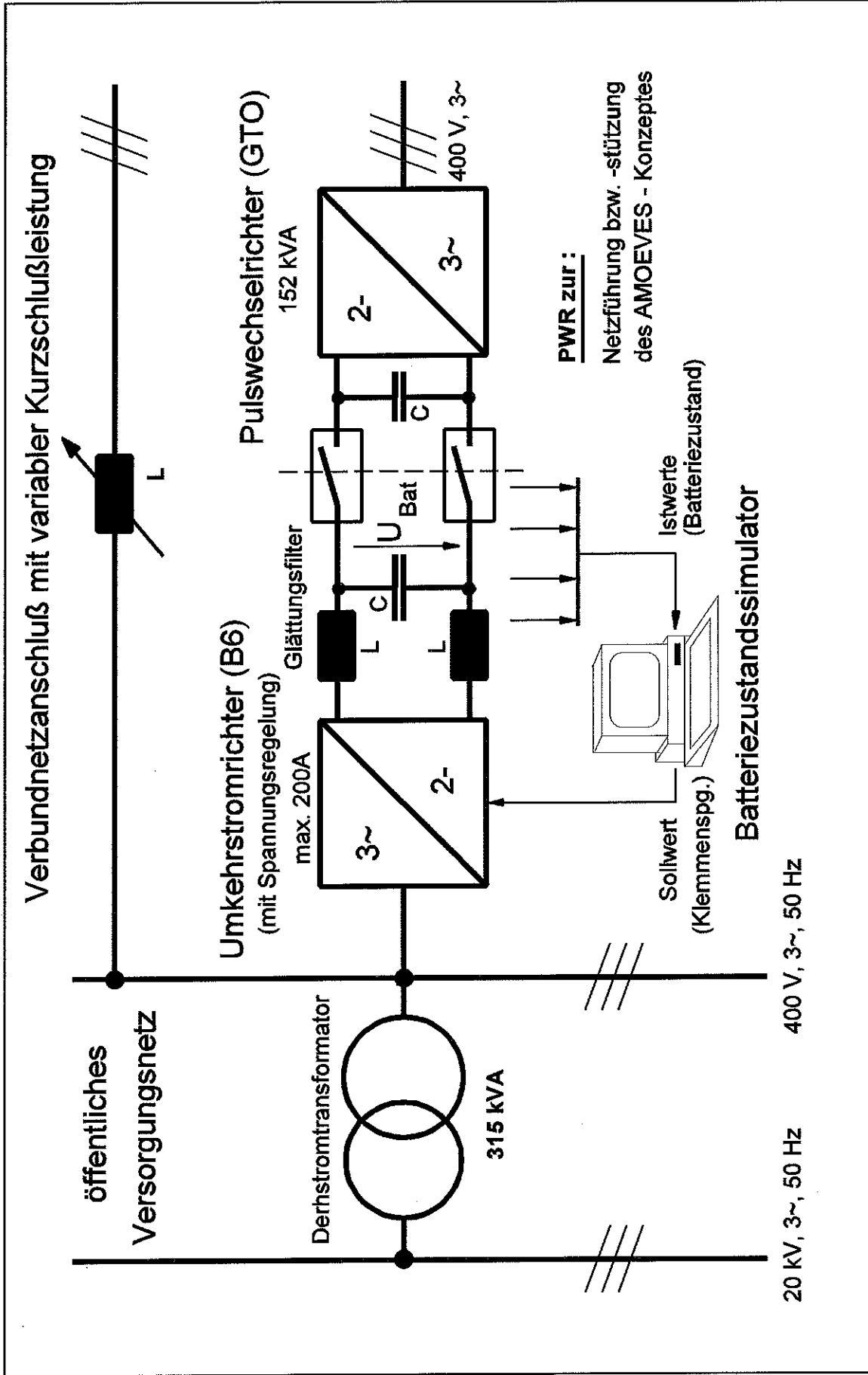


Bild 3 Netzanbindung und Batterienachbildung



-
- Problem:** Drehstrom-Lichtbogenöfen verursachen durch Aufnahme unsymmetrischer schnell veränderlicher Blindströme häufig unerwünscht große Netzrückwirkungen im Drehstromnetz.
- Ziel:**
- Reduzierung der Netzrückwirkungen von Drehstrom-Lichtbogenöfen
 - Einsparung der thyristorgesteuerten Drosselspulen der Kompensationsanlage
- Lösungsweg:**
- Integration von Thyristorstellen in den Zwischenkreis des Ofentransformators
 - Regelung der Thyristorstelle nach der Raumzeigermethode (zweiachsige Darstellung wie bei der feldorientierten Regelung von Drehfeld-Maschinen)
- Prüfstand:**
- Einphasiger Versuchsstand mit Zwischenkreistransformator und Thyristorstellen im Zwischenkreis (Bild 1). Phasenanschnittsteuerung durch einen Wechselstromsteller. Nachbildung des Lichtbogens zunächst durch eine variable ohmsch-induktive Last.
 - Ersatz der ohmschen Last durch eine Elektrode mit Schweißlichtbogen
- Stand der Untersuchungen:**
- Ermittlung des Betriebsverhaltens der einphasigen Thyristorspeisung durch Messung am Prüfstand und Simulation in NETASIM (Bilder 2, 3 und 4)
- Dokumentation:**
- Technische Notizen des *IEE* (Verfasser: A. Wolf): "Experimentelle Untersuchung eines neuen Konzepts zur Thyristorspeisung von Drehstrom-Lichtbogenöfen" Teil 1 (6/95), Teil 2 (10/95)
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Albrecht Wolf (Tel: 72-2939)

Datum: 7.12.1995

Projekt: Stromrichtergespeister Lichtbogenofen

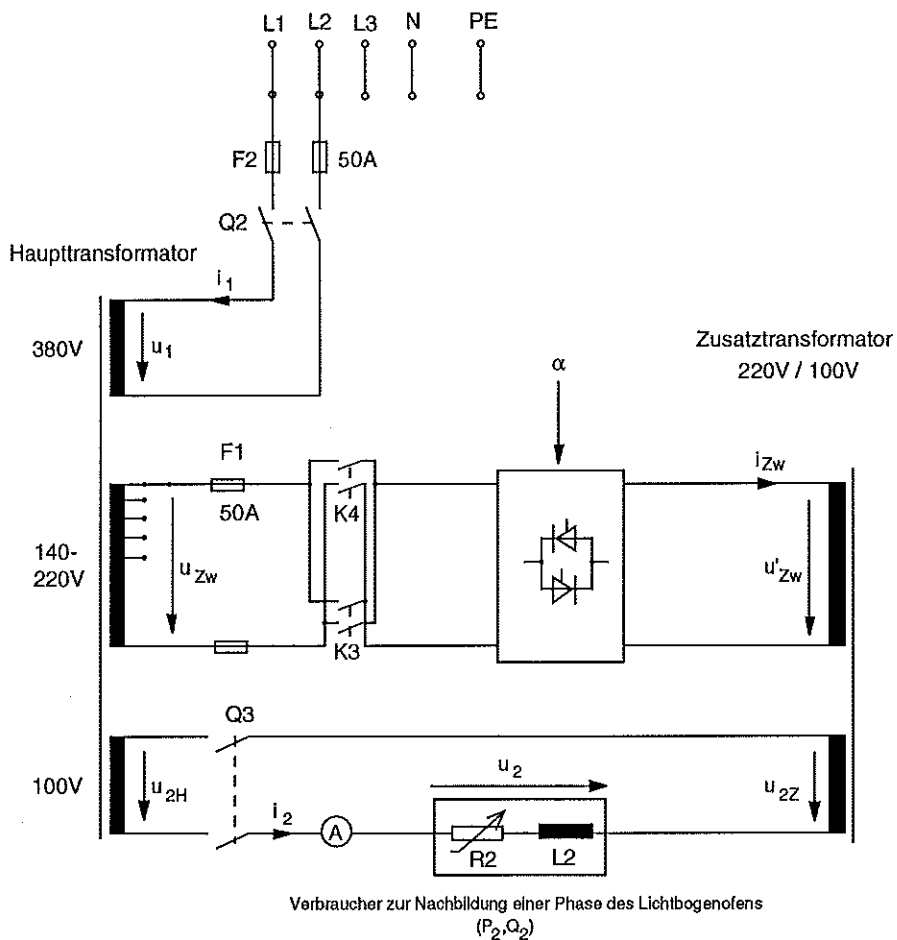


Bild 1: Versuchsanordnung zur Erprobung der einphasigen Thyristorspeisung eines Wechselstromverbrauchsers

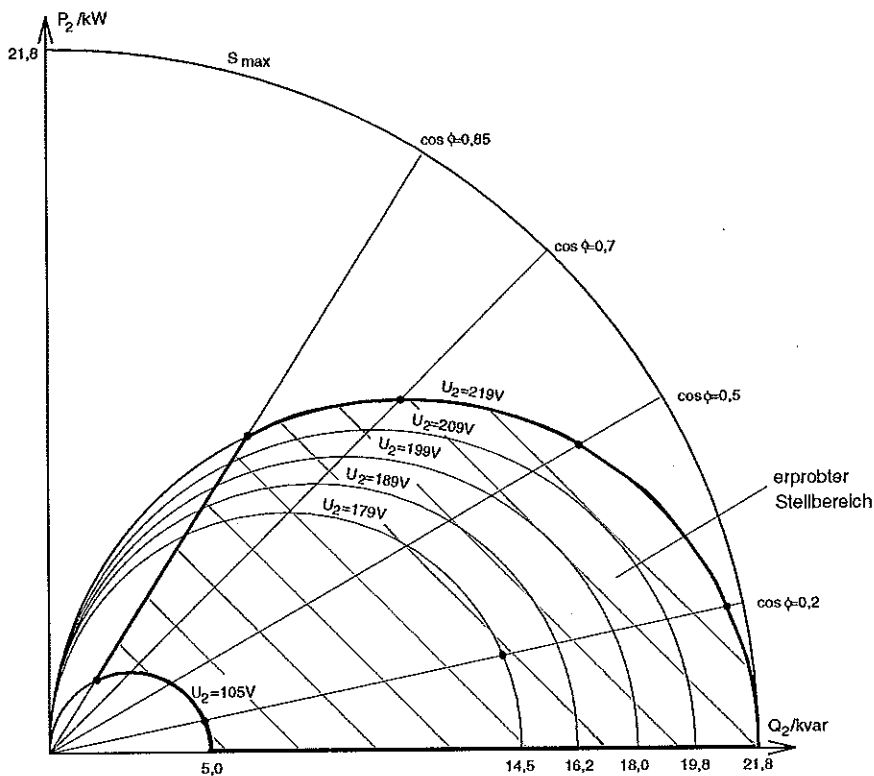


Bild 2: Kreisdiagramm für den Arbeitsbereich der Versuchsanordnung

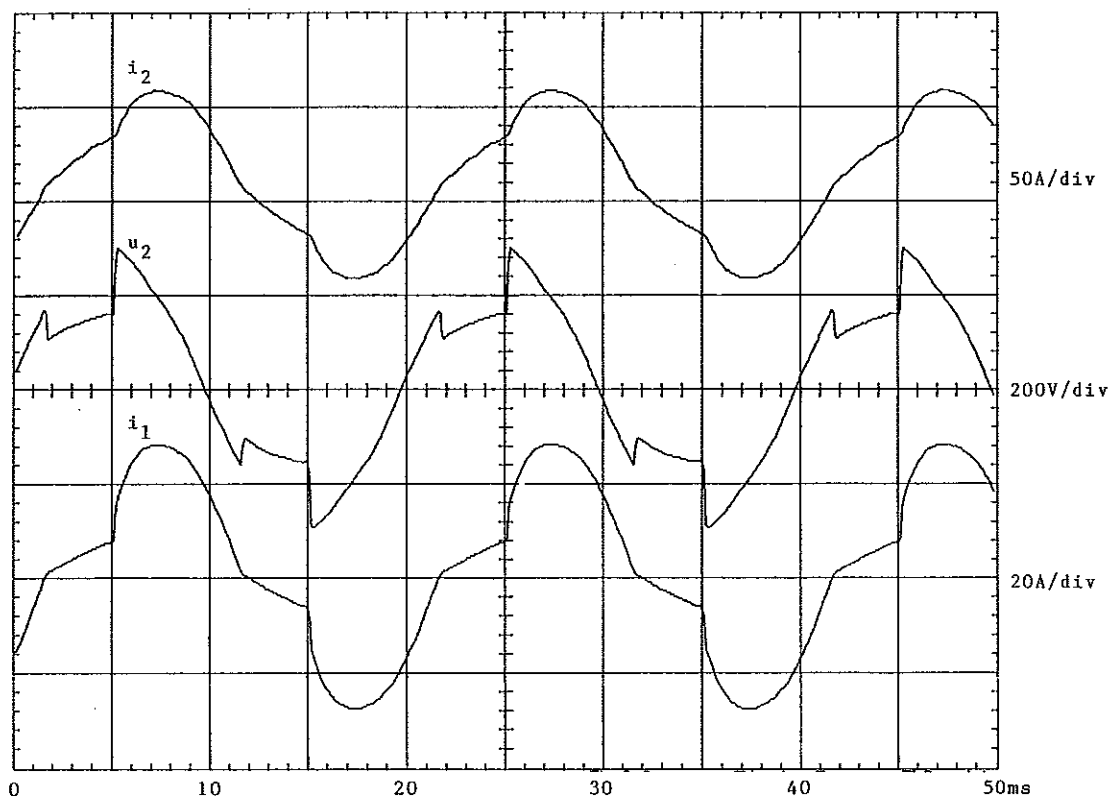


Bild 3: Messung von Laststrom i_2 , Lastspannung u_2 und Netzstrom i_1 bei einem Steuerwinkel $\alpha = 90^\circ$, $\cos\varphi$ der Last: $\cos\varphi_2 = 0,85$

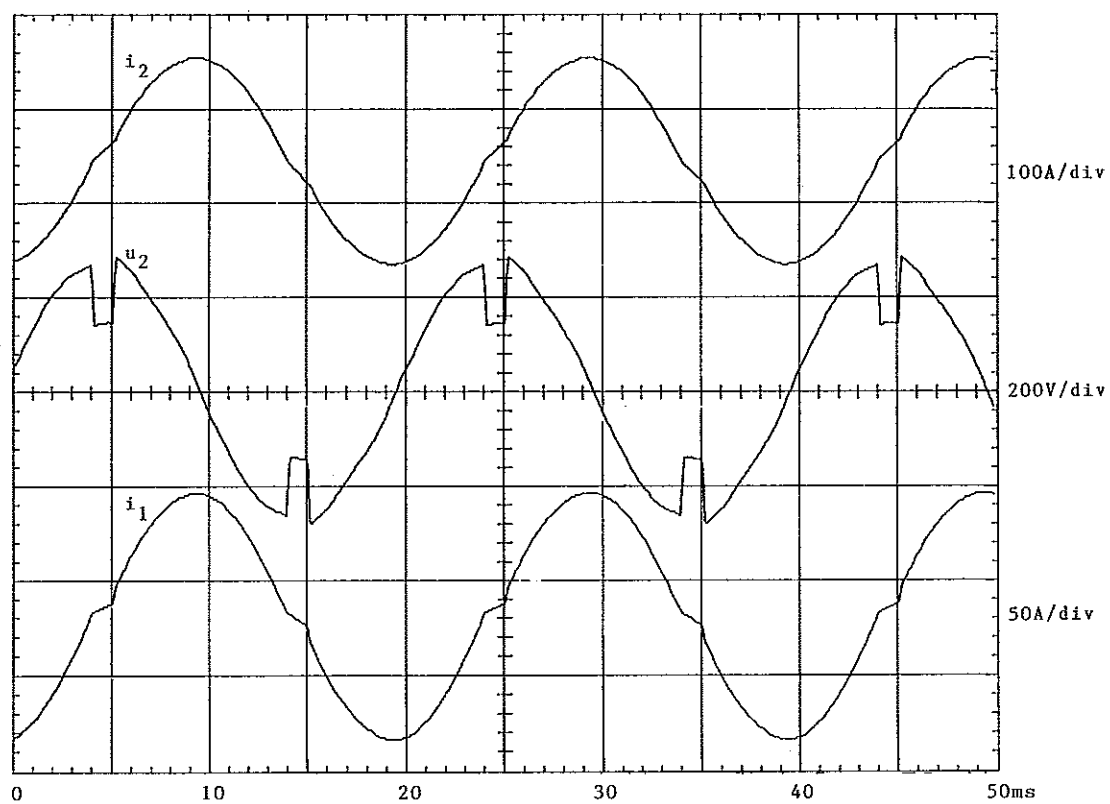


Bild 4: Messung von Laststrom i_2 , Lastspannung u_2 und Netzstrom i_1 bei einem Steuerwinkel $\alpha = 90^\circ$, $\cos\varphi$ der Last: $\cos\varphi_2 = 0,2$

4 Personelle Besetzung

4.1 Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts (siehe auch Anlage 22a)

Hochschullehrer: (Institutsdirektor)	Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Oberingenieur:	Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann
Wissenschaftlicher Angestellter:	Dr.-Ing. C. Sourkounis
Akademischer Rat a. Z.:	Dipl.-Ing. Mendt
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	Dr.-Ing. B. Jain (Praktikantenamt)
	Dipl.-Ing. J. Alders
	Dipl.-Ing. B. Engel
	Dipl.-Math. M. Goslar
	Dipl.-Ing. A. Kanakis
	Dipl.-Ing. H. Kayser
	Dipl.-Ing. P. Tavana-Nejad
	Dipl.-Ing. M. Thamodharan
	Dipl.-Ing. J. Wenske
	Dipl.-Ing. A. Wolf
Gastwissenschaftler:	Prof. Dr.-Ing. Koziol AGH Krakau
	Dr.-Ing. habil. Hanzelka AGH Krakau
	Dipl.-Ing. Tulbure Bukarest

Mitarbeiter im Technischen und Verwaltungsdienst:

Frau E. Mendt
Herr D. Bartz
Herr W. Hansmann
Herr F. Höfner
Herr V. Just
Herr H. Kirchner
Herr M. Kirchner
Herr R. Koschnik
Herr H. Schultze (Hausmeister)
Herr Lange (Auszubildender)
Herr Wolf (Praktikant)

4.2 Von der Lehrverpflichtung befreite Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. (em.) K. Bretthauer

4.3 Nebenamtlich tätige Hochschullehrer

Prof. Dr.-Ing. W.-R. Canders	(Lehrgebiet Elektrische Maschinen)
Dr.-Ing. W. Diemar	(Lehrgebiet Elektrowärme)
Dr.-Ing. H. Schmidt	(Lehrgebiet Hochspannungstechnik)
Dr.-Ing. D.-J. Wahl	(Lehrgebiet Elektrizitätswirtschaft)
Dr. rer. nat. H. Wenzel	(Lehrgebiet Batterietechnik)
Dipl.-Ing. G. Helmholz	(Lehrgebiet Theorie der Wechselströme)

4.4 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Frau cand.-Ing. D. Jost

Frau cand.-Ing. J. Kinder

Frau cand.-Ing. R. Riebenstahl

Frau cand.-Ing. U. Schröter

H. cand.-Ing. R. Assenmacher

H. cand.-Ing. T. Böning

H. cand.-Ing. M. Bollmann

H. cand.-Ing. M. Bornitz

H. cand.-Ing. S. Enk

H. cand.-Ing. T. Freder

H. cand.-Ing. V. Gärtner

H. cand.-Ing. M. Götz

H. cand.-Ing. J. Heckmann

H. cand.-Ing. F. Hohlweg

H. cand.-Ing. J. Jahn

H. cand.-Ing. A. Karakaidos

H. cand.-Ing. Ch. Kielmann

H. cand.-Ing. J. Knollmann

H. cand.-Ing. A. Oltmanns

H. cand.-Ing. C. Ropeter

H. cand.-Ing. A. Schell

H. cand.-Ing. T. Schwetje

H. cand.-Ing. Ch. Smolenski

H. cand.-Ing. C. Söffker

H. cand.-Ing. G. Steulmann

H. cand.-Ing. S. Stoll

H. cand.-Ing. S. Theuerkauf

H. cand.-Ing. D. Vollmer

H. cand.-Ing. P. Wieland

4.5 Mitgliedschaften in den Selbstverwaltungsgremien der Universität

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck	Dekan des Fachbereichs Maschinen- und Verfahrenstechnik, Mitglied des Konzilvorstandes der TUC, Leiter des Praktikantenamtes, Vorsitzender der Senatsbaukommission, Sprecher der TU Clausthal auf dem Fakultätentag Elektrotechnik, Vorstandsmitglied des Forums Clausthal (FC), Mitglied des Informationstechnischen Zentrums Mitglied der Jury beim Eta-Wettbewerb Mitglied der Jury bei „Jugend forscht“ Mitglied des CAD-Arbeitskreises für Elektrotechniker des Landes Niedersachsen
Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann	Mitglied der Haushalts- und Planungskommission des Senats, Mitglied der gemeinsamen Kommission der Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen, Mitglied des Konzils, Mitglied des Fachbereichsrates MVT stellv. Mitglied des Senats Mitglied der Jury bei „Jugend forscht“
Dipl.-Ing. J. Alders	stellv. Mitglied der Baukommission des FB MVT
Dipl.-Ing. B. Engel	stellv. Mitglied des Fachbereichsrates MVT, stellv. Mitglied der Studienkommission MVT
Dipl.-Ing. A. Kanakis	Mitglied der Studienkommission des FB MVT
Dipl.-Ing. H. Kayser	Mitglied im Prüfungsausschuß des FB MVT für den Studiengang Maschinenbau
Dipl. Ing. M. Goslar	stellv. Mitglied im Prüfungsausschuß des FB MVT für den Studi- engang Maschinenbau
Herr W. Hansmann	Institutsratsmitglied, stellv. Vorsitzender im Personalrat, Mitglied des Arbeitsausschusses der TU, Gefahrstoffbeauftragter
Herr H. Kirchner	Ersatzmitglied im Personalrat, Brandschutzbeauftragter
Herr R. Koschnik	Ausbilder, Sicherheitsbeauftragter

5 Anlagen

- Anlage 1 Einführung eines Studienganges „Energiesystemtechnik“ an der TU Clausthal
- Anlage 2 Einladung zum Vortrag „Windenergie am konkreten Beispiel des Windparks Bockswieser Höhe
- Anlage 3 State Controller with Kalman Filter damping Torque Oscillations in AC Traction Drives
- Anlage 4 New Control Concept for Overload minimized Traction Drives
- Anlage 5 Neues Regelkonzept für elektrische Hochleistungstraktionsantriebe mit Berücksichtigung der schwingungsfähigen Mechanik
- Anlage 6 Echtzeitsimulation eines geregelten Gleichstrom-Lichtbogenofens
- Anlage 7 Mechatronik bei Hochleistungsantrieben: Aktive Schwingungsbedämpfung
- Anlage 8 Möglichkeiten der Lebensdauerverlängerung von Komponenten mechanisch-elektrischer Antriebssysteme durch Untersuchung des Gesamtsystems
- Anlage 9 Erprobung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe an einem Antriebssystem mit hoher Getriebeübersetzung
- Anlage 10 Lastkollektivminimierung durch aktive Schwingungsdämpfung in Antriebskomponenten mechanisch elektrischer Systeme
- Anlage 11 Ausgleichsschwingungsfreies Schalten von Asynchronmaschinen
- Anlage 12 Torsionsschwingungen in Antriebssträngen mit hydrodynamischer Kupplung
- Anlage 13 Hochspannungs-Gleichstromtransport und Erdgasferntransport im technisch-wirtschaftlichen Vergleich
- Anlage 14 Patentanmeldung: Verfahren zur verschleißorientierten Kraftschlußregelung mit variablem Arbeitsintervall für Triebfahrzeuge mit stromrichtergespeisten Fahrmotoren
- Anlage 15 Einladung der Professoren Hanzelka und Koziol der AGH Krakau
- Anlage 16 Forum Clausthal: Energiepolitik und CO₂-Minderungspotentiale
- Anlage 17 Projektarbeit „Planung des Windparks Bockswieser Höhe“
- Anlage 18 Einladung zu der Seminarveranstaltung „Was müssen Ingenieure und Naturwissenschaftler der Zukunft wissen?“
- Anlage 19 Gemeinschaftsseminar „Neue Technologien im Straßenverkehr“
- Anlage 20 Exkursion zur Fa. ABB Calor Emag Schaltanlagen AG

- Anlage 21 Exkursion zum Geschäftsbereich Werke, Niederlassung Hamburg-Eidelstedt der Deutschen Bahn (ICE-Werkstatt)
 - 21a Die Geschichte vom IEE und dem ICE (Datenbus 3/95)
- Anlage 22 Institutsausstattung des IEE
 - 22a Personal, Geräte, Gebäude
 - 22b Mittel für stud. Hilfskräfte, Mittel für stud. Hilfskräfte
 - 22c Rechnerausstattung

Fachbereich Maschinen- und Verfahrenstechnik

- Projektskizze -

Einführung eines Studienganges „Energiesystemtechnik“ an der TU Clausthal

Inhalt:

1. Begründung der Notwendigkeit
2. Struktur des Studienganges und Lehrkapazität
3. Abgrenzung des Studiengangs
4. Einstiegsmöglichkeiten von Fachhochschulabsolventen

Anlage 1-8 Erläuterungen zum Text

Clausthal-Zellerfeld, den 09. 10. 1995

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
(Dekan)



Einführung eines Studienganges „Energiesystemtechnik“ an der TU Clausthal

1. Begründung der Notwendigkeit

Im Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik (MVT) existiert derzeit eine Studienrichtung Energietechnik/Energiesysteme im Rahmen des Maschinenbaustudiums (Anlage 6,7), die gemeinsam mit den Fachbereichen Physik, Bergbau und Rohstoffe sowie Metallurgie und Werkstoffwissenschaften zu einem Studiengang ENERGIESYSTEMTECHNIK ausgebaut werden sollte. Dieser eigenständige Studiengang Energiesystemtechnik soll aus der Studienrichtung Energietechnik/Energiesysteme hervorgehen, wobei die bestehenden Lehrveranstaltungen dieser Studienrichtung genutzt und durch einen fachbereichsübergreifenden Fächerkatalog zu erweitern sind (Anlage 1a, 1b).

Der Standort Clausthal war in der Vergangenheit durch eine starke Rohstoffbezogenheit aus der Bergbautradition geprägt, wobei unlängst, dem Trend der allgemeinen Entwicklung folgend, das Lehr- und Forschungsangebot durch die Einrichtung umweltbezogener Studiengänge (Geotechnik, Umweltschutztechnik) erweitert wurde. Zukünftig sollte der damit eng verbundene, aber ein größeres und weitreichenderes Anwendungsspektrum umfassende Begriff „Energie“ gleichgewichtig hinzukommen. Mit dem schon bestehenden Schwerpunkt „Umweltschutz“ bietet sich eine notwendige Ergänzung an, in welcher die Auswirkung der Maßnahmen: Rationelle Energienutzung, Energierückgewinnung, Energiespeicherung/-transport, Regenerative Energietechnik und der dezentralen Energieversorgung in integrierten Energie- und Stoffsystemen (z.B. Gas, Öl, Strom, Fernwärme, Regenerative Energieträgernutzung) analysiert und systemtechnisch organisiert werden sollen. Eine umfassende Umweltschutztechnik ist ohne die Betrachtung der Energiegewinnung und -nutzung unvollständig. Im Bereich der Ingenieurausbildung kann mit diesem Studiengang die Lücke geschlossen werden, die bisher zwischen der Rohstoff- und der Energiegewinnung und der industriellen Energienutzung bestand, und zwar die öffentliche „Energieversorgung“ (Anlage 3), die in Zukunft wesentlich durch eine Energiesystemtechnik gekennzeichnet sein wird. Der Grund dafür liegt in der weiter fortschreitenden Dezentralisierung der Energietechnik, die einher geht mit einer weiteren Verselbständigung der Energiedienstleistungen kommunaler Energieversorger und der Einbindung regenerativer Energiequellen in bestehende Strukturen („Demokratisierte Energiesysteme“).

Ein Schwerpunkt in Lehre und Forschung zur Energieversorgung wird hier auf dem leitungsgebundenen Primärenergieträger „Gas“ und regenerativen Energieträgern liegen, die der elektrischen Energieversorgung auf den leitungsgebundenen Sekundärenergieträger „Strom“ und „Fernwärme“. Der Bedarf an Absolventen des neuen Studienganges wird u.a. durch die Nachfrage der überregionalen Energieversorgungsunternehmen, aber auch der kommunalen Verbände und Versorger deutlich begründet. Die Ausbildung von qualifizierten Energiesystemingenieuren trägt auch wesentlich dazu bei, die praktische Umsetzung der rationellen Energieanwendung und zukunftsorientierten Energietechniken herbei zu führen. Der Aufbau des neuen Studienganges wird stellenneutral, d.h. ohne zusätzliche Stellen des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur erfolgen (Anlage 5).

Ein eventueller Ausbau könnte durch Umschichtung bestehender Lehr- und Forschungsgebiete ohne Mehrkosten zukünftig erfolgen. Hierzu werden zu gegebener Zeit Vorschläge unterbreitet.

2. Struktur des Studienganges und Lehrkapazität

Der Studiengang „Energiesystemtechnik“ soll fachbereichsübergreifend gestaltet werden. Der Energiesystemingenieur erhält eine breite Ausbildung von der Energierohstoffgewinnung bis hin zur industriellen und kommunalen Versorgung bzw. Nutzung. Im Grundstudium sollte im Vergleich zum bisherigen Studium eine Erweiterung des Lehrangebots auf die Grundvorlesungen aus „Recht“ und „Betrieblicher Kommunikation“ erfolgen. Für eine Übergangsphase könnte aber auch das Vorexamen der Studiengänge Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Geotechnik, Bergbau und Entsorgung als Einstiegsvoraussetzung für das Hauptstudium anerkannt werden. Im Hauptstudium ist ein gemeinsamer Pflichtblock von 40 SWS geplant, der durch eine Schwerpunktbildung auf den Sektoren Energieerzeugung/-wandlung, Energieversorgung, Energienutzung und regenerative Energien vertieft werden kann. Zu diesem Angebot kommen 8 Praktika, 12 nichttechnische Fächer, 1 Studienarbeit, 1 Projektarbeit, 1 Seminar und 1 Diplomarbeit (Anlage 4). Diese Eckdaten orientieren sich an dem neu eingeführten Studiengang Umweltschutztechnik.

Die Stoffbezogenheit auf feste Brennstoffe in der bisherigen Studienrichtung „Energietechnik/Energiesysteme“ soll erweitert werden auf flüssige, gasförmige und regenerative Brennstoffe sowie auf die Anwendung des Sekundärenergieträgers Strom ausgeweitet werden. Wenngleich der Schwerpunkt der Wissens- und Kenntnisvermittlung auf dem Gebiet der leitungsgebundenen Primär- und Sekundärenergieträger liegen sollte, wird auch auf erneu-

erbare Energieträger und die Wasserstofftechnologie eingegangen, wobei hier die Zuarbeit der Angewandten Physik vorgesehen ist. Dies sollte, neben einer entsprechenden Schwerpunktbildung mit entsprechenden Praktika, in Form einer kompakten Vorlesung über „Energiesysteme“ erfolgen, wobei der Bezug zu bestehenden Energiesystemen erhalten bleiben soll. Um dem „Energiesystemingenieur“ die rechtlichen und wirtschaftlichen Kompetenzen in der Ausbildung mitzugeben, sind, neben der Grundausbildung im Bürgerlichen und öffentlichen Recht, weitere Vorlesungen über Energiewirtschaft, Energierecht, Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Investition und Finanzierung, Allgemeine Volkswirtschaftslehre erforderlich, die aus den Ressourcen des Fachbereichs Bergbau und Rohstoffe bereitgestellt werden können.

Das Zusammenwirken der im Hauptstudium beteiligten Fachbereiche Maschinen- und Verfahrenstechnik (MVT), Bergbau und Rohstoffe (BB), Werkstoffwissenschaften (WW) und Physik (Phy) wird durch die Gestaltung der Vertiefungsschwerpunkte sichtbar. Die Gliederung des Grund- und des Hauptstudiums erfolgt auf der Basis des nachfolgenden Fächerkatalogs (Anlage 2,3,4,8).

3. Abgrenzung des Studiengangs

Ein vergleichbarer Studiengang wird bisher von keiner niedersächsischen Hochschule angeboten. Auch an den anderen Hochschulen der Bundesrepublik wird die Energietechnik, die überwiegend auf zentrale Einrichtungen und Apparate ausgerichtet ist (z.B. Turbomaschinen, Verbrennungsmotoren, Wärmetechnik, Elektrische Energietechnik, Reaktortechnik, etc.) angeboten. Sie stellt jedoch keinen eigenen Studiengang dar, sondern sie ist, wie derzeit an der TU Clausthal als Studienrichtung/-schwerpunkt im Studiengang Maschinenbau oder Elektrotechnik untergebracht.

4. Einstiegsmöglichkeiten von Fachhochschulabsolventen

Aufgrund der erläuterten Besonderheit des geplanten Clausthaler Energiesystemtechnik-Studiums bestehen gute Möglichkeiten, besonders qualifizierte Fachhochschulabsolventen (Näheres wird noch festgelegt) zu einer Promotionsberechtigung im gewählten Fach zu führen.

Hier muß, wie derzeit in Clausthal praktiziert, der Einzelfall geprüft werden. Dies gilt ebenso für qualifizierte Fachhochschulabsolventen, die eine Diplomprüfung an einer wissenschaftlichen Hochschule ablegen möchten.

Einstiegsmöglichkeiten für Studenten anderer universitärer Studiengänge, die an der TU Clausthal ihre Diplomprüfung ablegen wollen, bedürfen ebenfalls einer Einzelfallprüfung; eine allgemeine Regelung ist hier naturgemäß nicht möglich. Doch gilt auch hier das bereits gesagte, daß eine Eingliederung in einen Studiengang mit allgemeiner Ausrichtung mehr Möglichkeiten bietet, als dies bei Studiengängen mit fakultativer Ausrichtung großer Hochschulen der Fall ist.

Anlage 1a

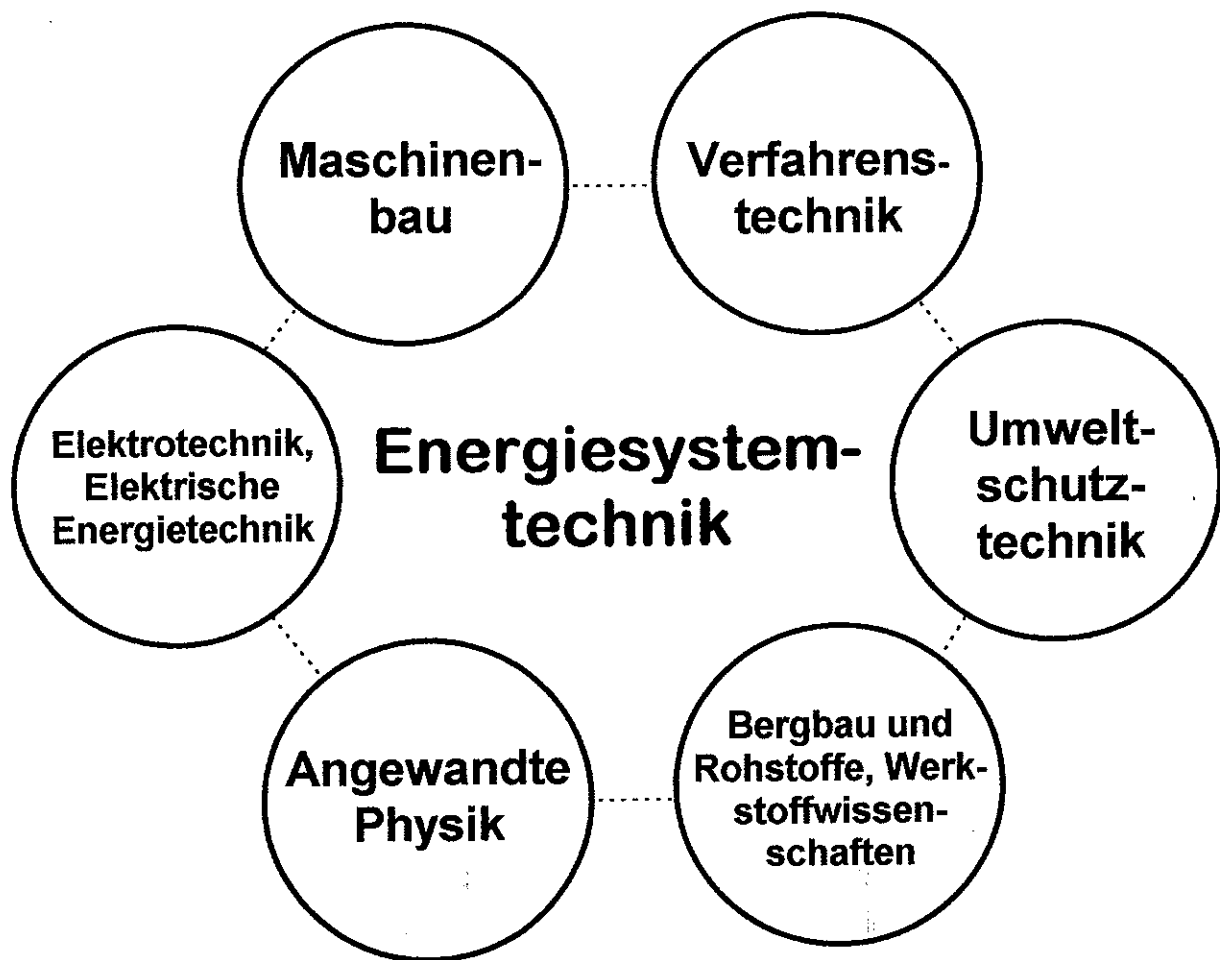


Bild 1: An der TU Clausthal derzeit existierende Wissenschaftsdisziplinen, die in das Hauptstudium des neuen Studiengangs Energiesystemtechnik integriert werden können

W
i
n
d
o
Wind
energie
Wind

Windenergie am konkreten Beispiel des Windparks Bockswieser Höhe
Vortragsreihe am 11. 12. und 12. 12. vom Institut für Elektrische
Energietechnik, Technische Universität Clausthal.
19 Uhr c.t. im AudiMax, Hauptgebäude. Eintritt frei

State Controller with Kalman Filter damping Torque Oscillations in AC Traction Drives

Authors: H.-P. Beck
B. Engel

Lecture Presentation by B. Engel at the
IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference,
International Symposium on Electric Power Engineering
Stockholm, Sweden, June 18-22, 1995

Electrical Machines and Drives
pp. 397-402

State Controller with Kalman Filter damping Torque Oscillations in AC Traction Drives

H.-P. Beck

Institute of Electrical Power Engineering
Technical University of Clausthal
D-38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany

B. Engel

Institute of Electrical Power Engineering
Technical University of Clausthal
D-38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany

Abstract—Torque oscillations occur in poorly damped drive trains of electrical high-speed locomotives due to the stochastic wheel-rail-contact. These reduce the lifetime of mechanical components. The drive train may be considered as three-mass-spring-system with two frequencies of natural torsion at approximately 20 Hz and 50 Hz. A conventional speed controller is able to damp only the first frequency to a limited extend. With a high-dynamic torque control and single-fed traction motors it is possible to develop a new control concept based on a state controller and taking into account the mechanical system. It shifts the poles of both natural oscillations in negative real direction in the complex s -plane and thereby increases the damping. As the control concept should not need more sensors than the conventional speed controlled AC drive, the missing states have to be estimated by an observer or a filter. While a Luenberger observer is designed for reconstructing the system states after an initial disturbance, the Kalman filter is an optimal state estimator, if the process and the measurements involve permanent random perturbations. Simulation results with deterministic and stochastic load torques show that the state controller with Kalman filter reduces both oscillations of natural torsion and thereby raises the lifetime of mechanical components in the drive train.

I. INTRODUCTION

Many electrical high-speed locomotives such as the ICE power units or the class 120 of the German railway company DB AG have cardan hollow shaft transmission. Schwartz [1] shows that their drive train can be approximated by a three-mass-spring system (Fig. 1).

With the first natural frequency between 15 and 25 Hz the wheelset oscillates against the traction motor. Mainly the hollow shaft is twisted. With the second natural frequency between 45 and 60 Hz the two wheels swing against each other with only

Paper SPT EM 14- 03- 0164 accepted for presentation at the IEEE/KTH Stockholm Power Tech Conference, Stockholm, Sweden, June 18-22, 1995

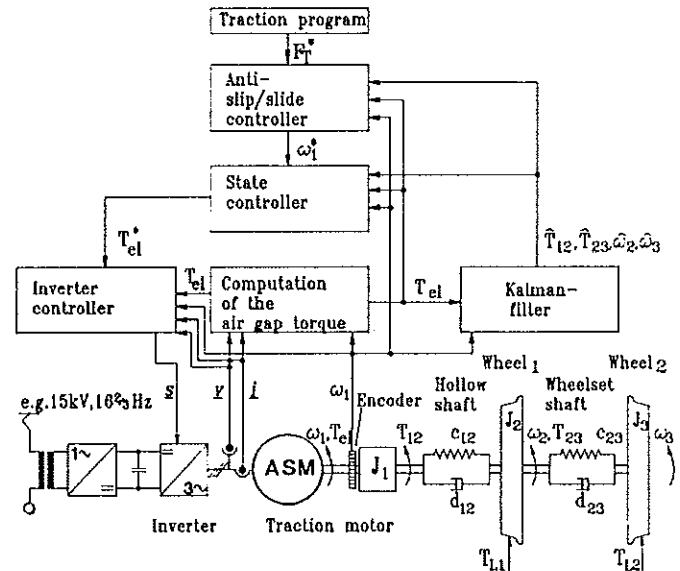


Fig. 1. Structure of the new control concept damping actively the torque oscillations in the three-mass-spring system of the locomotive drive train.

small influence on the traction motor. The torque oscillations with the two natural frequencies are stimulated by the time variant wheel-rail-contact. In addition the damping of the oscillations depends on the actual gradient of the friction characteristic (Fig. 2). In negative slope the system becomes unstable and the feared slip-stick oscillations occur [2].

The actual evolution in AC traction drives for high-power locomotives is characterized as follows:

- Each traction motor is fed by its own inverter.
- A high-dynamic torque control like the Direct Self Control (DSC) with torque rise times under 10 ms is provided [3].
- High-performance controllers like digital signal processors (DSPs) or sputers are available for drive control.

These characteristics enable a new control concept damping the torque oscillations in the drive train. Fig. 1 depicts the new concept [4]. The engine driver (or an automatic running control) sets the desired tractive effort F_T^* . As it is not always possible to transmit the complete force via wheel-rail-contact, a creep control or an anti-slip/slide controller is necessary (e.g. [1],[5]). Its output is the reference value ω_1^* for the speed control which conventionally is a PI controller. The new concept extends this motor speed controller to a state controller, taking into account



NEW CONTROL CONCEPT FOR OVERLOAD MINIMIZED TRACTION DRIVES

Authors: H.-P. Beck
B. Engel

Lecture Presentation by B. Engel at the
6th European Conference on
POWER ELECTRONICS AND APPLICATIONS
Sevilla, Spain, September 19-21, 1995

Proceedings Traction (I)
pp. 2.047-2.052

© EPE Association



NEW CONTROL CONCEPT FOR OVERLOAD MINIMIZED TRACTION DRIVES

H.-P. Beck, B. Engel

Technical University of Clausthal, Germany

Abstract. Torque oscillations occur in poorly damped drive trains of electrical high-speed locomotives due to the stochastic wheel-rail-contact. These reduce the life time of mechanical components. The drive train can be considered as three-mass-spring-system with two frequencies of natural torsion at approximately 20 Hz and 50 Hz. A conventional speed controller is able to damp only the first frequency to a limited extend. With the high-dynamic torque control and single-fed traction motors, it is possible to develop new control concept based on a state controller while taking the mechanical system into account. It shifts the poles of both natural oscillations in the negative real direction and increases the damping. As the control concept should not need more sensors than the conventional speed controlled AC drive, the missing states have to be reconstructed by an observer or a filter. While a Luenberger observer is designed for reconstructing the system states after an initial disturbance, the Kalman filter is an optimal state estimator, if the process and the measurements involve permanent random perturbations. Simulation results with deterministic and stochastic load torques show that the state controller with Kalman filter reduces both oscillations of natural torsion and thereby increases the lifetime of mechanical components in the drive train.

Keywords. state control, kalman filter, traction drive, poorly damped drive train, three-mass-spring system

INTRODUCTION

Many electrical high-speed locomotives like the ICE power units or the class 120 of the German railway company DB AG have cardan hollow shaft transmission. Schwartz (1) shows that their drive train can be approximated by a three-mass-spring system (figure 1).

With the first natural frequency between 15 and 25 Hz the wheelset oscillates against the traction motor. Mainly the hollow shaft is twisted. With the second natural frequency between 45 and 60 Hz the two wheels swing against each other with small influence on the traction motor. The torque oscillations with the two natural frequencies are stimulated by the time variant wheel-rail-contact. In addition the damping of the oscillations depends on the actual gradient of the friction characteristic (figure 3). In the negative slope, the system becomes unstable and the feared slip-stick oscillations occur /Buscher et al (2)/.

The actual development in AC traction drives for high-power locomotives is characterized as follows:

- Each traction motor is fed by its own inverter.
- A high-dynamic torque control like the Direct Self Control (DSC) with torque rise times under 10 ms is provided /Jänecke et al (3), Steimel (4)/.

- High-performance controllers containing digital signal processors (DSPs) or transputers are available for drive control.

These characteristics enable a new control concept to damp the torque oscillations in the drive train. Figure 2 indicates the new concept /Beck and Engel (5), Engel (6)/. The engine driver (or an automatic running control) sets the desired tractive effort F_T^* . As it is not always possible to transmit the complete force via wheel-rail-contact, a creep control or an anti-slip/slide controller is necessary /e.g. (1), Beck and Hahn (7)/. Its output is the reference value ω_1^* for the speed control which is conventionally a PI controller. The new concept extends this motor speed controller to a state controller, taking into account the three-mass-spring characteristic of the drive train. Only the traction motor speed ω_1 can be measured immediately and the air gap torque T_{el} of the asynchronous motor can be calculated by measuring the voltage vector \underline{v} and current vector \underline{i} . Therefore the remaining unknown states have to be estimated by an observer or a filter. The estimated states can help to realize an on-line diagnosis about the mechanical components of the drive train.

In this paper the authors will concentrate on the state controller with Kalman filter.

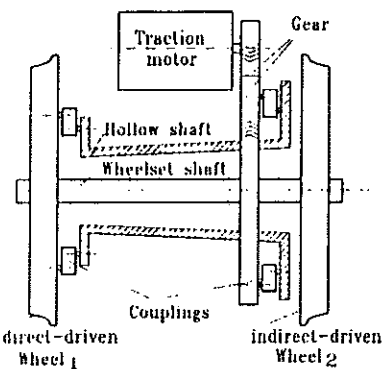


Figure 1: Mechanical drive train with cardan hollow shaft transmission.

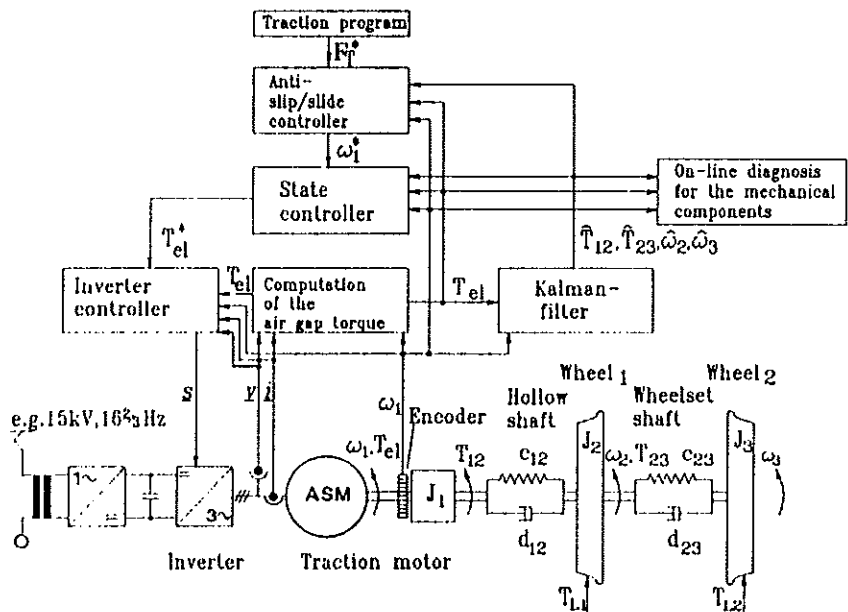


Figure 2: Structure of the new control concept damping actively the torque oscillations in the three-mass-spring system of the locomotive drive train.

J. Alders/ H.-P. Beck/ B. Engel

Neues Regelkonzept für elektrische Hochleistungs-traktionsantriebe mit Berücksichtigung der schwingungsfähigen Mechanik

1. Einleitung

Bei Hochleistungsfahrzeugen wie den ICE-Triebköpfen oder den Lokomotiven der Baureihe 120 der Deutschen Bahn AG ist der Kardanhohlwellenantrieb üblich (Abb. 1). Der Antriebsstrang kann nach Schwartz Π als ungetriebener Dreimassenschwinger aufgefaßt werden (Abb. 2). Mit der ersten von Null verschiedenen Eigenfrequenz von 15 bis 25 Hz oszilliert der Radsatz gegenüber dem Fahrmotor, wobei hauptsächlich die Hohlwelle tordiert wird. Bei der zweiten Eigenfrequenz von etwa 45 bis 60 Hz schwingen vor allem die beiden Räder gegeneinander. Diese Schwingungen werden angeregt durch den zeitveränderlichen Rad-Schiene-Kontakt. Die Dämpfung der Schwingung ist dabei stark abhängig von der aktuellen Steigung der Kraftschlußkennlinie (Abb. 3). Im Bereich negativer Kennliniensteigung wird das System instabil, und die gefürchteten Slip-Stück-Schwingungen können auftreten Π .

Die aktuelle Entwicklung bei Drehstromantrieben für Hochleistungslokomotiven ist geprägt durch folgende Kennzeichen:

- Jeder Fahrmotor wird durch einen eigenen Wechselrichter gespeist.
- Mit hochdynamischen Drehmomentregelungen wie der Direkten Selbstregelung (DSR Π) sind Drehmomentanregelzeiten unter 10 ms möglich.
- Für die Antriebsregelungen sind Hochleistungsmikrocontroller wie digitale Signalprozessoren oder Transputer eingeführt.

Diese Entwicklung ermöglicht ein neues Regelkonzept (4.5), das die Torsionsschwingungen im Antriebsstrang aktiv dämpft (Abb.2). Der Lokführer (oder eine Automatische Fahr-Brems-Steuerung) geben die Sollzugkraft vor. Da oft diese Kraft nicht vollständig über den Rad-Schiene-Kontakt übertragen werden kann, muß eine Radschlupfregelung vorgesehen werden (z.B. Π , Π , Π). De-

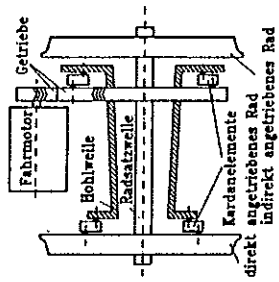


Abb. 1: Mechanischer Antriebsstrang mit Kardanhohlwellenantrieb

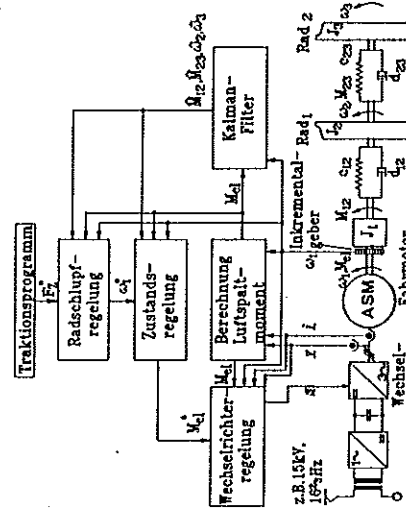


Abb. 2: Struktur des neuen Regelkonzeptes mit dem als Dreimassenschwinger modellierten Antriebsstrang

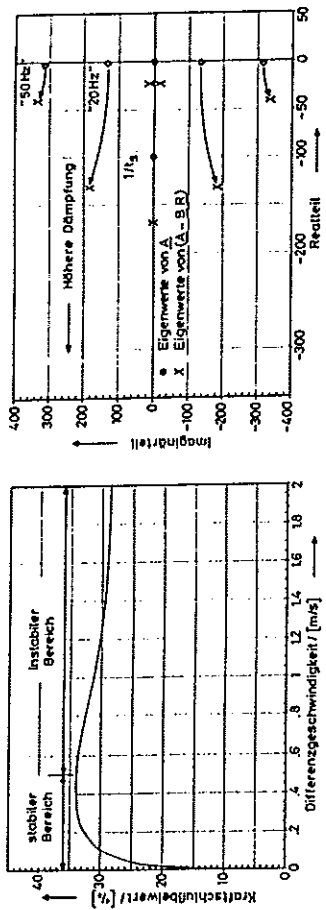


Abb. 3: Kräfteigenschaften

Abb. 4: Verschiebung der Eigenwerte

ren Ausgangsgröße ist eine Sollzahl für die Drehzahlregelung, die nach dem Stand der Technik durch eine einschleifige PI-Regelung realisiert wird. Das neue Regelungskonzept erweitert diese Motordrehzahlregelung durch eine Zustandsregelung, die die Dreimasseneigenschaften des Antriebsstranges berücksichtigt. Gegenüber über der klassischen Drehzahlregelung und der Wechselrichtersteuerung soll die Anzahl der Sensoren nicht erhöht werden. Gemessen werden die Motorzahl durch einen angebrachten Inkrementgeber und die Klemmengrößen von Strom und Spannung zur Bestimmung des Luftspaltmomentes der Asynchronmaschine. Zur Drehmomentbestimmung bietet sich wegen seiner hohen Genauigkeit der neue Freiberger Drehmomentbeobachter Π an. Die verbleibenden unbekannt Zustandsgrößen müssen durch einen Beobachter oder ein Kalman-Filter bestimmt werden.

In diesem Beitrag konzentrieren sich die Autoren auf die Zustandsregelung mit Kalman-Filter.

2. Zustandsregelung

Das System des mechanischen Antriebsstranges hat fünf Zustandsgrößen: drei Winkelgeschwindigkeiten ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$) und zwei Wellenmomente (M_{12}, M_{23}). Das dynamische Verhalten des dreimomentenregelten Antriebes wird durch ein Verzögerungsglied erster Ordnung nachgebildet. Dies ergibt das Luftspaltmoment als sechste Zustandsgröße. Das System wird beschrieben durch die Zustandsraumgleichung

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u$$

$$y = C \cdot x$$

$$x = [\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3 \ M_{12} \ M_{23} \ M_d]^T$$

$$u = F \omega_1$$

$$y = \omega_1$$

mit

Da das Eingrößensystem 6. Ordnung nach den Kriterien von Kalman steuerbar und beobachtbar ist, kann ein Zustandsregler entworfen werden Π . In Abb. 4 werden die Eigenwerte der Dynamikmatrix A mit denen des geregelten System (A - BR) verglichen. Durch Zustandsrückführung ist es möglich, die Eigenwerte in negativer realer Richtung zu verschieben. Dies bedeutet eine höhere Dämpfung der Eigenschwingungen. Der Zustandsregler kann nach dem Verfahren der Polvorgabe oder dem der Minimierung eines quadratischen Gütemaßes entworfen werden. Das letztgenannte Verfahren bewährte sich besonders. Für die gegebene Aufgabenstellung soll die Kostenfunktion

Echtzeitsimulation eines geregelten Gleichstrom-Lichtbogenofens

Real-time simulation of a regulated DC electric arc furnace

C. Kahmann und H.-P. Beck

Zusammenfassung

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit wurde eine digitale Regeleinrichtung für einen Gleichstrom-Lichtbogenofen programmiert und unter Echtzeitbedingungen an einem mathematischen Modell der Regelstrecke überprüft.

Der Regler besteht aus einem Spannungsregelkreis mit P-Regler, der auf die Höhe der beweglichen Graphitelektrode einwirkt, einem Stromregelkreis mit PI-Regler, der die Gleichrichterspannung steuert, sowie Maßnahmen zur Entkopplung beider Regelkreise und besonderen Regelprogrammen zum Zünden des Lichtbogens und bei Überlast.

Optimal wären Adaptivregler, die sich jeweils an die momentane Streckenverstärkung anpassen. Da die während des Betriebs ermittelten Meßdaten hierfür jedoch nicht genügend Information liefern, werden feste Reglerparameter verwendet.

Das Modell für den Gleichstrom-Lichtbogenofen bildet die Elektrodenverstellung und den Lichtbogenstromkreis nach; besonderes Gewicht liegt dabei auf dem nichtlinearen und von der Schlackenschicht abhängigen Strom-Spannungs-Zusammenhang des Lichtbogens. Die hierfür notwendigen Gleichungen wurden soweit vereinfacht, daß eine vollständige Berechnung innerhalb eines Regler-Abtastschritts möglich ist.

Die Überprüfung der Regeleinrichtung an dem Streckenmodell zeigt, etwa anhand einiger oszilloskopierter Regelbeispiele, daß, bedingt durch das nichtlineare Verhalten des Lichtbogens, gewisse Problembereiche existieren, daß aber in den technisch relevanten Betriebspunkten der Lichtbogen zufriedenstellend geregelt werden kann.

Summary

A digital regulation system for a DC electric arc furnace was programmed as part of a scientific work and verified under real-time conditions against a mathematical model of the system controlled.

The controller consists of a voltage control loop with a proportional action ("P") controller, which manipulates the height of the movable graphite electrode, a current control loop with a PI controller, which controls the rectifier voltage, and elements for isolation of both control loops and special control programs for ignition of the arc and for control events under overload conditions.

An ideal solution would have been adaptive controllers which react to instantaneous controlled-process gain. Since the measured data obtained during operation did not provide enough information for this purpose however, fixed controller parameters had to be used.

The model for the DC electric arc furnace simulates electrode adjustment and the arc circuit; particular attention is devoted to the non-linear current/voltage composition of the arc, which is also dependent on the layer of slag. The equations necessary for

this purpose were simplified sufficiently to permit a complete calculation step within one controller scanning cycle.

As illustrated, for instance, by certain oscilloscope-displayed regulation examples, verification of the control system against the controlled-process model demonstrated that certain problems remain, due to the non-linear behaviour of the arc, but that satisfactory control can be achieved in the arc's technically relevant working points.

Einführung

Seit Beginn dieses Jahrhunderts werden in der Stahlindustrie Lichtbogenöfen zur Herstellung von Elektrostahl verwendet [3]. Diese Anlagen werden zumeist mit Drehstrom gespeist, seit einigen Jahren sind jedoch auch Gleichstrom-Lichtbogenöfen im Einsatz. Sie haben den Vorteil, daß der den Lichtbogen erzeugende Gleichstrom durch einen gesteuerten Hochleistungsgleichrichter fast verzögerungsfrei beeinflusst werden kann.

Dies hat zur Folge, daß für Gleichstrom-Lichtbogenöfen neue Regelungskonzepte entwickelt werden müssen, die die verbesserten Steuerungsmöglichkeiten optimal nutzen. Eine preiswerte und gefahrlose Möglichkeit, die Stabilitätseigenschaften und Robustheit eines solchen Reglers zu überprüfen, ist ein „Software in the loop-Test“, das heißt der reale Gleichstrom-Lichtbogenofen wird durch eine Simulation auf einem Digitalrechner nachgebildet, die die Prozeßgrößen in Echtzeit berechnet.

Dipl.-Math. Christian Kahmann, Studium (Technomathematik/Systemtechnik) 1988-1994 an der TU Clausthal, z.Zt. wiss. Mitarbeiter am Physikal. Institut d. Univ. Würzburg; Professor Dr.-Ing. Hans-Peter Beck, Leiter des Instituts für Elektr. Energietechnik der TU Clausthal.

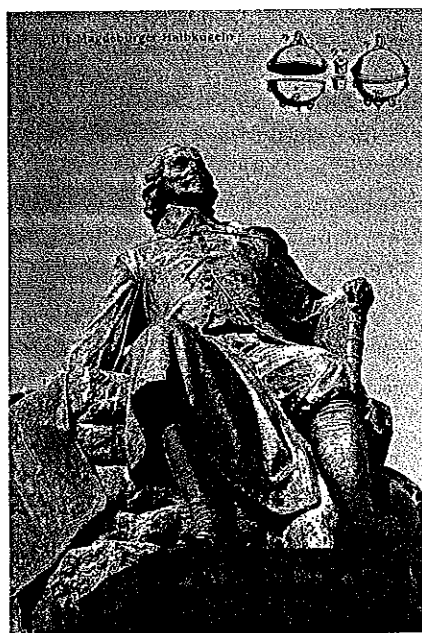
OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG



2. Magdeburger Maschinenbau-Tage

Mechatronische Systeme im Maschinenbau -
Quelle der Innovation

14. und 15. September 1995 in Magdeburg



Tagungsband I

Veranstalter:

Institut für Maschinen- und Antriebstechnik
und Magdeburger Maschinenbau e.V.

Möglichkeiten der Lebensdauererlängerung von Komponenten mechanisch-elektrischer Antriebssysteme durch Untersuchung des Gesamtsystems

Dipl.-Ing. H. Kayser, VDI
Prof.-Dr.-Ing. H.-P. Beck, VDI
Institut für Elektrische Energietechnik
Technische Universität Clausthal
38678 Clausthal-Zellerfeld

Dipl.-Ing. D. Harste, VDI (Vortragender)
Prof. Dr.-Ing. H. Zenner, VDI
Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit
Technische Universität Clausthal
38678 Clausthal-Zellerfeld

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Lebensdauer von Antriebskomponenten mechanisch-elektrischer Systeme und somit die Verfügbarkeit der gesamten Maschinenanlage ist in erster Linie von den im Betrieb auftretenden Belastungen und den hieraus im Antriebsstrang hervorgerufenen Beanspruchungen abhängig.

Die Betriebsbelastungen im Antriebsstrang werden im Zeitbereich durch die *Lastzeitfunktion* der Torsionsmomente (auch Wellenmomente genannt) und im Häufigkeitsbereich durch die Häufigkeitsverteilung der Torsionsmomente, das *Kollektiv*, beschrieben.

Der Arbeitsprozeß, z.B. Mahlen mit einer Gutbett-Walzenmühle, Bild 1, beeinflußt maßgeblich *Kollektivumfang* und *Kollektivform*, und die Sonderereignisse beeinflussen die *Kollektivhöchstwerte*.

Erprobung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe an einem
Antriebssystem mit hoher Getriebeübersetzung

(ehemaliger Titel: Erprobung der Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe an einem
Betriebssystem mit hoher Getriebeübersetzung)

Schlußbericht

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Dipl.-Math. M. Goslar

Clausthal-Zellerfeld, den 7. Dezember 1995

Inhaltsverzeichnis

0	Bezeichnungen	V
1	Einleitung	1
2	Modellbildung	2
2.1	Das lineare Modell des Antriebs im Zustandsraum	3
2.2	Ordnungsreduktion	5
3	Stand der Technik	10
4	Regler-Synthese: Die Methode der Gezielten Eigenwertvorgabe (PI-Zustandsregelung)	12
4.1	Mathematische Grundlagen	13
4.2	Die einschleifige PI-Regelung als Spezialfall einer PI-Zustandsregelung .	16
4.3	Parameterstudien zur Einstellung der Regeldynamik	19
4.3.1	Überlegungen zum Festlegen der Proportionalverstärkung des PI-Reglers	19
4.3.2	Aufwand und Nutzen der Verschiebung der Eigenwerte	21
4.4	Maximale Regeldynamik in Abhängigkeit der Stellgrößenbeschränkung	25
4.5	Der Beobachterentwurf	28
5	Regler-Analyse: Eine Robustheitsuntersuchung	29
6	Zusammenfassung	33
7	Schrifttum	35
A	Tafeln	37
B	Bilder	45

Technische Universität Clausthal
 Institut für Elektrische Energietechnik, IEE

Lastkollektivminimierung durch aktive Schwingungsbedämpfung in Antriebskomponenten mechanisch-elektrischer Systeme – Teil 1: Theoretische Untersuchungen, Regelkonzepte und Prüfstandsentwicklung

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck VDI und Dipl.-Ing. H. Kayser VDI, Clausthal-
 Zellerfeld

Lastkollektivminimierung durch aktive Schwingungsdämpfung in Antriebskomponenten mechanisch elektrischer Systeme

Teil 1: Theoretische Untersuchungen, Regelkonzepte und Prüfstandsentwicklung

von
 Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck, IEE
 Dipl.-Ing. Hubert Kayser, IEE

Vortrag
 auf der VDI-Schwingungstagung '95
 "Schwingungen in Antrieben -
 Analyse, Beurteilung, Beeinflussung, Überwachung"

Veitshöchheim, 25. und 26. September, 1995

Zusammenfassung

In der mechanisch-elektrischen Antriebstechnik treten im Betrieb Belastungen und damit resultierende Beanspruchungen auf, die in Form von Sonderereignissen auch weit über denen im normalen Betrieb liegen. Diese Beanspruchungen wirken sich auf die Lebensdauer der Antriebskomponenten und damit auf die Verfügbarkeit der gesamten Anlage aus. Gelingt es, durch regelungstechnische Maßnahmen diese Belastungen zu reduzieren, so kann die Lebensdauer und Verfügbarkeit wesentlich erhöht werden.

Im folgenden wird ein Antriebsschutzsystem vorgestellt, welches beruhend auf einer Gesamtbetrachtung des elektrischen und mechanischen Antriebssystems entwickelt wurde. Vorgestellt werden zwei Regelkonzepte, die zur Lösung der gestellten Aufgabe eingesetzt werden. In theoretischen Voruntersuchungen erlangte Simulationsergebnisse zeigen, daß ein Antriebsschutzsystem durchaus zum gewünschten Erfolg führt.

Mit Hilfe eines Prüfstandes (85 kW - Gleichstromantrieb, Zwei-Massen-Schwinger), dessen Antriebswelle so ausgelegt wurde, daß sich die für eine verfahrenstechnische Anlage "Gutbett-Walzenmühle" charakteristische untere Eigenfrequenz von ca. 11 Hz ergibt, werden die unterschiedlichen Regelkonzepte im Hinblick auf ihre Befähigung zur Lösung der gestellten Aufgabe im praktischen Einsatz untersucht. Dabei wird als Referenz das Regelkonzept "Drehzahlregelung", welches den Stand der Technik verkörpert, verwendet. Das Regelkonzept "Fuzzy-Antriebsschutzregler" wird mit dieser Referenz verglichen.

Ausgleichsschwingungsfreies Schalten von Asynchronmaschinen

von Hans-Peter Beck • Antonios Kanakis

Asynchronmaschinen werden wegen ihrer Robustheit zunehmend in der elektrischen Antriebstechnik eingesetzt. Dabei treten bei Einschalt- und Reversiervorgängen Pulsationen im Luftspaltmoment auf, die zu einer Belastung des Antriebsstrangs führen. Mit den vorgestellten Hilfsmaßnahmen lassen sich solche Pulsationen durch entsprechende Steuerung von Thyristorstellern vermeiden. Damit kann die Lebensdauer der mechanischen Antriebskomponenten verlängert werden.

Aufgabenstellung

Am starren Netz betriebene Asynchronmaschinen mit Kurzschlußläufer (ASMK) werden heute sehr oft als elektrische Antriebe für Leistungen von einigen kW bis in den MW-Bereich genutzt. Bei diesen Maschinen gestaltet sich der Einschaltvorgang schwierig, da der vier- bis achtfache Nennstrom auftreten kann. Neben der Stern-Dreieck-Anlaßschaltung setzt man zunehmend „Soft-Anlasser“ [1] mit Thyristorstellern ein, um den Anlaufstrom zu begrenzen. Dabei werden nicht zwangsläufig die im Anlaufbereich auftretenden netzfrequenten Torsionsschwingungen in der Antriebswelle eliminiert, die durch Gleichglieder im Ständerstrom entstehen. Die beim Schalten von Induktivitäten auftretende transiente Gleichstrom-Komponente im netzfrequenten Wechselstrom erzeugt im Luftspalt der ASMK ein stehendes Magnetfeld. Dieses schwächt oder stärkt periodisch das mit Netzfrequenz umlaufende Drehfeld bei $p = 1$. Daraus resultieren Pulsationen im Luftspaltdrehmoment, was wiederum

zu einer Pendelung des Wellenmoments führt. Besonders bei der Anwendung von Getrieben stören die Nulldurchgänge des Wellenmoments in der Anlaufphase. Der im modernen Maschinenbau angestrebte Leichtbau [2] wird durch solche unnötigen Zusatzbelastungen – diese kann man auch „mechanische Blindleistung“ bezeichnen – beeinträchtigt. Nachfolgend wird gezeigt, wie sich Pulsationen des Luftspaltdrehmoments bei Schaltvorgängen vermeiden lassen.

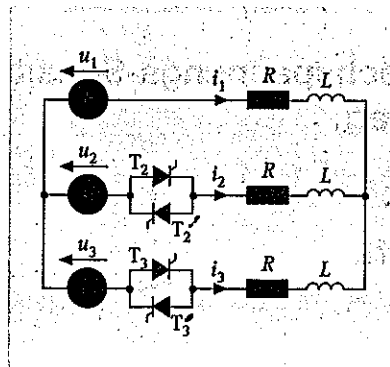


Bild 1. Einschalten einer ohmsch-induktiven Dreiphasenlast über Thyristorschalter

Werden verlustbehaftete Induktivitäten an Wechsel- und Drehspannungsnetze geschaltet, treten vom Schalt Augenblick abhängige Ausgleichsglieder auf. Bei einphasigen Anwendungen kann man den Gleichanteil durch richtige Wahl des Schalt Augenblicks vermeiden. Dies ist bei dreiphasigen ohmsch-induktiven Lasten und gleichzeitigem Einschalten der drei Stränge nicht möglich. Nachfolgend wird gezeigt, wie sich die Gleichglieder bei Verwendung von Thyristorschaltern mit gestaffelter Einschaltung der Stränge vermeiden lassen.

Schalten einer ohmsch-induktiven Dreiphasenlast

Das Schaltbild einer ohmsch-induktiven Dreiphasenlast, die über einen Thyristorschalter eingeschaltet werden kann, ist in Bild 1 gezeigt. Der Einschaltvorgang, d. h. die Verläufe der Ströme i_1 , i_2 und i_3 , der RL -Last bei Speisung durch ein Drehspannungssystem läßt sich mit dem Differentialgleichungssystem (1) berechnen [4]:

$$\begin{aligned} \hat{u} \cos(\omega t + \alpha) &= u_1 = i_1 R + L \dot{i}_1, \\ \hat{u} \cos(\omega t + \alpha - 2\pi/3) &= u_2 = i_2 R + L \dot{i}_2, \\ \hat{u} \cos(\omega t + \alpha + 2\pi/3) &= u_3 = i_3 R + L \dot{i}_3. \end{aligned} \quad (1)$$

Werden alle Stränge gleichzeitig bei $t = 0$ eingeschaltet, gilt bei stromlosen Induktivitäten zusätzlich die Randbedingung $i(0) = 0$. Die vollständige Lösung führt zu Gl. (2) mit der stationären Stromkomponente $i_{v\omega}$ und der transienten $i_{v\omega}$:

Torsionsschwingungen in Antriebssträngen mit hydrodynamischer Kupplung

HANS-PETER BECK, CONSTANTIS SOURKOUNIS, JAN WENSKÉ

Im Maschinen- und Anlagenbau müssen oft schwerste Massen in Rotation versetzt werden. Dazu möchte man gern kostengünstige unregelmäßige Drehstromasynchronmotoren als Antrieb verwenden. Diese besitzen ein hohes Anlaufdrehmoment, werden während der Hochlaufzeit durch ihren großen Anlaufstrom jedoch erheblich belastet. Um sie dennoch einsetzen zu können, verwendet man hydrodynamische Kupplungen nach dem Föttingerprinzip. Sie sorgen für ein rasches, entlastetes Hochlaufen auf Nenndrehzahl. Am Beispiel einer Metall-Shredderanlage werden im folgenden Beitrag Torsionsschwingungen während dieses Hochlaufs ausführlich untersucht, die durch Variationen der Kupplungskennlinien gemildert werden können. Redaktion

1 Einleitung

Der Einsatz hydrodynamischer Kupplungen in Antriebssträngen ermöglicht unter anderem das sanfte Beschleunigen schwerster Massen durch preiswerte, unregelmäßige Asynchronmotoren (ASM). Dabei sorgt die spezielle Charakteristik der Kupplung während des Hochlaufs zunächst für ein rasches, entlastetes Beschleunigen des Motors in den Bereich geringer Stromaufnahme unterhalb seines Kippschlupfes. Beim Beschleunigen der lastseitigen Massen mit großem Trägheitsmoment arbeitet der Asynchronmotor somit in der Nähe seines Nennbetriebspunkts.

Die hydrodynamische Kupplung ist eine nach dem Föttingerprinzip arbeitende Strömungskupplung [1]. Die mechanische Motorleistung wird über jeweils ein beschaufeltes Pumpen- und Turbinenrad durch Impulsänderungen des sie durchströmenden Fluids übertragen. Mit ihrer Hilfe kann eine verschleißarme Drehzahlwandlung zwischen Antriebs- und Abtriebsseite erzielt werden. Dabei stellt sich ihr Betriebspunkt selbsttätig – in Abhängigkeit von der Belastung – stufenlos ein. Das Betriebsverhalten derartiger Kupplungen läßt sich einfach durch eine Kennlinienfeldarstellung beschreiben. Um jedoch den Einfluß der Kupplungskennlinien auf das Verhalten des Antriebssystems zu beurteilen, müssen auch die Wechselwirkungen zwischen der Kupplung und dem Antriebsmotor berücksichtigt werden.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck ist Direktor des Instituts für Elektrische Energietechnik an der TU Clausthal. Dr.-Ing. Constantis Sourkounis ist seit 1989 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Institut. Er leitet dort die Forschungsgruppe „autonome modulare Energiesysteme“ und arbeitet auf dem Gebiet der Regelung strömrichtergespeister Antriebe. Dipl.-Ing. Jan Wenske ist seit 1994 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Institut. Er arbeitet im Forschungsgebiet „autonome modulare Energiesysteme“.

2 Problemstellung

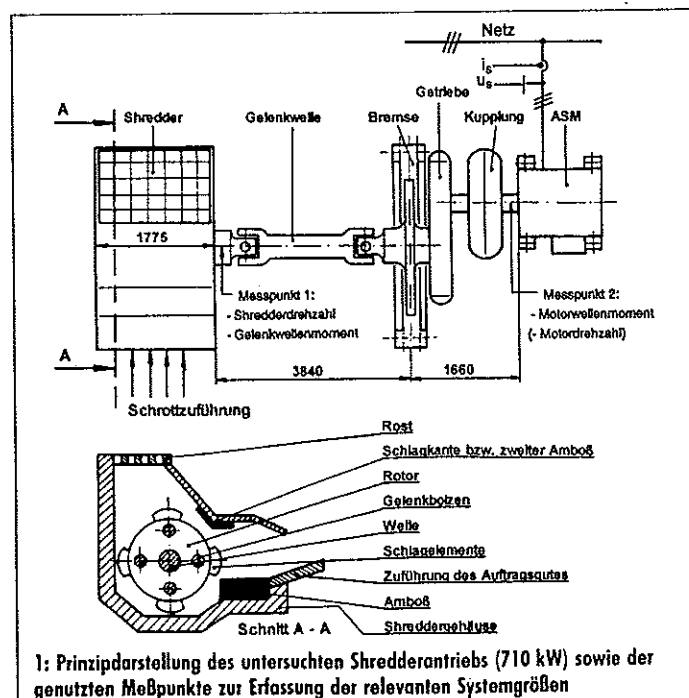
Am Beispiel des Hochlaufs einer Shredderanlage zur Gewinnung metallischer Sekundärrohstoffe [2, 3] sollen die dynamischen Wechselwirkungen zwischen Kupplung und unregelmäßigem ASM-Antrieb (710 kW) mittels digitaler Simulation untersucht werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Analyse von Torsionsschwingungserscheinungen im Antriebsstrang dieses Shreddertyps und deren Ursache. Die Schwingungen treten unter bestimmten Bedingungen beim Hochlauf auf und führen zu hohen Wellenbelastungen, welche ein Vielfaches des Antriebsnennmoments erreichen können.

Das Bild 1 zeigt eine Prinzipdarstellung des untersuchten Shredderantriebsstrangs mit unregelmäßigem ASM und hydrodynamischer Kupplung. Als repräsentatives System mit großer Trägheit der lastseitigen Massen bietet dieser Shredderantrieb die Voraussetzung für eine grundlegende Untersuchung des Schweranlaufs mit hydrodynamischer Kupplung. Die Ergebnisse können daher auf Systeme mit ähnlicher Verteilung der rotierenden Massen übertragen werden.

3 Betriebsmessungen an der Shredderanlage

Über einen Zeitraum von mehreren Monaten hinweg wurden Messungen vom Institut für Betriebsfestigkeit und vom Institut für elektrische Energietechnik der TU Clausthal an der Shredderanlage durchgeführt. In Bild 1 sind die Meßstellen und die dort erfaßten Systemgrößen gekennzeichnet.

Der Hochlauf des Shredders ist, bis auf das Einwirken von vernachlässigbaren Störungen, ein deterministischer Belastungsprozeß [2]. Bild 2 zeigt einen vollständigen, gemessenen Systemgrößenzeitverlauf für diesen Prozeß. Aufgezeichnet wurden hierbei das Motor- und Gelenkwellenmoment sowie die Rotordrehzahl



1: Prinzipdarstellung des untersuchten Shredderantriebs (710 kW) sowie der genutzten Meßpunkte zur Erfassung der relevanten Systemgrößen

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung und Erdgasferntransport im technisch-wirtschaftlichen Vergleich

Von Stefan Bokämper und Hans-Peter Beck, Clausthal-Zellerfeld¹

Zusammenfassung

Die Verfasser vergleichen die Energieübertragung mittels Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) und Erdgas-Pipeline (bei anschließender Verstromung) über eine Entfernung von 1800 km von Rußland nach Deutschland. Neben einer Beschreibung der technischen Auslegung der Energieübertragungssysteme werden Transportkosten-Berechnungen für verschiedene Varianten vorgestellt. Der Vergleich ergibt bei Transportleistungen bis ca. 4000 MW_{e1} niedrigere Transportkosten für die HGÜ. Bei größeren Transportleistungen und beim Mittransport des zu verstromenden Erdgases in großen Pipelines erweist sich die Erdgas-Variante als deutlich günstiger. Die Transportkosten werden von den Parametern „Strompreis“ (bei der HGÜ) und „kalkulatorischer Zinssatz“ (beim Erdgastransport) wesentlich beeinflusst.

1. Aufgabenstellung

Aufgrund der geänderten politischen Lage in den Staaten des ehemaligen Ostblocks und der zunehmend internationalen Ausrichtung der deutschen Elektrizitätswirtschaft ist seit einiger Zeit der Stromimport aus Osteuropa in der Diskussion. Vor diesem Hintergrund und unter Berücksichtigung der technischen Entwicklung im Bereich des Energietransportes wurde beispielhaft anhand einer 1800 km langen Transportstrecke von Rußland nach Deutschland ein Vergleich von Stromtransport mittels Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) und Erdgasferntransport durchgeführt, wobei ein Grundlasttransport mit 8000 Jahresbenutzungsstunden und eine Verstromung des Erdgases in Deutschland in einem modernen GuD-Kraftwerk angenommen wurden (siehe Bild 1).

¹ Cand.-Ing. S. Bokämper ist Student des Maschinenbaus (Studienrichtung Energietechnik/Energiesysteme) im 9. Semester an der TU Clausthal; Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck ist Direktor des Instituts für Elektrische Energietechnik an der TU Clausthal. Die Verfasser danken den Firmen PreussenElektra und Ruhrgas für die freundliche Unterstützung bei der Anfertigung dieser Studie.

Patentanmeldung

Aktenzeichen: P19539652.9

Anmeldedatum: 25.10.1995

Erfinder: Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Dipl.-Ing. B. Engel
cand.-ing. S. Stoll

Bezeichnung der Erfindung:

Verfahren zur verschleißorientierten Kraftschlußregelung mit variablem Arbeitsintervall für Triebfahrzeuge mit stromrichtergespeisten Fahrmotoren

Zusammenfassung:

Die Erfindung bezieht sich auf eine Technologieregelung des elektrischen Fahrmotors einer Lokomotive in der Art, daß die Differenzgeschwindigkeit zwischen Rad und Schiene so eingestellt wird, daß sich der Arbeitspunkt im gewünschten, stabilen Bereich der Kraftschlußkennlinie befindet. Dadurch ist eine Erhöhung der Lebensdauer bzw. die Einstellung des Verschleißes der mechanischen Komponenten bei gleichzeitig hoher Zugkraftausnutzung möglich.

Die Erfindung basiert auf einer Suchlogik (1), die nach den Vorgabewerten MIN und MAX ein gewünschtes Intervall von Arbeitspunkten im stabilen Bereich der Kraftschlußkennlinie mit Hilfe einer modellgestützte Drehzahlregelung (2) mit aktiver Torsionsschwingungsbedämpfung einstellt. Die Vorgabewerte können zum Beispiel die Minimal- und Maximalwerte des Gradienten der Kraftschlußkennlinie sein. Die Signale MIN und MAX können entweder fest voreingestellt sein oder von einer Automatik oder dem Lokomotivführer als Ausnutzungsvererschleißgrad vorgegeben werden. Über entsprechende Kennlinienglieder (3,4) werden dann die Werte für MIN und MAX bestimmt. Die Suchlogik schaltet je nach MIN und MAX zwischen zwei komplementären Sollbeschleunigungen um, die dann in einem Integrierglied (5) zu einer Solldrehzahl gewandelt werden. Bei dieser Kraftschlußregelung ist die Messung der Fahrzeuggeschwindigkeit über Grund nicht erforderlich.

(Fig. 1)

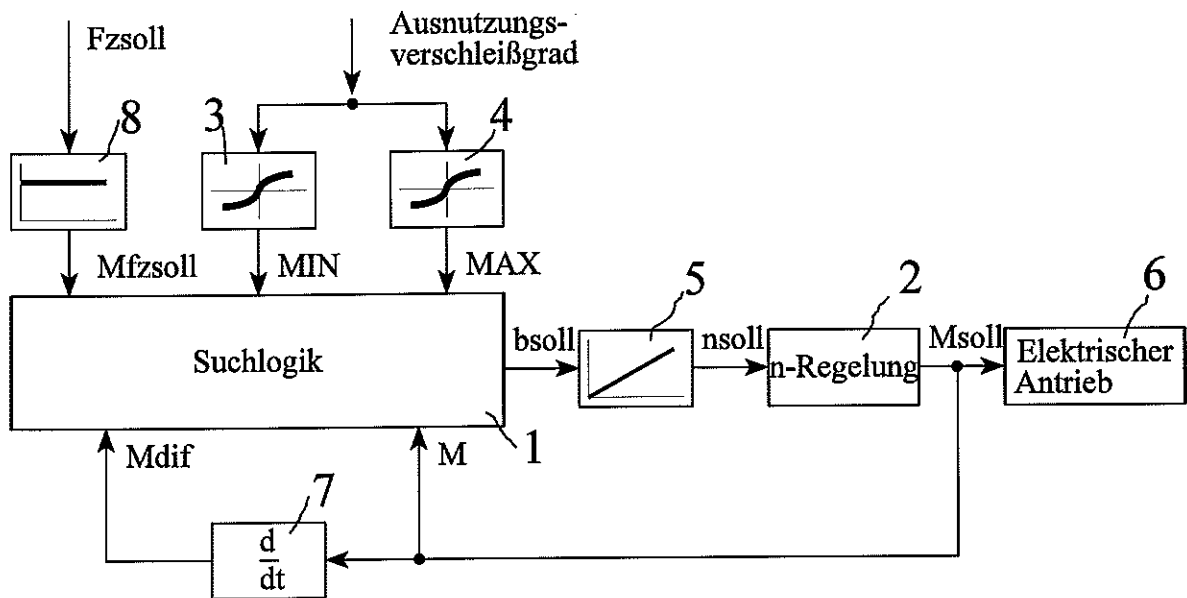


Fig. 1

**Besuch der Herren Professoren
Dr.-Ing. Hanzelka und Dr.-Ing. Koziol, AGH Krakow
am IEE von So. den 15.10. bis Sa., den 21.10.95**

- So., 15.10.: Empfang durch Prof. Beck an Bahnhof Goslar,
Übergabe des Quartiers in Clausthal
- Mo., 16.10. Informationen zum Thema "Rechnereinsatz in Forschung und Lehre"
Dr. Wehrmann: Empfang, Einführung, IEE-Ausstattung, Vernetzung, Hochschulnetz
Dipl.-Math. Goslar: Einsatz der Simulationssoftware MATRIX_x in der Übung zu "Regelung Elektrischer Antriebe"
Dipl.-Ing. Mendt: Simulation komplexer Systeme mit dem Ziel der Echtzeitfähigkeit. Einsatz von Multiprozessorsystemen (Parallel-Prozessorrechner)
Dipl.-Ing. Thamodharan: Entwicklung eines neuartigen Schweißgerätes mit Hilfe der Software NETASIM
Gemeinsames Abendessen mit der Möglichkeit zur Diskussion
- Die., 16.10.: Informationen zum Thema "Power Quality"
Dr. Sourkounis: Empfang, Einführung, Übersicht
Dipl.-Ing. Kanakis: Anbindung von Windkraftanlagen mit Drehstrom-Asynchrongeneratoren über Drehstromsteller an das Netz
Dipl.-Ing. Wenske: Einbindung regenerativer Energiequellen in schwache Netze
Dipl.-Ing. Wolf: Verminderung von Netzurückwirkungen an Drehstrom-Lichtbogenöfen (Vorführung)
Gemeinsames Abendessen mit der Möglichkeit zur Diskussion
- Mit., 17.10.: Informationen zum Thema "Elektrische Antriebe, spezielle Regelungssysteme, Teil I"
Prof. Beck: Empfang, Einführung, Übersicht
Dipl.-Ing. Alders: Bahnprüfstand, Nachbildung des Rad-Schiene-Kontaktes, Vorführung
Gemeinsames Mittagessen mit der Möglichkeit zur Diskussion
- Mit., nachmittags: ohne festes Programm (Stadtbesichtigung Clausthal, TU-Hauptgebäude, ...)

- Do., 18.10.: Informationen zum Thema "Elektrische Antriebe, spezielle Regelungssysteme, Teil II"
Prof. Beck: Empfang, Einführung, Übersicht
Dipl.-Ing. Engel: Bahnprüfstand, aktive Torsionsschwingungs-
Bedämpfung, Vorführung
Dipl.-Ing. Kayser: Lebensdauererhöhung durch Fuzzy-Regelung,
Vortrag
Dipl.-Ing. Tavana: Umrichter-gespeiste Reluktanzmaschine
Prof. Beck: Abendessen und Verabschiedung
- Fr., 20.10.: Dr. Wehrmann: Besuch des Institutes für Hochspannungstech-
nik (Schering-Institut) des Fachbereiches Elek-
trotechnik der Universität Hannover
- Sa., 21.10.: Rückflug ab Hannover

FORUM CLAUSTHAL

Energiepolitik und CO₂ - Minderungspotentiale

Vorträge einer öffentlichen Seminarreihe im Wintersemester 1993/94
an der TU Clausthal

Heft 2 der Schriftenreihe FORUM CLAUSTHAL 1994

Gedruckt mit finanzieller Unterstützung
des Vereins von Freunden der TU Clausthal sowie
der Preussen Elektra AG, Hannover

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Energiapolitik und CO₂-Minderungspotentiale : Vorträge einer öffentlichen Seminarreihe im Wintersemester 1993/94 an der TU Clausthal / Forum Clausthal. [Red. Bearb.: H. Volkmar]. - Clausthal-Zellerfeld : Papierflieger, 1995 (Schriftenreihe Forum Clausthal : H. 2) ISBN 3-930697-96-3
NE: Volkmar, Henning [Hrsg.]: Technische Universität <Clausthal>: Forum Clausthal: Schriftenreihe Forum Clausthal

Herausgeber: FORUM CLAUSTRHAL

Redaktion: Die Sprecher des Arbeitskreises FORUM CLAUSTRHAL

Prof. Dr.-Ing. H. P. Beck
Institut für Elektrische Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. M. F. Jischa
Institut für Technische Mechanik

Pfarrer K. Wachlin
Evangelische Studentengemeinde

Postfach 1253, 38678 Clausthal-Zellerfeld

Redaktionelle Bearbeitung: Dipl.-Ing. H. Volkmar
Institut für Technische Mechanik

Schriftenreihe von FORUM CLAUSTRHAL: ISSN 09 46 - 14 42

Alle Rechte vorbehalten.

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1994

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	3
Programm	6
Grußwort	8
 Erstes Thema:	
CO₂-Minderungspotentiale nach Rio	9
<i>Stefan Bokämper</i>	10
<i>Wilfried Kaufmann</i>	26
<i>Hans-Rudolf Wälzholz</i>	36
 Zweites Thema:	
Erdgas, der CO₂-Einsparer für den Übergang?.....	49
Vorwort	50
<i>Guido Lücker</i>	51
<i>Siegfried Müßig</i>	60
<i>Holger Kulke</i>	77
 Drittes Thema:	
Kernkraftwerke, CO₂-freie Stromerzeugung?	89
<i>Swen-Olaf Smit</i>	90
<i>Carsten Salander</i>	100
<i>Peter-Carl Rühland</i>	113

Viertes Thema:

Regenerative Energiequellen, lösen sie das Problem?	121
<i>Martin Tschierschke</i>	<i>122</i>
<i>Rainer Aringhoff</i>	<i>138</i>
<i>Helmut Klaiß</i>	<i>163</i>

Fünftes Thema:

Energieeinsparung als ethische Aufgabe	173
<i>Marcus Bollmann</i>	<i>174</i>
<i>Kurt Oeser</i>	<i>186</i>
<i>Stefan Kohler *</i>	

* Ein schriftlicher Beitrag konnte bedauerlicherweise nicht bis zum Redaktionsschluß zur Verfügung gestellt werden.

Vorwort

Seitdem sich die Bundesrepublik Deutschland auf der Weltkonferenz in Rio im Jahre 1992 dazu verpflichtet hat, ihren CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2005 um 25...30 % zu verringern, ist das Thema der CO₂-Reduktion in aller Munde. Die Ansichten hierüber differieren jedoch in der Bevölkerung sehr stark, gerade wenn es um die Frage geht, in welcher Weise dieses Ziel zu erreichen ist. Die einen meinen, der Einsatz der Kernenergie sei die Lösung, andere setzen auf die Nutzung der regenerativen Energiequellen, und wieder andere schwören auf energiepolitische Maßnahmen wie z. B. die Durchführung einer ökologischen Steuerreform. Dieses Thema ist aber in seiner ganzen Problematik derart vielschichtig, daß sicher keine der genannten Einzelmaßnahmen allein ausreicht, das gesteckte Ziel zu erreichen - wenn es denn überhaupt erreichbar ist.

Neben den konkreten vom Gesetzgeber vorzugebenden Maßnahmen kommt es vor allem darauf an, bereits im Vorfeld das Bewußtsein für die Notwendigkeit zu entwickeln, das geplante Ziel zu erreichen; und hier haben die Hochschulen, und zwar insbesondere die Technischen Universitäten, eine Schlüsselrolle wahrzunehmen. An diesen Bildungseinrichtungen werden in großer Zahl zukünftige Führungskräfte und Experten ausgebildet, die letztlich die zielgerechten Investitionsentscheidungen initiieren bzw. mittragen müssen. So ist eine energie- und rohstofforientierte Hochschule wie die TU Clausthal aufgerufen, den geschilderten Multiplikatoreffekt wahrzunehmen und ihre energie- und umwelttechnisch interessierten Studierenden schon während ihrer Ausbildung an die benannte Problematik heranzuführen. Hierzu sollten die zwei im folgenden näher beschriebenen Seminare einen Beitrag liefern.

Die Prüfungsordnungen der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge an der TU Clausthal sehen seminaristische Veranstaltungen im Hauptstudium vor, um die Eigeninitiativen der Studierenden zu fördern und gleichzeitig die kommunikativen und teamorientierten Aspekte in deren Arbeitsweisen zu stärken, damit sie die diesbezüglichen späteren Anforderungen im Beruf frühzeitig trainieren können.

Eine breite gesellschaftlich relevante Thematik wie die "CO₂-Minderungspolitik" bietet hierzu gute Voraussetzungen, da die politischen, wirtschaftlichen und technischen Fragestellungen eng miteinander verknüpft sind. Es fühlen sich Studentinnen und Studenten angesprochen, die Grundlagen auf diesen Gebieten mitbringen oder sie sich erarbeiten wollen.

Auf die Ankündigung des internen Seminars zur "Energiepolitik" zu Beginn des SS 93 hin meldeten sich 19 Studentinnen und Studenten aus beiden Fakultäten bei den ausrichtenden Instituten für "Energieverfahrenstechnik" und für "Elektrische Energietechnik" des Fachbe-

reiches Maschinen- und Verfahrenstechnik an. Gemäß der im 3. Bericht der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" vorgeschlagenen Aufteilung der Thematik in vier Unterthemen bildeten sich vier Arbeitsgruppen mit je vier Teilnehmern(innen). Eine fünfte Arbeitsgruppe übernahm die Aufgabe der Definition eines Kriterienkataloges zum Vergleich der CO₂-Reduktionspotentiale der einzelnen "Energiequellen":

- * Fossile Energieträger
- * Kernkraft
- * Regenerative Energiequellen
- * Rationelle Energieverwendung

aus

- technischer
- ökonomischer
- ökologischer
- gesellschaftlicher

Sicht. Der Kriterienkatalog, der natürlich für alle vier Arbeitsgruppen gleichermaßen als verbindlich galt, mußte von diesen jeweils für ihre "Energiequelle" beantwortet und in einer Präsentation vor der gesamten Projektgruppe vertreten werden.

Während der Laufzeit dieses internen Seminars wurde im Kreise der Mitglieder des Forum Clausthals diskutiert, ob es nicht an der Zeit wäre, eine öffentliche Veranstaltung zur Energiethematik durchzuführen. Dieser glückliche Umstand ließ das interne Seminar "CO₂-Minderungs politik nach Rio" in eine entsprechende Vortragsreihe des Forum Clausthals übergehen, denn man stand der Idee einer integrativen Lehr- und Lernform, bei der Experten und Studierende nebeneinander in einer öffentlichen Veranstaltung vortragen und mit dem Publikum diskutieren, sehr offen gegenüber. So kam es, daß unter der wissenschaftlichen Leitung des Unterzeichnenden eine Seminarreihe zum Thema "Energiepolitik und CO₂-Minderungspotentiale" bestehend aus fünf aufeinander abgestimmten Veranstaltungen (vgl. Programm) aufgestellt werden konnte, zu denen jeweils zwei Experten aus Politik, Wirtschaft oder Wissenschaft eingeladen wurden. Diese erklärten sich bereit, zusammen mit jeweils einem(r) Studenten(in) und einem Moderator aus dem Arbeitskreis "Forum Clausthal" ein Podium zu bilden, welches dem interessierten Publikum in einer vierstündigen abendlichen Veranstaltung Rede und Antwort stehen sollte. Die vortragenden Studierenden rekrutierten sich alle aus dem vorangegangenen internen Seminar. Sie waren daher fachkompetent und präsentierten sich und ihr Thema mit Erfolg. Dies zeigte auch die rege Teilnahme von Fachleuten aus der Region und der Hochschule sowie den zahlreichen Studierenden.

Zum Gelingen der Veranstaltungen trugen neben den Vortragenden und den Mitgliedern des Arbeitskreises "Forum Clausthal" auch das Clausthaler Umweltechnik-Institut, der Verein von Freunden der TU Clausthal und die Evangelische Studentengemeinde sowie der ASTA bei. Ihnen sei auf diesem Wege noch einmal herzlich gedankt.

Die Akzeptanz des öffentlichen Seminars zum Thema "Energiepolitik und CO₂-Minderungspotentiale" bestätigt die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges, fachübergreifende Themen mit gesellschaftlicher Relevanz in Form einer studentischen Projektgruppe aufzuarbeiten und mit Experten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, Hochschullehrern und Studierenden im gleichberechtigten Nebeneinander und wechselndem Kontakt zu bearbeiten.

Hierbei kommt es vor allem darauf an, die Motivation der Lernenden durch eine nicht einengende Aufgabenstellung zu fördern und ihnen Profilierungsmöglichkeiten bei der Verbreitung der eigenen Arbeitsergebnisse anzubieten. Darüberhinaus sollte der Projektcharakter der Aufgabenstellung durch eine entsprechende Gruppenorganisation betont werden, bei der der Wettbewerbsgedanke, zur Vorbereitung einer späteren Berufssituation, durchaus erwünscht ist.

Der Erfolg beider Seminare beflügelte die Initiatoren ein weiteres internes Seminar zur Energietechnik/-politik zu veranstalten. Bei der Themenauswahl wurde darauf geachtet, daß auch die Ergebnisse der vorangegangenen Seminare Eingang fanden, wodurch eine gewisse Kontinuität gewährleistet war. Auch Studienarbeiten zur Vertiefung der einen oder anderen Aufgabenstellung erwachsen aus dieser Projektarbeit.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die gewünschte pädagogische Aufarbeitung des Themas "CO₂-Reduktion und Minderungspotentiale" durch die veranstalteten Seminare möglich war. Das in neuerer Zeit oft zitierte Projektstudium hat hier eine erfolgversprechende Variante bekommen, die ohne Änderung der bestehenden Prüfungsordnungen durchgeführt werden kann und einen Teil der angestrebten Ausbildungsziele für den zukünftigen Natur- und Ingenieurwissenschaftler enthält, der nach Aussagen von Industrievertretern als "global player" arbeiten können sollte.

Clausthal-Zellerfeld
im Juni 1994

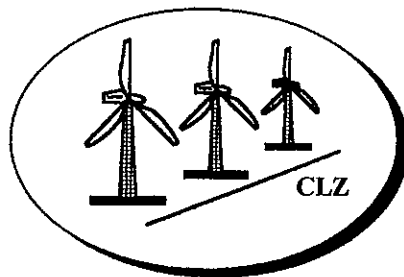


Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Wissenschaftlicher Leiter des Seminars



Planung des Windparks „Bockswieser Höhe“

– Projektarbeit –




Vorwort

Ein Ziel des Studiums an einer wissenschaftlichen Hochschule ist es auch, die Studierenden zu befähigen, selbständig und im Zusammenwirken mit anderen wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen sowie deren Bedeutung für die Gesellschaft und die berufliche Praxis zu erkennen (vgl. § 8, Abs. 2, Satz 2 NHG). Eine Methode, diesem Ziel ein Stück näher zu kommen, ist die Durchführung einer Projektarbeit. Dabei wird hier unter Projektarbeit eine praxisbezogene, planerische und fachübergreifende Arbeit von mindestens drei Studierenden verstanden, die unter der Betreuung von Prüfenden der betreffenden Studiengänge durchgeführt wird.

Die Ergebnisse werden in einem Projektbericht geschlossen dargestellt, der hiermit vorgelegt wird. Der als Prüfungsleistung zu bewertende Beitrag der einzelnen Kandidaten ist dabei, wie weiter oben angegeben, deutlich abgrenzbar und für sich bewertbar, wobei die Aufgabe für die Prüfungsleistung vom Prüfenden in Abstimmung mit den Studierenden festgelegt wurde.

Als Projektaufgabe bot sich eine aktuelle Themenstellung an, die von den Studierenden mit ausgesucht worden ist. Die zuständigen Behörden der Stadt Clausthal-Zellerfeld und des Landkreises Goslar planen einen Windpark „Bockswieser Höhe“, der im Rahmen eines Bebauungsplanes genehmigt werden soll, um interessierten Investoren die Möglichkeit zu geben, in einen Windpark zu investieren. Dabei sollen zwei auf der Bockswieser Höhe existierende Windenergiekonverter in die Windparkplanung integriert werden. Damit die Ergebnisse der Planungsarbeiten auch eine Grundlage bilden können für die sich anschließende Arbeit in den entsprechenden Fachausschüssen der Stadt und des Landkreises, wurden die Vertreter der betroffenen Behörden in die Planungsarbeit einbezogen. Der Unterzeichnende dankt diesem Personenkreis an dieser Stelle für die Mitarbeit ausdrücklich und weist darauf hin, daß auf diese Weise der notwendige Praxisbezug hergestellt werden konnte. Den beteiligten Studierenden und den Institutsmitarbeitern des Institutes für Elektrische Energietechnik (IEE) sei ebenfalls ein herzlicher Dank entrichtet für ihre fachkompetente und hochmotivierte Teamarbeit ohne die diese Projektarbeit in vier Monaten sicher nicht zustande gekommen und das Lernziel verfehlt worden wäre.

Clausthal-Zellerfeld, im August 1995



Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
(Wissenschaftlicher Leiter und Prüfer der Projektarbeit)

<i>Wissenschaftliche Leitung</i>	:	Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
<i>Projektleitung</i>	:	Dr.-Ing. C. Sourkounis
<i>Betreuung</i>	:	Dipl.-Ing. A. Kanakis
		Dipl.-Ing. J. Wenske

Die Projektarbeit wurde im Rahmen der Diplomprüfungsordnungen der Studiengänge Maschinenbau und Verfahrenstechnik als Studienarbeiten durchgeführt von:

cand.-Ing. R. Assenmacher

cand.-Ing. V. Gärtner

cand.-Ing. J. Heckmann

cand.-Ing. J. Jahn

cand.-Ing. M. Kurde

cand.-Ing. J. Rösner

cand.-Ing. T. Schwetje

als wissenschaftliche Hilfskraft: cand.-Ing. M. Bollmann

Kapitel und Autoren

Kap. 1:	Einleitung	Dr.-Ing. C. Sourkounis
Kap. 2:	Windparkauslegung und Parkwirkungsgrad	cand.-Ing. M. Kurde
Kap. 3:	Schallimmissionsberechnung nach VDI 2714	cand.-Ing. T. Schwetje
Kap. 4:	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Windkraftanlagen	cand.-Ing. V. Gärtner
Kap. 5:	Einflüsse des Klimas auf Windkraftanlagen im Oberharz	cand.-Ing. J. Jahn
Kap. 6:	Windrotorarten und Leistungsschwankungen	cand.-Ing. J. Heckmann
Kap. 7:	Marktanalyse und Anlagenauswahl	cand.-Ing. V. Gärtner cand.-Ing. J. Heckmann cand.-Ing. J. Jahn cand.-Ing. T. Schwetje
Kap. 8:	Netzverträglichkeit	cand.-Ing. J. Rösner
Kap. 9:	Powermanagement-Konzept	cand.-Ing. R. Assenmacher
Kap. 10:	Landschaftsbild und Naturhaushalt	cand.-Ing. M. Bollmann
Kap. 11	Zusammenfassung	

Zum Thema aus dem Geleitwort zur 10. Auflage
"Berufsplanung für Ingenieure"

(Hrsg. K. Henning und J. E. Staufenbiel)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. H.-J. Warnecke

Präsident des Vereins Deutscher Ingenieure

Flexibilität ist gefragt

"Die wirtschaftliche Entwicklung in den letzten Jahren hat allen Industrienationen deutlich gemacht, daß die Sicherung des Wohlstandes, die Erhaltung der Arbeitsplätze und damit der Einkommen und die Erhaltung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit keine Selbstverständlichkeiten sind. Vielmehr sind dafür große und innovative Anstrengungen von allen am Wirtschaftsprozess Beteiligten notwendig. Wer bei Innovationen die Nase vorn hat, stabilisiert einen gewissen Wohlstand und schafft neue Arbeitsplätze.

Diese Erkenntnisse müssen heute in allen Bereichen unserer Industrie und Gesellschaft Berücksichtigung finden. Dies gilt im besonderen Maße für das vielfältige Angebot unseres Ausbildungssystems. Die akademische Ausbildung an Hochschulen in Deutschland kann es sich heute nicht mehr erlauben, ohne Berücksichtigung dieser von außen wirkenden Parameter vorzugehen. Ein stures Fakultätsdenken bringt uns in dieser Situation nicht weiter. Vielmehr müssen Studieninhalte so angelegt werden, daß neben einem notwendigen Basiswissen vor allem breite, den heutigen Bedürfnissen entsprechende Inhalte vermittelt werden. Dies sind insbesondere Flexibilität, Kreativität, Mobilität und die Fähigkeit zur Problemanalyse. Angehende Ingenieure sollten sich in ihrer Ausbildung zudem vermehrt mit Inhalten aus der Betriebswirtschaftslehre, dem Vertrieb und Marketing beschäftigen. Auch Kommunikationsfähigkeit und soziale Kompetenz werden zu wichtigen Qualifikationsanforderungen an zukünftige Ingenieure."

Die Veranstaltung wird gemeinsam durchgeföhrt von

der interdisziplinären Arbeitsgruppe
"Forum Clausthal" der TU Clausthal
und

der "Clausthaler Umwelt-Akademie"
der Clausthaler Umwelttechnik-Institut
GmbH (CUTEK-Institut)

forum
CLAUSTHAL



Einladung

zu der Seminarveranstaltung

Was müssen Ingenieure und

Naturwissenschaftler der Zukunft

wissen ?

Organisation:

Prof. Dr.-Ing. M. F. Jischa
(Forum Clausthal und CUTEK-Institut)
Tel.: 05323 / 72-3166 (TUC)
Tel.: 05323 / 933-281 (CUTEK)

Dr.-Ing. B. Kragert
(CUTEK-Institut)
Tel.: 05323 / 933-208

Pfarrer K. D. Wachlin
(Forum Clausthal und
Evangelische Studentengemeinde)
Tel.: 05323 / 1344

38678 Clausthal-Zellerfeld

25. und 26. Januar 1996

Vortragssaal

der CUTEK-Institut GmbH

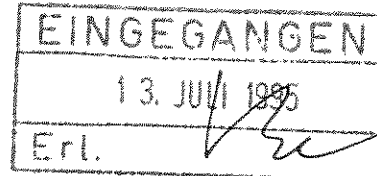
Leibnizstraße 21-23

38678 Clausthal-Zellerfeld

Institut für Elektrische Energietechnik
 Institut für Elektrische Informationstechnik
 Institut für Prozeß- und Produktionsleittechnik

Die oben genannten Institute bieten im Wintersemester 95/96 ein

Gemeinschaftsseminar



zum

Themenkomplex: Neue Technologien im Straßenverkehr

an.

Ziel: Vorstellung und Diskussion von Beiträgen, die alternative Energien und moderne Leittechnik zu einer Entschärfung der Probleme des Straßenverkehrs leisten können.

Das Seminar beinhaltet folgende Themenschwerpunkte:

- | | |
|--|----------------|
| 1. Neue Antriebsarten | Prof. Beck |
| 2. Leittechnik für das "System Verkehr" | Prof. Elzer |
| 3. Systeme zur Verbesserung der aktiven Sicherheit | Prof. Königski |

Vorbesprechung:

Die Themen- und Terminvergabe wird am
Montag, den 16. Oktober 95 um 16 Uhr c.t.

im

Diplomandenraum des Inst. f. Elektr. Energietechnik, Raum 500A

erfolgen.

Die Vorträge werden jeweils montags am Nachmittag gehalten.

INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CLAUSTHAL

DIREKTOR: PROF. DR.-ING. HANS-PETER BECK

OBERINGENIEUR: DR.-ING. ERNST-AUGUST WEHRMANN

**Exkursion Hochspannungstechnik / Elektrische Energieverteilung**

Termin: Montag, der 06.02.1995

voraussichtliches Programm:

6 ³⁰ Uhr	<u>Abfahrt</u> mit dem Bus am IEE	
10 ⁰⁰ Uhr	<u>Ankunft</u> bei der Fa. ABB Calor Emag Schaltanlagen AG Begrüßung und Einführung in das Produktionsprogramm	H. Heilmann
11 ⁰⁰ Uhr	Werksbesichtigung Schaltkammerfertigung und Leistungsschaltermontage	H. Heilmann H. Dr. Heinemeyer
11 ⁴⁵ Uhr	Mittagessen in der Werkskantine	
12 ³⁰ Uhr	Besichtigung der Prüffelder	H. Dr. Heinemeyer
13 ³⁰ Uhr	Fortsetzung der Werksbesichtigung Schaltanlagenfertigung	H. Heilmann
15 ⁰⁰ Uhr	Verabschiedung	
20 ⁰⁰ Uhr	Rückkehr nach Clausthal, IEE	

Interessierte Studenten können sich im Sekretariat (Raum 804)

bis zum Donnerstag, den 02.02.95 anmelden

Da die Teilnehmerzahl auf 20 beschränkt ist, richtet sich die Zulassung nach folgenden Prioritäten:

1. Teilnehmer der Vorlesung "Hochspannungstechnik" (Dr. Schmidt / LKH) im WS 94/95.
2. Teilnehmer der Vorlesung "Elektrische Energieverteilung" (Dr. Wehrmann) im WS 94/95.
3. Reihenfolge der Anmeldung

(Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann)



A1, 29.5.1995

Vorlesung Elektrische Energietechnik

Exkursion zum Geschäftsbereich Werke, Niederlassung Hamburg- Eidelstedt der Deutschen Bahn (ICE-Werkstatt) am 29.5.1995

Programm:

Hinfahrt:	Goslar ab	8.02 Uhr	(RB 3612)
	Hannover Hbf an	9.23 Uhr	
	Hannover Hbf ab	9.35 Uhr	(ICE 886)
	Hamburg Hbf an	10.52 Uhr	
	Hamburg Hbf ab	10.59 Uhr	(S21)
	H.-Elbgaustr. an	11.16 Uhr	(Fußweg ca. 10 min)

Im ICE 886 sind die Plätze Nr. 11-37 und 44-46 im Wagen 4 reserviert.

Im Werk Hamburg-Eidelstedt:

1. Einführung durch Herrn Dipl.-Ing. Gerhard Bauer, Technischer Leiter des Regionalbereiches Werke Hamburg
2. Anmerkungen von Herrn Prof. Dr.-Ing Hans-Peter Beck über "Grundsätzliches zur Antriebstechnik des ICE"
3. Mittagessen in der Kantine auf eigene Rechnung (ab ca. 13.00 Uhr möglich)
4. Rundgang durch die Werkstatt in kleinen Gruppen
5. Vortrag von Herrn Dipl.-Ing. Bernd Rockenfelt, Geschäftsbereich Traktion, Leiter "Überregionaler Regeleinsatz", Mainz über "Entwicklungstendenzen im Hochgeschwindigkeitsverkehr national und international"
6. Abschlußdiskussion

An der Führung wird sich Herr Dipl.-Ing. Günther Nordmann, stellvertretender Abteilungsleiter Traktion der Bundesbahndirektion Hamburg (alte Bezeichnung), beteiligen.

Rückfahrt:	H.-Elbgaustr. ab	16.06 Uhr	(S21)
	Hamburg Hbf an	16.23 Uhr	
	Hamburg Hbf ab	16.38 Uhr	(ICE 777)
	Hannover Hbf an	17.48 Uhr	
	Hannover Hbf ab	18.20 Uhr	(IR 2487)
	Goslar an	19.40 Uhr	

Im ICE 777 sind die Plätze Nr. 61-96 und 106 im Wagen 4 reserviert.

Die Geschichte vom IEE und dem ICE

Am 29. Mai 1995, 8:02 Uhr, Bahnhof Goslar. Professor Beck, einige Mitarbeiter und 20 an der Deutschen Bahn (DB) interessierte Studenten fahren mit einem Nahverkehrszug, seit Fahrplanwechsel Regionalbahn genannt, nach Hannover und steigen dort in den ICE 886 nach Hamburg/Hbf. Ziel der Reise ist das Bahnwerk in Hamburg-Eidelstedt in welchem fast alle ICE Triebzüge gewartet werden.

Der Besuch beginnt mit einer Einführung durch Herrn Dipl.-Ing. Bauer, den technischen Leiter der Werkstätten in Hamburg. Mit den Worten "Entschuldigen Sie bitte, daß Sie in Hamburg der Hausherr auf bayrisch begrüßt, aber..." startet ein Vortrag über Einsatz der ICE-Triebzüge und deren Wartung im Bahnwerk Hamburg mit seinen 800 Mitarbeitern.

Insgesamt stehen der DB 60 ICE zur Verfügung von denen 54 ICE planmäßig immer auf der Strecke sind und die verbleibenden sechs in Wartung oder als Reserve vorgehalten werden. Die Stärke des ICE im Vergleich zum französischen TGV, der häufig mit höheren Reisegeschwindigkeiten auf sich aufmerksam macht, liegt in seiner hohen Laufleistung von ca. 500.000 km/Jahr; der

TGV bringt es auf nur ca. 360.000 km/Jahr. Nach einem festgelegten Wartungsplan wird mindestens alle 3.500 km eine Kontrolle des Fahrwerks, der Bremsen, sowie eine komplette Reinigung vorgenommen. Außerdem werden in dieser Zeit auch außerplanmäßige kleinere Reperaturen durchgeführt. Damit dieses innerhalb der Standzeit von nur einer Stunde möglich ist, meldet der Zugleitreechner über Funk sämtliche aufgetretenen Störungen nach Hamburg. Hier übernimmt ein Disponent sofort den Zug und sorgt dafür, daß Ersatzteile vorhanden und Personal "immer zur richtigen Zeit, am richtigen Ort mit dem richtigen Werkzeug die richtige Arbeit ausführt". Alle 1,2 Millionen km erfährt der Zug eine vollständige Revision, die 15 Arbeitstage in Anspruch nimmt.

Die Zeit bis zur Mittagspause überbrückt Prof. Beck mit einem Vortrag über die Energieelektronik dieses Zuges und stellt kurz den neuen ICE 2 vor, den die Bahn schon bestellt hat.

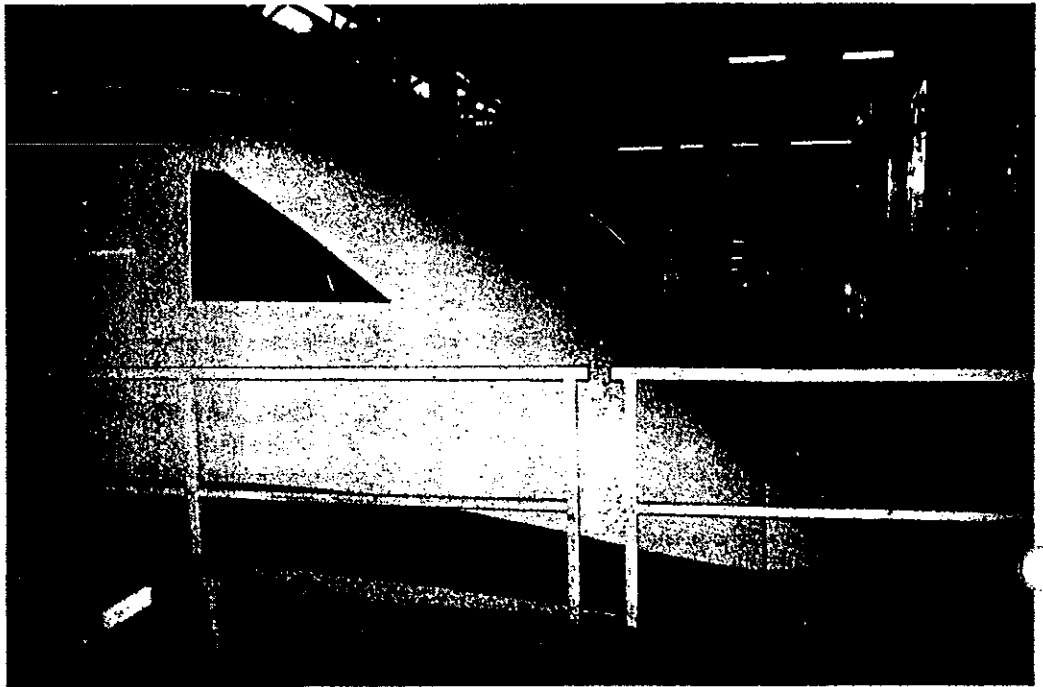
Am Nachmittag fährt uns Herr Derlin dann durch die Werkstatt die in drei Ebenen eingeteilt ist; die unterste Ebene für die Wartung unter dem Zug mit mobilen Hebebühnen, eine Ebene auf Bahnsteighöhe und die oberste für Wartungsarbeiten an den Stromabnehmern. Während des Rundganges wird u.a. erklärt wie Laufradsätze in 20 Minuten ausgetauscht werden; Treibradsätze werden im eingebauten Zustand auf einer Radsatzdrehmaschine ausgebessert. Im Triebkopf erkennt Prof. Beck den von

ihm mit entwickeltem Schaltschrank Nr. 13 wieder. Zitat von Prof. Beck: „Der hat mich die Hälfte meiner Haare gekostet!“.

Zum Abschluß des Besuches erläutert Herr Dipl.-Ing. Rockenfelt die geplanten, zukünftigen Hochgeschwindigkeitsstrecken in Europa. Im Vergleich zu den Nachbarländern sieht die Planung der Neubaustrecken der DB doch recht bescheiden aus.



Frankreich und Spanien werden bis zum Jahr 2002 ca. fünfmal mehr Hochgeschwindigkeitsstrecken als die DB ausbauen. Dennoch hat die DB über 100 neue Triebzüge der Typen ICE 2 und ICE 2.2 bestellt. Zurück am Hauptbahnhof Hamburg steigen wir in den ICE 777 nach Hannover ein. Nachdem bei der Hinfahrt drei Mitarbeiter des IEE auf dem Triebkopf mitgefahren sind, ist die Rückfahrt dort für



drei Studenten vorgesehen. Es wird eine sehr erlebnisreiche kurze Stunde, da Herr Rockenfelt, ebenfalls auf dem Triebkopf, viele interessante Begebenheiten zum Bau und Inbetriebnahme des ICE-Systems in Deutschland zu berichten weiß. Zum Teil von der Linienzugbeeinflussung (LZB), welche auf einigen Streckenabschnitten eingeführt wurde, überwacht, bewegen wir uns zeitweise mit Tempo 200 in Richtung Hannover. Modernste Zugleittechnik unterstützt den Triebkopfführer, der entsprechend für die Strecke auf dem ICE ausgebildet wurde, bei sei-

ner anspruchsvollen Tätigkeit.

Um 19.56 Uhr kommen wir wieder in Goslar an und eine interessante Exkursion geht zu Ende. Großer Dank gebührt Herrn Dipl.-Ing. Alders vom IEE für seine vorbildliche Organisation und der DB für die Freifahrtscheine und die sehr gute Vorstellung ihres Bahnbetriebswerks durch ihre drei sehr auskunftsfreudigen Mitarbeiter Herrn Rockenfelt, Herrn Nordmann und Herrn Derlin.

Arne Oltmanns und Andreas Schell

Getränke jeglicher Art

Getränke-Shop

GAJECK

Clausthal-Zellerfeld, Rollstraße, Telefon 05323/40456

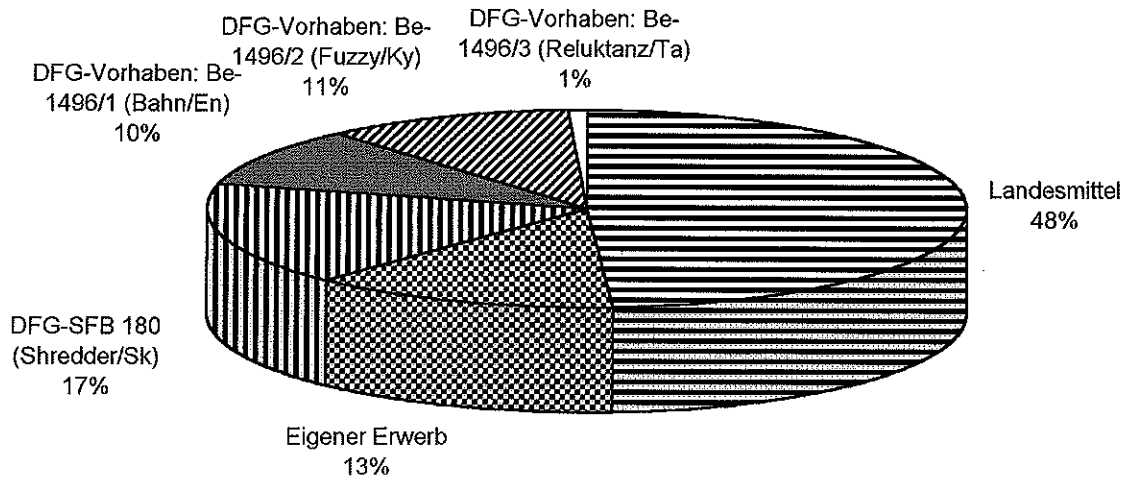
DB3951619



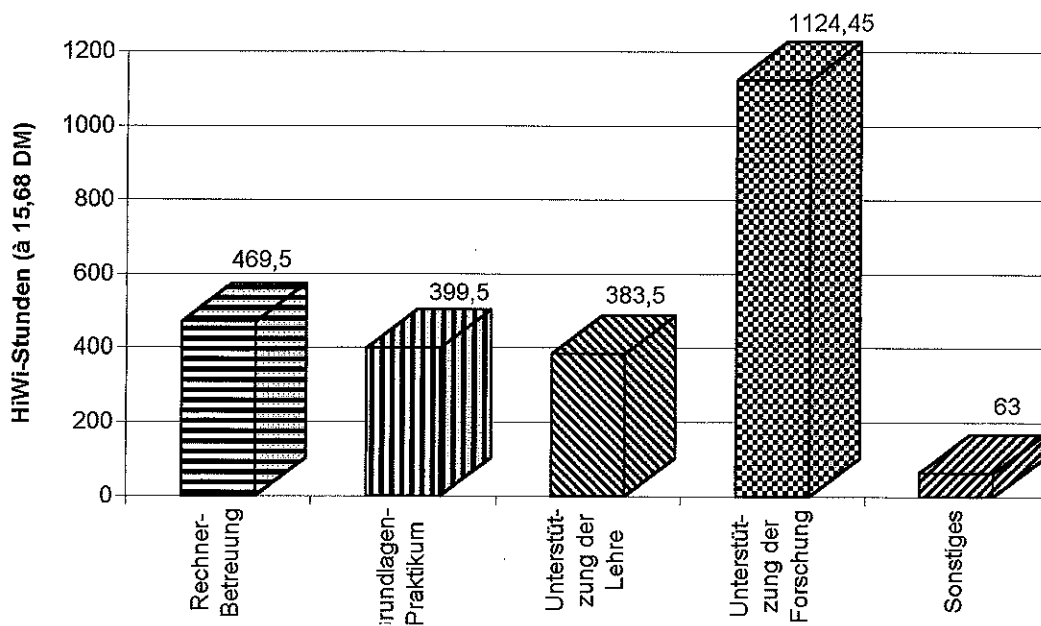
- | | | |
|---|---|----------------------|
| ⊙ | Verfügbare Gebäudefläche
(Leibnizstraße 28) | 1620m ² |
| | – Bürofläche | 846 |
| | (einschl. verliehener Fläche) | 846m ² |
| | – Labor-/Prüffeldfläche | (200m ²) |
| | | 794m ² |
| ⊙ | Mitarbeiter | |
| | – wissenschaftliches Personal | 14 |
| | – techn.-/Verwaltungspersonal | 11 |
| | – Lehrbeauftragte/Gastwissenschaftler | 9 |
| | – wissenschaftliche Hilfskräfte | 29 |
| | – externe Doktoranden | 3 |
| | | <u> </u> |
| | | Σ 66 |
| ⊙ | Prüffeld mit | |
| | – Maschinen-/Antriebslabor | |
| | – Energieelektroniklabor | |
| | – Hochspannungs-/Energieanlagenlabor | |
| | – Meßdatenverarbeitungslabor (HP1000/PC) | |
| | – Prüfstände für Walzwerks- und Bahnantriebe
mit I/U/D-Umrichtern, Umkehrstromrichtern | |
| ⊙ | Mechanik-/Elektrotechnik-/Elektronikwerkstatt | |
| ⊙ | Prozeßrechner-/Simulationstechniklabor | |
| | Umfangreiche Softwarepakete, vgl. Anlage | |
| ⊙ | NETASIM, MatrixX, SABER für Workstationanwen-
dung und PC-Anwendung, vgl. Liste der vor-
handenen Softwarepakete (Anlage) | |

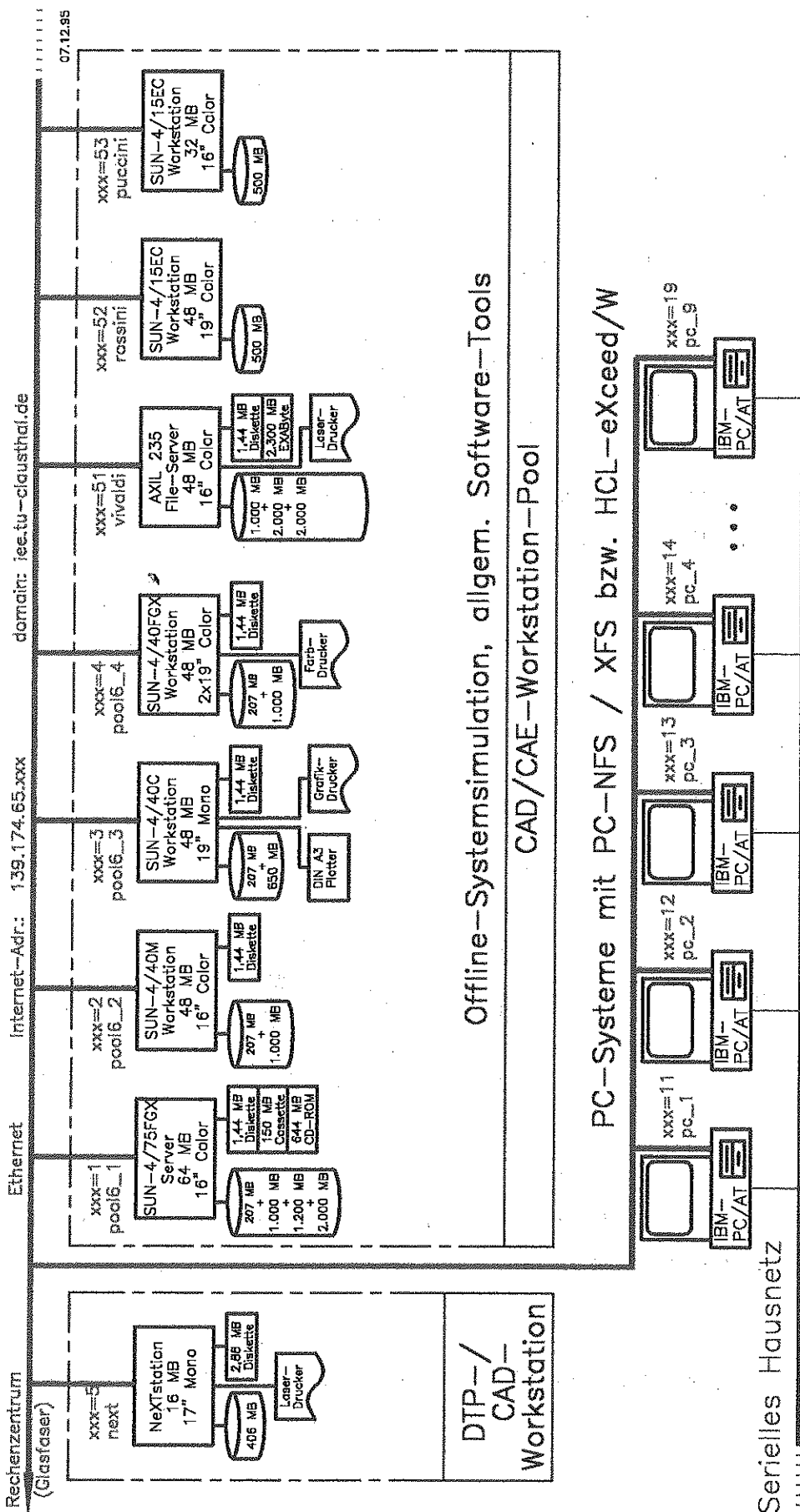
Mittel für studentische Hilfskräfte in 1995

66373,44 DM (4233 Stunden)

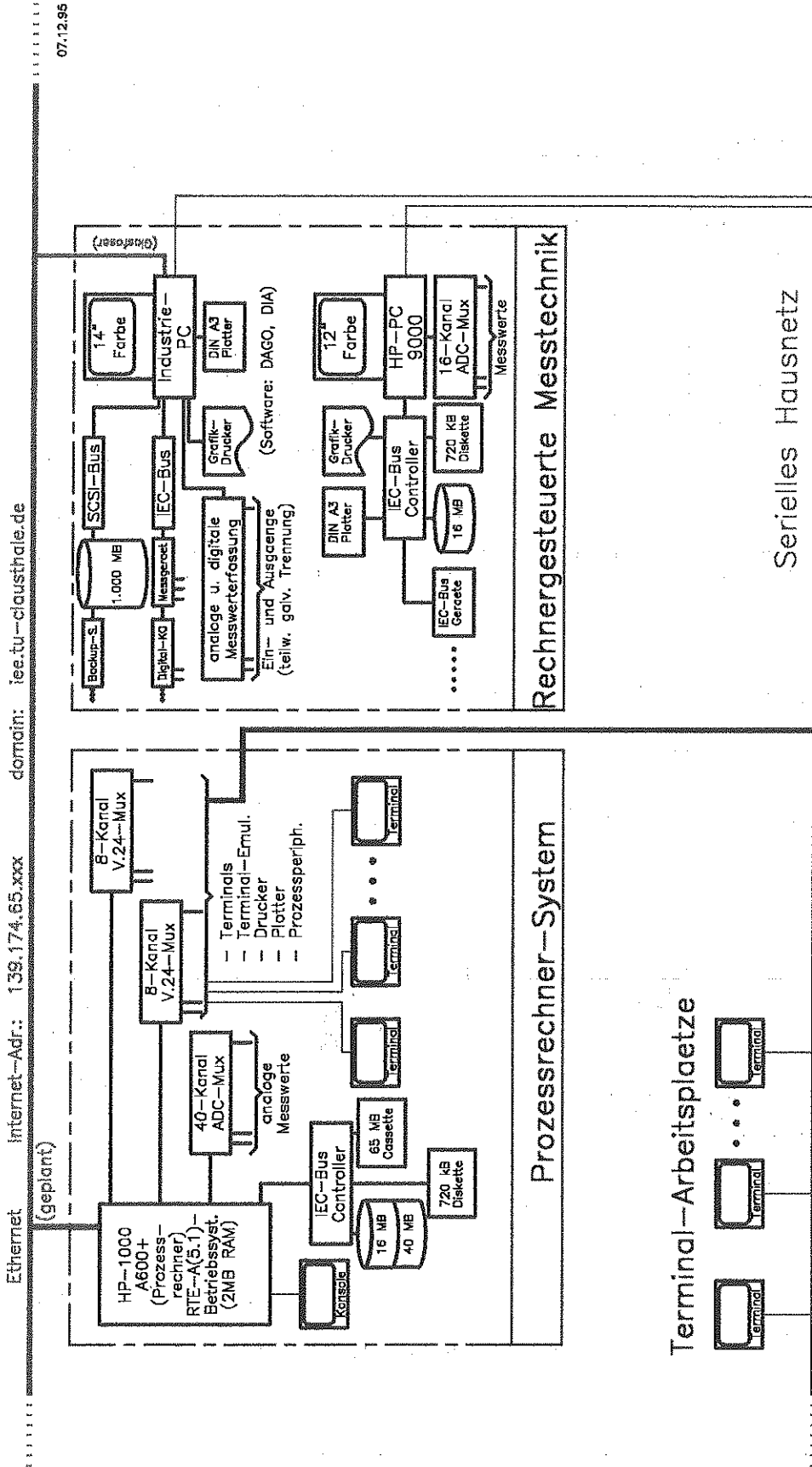


Einsatz studentischer Hilfskräfte 1995

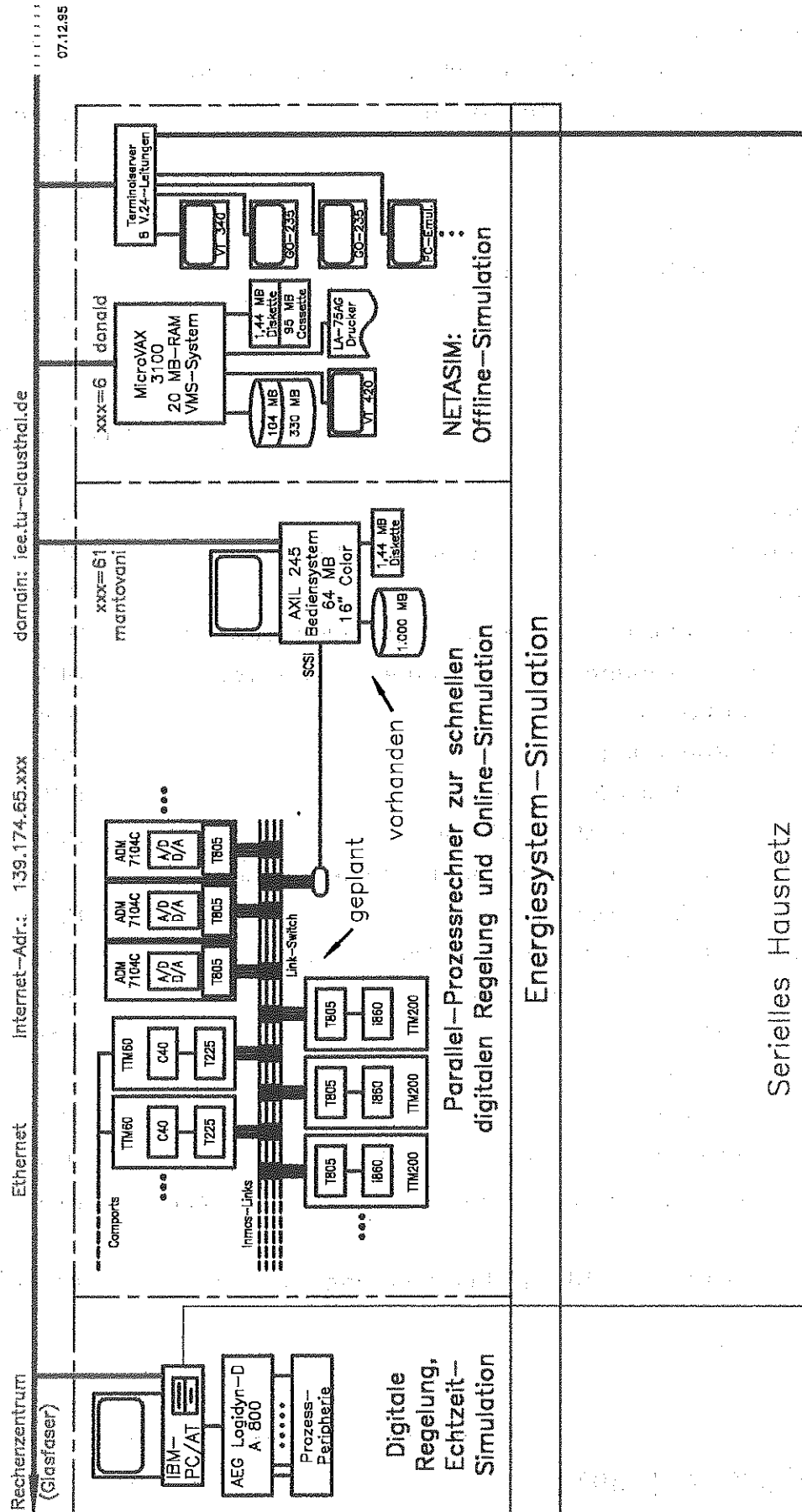




UNIX-Workstations zur Offline-Simulation und Dokumentation



Rechnergesteuerte Messtechnik im Prueffeld



Recherausstattung zur Simulation von Energiesystemen

PC-SOFTWARE-LIZENZLISTE

I Betriebssysteme

	Anzahl der Lizenzen
1. IBM-DOS 3.3 mit Hilfsprogramme für IBM PS2 (Liz.-Nr. 94X9610)	1
2. IBM-DOS 3.3	1
3. MS-DOS 4.01 mit Hilfs-Programme für HP-Vectra	1
4. MS-DOS 5.0 (VAUVA)	1
5. MS-DOS 6.0	1
6. MS-DOS 6.2 (mit Zusatzdiskette)	1

II Benutzer-Oberflächen

	Anzahl der Lizenzen
1. MS-Windows 3.0 (Microsoft)	1
2. MS-Windows 3.1 (VAUVA)	1
3. MS-Windows 3.1/c (Compaq) (Liz.-Nr. 092992)	1
4. MS-Windows 3.11 for Workgroups	1
5. MS-Windows 3.11 for Workgroups	1

III Textverarbeitungssysteme Präsentations-Software

	Anzahl der Lizenzen
1. PC-TEX 2.9 (mit Fonts und Oberfläche LATEX)	1
2. MS-Word 4.0 (Liz.-Nr. 034095D.400)	1
3. MS-Word 4.0	1
4. MS-Word 5.0 (Liz.-Nr. 034-095-767)	2
5. MS-Word 5.5	1
6. WordPerfect 5.1 (Liz.-Nr. WP049032646)	1
7. WordPerfect 5.1 für Windows (Liz.-Nr. ADEWPXXR026375)	1
8. WordPerfect 5.2 für Windows (Liz.-Nr. L3DEWWP52X3D)	1
9. WordPerfect 60a für Windows (Hochschullizenz)	1
10. MS-Office 4.0 besteht aus: WinWord, Exel, PowerPoint; mit Update auf Vers. 4.2	1
11. MS-Projekt 3.0 mit Update auf Vers. 4.0	1

IV Programmiersprachen

	Anzahl der Lizenzen
1. MS-QuickBasic 4.5 (Liz.-Nr. 026196-BG)	1
2. MS-FORTRAN 5.0 (Liz.-Nr. MO56613)	1
3. Turbo Pascal 5.0 mit Turbo Graphix 4.0 (Liz.-Nr. T 90148716; T90102587)	1
4. Turbo Pascal 7.0 (Liz.-Nr. IC11B10080573)	1
5. RM-FORTRAN 2.4 (Liz.-Nr.)	1

VI Grafik und Auswertungs-Programme

	Anzahl der Lizenzen
1. AutoCAD 10.0 (mit Schutzstacker) (Liz.-Nr. 91-902540/A01)	1
2. AutoCAD LT (Liz.-Nr. 021-70001961)	1
3. DAGO-PC 5.0 (Schutzstecker) mit Update auf Vers. 5.03 (Liz.-Nr. 94-9631)	1
4. DIA-PC 4.18 (Schutzstecker) mit Update auf Vers. 4.23 (Liz.-Nr. 92-H1336)	1

V Mathematik- und Simulations-Programme

	Anzahl der Lizenzen
1. Derive 2.03	1
2. Dora-PC 2.1	1
3. Dora-PC 5.1	1
4. SIREG 2.30 (Liz.-Nr. 040190.084)	1

VII Stromrichter-Software

	Anzahl der Lizenzen
1. REFUwin 402 2.44	1
2. LogidynD 4.26b (Liz.-Nr. 590.2246.101.SPD.01.11)	1
3. LogiCAD2 D 2.11 (Liz.-Nr. 590.2246.106.SPD.01.04)	1
4. Datman D 2.02 (Liz.-Nr. 590.2246.1110.SPD.01.01)	1
5. Minisemi D 3.1 (Liz.-Nr. ROM-CRC:32C3)	1
6. IMRA-96 (Miniwerter D) (Liz.-Nr. 90N643792-264)	1