

Festschrift

anlässlich des 100. Geburtstages von
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Franz-Heinrich Lange

Herausgegeben von der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
der Universität Rostock

Bildquellennachweis:

Die Urheberrechte der Abbildungen liegen beim jeweiligen Autor.

Abbildung 3 und 4: Druck mit freundlicher Genehmigung der TU Dresden, Universitätsarchiv

Abbildung 5: Dr.-Ing. Rolf Dietzel, Dresden

Impressum

Herausgeber: Universität Rostock
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Albert-Einstein-Straße 2, 18059 Rostock

Redaktion: Prof. Dr.-Ing. Erika Müller
Dipl.-Ing. Petra Westphal

Druck: Universitätsdruckerei Rostock
©Universität Rostock 2009



Franz-Heinrich Lange

27. November 1909 - 29. Juli 1999

Grußwort des Rektors der Universität Rostock

Heute vor genau 100 Jahren wurde Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Franz-Heinrich Lange in Kiel geboren. Sein wissenschaftlicher Werdegang ist eng mit der Rostocker Universität verbunden, an der er 20 Jahre als Hochschullehrer für „Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik“ erfolgreich lehrte und forschte. Im Jahre 1951 wurde die „klassische“ Rostocker Universität - als erste Universität in Deutschland - in ihrem Ausbildungs- und Forschungsprofil durch die Neugründung einer Technischen Fakultät erweitert, zunächst nur mit den Instituten für E-Anlagen auf Schiffen (1953), Elektrische Antriebe auf Schiffen (1955), Elektrische Maschinen und Apparate (1955) und Elektrische Anlagen auf Schiffen (1955). Der Grundstein für die heutige Informationstechnik und für eine nachrichtentechnische Ausbildung an der Rostocker Universität wurde mit der Gründung des Instituts für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik durch Prof. Franz-Heinrich Lange im Jahre 1955 gelegt, das er bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1974 leitete. Das heutige Institut für Nachrichtentechnik an unserer Fakultät für Informatik und Elektrotechnik ist aus ihm hervorgegangen.

Von seinem steten Leitmotiv, der Einheit von Wissenschaft und Technik, von Theorie und Praxis, ausgehend, gelang Franz-Heinrich Lange mit Unterstützung seiner Mitarbeiter erfolgreich der Aufbau einer anwendungsorientierten Forschung. Er war aber nicht nur Wissenschaftler und Ingenieur, sondern auch anerkannter, beliebter und geehrter Hochschullehrer, der sein umfangreiches Fachgebiet in der Lehre vermitteln und stets junge Mitarbeiter als Vorbild zu Ideen und Leistungen anregen konnte. Durch mehrere Bücher, wie „Korrelationselektronik“, „Signale und Systeme 1-3“, „Methoden der Messstochastik“, „Theoretische Grundlagen der Technischen Kybernetik“, mehr als 100 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Vorträge auf internationalen und nationalen Konferenzen sowie Vortragsreisen und zahlreiche Gastvorlesungen im In- und Ausland hat er erheblich zur Erhöhung des Ansehens der Rostocker Universität weit über die Landesgrenzen hinaus beigetragen. Genannt sei auch sein erfolgreiches Engagement als Dekan in drei Amtsperioden für die Belange der Technischen Fakultät an unserer Universität.

1984 wurde ihm die Ehrendoktorwürde der Rostocker Universität verliehen. 1970 erhielt er die Berufung als Korrespondierendes Mitglied in der Akademie der Wissenschaften der DDR und war von 1972-78 Leiter der Arbeitsgruppe „Mathematische Kybernetik und Informationstechnik“ der AdW. Er war leitendes Mitglied in der WGMA und der IMEKO.

Auch nach der Emeritierung blieb Franz-Heinrich Lange wissenschaftlich aktiv, blieb Berater und Betreuer, schrieb weitere Fachbücher und war an aktuellen Entwicklungen, auch nach der Wende, noch sehr stark interessiert. Er starb 1999 kurz vor Vollendung seines 90. Lebensjahres.

Sein Erbe wird von seinen ehemaligen Schülern, von denen einige auch als Professoren an unserer Universität tätig waren oder sind, an nachfolgende Generationen weiter gegeben.

Über das bedeutende Lebenswerk und den Menschen Franz-Heinrich Lange werden Sie heute aus beruflichem Munde seiner Schüler und Kollegen noch mehr erfahren.

Ich freue mich sehr, Sie alle herzlich an unserer Universität zu dem Ehrenkolloquium *100 Jahre Franz-Heinrich Lange* begrüßen zu können, an den wir uns in Dankbarkeit und Anerkennung seiner Leistungen, insbesondere für unsere Universität, erinnern wollen.

Im Namen der Rostocker Universität grüße ich Sie ganz herzlich und wünsche Ihnen einen erfolgreichen Verlauf des heutigen Kolloquiums sowie angenehme Gespräche.

Ihr
Prof. Dr. Wolfgang Scharek
Rektor

Inhaltsverzeichnis

1	Franz-Heinrich Lange - ein Leben für die Wissenschaft	7
2	Curriculum vitae Franz-Heinrich Lange	19
3	Erinnerungen und Reflexionen	22
4	Erinnerungen an Franz-Heinrich Lange	30
5	Wissenschaftliche Beiträge der Doktoranden und Habilitanden	56
6	53 Jahre Nachrichtentechnik an der Universität Rostock	70
7	Bibliographie	74
8	Beiträge zu wissenschaftlichen Arbeiten	83

1 Franz-Heinrich Lange - ein Leben für die Wissenschaft

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Albrecht
Rostock

Am 27. November 2009 jährt sich zum 100. Mal der Geburtstag von Franz-Heinrich Lange, einem international anerkannten Wissenschaftler und Hochschullehrer, der 1956 an der Universität Rostock das Institut für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik gründete und zu einer anwendungsorientierten Forschungsstätte insbesondere auf seinem Spezialgebiet - der Messstochastik - ausbaute.

Der Aufbau der Instituts

1950 wurde an der Universität Rostock die „Technische Fakultät für Schiffbau“ gegründet, die in den Folgejahren durch die Fachrichtungen Schiffsmaschinenbau und Schiffselektrotechnik ergänzt wurde. Zunächst entwickelten sich die Fachgebiete, die man unter dem Begriff Starkstromtechnik zusammenfasste. Es lag jedoch auf der Hand, dass die Gebiete Schiffsführung und Navigation, Funk- und Ortungstechnik sowie Messtechnik mit ihren theoretischen Grundlagen - also die Schwachstromtechnik - unbedingt dazugehören müssen. Um dieses Gebiet in Lehre und Forschung zu entwickeln und in das Studium einzuführen - vorerst in Anlehnung an die speziellen Probleme der Schiffselektronik - wurde zum 1. September 1956 Franz-Heinrich Lange mit der Wahrnehmung einer Professur mit Lehrauftrag für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik beauftragt und Direktor des neu gegründeten Instituts für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik.

Dieser Tag bedeutete auch in meinem Leben eine wichtige Weichenstellung, dessen weitere Schilderung natürlich aus persönlicher Sicht und Kenntnis geprägt ist. Das erste Treffen von mir und Wolfgang Müller (†) mit Dr. F.-H. Lange kam schon im Mai 1955 zustande, nachdem wir uns an der Fachrichtung Schiffselektrotechnik der Schiffbautechnischen Fakultät der Universität Rostock vorgestellt hatten, wie aus nachfolgendem Schreiben an den damaligen Fachbereichsleiter Prof. Gröbe ersichtlich wird:

Dresden, den 24.4.1955

Sehr geehrter Herr Prof. Gröbe!

Wir würden es sehr begrüßen, wenn Sie uns für die offenstehenden Assistentenstellen auf dem Gebiet der Schwachstromtechnik vorsehen könnten, da wir uns sehr für Schifffahrt und Schiffbau interessieren und nebenbei Seesegler sind.

Außerordentlich bedauern wir, daß wir Rostock wegen dringender Arbeiten so schnell wieder verlassen mußten, da wir gern die Bekanntschaft des Herrn gemacht hätten, der die Schwachstromtechnik vertreten wird. Vielleicht könnten Sie uns diese Unterredung noch vermitteln. Es wäre uns sehr lieb, wenn die Unterhaltung in den nächsten zwei Wochen stattfinden könnte, da wir später wieder mehr gebunden sind. Die Zusammenkunft könnte auch am Arbeitsort des betreffenden Herrn stattfinden.

Damals, vor Beginn der eigenen Diplomarbeit an der TH Dresden, konnte man noch den späteren Berufseinsatz zu steuern versuchen; in späteren Jahren wurden die Absolventen der Hochschulen verbindlich „vermittelt“. Das Treffen mit Dr. Lange im Funkwerk Leipzig-Plagwitz führte sofort zum Wunsch, nach dem Diplom bei ihm als Assistent zu arbeiten und zu lernen. Der Kontakt war nach meiner Erinnerung gleich hergestellt, die „Chemie“ stimmte. Die Arbeit an moderner Elektronik - auf die wir in Plagwitz mit der Radartechnik einen Blick werfen konnten - und die Mitwirkung in der Lehre - schon geübt als Hilfsassistent in Dresden - waren eine hervorragende Aussicht auf die kommenden Jahre! Darüber hinaus gab es bei der Beurteilung der „allgemeinen Lage“ und bei geringem Interesse an der gültigen Ideologie offenbar keine Differenzen.

Viele der maßgebenden Wissenschaftler seiner Zeit waren wie FHL - wenn ohne Mangel an Hochachtung verkürzt so geschrieben werden darf - mehrere Jahre als Spezialisten in der damaligen Sowjetunion „verpflichtet“ gewesen und hatten, in diesem Fall auch begründet, mit dem raschen Aufbau der Fakultät, gewisse Freiheiten bei Personalforderungen und Mitteleinsatz. So konnte er - trotz erster Ablehnung des Bewerbers wegen „ungenügender gesellschaftlicher Arbeit“ - meine Einstellung durchsetzen; Wolfgang Müller und ich wurden seine ersten Mitarbeiter. Auch in den weiteren Jahren gelang es ihm, Dinge durchzusetzen, die nicht auf der übergeordneten Linie lagen, was im Laufe der Zeit aber immer schwieriger wurde.

1958 wurde Franz-Heinrich Lange zum Professor berufen. Eine Tatsache, die sich zunächst einfach anhört;

das Institut aber musste gestaltet und arbeitsfähig gemacht werden. Behelfsmäßig untergebracht war die Neugründung gemeinsam mit den anderen elektrotechnischen Instituten zu Beginn in einem Klinikneubau der medizinischen Fakultät. Voraussetzungen für eine qualifizierte Lehre mussten geschaffen werden: Vorlesungsinhalte, Übungs- und Seminarthemen ausgearbeitet und vor allem Geräte und Anleitungen für Labor-Versuche beschafft werden. Eine große Hilfe war die sich rasch entwickelnde Zusammenarbeit mit dem VEB Fernmelde-Anlagenbau Rostock - einem ehemaligen Siemens-Ableger - vor allem mit der Überlassung überzähliger und ausgemusterter Geräte. Wir konnten alles gebrauchen! Das erste Labor entstand in Waschräumen (!) der Klinik. Aber bereits Studenten, die 1957 in Elektrotechnik diplomierten, bekamen Vorlesungen und Übungen in Schwachstromtechnik geboten und lernten so wundersame Begriffe wie Steilheit, Durchgriff, pn-Übergang oder Selektivität kennen. In den Jahren 1957 und 1958 begann der Neubau für die Technische Fakultät in der Südstadt. Die Planung und Verteilung der Räumlichkeiten war bereits im Vorfeld mehr oder weniger festgelegt, einen

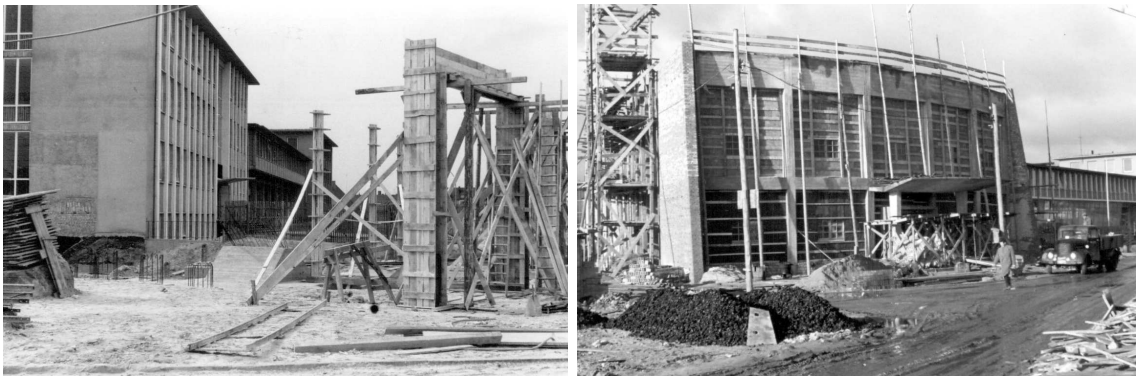


Abbildung 1: Der Große Hörsaal nimmt Gestalt an

gewissen Einfluss konnte das jüngste Institut jedoch noch nehmen. In dieser Beziehung waren der Chef und inzwischen eingestellte Mitarbeiter durchaus aktiv. Einen Eindruck aus dieser Zeit gibt die Ballade (in Hexametern!) von Prof. W. Krebs:

Ballade vom unerschrockenen Franz-Heinrich Lange bei der Einführung der Schwachstromtechnik an der Universität Rostock 1956 - 1959

Blitze und Wellen

*Singe mir Göttin, den Zorn des allgemein-elektrischen Hucksdorf,
den verderblichen, welchen der fernhinmeldende Lange
tief und furchtbar erregt, als er in freilem Verlangen
seine Hände gereckt nach den Hallen in dessen Palaste.*

*Ihn hatte jener selber erdacht und prächtig errichtet
hinter der Tweel, wo einst nur Siedler und fleißige Frauen
Obst und Gemüse erzeugt und Blumen zur Zierde des Marktes.
Eine gewaltige Halle, durchzogen von Kabeln und Rohren,
türmte er dort, aus Glas und Beton, ein elektrischer Tempel.*

*Solchen hatte er fromm nun geweiht der Kraft, der geheimen,
die den Alten voreinst nur bekannt von dem schimmernden Bernstein.
Früher zog dieser, gerieben, allein nur zum nutzlosen Spiele
Kugeln an sich, geformt aus dem Mark des grünen Holunders,
welcher zur Höhe des Sommers umblüht mit prangenden Dolden
stille Klausen zumeist, die Zuflucht des eifrigen Landmanns.
Heute jedoch vollbringt diese Kraft, erforscht und gebändigt,
Wunder in diesem Tempel, zum Staunen der jungen Semester.*

*Viele Maschinen stehen darin, teils still, teils geschäftig
sich umwälzend und Zeiger auf deutlichen Skalen bewegend.
Auch Werkstätten birgt der Palast, bereit und gerüstet,
jedes künstliche Werk, das der Herrscher begehrt, zu vollbringen.*

*Dort nun thronet der Herrscher im Kreise junger Gehilfen,
allzeit bereit, aus den Händen den zuckenden Blitz zu entsenden,
welcher von alters her die Waffe zürnender Götter.
(Früher musste Hephaistos im rauchenden Berge ihn schmieden;
heute kann man ihn leicht dem Transformator entlocken!)
Jedem droht er, der kühn und ohne des Herrschers zu achten,
dort zu nahen sich wagt, des Tempels Ordnung zu stören.*

*Eines Tages erschien nun daselbst der emsige Lange,
weithin berühmt als Herr und Meister der wimmelnden Wellen,
stets auf der Suche nach Raum, um Forschung und Lehre zu weiten,
weil selbst die kürzeste Welle, an Länge kaum noch erkennbar,
zur Erforschung doch Platz von erheblichem Ausmaß erfordert.*

*Jene stillen Säle erweckten sein heißes Verlangen,
aber der zuckende Blitz vertrieb ihn immer von Neuem.
Klagend wich er zurück und suchte den Rat der Gefährten,
welche die Nachbargebiete mit mächtiger Hand beherrschen.*

*Unter ihnen der Herr der alles durchflutenden Flüsse
- eigentlich sollte dafür ihm der Dreizack als Zeichen gebühren -
Stange, welchem ein Gott die eilende Rede verliehen.
Weiterhin Gröbe, der täglich in seinem glänzenden Wagen
das Gewölbe der Brücke der Hundert Männer erklettert,
Helios gleich, der auch in seinem schimmernden Wagen
täglich steigend und fallend das Himmelsgewölbe durcheilet.*

*Dann der bedächtige Krebs, dem das Alter gelichtet die Locke,
dessen Zunge jedoch noch nicht an Schärfe verloren.
Vehrenkamp schließlich, der Fürst der grundelektrischen Normen,
richtungsleitend und Stöße Papiers geduldig ertragend.*

*Diese erbarmte die Klage des fernhinmeldenden Lange,
und sie versuchten, den Zorn des grimmen Kollegen zu stillen.
Wie einst Noah, nachdem seine Arche die Ortung verloren,
eine Luke geöffnet und eine Taube entsandte,
- aber sie kehrte zurück und konnte nichts Günstiges melden -
also sandten sie Gröbe; der ging mit gerunzelter Braue,
aber er ging immerhin, zu trotzen dem zuckenden Blitze.
Doch auch er kam zurück und trug kein Ölblatt im Munde.*

*So bleibt weiter geschlossen der Tempel, doch wollen wir hoffen,
daß einst der Zahn der Zeit, dies Werkzeug unendlicher Standzeit,
glätten mag, was gerauht von den erodierenden Blitzen.
Dann wird vielleicht ein Fries, vom Meißel des Künstlers gebildet
in der Halle des Tempels der staunenden Nachwelt verkünden,
wie voreinst hier getobt der Kampf zwischen Blitzen und Wellen!*

Prof. W. Krebs 1960

Schnell entwickelte sich ein reges wissenschaftliches Leben am Institut. Die Zahl der Assistenten stieg auf fünf; wissenschaftliche Mitarbeiter für eine Auftragsforschung - wobei die Verbindung zur Schiffselek-

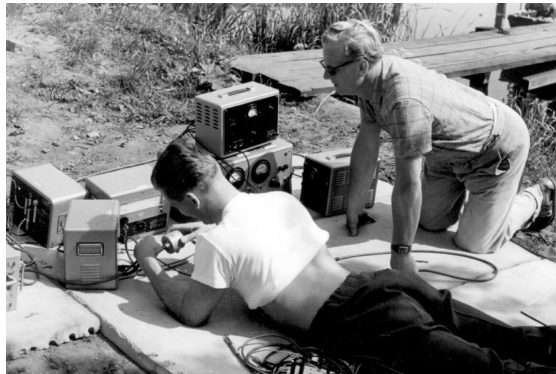


Abbildung 2: Messungen an der Warnow mit F. Bening und Werkstatt-Kollegen

tronik zunächst im Vordergrund stand - konnten eingestellt werden. Mit der Erweiterung der Aufgaben in Lehre und Forschung wuchs die Anzahl der Mitarbeiter später zeitweise auf 17. Der Profilierung entsprechend wurde 1967 der Name des Instituts in „Institut für Hochfrequenztechnik und Messelektronik“ geändert.

Wenn auch innerhalb der Technischen Fakultät in Rostock der Slogan galt: Schiffbau ist Kunst, Maschinenbau ist Handwerk, Elektrotechnik ist Glücksache, so spielte doch die wissenschaftliche Fundierung im Studium eine gebührende Rolle. Die Zahl der Veröffentlichungen in der Fachpresse nahm rasch zu und die Gliederung des Studiums der Elektrotechnik wurde dem allgemeinen Stand an den Technischen Hochschulen angeglichen. Ab Anfang der 60er Jahre konnte nach dem Vordiplom auch Nachrichtentechnik/Messelektronik studiert werden, u. a. mit der Spezialisierung Schiffselektronik. Schwerpunkte der Lehre waren:

- Hochfrequenztechnik
- Signal- und Systemtheorie
- Informationselektronik
- Entscheidungstheorie
- Messtechnik, Mess- und Sensorsysteme sowie Messstochastik
- optimale Empfänger, Stochastik
- analoge und digitale Schaltungstechnik, Bauelemente der Elektronik
- digitale Signalverarbeitung
- Schiffselektronik, Ortung und Navigation
- Grundlagen und Anwendungen der Hydroakustik.

Ziel meiner Assistenzzeit bei FHL war natürlich die eigene Promotion, die durch fachliche Anregung und sanften Termindruck gefördert wurde. Annahme und Betreuung einer Dissertation durch ihn waren auch immer wieder ein Hinweis auf seine Beherrschung theoretisch-physikalischer Grundlagen nicht nur auf dem Gebiet der Korrelationselektronik. So sind aus seiner Runde sowohl systemtheoretisch als auch schaltungstechnisch orientierte Nachwuchs-Wissenschaftler hervorgegangen. Die erste Promotion aus den Reihen der Assistenten der gesamten Fachrichtung Schiffselektronik kam dann im Mai 1963 zum Thema „Anwendung von Negativwiderständen zur Korrektur von Messwandlern“ auch aus seinem Institut. Mit der Erweiterung der Lehraufgaben wurden weitere Hochschullehrer ernannt: 1966 Doz. Dr. Heinrich Albrecht, danach Doz. Dr. Fritz Bening, Doz. Dr. Günter Schommartz, Doz. Dr. Werner Barnick und Doz. Dr. Gert Wendt, die in späteren Jahren alle zu Universitätsprofessoren berufen wurden.

Um die Grundlagen des vom Institut vertretenen Gebiets zusammenzustellen, verfasste F.-H. Lange unter Mitwirkung seiner Mitarbeiter das dreibändige Lehrbuch „Signale und Systeme“, wobei der Wunsch nach einheitlicher Darstellung der gemeinsamen Grundlagen von Nachrichten-, Mess- und Regelungstechnik hervortrat. Das Buch bemüht sich um Verständnis der Zusammenhänge und verwendet mathematische Formulierungen soweit erforderlich. Es galt auch für Franz-Heinrich Lange das Motto nach Prof. G. Fritzsche:

*Primat hat stets der klare Kopf,
danach kommt erst des Rechners Knopf.
Das Werk den Schöpfer vollends ziert,
wenn es auch technisch funktioniert!*

Zitat aus Band 2 „Signale und Systeme“:

Es ist zu vermuten, daß die Hochschulpädagogik in Zukunft diesem Verschmelzungsprozeß der elektronischen Disziplinen noch stärker folgen muß. Dazu wurde in der Einleitung des ersten Bandes bereits folgendes gesagt: „Auf verschiedenen Fachgebieten der Elektrotechnik, z. B. in der Nachrichten-, Meß-, Regelungs- und Rechentechnik, macht man von theoretischen Hilfsmitteln Gebrauch, die eng miteinander verwandt sind, sich aber durch die fachgebundene Terminologie und durch den Anwendungszweck unterscheiden. Eine einheitliche Theorie ist hierfür notwendig; sie erleichtert die pädagogische Arbeit sehr, da alljährlich eine große Anzahl von Studenten von neuem zu den späteren, oft noch unbekanntem beruflichen Spezialgebieten hingeführt werden soll. Sie erleichtert auch die industrielle Arbeit, wenn die praktischen Erfahrungen eines bestimmten Fachgebietes bei Bestehen einer gemeinsamen Theorie schnell und sinnvoll für ein anderes Fachgebiet ausgewertet werden können.“

Es kann aus dem hier vorgelegten Konzept je nach dem Charakter der Fakultäten ein Teilproblem gründlicher behandelt und ein anderes kürzer dargestellt werden. Dies hängt von der jeweiligen Profilierung der Hochschule ab. Doch sollte auf jeden Fall erst der Gesamtüberblick über die gesteuerten Systeme gegeben werden, bevor irgendeine technische Spezialisierung einsetzt.

Unter den Bedingungen in der DDR entstand auch eine beachtenswerte internationale Zusammenarbeit im Rahmen von Lehre, Forschung und Wissenschaftlernaustausch, aus der zahlreiche Buch- und Forschungsprojekte hervorgegangen sind. Hervorzuheben sind hierbei die Partnerschaften mit den Technischen Universitäten Gdansk und Novosibirsk. Aus den Arbeiten in Lehre und Forschung sind 35 Dissertationen und 9 Habilitationen entstanden: aus dem Kreis der Mitarbeiter wurden 19 Hochschulprofessoren berufen. Neben einer großen Zahl von Veröffentlichungen und Patenten sind eine Reihe zum Teil in mehrere Sprachen übersetzter Monographien und Lehrbücher und weitere Werke als Mitautoren und Mitherausgeber entstanden, wie die folgende Auswahl zeigt:

- „Korrelationselektronik“ (1959)
- „Signale und Systeme“, 3 Bände (1965 - 1971)
- „Negative Widerstände in elektronischen Schaltungen“ (1971)
- „Induktive Strömungsmessung“ (1974)
- „Mathematik und Naturwissenschaften“ (1976)
- „Methoden der Meßstochastik“ (1978)
- „Störfestigkeit in der Nachrichten- und Meßtechnik“ (1983)
- „Taschenbuch Akustik“, 2 Bände (1984)
- „Wissenspeicher Ultraschalltechnik“ (1987)
- „Angewandte Akustik“, 5 Bände (1988 - 1990)
- „Technische Ortung“ (1989)
- „Hydroortungssysteme zur vertikalen Bodensondierung“ (1992).

Die Stationen seiner wissenschaftlichen Laufbahn

Die wissenschaftliche Laufbahn Franz-Heinrich Langes beginnt mit dem Studium an der Technischen Hochschule in Dresden 1928 - 1932 bei dem Altmeister der Schwachstromtechnik in Deutschland, Heinrich Barkhausen. In den Jahren 1933 und 1934 war er im Heinrich-Hertz-Institut Berlin tätig und

— 92 —

Name	Geburtsort (bzw. Staatsangehörigkeit)	Studium	Imma- triku- liert	Wohnung ††
1.	2. †	3. **	4.	5.
Kutzbach, Wilhelm	Nürnberg	K. 1	M 27	Liebigstr. 22.
Kutzschbach, Joh.	Aue	M.N.	M 27	Münchner Str. 22, III.
Kwokal, Alfred	Zwickau	M.	M 25	Münchner Str. 25.
Lade, Gotthard	Lausen, Bez. Leipzig	K. 2	O 28	Gerhart-Hauptmann- Str. 19.
Läuter, Johannes	Zittau	H.	M 28	Schnorrstr. 88, Eg.
Lagally, Max	München (Sachs.)	M.N.	O 28	Blasewitz, Thielaustr. 9.
Lahl, Gerhard	Mühlhausen/Thür. (Sachs.)	H.	M 28	Bayreuther Str. 33.
Lahr, Kurt	Gablonz (Tschech.)	M.	M 26	Liebigstr. 12, Eg.
Lambert, Hans-Gerhard	Hamburg	B.	M 28	Dölzschen, Zastrow- str. 3
Lambert, Rudolph	Johanngeorgenstadt	K. 1	O 28	Radebeul, Hindenburgstr. 17.
Lambrecht, Fritz	Hannover	H.	M 26	Wormser Str. 16, II.
Lamm, Walter	Dölzschen b. Dresden	K. 2	O 28	Coschütz, Karlsruher Str. 21.
Lampe, Walter	Dresden	M.	O 22/27	Eichstr. 16, II.
Landenberger, Manfr.	Pfullingen	M.	M 27	Radetzkystr. 3.
Lang, Felix	Wien	Ch.	O 26	Schnorrstr. 29, Eg.
Lang, Friedrich	Flöha	B.	O 27	Nürnberger Str. 23, III.
Lang, Robert	Bistritz (Rum.)	B.	O 21/26	Teplitzer Str. 16, II.
Lange, Erich	Tätzschwitz	K. 2	O 27	Teplitzer Str. 16.
Lange, Erich	Freital-Döhlen	K.	O 28	Freital I, Wilsdruffer Str. 20.
Lange, Franz-Heinr.	Kiel (Prß.)	M.N.	M 28	Kaitzer Str. 75.
Lange, Georg	Marienberg	M.N.	O 25	Elisenstr. 58.
Lange, Herbert	Dresden	M.	M 27	Gabelsbergerstr. 8, II. r.
Lange, Horst	Plauen	M.	M 25	Gutzkowstr. 19, III.
Lange, Johanna	Bremen	Ch.	O 27	Malerstr. 18.
Langer, Gottfried	Chemnitz	M.	M 25	Gutzkowstr. 8, II.
Langguth, Herbert	Dresden	M.	M 28	Zwinglistr. 17.
Lankau, Hans	Leipzig	M.N.	O 27	Krüsestr. 1, III.
Lantzsch, Alfred	Kleinvoigtsberg	M.N.	M 26	Mohnstr. 35, II. I.
Lantzsch, Hellmut	Dresden	H.	O 26	Canalettostr. 9, III.
Laskos, Konstantin	Athen (Griechenld.)	H.	M 27	Reichsstr. 22, IV.
Lassig, Rudolf	Vaihingen (Sachs.)	M.	M 28	Reichenbachstr. 4, Eg.
Laube, Gottfried	Burgstädt	M.	O 25	Tonbergstr. 23, I.
Laude, Walter	Leipzig	M.	M 24	Eschenstr. 3.
Laudeley, Kurt	Treuen i. V.	H.	M 27	Lenbachstr. 11, Eg. I.
Laue, Siegfried	Grimma	B.	M 24	Münchner Str. 85, II.
Laupenmühlen, Otto	Essen	B.	O 26	Würzburger Str. 42.
Laur, Hans	Viru (Estld.)	Ch.	O 28	Chemnitzer Str. 59b, III.
Lawatsch, Georg	Breslau	H.	M 25	Zellescher Weg 28, I.
Lax, Gunnar	Helsingfors (Finnl.)	B.	M 21/26	Sedanplatz 4.
Layritz, Johannes	Dresden	M.	O 26	Borsbergstr. 14, II.
Lazaroff, Josef	Hotnitza (Bulg.)	Ch.	O 27	Carolastr. 10, III.
Ledderboge, Heinz	Zeit	B.	O 28	Feldherrenplatz 7, IV.
Lehbert, Hugo	Reval (Estland)	M.	M 26	Bismarckplatz 11, III.
Lehmann, Eduard	Dresden	K. 2	O 26	Helgolandstr. 11.
Lehmann, Ehrhard	Sebnitz	B.	M 24	Seminarstr. 15, II.
*Lehmann, Franz	Dresden	M.	O 24/ M 27	Comeniusstr. 8.

Abbildung 3: Personalverzeichnis des Wintersemesters 1928/29 der Technischen Hochschule Dresden mit Franz-Heinrich Lange als Student

Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung.

a) Studienplan für technische Physiker.

Es wird empfohlen, das Studium zu Michaelis zu beginnen und vorher ein halbes Jahr praktisch tätig zu sein. Dieses halbe Jahr kann auf die Studienzeit bei der Diplom-Schlußprüfung angerechnet und außerdem kann ein Semester Physikalisches Praktikum II (Laboratoriumstechnik) erlassen werden, wenn ein Semester Physikalisches Praktikum II nach dem praktischen Halbjahr mit Erfolg absolviert ist.

a) Für Studierende, die Michaelis das Studium beginnen.

	Vor- trag	Üb- ungen		Vor- trag	Üb- ungen	
1. Semester (Winter):			Allgemeine Vorlesung je nach Wahl- fach § 18, 5**)			
Höhere Mathematik I mit Übungen	4	1				
Allgemeine Maschinenlehre I mit Technischem Zeichnen I	4	4				
Allgemeine Elektrotechnik I	3	—		3. Semester (Winter):		
Einführung in die Technische Me- chanik *) mit Übungen	3	2		Höhere Mathematik III mit Übungen	3	1
Experimentalphysik I	5	—		Theoretische Physik II oder IV mit Übung	4	1
Darstellende Geometrie I mit Übung.	2	2		Physikalisches Praktikum I	—	6
Photographisches Praktikum I	—	4		Elektrotechnisches Praktikum	—	4
Allgemeine Vorlesung je nach Wahl- fach § 18, 5**)				Technische Mechanik III *)	2	—
				Photographie *)	2	—
				Allgemeine Vorlesung je nach Wahl- fach § 18, 5**)		
2. Semester (Sommer):			4. Semester (Sommer):			
Höhere Mathematik II mit Übungen	4	2	Höhere Mathematik IV mit Übung	3	1	
Allgemeine Maschinenlehre II mit Technischem Zeichnen II	3	4	Theoretische Physik I oder III mit Übung	4	1	
Allgemeine Elektrotechnik II	2	—	Drahtlose Telegraphie	2	—	
Technische Mechanik II *)	2	—	Photographisches Praktikum II	—	4	
Experimentalphysik II mit Physika- lischem Praktikum I	5	6	Physikalisches Praktikum II	—	9	
Experimentalchemie mit chemi- schem Praktikum	6	4	Physikalische Chemie	3	—	
Analytische Geometrie	3	—	Allgemeine Vorlesung je nach Wahl- fach § 18, 5**)			
Einführung in die Rechtswissenschaft	2	—				

b) Für Studierende, die Ostern das Studium beginnen.

	Vor- trag	Üb- ungen		Vor- trag	Üb- ungen
1. Semester (Sommer):			2. Semester (Winter):		
Analytische Geometrie	3	—	Höhere Mathematik I mit Übung	4	1
Algebra und Analysis	2	—	Allgemeine Maschinenlehre I mit Technischem Zeichnen I	4	4
Experimentalchemie und chemisches Praktikum	6	4	Allgemeine Elektrotechnik I	3	—
Physikalisches Praktikum I	—	6	Einführung in die Technische Me- chanik *) mit Übungen	3	2
Photographisches Praktikum I	—	4	Experimentalphysik I mit Physika- lischem Praktikum I	5	6
Allgemeine Vorlesung je nach Wahl- fach § 18, 5**)					

*) Nach § 18, 4 der Prüfungsordnung besteht für die Vorprüfung Wahlfreiheit zwischen den vier Fächern: Allgemeine Maschinenlehre oder Allgemeine Elektrotechnik oder Technische Mechanik und Festigkeitslehre oder Wissenschaftliche Photographie.

**) Nach § 18, 5 der Prüfungsordnung besteht für die Vorprüfung Wahlfreiheit zwischen den fünf Fächern: Volkswirtschaftslehre oder Patent- und Musterrecht oder Allgemeine Staatslehre und Politik oder Philosophie oder Psychologie.

Abbildung 4: Vorlesungsverzeichnis des Wintersemesters 1930/31 der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der Technischen Hochschule Dresden, der Franz-Heinrich Lange als Student angehörte

promovierte dort unter Karl-Willi Wagner über „Elektrische Strömung in der Bremsfeldröhre“, ein damals fortschrittliches Hochfrequenz-Thema. 1935 begann er für die Firma Telefunken zu arbeiten, der er als Entwicklungsingenieur bis 1945 angehörte. Diese Zeit der stürmischen Entwicklung der Hochfrequenz- und Ortungstechnik hat seinen weiteren wissenschaftlichen Lebensweg geprägt. 1946 wurde er für mehr als fünf Jahre mit seiner Familie in die Sowjetunion gebracht. Nach der Rückkehr in die DDR war Franz-Heinrich Lange bis 1956 Entwicklungsleiter im VEB Funkmechanik Leipzig, wo er weiterhin auf dem Gebiet der Radartechnik arbeitete. Dort entstand auch seine Habilitationsschrift, die unter dem Titel „Korrelationselektronik“ als Buch erschien, großes Interesse in der Fachwelt fand und in mehrere Sprachen übersetzt wurde. Darin ging es um das in dieser Zeit zunehmend verstandene und mathematisch formulierbare Problem der Trennung von Nutz- und Störsignalen durch geeignete Nutzsignal-Struktur, optimale Filterung und eben die technische Realisierung der Auto- und Kreuzkorrelation. Dieses spezielle Kapitel der Signal- und Systemtheorie erwies sich als überaus fruchtbar nicht nur in der Nachrichten-



Abbildung 5: Prof. Lange war mit seinen Vorträgen stets ein willkommener Gast im Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronenröhren von Prof. H. Frühauf sowie im Institut für Fernmeldewesen von Prof. K. Freitag der TH bzw. TU Dresden. Fotos oben: 6. Fachkolloquium Informationstechnik 1973, links mit Prof. H. Kindler, rechts mit Prof. K. Freitag. Fotos unten: Fachtagung Kommunikation und Computertechnik KOMCOM 1989, links mit Prof. H. J. Fischer (Akademie der Wissenschaften Berlin) und Prof. G. Fritzsche (HfV Dresden), rechts mit Prof. A. Finger (TU Dresden))

und Ortungstechnik, sondern auch in Akustik, Messtechnik und Regelungstechnik. Bereits nach kurzer Zeit wurde das Thema zu seinem Markenzeichen, das auch auf seine Mitarbeiter, Assistenten und Promovenden „abfärbte“. Auf die Frage „Wo haben Sie promoviert?“ konnte man überall die Antwort hören: „Ach ja, natürlich, Franz-Heinrich Lange - Korrelationselektronik, ein hochinteressantes, vielseitiges Thema, ein ausgezeichnetes Fachbuch!“.

Seine Lebensaufgabe fand F.-H. Lange jedoch ab 1956 an der Universität Rostock zunächst als Lehrbeauftragter, aber bereits 1959 nach seiner Habilitation an der Technischen Hochschule Dresden als Professor mit Lehrstuhl. Für seine Studenten und deren Probleme mit den umfangreichen Stoffgebieten

nahm er sich stets Zeit; bei seinen Mitarbeitern und Assistenten achtete er auf zügigen Fortgang der Arbeit und baldigen Abschluss der Promotion, was zu einer langen Liste der von ihm betreuten und inspirierten Promovenden führte.

Zweimal, 1958/59 und 1960/61 sowie 1967/68 und 1968/69, war Prof. Lange Dekan der Technischen Fakultät der Universität Rostock. Seit der Hochschulreform 1968 bekleidete er dieses hohe Amt wieder an der Fakultät für Mathematik, Physik und Technische Wissenschaften im Wissenschaftlichen Rat. Von seiner wissenschaftlichen Produktivität zeugen etwa 80 Veröffentlichungen und viele Vorträge auf nationalen und internationalen Kongressen. Seine Reisen führten ihn mehrfach nach Moskau, Novosibirsk, Gdansk, Budapest, Peking sowie in die Niederlande, nach Österreich, Schweden, Großbritannien und Hawaii.

Die enge Verbindung zur Industrie riss mit der Tätigkeit an der Universität nie ab. Prof. Lange war allen Fachkollegen als langjähriger Leiter des Zentralen Arbeitskreises „Funksende- und Empfangstechnik“ bekannt, wo er vor allem maßgebend an der Festlegung der Entwicklungsrichtungen auf diesem Gebiet beteiligt war. Er war Mitglied der Sektion Physik der Deutschen Akademie der Wissenschaften und leitete dort die Unterkommission Höchsthochfrequenztechnik. Es würde zu weit führen, alle Gremien aufzuzählen, in denen er tätig war. 1965 erhielt er die Auszeichnung „Verdienter Techniker des Volkes“, die in der DDR mit hohem Ansehen verbunden war. Der eigentliche Grund für diese Auszeichnung war die enge Zusammenarbeit von Hochschule und Industrie. Der konzentrierte Ansatz des Instituts von Prof. Lange auf Probleme der Hydroakustik für die Hochseefischerei (Fischerei-Elektronik) brachte schon nach kurzer Zeit für die Praxis wichtige Ergebnisse. Außerdem wurde an seinem Institut schon von Anfang an das Prinzip der Einbeziehung von Studienarbeiten der Studenten in die Forschungsaufgaben befolgt. Das Institut führte in der Fachrichtung Schiffselektronik mit Erfolg das ingenieurpraktische Semester für die Studienrichtung Schwachstromtechnik ein, in dem alle Studenten experimentelle Aufgaben aus der Mess- und Rechenelektronik bearbeiteten. Zu weiteren Auszeichnungen Franz-Heinrich Langes gehören der „Vaterländische Verdienstorden“, die „Medaille für ausgezeichnete Leistungen“ und der „Aktivist“. Zusammenfassend kann man sagen, dass Jahre harter Arbeit in Industrie und Hochschule zu einer Synthese von Wissenschaft und Praxis führten, für die Prof. Lange als Vorbild gilt. In den Technischen Hochschulen und Universitäten der DDR hatte Franz-Heinrich Lange eine hohe Schätzung als Wissenschaftler und Hochschullehrer und war im Kollegenkreis gefragt als Ratgeber und Wegweiser. Die bedeutenden Verdienste, die er sich um die Informationstechnik im Allgemeinen und um die technische Kybernetik im Besonderen erworben hatte, veranlassten die Fakultät für Technik und Naturwissenschaften der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ 1969 ihm den akademischen Grad eines Doktoringenieurs ehrenhalber zu verleihen. Ohne Zweifel ein Höhepunkt auf seinem wissenschaftlichen Lebensweg. Die Verleihung am 25. November war eine verdiente Anerkennung seiner hervorragenden



Abbildung 6: Gratulanten zum 60. Geburtstag (v.l.n.r.: die Professoren Lange, Stange, Hormann und Albrecht)

Leistungen in Forschung und Lehre unmittelbar vor seinem 60. Geburtstag. In der Laudatio wurde verwiesen auf seine Erfolge in der Lehre und Nachwuchsförderung, die Erweiterung des „Systemdenkens“ für die Lösung wissenschaftlich-technischer Probleme, die organisatorische Tätigkeit in wissenschaftlichen Gremien und nicht zuletzt auf ihn selbst als „die verbindliche und lebenswürdige Persönlichkeit“, die auf die fachliche und menschliche Betreuung seiner Studenten und Mitarbeiter ausstrahlte.

Mit der letzten Hochschulreform der DDR wurden Institute aufgelöst und „Wissenschaftsbereiche“ mit jeweils mehreren Hochschullehrern eingerichtet. In der an der Universität Rostock daraufhin neu gegründeten Sektion Technische Elektronik gingen aus „seiner Schule“ die wissenschaftlichen Bereiche Theorie der Nachrichtentechnik, Schaltungstechnik/Mikrorechenstechnik und Messelektronik hervor. Ein wichtiger Schritt in Richtung nationale und internationale Bekanntheit und Anerkennung war die erste Veranstaltung des Symposiums „Maritime Elektronik“ im April 1974, die FHL angeregt und mit ins Leben gerufen hatte. Er und die Nachfolger aus „seiner Schule“ waren zuständig für die Themen Meerestechnik, Hydroakustik sowie spezielle Elektronikkomponenten und hatten außer aus der DDR auch Referenten aus Novosibirsk, Leningrad und Gdansk; der Arbeitskreis Stell- und Steuerungssysteme aus der ČSSR und Jugoslawien. Die Resonanz dieses ersten Symposiums im Jahr der Emeritierung von FHL führte zu dem Entschluss, dieses Symposium alle drei Jahre auszurichten - eine stabile, bis heute weiter geführte Tradition.

Auch nach seiner Emeritierung blieb Franz-Heinrich Lange aktiv, indem er für die Buchreihe „Wissenschaftliche Grundlagen der Technischen Kybernetik“ verantwortlich zeichnete und selbst noch das Buch „Messstochastik und Störsicherheit“ zum Problem Nutzsignale und Störungen - dem zentralen Thema seiner Lebensarbeit - schrieb.

Wenn auch der berufliche Lebensweg hier im Vordergrund steht, so soll doch erwähnt werden, dass sich das Leben für F.-H. Lange darin nicht erschöpfte. Er führte ein gastliches Haus, und oft verbrachten seine Mitarbeiter und Assistenten angenehme Stunden dort, bewirtet durch seine lebenswerte Gattin Ruth



Abbildung 7: Institutsausflüge, 1960 ins Teufelsmoor (links mit F. Bening und W. Müller), 1961 nach Ahrenshoop (rechts im nachdenklichen Gespräch mit Prof. Fritzsche nach dem Mauerbau)

Lange. Jährlich wurden Institutsausflüge organisiert, die die Gemeinschaft stärkten und die Motivation aller Mitglieder zur besten Erfüllung ihrer Aufgaben förderten. Während seiner Institutsleitung gab es darüber hinaus kaum Bedenken für ein offenes Gespräch über die wirtschaftliche und politische Lage im Lande.

Abschließend möchte ich sagen, Franz-Heinrich Lange hat seinen Mitarbeitern, Promovenden und Studenten fachliche und menschliche Impulse als Basis für den eigenen Lebensweg gegeben und bleibt uns allen - die wir ihn kannten - in dankbarer Erinnerung.



Abbildung 8: Unter den Gratulanten zum 75. Geburtstag Prof. Wunsch und Prof. Fritzsche (oben links). Die Runde seiner Promovenden (unten v.l.n.r.: G. Schommartz, E. Müller, H. Albrecht, G. Wendt, F.-H. Lange, H. Abel, W. Barnick, J. Lübcke, W. Müller, L. Harms, H. Krambeer)

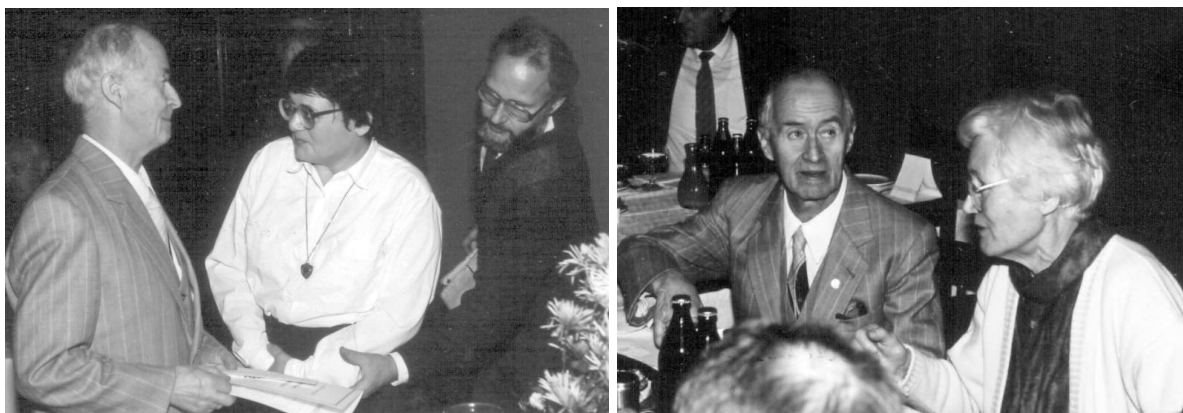


Abbildung 9: Der verehrte Chef nun schon „80“, Geist und Charme ungebrochen

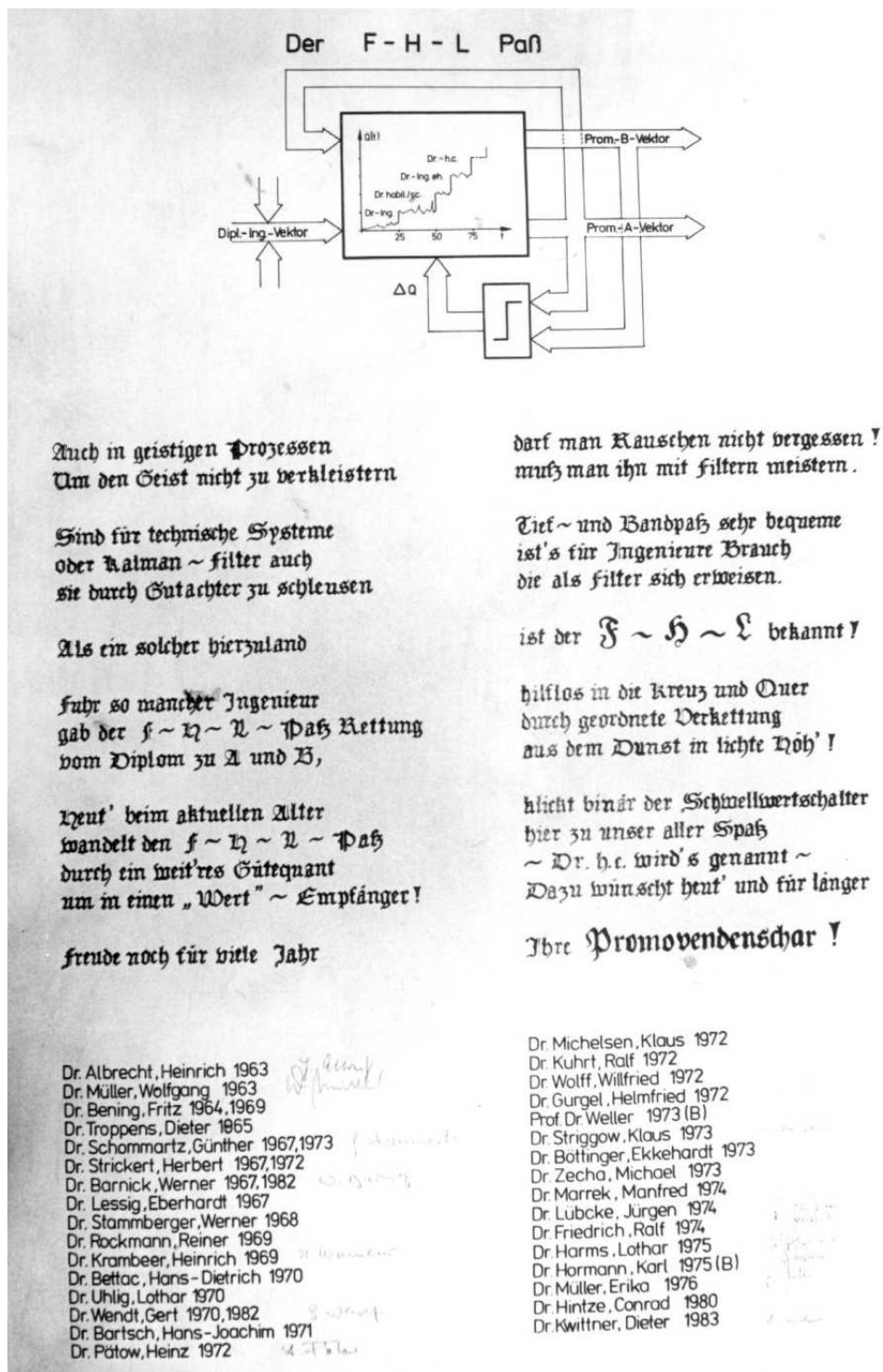


Abbildung 10: Der anlässlich seines 75. Geburtstages von seinen Promovenden entworfene FHL-Pass

2 Curriculum vitae Franz-Heinrich Lange

- 27.11.1909 Geboren in Kiel als 2. von 4 Kindern
Vater: Max Oskar Heinrich Lange, Dipl.-Ing. Elektrotechnik
Großvater: Johann Richard Heinrich Lange, Dr. phil.
- 1911-1928 Kindheit und Jugend in Berlin-Dahlem und Zittau
- 1928 Abitur am Gymnasium zu Zittau
- 1928-1932 Studium für technische Physik an der Sächsischen Technischen Hochschule Dresden u.a. bei Prof. Heinrich Barkhausen und Prof. Harry Dember
- 1932 Abschluss als Dipl.-Ing. als „Technischer Physiker“ mit der Diplomaufgabe „Die Temperaturabhängigkeit der lichtelektrischen Leitfähigkeit und die Lichtabsorption der Zinkblende“ bei Prof. Dember
- bis 1933 Halbassistent am Physikalischen Institut der Technischen Hochschule Dresden
- 1933/1934 Assistent am Heinrich-Hertz-Institut in Berlin-Charlottenburg
- 1935 Durchführung der Promotion A über „Die Elektronenströmung in der Bremsröhre“ bei Prof. K. W. Wagner, Prof. G. Leithäuser und Dr. H. E. Hollmann an der Technischen Hochschule Berlin
- 1934-1936 Tätigkeit als Flugbauführer an der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt Berlin-Adlershof, Nebenstelle in Rechlin, Müritz;
erste Versuche der Reflexion von Dezimeterwellen an Flugzeugen bei Kühnhold und Plendl;
Entwicklungs-, Versuchs- und Erprobungsarbeiten an Ultra-Kurzwellensendern und -empfängern;
Abbruch der Ausbildung als Flugzeugführer wegen nicht ausreichender Körpergröße
- 1936-1945 Entwicklungsingenieur bei der Firma Telefunken, Berlin;
Entwurf und Bau von Nachrichtenempfängern und -sendern mittlerer Leistung für Luftfahrt und Marine;
Entwicklung einer 100-kW-Radaranlage für die Luftverteidigung
- 1945/1946 Senderbetriebsdienst bei AFN (American Forces Network, US Army APO 755);
Beginn des Neuaufbaus der „GEMA“ in Berlin-Köpenick, Beschäftigung als Radioingenieur mit Planung und Inbetriebsetzung der Sendeanlage;
Entwurf und Bau der zugehörigen Mess- und Überwachungsanlagen, einschließlich der vorzunehmenden Feldstärkemessungen
- ab März 1946 Leiter der Rundfunkreparaturabteilung der OHM KG Geräte- und Werkzeugbau in Berlin-Steglitz
- ab Juli 1946 Sowjetische Technische Kommission, Einsatz bei der GEMA in Berlin-Köpenick
- 1946-1952 Einsatz als Spezialist der HF-Technik in der UdSSR (Moskau, Goroldomja), Rekonstruktion und Entwicklung von Messgeräten

- ab August 1952-1956 Abteilungsleiter im Funkwerk Plagwitz, Leipzig, mit Einzelvertrag des Amtes für Technik der Regierung der DDR, Rekonstruktion und Weiterentwicklung von Ortungsanlagen
- 1954-1956 Beginn zeitweiser Lehrtätigkeit an der Universität Rostock, beginnender Aufbau des Instituts für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik in der Fachrichtung Schiffselektrotechnik der Schiffbautechnischen Fakultät der Universität Rostock
- ab September 1956 Beauftragung zur Wahrnehmung einer Professur mit Lehrauftrag für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik an der Schiffbautechnischen Fakultät der Universität Rostock
- März 1958 Ernennung zum Professor mit Lehrauftrag für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik an der Schiffbautechnischen Fakultät der Universität Rostock
- 1959 Habilitation „Korrelationselektronik, Grundlagen und Anwendungen“ an der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Hochschule Dresden
- Juli 1959 Ernennung zum Professor mit Lehrstuhl für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik an der Schiffbautechnischen Fakultät der Universität Rostock
- 1969 Verleihung des akademischen Grades „Doktor der Wissenschaften Dr. sc. techn.“
- 1975 Abberufung und Emeritierung als ordentlicher Professor für Informationstechnik
- 29.07.1999 Todestag

Familie

- 1935 Heirat mit Ruth Schotte
- 1937 Geburt Tochter Inge
- 1939 Geburt Tochter Helga
- 1943 Geburt Sohn Heinz-Jürgen (Heiner)
- 1947 Geburt Sohn Wolfgang
- 1956 Geburt Sohn Gerhart

Auszeichnungen

- 1953 Aktivist
- 1956 Medaille für treue Dienste der VP
- 1961 Vaterländischer Verdienstorden in Bronze
- 1965 Verdienter Techniker des Volkes
- 1968 Ehrennadel der Kammer der Technik
- 1969 Ehrennadel der HSG der Universität Rostock in Silber
- 1969 Verleihung der Ehrendoktorwürde Dr.-Ing. E. h. durch die Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ in Dresden
- 1972 Ehrennadel der Universität Rostock

1974	Universitäts Ehrenpreis 1. Stufe der Universität Rostock
1982	Ehrennadel der HSG der Universität Rostock in Gold
1984	Verleihung der Ehrendoktorwürde Dr. h. c. durch die Universität Rostock

Mitgliedschaft in wissenschaftlichen Gremien und übergeordnete Leitungstätigkeiten

1958/1959	Dekan der Schiffbautechnischen Fakultät der Universität Rostock
1960/1961	Dekan der Technischen Fakultät der Universität Rostock
ab 1960	ständiges Mitglied des Redaktionsausschusses der Fachzeitschrift "Nachrichtentechnik/Elektronik" im Verlag Technik Berlin
1960-1965	Leiter des Arbeitskreises für Funk-Sende-Empfangstechnik
bis 1973	Vorstandsmitglied der DGMA (später Umbenennung in WGMA)
ab 1965	Mitglied der IMEKO
ab 1968	Chairman des Subkomitees „Higher Education“ der IMEKO
1967/68-1968/69	Dekan der Technischen Fakultät der Universität Rostock
1970	Berufung als Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR
ab 1970	Mitglied des Nationalkomitees „URSI“ (Radiophysik)
1972-1978	Leiter der Arbeitsgruppe „Mathematische Kybernetik und Informationstechnik“ der Klasse Mathematik der Akademie der Wissenschaften der DDR (später Klasse Automatisierung, Kybernetik und Rechentechnik)

Promovenden und Habilitanden von Prof. Lange

1963	Prof. Dr. Heinrich Albrecht	1972	Prof. Dr. Ralf Kuhrt
1964	Dr. Wolfgang Müller (†)	1972	Dr. Wilfried Wolff
1964/1969	Prof. Dr. Fritz Bening	1972	Dr. Helmfried Gurgel
1965	Prof. Dr. Dieter Troppens	1973	Prof. Dr. Wolfgang Weller
1967/1974	Prof. Dr. Günter Schommartz	1973	Dr. Klaus Striggow
1967/1972	Prof. Dr. Herbert Strickert	1973	Dr. Ekkehardt Böttinger
1967/1982	Prof. Dr. Werner Barnick	1973	Dr. Michael Zecha
1967	Dr. Eberhardt Lessig	1974	Prof. Dr. Manfred Marrek
1968	Prof. Dr. Werner Stammberger	1974	Prof. Dr. Jürgen Lübcke (†)
1969	Prof. Dr. Reiner Rockmann	1974	Prof. Dr. Ralf Friedrich
1969	Prof. Dr. Heinrich Krambeer	1974	Prof. Dr. Karl Hormann (†)
1970	Dr. Hans-Dietrich Bettac	1975	Dr. Lothar Harms
1970	Prof. Dr. Lothar Uhlig	1976	Prof. Dr. Erika Müller
1970/1982	Prof. Dr. Gert Wendt	1979	Dr. Detlef Ruser
1971	Dr. Hans-Joachim Bartsch	1980	Dr. Conrad Hintze
1972	Prof. Dr. Heinz Pätow	1983	Dr. Dieter Kwittner
1972	Dr. Klaus Michelsen		

3 Erinnerungen und Reflexionen

Ein Beitrag zum Leben von Prof. Dr.-Ing. Franz-Heinrich Lange

von seinem Sohn, Dr.-Ing. Wolfgang Lange

Franz-Heinrich Lange wurde am 27. November 1909 in Kiel geboren. Seine Lebensgeschichte durchzieht fast das gesamte 20. Jahrhundert, beginnend mit dem Kaiserreich, folgend dem 1. Weltkrieg, der Weimarer Republik und der Weltwirtschaftskrise Ende der 20er Jahre, der Nazizeit, dem 2. Weltkrieg, dem „Gastaufenthalt“ als Spezialist in der Sowjetunion 1946 bis 1952, den Jahren der DDR und letztlich dem Erleben des Beitritts der DDR in die BRD bis zu seinem Tod am 29. Juli 1999. Prägend für seinen Lebensweg war sein Vater, der an der Technischen Universität Dresden Elektrotechnik studierte und 1905 sein Diplom erwarb. Die Technische Universität Dresden war zu dieser Zeit eine wichtige Kaderschmiede, um den hohen Bedarf an Ingenieuren einerseits auf Grund des bedeutenden gesellschaftlichen und technischen Wandels andererseits wegen der neu erschlossenen technischen Gebiete zu Anfang des 20. Jahrhunderts auszubilden. Beispielhaft hierfür stehen die Elektrifizierung, die beginnende Entwicklung der Automobile, der Rundfunk-, Fernmelde- und Fernsehtechnik sowie des Flugwesens. Diesem Boom war auch der Vater Franz-Heinrichs erlegen.

Um die Jahrhundertwende arbeiteten in Deutschland zwei Gruppen von Forschern an der Entwicklung der drahtlosen Nachrichtenübermittlung. Eine Gruppe um Adolf Slaby und Georg Graf von Arco entwickelte bei der AEG Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft für die Kaiserliche Marine, die andere unter Karl Ferdinand Braun bei Siemens & Halske für das Heer. Auf Drängen Kaiser Wilhelm II. gründeten am 27. Mai 1903 Siemens & Halske und die AEG zu gleichen Teilen als Gemeinschaftsunternehmen für Funktechnik in Berlin die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., System Telefunken. Mit der Unternehmensgründung von Telefunken legten zu Beginn des Zeitalters der Funk- und Nachrichtentechnik beide Unternehmen ihre Kenntnisse und Aktivitäten zusammen, um für die zivile Schifffahrt, das Militär und die interkontinentale Nachrichtenübermittlung Funk- und Empfangsanlagen zu entwickeln und zu vermarkten. Dies war insofern familiär bedeutsam, dass der Vater Franz-Heinrichs 1908 mit seiner Familie nach Kiel delegiert wurde, um die drahtlose Telegrafie bei der Deutschen Marine einzuführen.

In den Jahren 1980/81 begann mein Vater, seine Lebenserinnerungen aufzuschreiben. Nachfolgend sollen auszugsweise einige dieser Erinnerungen und Reflexionen wiedergegeben werden.

Wie einst der Vater begann er 1928 an der Sächsischen Technischen Hochschule Dresden ein Studium der Technischen Physik.

Es gab damals noch keine so großen Immatrikulationszahlen wie heutzutage. Außerdem waren die Technischen Physiker sowieso in der Minderzahl. Eine erstklassige Vorlesung hatten wir in Mathematik bei Lagally, dessen Spezialgebiet die Vektoranalysis war und Dembers Vorlesung der Experimentalphysik, voll von großartig instruktiven Versuchen. ... Es gab für die Ingenieurwissenschaften feste Lehrpläne und zwar als Hauptvorlesungen, die in relativ wenigen Prüfungen endeten, ein Vorteil unserer Fachrichtung gegenüber Studenten der Elektrotechnik und der Maschinenbau. ... Einen guten Namen hatte in Dresden der alte Toepler, der Pionier der Funkentladung, zugleich Professor der Theoretischen Physik. Er trug einen gewaltigen Rauschebart und war so ausgedörnt, dass er mit der Fingerspitze prüfte, ob eine unter der Decke führende Hochspannungsleitung Spannung führte oder nicht.

Mein Studium der Technischen Physik dauerte bis zum November 1932. In der Oberstufe wählte ich als wichtigstes Nebenfach die Schwachstromtechnik bei Barkhausen. Barkhausen war eine überragende Hochschullehrer-Persönlichkeit. Alle seine Doktoranden kamen später in der Industrie in bedeutende Positionen, besonders seine damals gelegentlichen japanischen Studenten, die dann die Väter der japanischen Schwachstromtechnik wurden. Die Basis war und ist die Physik der Halbleiter, die erst allmählich nach 1940 sich bemerkbar machte und den Transistor schuf. Barkhausen hat 1908 über das Problem der Schwingungserzeugung habilitiert und zwar in einer Betrachtungsweise, die uns heute noch als modern anmutet. Im ersten Weltkrieg arbeitete er an der Entwicklung der Elektronenröhre und schrieb ein vierbändiges Lehrbuch, das unzählige Auflagen erlebte und unzähligen Schülern zugänglich war. ... Er benutzte nur wenig Mathematik, presste aber diese Ansätze wie eine Zitrone auf ihren technisch-physikalischen Gehalt aus. Damit schuf er eine Denkweise, die für diese Disziplin führend wurde. Barkhausen hat alle Studenten durch die Art seines Vortrages fasziniert. Er gab sich nie mit einer Erklärung zufrieden, die nicht hieb- und stichfest war.

Ich selbst habe bei Prof. Dember, Lehrstuhl Physik, diplomiert. Dessen Steckenpferd war der lichtelektrische Effekt von Kristallen. Er gab mir eine Zinkblende zur Untersuchung. Die Schwierigkeit war dabei das Hilfsinstrument, das Quadrant-Elektrometer zu beherrschen, das sich in den feuchten Kellerräumen gar nicht wohl fühlte und Launen wie eine Filmdiva hatte. Wenn ich mich beim Oberassistenten Dr. Teichmann beklagte, zuckte er die Achseln und meinte, sie müsse sich erst an mich gewöhnen. Dies gelang wenigstens soweit, dass ich den lichtelektrischen Effekt der Zinkblende ohne Vorspannung nachwies, was in des Professors Gesamtprogramm passte. Wenn ich mein Diplom mit Auszeichnung abschloss, so hatte dies damals überhaupt keine Bedeutung, denn Deutschland war arm, arm und nochmals arm...

Nachdem Diplom war mein Vater noch bis 1933 als Assistent am Physikalischen Institut tätig, wo er die Absetzung seines jüdischen Prof. Dembers miterlebte.

Die nächste Berufsetappe leitete mein Vater ein, der einen recht berühmten Wissenschaftler Karl Willy Wagner, Leiter des Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin-Charlottenburg, kannte. Durch seine Vermittlung bekam ich eine sehr schlecht bezahlte Aspirantenstelle, aber ich war vom Vater unabhängig. Hier habe ich in aller Eile in 1 $\frac{1}{2}$ Jahren meine Doktorarbeit gemacht. Am Heinrich-Hertz-Institut hatte ich die



Abbildung 11: Franz-Heinrich Lange am Heinrich-Hertz-Institut 1935

Aufgabe, ein Elektronen-Mikroskop zu bauen. Den Bau führte ein ganz versierter Mechanikermeister durch, die Bauunterlagen hatte sich das Institut verschafft. Ich hatte dabei eigentlich wenig zu tun, was ja mit meinem geringen Stipendium in Einklang stand. Daher konnte ich mich voll auf meine Doktorarbeit stürzen. Das Thema lieferte ein gewisser Dr. Hollmann, ein wissenschaftlicher freier Mitarbeiter von Telefunken, der dort für mich auch einige Röhren von Glasbläsern anfertigen ließ. Das Thema nannte sich zunächst „Die virtuelle Kathode in der Bremsfeldröhre“. Dies ist eine Triode mit positiv gespannten Gittern und negativer Anode, die Barkhausen für seine Elektronentanz-Schwingungen einst benutzte. Da ich eine geeignete Veröffentlichung von Möller, Hamburg, einem Freund von Barkhausen, auffand, die den wesentlichen Teil der von mir benötigten Theorie enthielt, und da auch die Messungen keine Schwierigkeiten bereiteten, hatte ich, getrieben von dem Wunsch, in das Berufsleben zu kommen, die Arbeit im Umfang von ca. 60 Seiten nach einem Jahre fertig. Ich verstand von Doktorarbeiten damals nicht viel und habe die Arbeit ohne Hemmungen abgegeben. Mein eigentlicher Doktorvater, Herr Hollmann, hatte sich aber inzwischen mit dem Institut verkracht und war abhanden gekommen. So ging die Arbeit an Prof. K. W. Wagner und Prof. Leithäuser, ein Hochfrequenzmann der Praxis und von mittlerer Güte, mehr ein Manager. Ganz schlicht und ohne Publikum hatte ich bei diesen beiden Hochschullehrern, die von diesem Spezialproblem nichts verstanden, eine mündliche Prüfung. Ich weiß nur, daß ich viel geredet habe. Eine Zwischenfrage, was ein Tyatron ist (ein mit Quecksilberdampf gefüllter Gleichrichter), habe ich noch in Erinnerung. Dies habe ich ihnen dann auch geduldig und pädagogisch einwandfrei erklärt. Da ich bereits das Diplom „Mit Auszeichnung“ gemacht hatte, bekam ich wieder die Note „Mit Auszeichnung“, wofür ich mir aber überhaupt nichts kaufen konnte. ... Das Verfahren war abgeschlossen, aber den Titel konnte ich erst führen, wenn die Pflichtexemplare abgegeben waren: 150 Stück wurden verlangt. Ich habe meinem Gehirn damals noch eine Patentanmeldung abgerungen und an meine spätere Firma Telefunken für 250 Mark verkauft. Diese 250 Mark brauchte ich auf Heller und Pfennig genau, um die 150 Pflichtexemplare vervielfältigen zu lassen. Das Patent betraf die Stromübernahme in der

Bremsfeldröhre vom niederohmigen Gitterkreis in den hochohmigen Anodenkreis als Verstärkungseffekt und hatte für die später aufkommende Halbleitertechnik (der Transistoren) eine gewisse grundsätzliche Bedeutung oder Anwendung.

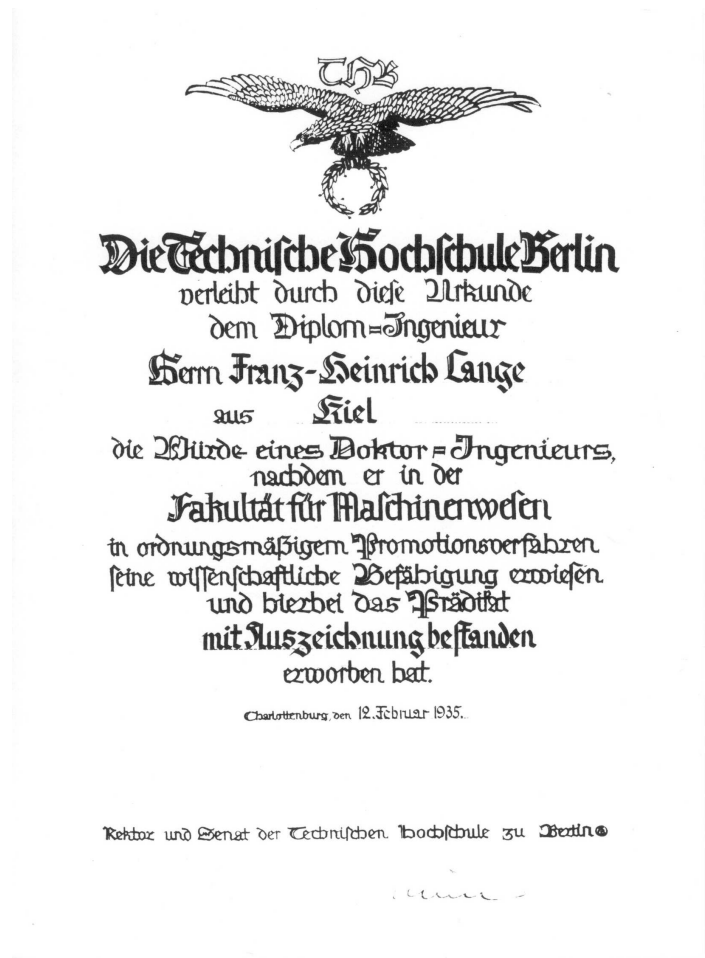


Abbildung 12: Promotionsurkunde vom 12. Februar 1935

Als ich meine Doktorarbeit abgeschlossen hatte, stand ich vor der schwierigen Frage, wo ich eine Stellung finden könnte. Ruth, mit der ich mich im März 1933 ... verlobt hatte, befand sich in England. ... Durch Zufall erfuhr ich im Heinrich-Hertz-Institut, daß die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt in Berlin-Adlershof so genannte Flugbauführer einstellte. Dies war eine gezielte dreijährige Ausbildung für eine spätere Anstellung in der Luftfahrtindustrie, bei mir speziell für die Funktechnik ausgerichtet. Ich bin von 1934 bis 1936 ... dort angestellt gewesen. Der Ausbildungsgang wurde 1936 abgebrochen, weil eine Flugausbildung verlangt wurde, bei der ich als fluguntauglich ausgemustert wurde: zu klein und zu nervös.

1934 verließ mein Vater Berlin, um auf dem Flugplatz Rechlin bei Prof. Plendl zu arbeiten.

Wir beschäftigten uns mit den ersten Anwendungen der technisch neu erschlossenen Dezimeterwellen und führten Reflexionsversuche an Flugzeugen durch. Damals begann die Radarimpulstechnik, die dann die Industrie energisch in Angriff nahm. Außerdem wurde - streng geheim, ein Verfahren zur Standortbestimmung von Flugzeugen auf Fernflügen ausgearbeitet, ähnlich wie die englischen Hyperbelverfahren „Decca“, die heute die Schiffsnavigation beherrschen - weltweit.

Man ist als junger Mann sehr naiv und so habe ich damals nicht bewusst gemerkt, daß der Wiederaufbau der vom Versaillischen Friedensvertrag 1918 verbotenen Luftwaffe nun in vollem Gange war und die Rüstung anging, auf vollen Toren zu laufen. Jeder rüstet, wie bekannt, nur zur Verteidigung, aber wohl

kaum mit einer so konsequenten Angriffsabsicht wie A. H. (Adolf Hitler), auch wenn er sich zunächst nicht in die Karten gucken ließ. Jede Rüstung hat zwei Gefahren, auch wenn keine Angriffsabsichten von vornherein vorliegen: erstens sind es Bündnisverpflichtungen (wie 1914) und zweitens ist es der Anreiz, eine vollendete Rüstung auszunutzen, ehe sie veraltet ist. A. H. hat zu Beginn des 2. Weltkrieges 1939 zwar einen Parteitag des Friedens in Nürnberg vorbereitet (der nie stattfand, weil er inzwischen den Krieg angefangen hatte), aber er hat dann plötzlich erklärt: „Ich kann es vor der Geschichte nicht verantworten, das scharf geschliffene Schwert in der Scheide rosten zu lassen“. Ja, so macht man das!

Soweit aus den Erinnerungen meines Vaters Anfang der 80er Jahre. Für die nachfolgenden Jahre gibt es von ihm keine persönlichen Aufzeichnungen über seinen Lebensweg.

1935 heirateten meine Eltern. Bis zur Hochzeit verbrachte unsere Mutter ein Jahr als Opairmädchen in England. Die erworbenen Sprachkenntnisse sollten für die Familie später sehr nützlich sein. Meine Eltern wohnten ab 1936 in Berlin-Dahlem, 1937 und 1939 wurden hier die beiden Mädchen Inge und Helga geboren, 1943 der erste Sohn Heinz-Jürgen. Mein Vater arbeitete bei Telefunken. Sein Hauptgebiet war die Entwicklung und der Bau einer 100-kW-Sendeanlage für die Luftverteidigung sowie der Entwurf und der Bau von Nachrichtenempfängern und -sendern mittlerer Leistung für die Luftfahrt und Marine. Durch seine Tätigkeit blieb er Zivilist und musste nicht beim Militär dienen. Sein Spezialgebiet war die Funkortung von Flugobjekten. 1941 erlernte er aus eigenem Antrieb die russische Sprache. Dies rettete ihm 1945 insofern das Leben, da zu Kriegsende seine Vorgesetzten in den Westen flohen und russische Soldaten ihn als verbliebenen letzten Leiter der mittleren Leitungsebene fusilieren wollten. Während der letzten Kriegsjahre führte er eine noch heute erhaltene Statistik der Bombenangriffe auf Berlin, um die Familie - statistisch gesehen - besser schützen zu können. Frau und Kinder waren die letzten Kriegsmomente nach Abbendorf an der Elbe evakuiert worden.

Mit Kriegsende musste Telefunken als kriegswichtiges Unternehmen seine Tätigkeit einstellen. Zum gleichen Zeitpunkt begann der Neuaufbau der GEMA in Berlin-Köpenick, dem späteren Funkwerk Köpenick. Mein Vater fand eine Anstellung beim Sendebetriebsdienst des AFN (American Forces Network, US Army APO 755) und wurde als Radioingenieur mit der Planung und der Inbetriebsetzung der Sendeanlage sowie mit dem Entwurf und dem Bau der zugehörigen Mess- und Überwachungsanlagen einschließlich der vorzunehmenden Feldstärkemessungen betraut. Im März 1946 wechselte er seine Anstellung und wurde Leiter der Rundfunkreparaturabteilung der OHM KG Geräte- und Werkzeugbau in Berlin-Steglitz. Bereits im Juli 1946 wurde er von der Sowjetischen Technischen Kommission unworben und erneut bei der GEMA, diesmal unter russischer Führung, eingesetzt. Die Gründe für den Wechsel lagen in den wirtschaftlichen und politischen Instabilitäten und der Sorge der Familie um das Überleben.

Im Oktober 1946, die Mutter war nach Leipzig zur Beerdigung ihres Vaters verreist, kam die russische, nicht widersprechbare Aufforderung, als Spezialist in die damalige Sowjetunion mit der eigenen Familie zu gehen. Das Einpacken der persönlichen Dinge spielte sich in wenigen Stunden ab. Buchstäblich in letzter Minute kehrte die Mutter zurück und los ging es. Die Fahrt nach Moskau im Zug dauerte eine Woche. An der Grenze in Frankfurt/Oder konnte mein Vater Fremde bitten, eine Benachrichtigung an seine Eltern zu schicken.

Die erste Station in Russland war Moskau. Die Familie war gemeinsam mit anderen deutschen Familien in einem Sanatorium untergebracht. Auch wenn die Deutschen unter Aufsicht standen, waren die Lebensverhältnisse vergleichsweise mit Deutschland angemessen gut. Die Spezialisten wurden bezahlt. Wer krank war, bekam 50% des Lohns. Wenn der Ernährer starb, bekamen die Hinterbliebenen nichts und waren auf die Solidarität der anderen angewiesen. Die Deutschen bekamen ausreichend zu essen. Selbst eigene Einkäufe in der Stadt waren möglich. Aus den Briefen der Eltern geht hervor, dass das Verhältnis zu den Russen trotz des Kriegstraumas menschlich war, insbesondere Kinder wurden geliebt. Sehr wichtig für die Deutschen war die Möglichkeit der Korrespondenz mit den Verwandten in der Heimat. In den ersten Jahren waren sowohl Geldüberweisungen als auch Paketsendungen nach Deutschland möglich; die Post dauerte mitunter drei Monate. Die Unterstützung der in Deutschland lebenden Eltern und Angehörigen war überlebenswichtig, da die Nachkriegsjahre für viele Hunger und Entbehrung bedeuteten. Die Russlandjahre erforderten für die Deutschen eine hohe Anpassung und waren durch die Unsicherheit ihrer eigenen Perspektive geprägt. Mein Vater war durch seine russischen Sprachkenntnisse gegenüber den anderen etwas im Vorteil und wurde so Sprecher - und Mittler - der Deutschen. Ein wesentlicher Punkt war für die Deutschen, ein „normales Leben“ zu organisieren, d.h. die Kinder zu unterrichten und eine gewisse Lebenskultur aufzubauen. Im Herbst 1947 wurde der zweite Sohn geboren.

Bem, den 23. 10. 46

Ihre Anfrage Ihres Sohnes u. Angehörigen
schreibe ich Ihnen diese Zeilen.
Selbigen habe ich in Frankfurt/O. gesprochen
und soll noch die herzlichsten Grüße an
Sie bestellen und hoffen auf ein gesundes
Wiederssehen. Alles sah bei Wohl und Frisch
aus und die Verpflegung deckbar die beste.
Jedenfalls war eine gute Stimmung vor-
handen, erwartungsvoll freundliche Gesichter,
nur der Abschied von der Heimat ging
allen formlos vorstatten. Er hofft, von seinem
endgültigen Reiseziel selbst zu schreiben. Herzl. Grüße
Unbekannter

Abbildung 13: Postkarte eines Unbekannten an die Eltern Franz-Heinrich Langes

Im Mai 1948 wurde die Familie nach Goroldomja, einer deutschen Spezialisten-Siedlung im Seeliger See bei Ostaschkow umgesiedelt. Der Auszug seines Briefes vom Mai 1948 beschreibt den Umzug.

Der Umzug Klappete gut und verlustfrei. 3 Tage dauerte
die Fahrt, da der Indering viele Rangieraufenthalte hatte
wir reisten in einem sehr sauberen Güterwagen,
2 Abteile für uns. Die Natur prangte im frühen
Morgengraue. 1 Stunde Überfahrt mit Motorboot.

Abbildung 14: Ausschnitt eines Briefes an die Heimat über den Umzug

Die Zeit auf der Insel bedeutete eine wesentliche intensivere Abschirmung gegenüber der Außenwelt. Meine Eltern konnten zwar russische, schwedische und deutsche Rundfunksender teilweise empfangen, was aber politisch auf der Welt geschah, kam sehr spät und gefiltert an. Mein Vater sprach „vom eigenen Planeten“, auf dem sie lebten. Die psychische Belastung der Erwachsenen war enorm, da keiner wusste, was aus ihnen werden würde.

Die fachlich-berufliche Tätigkeit war durch drei Phasen geprägt. Die Spezialisten bekamen einen russischen Kollegen zur Seite gestellt. In der 1. Phase wurde jeder aufgefordert, sein Wissen niederzuschreiben. In der 2. Phase wurde nachgebaut und getestet. In der 3. Phase wurden Weiterentwicklungen betrieben, in denen die Deutschen zunehmend geringer einbezogen und damit überflüssig wurden. Nur wenige Deutsche wurden zu den Rakentests nach Kasachstan verbracht oder noch länger verpflichtet. Mein Vater gehörte nicht zu ihnen. Insgesamt war diese Zeit beruflich durch eine hohe Geheimhaltung geprägt und verpflichtete die Spezialisten zum Schweigen gegenüber Dritten. Das galt auch später nach der Rückkehr nach Deutschland. Mein Vater hielt sich daran. Auch innerhalb der Familie waren Fachinhalte kein Gesprächsstoff. Trotzdem empfand mein Vater die Russlandjahre als fachlich interessant. Bemerkenswert war für ihn, dass ihm erst dort russische und angloamerikanische Fachliteratur zugänglich wurde. Nach seiner Einschätzung war Deutschland auch in dieser Hinsicht in der Nazi- und Kriegszeit streng isoliert. Die Wohnverhältnisse in Goroldomja beschreibt der Auszug seines Briefes. Sie waren recht beengt. Trotzdem gab es genügend Auslauf. Ein kleiner Gemüsegarten half über Versorgungsengpässe. Für die Kinder waren die Umstände leidlich angenehm. Der See gestattete das Baden im Sommer; im Wald konnte

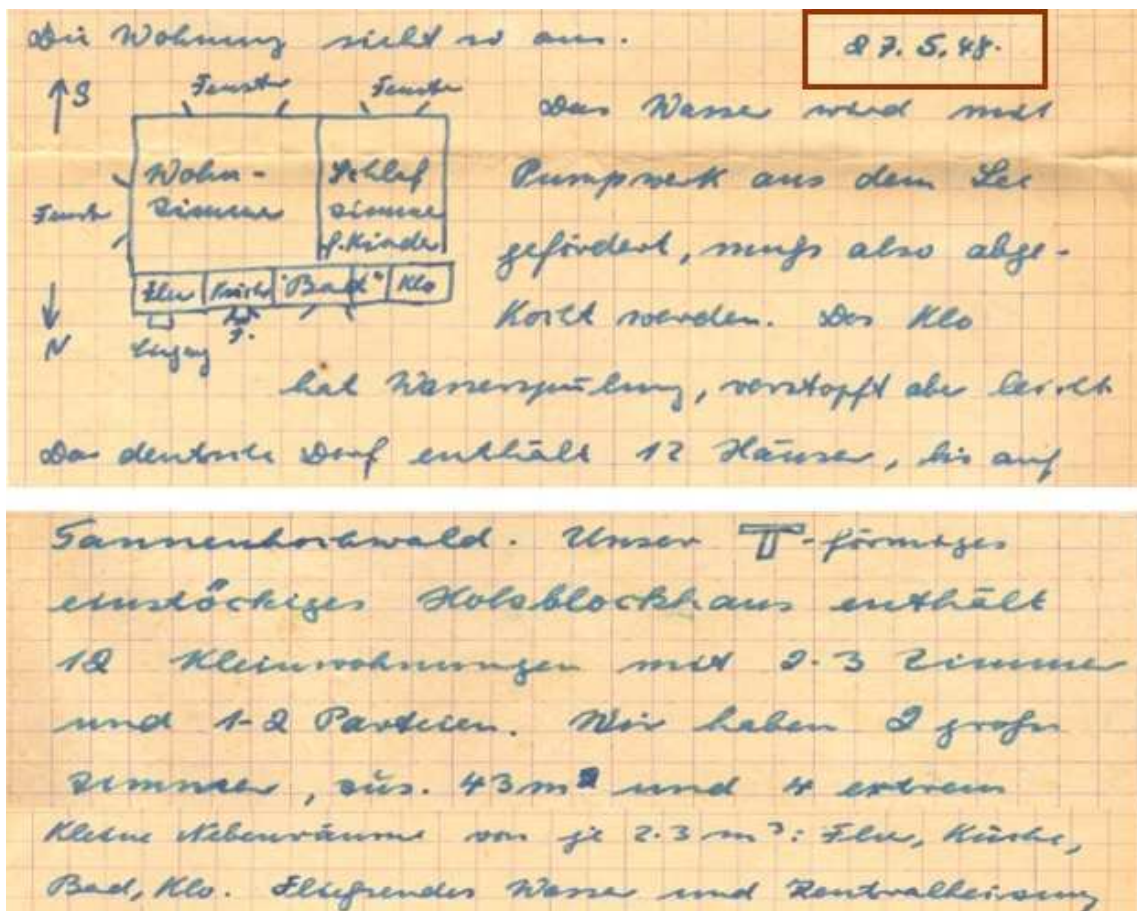


Abbildung 15: Ausschnitt eines Briefes über die Wohnverhältnisse in Goroldomja

man Beeren und Pilze sammeln, im Winter Ski laufen. Besonders wichtig waren die engen familiären Beziehungen zu den anderen Deutschen und die teilweise daraus bis heute bestehenden Freundschaften. Eigenes Theater spielen, musizieren, gemeinsame Schule durch die eigenen Eltern und vieles andere brachten effektive Bindungen und Interessen hervor, die im Vergleich zur heutigen Zeit den kindlichen Alltag mit Frohsinn bestimmten. Die seelische Last der Eltern bekamen die Kinder kaum zu spüren. Die Fotos zeigen das Inselleben aus den Jahren 1948/49.

Wiederum überraschend und nicht langfristig angekündigt konnte die Familie 1952 nach Deutschland zurückkehren. Die erste Station war Leipzig, wo mein Vater eine Tätigkeit als Entwicklungsleiter im Funkwerk Leipzig fand. Bereits 1954 kam das Angebot aus Rostock, einen Lehrstuhl für Fernmeldewesen und Nachrichtentechnik - zunächst kommissarisch - aufzubauen. 1956 wurde er offiziell als Ordinarius berufen. Im gleichen Jahr wurde sein dritter Sohn - das fünfte Kind - geboren. Die beruflichen Stationen seines Lebens als Hochschullehrer ab 1956 bis zur Emeritierung 1975 sollen hier ausgeklammert werden und es wird auf den Beitrag von Prof. Albrecht verwiesen.

Das Gedenken an das Leben von Franz-Heirich Lange wäre unvollständig, würde man nicht seine Liebe zum Sport erwähnen. Schon als Kind betätigte er sich sportlich, ohne höhere Ziele anzustreben. Laufen, Wandern, Kugelstoßen, Speerwerfen, Schwimmen, Klettern und Skifahren waren für ihn ein Mittel zur Leibesertüchtigung im wahrsten Sinne des Wortes bis ins hohe Alter. Noch im Alter von 85 Jahren nahm er am 17. Frühjahrslauf der Hochschulsportgemeinschaft der Universität Rostock teil. Eine andere geistige Kompensation zum beruflichen Stress war seine Lust zum Reimen, die ebenfalls schon im Kindesalter begann und sich bis in das hohe Alter fortsetzte. Familiäre Ereignisse, politisches Tagesgeschehen, Menschliches oder berufliche Anlässe reizten ihn, sich im Stil von Christian Morgenstern humorvoll und weise zu äußern. In einem Sammelband sind über 150 Gedichte erhalten. Zahlreiche Gedichte entstanden auch spontan und sind bei ehemaligen Kollegen verschollen.



Abbildung 16: Familie Lange im Frühjahr 1948 in Mamontowka



Abbildung 17: Inselleben aus den Jahren 1948/49

Selbstkritik von FHL

Ein Mensch, der gerne etwas dichtet,
 dies Tun als Hobby nur verrichtet.
 Zu Goethe ist der Abstand groß.
 Wie machte dieser Gott das bloß?
 So fragt er manchmal ganz verzweifelt,
 die Dichterei ist doch verteifelt,
 Man muss dazu Ideen haben,
 wer's liest, soll sich im Wohlklang laben.
 Das Versmaß soll dabei auch stimmen.
 Dies alles richtig hinzutrimmen,
 ist ihm nur selten gut gelungen.
 Und was von ihm bisher besungen,
 bleib mag'r Lyrik! - einerlei,
 er reimt doch weiter frank und frei!

Mit Leidenschaft war er auch ein Sammler von Cartoons der russischen Satirezeitschrift „Das Krokodil“, die er mit deutschen Übersetzungen versah.

Die Familienmitglieder waren in sein berufliches Leben im Regelfall wenig eingebunden. Trotzdem gehörten private Einladungen von Kollegen, Mitarbeitern und Freunden zum Alltag der Familie. Seine ersten Mitarbeiter wie Prof. Heinrich Albrecht, Dr. Wolfgang Müller (†) oder Prof. Fritz Bening verkehrten früh im Hause Lange. Familiäre Freundschaften, auch zu den Kindern, entstanden ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu Prof. Jakowlew, Prof. Vich, Prof. Gast, Prof. Wunsch, Prof. Frühauf, Prof. Grönemeyer und anderen. Nach seiner Emeritierung war er froh, dem administrativen Alltag im Hochschulleben entgehen zu können. Bis weit in sein 80. Lebensjahrzehnt war er noch wissenschaftlich tätig, verfasste Bücher und Fachaufsätze, trat in Kolloquia und Symposia auf und betreute noch Doktoranden. Insbesondere durch die Mitgliedschaft in der Akademie der Wissenschaften der DDR angeregt, äußerte er sich zu neueren mathematischen Methoden, wie Fraktale und lineare stochastische Prozesse, und war generell an Neuem interessiert. In Briefen gab er ehemaligen Kollegen und Schülern gern fachliche Ratschläge und wissenschaftliche Anregungen. Die Wertschätzung, die er anderen gab, übertrug sich vielfach auch auf ihn. Viele Ehrungen und Auszeichnungen wurden ihm angetragen. Seine Lebenserfahrung, beruflich wie menschlich, prägte sein Verhalten und zeichneten ihn als gütigen, fordernden, aber auch nachsichtigen Menschen aus. In diesem Sinne reimte er zum Jahreswechsel 1958/59 folgenden Vers:

Einsicht

*Die Welt besteht seit ew'gen Zeiten,
doch nur aus lauter Schwierigkeiten.
Wer daran ständig sich erfreut,
den hat das Leben nicht gereut!*

Schaut man rückwirkend auf das Leben Franz-Heinrich Langes, so ist es bemerkenswert, wie vielschichtig sich das Leben dieser Generation vollzog und wie stark es von den gesellschaftlichen Ereignissen und Umbrüchen geprägt war. Manches ist aus heutiger Sicht ohne den Kontext der Geschichte nicht erklärbar und nur schwer nachvollziehbar. Das Leben in den letzten 100 Jahren veränderte sich radikal. Die Grundlagen dieser Änderungen wurden von der Generation Franz-Heinrich Langes geschaffen. Sein persönlicher Lebensweg zeigt aber auch, dass das menschliche Verhalten und der Umgang mit Kollegen, Verwandten und Freunden wie Gegnern ihn prägten. Die nachfolgenden Generationen können das heute mit Respekt zur Kenntnis nehmen und in seinem Sinne als gute Wissenschaftler, Pädagogen und kreative Fachleute ihr eigenes Wissen weitergeben, um zukünftigen Generationen zu dienen und damit sein wissenschaftliches wie pädagogisches Vermächtnis zu erfüllen.

4 Erinnerungen an Franz-Heinrich Lange

Vom E-Log zum ISM-2001

Zum ehrenden Gedenken an Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Franz-Heinrich Lange

Dr. Helmut Schlüter und Prof. Dr. Günther Schommartz, Rostock

Historisches

Um 1962 wünschte der DDR-Schiffbau, in seine neuen Schiffe als Fahrtmesser statt des hergebrachten Staudruck-Logs ein neuartiges Elektro-Log einzusetzen. Beauftragt wurde das Funkwerk Köpenick, ein solches Gerät zu entwickeln. Die ersten Versuche mit einem Prototypen nach dem Prinzip eines elektromagnetischen Durchflussmessers fielen enttäuschend aus: Die Kennlinie war - wie die des Staudruck-Logs - nichtlinear.

Als Mitglied des Gutachtergremiums der damaligen Prüfdienststelle für technische Schiffsausrüstungen erfuhr FHL davon und brachte einmal mehr ein neues Arbeitsthema ins Institut. „Hier, machen Sie mal was!“ waren seine Begleitworte zu einem Stapel von Papieren und Heftern. Literaturstudien zufolge gab



Abbildung 18: FHL - wie wir Franz-Heinrich Lange untereinander nannten - entspannt und zufrieden weit genug entfernt vom Alltag?

es neben elektromagnetischen Durchflussmessern auch derartige Vorbeiflussmesser. Das wohl erste Patent zu einem Elektromagnetic Ship's Log wurde schon 1917 in den USA eingereicht, und dass Mediziner sich schon in den 30er Jahren dieses Messprinzips zur Registrierung der Blutströmungsgeschwindigkeit am uneröffneten Gefäß bedienten, mag heute verwundern, wo man mit Ultraschall-Dopplerverfahren eine unblutige Messmethodik zur Verfügung hat.

Bleiben wir zunächst beim historischen Rückblick, so kann man etwa folgendes Geschehen beobachten: Die 30er und 40er Jahre waren die des Experimentierens, die zu einer ersten theoretischen Arbeit (1941 Thürlemann) anregten. Im nächsten Jahrzehnt kamen industriell entwickelte Geräte für technische Anwendungen (z. B. Chemie, Papier/Zellstoff, Wasser/Abwasser, Lebensmittel mit Rohrnennweiten zwischen 12 mm und über 2 m) auf den Markt. Diese rasche Entwicklung profitierte wesentlich von der Ablösung der voluminösen Röhrentechnik durch die Transistortechnik, mit der eine robuste Kompaktbauweise von Messgeber und Messelektronik realisierbar wurde. Aber, als so ideal, wie sich die das Funktionsprinzip ausdrückende Formel

$$U = a \cdot v \cdot B$$

vermuten lässt, verhielt sich der elektromagnetische Durchflussmesser angesichts vieler unterschiedlicher Einsatzbedingungen und -anforderungen dann doch nicht. So erschienen in der Folge eine Reihe theoretischer Aufsätze, die sich einer genaueren mathematischen Analyse der Strömungsfelder und Magnetfelder in ihrer Auswirkung auf die Konstruktion von Messgebern mit robusteren Eigenschaften widmeten. In dieses Umfeld fanden wir uns in Rostock ein. Darin einbezogen wurden der elektromagnetische Vorbeiflussmesser - sowohl als Stab- als auch als Flachsonde - sowie Untersuchungen zur kontaktlosen elektrodynamischen Strömungsgeschwindigkeitsmessung unter Nutzung magnetohydrodynamischer Effekte (Messung sekundärer Magnetfelder, die durch primär induzierte Wirbelströme im fließenden Medium entstehen). Aktuell war die damals lange Bauform des Durchflussmessers wegen betriebstechnologischer Gründe zu verringern, was zwangsläufig ein inhomogenes Magnetfeld zur Folge hat, dessen Auswirkungen auf die messtechnischen Eigenschaften des Durchflussmessers zu untersuchen waren (Abbildung 19). Dazu kamen elektronische Fragen: Ablösung der Röhrentechnik durch die Transformatortechnik und

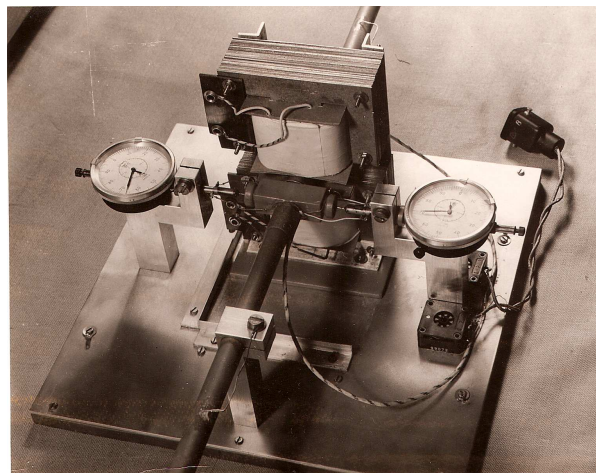


Abbildung 19: Versuchseinrichtung zum elektromagnetischen Durchflussmesser (1964)

damit die Notwendigkeit, Verstärker mit hochohmigem Eingangswiderstand zu konstruieren, was mit Flächentransistoren prinzipbedingt niederohmigem Eingang zu neuen Schaltungstechniken herausforderte. Hierzu gab es aus Franz-Heinrich Langes urständigem Arbeitsgebiet der Nachrichtentechnik und Systemtheorie geeignete Methoden.

Vorbeiflussmesser (Abbildung 20) mit linearer Messkennlinie waren als Fahrtmesser für Schiffe interessant: das übliche Staudruckrohr wird bei langsamer Revierfahrt (unter 1 - 2 Knoten) unbrauchbar.

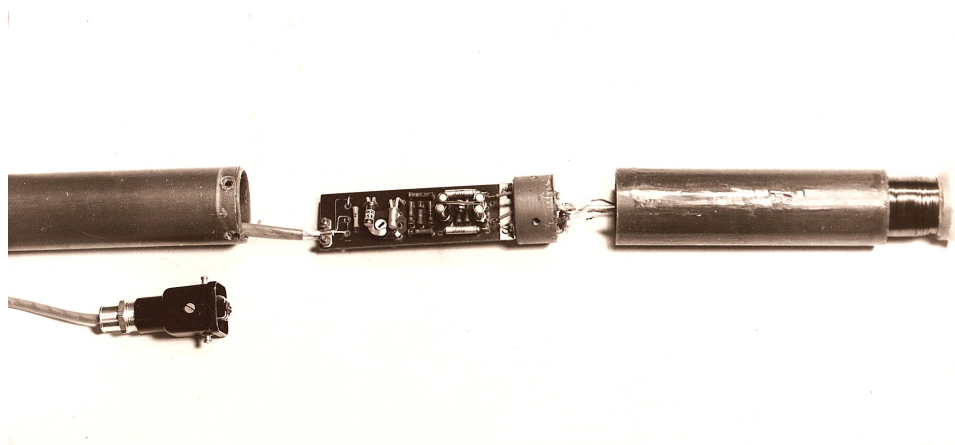


Abbildung 20: Versuchsmuster zum elektromagnetischen Vorbeiflussmesser (1965), links Schaft, mittig Impedanzwandler, rechts Magnetspule und Messkopf

Außerdem erlaubten sie mit zwei (kartesisch angeordneten) Elektrodenpaaren auch Messungen der Querdift auf Fahrt und von Drehungen bei sehr langsamen Bewegungen in engen Revieren. Zum praktischen Einsatz kamen zwei Typen: die Stabsonde (zylindrisch, meist schwertförmig aus dem Schiffsboden ragend) und die Bodensonde (die Messelektroden im stumpfen Zylinderende, mit dem Schiffsboden plan abschließend). Diese Technologie wurde in den 70er Jahren durch die vorteilhaftere Sonartechnologie abgelöst (Zwei-Komponenten-Doppler-Sonar). Sie kam auf DDR-Schiffen - ohne ein eigenständiges Elektro-Log-Intermezzo - zum Einsatz, allerdings nur auf Importbasis, denn in dieser Zeit wurden im Rahmen des COMECON (Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe der Ostblockstaaten RGW) Spezialisierungsabstimmungen getroffen, denen zufolge die DDR-Branche Schiffselektronik zugunsten Polens eingestellt wurde. Speziell traf dies auch eine recht erfolgreich verlaufende Entwicklung eines E-Logs für die Marine, einer Gemeinschaftsarbeit zwischen der Universität Rostock und dem VEB Schiffselektronik Rostock. Im Rahmen der Erprobungen auf einem Torpedoschnellboot hielt das K4-Muster einem harten Fahrtmanöver nicht stand; die schwertförmige Messsonde brach ab - und damit auch dieses Unternehmen.

Nebenbei starteten wir 1978 ein eigenständiges Projekt: Die Wasserwirtschaftsdirektion Küste Rostock WWD (sie ging nach der Wende in das heutige Staatliche Amt für Umwelt und Natur ein) benötigte einen Strömungsmesser für den Einsatz in der Brandungszone. Diese Arbeit begann eine vierköpfige Studentengruppe, angelegt auf eine Entwicklungszeit bis zu einem Prototyp und eingebunden in den regulären Studienablauf - Kleiner Beleg, Ingenieurpraktikum, Großer Beleg, Diplomarbeit - unter Nutzung der technologischen Basis der WWD beim Musterbau und bei Erprobungen in situ sowie im Strömungskanal der Sektion Schiffstechnik. Abbildung 21 zeigt eines der Erprobungsmuster mit zwei Elektrodenpaaren

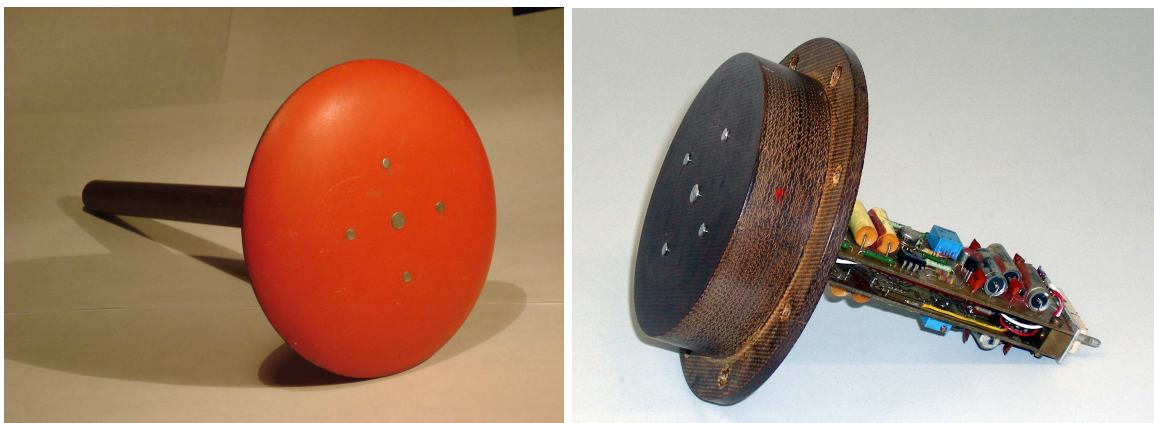


Abbildung 21: Erprobungsmuster einer Zwei-Komponenten-Diskussonde (links) und einer Zwei-Komponenten-Flachsonde mit Zwei-Kanal-Vorverstärker (rechts)

und zentralem Messpunkt (Diskussonde) sowie eine daraus entstandene Modifikation (Flachsonde) für Versuche in Schiffsmodellen.

Theoretisches

Beide Formen, elektromagnetischer Durchflussmesser und Vorbeiflussmesser, sind prinzipbedingt identisch: man sieht es den beiden Zeichnungen in Abbildung 15 bereits an, jedoch auch konstruktiv verschieden. Befindet sich bei Ersterem die das Magnetfeld erzeugende Spule (durch die Pfeile markiert) außerhalb des Rohres und die Strömung innerhalb, haben diese beim Vorbeiflussmesser ihre Plätze vertauscht. Beiden Formen liegt das Faradaysche Induktionsgesetz zu Grunde, in Vektordarstellung

$$E = v \times B.$$

Kann man beim Durchflussmesser im Bereich der Elektroden das Magnet- und das Strömungsfeld konstruktiv noch als eindimensional ausgerichtet approximieren, so gelingt dies beim Vorbeiflussmesser keinesfalls. Dennoch kann man beide Bauformen mit dem gleichen mathematischen Ansatz behandeln, was hier darzustellen weder möglich noch zumutbar ist. Eine Kurzfassung sei erlaubt:

Die Gleichung

$$E = v \times B$$

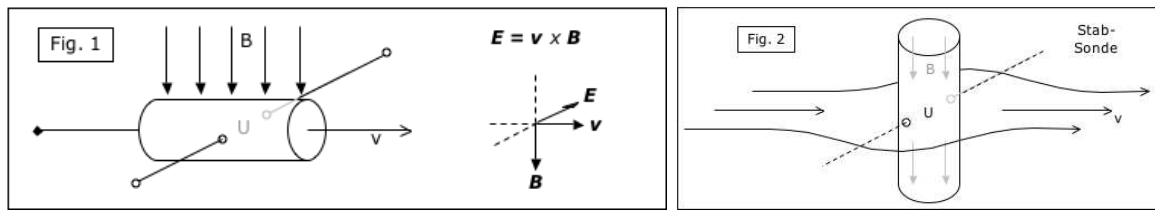


Abbildung 22: Fig. 1 Wirkprinzip eines Durchflussmessers, Fig. 2 Wirkprinzip eines Vorbeiflussmessers

gilt genau genommen nur punktuell, was besagt, dass überall im strömenden Medium das elektrische Feld E eine differentiell kleine Spannungsdifferenz dU erzeugt, deren Vielzahl längs der Feldlinien addiert (integriert) werden muss und deren Summe an zwei gegenüberliegenden Punkten des Rohres (innen bzw. außen) dann die zu messende Spannung U ergibt. Auch das Ergebnis dieser Rechnung sieht einfach aus:

$$U = k \cdot a \cdot v \cdot B .$$

Hierbei ist B die magnetische Induktion im Bereich der Elektroden (mit dem Abstand a); v ist beim Durchflussmesser die über den Querschnitt gemittelte Strömungsgeschwindigkeit, beim Vorbeiflussmesser die Anströmgeschwindigkeit des Mediums einige Rohrdurchmesser vor der Sonde. In dem Faktor k sind alle elektrischen Materialeigenschaften des Mediums und des Rohres sowie Parameter, die einerseits die unvermeidliche Inhomogenität des Magnetfeldes vom angestrebten streng parallelen Feldverlauf, andererseits die Strömungen des Strömungsverlaufs - durch Ablagerungen im Durchflussmesser oder Unsymmetrien der Strömung, verursacht durch Rohrkrümmen oder Ventile vor dem Messgerät - berücksichtigen, enthalten. Der Vorbeiflussmesser sorgt selbst schon für eine Störung des Strömungsverlaufs (Abbildung 23). Die Diskussonde entstand aus der Stabsonde, um die Messelektroden in die

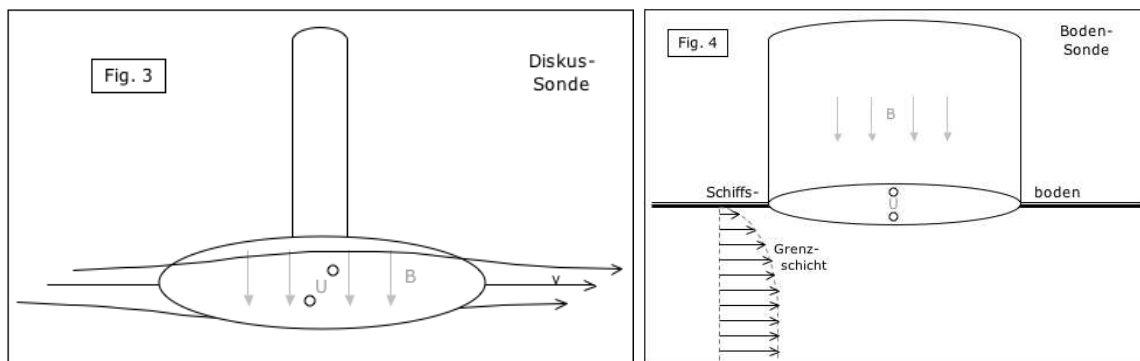


Abbildung 23: Fig. 3 Diskussonde, Fig. 4 Bodensonde

Nähe größeren Magnetflusses der Spule zu bringen und damit eine höhere Messspannung generieren zu können. Ihre Bauform bot bessere hydrodynamische Strömungsverhältnisse als die Stabsonde. Die Flachsonde gilt als Alternative der Stabsonde, wenn von der Strömung mitgeführte Feststoffe oder - speziell bei Schiffen mit Bodensonde - Bodenberührungen zu Zerstörungen führen können. Problematisch ist jedoch der Einfluss der Grenzschicht, die sehr instabil ist. Jürgen Lübcke (†) befasste sich in seiner Dissertation „Induktive Strömungsmessung mit speziellen flachen Messsonden“ 1973 mit diesen beiden Ausführungen.

Im Reigen der modernen tomografischen Messmethoden durfte die elektromagnetische natürlich nicht fehlen. An großräumigen Strömungsfeldmessungen, z. B. in der Ozeanografie, in Flüssen und Ästuaren und an Küsten, ist der punktuell und flexibel einsetzbare elektromagnetische Vorbeiflussmesser durchaus beteiligt; es gab jedoch frühe Versuche unter der Nutzung des Erdmagnetfeldes Oberflächenströmungen auf der Hochsee zu messen, indem ein Schiff ein Elektrodenpaar quer zur Strömung schleppt. Wollaston gelang es, 1851 mit festen Elektroden im Uferbereich gegenüber liegender Küsten - sozusagen dem Prototyp des elektromagnetischen Durchflussmessers - Gezeitenströme im Ärmelkanal zu messen. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass sich Faraday schon 1832 bemühte, die Strömung der Themse

zu messen - nur ein Jahr nach seiner Entdeckung des Induktionsgesetzes. Als Magnet nutzte man die Vertikalkomponente des Erdfeldes - ein Gleichfeld, dessen induzierter Messspannung sich die Polarisation der Elektroden störend entgegengesetzte.

In die neuere Zeit gehören Überlegungen und Untersuchungen, im elektromagnetischen Durchflussmesser das Profil der Rohrströmung mit sich selbst messen zu wollen. Dabei wird mit einer Vielzahl von Elektroden im Umkreis des Messquerschnittes eine Basis für eine „Rückrechnung“ auf das Strömungsfeld gewonnen. Da aber dieser Durchflussmesser - wie sein Name schon sagt - ein *volumetrisch* messendes Gerät ist, d. h. über den gesamten Querschnitt integriert bzw. mittelt, ist er für diesen Zweck nicht geeignet. Hilfsweise setzte man mehrere lokal wirkende Magnetspulen ein, die dann quasi-punktuell an Strömungsfäden induzierte Spannungsfelder erzeugen. Von Elektrodenpaaren, deren Verbindungslinien einen solchen Quasi-Punkt definierter Koordinaten überstreichen, lassen sich durchaus Aussagen über die Strömung gewinnen, doch nur wiederum gemittelte Werte. Interessant wäre dieses sehr aufwändige Verfahren, wenn man es in reduziertem Umfang für die Selbstüberwachung des Durchflussmessers hinsichtlich Abweichungen vom erstrebenswerten radialsymmetrischen Strömungsprofil einsetzte.

Praktisches

Die Arbeiten zu induktiven Strömungsmessern an der Universität Rostock brachten neben Versuchsaufbauten für das studentische Praktikum auch einen Prototyp zum Einsatz in der Brandungszone in der Ostsee hervor. Dieser Prototyp wurde in der bereits erwähnten wasserwirtschaftlichen Behörde weiterentwickelt und in einer Kleinserie gefertigt. Die Geräte unter der Bezeichnung ISM-90 (Bild 24) kamen in küstennahen Messstationen in Warnemünde, Zingst und Koserow zusammen mit weiterer Sensorik zur Erfassung von hydrologischen und meteorologischen Parametern und im Oberlauf der Warnow zur Langzeit-Strömungsmessung in verschiedenen Wassertiefen zum Einsatz. Der Messpunkt Warnemünde wurde zeitweise um ein umfangreiches Messfeld mit einer Vielzahl dieser Strömungsmesser erweitert, um die Wirkungsweise von Einbauten in See, hier speziell die Wirkung der Anfang der 90er Jahre neu errichteten Buhnen zu untersuchen. Die mit der Entwicklung dieser Geräte verfolgten Ziele wurden er-



Abbildung 24: Vorbeiflussmesser-Kleinserie ISM 90

reicht. Das Messprinzip eignet sich hervorragend für den Dauereinsatz in der Brandungszone mit hohem Energieumsatz und den dafür typischen mehrphasigen Strömungen. Mechanische Strömungsmesser sind dort völlig ungeeignet und auch akustische Strömungsmesser versagen wegen des hohen Anteils suspendierten Materials, besonders jedoch wegen vieler Luftblasen im Wasser.

Aufgrund der technischen Möglichkeiten enthielten die Sonden der Serie ISM-90 lediglich einen Vorverstärker. Die Signalübertragung erfolgte analog mittels eingepprägter Ströme über mehradrige Kabel. Die Treiberelektronik für die Magnetspule sowie die komplexe Signalverarbeitung, d. h. die Trennung des strömungsgeschwindigkeits-proportionalen Signals von überlagerten Störungen, befanden sich in einem Gerät in der Landstation. Als Speichermöglichkeit gab es zunächst nur die Aufzeichnung als Analogschrieb auf Mehrkanal-Punktschreibern, später den Messcomputer zur Erfassung von Analogsignalen. Die hiermit verbundenen Einschränkungen und die relativ hohen Fertigungskosten gaben Anlass zu einer völligen Neuentwicklung unter Beibehaltung des Grundkonzeptes, jedoch bei Nutzung aktueller

Möglichkeiten der Sensor- und Elektronik-Fertigung. Zielstellung war eine kommerzielle Vermarktung. Dank komplexerer Bauelemente und Nutzung der Oberflächenmontage (SMT) gelang es, in einer Sonde der neuen Serie ISM-2000 nicht nur die vorgenannten Elektronikbaugruppen für den Betrieb des induktiven Strömungsmessers, sondern außerdem ein Magnetometer als Kompass sowie eine Mikrocontroller-

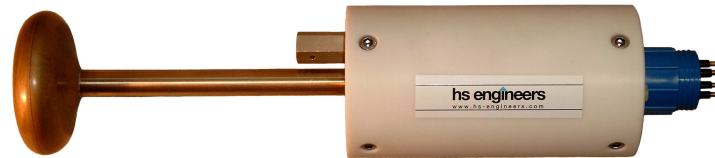


Abbildung 25: Seegangs-Richtungssonde ISM-2000M

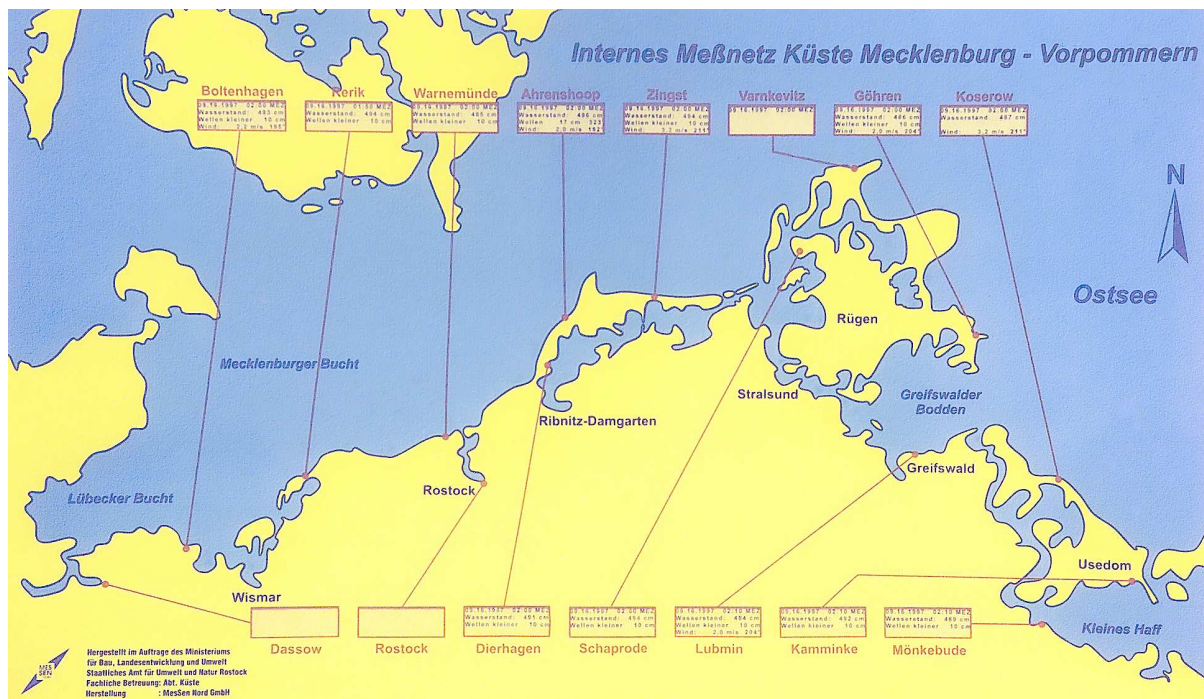


Abbildung 26: Anzeigetafel des Internen Messnetzes Küste (MK)

Baugruppe zur Signal-Verarbeitung, -Speicherung und -Ausgabe zu integrieren. Nun war es möglich, mehrere Sonden an einem Buskabel (RS-485) zu betreiben und Messergebnisse störsicher als seriellen digitalen Datenstrom zu übertragen. Eine Modifikation ISM-2000M (Bild 25), die statt des Magnetometers eine Baugruppe zur Messung von Druck und Temperatur enthält, wurde mit einer Software zur Seegangs-Richtungsmessung ausgerüstet und erstmals 1996 im „Internen Messnetz Küste“ mit 14 Messstationen entlang der Küste Mecklenburg-Vorpommerns eingesetzt, wo die Sonden bis heute im Dauereinsatz sind (Bild 26). Die Sonden-Firmware kombiniert die Signale des Strömungs- und Drucksensors (Sensorfusion), um die Kenngrößen des Seegangs wie Wellenhöhe, Wellenperiode und Wellenanlaufzeit zu ermitteln.

Inzwischen gibt es eine weitere Gerätegeneration, die Serie 2001. Diese zeichnet sich durch ein modulares Konzept aus, das die Realisierung unterschiedlichster Geräte vom reinen Strömungsmesser über Seegangssonden bis zu Multiparameter-Sonden als kabelversorgte oder speichernde, batteriegespeiste Einheiten ermöglicht. Daneben existiert die abgerüstete Strömungsmesserversion ISM-2001, die in einer sehr kompakten Bauform nur die Treiber- und Signalverarbeitungselektronik für den induktiven Strömungsmesser sowie ein zweiachsiges Magnetometer enthält. Die genannten induktiven Vorbeimesser integrieren zwar über einen den Sender umgebenden Raum, wobei die Gewichtung mit zunehmendem Abstand schnell abnimmt. Aus Anwendersicht sind sie dennoch als punktförmig messende Sonden einzu-

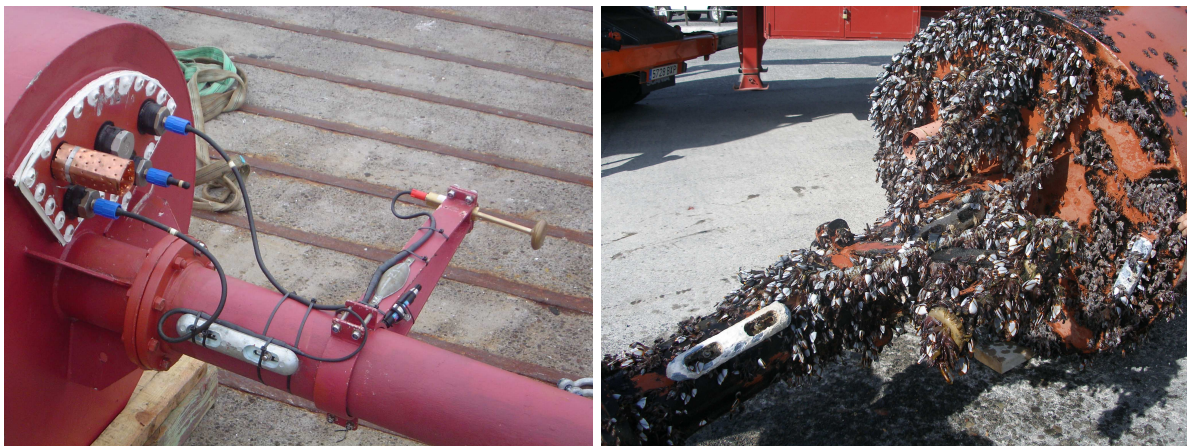


Abbildung 27: Strömungsmesser ISM-2001C neben weiteren Sensoren an einer ozeanographischen Messboje vor und nach dem Einsatz

stufen. Das Anwendungsfeld solcher Geräte ist seit der Entwicklung akustischer profilierender Doppler-Strömungsmesser (ADCP) kleiner geworden und muss zudem noch mit akustischen (Punkt-)Sensoren geteilt werden. In bestimmten Einsatzfällen kommen jedoch weiterhin die spezifischen Vorteile der robusten induktiven Strömungsmesser zum Tragen. Neben den bereits genannten mehrphasigen Strömungen nicht nur im Brandungsbereich von Küstengewässern ist besonders die Möglichkeit der Messung relativ dicht an Grenzflächen, wie am Meeresboden oder an Buhnen zu erwähnen. Abbildung 25 zeigt eine Sonde ISM-2001 an einem Geräteträger - einer Messboje - mit weiteren Sensoren für hydrologische und meteorologische Parameter, Datenlogger und Stromversorgung sowie Funktechnik, vor und nach einem mehrmonatigen Einsatz vor den Kanarischen Inseln.

Literatur

Smith, C.; Slepian, J.:

Elektromagnetic ship's log. US Patent 1249530, 1947

Wetterer, E.:

Eine neue Methode zur Registrierung der Blutströmungsgeschwindigkeit am ungeöffneten Gefäß. ZS. F. Biol. 98 (1937), S. 36-38

Thürlemann, B.:

Methode zur elektrischen Geschwindigkeitsmessung in Flüssigkeiten. Helv. Phys., Acta 14 (1941), S. 348-419

Schommartz, G.:

Meßtechnische Probleme der induktiven Strömungsgeschwindigkeitsmessung. 1967

Zecha, M.:

Möglichkeiten der kontaktlosen elektrodynamischen Strömungsgeschwindigkeitsmessung. Dissertation Universität Rostock, 1972

Lübcke, J.:

Induktive Strömungsmessung mit speziellen flachen Meßsonden. Dissertation Universität Rostock, 1973

Hertel, Meyer, Schlüter, Weise:

Induktiver Strömungsmesser. Diplomarbeit Sektion Technische Elektronik, Universität Rostock, 1981

Wollaston, C.:

Tidally induced e. m. f. s. in cables. J. Soc. Tel. Eng. 10 (1851), S. 50

Faraday, M.:

Experimental researches in electricity. Phil. Trans. 15 (1832), S. 175

Trächler A.:

Tomographische Methoden in der Messtechnik. XI. Messtechnisches Symposium des AK der Hochschullehrer für Messtechnik e.V. Tagungsband (1997), S. 169-180

Sein erster Diplomand

Hansgeorg Liebsch, Berlin

Das Ehrenkolloquium anlässlich der 100. Geburtstages von meinem hochgeschätzten Prof. Franz-Heinrich Lange hat viele Erinnerungen an meine Studienzeit von 1952 bis 1958 in Rostock wachgerufen. Als sein erster Diplomand bearbeitete ich als Diplomaufgabe die „Rekonstruktion eines Decca-Empfängers“, die mir einen guten Einstieg ins Berufsleben beim Funkwerk Köpenick ermöglichte. Die Chance zu einer wissenschaftlichen Laufbahn am Institut habe ich damals nicht erkannt und nicht genutzt; es zog mich mehr zu praxisnaher Tätigkeit. Prof. Lange hat meinen beruflichen Werdegang maßgeblich beeinflusst. Mein Fachrichtungswunsch war lange nicht festgelegt, aber seit den ersten Vorlesungen bei ihm und nicht zuletzt auch durch die Tätigkeit als sein Hilfsassistent stand für mich fest, es ist die Nachrichtentechnik. Im Funkwerk habe ich im wesentlichen im Bereich Forschung und Entwicklung als Entwickler und Laborleiter gearbeitet und zwar maßgeblich an Geräten für den Schiffsfunk wie Goniometerpeiler, Sicht-



Abbildung 28: Hilfsassistent und erster Diplomand Hansgeorg Liebsch im Labor

funkpeiler, Betriebsempfänger mit Zusatzgeräten für Einseitenband- und Frequenzdemodulation sowie an Sende-Empfangsgeräten für kommerziellen Funk. Erprobungen im In- und Ausland sowie Projektentwicklungen für duplexfähige Sende-Empfangsanlagen gehörten ebenfalls zu meinen Aufgabengebieten. Die letzten Jahre meines Berufslebens 1985 bis 1990 war ich im Hochschulwesen am Zentralinstitut für Hochschulbildung Berlin tätig.

Mit dankbarer Erinnerung an Prof. Lange wünsche ich viel Erfolg bei der Vorbereitung und Durchführung des Ehrenkolloquiums.

Besuch der Staatsführung und erster Promovend

Prof. Dr.-Ing. Dieter Troppens, Rostock

Nach Abschluss des Studiums der Fachrichtung „Schiffselektronik“ der Schiffbautechnischen Fakultät erhielt ich ab Januar 1960 eine Stelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für allgemeine und experimentelle Elektrotechnik zur Bearbeitung eines Forschungsthemas zu Problemen der Funkentstörung auf Schiffen. Da der damalige Institutsdirektor, Prof. Hucksdorf, wegen gesundheitlicher Probleme seine Aufgaben nicht mehr voll ausführen konnte, übernahm das Institut für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik u. a. auch dieses Forschungsthema. Zwei der Bearbeiter - Helmfried Gurgel und ich - wurden somit dem Institut unter Leitung Prof. Langes zugeordnet. Da in mir die Überzeugung gereift war, auf dem Forschungsgebiet eine Dissertation anzufertigen, und ich meinen neuen Chef von dem Vorhaben überzeugen konnte, erhielt ich nach Abschluss der Forschungsaufträge eine Stelle als wissenschaftlicher Assistent und wurde für verschiedene Aufgaben in der Lehrtätigkeit eingesetzt. Einige Vorlesungen wurden von Prof. Lange auch zur Weiterbildung aller wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fakultät angeboten, wie die Reihe zur Technischen Kybernetik, die ich nutzte.

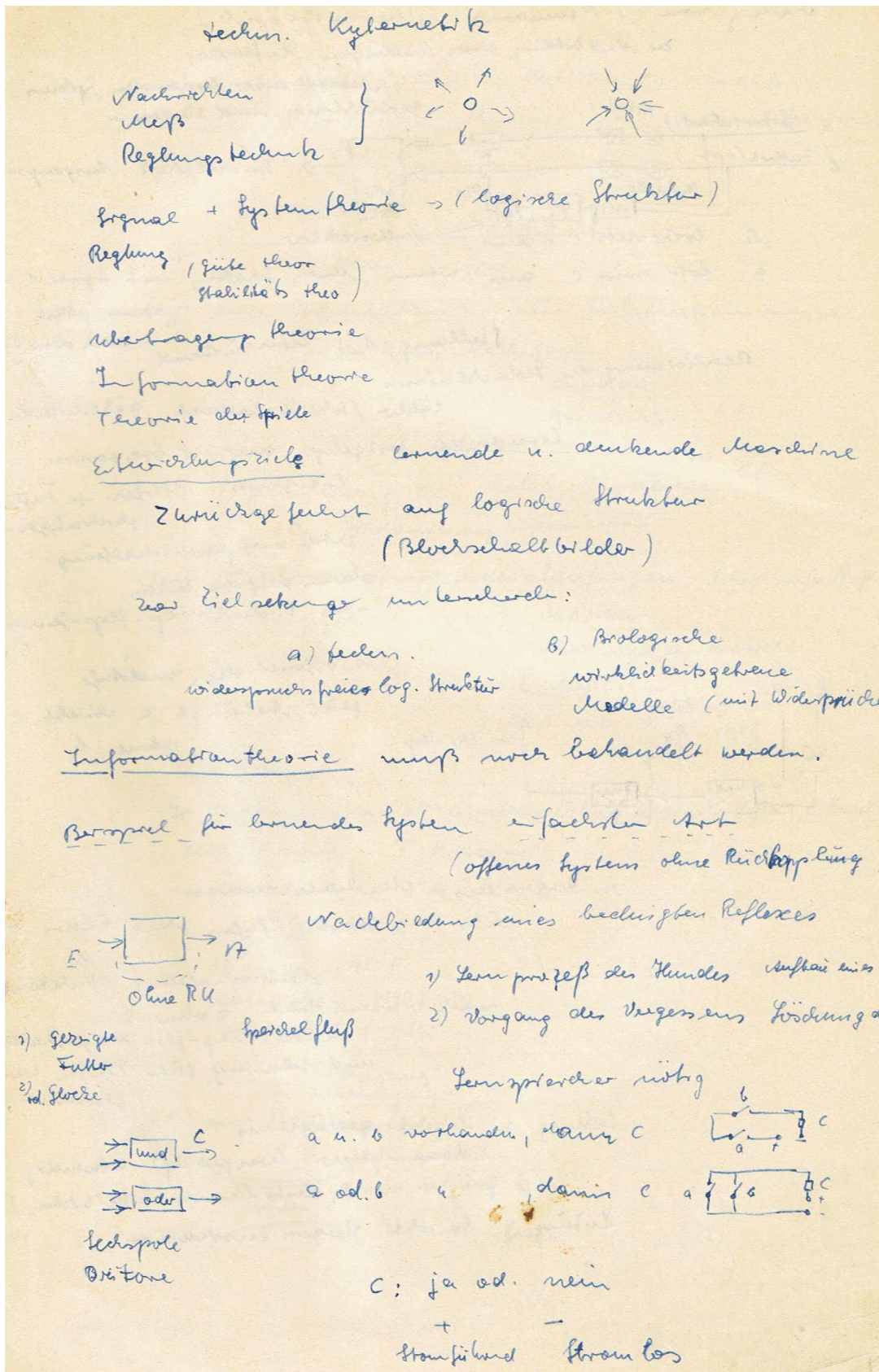


Abbildung 29: Vorlesungsmitschrift von D. Troppens während seiner Zeit als wissenschaftlicher Assistent

Disposition der Sondervorlesung:

"Systemtheorie elektrischer Netzwerke" Teil II:
-Dynamisches Verhalten linearer Systeme (Meßdynamik) -

1. Hauptteil: Einführung in den Begriff der p-Funktionen zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens von linearen Übertragungssystemen.

1.1: Einführung in die Begriffe "Signale" und "Systeme"

1.11: Klassifizierungsgesichtspunkte für Systeme
1.12: Klassifizierungsgesichtspunkte für Signale
1.13: Aufgabenstellung der Systemtheorie

1.2: Bildtheorie der Signale und Systeme (Operatorenrechnung)

1.21: Aufgabenstellung der Operatorenrechnung
1.22: Zusammenhang zwischen Fourier- und Laplacetransformation
1.23: Abbildungsregeln mittels der Laplacetransformation

1.3: Abbildung von Zeitvorgängen:

1.31: Bildfunktionen aperiodischer Testsignale
1.32: Bildfunktionen periodischer Testsignale
1.33: Bildfunktionen verzögerter Testsignale
1.34: Approximation beliebiger Zeitvorgänge im Bildbereich

1.4: Abbildung von linearen Systemen:

1.41: Differentialgleichung und Übertragungsfaktor
1.42: Methode der komplexen Impedanzen
1.43: Anwendung auf Systeme mit Rückführung
Netzwerk-Klassifizierung im Bildbereich

1.5: Rücktransformation in den Zeitbereich:

1.51: Der Entwicklungssatz
1.52: Der Residuensatz
1.53: Anwendungsbeispiele für die Berechnung von Eigenfunktionen.

1.6: Systemfunktionen und Ortskurven linearer Systeme:

1.61: Gewichts- und Übertragungsfunktion
1.62: Frequenzgang-Ortskurven
1.63: P-N-Plan und Wurzelortkurven.

30. August 1962

Abbildung 30: Gliederung der Sondervorlesung „Systemtheorie elektrischer Netzwerke“ F.-H. Langes

H. Dr. Troppens

Lehrveranstaltungen des Instituts für Fernmeldewesen und
Hochfrequenztechnik im Frühjahrssemester 1966

1) Prof. Lange:	Nachrichtentechnik I:	2 V + 2 Ü	(6. Semester)
	Nachrichtentechnik III:	2 V + 1 Ü + 4 L	(8. Semester)
	Vierpole II:	1 V	(6.+8.Semester)
	Informationstheorie u. Statistik:	2 V	(10.Semester)
2) Dr. Albrecht:	Elektronische Bauelemente I:	1 V + 1 Ü	(4. Semester)
	Leitungstheorie:	1 V + 1 Ü	(8. Semester)
	Elektron.Schiffsführungs- anl. I:	1 V	(8. Semester)
<i>H. H. J. Fesche</i>	" " (Radartechnik)	1 V	
3) Dr. Müller:	Elektrische Meßtechnik:	2 V + 2 L	(4. Semester)
4) Schubert:	Elektrische Meßtechnik:	1 V	(4. Semester)
5) Dr. Bening:	Signale und Systeme I:	2 V + 2 Ü	(6. Semester)
6) Dr. Troppens:	Elektr. Messung <i>nichtel.</i> Größen LT:	2 V	(8. Semester)
	Elektr. Messung <i>nichtel.</i> Größen LT:	2 (Ü + L)	(10.Semester)
7) Schommartz:	Meßelektronik AM II:	1 V + 3 L	(8. Semester)
8) Rockmann:	Elektr. Messung nichtel. Gr. I:	2 V	(8. Semester)
	Elektr. Messung nichtel. Gr. II:	1 V	(10. Semester)

Rostock, d. 9.11.1965
Ro./So.

Abbildung 31: Plan der Lehrveranstaltungen des Instituts

In meiner Assistentenzeit bestand meine Hauptaufgabe darin, den Chef bei der Vorlesung und den zugehörigen Übungen zu unterstützen. An der Vorlesung nahm ich in der Regel teil und schrieb mit. Da Prof. Lange diesen Stoff auch in seinen Lehrbüchern „Signale und „Systeme“ aufbereitete, gab er mir seine Vorbereitungen für die Buchmanuskripte zur Durchsicht und zur Diskussion. Vorlesungen zu ausgewählten Themen sollten alle Assistenten seines Instituts mit anhören. Was Prof. Lange uns damals anbot, zeigt die Gliederung der Sondervorlesung „Systemtheorie elektrischer Netzwerke“ (Abbildung 30). Da für mich ein Praxiseinsatz zur Unterstützung der neuen Fachrichtung „Landtechnik“ an der Technischen Fakultät vorbereitet wurde, erhielt ich mit dem Wechsel zur Landtechnik einen Lehrauftrag für das Fach „Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen“, für das bereits Laborübungen von unserem Institut aufgebaut wurden, wie man aus dem Plan für 1965/66 ersehen kann (Abbildung 31). Mit dem

Semesterwechsel im Studienjahr 1965/66 schied ich planmäßig nach meiner Promotionsverteidigung aus dem Institut Prof. Langes aus.

Einige Bilder von besonderen Ereignissen aus dieser Zeit, die ich im Rahmen meiner Aufgabe als Verantwortlicher für Fotoarbeiten des Instituts aufgenommen habe, seien angeführt. Lehrreich war das Ereignis der Promotion des Kollegen Heinrich Albrecht, für den wir eine inoffizielle Bestätigung der erfolgreichen Bewältigung der schweren Aufgabe als Erster aus dem Institut mit Doktorhut und Spaßkunde vorbereitet hatten. Auf unsere Frage, wie man das Ziel erreicht, ist mir in etwa folgende Antwort in Erinnerung: „Immer wieder ran, alle Zweifel beseitigen, notfalls mit Alkohol!“

Ein besonderes Ereignis war auch der Besuch der Partei- und Staatsführung der DDR unter Walter Ulbricht anlässlich der Ostseewoche 1965. Prof. Lange wollte unbedingt unser Institut und seine Lei-



Abbildung 32: Heinrich Albrecht bei seiner Promotionsfeier mit Prof. Lange als Doktorvater

tungen vorstellen und die Gelegenheit war günstig. Der Weg der Besucher führte an den Räumen des Instituts vorbei. Im Hof wurde ein entwickeltes Geschwindigkeitsmessverfahren für die Kontrolle der Fahrgeschwindigkeit von Fahrzeugen mit gerätetechnischer Lösung demonstriert, d. h. von uns in Stellung gebracht und wir warteten auf die Vorführung. Die Gäste kamen und ließen sich das Gerät erklären. Anschließend ging es vorbei an Demonstrationstafeln unserer Arbeiten im Lichthof und Treppenaufgang, wo wir Mitarbeiter uns zum Gruppenbild aufgestellt hatten. Prof. Lange wünschte, dass wir zwei Stühle bereit hielten, damit das Ehepaar Ulbricht Platz nehmen konnte, um seinen Erläuterungen zuzuhören. Wie die Bilder zeigen, war sein Plan voll aufgegangen.

In Erinnerung an diese Zeit bleibt mir die kameradschaftliche Zusammenarbeit mit meinem mehrjährigen Chef und Doktorvater Prof. Lange sowie mit den Kollegen, die ich oft bereits als Studenten, als Komm-



Abbildung 33: Staatsbesuch im Institut 1965

litonen oder in Übungen kennen gelernt hatte. Sein Leitungs- und Arbeitsstil haben mich geprägt. Besonders beeindruckend waren dabei das Verwenden mathematischer Modelle, gepaart mit solidem praktischen Nachweis der Verwendbarkeit für neue technische Lösungen. Bei meiner nachfolgenden Tätigkeit



Abbildung 34: Aufgestellt zum Gruppenbild (hinten v.l.n.r.: G. Wendt, W. Stammberger, G. Schomartz, J. Janson, D. Troppens; vorn: D. Ruser, W. Barnick, R. Rockmann



Abbildung 35: Prof. Lange demonstriert der Partei- und Staatsführung unter Walter Ulbricht die Institutserfolge

bei den Maschinenbauern der Landtechnik versuchte ich, vor allem die Erkenntnisse der System- und Signaltheorie weiterzugeben und für das Lösen von Aufgaben in der Gestaltung der modernen Landtechnik und seiner Instandhaltung anzuwenden.

Der Kampf um ein Seefahrtsbuch

Prof. Dr.-Ing. Werner Stammberger, Naschendorf

Bekanntlich war es zu DDR-Zeiten nicht einfach, ein Seefahrtsbuch zu bekommen, da man mit diesem Dokument die DDR-Grenzen überschreiten und in beliebigen Häfen an Land gehen konnte. Um die theoretischen Erkenntnisse meiner Forschungsarbeiten zur Störabstandsverbesserung hydroakustischer Fischortungsanlagen praktisch untermauern zu können, war es nötig, nicht nur von der Ostmole in Warnemünde den Versuchsaufbau erproben zu können, sondern auch an Bord von Hochseefischereifahrzeugen im Fischbetrieb zu messen. Dank FHL's Einsatz und seiner Beziehungen zum Fischkombinat Rostock wurde mir die Möglichkeit eingeräumt, an Bord des Fischereiforschungsschiffes „Ernst Haeckel“ arbeiten zu können. Voraussetzung war aber ein Seefahrtsbuch, womit ein Kampf gegen alle möglichen offiziellen und nicht ganz so offen agierenden Behörden begann. Den dazu erforderlichen Schreibkram erledigte ich

im Auftrag von FHL selbst - ich bin heute noch stolz darauf, dass er alle meine Briefe ohne Änderungen unterschrieb; die dazugehörenden Telefonate mit viel Geduld aber meist selbst führte. Nachdem er auch den damaligen Rektor Prof. Schick, der selbst ein recht reiselustiger Mann war, überzeugt hatte, wie wichtig eine See-Erprobung für das Institut sei, bekam ich auch die Unterschrift des Rektors unter meinen Antrag. Von FHL bekam ich auch den Tipp, dass der Rektor an einer Senatssitzung unserer Fakultät teilnehmen werde. Ich legte mich zur angegebenen Zeit auf dem Parkplatz auf die Lauer, sprach den Rektor in meiner jugendlichen Unbekümmertheit an, stellte mich als Assistent von FHL vor und wedelte mit meinem Antrag, auf dem Prof. Lange bereits unterschrieben hatte, sodass nur noch die Unterschrift der Magnifizienz fehlte. Der sagte nur: „Drehen Sie sich mal um!“, zückte seinen Kugelschreiber und unterschrieb auf meinem Rücken sein rektorales Einverständnis. Somit war der Weg frei für meine erste Fangreise mit dem FFS „Ernst Haeckel“ im Herbst 1965. Auf diese Reise folgten bis zum Sommer 1969, kurz vor meiner Berufung als Dozent an die Ingenieurhochschule Wismar noch vier oder fünf weitere Reisen mit Loggern, Trawlern und auch einem großen Fang- und Verarbeitungsschiff in Ostsee, Nordsee und in den Atlantik vor Afrika. Ein bisschen Stolz bin ich auch heute noch, dass ich durch die großzügige Unterstützung von FHL die Seefahrertradition an seinem Institut begründen durfte.

Kontakte nach Rostock

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weller, Berlin

Nach längerer Auslandstätigkeit nahm ich Ende der 60er Jahre Kontakt zur Universität Rostock und dem seinerzeitigen Dekan, Prof. Schmitz, auf. Dieser bat mich, in Hinblick auf eine mögliche spätere Berufung, zunächst eine ehrenamtliche Lehrtätigkeit auf meinem Fachgebiet, der Regelungs- bzw. Automatisierungstechnik, hier in Rostock aufzunehmen. Diese Tätigkeit übte ich neben meinen Aufgaben an einer Berliner Forschungseinrichtung in den Jahren 1969 und 1970 aus. 1969 wurde mir die *facultas docendi* unter dem Dekanat von Prof. Lange erteilt. Zu dieser Zeit bekam ich engen Kontakt zu Prof. Lange und seiner Familie, der das Vorhaben sehr unterstützte. Entsprechend der erwarteten Perspektive erarbeitete ich eine Monographie mit dem Titel „Schiffsautomatisierung“, die nach ihrer Veröffentlichung in der DDR auch als Lizenzausgabe in der VR Polen, der UdSSR und Kuba in der jeweiligen Landessprache erschien. Da sich die erwartete Berufung - wohl aus politischen Gründen - verzögerte, nahm ich 1970 einen Ruf der Humboldt-Universität zu Berlin auf den neu gegründeten Lehrstuhl für Technische Kybernetik an. Dennoch blieb ich mit der Rostocker Universität verbunden, sowohl in direkten Fachgesprächen mit meinem späteren Kollegen Prof. Lampe, als auch durch langjährige aktive Teilnahme an den Kolloquia Maritime Elektronik durch Vorträge. Dort hatte ich immer wieder lebhaft Kontakte zum Jubilar. Am 26. Juni 1973 wurde ich an der Universität Rostock unter dem Dekanat von Prof. Lange zum Dr. sc. techn. promoviert, was 1991 in eine Habilitation umgewidmet wurde.

Wissenschaftler, Pädagoge, Freund

Prof. Dr. Albert Jakowlew, Novosibirsk, Russland

Meine Bekanntschaft mit Prof. F.-H. Lange reicht bis in das Jahr 1971 zurück, als ich Anfang September zu einem zehnmonatigen wissenschaftlichen Praktikum an die Sektion Technische Elektronik der Universität Rostock kam. Die Stelle des Praktikums war nicht zufällig gewählt. Bereits als Aspirant hatte ich am Leningrader Polytechnischen Institut sein Buch „Korrelationstechnik“ studiert. Das Buch war unter den sowjetischen Spezialisten überaus bekannt und der Autor besaß eine hohe Anerkennung. Ich schrieb ihm also einen Brief mit der Bitte, besagtes Praktikum unter seiner Leitung zu absolvieren, und er stimmte erfreut zu. Ich erinnere mich noch genau an unser erstes Treffen. Ich war furchtbar aufgeregt, da ich die deutsche Sprache nicht allzu gut beherrschte. Mir begegnete ein äußerst gastfreundlicher Mensch im Alter meines Vaters (beide sind 1909 geboren), der mich in gutem Russisch an der Universität Rostock willkommen hieß und nachdem ich ihm über meine Anreise berichtet hatte, mit meinem Betreuer Werner Barnick bekannt machte. In dem fleißigen und talentierten Kollektiv Prof. Langes wurde ich freundlich aufgenommen und freundete mich während meines Aufenthaltes mit den Dozenten Barnick, Schommartz, Wendt, dem Aspiranten Stojanow aus Bulgarien sowie den Forschungsstudenten Melzer und Müller an. Hier studierte ich seine Bücher, besuchte seine Vorlesungen und die seiner Mitarbeiter und arbeitete an meinem Forschungsplan. Auf Initiative von Prof. Lange konnte ich bereits im Oktober 1971 erstmals öffentlich an der Sektion über die Stadt Novosibirsk, das wissenschaftliche Zentrum Aka-

demgorodok, unser Institut und meine wissenschaftliche Arbeit berichten. Während der Veranstaltung wurden auch Gastgeschenke ausgetauscht. Prof. Lange schenkte mir ein Exemplar seines Buches „Signale und Systeme“.

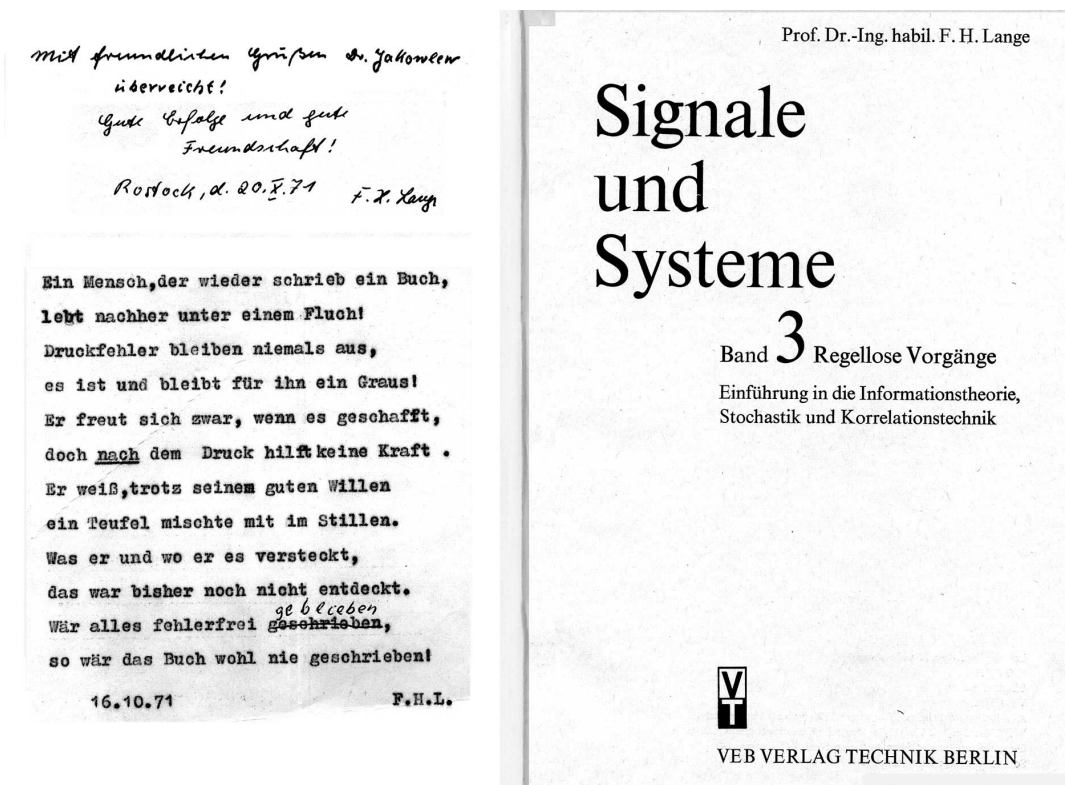


Abbildung 36: Ein Exemplar seines Buches mit persönlicher Widmung - 1971

„Signale und Systeme“ mit persönlicher Widmung (Abbildung 36). Sogar die Zeitungen haben über dieses Ereignis berichtet. Solche gemeinsamen Aktionen sollten in der Folge zur Tradition werden.

Für meine Forschung zur Entwicklung der Funkelektronik in der DDR hat Prof. Lange mir Dienstreisen an verschiedene Universitäten des Landes ermöglicht. Dank seiner Autorität habe ich die Professoren Woschni aus Karl-Marx-Stadt, dem heutigen Chemnitz, Lenk aus Dresden, Fei aus Berlin, Philippow aus Ilmenau und Seidler aus Gdansk, Polen, kennen gelernt. Darüber hinaus hat er mich mit Prof. Harmuth aus den USA bekannt gemacht, der später auch einige Zeit in Novosibirsk verbrachte. Mehrmals begleitete ich Prof. Lange zu Sitzungen der Akademie der Wissenschaften in Berlin. In Rostock hatte ich mich für das Forschungsthema „Auswahl der optimalen Frequenzen in der nahen Hydroortung“ entschieden und konnte dank Prof. Lange meine ersten beiden wissenschaftlichen Artikel in der DDR veröffentlichen. Mir waren komfortable Bedingungen für Forschung und Erholung während dieser Zeit gewährt. Oft lud mich Prof. Lange zu sich nach Hause ein. Ich werde dieses gastliche Haus und seine väterliche Wärme niemals vergessen. Seine Frau Ruth umsorgte mich wie eine Mutter. Gemeinsam mit Familie Lange erkundete ich oft die Ostseeküste und besuchte klassische Konzerte. Mein Praktikum diente nebenbei dazu, eine nachhaltige Verbindung zwischen der Universität Rostock und dem Elektrotechnischen Institut Novosibirsk aufzubauen. Das Engagement Prof. Langes zeigt folgender Auszug aus einem Brief an mich:

Ich würde mich sehr freuen, wenn zwischen unseren Instituten eine ständige Zusammenarbeit auf der Basis Ihres hiesigen Aufenthaltes zustande kommen würde. Dazu müsste Dr. Barnick oder ich 1974 für 1-2 Monate nach Novosibirsk kommen und dort Gastvorlesungen halten. Bitte stellen Sie doch fest, wann das zeitlich am besten möglich ist und ob wir z. B. eine Einladung bekommen können. Ferner können wir gegenseitig einen Austausch unserer Veröffentlichungen vornehmen. Mein 3. Band („Signale und Systeme“ Anm. d. Red.) wird 1973 unverändert nachgedruckt und die stark veränderte Neuauflage des 1. Bandes ist im Druck. Diese sollen Sie erhalten. Wir sind interessiert an Neuerscheinungen der Hydroakustik und der Signal- und Systemtheorie, speziell auch für digitale Systeme. Wie heißt Ihr Lehr-

stuhlinhaber? Bitte machen Sie doch Vorschläge, welche Zusammenarbeit von Ihrer Sicht aus möglich ist!

Übrigens zu den Briefen: Meine Korrespondenz mit Ruth und Franz-Heinrich Lange dauerte ein ganzes Leben und füllte zwei Ordner.

1974 kam Prof. Lange auf Einladung der Radiotechnischen Fakultät nach Novosibirsk. (Erstmals war er 1970 anlässlich einer internationalen Tagung hier.) Er hielt den Vorlesungszyklus „Korrelationstechnik - Theorie zufälliger Ereignisse“. Sein profundes Wissen zu technischen und theoretischen Problemen und seine Persönlichkeit brachten ihm schnell die Aufmerksamkeit und Achtung seiner Zuhörer ein. Während seiner Vorlesungen war der Hörsaal immer überfüllt. 1976 hat Prof. Lange unser Institut nochmals besucht und Vorlesungen zu den Problemen der Kenngrößenauswahl bei stochastischen Prozessen und zur Theorie der zweifach angesteuerten Systeme der Informationsverarbeitung gehalten. Als Musikliebhaber besuchte Prof. Lange praktisch jeden Abend Vorstellungen des Theaters, der Oper, des Balletts

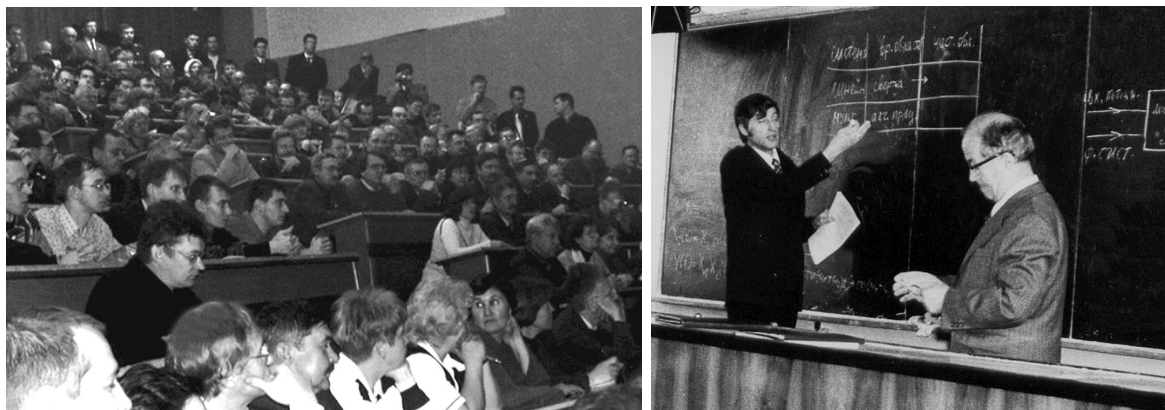


Abbildung 37: Die gemeinsame Vorlesung über zweifach angesteuerte Systeme 1976 in Novosibirsk zeigte großes Interesse bei Studenten und Mitarbeitern

oder Konzerte des Konservatoriums hier in Novosibirsk. 1981 begingen wir den 10. Jahrestag der Zusammenarbeit zwischen der Universität Rostock und dem Novosibirischen Elektrotechnischen Institut. In der Forschung konnten wir erste Erfolge auf dem Gebiet der Bearbeitung von Hydroortungssignalen, insbesondere nach der Cepstrumanalyse, sowie der Analyse und Synthese der Hydroortungssysteme verzeichnen. Viele gemeinsame Veröffentlichungen entstanden in diesen Jahren. Die schöpferischste Phase unserer Zusammenarbeit fällt in die 80er und 90er Jahre. Gegenseitige Besuche, der Austausch wissenschaftlich-technischer Informationen und Literatur, gemeinsame Publikationen und Konferenzen und nicht zuletzt der Austausch von Mitarbeitern prägen diese Zeit. Die späteren Professoren Werner Barnick, Gert Wendt, Erika Müller sowie Dr. Hans-Dietrich Melzer und die Studenten Fröhlich und Richter waren an unserem Institut. Im Gegenzug besuchten G. Kablov und W. Popov die Universität Rostock. Als Anerkennung der langjährigen Verdienste Prof. Langes auf dem Gebiet der Entwicklung der modernen Radioelektronik und des Aufbaus der Kooperation unserer Institute verlieh das Komitee der internationalen wissenschaftlichen Konferenz „Die aktuellen Probleme des elektronischen Gerätebaus APEG“ 1994 ihm die Ehrenmitgliedschaft. Auf dieser Konferenz hielt Prof. Lange den Vortrag „Zeitvariante Systeme“. Aufgrund der politischen Umwälzungen wurden die Kontakte Ende der 90er Jahre schwächer. Während dieser Zeit unterstützten Prof. Lange, sein ältester Sohn Heiner sowie die Tochter Ingeborg meine Familie nicht nur moralisch, sondern auch finanziell, wofür ich von Herzen danke. Das letzte Mal traf ich Prof. Lange 1998 in Rahnsdorf bei Berlin. Wir redeten über die Zukunft der Nachrichtentechnik, die Perspektive unserer Verbindungen sowie über unsere Familien. Seine Prognosen waren optimistisch!

In den letzten Jahren konnten die Verbindungen beider Universitäten wieder aktiviert werden. Seit 2000 ist die Schülerin Prof. Langes - Prof. Erika Müller - Mitglied des Internationalen Programmkomitees der Konferenz „APEIE“. Auf dieser Konferenz veröffentlichten seitdem die Mitarbeiter der Universität Rostock H.-J. Lange, E. Müller, T. Strutz, A. Ahrens, C. Lange und M. Krause. Unter Leitung von Prof. Müller absolvierten die Doktoranden W. Nekrassov und W. Bordyugov halbjährige Forschungsaufenthalte an der Universität Rostock. Nach wie vor finden die Bücher Prof. Langes „Korrelationstechnik“, „Signale und Systeme“, „Meßstochastik“, „Störfestigkeit in der Nachrichten- und Messtechnik“ sowie



Abbildung 38: Während meines letzten Treffens mit Franz-Heinrich Lange 1998 in Berlin-Rahnsdorf

„Nachrichtentechnik und Hydroakustik“ Verwendung in der Lehre unserer Fakultät. Ich bin glücklich, den bekannten Wissenschaftler Prof. Franz-Heinrich Lange zum Lehrer und Freund gehabt zu haben. In Erinnerung behalte ich einen herzensguten bemerkenswerten Menschen, seine Frau und seine Kinder.

Wissenschaftliche Kontakte mit Prof. Franz-Heinrich Lange

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Norbert J. Fliege, Mannheim

Lange Zeit bevor ich Prof. Franz-Heinrich Lange persönlich kennen lernte, war mir sein Buch mit dem Titel „Korrelationselektronik“ aus dem Verlag Technik Berlin wohl bekannt. Es gehörte zu den internationalen Standardwerken im Bereich der Systemtheorie und der Digitalen Signalverarbeitung und wurde bei meiner wissenschaftlichen Tätigkeit an der Universität (TH) Karlsruhe und an der Technischen Universität Hamburg-Harburg vielfältig genutzt, ohne dass mir zu jener Zeit Näheres über den Autor bekannt war.

Im März 1987 wurde ich von Wissenschaftlern, die ich auf der „Summer School on Circuit Theory“ in Prag kennen gelernt hatte, zu einem Vortrag auf dem Internationalen Seminar „Informationstechnik“ in Dresden eingeladen. Anlässlich dieses Besuches hatte ich ausführlich Gelegenheit, mich mit Wissenschaftlern aus der DDR zu unterhalten. U. a. lernte ich bei dieser Gelegenheit auch Prof. Franz-Heinrich Lange persönlich kennen. Da wir uns fachlich sehr nahe standen, konnten wir einen interessanten Erfahrungsaustausch führen.

Einige Zeit später sorgte Prof. Lange in Rostock dafür, dass ich zu einem Vortrag auf dem 6. Symposium Maritime Elektronik 1989 nach Rostock eingeladen wurde. Ich hatte zu dieser Zeit einen Lehrstuhl an der Technischen Universität Hamburg-Harburg und fuhr mit dem Auto direkt nach Rostock. Dort wurde ich von verschiedenen Kollegen der Universität Rostock freundlich begrüßt. Ich traf mich auch mit Prof. Lange und diskutierte über das stattfindende Symposium, über die Struktur der Universität Rostock und über die Lehre im Bereich der Technik. Prof. Lange stellte mich verschiedenen Kollegen vor, mit denen ich dann in der Folgezeit intensive Kontakte pflegte. Dieses wurde zur Grundlage für meine besonders guten Beziehungen zur Universität Rostock und zum Aufbau des engen Verhältnisses zwischen der Technischen Universität Hamburg-Harburg und der Universität Rostock nach der Wende. Nach der Wende habe ich den wissenschaftlichen Kontakt mit Prof. Lange fortgeführt. Obwohl er inzwischen über 80 Jahre alt war, hatte er noch großes Interesse an den Wissenschaften und folgte 1992 meiner Einladung nach Hamburg. Dort hielt er im Rahmen eines Seminars des Forschungsschwerpunktes „Informations- und Kommunikationstechnik“ einen Vortrag über die Bedeutung der Kybernetik in der Informationstechnik. Dieser Vortrag wurde von meinen Kollegen, den wissenschaftlichen Mitarbeitern und den Studenten mit großem Interesse aufgenommen, weil die lange und tiefgehende Erfahrung auf

verschiedenen Fachgebieten den Vortrag prägten. Prof. Lange unterbreitete eine wissenschaftliche Welt, die weit über die Grenzen des Lehrstuhls hinausging. Dabei baute er ein Gebäude auf, das die Einordnung der angesprochenen Wissenschaften und die gegenseitigen Beziehungen zueinander widerspiegelte. Die hohe wissenschaftliche Lebenserfahrung klang deutlich aus dem Vortrag heraus. Meine wissenschaftlichen Kontakte mit Prof. Lange haben mich zu der Überzeugung gebracht, einer besonderen wissenschaftlichen Persönlichkeit begegnet zu sein. Er war nicht nur durch die außergewöhnliche Tiefe und Breite seines Wissens und seiner Tätigkeit geprägt, sondern auch durch ein vorbildliches Engagement. Noch lange Zeit nach seiner Emeritierung war er in den Wissenschaften erfolgreich und produktiv tätig. Meine Begegnung mit ihm war für mich etwas Besonderes.

Franz-Heinrich Lange greift ein(1)

Dr.-Ing. Hans-Joachim Bartsch, Rostock

Noch vor meiner Diplomprüfung vermittelte Prof. Dr. Paul Kunze, Direktor des Physikalischen Instituts, dem Wunsch von Prof. Dr. Geertz folgend einen Gesprächstermin mit ihm, dem Direktor des Instituts für Technische Mechanik und damaligem Dekan der Fakultät. Dabei erhielt ich die Zusage, die umfangreichen elektronischen messtechnischen Anlagen und Geräte betreuen und einen entsprechenden Bereich aufbauen zu sollen. Jedoch als ich mich - frisch diplomiert - am 1. März 1958 im Institut für Technische Mechanik meldete, um die abschließenden Verhandlungen zu führen und die Arbeit aufzunehmen, herrschte dort eine ungewöhnliche Situation. Bei einer politischen Auseinandersetzung einer Studentengruppe mit der Partei hatte sich Prof. Dr. Geertz auf die Seite der Studenten gestellt mit der Konsequenz, dass er Hausverbot erhielt - ich kam also auf ein führerloses Schiff. Von meiner offenbar ungesicherten Lage erfuhr Prof. Franz-Heinrich Lange und wandte sich in seiner Eigenschaft als Beauftragter für Forschungsangelegenheiten an Prof. Dr. Kochendörffer, Prorektor für Forschungsangelegenheiten, um - bis zur endgültigen Klärung - wenigstens vorübergehend in seinem Bereich am Thema Phasenpeilung mitarbeiten zu können. Aus „vorübergehend“ wurden fünf Jahre.

Franz-Heinrich Lange greift ein(2)

Die VVB Schiffbau hatte in Rostock primär für die Behandlung technischer Aufgaben Rechen- und Rechentechnik installieren können. Der Leiter des Rechenzentrums, Dr. Hiller, erläuterte 1963 in Abendkursen die Programmierung des bei ihm laufenden Zeiss-Rechen-Automaten ZRA 1. Prof. Lange hatte offenbar von meinem Interesse an dieser Problematik erfahren und wusste zugleich, dass die Universität den Aufbau eines Rechenzentrums mit einem solchen Rechenautomaten plante. Um es kurz zu machen, durch seine Vermittlung wurde ich noch vor der offiziellen Gründung als Programmierer und Technischer Leiter des Rechenzentrums eingestellt.

In diesem Bereich habe ich 1971 eine der Technischen Fakultät vorzulegende Dissertation (Rechnerunterstützte Netzwerkanalyse) erarbeitet, musste aber als Absolvent der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät (Dipl.-Phys.) noch eine Prüfung ablegen, die die Promotion zum Dr.-Ing. gestattete.

Für wiederholt erfahrene Hinweise und Unterstützungen auf meinem Bildungsweg habe ich Prof. Lange sehr viel zu verdanken.

Reminiszenzen an eine gemeinsame Reise in die USA während des „Kalten Krieges“

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Eugen-Georg Woschni, Dresden

Im Jahre 1971 erhielten Prof. Lange und ich eine Einladung zum Besuch einer internationalen Tagung in Honolulu/Hawaii, die im Februar 1972 stattfand. Wir stellten daraufhin einen entsprechenden Antrag bei dem für das Hochschulwesen zuständigen Ministerium in der Hoffnung, dass der Besuch genehmigt werden würde, da die DDR international nicht anerkannt war und daher auch ein politisches Interesse an der Teilnahme von Wissenschaftlern der DDR bestehen sollte.

Unsere Hoffnung ging in Erfüllung. Wir erhielten einen positiven Bescheid und gleichzeitig die Genehmigung, nach Westberlin in die Botschaft der USA zu fahren, um das Einreisevisum abzuholen, das bereits durch das Ministerium beantragt war. In der Botschaft angekommen, wurde ich allein zum Botschafter

gebeten, der mir sagte: „Sie bekommen kein Visum, denn Ihre Behörden wissen genau, dass wir vier Wochen für die Erteilung brauchen und man schickte uns den Antrag erst vor zwei Wochen. Was sagen Sie dazu?“ Mir wurde sofort klar, was geschehen war. Wie im „Kalten Krieg“ üblich, reizte man die andere Seite durch jeweils kleine Stiche; in diesem Fall durch zu spätes Einreichen des Antrags durch unser Ministerium. Von der Antwort auf die Frage 'Was sagen Sie dazu?' hing die Erteilung des Visums ab. Lautete meine Antwort „typisch DDR“, erkannte man meine Einstellung und wir würden das Visum erhalten, anderenfalls nicht. Daher antwortete ich: „Ich sage dasselbe, was Sie auf diese Frage antworten würden, wenn Sie in der DDR leben würden, vielleicht einmal im Leben die Chance hätten, nach Hawaii zu fliegen und der Botschafter Sie fragen würde 'Was sagen Sie dazu?'“. Immer wieder stellte er mir dieselbe Frage und erhielt dieselbe Antwort. Auf meine letzte Frage, ob das Visum noch kommen könne, erhielt ich die Antwort, in Washington sei jetzt Nacht - wieder mit dem Zusatz 'Was sagen Sie dazu?'. Enttäuscht verließen wir die Botschaft und warteten an der Haltestelle auf die Rückfahrt. Da kam eine Dame auf uns zu und bat uns zurück in die Botschaft, wo uns mitgeteilt wurde, dass das Visum erteilt ist. Wir erhielten den von den drei Westalliierten ausgestellten Reisepass mit dem Visum. Dieser Reisepass war erforderlich, da unser Pass nicht anerkannt wurde. Er enthielt als Staatsangehörigkeit den Vermerk „presumed German“. Sofort nach Beendigung der Reise war er in der Personalabteilung abzugeben.

Damit schien die Reise sicher gestellt, zumal wir vorsorglich bereits telefonisch im Zentralen Reisebüro am Straußberger Platz in Berlin Flugkarten bestellt hatten. Doch es traten neue Schwierigkeiten auf, als wir - im Hochgefühl unseres Erfolges in der Botschaft - im Reisebüro eintrafen. Auf unsere Bemerkung, wir wollen die Flugkarten nach Honolulu abholen, erteteten wir schallendes Gelächter. Erst als wir etwas ungehalten wurden, entschuldigte man sich mit 'wir hielten das Ganze für einen Scherz, denn wir haben noch nie eine Flugkarte ausgerechnet nach Honolulu verkauft'. Wir wurden zum Leiter des Büros gebeten, der die Vorbestellung kannte und der nach dem Devisenscheck fragte, der für Flugkarten in das „kapitalistische Ausland“ erforderlich sei. Ich hielt das für kein Problem, da die Reise genehmigt und auch das Ausreisevisum erteilt war. Daher rief ich im Ministerium an und bat um den Devisenscheck. Nach kurzer Pause fragte man mich, ob wir denn ein Einreisevisum erhalten haben. Als ich dies bejahte antwortete man mir, 'damit haben wir doch nicht gerechnet'. Trotzdem kam der Scheck und wir traten am nächsten Morgen die Reise an.

Ich hatte wie immer bei relativ kurzen Reisen nur Handgepäck, während Kollege Lange einen Koffer dabei hatte, weil er glaubte, zusätzlich einen schwarzen Anzug mitnehmen zu müssen. Der Koffer kam nicht an; er war nach Nizza geleitet worden und Kollege Lange konnte ihn nach der Rückreise wieder in Empfang nehmen. Er benötigte den schwarzen Anzug allerdings nicht. Er trug ein mit Papageien bedrucktes Hemd, das die Fuggesellschaft zur Verfügung stellte, und er unterschied sich nicht von den anderen Teilnehmern - auch ich hatte mir ein ähnliches Hemd gekauft.

Die Reise verlief ansonsten ohne Probleme. Wir wunderten uns nur, dass bei uns beiden Nähte an den Jacketts, die im Hotelzimmer hingen, aufgetrennt waren...

Danke für die Grundsteinlegung meines wissenschaftlichen Werdegangs

Prof. Dr.-Ing. habil. Adolf Finger, Dresden

Die wissenschaftliche Ausstrahlung und Reputation von Prof. Franz-Heinrich Lange war auch an der TU Dresden zu bemerken. Sein dreibändiges Lehrwerk „Signale und Systeme“ war für mich eine wichtige Quelle der wissenschaftlichen Bildung. Ich hatte mich als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hochfrequenztechnik an der TU Dresden der Thematik pseudostochastischer Signale gewidmet, was zu den Arbeitsgebieten Korrelationstechnik und Messstochastik von Prof. Lange in direktem Bezug stand. Nach Fertigstellung meiner Dissertation „Ein Beitrag zur Erzeugung diskreter pseudostochastischer Signale“ und der Veröffentlichung einiger Beiträge in den Fachzeitschriften „Nachrichtentechnik“ und „messen-steuern-regeln“ wollte ich eine zusammenfassende weiterführende Arbeit in Form einer Monographie schreiben. Im Verlag Technik wurde von Prof. Lange zusammen mit Prof. Wunsch, Dresden, und Prof. Peschel, Berlin, die Schriftenreihe „Kybernetik/Informationsverarbeitung“ herausgegeben. Ich wandte mich mit einer Konzeption für das Buchprojekt mit dem Titel „Digitale Signalstrukturen in der Informationstechnik“ an Prof. Lange, den ich von seinen Büchern und aus einem früheren Studenten-Praktikum an der Universität Rostock sogar persönlich kannte. Er nahm sich des Vorhabens engagiert an, sparte nicht mit Kritik und gab mir viele konstruktive Hinweise bis zur Fertigstellung des Werkes. Das Buch erschien 1985 im Berliner Verlag Technik und wurde 1:1 in das Programm des westdeutschen R. Oldenbourg Verlages aufgenommen. Es durfte durchaus als Erfolg und Anerkennung gewertet

werden, wenn ein Buch aus der ehemaligen DDR in einem Wissenschaftsverlag der BRD veröffentlicht wurde. Dem Verfasser brachte es darüber hinaus noch einen kleinen Devisenbetrag ein, der zum Einkauf im „Intershop“ berechnete. Das Erscheinen des Buches in der BRD bedeutete später nach der politischen Wende in der DDR einen Zugang zu westdeutschen Wissenschaftlern, insbesondere zu Prof. Hans-Dieter Lüke von der RWTH Aachen und zu Prof. Hermann Rohling von der TU Braunschweig (jetzt Hamburg-Harburg) und deren Anerkennung meiner wissenschaftlichen Arbeit unter schwierigen politischen Bedingungen. Von beiden Kollegen erhielt ich Unterstützung im Rahmen eines Berufungsverfahren auf die Professur „Theoretische Nachrichtentechnik“ an der TU Dresden. Seit der Leitung des Lehrstuhls 1992 war eine erfolgreiche Entwicklung in Lehre und Forschung zu verzeichnen. Es konnten eine Reihe von anspruchsvollen Forschungsprojekten eingeworben werden, auf deren Grundlage die personelle und gerätetechnische Ausstattung des Lehrstuhls einen hervorragenden Stand erreichte. So danke ich heute Prof. Lange für seine damalige Unterstützung bei der „Grundsteinlegung“ meines wissenschaftlichen Werdegangs, der mit der Hochschulerneuerung in Sachsen möglich wurde und mich bis in das Amt des Dekans an der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik von 2003 bis 2006 führte. Die seinerzeit behandelte Thematik erwies sich als wissenschaftlich tragfähig und fruchtbar. Im Teubner Verlag Stuttgart konnte ich 1997 ein erweitertes und überarbeitetes Buch mit dem Titel „Pseudorandom Signalverarbeitung“ in der anerkannten Reihe „Informationstechnik“ (Herausgeber Prof. Norbert Fliege) veröffentlichen. Zusammen mit Prof. Hans-Jürgen Zepernick gelang mit der Thematik zur Theorie und Anwendung pseudostochastischer Signale der Zugang zu einem renommierten internationalen Verlag, da die vier anonymen Gutachter das eingereichte New Book Proposal „Pseudo Random Signal Processing: Theory and Application“ positiv bewertet hatten. Die Aufnahme in der Fachwelt darf als Erfolg betrachtet werden, denn 2007 erschien sogar eine chinesische Ausgabe. Der eigentliche Kern des Werkes geht aber auf mein o. g. Buch im Verlag Technik zurück, worin als erste Literaturzitate die Bücher von Prof. Lange stehen: [1.1 Lange, F.-H.: Signale und Systeme] und [1.2 Lange, F.-H.: Meßstochastik].

Erinnerungen an den Institutsalltag

Prof. Dr.-Ing. habil. Heinrich Krambeer, Wismar

Meinen Arbeitsplatz am Institut hatte ich zusammen mit Jürgen Janson, Helmfried Gurgel und Werner Stammberger - später kam noch Wilfried Wolf dazu - in dem geteilten Seminarraum gegenüber dem Sekretariat und dem Arbeitszimmer Prof. Langes. Da ich zunächst der jüngste Assistent war, hatte ich mit in seine Vorlesungen zu gehen, um die Tafel periodisch abzuwischen, die Vorlesung möglichst mitzuschreiben und ihm anschließend diese Aufzeichnungen auszuhändigen. Es war offensichtlich so, dass ihm beim Vortrag die Einfälle kamen, wie man dieses oder jenes am besten erklären könnte. Es kam ihm vor allem auf das Verständnis und die Zusammenhänge an; Berechnungen gab es auch, sie waren ihm aber weniger wichtig. Er äußerte einmal, man könne auch etwas berechnen, „ohne den Witz der Sache verstanden zu haben“. Es ging ihm darüber hinaus sehr um einheitliche Begriffsbildungen. Anlässlich eines Kolloquiums sagte er z.B., man solle vermeiden, dass „jeder in seiner Geheimsprache vortrage“. Was würde er wohl heute sagen, wenn er die sogenannten „Workshops“ und ähnlich abenteuerlich benannte Veranstaltungen sowie das Aussterben der deutschen Fachbegriffe und Fachzeitschriften erleben müsste. In dieser Zeit waren auch die Bände 2 und 3 seiner Buchreihe „Signale und Systeme“ in Arbeit - nachdem er mit dem so erfolgreichen Band 1 gewissermaßen „Blut geleckt“ hatte. Fast jeden Morgen erschien er mit sieben oder acht Maschine geschriebenen Seiten und Bildern, teils eigenen Skizzen, teils aus Büchern oder Zeitschriften stammend. Dies war von dem jeweils greifbaren Assistenten oder Oberassistenten - und ich war für meine Begriffe damals sehr oft greifbar - zu lesen und an schon vorhandene Abschnitte anzupassen und in die je Band angelegten Ordner mit dem anwachsenden Manuskript einzusortieren, nachdem die Sekretärin Frau Seuchter alles noch einmal in rasender Geschwindigkeit mit rhythmisch an- und abschwellendem Maschinengeklapper (nach welcher Melodie?) abgeschrieben hatte. Auch die Dunkelkammerarbeit für die Bilder - in der fensterlosen Ecke im Erdgeschoss des Seminargebäudes, dem ehemaligen Archiv - war nicht von Pappe. So manches Mal ging ich morgens noch im Dunkeln mit einigen Brotscheiben bewaffnet hinein und kam erst wieder heraus, wenn es draußen bereits wieder dunkel war. Dennoch blieb mir Zeit, etwas auf dem Weg zur eigenen Dissertation zu tun.

Prof. Lange hatte mir zunächst angeraten, mich mit der Geräuschanalyse zur Schadensfrüherkennung an Schiffsdieseln zu beschäftigen. Er hatte den Maschinenmaat mit dem Hörrohr vor Augen, der messtechnisch nachgebildet werden sollte. Vorarbeiten gab es nicht, und es ging nur in Zusammenarbeit mit den Maschinenbauern. Mehrere Monate verbrachte ich mit Messungen im Maschinenlabor und sonstiger

Materialsammlung bis mir klar wurde, dass die Idee zwar gut, aber die kurzfristige Durchführbarkeit angesichts der Anforderungen an die Messtechnik und die Signalverarbeitung doch sehr zu bezweifeln war. Es gab analoge Filterbänke von Brüel & Kjaer und einen riesigen röhrenbestückten Spektrografen aus RFT-Produktion, auch die Darstellung von Amplitudendichten mit Graukeil von Carl Zeiss Jena war möglich. Aber die Verbindung von Rechentechnik und Messtechnik gab es noch nicht. Rechentechnik war damals entweder der tatsächlich schon motorangetriebene Zahnradrechner (zwei dieser Metallklötze gab es meines Wissens im Fachbereich) und der mit Lochkarten zu fütternde ZRA1 im Rechenzentrum der Universität, den ich im Ingenieurpraktikum kennengelernt hatte. Ich brachte trotz aller Bemühungen im Labor bei den Maschinenbauern nichts Reproduzierbares zustande. Wenn jemand die Tür aufmachte, war alles anders als zuvor. Ich war von zu vielen nicht von mir zu beeinflussenden Umständen abhängig, und es gab keinen Schaden an den Motoren, den ich hätte früh erkennen können. Nur zu Forschungszwecken einen Schaden zu veranlassen, ging jedoch auch nicht. Man konnte allerdings die Wirkungen verschiedener Kraftstoffchargen erkennen, die aber dennoch alle als normal einzustufen waren. Inzwischen gibt es übrigens solche Diagnosesysteme für Motoren; sie wurden aber deutlich später entwickelt. Prof. Lange stimmte dann auch zu, als ich ihm vorschlug, meine Diplomarbeit als Ausgangspunkt für die Dissertation zu nehmen und einen Optimalfilter für modulierte hydroakustische Signale aufzubauen. Die damit verbundene vertiefte Beschäftigung mit der Netzwerk- und Systemtheorie kam meinen Neigungen und Möglichkeiten sehr entgegen, die unter dem Einfluss der Mitarbeit an den „Signalen und Systemen“ sich entwickelt und zur Übernahme einer entsprechenden Vorlesung „Netzwerksynthese“ geführt hatten. Ich erhielt dabei auch wesentliche Unterstützung und Anregungen durch Prof. Fritzsche in Dresden, der zu Prof. Lange freundschaftliche Kontakte unterhielt und mich später in meiner Entscheidung, nach Wismar zu gehen, bestärkte.

Das Korridor-Gesetz und hitzige Diskussionen

Prof. Dr.-Ing. Manfred Marrek, Güstrow

Ich erinnere mich sehr gern an die Zeit, in der ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter unter Prof. Lange gearbeitet habe. In meiner Erinnerung stehen sie alle - auch heute noch - wieder vor mir: Prof. Lange, die Herren Doktoren sowie unsere damalige Riege. Wer auf dem Flur zufällig dem Chef in die Arme lief, hatte automatisch einen kleinen Nebenauftrag abzuarbeiten. Man tat es gern. Das verinnerlichte Schmunzeln von Herrn Pätow, später Prof. Pätow - sein Arbeitsplatz befand sich kurzzeitig direkt an der Flurtür - entschlüsselte mir als jungen Eleven dieses ungeschriebene und nie ausgesprochene Korridor-Gesetz. Auch kann ich mich noch sehr gut an die hitzigen Diskussionen über die Existenz einseitiger - also nur positiver - Frequenz-Spektren in unserem Büro erinnern. Die Vorstellung, dass man analytisch durchaus mit komplexen Zeitsignalen arbeiten kann, ein in der modernen Nachrichtenübertragung gängiges Prinzip, war für uns damals doch noch etwas zu abstrakt. Dr. Bening, später Prof. Bening, musste im Auftrag von Prof. Lange schlichten. Gern denke ich an die freundliche Kollegialität zwischen den Mitarbeitern, an die schöpferische Energie, mit der ein jeder an seinem Themenkreis arbeitete. Irgendwie wurde jeder aufgefangen, wenn er einmal vor einem scheinbar unlösbaren Problem stand.

Noch heute im Abstand von nunmehr 40 Jahren empfinde ich diese Schaffensperiode als sehr angenehm und fachlich prägend. Vielleicht war sie aufgrund der Rahmenbedingungen trotz der damaligen begrenzten messtechnischen, simulationstechnischen und experimentellen Möglichkeiten sogar der wertvollste und erinnerungsintensivste Zeitabschnitt meines akademischen Lebens. Irgendwie hat diese Zeit, haben die Herren der damaligen akademischen Führungsebene - ich denke dabei besonders an unseren Chef - die Hochschullehrergeneration, der wir angehörten, wesentlich geformt. Ich bin daher sehr dankbar, dass ich unter Prof. Lange nicht nur studieren und diplomieren konnte, sondern dass er auch Förderer und Betreuer meiner Promotion war.

Danksagung

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Barnick, Berlin

Ein wichtiger Abschnitt in meinem Leben war meine Tätigkeit als Hochschullehrer an der Universität Rostock. Die Entwicklung zum Hochschullehrer verdanke ich meinem hochverehrten Förderer, Herrn Prof. Lange. Ihm verdanke ich viele glückliche Jahre meines Lebens.

1963 bewarb ich mich als Diplom-Ingenieur um eine wissenschaftliche Aspirantur an der Technischen

Fakultät der Universität Rostock im Institut für Hochfrequenztechnik und Fernmeldewesen. Der Institutsdirektor, Prof. Lange, war von meinem selbst gewählten Promotionsthema „Über die Anwendung der Mehrdeutigkeitsfunktion bei der Analyse optimaler Ortungssysteme“ begeistert und übernahm meine Betreuung. Prof. Lange vertrat konsequent die Zielstellung, junge, leistungsorientierte Diplom-Ingenieure in ihrer weiteren akademischen Entwicklung zu fördern. Es ist mir jetzt noch in angenehmer Erinnerung, wie er zu einem seiner damaligen Oberassistenten, der sich ablehnend zu dem hohen Abstraktionsgrad meines Promotionsthemas äußerte: „Sie sollten zufrieden sein, dass endlich jemand bereit ist, die Ortungsproblematik vom Standpunkt der hohen Theorie zu bearbeiten.“. Meine Promotion schloss ich 1967 mit „magna cum laude“ erfolgreich ab und wirkte weiterhin als Doktor-Ingenieur am Institut meines Doktorvaters. Ich bin jetzt noch stolz auf die Fotos, die anlässlich der Verleihung meiner Promotionsurkunde durch Prof. Lange angefertigt wurden, denn sie zeigen den glücklichen Doktor und seinen sehr zufriedenen Doktorvater. Prof. Lange legte sehr großen Wert auf die Absicherung der erarbeiteten Ergebnisse durch eine Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen. Deshalb war ein weiterer Gutachter meiner Arbeit der polnische Wissenschaftler Prof. Seidler vom Polytechnikum Gdansk.

Eine sehr lehrreiche Zeit für mich war die Tätigkeit, die ich nebenamtlich als Wissenschaftlicher Sekretär bei ihm als damaligen Dekan der Technischen Fakultät leistete. Während dieser Zeit, die geprägt war

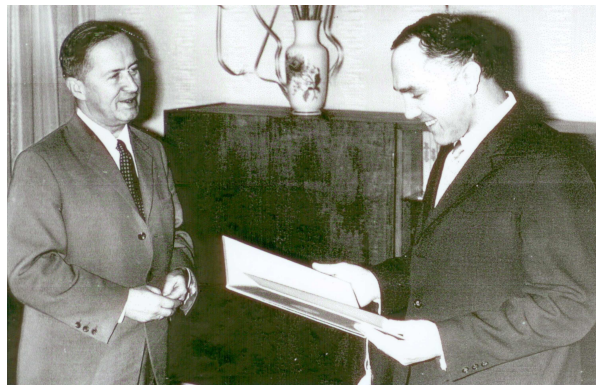


Abbildung 39: Übergabe der Promotions-Urkunde durch Prof. Lange, Dekan der Technischen Fakultät, an den 50. Doktor der Technischen Fakultät und wissenschaftlichen Sekretär Werner Barnick 1967

durch gravierende strukturelle Veränderungen, schenkte mir Prof. Lange volles Vertrauen und betraute mich mit wichtigen Aufgaben. 1970 wurde ich zum Hochschuldozenten für Informationstechnik (Stochastik) an der Universität berufen und wirkte somit auch lehrmäßig am Institut. 1982 erwarb ich den akademischen Grad Doktor der Wissenschaften (Dr. sc. techn.) für eine mit Prof. Wendt erarbeitete gemeinschaftliche Dissertation „Probleme der Hydroakustischen Ortung“. Doktorvater und Gutachter war Prof. Lange. Ein weiterer Gutachter war Prof. Wiegmann von der Technischen Universität Dresden. Ich bin mir sicher, dass meine spätere Wirksamkeit in der Lehre und Forschung immer auch im Sinne von Prof. Lange war. Er bestärkte mich besonders als Forschungsgruppenleiter, die von mir vertretene Strategie, die Entwicklung einer leistungsfähigen Hydroortungsanlage für die Meeresbodenerkundung auf der Grundlage theoretischer Problemstellungen, als langfristige Vertragsforschung zu betreiben. Mit Hochachtung gedenke ich dem Einsatz von Prof. Lange gegen meine Entlassung aus der Universität im Jahre 1993. Ein Schreiben an den ehemaligen Rektor wurde von diesem an das Kultusministerium weitergeleitet, ohne eine Änderung zu erzielen.

Wofür stehen Franz-Heinrichs Ideen heute bei mir?

Dr.-Ing. Eckhard F. Fahrur, Kiel

Es sei mir verziehen, in der Überschrift Herrn Prof. Lange so respektlos zu nennen, aber in all den Jahren, in denen ich in der Nähe von Prof. Lange gelernt, gearbeitet und gelebt habe, sprachen wir immer nur von Franz-Heinrich, wenn wir ihn meinten.

Ich habe bei Prof. Lange weder meine Diplomarbeit geschrieben, noch war er mein Doktorvater oder

Chef. Er war bereits emeritiert als ich am damaligen Wissenschaftsbereich Informationstechnik als Assistent arbeitete; aber ich war sein Student, habe seine „Einmischung“ in die Messzyklen und -auswertungen während der Arbeiten an meiner Diplomarbeit in bleibender Erinnerung und vor allem sein Interesse an den Ereignissen, die er oft nur im Vorbeigehen registrierte und im selben Augenblick eine Idee entwickelte, die man selten gleich verinnerlichte. Später hatte ich das Glück, ihm als Hilfskraft während seiner Vorlesungen und Vorträge als Emeritus an der Sektion Technische Elektronik an die Seite gestellt zu werden, sodass ich nahezu alle seine „Altersvorträge“ in unserem Hause gehört habe. Selber nicht mehr ganz jung und unerfahren schätzte ich immer seine Gedanken und Ansichten, die er in seine fachlichen Ausführungen einflocht und die auf mich oft wirkten, wie zufällig eingefallen und in den Raum gestellt, aber dennoch mit der Sache verbunden zu sein schienen. Selber ein Mann der klaren und präzisen Darstellungen - möglichst in mathematischer Form - war er sich bewusst, dass er zukünftige Ingenieure ausbildet - zwar mit universitärem Background - aber Ingenieure! Ich erinnere mich gut seiner häufigen Umschreibungen - die er gern in Vorworten seiner Bücher benutzte - dass je schärfer der mathematische Aussagewert einer Sache ist, je unschärfer der technische Aussagewert ist und umgekehrt. Nicht selten brachte er - noch aktiv lehrend - auf seiner Schreibmaschine erstellte Einzelblätter mit in die Vorlesung zum Verteilen. Inhalte, die sich mir und vielen meiner Kommilitonen erst in späteren Übungen und Seminaren, denen er selber häufig beiwohnte, erschlossen. Neben den fachlichen Dingen enthielten sie immer eine übergeordnete Ansicht zu fachspezifischen Dingen oder ein philosophisches Zitat. Mit den Inhalten war er schon Anfang der 70er Jahre bemüht, uns zukünftige Ingenieure darauf vorzubereiten, uns in unseren Studien nicht zu sehr mit den technischen Beschreibungen und den Innenlebensdetails technischer Ausführungen zu befassen. Begründet durch das schnelle Fortschreiten der Technik ermutigte er uns, uns einen Überblick über die Methoden und Beschreibungsverfahren zu verschaffen und Ihre Handhabungen zu erlernen, um als künftige Ingenieure und Konstrukteure die übergeordneten Zusammenhänge zu erfassen, denn nur so sind Wege für neue Lösungen zu finden. Dieses zusammenhängende Begreifen betitelte er in Vorlesungen oft mit den Worten „den Witz der Sache verstehen“ und endete gern mit der Bemerkung „aber irgendwann darf die Beschreibung von technischen Anlagen und Geräten nicht ganz wegfallen“. Nicht unschwierig zu verstehen war es für uns, wenn Prof. Lange in seinen Vorlesungen zur Informationstechnik auch klassische Nachrichtensysteme, die längst ihren Platz in der beschreibenden Fachliteratur hatten, konsequent in offene und geschlossene Systeme - einer Einteilung aus der Regelungstechnik/-theorie folgend - trennte und damit verallgemeinerbare Beschreibungsmethoden bekannter Regelungssysteme einführen konnte. Bereits in seinen Büchern Anfang der 70er Jahre empfahl er, Logik-Schaltungen mit Methoden der mehrfach ausgesteuerten Systeme zu bearbeiten, um die aufstrebende Digitaltechnik nicht als losgelöstes Sondergebiet entstehen zu lassen - heute geübte Praxis.

In Erinnerung ist mir eine Gastvorlesung Prof. Langes Ende der 80er Jahre an der Sektion Technische Elektronik für Studenten der Vertiefungsrichtung Informationstechnik. Einige Studenten stellten häufig Fragen zu speziellen technischen Ausführungsformen dargestellter informationstheoretischer Zusammenhänge. Prof. Lange wollte oder konnte darauf nicht antworten, statt dessen beschrieb er eine patenttechnische Lösung, die seinerzeit als epochal galt, sich aber nicht durchgesetzt hatte, da sie Übergänge zu den wichtigen technischen Randgebieten nicht beachtete. Beim Verlassen des Hörsaals sagte Prof. Lange dann zu mir: „Ja, so kann man es auch machen und heute würde ich sagen, auch alte Uhren messen neue Zeit.“

Dankbar und dennoch erstaunt blicke ich auf ein Entwicklungsprojekt aus der Meeresforschung in den Jahren 1996/97 an der Universität Athen - an der ich länger tätig war - zurück. Wir entwickelten ein Dämpfungsmesssystem, das auf Ideen von Prof. Lange - meinem hochverehrten Hochschullehrer - beruht, die er in seinen letzten veröffentlichten Arbeiten über Messstochastik formulierte und mit prinzipiellen Lösungsmethoden versah. Nach seiner Vorgehensweise erfasste dieses Messgerät die Abweichung des Dämpfungskoeffizienten durch Änderung an den Grenzflächen - geeignet für Messungen in mehreren tausend Metern Wassertiefe. Dabei wurde nicht versucht, immer genauer den Punkt des wahren Messwertes zu ermitteln, sondern stets um den wahren Wert „herum“ zu messen und mit statistischen Auswertungsverfahren dem wahren Wert näher zu kommen als alle hochgenauen Messgeräte dieser Kategorie.

Heute, selbst oft im Vorlesungssaal stehend, versuche ich, den verallgemeinerbaren Bogen technischer Zusammenhänge, mathematischer Präzision und philosophischer Grundgedanken - wie ich hoffe - im Langeschen Sinne zu spannen, denn diese Vorgehensweise für wissenschaftlich-technische Lösungen ist aus vielen Jahren meiner Tätigkeit an der Universität Rostock im Wirkungsbereich und -umfeld von Prof. Lange prägend in mir geblieben.

Sein Herangehen - ein Vorbild bis heute

Prof. Dr. G. Wendt, Rostock

Prof. Lange ist für mich schon während meiner Studienzeit und später als Aspirant, wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent am Institut zu einem großen Vorbild geworden. Besonders beeindruckt hat mich, dass er ständig und mit großen Elan neue Ideen entwickelte und sie durchzusetzen vermochte. Die vom ihm praktizierte Methode, die Leistungsfähigkeit eines Systems immer im Zusammenwirken aller seiner Komponenten zu betrachten, hat mir später sehr oft bei der Lösung wissenschaftlicher und technischer Problemstellungen sowie in der Lehre geholfen. Sein Herangehen, auch Lösungsansätze aus anderen Wissensgebieten zu analysieren und zu systematisieren und auf die eigenen Aufgabenstellungen zu übertragen, war Teil seines großen wissenschaftlichen Erfolges und seiner internationalen Anerkennung. Trotzdem hat er nie den Sinn des Lebens in der wissenschaftlichen Arbeit allein gesehen. Die schönen Weihnachtsfeiern bei ihm zu Hause unter der Obhut von Frau Lange und lustigen Institutsausflüge mit allen Mitarbeitern und Angehörigen sind mir und meiner Familie noch in sehr angenehmer Erinnerung. Gerade deshalb war Prof. Lange sicherlich in seinen Ansichten und seiner Lebensweise manchen seiner Zeitgenossen weit voraus.

Prof. Franz-Heinrich Lange - auch ein Bergsteiger

nach Aufzeichnungen des damaligen Leiters der Sektion Wandern und Bergsteigen, Dr.-Ing. habil. Klaus Wagner, Rostock, sowie biografischen Aufzeichnungen Franz-Heinrich Langes

Eine Leidenschaft Franz-Heinrich Langes war die Kletterei. 1932 als Student fuhr er gemeinsam mit einem älteren Kommilitonen in die Sächsische Schweiz zum Felsklettern. Als Turner fiel ihm die Kaminkletterei nicht schwer. Beeindruckend war für ihn die luftige Höhe und er „verfiel in diesem letzten Studentensommer völlig diesem Sport“. Rückblickend erinnerte er sich weiter: „...dieser Klettersommer blieb als schöne Erinnerung erhalten. Leider kam ich dann für Jahrzehnte von Dresden fort und wohnte so weit vom Elbsandsteingebirge entfernt, dass nur noch ab und zu ein paar Klettertouren in den nächsten Jahren zustande kamen. Der Klettersport war daher für mich stets nur eine Art Volkssport

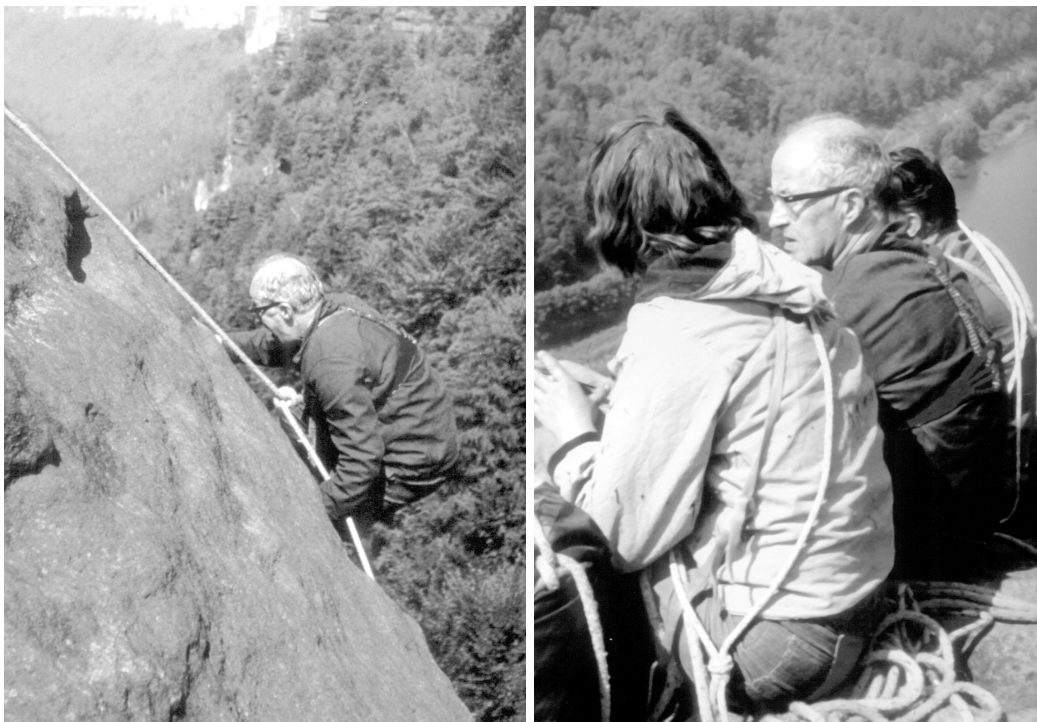


Abbildung 40: Besteigung des Elbtalturms im Schmilkaer Klettergebiet über die Variante zum Alten Weg, Schwierigkeit IV, am 7. August 1980

und kein Leistungssport. Ich habe ihn deshalb so geschätzt, weil man dabei gestig völlig abschaltet vom Alltag und nervlich erholt, wenn auch totmüde, nach Hause zurückkehrt.“

Im Alter von über 50 Jahren wurde Franz-Heinrich Lange Mitglied an der Sektion Wandern und Bergsteigen der Universität Rostock und widmete sich fortan erneut seiner Leidenschaft. Seine erste Klettertour mit der Bergsteiger-Gruppe führte ihn am 7. Oktober 1961 über den Alten Weg auf den Amboss im Elbsandsteingebirge der Sächsischen Schweiz (Schwierigkeit IV). Was ihn am Bersteigen so faszinierte, war die totale Konzentration auf die Sache an sich. Im Gegensatz zum Laufen oder Wandern, wo die Gedanken sich durchaus noch mit anderen Problemen beschäftigen, verlangte dieser Sport, mit 100% dabei zu sein. Für seine sportlichen Aktivitäten erhielt er die Ehrennadel der Hochschulsportgemeinschaft der Universität in Silber und das Bergsteigerwanderabzeichen des Wanderer- und Bergsteigerverbandes der DDR in Bronze. Eines seiner Gedichte, enthalten in der Festschrift zum 20-jährigen Bestehen der Sektion Wandern und Bergsteigen der Hochschulsportgemeinschaft der Universität Rostock 1976, zeigt deutlich seine Affinität sowie seinen sportlichen Ehrgeiz:

Sport im Alter

*Ein Mensch, im Sport nicht sehr erfahren,
steigt schnell im Wert mit seinen Jahren,
wenn seine Leistung - zeitkonstant,
auch weiter noch Verwendung fand.*

*Denn wer die Klasse H6 erreicht,
hat es im Wettkampf dann sehr leicht,
der Solostart und etwas Schweiß
führt garantiert zum ersten Preis.*

*Drum liebe Jugend, gebt nie auf,
lang ist doch Euer Lebenslauf!
Ist heut' die Konkurrenz noch groß,
Ihr werdet alle sie noch los.*

*Denn rings herum, da baut man ab,
dann wird man fett und wird auch schlapp!
Bewahrt im Alter Kondition!
Bleibt nur gesund, es lohnt sich schon.*

F.-H. Lange

Am 5. Oktober 1980 - fast 71-jährig - unternahm er seine letzte Klettertour auf den Köhler des Elbsandsteingebirges über die Westkante.

5 Wissenschaftliche Beiträge der Doktoranden und Habilitanden

Dissertation Heinrich Albrecht, 1963

Anwendung von Negativwiderständen zur Korrektur von Messwandlern bei der Messung nichtelektrischer Größen

Im ersten Teil der Arbeit wurden prinzipielle physikalische Eigenschaften negativer Widerstände dargestellt. Anhand der Strom-Spannungskennlinien kann man leerlaufstabile und kurzschlussstabile Typen unterscheiden. Negativwiderstände lassen sich mit verschiedenen Schaltungen realisieren, für die o. g. Anwendung kamen nur gleichspannungsgekoppelte Schaltungen infrage, deren Frequenzgang bei $f = 0$ beginnt, hier zweckmäßig transistorisierte Konverterschaltungen. Ein Konverter-Vierpol übersetzte die Impedanz an seinen Ausgangsklemmen mit einem Faktor $-k$ an die Eingangsklemmen. Die dazu notwendigen Vierpolparameter und Stabilitätsbedingungen wurden hergeleitet. Ausgehend von diesen Grundlagen wurden mehrere Transistorschaltungen dimensioniert und diskutiert. Die Analyse mit Vierpol-Kettenparametern erwies sich als vorteilhaft. Ein aufgebaute Konverter mit komplementären Transistoren zeigte - entsprechend dimensioniert - einen reellen negativen Eingangswiderstand von $R = -3500 \Omega$ im Frequenzbereich von $f = 0$ bis $f \approx 100 \text{ kHz}$.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden Anwendungen von Negativwiderständen in der Messelektronik untersucht, z. B. für Verlustkompensation bei elektroakustischen Wandlern, Erhöhung der Empfindlichkeit von Brückenschaltungen und Korrektur der Zeitkonstanten von Temperaturwandlern. Im letzteren Fall wurde ein Korrektornetzwerk entworfen, das zum Temperaturwandler den inversen Frequenzgang aufweist. Eine Realisierung mit passiven Bauelementen würde zwangsläufig eine Dämpfung mit sich bringen. Unter Benutzung eines Negativwiderstandes blieb der resultierende Übertragungsfaktor in einem weiten f -Bereich konstant. Eine Schaltung mit dem o. g. Konverter wurde experimentell untersucht (Sprungreaktion) und eine gute Übereinstimmung von Theorie und Schaltungstechnik mit den experimentellen Ergebnissen vorgestellt.

Dissertation Wolfgang Müller (†), 1964

Ein Beitrag zur Theorie und Anwendung des Analogiemultiplikators als Signalwandler für statistische Testsignale

Dissertation Fritz Bening, 1964

Negative Impedanzen: Realisierung und Anwendung zur Verbesserung des Frequenzganges elektrischer Wandler

Habilitation Fritz Bening, 1969

Theorie und Anwendung negativer Impedanzen

Dissertation Dieter Troppens, 1965

Untersuchung der Ausbreitung von Funkstörungen in Schiffsanlagen und der dadurch bedingten Maßnahmen zur Funkentstörung

Nach Abschluss hauptsächlich experimenteller Untersuchungen zu den Problemen der Funkstörungen auf Schiffen, ausgehend vom Stand der Erkenntnisse zum Beherrschen in Anlagen an Land, wurden in der Dissertation die Besonderheiten der Ausbreitung auch hier nicht vermeidbarer Funkstörungen bis zu den Funkempfangsanlagen mit theoretisch begründbaren Modellen dargestellt. Es sollten die praktisch erreichbaren Dämpfungen der elektromagnetischen Felder der Störungen besonders um Starkstromleitungen abgeschätzt werden. Ein Ansatz hierbei war die Berechnung der Entkopplung zwischen den die Störungen führenden Leitungen und den Antennen als Leitung über dem Schiff. Gemäß der damals gängigen Definition der Funkstörung und den am häufigsten genutzten Funksignalen für die Nachrichtenfernübertragung im Frequenzbereich 0,1 bis 30 MHz wurde der Frequenzbereich dementsprechend

eingeschränkt. Mit idealisierten Anordnungen von Leitungen mit und ohne Abschirmungen, verlegt auf metallischen Schiffskonstruktionen auf Deck bzw. in weitgehend mit metallischen Wänden eingeschlossenen Räumen, ähnlich einem Faradayschen Käfig, wurden die Dämpfungen bzw. Entkopplungen berechnet und den Messergebnissen auf damals typischen Schiffen gegenübergestellt. Es wurden aus den Untersuchungen Empfehlungen für die Ausführung der elektrischen Anlagen (Kabel und Verbindungen der Schirmungen an Geräten, Schaltern, Verteilungen) auf und unter Deck vorgeschlagen, um den weitgehend ungestörten Funkempfang mit den damals gängigen Ausführungen der Empfangsanlagen zu gewährleisten.

Mit der entwickelten Methode wurde ein Beitrag geleistet, Probleme auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) quantitativ abzuschätzen und zu beherrschen. Zur elektromagnetischen Verträglichkeit wurden in einer weiteren Dissertation von Otto Pulow später Untersuchungen für die Entkopplung von Automatisierungsanlagen auch bei Verwendung qualitativ anderer Nutzsignale, z. B. in anderen Frequenzbereichen, begonnen. Andererseits haben die Untersuchungen der Störungsprobleme und der Vermeidung im Interesse der Sicherheit zu anderen Methoden der Störunterdrückung bei der Nachrichtenübertragung geführt, die Prof. Lange angeregt, selbst bearbeitet hat bzw. weitere Doktoranden unter seiner Anleitung zum Arbeitsgegenstand wählten. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zu Fragen der Belastung der Menschen besonders in Funkräumen durch die bordeigenen Sendeanlagen begonnen. Messgeräte dazu mussten entwickelt werden.

Prof. Lange und Prof. Pöhl, der Initiator der Fachrichtung Landtechnik an der Technischen Fakultät, erkannten, dass die experimentelle Forschung und Entwicklung moderner Technik für eine Landwirtschaft großer Flächen und Produktionsanlagen notwendig wurde. Deshalb vereinbarten sie, dass ich auf dem Gebiet der Messtechnik dort zum Einsatz komme. Zunächst war an den Aufbau einer Abteilung Messtechnik als Praxiseinsatz gedacht. Gleichzeitig konnte ich meine Ausbildung bei Prof. Lange als wissenschaftlicher Assistent in der Lehrtätigkeit und bei der Erarbeitung der Lehrbuchreihe „Signale und Systeme“ nutzen, eine Vorlesung für die Grundlagenausbildung im Maschinenbau (Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen) sowie die BMSR-Technik für landwirtschaftliche Einsatzbedingungen aufzubauen. Die erhaltenen Voraussetzungen und die ständige Weiterbildung führten später zu einer Berufung als Hochschuldozent. In meiner Habilitation auf dem sich neu entwickelten Gebiet der Technischen Diagnostik konnten die Erkenntnisse aus der modernen Informationstheorie eingearbeitet werden, die die Voraussetzung für das heutige Condition Monitoring darstellten. Innerhalb der landtechnischen Forschungsarbeiten regten meine Hinweise ein verstärktes Nutzen der Systemtheorie zur besseren Durchdringung der Probleme, besonders der dynamischen Abläufe sowie der Steuerung und Regelung, an. Der Zusammenhang zwischen dem Systemverhalten von aufgeladenen Dieselmotoren mit Rückkopplungen über die mechanischen Regler und den Turbolader bei Nutzung dynamischer Vorgänge für die Zustandseinschätzung mittels Diagnose wurde in einer von mir betreuten Dissertation erfolgreich zur Anwendung gebracht. Fehlende Sensoren für moderne Messverfahren und die anschließende Signalaufbereitung und -verarbeitung wurden entwickelt und zur Anwendung in der Landtechnik überführt.

Ähnlich den Erkenntnissen meines Lehrers Prof. Lange zur engen Verknüpfung von Theorie und praktischer Anwendung wurde der Grundsatz von D. I. Mendelejew ein bedeutsames wichtiges Prinzip für mein Arbeiten: „Wissenschaft wird begonnen, wo man anfängt zu messen“.

Dissertation Herbert Strickert, 1967

Zum dynamischen Verhalten von Hitzdrähten und Hitzfilmen im Konstant-Strom- und im Konstant-Temperatur-Betrieb

Habilitation Herbert Strickert, 1972

Fehleranalyse und Fehlerkorrektur in der Hitzdraht-Messtechnik

Dissertation Eberhardt Lessig, 1967

Ein neuartiges Verfahren zur Erhöhung der Richtwirkung von Sonarsystemen

Dissertation Werner Barnick, 1967

Über die Anwendung der Mehrdeutigkeitsfunktion bei der Analyse optimaler Ortungssysteme

Dissertation Günther Schommartz, 1967

Messtechnische Probleme der induktiven Strömungsgeschwindigkeitsmessung

Anlass der Arbeit war, das in der Schifffahrt vorherrschende Staudruck-Log zur Fahrtmessung durch ein elektrisches Log auf der Grundlage der induktiven Strömungsmessung abzulösen. Der schon in der Verfahrenstechnik eingeführte und bewährte induktive Durchflussmesser war dafür nicht geeignet; theoretische und experimentelle Untersuchungen über die alternative Variante eines stabförmigen, ins Medium eintauchenden induktiven Vorbeiflussmessers lagen nicht vor und wurden zu einem Gegenstand der Arbeit. Wesentlich war die Erkenntnis, dass die Messspannung vom Sinus der Anströmrichtung gegen die Elektrodenverbindungsline abhängt, unabhängig vom Umströmungsprofil - eine ideale Voraussetzung für einen Zwei-Komponenten-Strömungsmesser.

Einen weiteren Aspekt der Arbeit betraf die Messelektronik, verwendbar für beide Typen und realisiert in der damals neuartigen Schaltungstechnik mit Flächentransformatoren. Waren für induktive Durchflussmesser vorwiegend Spannungskompensatoren im Einsatz, so befasst sich die Arbeit mit der direkten Spannungsmessung, unterteilt in Differenzverstärker als Eingangsstufe und abgesetztem Messverstärker. Speziell wurde eine Differenzverstärkerschaltung entwickelt, um den typischen Anforderungen der induktiven Strömungsmessung zu entsprechen: hochohmiger symmetrischer Eingang (Anpassung an die Symmetrie des Elektrodensignals), ausreichende Gegentaktverstärkung (Gewinn an Störabstand), effiziente Gleichtaktunterdrückung (Reduzierung der transformatorischen Störspannung) und unsymmetrischer Ausgang (Anpassung an geerdete und geschirmte Messkabel).

Habilitation, Günther Schommartz, 1974

Induktive Strömungsmessung

Die Arbeit widerspiegelt den seinerzeitigen Stand der Theorie und Technik der induktiven Strömungsmessung am Beispiel des Durchflussmessers und des Vorbeiflussmessers kreisförmiger Querschnitte als Prototypen dieser Geräteklasse. Ausgehend von den Grundgleichungen der Elektrodynamik (Maxwell) und Hydrodynamik (Navier-Stokes) werden die messtechnischen Eigenschaften beider Typen aus der Lösung der Integralgleichung

$$U = \int \int \int [W, v, B] dx dy dz$$

abgeleitet. Dieser Ansatz bietet die Voraussetzung, die Einflüsse von Inhomogenitäten des Strömungs- und Magnetfeldes (v, B) systematisch zu analysieren. Der Wertigkeitsfaktor W - als Gradient der Greenschen Funktion, die sich aus der Kontur der Berandung des Integrationsraumes ergibt - beschreibt die Verteilungsdichte der im Strömungsgebiet induzierten Urspannungen. Er beeinflusst, inwieweit man durch ein gezielt inhomogenes Magnetfeld Inhomogenitäten typischer Spannungszustände kompensieren kann. Eine Ideallösung gibt es nicht, jedoch lassen sich Einflussfaktoren ermitteln, die die Messempfindlichkeit herabsetzen (wie schon in der Dissertation behandelt) und deshalb als Fehlerquellen einzustufen sind. Ausführlich setzt sich die Arbeit mit den Ursachen von Störungen auseinander, die zu Messfehlern führen. Neben der eben erwähnten Ursache gehören dazu die elektrischen Eigenschaften des Messrohres und des Messgutes (sie bestimmen die Messspannung an den Elektroden nach Betrag und Phase und beschränken somit den Frequenzbereich des Strömungsmessers), die Eingangsimpedanz von Messverstärker mit Messkabel, intern und extern generierte Störspannungen an den Elektroden sowie instabiler Magnetisierungsstrom. Die Auswirkungen dieser Störungen werden behandelt und schaltungstechnische als auch konstruktive Lösungen zu deren Reduzierung beschrieben.

Die Vielfalt der wissenschaftlichen und technischen Teildisziplinen, die zur Bearbeitung dieses speziellen Gegenstandes benötigt wurden, war für mich ein „Lehrstück“. Einerseits fand ich deren Grundlagen an Prof. Langes Institut in Lehrveranstaltungen sowie im Wissen und Können der Kollegen vorhanden, andererseits erwarb ich durch die Arbeiten ein Maß an Erfahrungen, die meinem späteren Fachgebiet

„Elektrische Messtechnik nichtelektrischer Größen“ zugute kamen.

Die im Funkwerk Köpenick begonnene Entwicklung eines E-Log genannten Fahrtmessers für Schiffe wurden durch Teilergebnisse aus der Dissertation gestützt. Zum praktischen Einsatz kam die Entwicklung nicht. Auch ein späterer Anlauf des VEB Schiffselektronik Rostock zur Entwicklung eines E-Logs für ein Schnellboot der Marine wurde zugunsten Polens abgebrochen. Hintergrund waren RGW-Abstimmungen, das Ressort Schiffselektronik dort zu konzentrieren. Als erfolgreich erwies sich eine „unplanmäßige“ Entwicklung eines induktiven Strömungsmessers zum Einsatz in der Brandungszone der Küste. Vier Studenten betrieben die Entwicklung bis zum praktischen Einsatz eines Prototypen für die Wasserwirtschafts-direktion Warnemünde. Diese legte eine Kleinstserie auf, einschließlich Messstationen in Warnemünde, Zingst, Koserow sowie am Oberlauf der Warnow. Nach der Wende nahm sich Dr. Schlüter - einer der vier Studenten - dieser Technik an, vervollständigte das Gerät um weitere Sensoren, erstellte mit der Wasserwirtschafts-direktion 1990 im Amt für Umwelt Rostock ein Küstennetz und vertreibt weltweit unterschiedlich modifizierte Geräte. Als eine Vorarbeit für diese Entwicklung ist die Dissertation von Dr. Jürgen Lübcke „Induktive Strömungsmessung mit speziellen flachen Messsonden“ des Jahres 1973 anzusehen. Eine eigenständige Dissertation ist die von Dr. Michael Zecha „Möglichkeiten der kontaktlosen elektrodynamischen Strömungsgeschwindigkeitsmessung“ des Jahres 1972, die vom VEB Schiffselektronik Rostock als Alternative zur elektrodenbehafteten elektromagnetischen Bodensonde für eine Verwendung als Fahrtmesser für Schiffe angeregt wurde. Dr. Albrecht war zu der Zeit bei Schiffselektronik tätig.

Abgesehen von einer Studie „Induktiver Kunststoffdruckflussmesser“ für ein württembergisches Unternehmen 1992/93 habe ich mich mit diesem Thema nicht mehr befasst, da schon während der Habilarbeit andere Aufgaben, wie der automatische Fischfang, die Hydroortung sowie Marineforschung anstanden, die alle in das Lehrfach „Elektrische Messtechnik nichtelektrischer Größen“, dem Kern meiner Tätigkeit als Hochschullehrer, einzuordnen waren.

Dissertation Werner Stammler, 1968

Phasenumempfindlicher Kreuzkorrelator zur Störabstandsverbesserung bei hydroakustischen Impulsortungsanlagen

Bei der in den 60er Jahren mit modernen hydroakustischen Fischortungsanlagen ausgerüsteten Fangflotte der DDR traten Informations- und somit Fangverluste durch z. T. fehldimensionierte Empfangsgeräte auf, bei denen die statistischen und dynamischen Eigenschaften fischereitypischer Echosignale ungenügend berücksichtigt worden waren. Ziel der Arbeit war die Entwicklung eines auf der Korrelations-theorie und -technik basierenden Verfahrens, mit dem bei bereits installierten Echografen die stochastische Struktur der fischereispezifischen Echosignale untersucht und ein Verfahren entwickelt werden sollte, mit dessen Hilfe eine optimale Anpassung Signal - Ortungsanlage und somit eine Störabstandsverbesserung erzielt werden konnte, was wiederum zu Reichweitenerhöhungen um 30 bis 40% und dadurch zur Fangsteigerung beitrug. Dieses Ziel wurde durch einen Korrelator erreicht, der unabhängig von den statistischen Phaseneigenschaften der Echosignale von Fischschwärmen, großen Einzelfischen und vom Grundecho eine optimale Auswertung der Anzeige auf Echograf und Monitor (Fischlupe) möglich machte. Bei einer Gruppe von auf der Volkswerft Stralsund gebauten Trawlern wurden diese Korrelatoren installiert, bis die Fischortungsanlagen durch modernere, von der Industrie signaltechnisch optimierte Empfangsanlagen ersetzt wurden.

Auch nach meinem Weggang von der Uni Rostock blieb ich sowohl in der Lehre mit Vorlesungen zur „Schaltungstechnik“, „Informationstheorie“, „Grundlagen der Nachrichtentechnik“ und „Bauelemente und Schaltungen der Hochfrequenztechnik“ als auch in der Forschung auf den mir vorgezeichneten Wegen. An der Ingenieurhochschule und späteren Technischen Hochschule Wismar war mein Hauptforschungsgegenstand neben der Empfindlichkeitsanalyse zur Fehlerortung in analogen Schaltungen das Großprojekt des VE Kombines Seeverkehr und Hafengewirtschaft, die Automatisierung des Containerumschlags im Überseehafen Rostock. Ich war als Teilthemenleiter verantwortlich für die störungsfreie drahtlose Kopplung zwischen dem Zentralcomputer des Hafens und den Rechnern in den Kranführerkabinen sowie für die exakte Positionierung der Container mit Hilfe von Induktionsschleifen. Neben einer Reihe von Veröffentlichungen und Patenten aus der Forschungsgruppe und einem erfolgreich verteidigten Abschlussbereich entstand auf dem Containerumschlagplatz eine komplette einsatzfähige Anlage. Eine Fortführung der auftragsgebundenen Forschung zur drahtlosen Identifizierung der Containerdaten sowie

eine Übernahme des Gesamtkonzepts für Containerumschlagplätze der Deutschen Reichsbahn sowie der Sowjetischen Staatsbahn sollten folgen. Bis Anfang 1990 war die Anlage auf dem Containerumschlagplatz im Überseehafen Rostock installiert, erfolgreich erprobt und vom Auftragnehmer abgenommen. Die Ergebnisse führten zu mehreren Patentschriften und sollten in eine Dissertations- und eine Habilitationsschrift münden. Der komplette Abbau der drei riesigen Portalkräne und der radikale Umbau des mehr als drei Hektar großen Umschlagplatzes sowie die Abwicklung der TH Wismar beendeten all diese Vorhaben.

Dissertation Reiner Rockmann, 1969

Die Übertragung von Nachrichten über gestörte Kanäle unter Anwendung von signalangepassten Filtern

Zum Zeitpunkt des Entstehens der Dissertation waren folgende Theorien Stand der Erkenntnis: auf der einen Seite die Theorie der signalangepassten Filter für digitale Signale (z.B. Barker Codes oder Pseudorandom Signale) als Optimalfilter zum Erreichen des maximal möglichen Signal-Rausch-Verhältnisses im Entscheidungszeitpunkt und auf der anderen Seite die Theorie des Entwurfs von Blockcodes mit einer vorgegebenen Hammingdistanz. Die Idee der Arbeit bestand darin, beide theoretischen Ansätze zu vereinen und Codesequenzen hoher Unterscheidbarkeit zu untersuchen, bei denen die Distanz zwischen der AKF eines Codeblocks und der KKF zweier unterschiedlicher Codeblöcke im Entscheidungszeitpunkt möglichst groß wird. Aus Sicht der Informationstheorie bot dabei dieser Ansatz die Möglichkeit, sich der Kanalkapazität des Übertragungskanals zu nähern. Im ersten Teil der Arbeit wurden daher der Entwurf und die Realisierung signalangepasster Filter für binär codierte Signale behandelt, wobei nachgewiesen wurde, dass man auch durch relativ einfache suboptimale Filterstrukturen sich bis auf wenige Procente Verlust dem Maximalwert der AKF nähern kann. Diese Filterstrukturen und entsprechende Korrekturnetzwerke zur Glättung des Rauschspektrums bei farbigem Rauschen wurden durch RLC-Netzwerke realisiert und deren Entwurfskenngrößen und Dimensionierungsvorschriften zusammengestellt. Weiterhin wurden in diesem Teil Codeblöcke unterschiedlicher Längen mit der o. g. hohen Unterscheidbarkeit realisiert. Im zweiten Teil der Arbeit wurde eine neuartige Definition der Kanalkapazität des durch Rauschen gestörten Binärkanals angegeben, indem nachgewiesen wurde, dass der maximal erreichbare Informationsfluss im Ergebnis einer optimalen Filterung mit Anpassung des optimalen Filters an das Nutzsignal bei Anwendung hoch unterschiedlicher Codesequenzen entsteht. Aus Sicht der heutigen Interpretation handelte es sich dabei um eine Maximum-Likelihood-Schätzung hoch unterscheidbarer Codesequenzen, bei dem die Pfade im Trellisdiagramm der Empfangssequenzen eine große Distanz besitzen und entsprach damit der Grundstruktur eines optimalen Empfängers.

Dissertation Heinrich Krambeer, 1969

Theorie und Entwurf eines hydroakustischen Ortungssystems für große Reichweite und Entfernungsauflösung mit Zeitkompression binär phasenumgetasteter Signale

Die Einführung modulierter Sendesignale in die aktive Ortungstechnik ist notwendig, wenn bei begrenzter Sendeleistung gleichzeitig und möglichst unabhängig voneinander Anforderungen an die Reichweite und die Entfernungsauflösung gestellt werden. Unter der Voraussetzung eines optimalen, d. h. der Sendesignalform angepassten linearen Empfängers ist die Struktur des Sendesignals der einzige Freiheitsgrad. Der dann mit der sogenannten Impulskompression erreichbare Störabstand ist bei vorgegebener Störsignalleistung allein durch die Sendeleistung bestimmt. Die theoretischen Grundlagen der entsprechenden Verfahren wurden während des Zweiten Weltkrieges für die Funkmesstechnik (Radartechnik) entwickelt, jedoch erst nach dem Krieg veröffentlicht. Es liegt nahe, die Prinzipien auf die hydroakustische Ortung zu übertragen, jedoch ist man wegen der dann veränderten physikalischen und technischen Gegebenheiten vor gänzlich andere technische Realisierungsprobleme gestellt. Auch treten bestimmte Effekte neu oder in anderer Größenordnung auf, was auch theoretische Ergänzungen bzw. Anpassungen erfordert. Im Rahmen der vorgelegten Arbeit entstand ein Funktionsmuster eines analogen Verzweigungsnetzwerkes für den optimalen Empfang binär phasenumgetasteter hydroakustischer Signale. Die dafür notwendigen Verzögerungsglieder wurden als Allpassglieder mit bandpassartigem Verhalten der Gruppenlaufzeit (Verzögerungszeit 1 ms, Bandmittenfrequenz 20 kHz, Bandbreite 2 kHz) realisiert. Die Sendesignale wurden entsprechend den bekannten Barkercodes strukturiert, deren Autokorrelationsfunktionen

für die Ortung günstige Eigenschaften aufweisen. Als Vorfilter dienten ein Filter mit rechteckförmiger Einhüllender der Stoßreaktion sowie ein speziell entworfenes Filter für die Entzerrung des Frequenzganges der magnetostriktiven hydroakustischen Empfänger. Die Laufzeitkette wurde an den Abgriffen mit Phasenschiebern so ergänzt, dass eine Optimalfilterbank gebildet wird, was auch den Empfang doppellerverschobener Signale ermöglicht. Bei den genannten Frequenzen und geforderten Verzögerungszeiten spielt die begrenzte Güte der Blindschaltetelemente eine wesentliche Rolle beim Filterentwurf. Deshalb wurden zusätzliche aktive Allpassschaltungen mit Verlustkompensation entwickelt. In Laborversuchen wurde das der Theorie entsprechende Verhalten der Baugruppen und des Funktionsmusters insgesamt nachgewiesen.

Die Arbeit für die Promotion unter der Anleitung durch Prof. Lange hatte für mich eine erhebliche, ja entscheidende Bedeutung, da ich dadurch vertiefte Kenntnisse und Erfahrungen auf wesentlichen Gebieten der Netzwerk- und Systemtheorie gewinnen konnte, was für meine spätere berufliche Entwicklung methodisch und inhaltlich prägend war.

Meine Arbeit in der hydroakustischen Ortungstechnik konnte ich jedoch nach Abschluss der Promotion leider nicht fortsetzen, da meine Anstellung befristet war und ich im Februar 1970 die Universität Rostock verließ und eine Tätigkeit an der Ingenieurhochschule Wismar aufnahm.

Wenn es auch deshalb fast keine konkrete Zusammenarbeit mit der Universität Rostock in der weiteren Dienstzeit von Prof. Lange gab, so möchte ich doch betonen, dass die Arbeitsweise von Prof. Lange wie auch einiger anderer Kollegen im damaligen Institut in Lehre und Forschung für mich immer über alle zeitliche und räumliche Distanz Vorbild geblieben ist. Prof. Lange schrieb positive Gutachten zu meiner Berufung zum Hochschuldozenten für Schaltungstechnik 1976 sowie für die Berufung auf die Professur für Grundlagen der Elektrotechnik 1982 an der Ingenieurhochschule Wismar. Ich erinnere mich auch, dass sich Prof. Lange, schon im Ruhestand, anlässlich eines Besuches in Wismar detailliert für Inhalte von Lehre und Forschung dort interessierte.

Meine Dissertation zur Promotion B über die Anwendung netzwerk- und systemtheoretischer Methoden auf die Diagnose analoger Schaltungen hatte ich 1980 an der TU Dresden verteidigt.

Dissertation Lothar Uhlig, 1970

Einige Probleme der Automatisierung der Navigation

Dissertation Hans-Joachim Bettac, 1970

Statistische Vorgänge in einem Phasenregelkreis, die auf dem periodischen Charakter der nichtlinearen Regeleigenschaften beruhen

Dissertation Gert Wendt, 1970

Aufbau und Eigenschaften eines digitalen signalangepassten Empfängers als Teil eines hydroakustischen Ortungssystems

Ausgehend von den Arbeiten am Institut für Hochfrequenztechnik zur Verarbeitung gestörter Signale und der „Korrelationselektronik“ von Prof. Lange wurde nach weiteren Anwendungen gesucht. Nach den Erfolg versprechenden Arbeiten zur Entwicklung und zum Einsatz des analogen Dreiphasenkorrelators von W. Stammberger in Fischerei-Echoloten kam von Prof. Lange die Anregung, moderne Methoden der Signalverarbeitung in der seinerzeit vorrangig militärisch genutzten Radartechnik auf Problemstellungen der hydroakustischen Ortung anzuwenden. Die Zielstellung bestand darin, eine Steigerung der Fangergebnisse beim Fischfang durch eine Vergrößerung der Ortungsreichweite von Fischen bei gleichzeitig guter Entfernungsauflösung zu erreichen. Die bis dahin übliche Methode zur Verbesserung der Störabstandes, die Sendesignalenergie durch einfache Verlängerung der Signaldauer und/oder Vergrößerung der Sendeleistung zu erhöhen, brachte keine wesentlichen Fortschritte mehr. Die Sendeleistung wurde durch Kavitation, die Signaldauer durch die Entfernungsauflösung begrenzt. Deshalb war eine entscheidende Verbesserung nur noch durch Anwendung von Ergebnissen der modernen statistischen Nachrichtentheorie zu erreichen. Auf der Basis theoretischer Untersuchungen von W. Barnick wurden verschiedene Lösungswege gegangen. Von H. Krambeer wurden binär phasenumgetastete Signale und deren Verarbeitung in einem analogen Matched-Filter untersucht. In dieser Zeit nahm gerade die digitale Signalverar-

beitung eine stürmische Entwicklung. Da ich bereits in meiner Diplomarbeit bei der Entwicklung eines Fischeier-Zählgerätes Erfahrungen in der Digitaltechnik sammeln konnte, lag es nahe, neue Möglichkeiten der Reichweitenvergrößerung unter Anwendung digitaler Signalverarbeitung zu erschließen. Daher stellten sich die Arbeiten zur Dissertation das Ziel, die Eigenschaften eines digitalen Matched-Filters unter Verwendung von binär codierten Signalen größerer Länge als Teil eines hydroakustischen Ortungssystems zu untersuchen. Für die Signal-Codierung wurden vor allem Pseudo-Random-Codes eingesetzt, die sich einfach und exakt reproduzierbar erzeugen lassen und gute AKF- und KKF-Eigenschaften bezüglich hoher Zielauflösung und Störabstandsverbesserung aufweisen. In der Dissertation ist dargelegt, wie sich für die hydroakustische Ortung optimale Sende- und Empfangssignal-Verarbeitungsstrukturen realisieren lassen und welche Verbesserungen bezüglich Reichweite und Auflösung theoretisch möglich sind. Die Ergebnisse werden durch eine Vielzahl experimenteller Untersuchungen bestätigt. Heute ist der Einsatz von PR-Codes besonders aus ihrer Nutzung in GPS-Navigationssystemen bekannt geworden.

Die Ergebnisse der Dissertation haben ihre erste praktische Nutzung in einer hydroakustischen Ortungsanlage gefunden, die in der Forschungsgruppe Hydroortung unter der Leitung von W. Barnick und mir entwickelt und 1975 auf einer Atlantik-Expedition des Forschungsschiffes „A. v. Humboldt“ des damaligen Institutes für Meereskunde Warnemünde im Auftrag des Zentralen Geologischen Institutes Berlin erfolgreich erprobt wurde.

Um die Erfahrungen mit der digitalen Signalverarbeitung weiterzugeben, wurde ich von Prof. Lange mit der Ausarbeitung und Durchführung einer Vorlesung zur digitalen Schaltungstechnik beauftragt. Die Unterwasserakustik und die maritime Elektronik haben mein weiteres wissenschaftliches Leben bis in die Gegenwart geprägt.

Dissertation Hans-Joachim Bartsch, 1971

Rechnerunterstützte Netzwerkanalyse

Dissertation Heinz Pätow, 1972

Ein analog-digitales Koppelverfahren zur Standortbestimmung auf Seeschiffen

Die Arbeit beruhte auf der Voraussetzung, dass dem Entwicklungsstand der maritimen Messtechnik entsprechend rein analoge Primärinformationen zum realen Fahrverhalten von Seeschiffen zur Verfügung stehen. Diese sind

1. genaue und stetig verfügbare Kurswinkelwerte
2. eine automatisierte Zwei-Komponenten-Fahrtmessung über Grund
3. von Hand zu beliebiger Zeit eingebare und veränderbare See-Zustandsinformationen (Wellenströmungs- und Triftversatz) nach Betrag und Richtung.

Die in den analogen Koppelrechner einlaufenden - unter 1. bis 3. genannten - Echtzeitwerte werden dahingehend verdichtet, dass nach dem Zurücklegen eines „Wegelements“ von einer Seemeile über Grund (unabhängig von Kursänderungen innerhalb dieser Distanz) ein Zählimpuls ausgegeben wird. Ferner liefert der Koppelrechner mit jedem Impuls auf die aktuelle Distanz bezogene Wegkomponenten in Nord-Süd- sowie Ost-West-Richtung. Der Koppelrechner wurde systemtechnisch entworfen, praktisch realisiert (mit analogen integrierten Bauelementen) und laborerprobt. Im zweiten Teil der Arbeit wurde ein für Digitalrechner geeigneter Algorithmus (maschinensprachig) zur aktuellen Standortbestimmung in Koordinatensystem der Erdoberfläche erarbeitet (navigationsrelevant im Grad/Minuten/Sekundensystem). Die Steuerung von Plottern bzw. Druckern mit den Ausgabedaten des Koppelrechners ist in ein komplexes Standortbestimmungs- und Wegschreibsystem eingearbeitet worden, wobei die endgültigen Standortdaten strukturell ähnlich denen heutiger GPS-Systeme sind. Aus der Sicht des Systementwurfs ist ein Hybridrechner für die vollautomatische Standortbestimmung auf Seeschiffen im Rahmen dieser Arbeit entstanden.

In der Zeit von 1968 bis 1973 war ich als Aspirant und nachfolgend als Assistent bei Prof. Lange tätig. Die unter seiner und Dr. Albrechts Leitung entstandene Dissertation war der entscheidende Einstieg in die damalige Technik der modernen Informationsverarbeitung. Das waren analoge integrierte Schaltkreise und die noch röhrengebundene digitale Rechentechnik. Die rasante Weiterentwicklung der

digitalen Rechentechnik aber, bedingt durch die Fortschritte der Mikroelektronik, hat mich seit jener Zeit gefesselt. Diese insbesondere unter dem Blickwinkel des von mir im Rahmen meiner Dissertation entwickelten Koppelrechners. Das in meiner Arbeit vorgeschlagene Hybridrechnersystem zur automatischen Koppelnavigation konnte einige Jahre später mit den verfügbaren Mikroprozessoren wesentlich effizienter und technisch leistungsfähiger sowie auch mit höherem Genauigkeitsgrad verwirklicht werden. Diese Erkenntnis war der entscheidende Anlass dafür, dass die Mikroelektronik und deren praktische Anwendungsmöglichkeiten in mein Blickfeld gerieten; sie bildeten den Hauptinhalt meiner wissenschaftlichen Interessen und in der Folge auch meiner Forschungstätigkeiten. Anwendungsfelder waren leider nicht mehr Koppelrechner, sondern rechnergesteuerte Gruppen-Examinatoren als Unterrichtsmittel in pädagogischen Prozessen. Das Ergebnis waren eine Reihe fachwissenschaftlicher Veröffentlichungen, Patente, eine umfangreiche Lehrtätigkeit zur Einführung der Informatik bei Lehrerstudenten und entsprechende Weiterbildungen von Lehrern aus der Schul- sowie Ingenieurpraxis. Meine Forschungsergebnisse und Lehrerfahrungen konnten dann in eine Habilitationsschrift einmünden, die 1986 verteidigt wurde. Letztere führte mich über Bereiche der Technischen und auch Theoretischen Informatik, deren Ausgangspunkt immer wieder die Mikroprozessoren waren, in eine Hochschuldozentur, der dann die Berufung auf eine Professur an der Fachhochschule Wismar 1992 folgte. Lehrtätigkeiten wurden zu folgenden Gebieten vertreten: Grundlagen der Digitaltechnik, Mikroprozessorsysteme, Rechnerarchitekturen, Multitasking auf Prozessorebene, Logische Programmierung, Künstliche Intelligenz in der Technik, Klangsynthese mit Spezialprozessoren. Die Mitautorenschaft an mehreren Fachbüchern für die studentische Ausbildung ist durch langjährige Lehr- und Forschungsarbeit auf unterschiedlichen Fachgebieten möglich geworden. Forschungen orientieren sich in den letzten Jahren stark auf die computerbasierte Sprachsynthese als Fortführung der Klangsynthese und bringen mich über die wellendigitalen Filter wieder in die Nähe der Signal- und Systemtheorie, die insbesondere auch unser Lehrer Prof. F.-H. Lange jedem seiner Schüler mit auf den Weg gegeben hat.

Dissertation Klaus F. Michelsen, 1972

Ein Verfahren zur digitalen Messung von statistischen Momenten und Korrelationsfunktionen

In der Arbeit wird ein Verfahren zur digitalen Messung von statistischen Momenten und Korrelationsfunktionen beschrieben. Das Verfahren basiert auf einer Transformation des Originalprozesses in einen pulslängenmodulierten Prozess. Unter gewissen Bedingungen treten bei dieser Transformation die statistischen Momente und Korrelationsfunktionen als Invarianten auf, d. h. die Momente und Korrelationsfunktionen der Originalprozesse können dadurch berechnet werden, dass man die Momente und Korrelationsfunktionen des pulslängenmodulierten (binären) Prozesses bildet. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die in der analogen Technik schwer zu realisierenden Operationen wie Zeitverschiebung, Multiplikation, Integration und Potenzierung mit den einfacheren Mitteln der binären Technik bearbeitet werden können. Die Anwendung der auch als Hilfssignalmethode bekannt gewordenen Prozesstransformation führt zu wesentlichen Vereinfachungen beim Aufbau von Korrelatoren. Mittels spezieller Hilfssignale mit nichtlinearen Wahrscheinlichkeitsverteilungen wird es möglich, verschiedene statistische Momente und nichtlineare Versionen von Korrelationsfunktionen zu berechnen, ohne das elektronische System zu verändern. Es wird gezeigt, dass sich stufenförmige periodische Zeitfunktionen mit vorgeschriebener Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion in Verbindung mit gewissen Unabhängigkeitseigenschaften als Hilfssignale besonders gut eignen. In diesem Zusammenhang werden theoretische Anforderungen an Hilfssignale und Eingangssignale mit der Walsh-Fourieranalyse formuliert. Die Einführung von stufenförmigen Hilfssignalen führt weiterhin unmittelbar auf die Problematik der Berechnung statistischer Kenngrößen aus amplitudenquantisierten Daten. Die aus der Literatur bekannten Quantisierungstheoreme werden genutzt, um die Verläufe der Hilfssignale zu optimieren. Zur Verifizierung der theoretischen Betrachtungen wurden eine Reihe von Momentenmessungen an Testsignalen durchgeführt und die Ergebnisse diskutiert. Im praktischen Teil der Arbeit wurde ein mehrkanaliger Digitalkorrelator nach dem Prinzip der beschriebenen mittelwertsinvarianten Prozesstransformation entworfen und aufgebaut.

Dissertation Ralf Kuhrt, 1972

Laufzeitbedingte Impulsverzerrungen bei hydroaktiven Wandlern

Von 1969 bis 1972 habe ich bei Prof. Lange das aus der Praxis entlehnte Thema „Laufzeitbedingte Impulsverzerrungen bei hydroakustischen Wandlern“ bearbeiten und verteidigen dürfen, eine Arbeit, die einige überraschende Ergebnisse zutage förderte. Das verwendete mathematische Hilfsmittel war die Analysis der damaligen „traditionellen“ Distribution, für welche ich in bescheidenem Umfang einige zusätzliche Annahmen machte, um im damaligen Rahmen widerspruchsfrei rechnen zu können. Vor dem Hintergrund, dass ich neue, bis dahin unbekannte Impulsformen damit berechnen konnte, regte Herr Prof. Lange an, dass ich versuchen sollte, diese neuen Impulsformen zu messen bzw. darzustellen, was auch gelang und Eingang in die Dissertation und später in einige Veröffentlichungen in der Zeitschrift „Nachrichtentechnik“ fand.

Als studierter Kernphysiker hatte ich schon immer eine besondere Nähe zur Distributionstheorie, schließlich war der englische Kernphysiker Paul Dirac der Erfinder der Delta-Distribution. Herr Prof. Lange regte an, dass ich mit einer Ausarbeitung meiner zusätzlichen Annahmen zur Theorie der Distribution bei ihm habilitieren sollte. Leider ließ sich das Projekt dann nicht mehr verwirklichen. Der Hauptgrund war, dass die damaligen Behörden die Arbeit mit allen Niederschriften, den handschriftlichen Kladden, den Unterlagen, dazugehörigen Patenten und Briefverkehr beschlagnahmten und zur Verschluss-Sache erklärten, was eine problemfreie Weiterarbeit etwa 1974 nicht mehr ermöglichte. Ich habe dennoch rein wissenschaftlich das Thema der Distribution weiter ausgearbeitet, wann immer es zeitlich möglich war. Dabei stieß ich auf immer mehr Stolpersteine in den traditionellen Distributionstheorien, wie widersprüchliche Ergebnisse bei Verwendung unterschiedlicher Rechenwege und insbesondere Widersprüche zur Anschauung. Auf der Grundlage eines neuen Modells der Distribution, das Cold Big Bang Modell - entwickelt auf der Basis des Mikusinski-Formalismus - habe ich den neuen Begriff der „Überbestimmten Integration“ bzw. der „Überbestimmten Integrale“ eingeführt und in einer Vorlesung „Funktionalanalysis für Beststudierende“ der Elektrotechnik seit 1975 an der Humboldt-Universität und nach der Wende auch an der Technischen Universität Berlin auf Lehrtauglichkeit erproben können. Ein Sohn Prof. Langes - Heiner Lange - hat an diesen Vorlesungen teilgenommen und mit seinem Vater über die neuen Begriffe gesprochen. Ich habe daraufhin mehrfach mit Herrn Prof. Lange im Hause seines Sohnes darüber sprechen können und erfreute mich stets seines in der Tat überaus regen Interesses am Fortgang der Arbeiten. Unvergesslich sind auch die Gastvorlesungen, die Prof. Lange im Rahmen der Vorlesung über seine Forschungsschwerpunkte hielt.

Seit dem Jahr 2000 bin ich nunmehr dabei, alle erarbeiteten Materialien zusammenzuführen und entdecke dabei immer noch neue Möglichkeiten der Berechnung mit meinem CBB-Distributions-Konzept. Ich kann inzwischen z. B. lineare Differenzialgleichungen n-ter Ordnung mit konstanten Koeffizienten und unstetigen bis singulären, also beispielsweise auch zeitdiskreten Steuerdistributionen im Originalbereich (Zeitbereich) mit einem Ansatzverfahren im gesamten Zeitbereich und allgemein auf recht einfache und bequeme Art und Weise lösen. Eine Aufgabe, die bisher bekanntlich nur über die Laplace-Transformation lösbar war und dabei auch nur partikuläre Lösungen lieferte, welche die Kenntnis von Anfangswerten erfordern und darüber hinaus auf nichtnegative t -Werte beschränkt sind. Es könnte also sein, dass die Laplace-Transformation in der Zukunft das Schicksal der Determinante teilen wird.

Dissertation Wilfried Wolff und Helmfried Gurgel, 1972

Statistische Verfahren zur Geräuschanalyse

Habilitation Wolfgang Weller, 1973

Beitrag zur systemtheoretischen Darstellung der Grundlagen der Schiffsautomatisierung

Dissertation Klaus Striggow, 1973

Entwicklung und Einsatz einer elektronischen Stufensonde zur Seegangsmessung in der Brandungszone

Im Rahmen der im ehemaligen Institut für Meereskunde Warnemünde geführten Untersuchungen zur

Erforschung der hydrodynamischen Vorgänge in der Brandungszone war ein Messgerät zur Erfassung des Seegangs zu entwickeln, das der modernen Auffassung des Seegangs als stochastischen Prozess entsprach und die Ergebnisse in adäquater Form ausgeben konnte. Als Messfühler wurde wegen des einfachen Aufbaus eine Stufensonde gewählt, die prinzipbedingt bereits ein quantifiziertes Ergebnis liefert und durch Fixierung im Untergrund nullpunktstabil ist. Das machte Eichungen überflüssig. Die Messwerte gelangten über ein Kabel zu einer Landstation, wo sie zwecks späterer numerischer Auswertung durch ein Rechenzentrum auf einen Lochstreifen übertragen wurden. Nach der Erprobung wurde der Prototyp 1973 an die damalige Wasserwirtschaftsdirektion Küste in Warnemünde übergeben und zur Bestückung der von ihr entlang der mecklenburgisch-vorpommerschen Küste errichteten Messstationen dort nachgebaut. Im Laufe der Zeit wurden weitere Geräte gefertigt, die sukzessiv dem sich ständig erweiternden Angebot an Bauelementen und Geräten, vor allem an integrierten Schaltkreisen und Computern mit Diskettenlaufwerken, modernisiert wurden. Fünf Geräte arbeiteten mehrere Jahre in einem speziellen Forschungsareal, in welchem auch Richtungsbestimmungen des Seegangs möglich waren. Eine größere Anzahl Stufensonden mit der zugehörigen Steuerelektronik wurde als Ersatz für die in Eiswintern zerstörten Geräte benötigt. Nach fast 20-jährigem Einsatz wurden die Stufensonden durch Unterwasser-Drucksensoren abgelöst, die weniger störungsanfällig sind und durch integrierte elektronische Strömungssensoren ergänzt wurden.

Dissertation Ekkehardt Böttinger, 1973

Optimale Routung von Schiffen

Eine optimale Routung von Schiffen ist mit unterschiedlichen Zielfunktionen möglich. In der Dissertation aus dem Jahre 1973 wurden die notwendigen Grundlagen für die Ermittlung der Führungsbahn des zeitlich kürzesten Weges unter Berücksichtigung vorhandener und zu erwartender hydrometeorologischer Bedingungen als Beitrag zur Automatisierung des Bahnführungsprozesses angegeben. Ausgehend von umfangreichen Untersuchungen zum Schiffsverhalten auf See sind mit Hilfe statistischer Methoden mathematische Funktionen zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens einiger Schiffstypen unter verschiedenen Seegangbedingungen ermittelt worden. Diese zur bestimmenden Geschwindigkeitsfunktionen wurden mit Hilfe der damaligen EDVA R300 auf der Grundlage von speziell dafür vorbereitetem umfangreichem Datenmaterial ermittelt. Gleichzeitig werden Verfahren zur Wellenvorhersage dargestellt. Hiervon ausgehend wurde, mittels Anwendung des Maximalprinzips von Pontryagin bzw. dynamischer Optimierung, mathematisch die Führungsbahn über Grund als zeitlich kürzester Weg (least time track) und unter Berücksichtigung der zu erwartenden hydrometeorologischen Bedingungen und des daraus resultierenden Geschwindigkeitsverhaltens des Schiffes bestimmt.

Dissertation Michael Zecha, 1973

Möglichkeiten der kontaktlosen elektrodynamischen Strömungsgeschwindigkeitsmessung

Dissertation Jürgen Lübcke (†), 1974

Induktive Strömungsmessung mit speziellen flachen Messsonden

Dissertation Ralf Friedrich, 1974

Nicht-Gaussische Prozesse in der Informationstechnik: ein Beitrag zur Signalerkennung beim Vorliegen nicht-Gaussischer Störungen

Dissertation Manfred Marrek, 1974

Ein Beitrag zur Untersuchung des Verlusteinflusses sowie zur Verlustkompensation in aktiven Brückenallpässen

Die Themenproblematik ist hervorgegangen aus dem damaligen Forschungskomplex „Hydroakustische Ortungsverfahren nach dem Prinzip der analogen Zeitkompression trägerfrequenter phasenkodierter Signale“. Auf die Übertragungsmechanismen dieses signalangepassten Filters soll nicht näher eingegangen werden.

Die Anforderungen an das Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverhalten der dafür benötigten angezapften Laufzeitkette, realisiert durch eine Kettenschaltung von $(n-1)$ Allpässen mit identischem Zeit- und Spektralverhalten, sind sehr hoch (n als Barkercode). Der Güte-Einfluss der notwendigen Reaktanz-Zweipole auf die Übertragungseigenschaften der Allpässe besonders bei Nutzung höherwertiger Kodelängen bzw. höhergradiger AP-Netzwerke mit großen Polgüten und bei gefordertem Schmalband-Gruppenlaufzeitverhalten ist dann nicht mehr vernachlässigbar. Er verfälscht die sich am Ausgang des signalangepassten Filters herausbildende AKF wesentlich. Das für die Ortungsbewertung wichtige AKF-Hauptecho kann im Extremfall nicht mehr identifiziert werden.

Zeit der Arbeit war es daher, auf der Grundlage der Analyse des Einflusses der Reaktanzgüte-Eigenschaften auf das Übertragungsverhalten von Allpässen, die als aktive Brückennetzwerke mit reaktanzminimaler Zweipolstruktur konzipiert wurden, die theoretischen Grundlagen, Gesetzmäßigkeiten und Verfahren zur Verlustkompensation zu erarbeiten, eine Thematik aus der Filtertheorie mit einer engen Bindung an die Signal- und Systemtheorie. Die Problematik wurde über die verlustfaktorabhängige Vorverzerrung der TP-AP-Eigenwerte gelöst, woraus eine entsprechende TP-Impedanz-Zweipolsynthese mit nachfolgender TP-BP-Impedanz-Transformation resultierte und der entsprechende BP-Kreisgüten-Abgleich auf die verlustfaktorbedingten Sollgüten sowie anschließend die Einbindung in die aktive Brückennetzwerk-Struktur zum Allpass. Als Parameter dienten die zu realisierenden Verlustkoeffizienten, der Betrag des konstanten Amplitudenspektrums sowie Verstärkungskoeffizienten der aktiven Brückenstruktur. Experimentell konnte die Richtigkeit der theoretisch erarbeiteten Ansätze anhand mehrerer Labormuster messtechnisch nachgewiesen werden. Als Ergebnis wurde neben der Zusammenfassung der theoretischen Ansätze in entsprechende Dimensionierungsvorschriften in Form von Arbeitsblättern ein Katalog normierter verlustkompensierter aktiver TP-Brückenallpässe speziell für TP-PN-Strukturen signaloptimierter Verzögerungsnetzwerke vorgestellt. Die darüber hinaus gehende schaltungstechnische Umsetzung in aktive RC-Brückenallpässe durch Einbindung reaktanzsubstituierender AIC-Strukturen scheiterte an den damals noch nicht zugänglichen analogen Schaltkreiskonfigurationen.

Nach Beendigung der Forschungstätigkeit an der Universität Rostock 1973 und der Promotion zu einer Thematik aus der Signal- und Systemtheorie führte mein Lebensweg mich über die Pädagogische Hochschule Güstrow als wissenschaftlicher Mitarbeiter 1975 an die Ingenieurhochschule für Seefahrt Rostock/Warnemünde. Forschungsmäßig habe ich dort auf dem Gebiet der Automatisierung von Funknavigationsverfahren gearbeitet mit der Zielstellung der Realisierung eines universellen Softwarepaketes für die Hyperbelkoordinaten-Transformation des DECCA-Navigationssystems. Auf der Grundlage eines sehr schnell konvergierenden Iterationsverfahrens wurde die entsprechende Algorithmierung der einzelnen DECCA-Ketten, deren Zusammenführung zu einem in sich geschlossenen Simulationsmodell sowie die darauf aufbauende softwaremäßige Umsetzung der Koordinatentransformation aus dem DECCA-Hyperbelbereich in die navigatorisch erforderliche geografische Koordinaten-Ebene vorgenommen. Das realisierte Simulationssoftwarepaket diente dann dem Industriepartner unter Einbeziehung der Mikroprozessortechnik zur hardwaremäßigen bzw. gerätetechnischen Implementation der DECCA-Koordinatentransformation.

Anschließend arbeitete ich an einer Thematik auf dem Gebiet der nichtlinearen adaptiven Filterung. Hier bestand die Aufgabe darin, Störkomponenten-Einflüsse auf die Kursregelung mit Hilfe eines diskreten Filteransatzes zu minimieren. Das gelang durch Einbeziehung nichtlinearer adaptiver Komponenten innerhalb eines diskreten Filteralgorithmus. Die adaptive temporäre Parameterermittlung für die Ansteuerung des nichtlinearen Gliedes des diskreten Filters erwies sich als analytisch anspruchsvoll.

In der Übergangszeit zwischen 1990 und 1992 war ich wieder in meinem alten Bereich an der Universität Rostock tätig. Dort wurden mir Lehraufgaben auf dem Gebiet der Regelungstechnik sowie der Signal- und Systemtheorie übertragen. Der Signal- und Systemtheorie habe ich irgendwie immer die Treue halten können. Die Faszination, mit den analytischen Werkzeugen, die diese Disziplin hervorbringt, beinahe grenzenlos arbeiten zu können, ist in mir immer wach geblieben; sie hat eigentlich mein gesamtes fachliches Leben bestimmt. Die Grundlagen dafür wurden im Studium, in der Diplomarbeit bzw. weiterführend in der Dissertation, also durch meine ehemaligen Hochschullehrer gelegt.

Mit der Berufung zum Professor für das Fachgebiet „Signale und Systeme der Nachrichtentechnik“ an die Hochschule Wismar 1992 hatte ich das seltene Glück, dass die Kerndisziplinen meines Berufsgebietes mit meiner inneren fachlichen Ausrichtung übereinstimmten. Die dann folgenden Jahre als Hochschullehrer bis zu meinem altersbedingten Ausscheiden in den Ruhestand 2008 sind gekennzeichnet durch eine intensive und ich hoffe auch fruchtbare Lehrtätigkeit in meinen Hauptdisziplinen, der analogen Signal- und Systemtheorie, der diskreten Signalverarbeitung sowie der analogen und diskreten Filte-

rung. Eine Vielzahl von Diplomthemen aus diesem Fachgebiet wurde hier erfolgreich bearbeitet. Erst jetzt - 30 Jahre später - hatte ich auch die Möglichkeit, das damals in meiner Dissertation nicht weiter verfolgte Problem der schaltungstechnischen Umsetzung der Verlustkompensation in Form eines aktiven RC-Brücken-Allpassnetzwerkes durch Reaktanzsubstitution noch einmal aufzugreifen. In einer Diplomarbeit, die an der Hochschule Wismar angefertigt wurde, konnte dieses für mich immer noch interessante Thema gelöst werden. Durch Substitution der induktiven Reaktanzen innerhalb der Impedanz-Zweipole mit Hilfe von AIC-Netzwerken sowie deren Einbindung in ein modifiziertes aktives Brückennetzwerk konnte schaltungstechnisch ein aktiver RC-Brückenallpass realisiert werden, ein interessanter Aspekt in der aktiven RC-Filtersynthese.

Wenn ich die jetzt für mich fast 40-jährige dynamische Entwicklung der analogen und diskreten Signal- und Systemtheorie zu einer analytischen Kerndisziplin ingenieurmäßigen Denkens und Handelns betrachte, bin ich auch heute noch fasziniert von den universellen Möglichkeiten, die diese Disziplin mit ihren Werkzeugen dem Ingenieur zur Lösung seiner Aufgabenstellungen eröffnet, sei es im Experiment, in der Simulation oder einfach am Rechner. Er muss sie nur nutzen.

Habilitation Karl Hormann (†), 1974

Spezielle Probleme der modernen Stabilitätstheorie aus der Sicht der Ingenieurwissenschaften, speziell der automatischen Steuerungstechnik

Dissertation Lothar Harms, 1975

Ein Betrag zur Theorie der drahtlosen Nachrichtenübertragung unter Wasser

Die Arbeit behandelt die Situation, Nachrichten drahtlos von einem getauchten Sender zu einem über Wasser bzw. unmittelbar unter der Wasseroberfläche befindlichen Empfänger möglichst fehlerfrei zu übertragen. Dazu wird zunächst aus den Eigenschaften des Übertragungsmediums Wasser und den aus der Umgebung einwirkenden Störungen der sogenannte Übertragungskanal beschrieben: Ultraschall, frequenzmoduliert in einer stark gestörten Umgebung. Die Störungen werden näherungsweise als gaussisch angenommen. Als Senderegeln kommen unter diesen Bedingungen nur FM bzw. PCM-PM in Frage. Der Hauptteil der Arbeit befasst sich mit dem Entwurf eines optimalen Empfängers für die ausgewählte Senderegeln. Der Eingangsprozess für den Empfänger wird als Vektor-MARKOFF-Prozess beschrieben. Dann kann man der Wahrscheinlichkeitsdichte eine STRATONOWITSCH-Gleichung zuordnen, deren Maximum den gesuchten optimalen Schätzwert des Modulationsprozesses liefert. Zwar lässt sich diese Gleichung nicht numerisch lösen, jedoch ergibt sich mit o. g. Gauss-Ansatz ein Gleichungssystem, das sich direkt schaltungstechnisch modellieren lässt. Man erhält so als Empfänger eine PLL-Schaltung mit Hilfskreis. Dadurch wird die Reichweite eines Übertragungskanals um etwa 20 bis 25% erhöht. In anschließenden Versuchen an einem Modell des gestörten Übertragungskanals wurden die theoretischen Ergebnisse gegenüber einem nach WIENER optimierten Empfänger mit Gegentakt-Flanken-Demodulator und gegenüber einem PLL-Empfänger 2. Ordnung verifiziert.

Durch die Tätigkeit in der Industrie (Schiffselektronik Rostock) konnte die obige Thematik leider nicht fortgeführt werden. Während der kurzen Phase einer Forschungstätigkeit im Zentralinstitut für Kybernetik der AdW bearbeitete ich Fragen der Schnellen Fourier-Transformation mit zahlentheoretischen Methoden. Nach der Wende war ich zunächst wieder in der Industrie tätig und arbeitete an Verfahren zur Diagnose und Testung von elektronischen Baugruppen. Aus letzterer Tätigkeit resultieren u. a. Buchbeiträge sowie die Anregung, Betreuung bzw. Begutachtung einiger Dissertationen an der Sektion Technische Elektronik. Insofern lässt sich für die Tätigkeit nach der Promotion kein direkter Zusammenhang mit den von Prof. Lange initiierten Tätigkeiten ableiten, wohl aber hat die Methodik und die wissenschaftliche Gründlichkeit, die von Prof. Lange gelehrt und vorgelebt wurde, wesentlich zu der Fähigkeit beigetragen, sich schnell und umfassend in neue wissenschaftliche Aufgabenstellungen einzuarbeiten zu können.

Dissertation Erika Müller, 1976

Beiträge zur theoretischen Untersuchung des Echoverhaltens und zur Zielparameteridentifizierung in der Hydroortung

Die Dissertation war Bestandteil der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Hydroakustik des von Prof. Franz-Heinrich Lange geleiteten Wissenschaftsbereiches Informationstechnik der Sektion Technische Elektronik der Rostocker Universität und entstand zum großen Teil während eines einjährigen Forschungsaufenthaltes am Lehrstuhl Theorie der Informationssysteme (Prof. Dr. Jerzy Seidler) des Instituts für Telekommunikation der Technischen Universität Gdansk im Zeitraum 1974/75.

Zu den Schwerpunktaufgaben der hydroakustischen Ortung gehört neben der Objektdetektion die nachfolgende Objektidentifikation/-erkennung, zu deren Lösung die Dissertation einen Beitrag leistet. Sie beinhaltet eine umfassende theoretische Analyse der Korrelation zwischen einer modellbasierten Beschreibung der Ortungsziele und den Kenngrößen und Kennfunktionen der zufälligen Echosignalparameter. Betrachtet werden schmalbandige Sendeimpulse und im Ortungsraum zufällig verteilte, einzeln nicht identifizierbare Punktziele (Streuer), z. B. ein geeignetes Modell für einen Fischschwarm. Im Ergebnis der Signalanalyse werden die informationstragenden Echosignalparameter selektiert und nachfolgend ein Verfahren zur optimalen Schätzung der Anzahl der sich im zeitbegrenzten Echosignal überlagernden Elementarimpulse mit zufälliger Amplitude, Phase und Auftretszeitpunkt neu entwickelt. Mittels der abgeleiteten Entscheidungsregel, die die Struktur des optimalen Empfängers beschreibt, wird anhand jedes Abtastwertes des zufälligen nichtstationären Echosignals die Anzahl der Streuer geschätzt, woraus sich ihre Gesamtzahl im aktuellen Ortungsraum ergibt. Zur Beurteilung der Schätzqualität wird das minimal bedingte Risiko als Qualitätsmaß analysiert und der optimale Anwendungsbereich des Schätzverfahrens bei vorgegebener Fehlerschranke für den praktischen Einsatz, z. B. in einem Fischortungssystem, abgeleitet. Die bislang primär zur Signaldetektion eingesetzte statistische Entscheidungstheorie findet damit ihre Anwendung auch zur Signalidentifikation.

Die Entwicklung von effizienten Verfahren und Algorithmen zur Verarbeitung gestörter informationshaltiger zufälliger (stationärer und nichtstationärer) diskreter Signale bildeten in der Folgezeit den Forschungsschwerpunkt. Bis zur Wende lag der Fokus auf dem Anwendungsgebiet der hydroakustischen Meeresbodenerkundung. Die theoretischen Arbeiten und die experimentelle Verifikation der Ergebnisse, basierend auf Messdaten, die in See-Expeditionen auf der Ostsee gewonnen wurden, führten u. a. im Jahre 1990 zur Habilitation mit dem Thema „Digitale Signalanalyse in der Hydroortung - zur Lösung meeresgeologischer Identifikationsaufgaben“.

Dissertation Detlef Ruser, 1979

Dopplerfrequenz in der Impulsortungstechnik insbesondere mittels Phasenregelschleife

Dissertation Konrad Hintze, 1980

Zur Anwendung diskreter Filter für die Unterdrückung korrelierter Störungen im Empfangssignal von Schiffsradaranlagen

Habilitation Werner Barnick und Gert Wendt, 1982

Probleme der hydroakustischen Ortung

Auf der Grundlage der wissenschaftlichen Arbeiten und Dissertationen auf dem Gebiet der hydroakustischen Ortung entstand am Institut für Hochfrequenztechnik und Messelektronik mit maßgeblicher Unterstützung von Prof. Lange die Forschungsgruppe Hydroortung unter Leitung von W. Barnick, vor allem verantwortlich für die Bearbeitung der erforderlichen theoretischen Grundlagen. Ich (G. Wendt) zeichnete verantwortlich für den Entwurf und die praktische Realisierung der Anlagen und deren See-Erprobungen. Der Schwerpunkt der Anwendungen verlagerte sich von der anfänglichen Fischortung auf die Suche und Erkundung von nutzbaren mineralischen Rohstoffen im marinen Bereich mittels hochleistungsfähiger hydroakustischer Ortungsverfahren. Gegenstand der gemeinsamen Habilitation ist der Entwurf und die

Entwicklung von speziellen Hydroortungsanlagen für die Flachsee zur Erkundung von Sedimentschichtgrenzen und für die Tiefsee zur Bestimmung der Meeresbodenoberfläche. Die Ergebnisse der Arbeit entstanden im Rahmen einer langfristigen anwendungsbezogenen Vertragsforschung mit dem Zentralen Geologischen Institut Berlin, Außenstelle Reinkenhagen. Die Arbeit gliedert sich in drei Schwerpunkte: Grundlagen der Hydroortung, Sendesignalsynthese und Empfangssignal-Verarbeitungsmethoden sowie Entwurf und Entwicklung von Ortungsanlagen und deren Erprobung. Dabei kommt der Optimierung der Sende- und Empfangseinrichtungen unter dem Einfluss des Übertragungskanal und der Ortungsobjekte besondere Bedeutung zu.

Im Ergebnis und in Fortführung dieser Arbeiten wurden leistungsfähige Sedimentecholote entwickelt und unter anderem systematisch zur Erkundung mariner Ressourcen der gesamten DDR-Nutzungszone der Ostsee eingesetzt. Die Forschungsgruppe Hydroortung war maßgeblich an der Überführung der Forschungsergebnisse in ein industriell zu fertigendes Sedimentecholot beteiligt. Die Vermarktung wissenschaftlicher Ergebnisse stellte in der damaligen Zeit ein Novum für die Universität dar. Prototypen dieses Echolotes wurden unter anderem zur Exploration auf dem multilateralen Erkundungsschiff „Impuls“ (INTERMORGE) eingebaut.

Nach der Wende wurde das Institut im Rahmen von Umstrukturierungen mit dem Institut für Nachrichtentechnik der ehemaligen Hochschule für Seefahrt Warnemünde zusammengelegt. Die Forschungsgruppe Hydroortung konnte unter meiner Leitung weitergeführt werden. Die Leistungsfähigkeit der Forschungsgruppe und die in der Vergangenheit erzielten Ergebnisse führten schon bald zu hoher Anerkennung und dem Wunsch der Nutzung bei Partnern im In- und Ausland. Daraus entwickelten sich eine große Zahl von interdisziplinären Forschungsprojekten mit unterschiedlichsten Forschungspartnern und Zielstellungen, die mit erheblichen personellen und materiellen Mitteln durch das BMBF, die DFG sowie die Industrie gefördert wurden. Neben den linear-akustischen Ortungsverfahren wurde die Entwicklung parametrischer akustischer Verfahren forciert, die eine weitere Steigerung der räumlichen Auflösung ermöglichen. Der Einsatzbereich war nicht mehr auf die Ostsee beschränkt, sondern weitete sich auf Seegebiete vom Flachwasserbereich bis in die Tiefsee und bis in die entlegensten Gegenden der ganzen Welt aus. Die entwickelten Verfahren und Systeme wurden im Rahmen der Projekte sowohl auf kleineren Messfahrzeugen als auch auf den größten deutschen Forschungsschiffen eingesetzt. Verallgemeinerte Forschungsergebnisse haben ihren Niederschlag in Vorlesungen des Fachstudiums „Maritime Elektronik“ und „Hydroakustik“ gefunden. Um die Forschungsergebnisse besser vermarkten zu können, wurde 1997 die Innomar Technologie GmbH Rostock von ehemaligen Mitgliedern der Forschungsgruppe Hydroortung und meiner Mitwirkung gegründet. Die Firma fertigt eine Palette leistungsfähiger parametrischer Sedimentortungsanlagen für den mobilen Einsatz sowie für den Schiffseinbau in Kleinserien und entwickelt und fertigt spezielle Ortungsanlagen auf Kundenwunsch. Die Produkte werden entsprechend dem technischen und wissenschaftlichen Fortschritt laufend weiterentwickelt. Im Firmenneubau befindet sich auch ein größeres Messbecken, in dem Systeme und neuentwickelte Schallwandler getestet werden können. Innomar entwickelt und fertigt nicht nur Ortungsanlagen, sondern führt mit solchen Anlagen auch auftragsbezogene hydroakustische Vermessungen in den unterschiedlichsten Gewässern mit einem breiten Spektrum von Zielstellungen durch. Seit ihrer Gründung hat sich die Firma ständig weiterentwickelt und genießt bei ihren Kunden auf der ganzen Welt einen guten Ruf.

Es erfüllt mich mit Freude, dass ich bis heute Ideen in die Firma einbringen kann, deren Grundlagen bei meinem verehrten Lehrer Prof. Lange gelegt wurden.

Dissertation Dieter Kwittner, 1983

Beitrag zur Signalverarbeitung in Schiffsfunkmessanlagen

6 53 Jahre Nachrichtentechnik an der Universität Rostock

*Prof. Dr.-Ing. habil. Erika Müller
Rostock*

Das heutige Institut für Nachrichtentechnik an der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik hat seinen Ursprung in dem 1956 von Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Franz-Heinrich Lange an der damaligen Technischen Fakultät neu gegründeten Institut für Fernmeldewesen und Hochfrequenztechnik. Nach der Gründung der Institute für E-Anlagen auf Schiffen (1953), Elektrische Antriebe auf Schiffen (1955), Elektrische Maschinen und Apparate (1955) und Elektrische Anlagen auf Schiffen (1955) war dies die Keimzelle der Informationstechnik an der Rostocker Universität und die Grundsteinlegung für eine nachrichtentechnische Ausbildung, die in den Anfangsjahren auf die Schiffselektronik fokussiert war. Das Institut wurde in den Folgejahren von Prof. Lange, der sich zeitgleich auch als Dekan der Technischen Fakultät engagierte, mit Unterstützung seiner ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter Heinrich Albrecht und Wolfgang Müller als eine auf die Anwendungsforschung orientierte Einrichtung aufgebaut. Mit der Entwicklung einer leistungsfähigen Lehre in der Fachrichtung Schiffselektrotechnik, Studienrichtung Schwachstromtechnik und dem weiteren Ausbau der Forschung wuchs die Anzahl der Mitarbeiter von Franz-Heinrich Lange sehr rasch bis auf zeitweise 17 an. Im Jahre 1963 verteidigte bereits sein erster Promovend, Heinrich Albrecht, eine Dissertation auf dem Gebiet der Messung nichtelektrischer Größen.

Der Profilierung entsprechend wurde das Institut 1967 in Hochfrequenztechnik und Messelektronik umbenannt. Nachfolgend entstand im Rahmen der III. Hochschulreform mit der Bildung der Sektion Technische Elektronik aus dem Langeschen-Institut der Wissenschaftsbereich Informationstechnik, der durch seine anerkannte Forschung und Lehre ein wichtiges Fundament der Elektrotechnik an der Universität darstellte. Mit der Einführung einer neuen Studienrichtung Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik im Jahre 1970, die in hohem Maße durch F.-H. Lange mitgestaltet wurde, verbreiterte sich auch das bisherige Ausbildungsprofil. Schwerpunkte der Lehre auf dem Gebiet der Informationstechnik waren Hochfrequenztechnik, Signal- und Systemtheorie, Informationstheorie, Optimale Empfänger, Informationselektronik, Messtechnik, Mess- und Sensorsysteme, Meßstochastik, Analoge und digitale Schaltungstechnik, Bauelemente der Elektronik, Digitale Signalverarbeitung, Schiffselektronik, Ortung und Navigation, Grundlagen und Anwendungen der Hydroakustik.

Mit der Erweiterung der Lehraufgaben wurden weitere Mitarbeiter, die inzwischen erfolgreich unter Leitung Franz-Heinrich Langes promoviert hatten, zum Hochschullehrer und in späteren Jahren zum Universitätsprofessor ernannt: 1966 Doz. Dr. Albrecht, danach Doz. Dr. Bening, Doz. Dr. Schommartz, Doz. Dr. Barnick und Doz. Dr. Wendt. Nach der Emeritierung von F.-H. Lange 1974 - was keineswegs ein Ende seiner wissenschaftlichen Aktivitäten bedeutete - wurde die Leitung des Wissenschaftsbereiches in den Folgejahren bis zum Beitritt der ehemaligen DDR zur BRD sukzessiv von F. Bening, G. Schommartz und W. Barnick übernommen.

Die Schwerpunkte der Forschung haben sich aus der Anwendung von Verfahren zur Verarbeitung gestörter zufälliger Signale entwickelt: Korrelationselektronik und Messstochastik, Maritime Mess- und Sensorsysteme, hydroakustische Ortung. Hervorzuheben sind die Entwicklung von (echtzeitfähigen) Verfahren sowie der Hard- und Software und der Sensoren zum Senden, Empfangen und zur Verarbeitung gestörter, zufälliger Signale für messtechnische Applikationen, insbesondere zur Erhöhung von Reichweite und Auflösung und zur Objektidentifikation bei der hydroakustischen Ortung, wie Fischortung, Sedimentecholotung, Wrack- und Objektsuche, Hydrographie und Umweltmesstechnik. Die Forschung war seit Beginn an den Bedürfnissen der Praxis orientiert. So sind viele der Ergebnisse im Rahmen der Vertragsforschung für die Industrie entstanden. Beispiele sind der Drei-Phasen-Korrelator für die Fischortung und das Sediment-Echolot SEL-1520. Die Forschung auf dem Gebiet der Hydroakustik wurde nach der Wende unter Leitung von Prof. G. Wendt, Schüler von F.-H. Lange, bis 2005 erfolgreich am Institut für Nachrichtentechnik und Informationselektronik fortgeführt. Das Gebiet der Signalverarbeitung, dessen Wurzeln in der Signal- und Systemtheorie sowie Stochastik liegen, die in den Monographien von F.-H. Lange wissenschaftlich exakt und pädagogisch gekonnt dargelegt wurden, mit seiner rasanten und breit gefächerten Weiterentwicklung durch neue leistungsfähige digitale Verfahren und Algorithmen gehört inzwischen zu den Basiswissenschaften nicht nur in allen Bereichen der Elektrotechnik und Informationstechnik sowie in Teilgebieten der Informatik, sondern auch in den Anwendungswissenschaften, wie Medizintechnik, Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Fernerkundung und Biowissenschaften.

Darüber hinaus entwickelte sich auch eine beachtenswerte internationale Zusammenarbeit im Rahmen von Lehre, Forschung und Wissenschaftler austausch, aus der zahlreiche Buch- und Forschungsprojekte hervorgegangen sind. Hervorzuheben sind die wissenschaftlichen Partnerschaften mit der Technischen Universität Gdansk, insbesondere mit dem Institut für Telekommunikation (Prof. Jerzy Seidler), der Technischen Universität Tallinn und der Technischen Universität Nowosibirsk (Institut für Funktechnik - Prof. Albert Jakowlew). Letztere fanden bis heute ihre Fortsetzung in gemeinsamen Publikationen, im Wissenschaftler austausch sowie in der Betreuung von Doktoranden und Praktikanten.

Aus den Arbeiten in Lehre und Forschung sind bis zum Jahr 1991 insgesamt 35 Dissertationen und neun Habilitationen entstanden. Aus den Fonds der Mitarbeiter wurden 19 Hochschulprofessoren berufen. Neben einer großen Zahl von Veröffentlichungen und Patenten sind eine Reihe zum Teil in mehrere Sprachen übersetzten Monographien und Lehrbücher sowie weitere Werke als Mitautoren und Mitherausgeber entstanden, wie die folgende Auswahl zeigt: Korrelationselektronik (1959), Signale und Systeme, 3 Bände (1965 - 1971), Negative Widerstände in elektronischen Schaltungen (1971), Induktive Strömungsmessung (1974), Mathematik und Naturwissenschaften (1976), Methoden der Messstochastik (1983), Taschenbuch Akustik, 2 Bände (1984), Wissensspeicher Ultraschalltechnik (1987), Angewandte Akustik, 5 Bände (1988-1990), Technische Ortung (1989), Hydroortungssysteme zur vertikalen Boden-sondierung (1992).

Nicht unerwähnt sollen auch die wissenschaftlichen Veranstaltungen an der Sektion Technische Elektronik bleiben, wie das dreijährlich stattfindende Maritime Symposium, das auf Initiative von Prof. Lange erstmals 1971 ausgerichtet wurde (zuletzt 2007), Tagungen der Hydro- und Geoakustik im Rahmen des Fachverbandes Akustik (1982, 1984, 1987, 1990) sowie der Messstochastik anlässlich des 75. Geburtstages von F.-H. Lange 1984.

Eine weitere Wurzel des heutigen Instituts für Nachrichtentechnik liegt im Wissenschaftsbereich Schiffselektronik/Nachrichtendienst der 1969 zur Hochschulausbildung von nautischen und technischen Schiffsoffizieren sowie Funkoffizieren gegründeten Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow. Hier wirkten die Hochschullehrer Doz. Dr. Dieter Vierus, Doz. Dr. Reiner Rockmann, Prof. Lothar Uhlig, Prof. Herbert Strickert (alle drei Schüler von Prof. Lange) und ab 1980 Prof. Rainer Kohlschmidt. Die Aufgaben in der Lehre waren denen an der Universität teilweise ähnlich, aber es gab auch spezielle Lehrgebiete wie schiffselektronische Gerätesysteme und Funknavigation sowie Funkbetrieb. Dem Profil der Ingenieurhochschule entsprechend wurden die Forschungsschwerpunkte digitale Datenübertragung auf Kurzwelle sowie diensteintegrierte Netze mit Übertragung über Lichtwellenleiter bearbeitet. In dieser Zeit entstanden zehn Dissertationen und drei Habilitationen, zahlreiche Veröffentlichungen und Bücher, wie Taschenbuch Schiffselektronik (1972), Grundlagen analoger Systeme und Schaltungstechnik, 2 Bände (1983).

Mit der Neugründung des Fachbereichs Elektrotechnik an der Rostocker Universität entstand im Jahre 1992 aus dem Wissenschaftsbereich Informationstechnik der Rostocker Universität und dem Wissenschaftsbereich Schiffselektronik/Nachrichtendienst der IHS das Institut für Nachrichtentechnik und Informationselektronik, eines von sechs Elektrotechnik-Instituten der ebenfalls neu gegründeten Fakultät für Ingenieurwissenschaften. Aus den grundlegenden Forschungsarbeiten zur Signal- und Systemtheorie, zur Messstochastik sowie zur Korrelationselektronik und der anwendungsbezogenen hydroakustischen Forschung entstanden die Schwerpunkte der maritimen Elektronik und Signalverarbeitung. Auch die Forschungslinie Nachrichtenübertragungstechnik wurde weitergeführt. Gleichzeitig wurden die Lehraufgaben vereinheitlicht. 1995 ist der Studienschwerpunkt Medientechnik dazugekommen.

Das Institut wurde nach seiner Gründung 1992 von vier Professuren getragen:

- Nachrichtentechnik (Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Kohlschmidt - bis 9/2004)
- Signaltheorie und Digitale Signalverarbeitung (Prof. Dr. Ing. habil Erika Müller)
- Hochfrequenz- und Funktechnik (Prof. Dr.-Ing. Reiner Rockmann - bis 9/2002)
- Maritime Elektronik (Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Wendt - bis 3/2005).

Die Institutsleitung oblag von 10/1992 bis 4/2004 Prof. Kohlschmidt, der im Zeitraum 1994 bis 1998 zeitgleich Dekan der Ingenieurwissenschaftlichen Fakultät war. Sie wurde von 5/2004 bis 9/2007 von Prof.

Müller übernommen. Auch seitens des 1992 neu gegründeten Instituts wurden die wissenschaftlichen und persönlichen Kontakte zu Prof. Lange, der aktuellen Entwicklungen nach wie vor sehr interessiert gegenüber stand, weiter gepflegt.

Das Institut war in der Lehre im Studiengang Elektrotechnik Träger der Studienrichtung Nachrichtentechnik mit den beiden Schwerpunkten Nachrichtentechnik/Informationselektronik und Medientechnik. Darüber hinaus war es mit seinem Lehrangebot auch stark im Bachelor-/Master-Studiengang Informationstechnik/Technische Informatik integriert, an dessen Einführung im Jahre 1998 das Institut in Zusammenarbeit mit dem damaligen Fachbereich Informatik maßgeblich beteiligt war. Das Lehrangebot beinhaltete Vorlesungen wie Signal- und Systemtheorie, Digitale Signalverarbeitung, Grundlagen der Nachrichtentechnik, Statistische Nachrichtentheorie, Netzwerke/Filter, Baugruppen der Nachrichtentechnik, Grundlagen der Übertragungstechnik, Kanalcodierung, Lichtwellenleitertechnik, Kommunikationssysteme, Optimierung von Übertragungssystemen, Hochfrequenztechnik und -messtechnik, Technische Akustik, Hydroakustik, Maritime Elektronik, Audio- und Videotechnik, Bildverarbeitung, Mustererkennung und Bilddatenkompression.

Dem Profil der Lehrstühle entsprechend wurden die nachfolgenden Forschungsgebiete bearbeitet:

In der *Nachrichtenübertragungstechnik* (Prof. Kohlschmidt/Prof. Rockmann) wurden Nachrichtenkanäle (z. B. Koaxialkabel, Funkkanäle, Lichtwellenleiter) und Übertragungsverfahren modelliert und optimiert (Pulsformen, Modulationsverfahren, Entzerrung). Insbesondere Untersuchungen zum Mobil- und Satellitenfunk sowie zu weiteren kommerziellen Übertragungssystemen - teilweise in Verbindung mit industriellen Auftraggebern - waren Schwerpunkt der Forschung. Dazu gehörten auch lokale und weltweite digitale Kommunikationsnetze, wie das ISDN oder ATM.

In der *Hydroakustik* (Prof. Wendt), gefördert durch zahlreiche Drittmittelprojekte (BMBF, Industrie), wurden Ortungsverfahren und Schallwandler entwickelt, technisch realisiert und auf See erprobt. Hervorzuheben ist die Entwicklung effizienter linear-akustischer und parametrischer Sedimentecholot-Verfahren und echtzeitfähiger Ortungssysteme, mit denen in der Flach- und Tiefsee bei Expeditionen mit nationalen und internationalen Partnern in Nord- und Ostsee, im Nord- und Südatlantik, im Indischen und Pazifischen Ozean und in der Japanischen See sowie in vielen europäischen Binnengewässern stark beachtete Ergebnisse erzielt werden konnten. Aus der wissenschaftlichen Forschung ging 1997 das seitdem national und international agierende Rostocker Unternehmen INNOMAR Technologie GmbH hervor. Damit finden Entwicklung und Produktion innovativer hydroakustischer Ortungssysteme auch nach dem Ausscheiden von Prof. Wendt aus dem universitären Dienst ihre Fortsetzung.

In der *Signalverarbeitung* (Prof. Müller) werden seit 1992 Verfahren zur effizienten Verarbeitung und Kompression von Signal-, Bild-, Stereo- und Video-Daten (2D, 3D) entwickelt, die für verschiedene Anwendungsgebiete wie multimediale Kommunikation, Medizintechnik, Überwachungsaufgaben und 3D-TV von Bedeutung sind. Schwerpunkte bisheriger Forschung waren Kompressionsverfahren auf der Basis von Fraktalen, lokalen trigonometrischen Basen und Wavelets sowie echtzeitfähige Standard- und Multistandard-Video-Codescs. Ein weiterer Aufgabenbereich beinhaltete bis 1998 die Entwicklung von Verarbeitungsmethoden für stochastisch abgetastete zufällige Signale zur Analyse turbulenter Strömungen mittels Laser-Doppler-Anemometrie. Die aktuelle Forschung ist auf die energieeffiziente Videokompression (distributed video coding) für mobile Anwendungen und die Multimediasicherheit (robuste Watermarking-Verfahren zum Sichern und Prüfen der Echtheit sowie zum Schutz der Urheberrechte von Bild-, Video- und Audiodaten) fokussiert. Die Forschung, aus der elf Promotionen und eine Habilitation hervorgingen, wird durch Drittmittelprojekte der Industrie, der Fraunhofer-Institute, der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie DFG-Graduiertenkollegs und Landesforschungsschwerpunkte gefördert.

Nach einer mehrjährigen Vakanz, in der das Institut für Nachrichtentechnik zeitweilig nur mit einer Professur (Prof. Müller) ausgestattet war, konnte die Professur für Hochfrequenztechnik im Oktober 2005 mit Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Weber und die Professur für Nachrichtentechnik in Mai 2006 mit Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Kühn wiederbesetzt werden. Mit Volker Kühn und Tobias Weber, zwei jungen Wissenschaftlern mit internationalen Verbindungen, erhielt das Institut eine inhaltliche Neuprofilierung. Thematisch hat sich durch die Berufungen ein weiterer Schwerpunkt im Bereich der Mobilfunkkommunikation gebildet, der sich hervorragend mit der digitalen Signalverarbeitung ergänzt. Zusammen mit dem Angebot der Regionalen Netzwerkakademie der Universität, die im Jahr 2000 auf Initiative des Instituts in Zusammenarbeit mit der Firma Cisco Systems unter Leitung von Dr. H.-D. Melzer gegründet wurde,

deckt das Institut damit den nahezu kompletten Bereich der Kommunikationstechnik in Forschung und Lehre ab.

Derzeit sind im Institut neben den drei Professoren 20 wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt. Die Leitung obliegt seit 2007 Prof. Kühn.

Die Forschung auf dem Gebiet der *Funkkommunikation* (Prof. Kühn, Prof. Weber) beinhaltet die Entwicklung von Konzepten für zukünftige Funkkommunikationssysteme wie Mobilfunksysteme der vierten Generation, Sensornetzwerke, drahtlose Zugangsnetzwerke (Fixed Wireless Access), Satellitenkommunikationssysteme sowie Rundfunk- und Fernsehübertragungssysteme. Der Schwerpunkt der Forschungstätigkeiten liegt in der physikalischen Übertragungsschicht des Mobilfunks. Untersucht werden neben der auf OFDM- und MIMO-Techniken beruhenden Datenübertragung (im Mittelpunkt stehen Mehrteilnehmer-MIMO-Konzepte basierend auf dem Service-Area-Konzept) auch die Funkkanalmodellierung (basierend auf messtechnischen Untersuchungen), intelligente Signalverarbeitungstechniken zur optimalen Datenübertragung und Verfahren zur präzisen Lokalisierung und Ortung. Weitere Arbeiten auf dem Gebiet der Informationstheorie und Kanalcodierung zur robusten Kommunikation über gestörte Kanäle runden die Forschungstätigkeiten im Bereich der Nachrichtenübertragung ab. Dabei stellen Relaying- und kooperative Codierungskonzepte in drahtlosen wie drahtgebundenen Netzwerken einen richtungsweisenden neuen Forschungsschwerpunkt dar. Mit ihnen kann eine bessere flächendeckende Versorgung in zellularen Netzen mit hohen Datenraten erzielt werden. Ein weiterer zukünftiger Schwerpunkt in den Forschungsaktivitäten von Prof. Kühn stellt die Anwendung der Informationstheorie in der Genetik dar. Die Forschungsaufgaben werden im Rahmen von mehreren Drittmittelprojekten, die neben der Industrie vor allem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert werden, erfolgreich bearbeitet.

Mit der Umsetzung des Bologna-Prozesses an der Universität Rostock stellte auch die Fakultät für Informatik und Elektrotechnik die auslaufenden Diplomstudiengänge auf die Bachelor- und Masterstruktur zum Wintersemester 2007/08 um. Bei ihrer Entwicklung und Umsetzung beteiligte sich das Institut federführend und stellt auch in den neuen Curricula wesentliche Kernbereiche. Zum Lehrangebot in den Studiengängen Elektrotechnik und Informationstechnik/Technische Informatik gehören im Bachelor-Studium die Signal- und Systemtheorie 1 und 2, Statistische Nachrichtentheorie, Grundlagen der Nachrichtentechnik, Digitale Datenübertragung, Kommunikationssysteme, Grundlagen der Hochfrequenztechnik, Hochfrequenztechnik, Netzwerktechnik, Analoge und digitale Filter sowie Digitale Signalverarbeitung; im Master-Studium die MIMO-Mobilfunksysteme, Mobilkommunikation, Mobilfunkkanäle, Kanalcodierung, Angewandte Informationstheorie, Ausgewählte Kapitel der digitalen Signalverarbeitung, Digitale Bildverarbeitung sowie Bild und Video Codierung.

Die Forschungsergebnisse im Institut haben seit 1992 zu 18 Dissertationen und zwei Habilitationen geführt. Entstanden sind eine große Anzahl von Veröffentlichungen auf nationalen und internationalen Konferenzen und in Fachzeitschriften sowie Monographien, wie *Bilddatenkompression* (2000, 2002). Das Institut engagiert sich nicht zuletzt stark in der Akademischen Selbstverwaltung sowie Öffentlichkeitsarbeit der Universität. Darüber hinaus koordiniert es seit 15 Jahren die Auslandskontakte der Elektrotechnik-Institute. Neben weltweiten Kontakten zu Hochschulen und Forschungseinrichtungen bestehen im Rahmen des europäischen Hochschulprogramms ERASMUS für die grenzüberschreitende Mobilität von Studenten und Mitarbeitern Kontakte zu 30 europäischen Hochschulen. Das Institut ist u. a. durch Gastvorlesungen aktiv.

Die in diesem Beitrag in komprimierter Form aufgezeigte Entwicklung der Informationstechnik, speziell der Nachrichtentechnik, im Verlauf von 50 Jahren an der Universität Rostock mit beachtenswerten, international anerkannten Ergebnissen in Forschung und Lehre soll gleichzeitig die große Lebensleistung von Prof. Franz-Heinrich Lange nicht nur für die Rostocker Universität, sondern auch für das Land Mecklenburg/Vorpommern und darüber hinaus verdeutlichen. Unvergessen werden sein Forscherdrang, seine wissenschaftlichen Leistungen und sein Engagement für die Gesellschaft, aber auch sein menschlicher Umgang mit Mitarbeitern und Kollegen für die heutige und nachfolgende Generationen bleiben. In Dankbarkeit und voller Achtung wollen wir im Rahmen des heutigen Kolloquiums anlässlich seines 100. Geburtstages an ihn erinnern.

7 Bibliographie

Grundlage für die Bibliographie ist die Zusammenstellung des Bestandes der Universitätsbibliothek der Universität Rostock, der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, des Nachlasses von Prof. Lange sowie zahlreicher Informationen seiner ehemaligen Schüler. Trotz Nutzung aller Informationsquellen ist eine Vollständigkeit nicht gewährleistet.

Die Publikationstätigkeit Franz-Heinrich Langes zeigt sich neben Buchveröffentlichungen und Beiträgen in Handbüchern in zahlreichen Zeitschriftenartikeln sowie russisch-deutschen Fachübersetzungen. Die während seiner Amtszeit als Institutsdirektor erschienenen Veröffentlichungen seiner Mitarbeiter sind mit aufgeführt. Sein Wirken als Hochschullehrer unterstreichen die 30 Dissertationen und 7 Habilitationen, die unter Kapitel 4 aufgeführt sind. Die zahlreichen, unter seiner Leitung entstandenen Diplomarbeiten blieben unberücksichtigt.

Monographien

Die Elektronenströmung in der Bremsröhre. Berlin, Technische Hochschule, Dissertation, 1935, Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen, 1935

Korrelationselektronik: Grundlagen und Anwendung der Korrelationsanalyse in der modernen Nachrichten-, Meß- und Regelungstechnik. Dresden, Technische Hochschule, Habilitation, 1959

Korrelationselektronik. Verlag Technik Berlin, 1959 und 1962

Korrelationselektronik. Staatlicher Verlag für Schiffbauindustrie, 1963, russische Ausgabe

Der Korrelationsdetektor als Signalempfänger. In „Mathematische und technische Probleme der Kybernetik“, Akademie-Verlag Berlin, 1963

Pugatschow, W. S.: Theoretische Grundlagen der Technischen Kybernetik. Verlag Technik Berlin, 1964, Übersetzung aus dem Russischen

Kybernetik und Technik. In „Mikrokosmos - Makrokosmos“, Akademie-Verlag Berlin, 1966

Korrelationselektronik. Iliffe Books LTD, London, 1967, englische Ausgabe

Korrelationselektronik. In „Taschenbuch der Elektrotechnik“ Band 3, Verlag Technik, 1967

Signale und Systeme, Band 1 bis 3, Verlag Technik Berlin, 1971 und 1973

Ball, G. A.: Korrelationsmeßgeräte. Verlag Technik Berlin, 1972, Übersetzung aus dem Russischen

Methoden der Meßstochastik. Akademie-Verlag Berlin, 1978

Störfestigkeit in der Nachrichtentechnik und Meßtechnik. Akademie-Verlag Berlin, 1981

Meßstochastik und Störsicherheit. Schriftenreihe „Beiträge zur Forschungstechnologie“, Band 17, Akademie-Verlag Berlin, 1988

Patente

Lange, F.-H.; Wünschmann, H.-D.: Patentschrift Nr. 16761 - WP 42m/39 504 vom 25.10.1955. Vorsatzgerät für eine Quadratureinrichtung.

Lange, F.-H.: Patentschrift Nr. 25772 - WP 21a4/57 539 vom 28.10.1958. Verfahren zur Standzeichenerhebung.

Lange, F.-H.: Patentschrift Nr. 16067 - WP 21a4/39 526 vom 24.12.1958. Hyperbel-Ortungsverfahren.

Albrecht, H.; Lange, F.-H.; Müller, W.: Patentschrift Nr. 23702 - WP 45h/65 131 vom 29.12.1959. Schaltungsanordnung zur Übertragung von Meßwerten von einem Fischereinetz zum Fangschiff.

Lange, F.-H.; Wolff, L.: Patentschrift Nr. 29199 - WP 42 o/68 015 vom 2.6.1960. Verfahren zur Messung der absoluten Geschwindigkeit von Fahrzeugen.

Lange, F.-H.; Müller, W.; Stammberger, W.: Patentschrift WP 56 701 - WP 74 d/116 524 vom 3.2.1967. Schaltungsanordnung zum Korrelationsempfang von trägerfrequenten Impulsen.

Lange, F.-H.; Kuhrt, R.; Spieler, H.; Kosicki, H.: Patentschrift WP G 01s/1703160 vom 19. 4. 1973. Ortungsverfahren mit Richtungsbestimmung, insbesondere für die Panoramadarstellung von durchstrahlten und/oder abgesuchten Räumen, vorzugsweise von Unterwasserräumen.

Zeitschriftenartikel und Sammelbände

1955

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil I - Über den Begriff des Korrelationsfaktors. In: Nachrichtentechnik 5(1955)10, S. 445-449

1956

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil II - Die mathematischen Eigenschaften und die physikalische Bedeutung der Korrelationsfunktion. In: Nachrichtentechnik 6(1956)1, S. 8-13

Lange, F.-H.: Anodenselbstmodulation, ein Paradoxon der Hochfrequenztechnik. In: Nachrichtentechnik 6(1956)2, S. 58-62

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil III - Korrelationsanalysatoren. In: Nachrichtentechnik 6(1956)4, S. 148-154

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil IV - Korrelationsanalyse und Vierpoltheorie. In: Nachrichtentechnik 6(1956)7, S. 315-319

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil V - Neue Untersuchungsmethoden in der Elektroakustik. In: Nachrichtentechnik 6(1956)9, S. 388-392

1957

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil VI - Korrelationsanalytische Untersuchung von Regelsystemen. In: Nachrichtentechnik 7(1957)1, S. 17-20

Lange, F.-H.: Anwendung der Korrelationsanalyse in der Nachrichtentechnik. Teil VII - Korrelationsanalytische Untersuchung von Regelsystemen (Fortsetzung). In: Nachrichtentechnik 7(1957)2, S. 66-70

Lange, F.-H.: Korrelationselektronik. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Elektrotechnik in Ilmenau 3(1957)2, S. 133-142

1958

Lange, F.-H.: Zur Codierungsvorschrift der Informationstheorie. In: Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 67(1958)1, S. 1-4

Lange, F.-H.: Korrelationselektronik. In: Nachrichtentechnik 8(1958)1, S. 3-11

Lange, F.-H.: Zur Systematik der Korrelations-Meßtechnik. In: Nachrichtentechnik 8(1958)2, S. 76-77

Lange, F.-H.: Aussagen und Entwicklungstendenzen der Signaltheorie. Teil I - Mittelwerte und Funktionstransformationen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 8(1958/59)2, S. 125-136

1959

Lange, F.-H.: Aussagen und Entwicklungstendenzen der Signaltheorie. Teil II - Über die Darstellung der Signalübertragung linearer Systeme. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 9(1959/60)1, S. 59-68

Lange, F.-H.: Über die Grundlagen der Theorie elektrischer Signale. In: Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 68(1959)1, S. 25-35

Bening, F.: Elektronischer NF-Analogie-Multiplikator großer Nullpunkt Konstanz. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 9(1959/60)2, S. 227-233

Albrecht H.: Die Entwicklungstendenzen der Luftverkehrskontrolle. In: Nachrichtentechnik 9(1959)6, S. 270-271

Lange, F.-H.: Aussagen der Signaltheorie. In: Nachrichtentechnik 9(1959)8, S. 379-381

Lange, F.-H.: Aussagen der mathematischen Theorie der Regelungstechnik. Schiffbautechnische Tagung Rostock, Sonderheft, 1959

1960

Lange, F.-H.: Entwicklungstendenzen der modernen Operatorenrechnung. In: Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 69(1960)2, S. 67-75

Albrecht H.: Tasan, ein modernes Verfahren zur Luftverkehrskontrolle. In: Nachrichtentechnik 10(1960)4, S. 150-151 und Nachrichtentechnik 10(1960)5, S. 271-273

Lange, F.-H.: Über die Aufgaben der Meß- und Regeltechnik im Rahmen der industriellen Automatisierung. (Bericht über die Fachtagung „Instruments und Measurements“). In: Nachrichtentechnik 10(1960)12, S. 557-560

1961

Lange, F.-H.: Entwicklungstendenzen der modernen Ortungstechnik: Korrelationsortungsverfahren. In: Nachrichtentechnik 11(1961)1, S. 2-7 und Nachrichtentechnik 11(1961)6, S. 250-254

Lange, F.-H.: Das Technische Hochschulstudium in der VR China. In: Das Hochschulwesen (1961)8/9, S. 713-718

Lange, F.-H.; Müller, W. T.: Informationsübertragung durch Breitbandsignale. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 10(1961) Sonderheft, S. 3-8

Lange, F.-H.; Wolff, L.: Eine neue Methode zur fortlaufenden Messung der momentanen Schiffsgeschwindigkeit über Grund. In: Schiffbautechnik 11(1961)10, S. 521-523

Lange, F.-H.; Albrecht, H.: Bericht über die Fachtagung „Minderung der Kollisionsgefahr in Schifffahrt und Luftfahrt“ des Ausschusses für Funkortung. In: Nachrichtentechnik 11(1961)10, S. 470-473

Albrecht H.: Über die Impulsreaktion des Mittelohres. In: Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 70(1961), S. 108-125

Albrecht H.: Analytische Ergänzung zum Leitungsdiagramm. In: Radio und Fernsehen (1961)

Albrecht H.: Messung des Luftdruckes mit elektroakustischen Wandlern. In: messen-steuern-regeln 4(1961)12, S. 494-504

Albrecht H.; Müller, W.: Meßtechnischer und theoretischer Beitrag zum Schwingungs- und Impulsverhalten des Mittelohres. Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde (1961), S. 1-21

Lange, F.-H.: Der Korrelationsdetektor in der Mess- und Regelungstechnik. ACTE IMEKO, Kongreß in Budapest, 1961

1962

Lange, F.-H.: Der stochastische Prozeß in der Nachrichten-, Meß- und Regelungstechnik. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau 8(1962)1, S. 19-26

Bartsch, H.-J.: Über ein Gerät zur Messung der Tiefe und der Füllung der Netze. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau 8(1962)1, S. 105-108

Troppens, D.: Zu Fragen der Entstehung, Ausbreitung und Vermeidung von Funkstörungen. In: Schiffbautechnik 12(1962)4, S. 176-178

Lange, F.-H.: Schwankt bei der Amplitudenmodulation die Amplitude des Trägers? Schlußwort zu einer Diskussion. In: Radio und Fernsehen (1962)11, S. 292-294

Bartsch, H.-J.: Elektronik für die pelagische Fischerei. In: Radio und Fernsehen (1962)11, S. 350-353

Stammberger, W.: Meßwertverarbeitung in der Hydroakustik (Echointegrator). In: Schiffbautechnik 12(1962)11, S. 641-645

1963

Lange, F.-H.: Nachrichtentechnik und technische Kybernetik. VIII. Internationales Kolloquium an der TH Ilmenau, 1963

Lange, F.-H.; Müller, W.: Zur Fehlertheorie des Korrelators. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 12(1963)1, S. 5-15

Lange, F.-H.; Müller, W.: Informationsübertragung durch Breitbandsignale. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 12(1963) Sonderheft, S. 3-8

- Lange, F.-H.*: Nachrichtentechnik und technische Kybernetik. In: VIII. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. Technische Hochschule Ilmenau 8(1963), S. 13-19
- Lange, F.-H.*: Anwendungen negativer Widerstände in der elektronischen Meßtechnik. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 12(1963)2, S. 247-252
- Bening, F.*: Parametrische Frequenzwandler. In: Nachrichtentechnik 13(1963)3, S. 103-106
- Bening, F.*: Oszillographische Messung von Schalt- und Speicherzeit. In: Nachrichtentechnik 13(1963)4, S. 145-147
- Bartsch, H.-J.*: Moderne Meßelektronik - Ein Eindruck von der Messe in Brünn. In: Feingerätetechnik (1963)6, S. 295-296
- Bening, F.*: Frequenzgangverbesserung bei Übertragern durch Negativwiderstände. In: Nachrichtentechnik 13(1963)9, S. 330-333
- Albrecht, H.; Lange, F.-H.*: Nachrichten- und regeltechnische Methoden zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Meßwertwandlern. In: Nachrichtentechnik 13(1963)10, S. 373-376
- Lange, F.-H.*: Metody techniki telekomunikacji i regulacji w zastosowaniu do poprawy charakterystyk dynamicznych przetwornikow pomiarowych. In: Budownictwo Okretowe VII(1963)10
- Albrecht H.*: Siebung mit einfachen Schwingkreisen. In: Radio und Fernsehen (1963)15, S. 480-481

1964

- Bening, F.*: Zur Realisierung negativer Blindwiderstände mit Transistor-Gegentaktkonvertern. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Elektrotechnik (1964), S. 237
- Lange, F.-H.*: Pädagogische Bemerkungen zur Tschebyscheff-Approximation. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 13(1964)4, S. 1267-1272
- Lange, F.-H.*: Nachrichtentechnik und technische Kybernetik. In: Nachrichtentechnik 14(1964)4, S. 122-126
- Lange, F.-H.; Müller, W.*: Zur Fehlertheorie des Korrelators und Spektralanalysators bei Verwendung von statistischen Testsignalen. Periodika Polytechnika, 8(1964)2, S. 145-163
- Bening, F.*: Negative Impedanzen zur Frequenzgangverbesserung elektrischer Meßwandler. In: messen-steuern-regeln 8(1965)6, S. 200-204
- Lange, F.-H.*: Kybernetik und Technik - Einführung in die Problematik denkender Automaten. In: Radio und Fernsehen 13(1964)21, S. 643
- Albrecht H.; Gielow, H.*: Elektronische Geräte für die Schifffahrt. In: Nachrichtentechnik 14(1964)10, S. 363-371
- Troppens, D.*: Messung von Hochfrequenzfeldstärken in Funkräumen auf Schiffen. In: Schiffbautechnik 14(1964)11, S. 576-578
- Bening, F.*: Negativ-Gyratoren zur spulenlosen Realisierung negativer Induktivitäten. In: Nachrichtentechnik 14(1964)12, S. 455-458
- Lange, F.-H.; Müller, W.*: Zasada dzialania i budowa echosondy korelacyjnej na male glebokosci. In: Zeszyty Naukowe Politechniki Gdanskiej XII(1964)62
- Lange, F.-H.; Müller, W.*: Berührungsfreie Abstandsmessung mittels statistischer Testsignale. In: messen-steuern-regeln 7(1964)12, S. 403 und in ACTA IMEKO, Kongreß in Stockholm, 1964

1965

- Lange, F.-H.*: Schiffe, Fische, Elektronik. In: Wissenschaft und Technik der BZ vom 14.2.1965
- Janson, J.; Müller, W.; Kunst, E.-E.*: Fotoelektrisches Meßgerät zur Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen. In: Radio und Fernsehen (1965)3, S. 89-91
- Müller, W.*: Zur Theorie und Anwendung des Analogie-Multiplikators. In: Nachrichtentechnik 15(1965)3, S. 81-87
- Lange, F.-H.*: Kybernetik und Technik (Einführung in die Problematik denkender Automaten). In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 14(1965)5/6, S. 605-612
- Schommartz, G.*: Ein neuer Transistor-Differenzverstärker. In: messen-steuern-regeln 8(1965)6, S. 213-218
- Lange, F.-H.*: Über die künftigen Aufgaben der Lehre und Forschung an der Sektion Technische Elektronik der Universität Rostock. In: Schiffbautechnik 15(1965)8, S. 399-400

- Schommartz, G.:* Nichtlineare Temperaturstabilisierung von Transistorschaltungen. In: messen-steuern-regeln 8(1965)9, S. 303-306
- Lange, F.-H.:* Modellsysteme und Systemverhalten - Leistungsabgabe aktiver Zweipole. In: Nachrichtentechnik 15(1965)10, S. 369-372
- Lange, F.-H.:* Zuverlässigkeit von Geräten, Anlagen und Systemen - Bericht über die Fachtagung der NTG, April 1965 in Nürnberg. Teil I. In: Nachrichtentechnik 15(1965)9, S. U57, Teil II. In: Nachrichtentechnik 15(1965)10, S. U66-68, Teil III. In: Nachrichtentechnik 15(1965)11, S. U75-77
- Müller, W.:* Untersuchungen zur Korrelationsabstandsmodulation. In: Nachrichtentechnik 15(1965)11, S. 418-422 und in: Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden (1965)1, S. 193-198
- Lange, F.-H.:* Was beinhaltet und wohin führt die Kybernetik? In: Nachrichtentechnik 15(1965)12, S. U81-84

1966

- Troppens, D.:* Untersuchung der Ausbreitung von Funkstörungen in Schiffsanlagen und der dadurch bedingten Maßnahmen zur Funkentstörung. In: Nachrichtentechnik 16(1966)1, S. 3
- Bening, F.:* Ein Resonanzkreis ohne L. In: Nachrichtentechnik 16(1966)2, S. 63-68
- Müller, W.:* Reichweitenprobleme bei der Unterwasserschallortung. In: Schiffbauforschung (1966) Sonderheft, S. 104-107
- Lange, F.-H.; Wendt, G.:* Erzeugung pseudo-stochastischer Impulsfolgen mittels Schieberegister. In: Nachrichtentechnik 16(1966)7, S. 279
- Troppens, D.:* Untersuchung der Ausbreitung von Funkstörungen in Schiffsanlagen und der dadurch bedingten Maßnahmen zur Funkentstörung. In: Schiffbautechnik 16(1966)7, S. 380-385
- Lange, F.-H.; Müller, W.; Stammberger, W.:* Störabstandsverbesserung mit Kreuzkorrelator und speziellem Testsignalgenerator (Zweifrequenzgenerator). In: Nachrichtentechnik 16(1966)7, S. 263-266
- Krambeer, H.; Barnick, W.:* Aufbau eines Optimalfilters für die Auffindung binär codierter Signale. In: Nachrichtentechnik 16(1966)11, S. 407-410
- Albrecht H.:* Zeigerfrequenzmesser zur Überwachung der Netzfrequenz. In: Radio und Fernsehen (1966)13, S. 397-398
- Albrecht H.:* Probleme und Entwicklungstendenzen der Navigation. In: Schiffbauforschung (1966) Sonderheft, S. 39-45

1967

- Wendt, G.; Hyronimus, E.:* Eine elektronische Fischeier-Zähleinrichtung. In: Fischerei-Forschung (1966)2
- Lange, F.-H.:* Verfahrens-Varianten zur Entdeckung verdrauschter Signale. NTG Fachbericht über die Tagung der NTG über statistische Signaltheorie in der Nachrichten- und Regelungstechnik in Darmstadt 1966, erschienen 1967, S. 60-68
- Lange, F.-H.:* Signalsynthese und Korrelationsmeßtechnik. In: Vortragsreihe „Nachrichtentheorie und -technik“. XII. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium TH Ilmenau, 1967
- Albrecht H.:* Eine automatische Kapitän-Fahrtregelung auf Binnenschiffen in Abhängigkeit von Wassertiefen. In: Schiffbautechnik 17(1967)1, S. 33-35
- Barnick, W.:* Die Mehrdeutigkeitsfunktion - eine Kenngröße des optimalen Signalempfängers. In: Nachrichtentechnik 17(1967)3
- Lange, F.-H.:* Signalsynthese und Korrelationsmeßtechnik. XII. Internationales wissenschaftliches Kolloquium an der TH Ilmenau. In: Nachrichtentheorie und Technik, S. 49-55
- Bening, F.:* Zur Berechnung von Transistorschaltungen mit Hilfe der Knotenanalyse. In: Nachrichtentechnik 17(1967)7, S. 271-274
- Lange, F.-H.; Stammberger, W.:* Meßwertverarbeitung in der Hydroakustik (Echointegrator). In: Schiffbautechnik 17(1967)11, S. 641-645
- Lange, F.-H.:* Meßwertübertragung und Meßwertverarbeitung bei starkem Störpegel. Verlag der ungarischen Akademie der Wissenschaften, ACTA IMEKO 1967.
- Bening, F.:* Zur Praxis der Schaltungsberechnung mittels Vierpolmatrizen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 16(1967)7, S. 899-908
- Lange, F.-H.; Schommartz, G.:* Ausbildungsfragen in Meßtechnik und Gerätebau. In: messen-steuern-

regeln 10(1967)12, S. 433-434

1968

Schommartz, G.: Der elektrodynamische Vorbeiflußmesser zur Messung freier Strömungen. In: messen-steuern-regeln 11(1968)1, S. 15-18

Lange, F.-H.: Korrelationsmethode der Verarbeitung kodierter Signale. In: Bericht der Allunionstagung für Automatisierung in Novosibirsk, 1968

Lange, F.-H.: Technische Fakultät der Universität Rostock - Wissenschaftliche Basis des Schiffbaus der DDR. In: Schiffbautechnik 18(1968)1, S. 1-6

Krambeer, H.: Über die Anwendung phasenumgetasteter Signale in der hydroakustischen Ortungstechnik. Kolloquium über Informationsverarbeitung an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, 1968

Bening, F.: Ein spannungsumkehrender Negativ-Impedanz-Konverter ohne innere Energiequellen. In: Nachrichtentechnik 18(1968)6, S. 224-225

Ruser, D.: Lernprozeß und Strukturen lernender Automaten und Modelle. In: messen-steuern-regeln 11(1968)8, S. 123-125

Lange, F.-H.: Standpunkt der Meßtechnik. In: messen-steuern-regeln 11(1968)8, S. 285

Lange, F.-H.: Thesen der universellen Meßtechnik von Stein, P. K. (Übersetzung aus dem Englischen). In: messen-steuern-regeln 11(1968)8, S. 290-292

Schommartz, G.: Induktive Durchflußmessung. In: messen-steuern-regeln 11(1968)10, S. 400

Kuhrt, R.: Auswertung von Ortskurven magnetostriktiver Ultraschallwandler. In: Nachrichtentechnik 18(1968)10, S. 386-392

Stammlberger, W.: Dreikanalkorrelator. In: Schiffbautechnik 18(1968)11, S. 633-636

Bening, F.: Der komplexe negative Impedanzkonverter und Resonanzschaltungen. In: Nachrichtentechnik 18(1968)12, S. 445-447

Krambeer, H.; Lange, F.-H.: Korrelationsmethode zur Verarbeitung codierter Signale. In: Sammelband der Allunionstagung für Automatisierung und elektrische Messtechnik, Novosibirsk, 1968, in russischer Sprache

Albrecht H.: Brod Kao Kibernetiski Sistem. In: Brogodnja (1968)15, S. 282-284

1969

Lange, F.-H.: Autometrie - ein neuer Wissenschaftszweig. In: Wissenschaftliche Beilage des ND vom 11.1.1969

Albrecht H.; Ruser, D.: Meßwertverarbeitung in der Hydroakustik - Anwendung des Dreikanal-Korrelators für die hydroakustische Fischortung. In: Seewirtschaft (1969)1, S. 148-149

Bening, F.: Quasilineare Oszillatorenanalyse. In: Nachrichtentechnik 19(1969)11, S. 401-404

Krambeer, H.: Realisierung von Verzögerungsgliedern mit Allpaßcharakteristik durch Brückenschaltungen mit Transistoreinspeisung. In: Nachrichtentechnik 19(1969)11, S. 331-333

Krambeer, H.: Über die Anwendung phasenumgetasteter Signale in der aktiven Ortungstechnik. In: Nachrichtentechnik 19(1969)12, S. 452-456

Krambeer, H.: Funktionsmuster Impulskompression. Forschungsbericht der Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik/VEB Schiffselektronik Rostock, 1969

1970

Lange, F.-H.: Meßsignalanalyse diskontinuierlicher Prozesse bei Einwirkung von stochastischen Störgrößen. In: messen-steuern-regeln 13(1970)5, S. 189-192

1971

Lange, F.-H.: Festansprache anlässlich des 20jährigen Bestehens des Studiums der Technik an der Universität Rostock. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 20(1971)8, S. 459-463

1972

Lange, F.-H.: Informationsanalyse stochastischer Prozesse. In: Sitzungsberichte des Plenums und der Klassen der Akademie der Wissenschaften der DDR (1972)3, S. 223-250

Jakowlew, A. N.: Ergebnisse experimenteller Untersuchungen über statistische Eigenschaften von Reverberationssignalen im Flußwasser. In: Seewirtschaft 4(1972)12, S. 948-950

Jakowlew, A. N.: Bestimmung der optimalen Frequenz bei Unterwasserortung in Flüssen. In: Nachrichtentechnik 22(1972)12, S. 717-719

1973

Lange, F.-H.: Stand und Perspektive der Hochschulausbildung in der Meßtechnik. In: messen-steuern-regeln 16(1973)6, S. 224-226

Krambeer, H.: Optimalna hydrolokacja z wykorzystaniem modulowanych signalow. Zeszyty naukowe politechniki szczecinskiej. In: Elektryka 16(1973) 145, S. 55-58

1974

Lange, F.-H.: Popowtagung Moskau 1973. In: Nachrichtentechnik Elektronik 24(1974)1, S. 35-40

Lange, F.-H.: Die Bedeutung der wissenschaftlichen Publikationstätigkeit der Universitäten und Hochschulen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 23(1974)1, S. 31-32

Lange, F.-H.: The IMEKO Committee on higher education. Budapest. In: IMEKO-Bulletin/International Measurement Confederation 3(1974)1, S. 8-11

Lange, F.-H.: Optimierungsstrategie und technische Entwicklung. In: Radio Fernsehen Elektronik 23(1974) 15, S. 477-478

Lange, F.-H.: Entwicklungstendenzen der Meßwertverarbeitung. In: messen-steuern-regeln 17(1974)6, S. 200-203

1975

Jakowlew, A., N.; Barnick, W.: Analyse von verrauschten Hydroortungssignalen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 24(1975)1, S. 83-89

Lange, F.-H.: Gesichtspunkte der mathematischen Modellierung und der Kenngrößenauswahl technischer Informationsprozesse. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 24(1975)3, S. 31-32

Harms, L.: Wirkungsweise und Anwendung von Phasen- und Frequenzregelschleifen - eine Übersicht. In: Nachrichtentechnik 25(1975)8, S. 296-301

Lange, F.-H.: Stand und Entwicklungstendenzen der mathematischen Modellierung von Informationsprozessen. In: Nachrichtentechnik Elektronik 25(1975)9, S. 322-324

Harms, L.: Ein FM-Modulator mit Frequenzregelkreis. In: Nachrichtentechnik 25(1975)10, S. 388-392

1976

Lange, F.-H.: Zur Einordnung der Korrelationsverfahren in die Systemtheorie. In: messen-steuern-regeln 19(1976)7, S. 231

Lange, F.-H.: Mathematik und Informationswissenschaften. In: Radio Fernsehen und Elektronik 25(1976) 10, S. 313

Lange, F.-H.: Mathematik und Ingenieurwissenschaften. In: Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften, Reihe N (1976)7

Lange, F.-H.: Zum Einfluß der modernen Algebra auf die Entwicklung der Informationstechnik: Algebraische Strukturen in der Signaltheorie. In: Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften, Reihe N (1976)18, S. 332-354

Lange, F.-H.: Grundstrukturen für Meßwertverarbeitungssysteme. In: Radio Fernsehen Elektronik 25(1976)14, S. 449

1977

Lange, F.-H.: Von der Informationstheorie zur Meßstochastik. In: Nachrichtentechnik Elektronik 27(1977)1, S. 5-7

Lange, F.-H.: Signaltheorie und Störfestigkeit. In: Nachrichtentechnik Elektronik 27(1977)9, S. 373-375

Lange, F.-H.: Zur Verallgemeinerung der Korrelationsmeßtechnik. 2. Symposium Maritime Elektronik der Universität Rostock 1977, S. 7-26

Lange, F.-H.: Zur Anwendung der Korrelationsanalyse in der Meeresforschungstechnik. 2. Symposium Maritime Elektronik der Universität Rostock 1977, S. 68-76

1978

Lange, F.-H.: Strategien der Störfestigkeit in der Informationstechnik. In: Zeitschrift für Elektrische Informations- und Energietechnik 8(1978)6, S. 487-500

1979

Lange, F.-H.: Klassifizierung der Methoden zur Erhöhung der Störfestigkeit. In: messen-steuern-regeln 22(1979)5, S. 277-278

1980

Lange, F.-H.: Elektronische Bilddarstellung in der Hydroakustik. 3. Symposium Maritime Elektronik der Universität Rostock 1980, S. 7-18 und in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 29(1980)10, S. 1-5

1981

Lange, F.-H.: Mathematische Modellierung und Entwurf stärkster Systeme. In: Nachrichtentechnik Elektronik 31(1981)11, S. 469-471

Lange, F.-H.: Hz oder bit/s?. In: Radio Fernsehen Elektronik 30(1981)8, S. 687

Lange, F.-H.: Informations-Redundanz und Informations-Reduktion als Grundprinzipien der Informationstechnik. In: Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften der DDR (1981)6, S. 1151-1159

Lange, F.-H.: Störfestigkeit von Meßsystemen. Kongreß der VDI/VDE-Gesellschaft Meß- und Regelungstechnik Frankfurt 23.-24. Februar 1981.

1982

Lange, F.-H.: Signalverarbeitung in der Prozeßmeßtechnik. In: Radio Fernsehen Elektronik 31(1982)11, S. 687-689

1983

Lange, F.-H.: Statistische Schätzverfahren der Meßwertverarbeitung. In: Maritime Energieelektronik. 4. Symposium Maritime Elektronik, Rostock, 1983, S. 211-219

Lange, F.-H.: Zur Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse. Teil 1: Kalman Filterung. In: messen-steuern-regeln 26(1983)11, S. 626-630

Lange, F.-H.: Zur Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse. Teil 2: Varianten der Kalman Filterung. In: messen-steuern-regeln 26(1983)12, S. 693-696

Lange, F.-H.: Filtermethoden in der Meßtechnik. In: Elektronik Journal 18(1983)14, S. 6-7

Lange, F.-H.: Filtermethoden in der Meßtechnik II. In: Elektronik Journal 18(1983)15, S. 166-167

1984

Lange, F.-H.: Zur Weiterentwicklung der Korrelationsanalyse. Teil 3: Cepstrum-Methode. In: messen-steuern-regeln 27(1984)6, S. 271-274

1985

Lange, F.-H.: Stochastik und Meßtechnik - eine historische Rückschau. Teil 1-3. In: messen-steuern-regeln 28(1985)

Lange, F.-H.: Zur Varianzanalyse in der Meßstochastik und der Begriff der Fisherinformation. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 34(1985)3, S. 69-71

1988

Lange, F.-H.: Was leisten intelligente Meßsysteme? In: Nachrichtentechnik Elektronik 38(1988)8, S. 282-284

1989

Lange, F.-H.: Bemerkungen zum Modellbegriff der Systemtechnik. In: Nachrichtentechnik Elektronik 39(1989)4, S. 125-126

Lange, F.-H.: Meßtechnik und künstliche Intelligenz. In: Radio Fernsehen Elektronik 38(1989)5, S. 279-281

1990

Lange, F.-H.: Biosensoren - neue Aufgaben der Meßtechnik. In: Nachrichtentechnik Elektronik 40(1990)4, S. 158

8 Beiträge zu wissenschaftlichen Arbeiten

Grundlagen der Netzwerktheorie

Prof. Dr.-Ing. habil. Albrecht Reibiger

Technische Universität Dresden, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik

Prädiktion digitaler Bildsignale mittels einseitiger gefensterter Autokorrelationsanalyse

Prof. Dr.-Ing. habil. Tilo Strutz

Deutsche Telekom AG, Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Institut für Kommunikationstechnik

Iteratively Detected and SVD-assisted Broadband MIMO-BICM Schemes

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Ahrens

Hochschule Wismar, Bereich Elektrotechnik und Informatik, Fachgebiet Signale und Systeme der Nachrichtentechnik

Grundlagen der Netzwerktheorie

Albrecht Reibiger

Es werden unterschiedliche Axiomatisierungen der Netzwerktheorie eingeführt und verglichen. Im Mittelpunkt steht die Klasse der Kirchhoff-Netzwerke, deren topologische Struktur in einer auf G. R. KIRCHHOFF zurückgehenden Tradition durch orientierte Graphen beschrieben wird. Eine bemerkenswerte Verallgemeinerung dieser Netzwerke führt auf die Klasse der Minty-Netzwerke, bei denen die Beziehungen zwischen Zweigen, Maschen und Schnitten nicht durch orientierte Graphen, sondern durch die von G. MINTY 1966 eingeführten orientierten Graphoide beschrieben werden. Außerdem werden Axiomatisierungen betrachtet, bei denen Netzwerke als Zusammenschaltungen von Mehrpolen oder Mehrtoren definiert werden. Eine konsequente Weiterführung des Mehrtorzugangs führt auf die Klasse der durch Bondgraphen darstellbaren Paynter-Netzwerke. Sowohl Minty- als auch Paynter-Netzwerke sind stets dualisierbar.

1 Einleitung

Neben der Faraday-Maxwellschen Theorie der elektromagnetischen Felder ist die Theorie der elektrischen Netzwerke eine der Basisdisziplinen der Elektrotechnik. Die Netzwerktheorie ist sogar die ältere dieser beiden Theorien. Ihre Anfänge gehen auf die Arbeiten von G. S. OHM (s. [24]) und G. R. KIRCHHOFF [15, 16] zurück. Im Unterschied zu einer feldtheoretischen Beschreibung liefert die Netzwerktheorie Modelle, mit denen die in einer elektrischen Schaltung ablaufenden Vorgänge mit Hilfe einer endlichen Familie von Zeitfunktionen beschrieben werden.

Die Arbeiten von KIRCHHOFF markieren den Beginn der Entwicklung systematischer Verfahren zur Analyse von Netzwerken. In heutiger Terminologie würde man die von KIRCHHOFF betrachteten Netzwerke als resistiv, kopplungsfrei, zeitinvariant und bis auf unabhängige Spannungsquellen linear klassifizieren. Auf KIRCHHOFF geht die Beschreibung solcher Netzwerke (wiederum in heutiger Terminologie) durch einen *orientierten Graphen* und ein System *konstitutiver Gleichungen* zurück.

Die von KIRCHHOFF betrachteten Schaltungen bestanden ausschließlich aus zweipoligen Drahtwiderständen und galvanischen Elementen, die durch gut leitende Drähte miteinander verbunden waren. Von daher lag die idealisierte Beschreibung der Struktur einer solchen Schaltung durch einen Graphen nahe. Darüber hinaus hat KIRCHHOFF mit Hilfe dieser Idealisierung in [16] erstmals Aussagen über die Anzahl der linear unabhängigen Maschen- und Knotengleichungen bewiesen. Außerdem hat er in der gleichen Arbeit ein kombinatorisches Verfahren zur Berechnung symbolischer Lösungen der von ihm betrachteten Netzwerke hergeleitet (s. auch [27]). Mit seinen Untersuchungen hat er nicht nur eine Basisdisziplin der Elektrotechnik begründet, sondern zugleich einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der Graphentheorie als einer eigenständigen

mathematischen Disziplin geleistet.

Die KIRCHHOFFSchen Konzepte zur Analyse resistiver Zweipolnetzwerke sind in der Folgezeit schrittweise auf die Analyse von RLC-Netzwerken übertragen worden, die bis auf unabhängige Spannungs- und Stromquellen linear und zeitinvariant sind.

Die Einführung von RLCM-Netzwerken, die die Verwendung gekoppelter Induktivitäten zur netzwerktheoretischen Beschreibung von Transformatoren und Übertragern erlaubt, und die Erkenntnis, daß man die KIRCHHOFFSchen Ansätze zur Aufstellung von Gleichungen zur Netzwerkanalyse auch auf diese Netzwerkklassse übertragen kann, waren wichtige Schritte zur Verallgemeinerung des Netzbegriffs und der Verfahren zur Netzwerkanalyse. Durch die Einführung gekoppelter Zweige ist mit dieser Verallgemeinerung erstmals die Klasse der Zweipolnetzwerke verlassen worden. Nach wie vor aber ergab sich der Graph eines Netzwerks, mit dem eine solche technische Schaltung nachgebildet werden sollte, ebenso wie bei den schon von KIRCHHOFF ursprünglich betrachteten resistiven Netzwerken geradezu zwangsläufig aus der Art der Verbindungen der stromführenden Pfade der nachzubildenden Schaltung.

Dagegen führte die Entwicklung netzwerktheoretischer Modelle von Schaltungen, die Elektronenröhren enthalten, auf ein grundsätzliches Problem, nämlich die Frage, ob man auch mehrpolige technische Bauelemente, bei denen - im Unterschied zu induktiv gekoppelten Spulen - nicht schon durch stromführende Pfade auf eindeutige Weise eine Zweigstruktur vorgegeben ist, durch Netzwerke mit gekoppelten Zweigen nachbilden kann oder ob man Schaltungen, die mehrpolige Bauelemente enthalten, im allgemeinen Fall nur adäquat durch Modelle beschreiben kann, die aus Mehrpolen bestehen, die in geeigneter Weise untereinander verbunden sind. Dieses Problem ist in einer für die damaligen Zwecke ausreichenden Form durch die

Einführung gesteuerter Quellen – also wiederum durch die Verwendung gekoppelter Zweige – heuristisch gelöst worden. Die soeben gestellte Frage ist damit aber nicht beantwortet.

Offensichtlich kann eine befriedigende Antwort auf diese Frage nur auf der Basis strenger Definitionen der verwendeten Begriffe gegeben werden. Es soll gezeigt werden, daß beim Aufbau der Netzwerktheorie tatsächlich beide Wege beschritten werden können und im wesentlichen zu gleichen Ergebnissen führen. Das Bedürfnis nach einer stärkeren Formalisierung der Netzwerktheorie ist auch durch Arbeiten zur Theorie nichtlinearer Netzwerke und in den letzten Jahrzehnten durch Arbeiten zur Entwicklung allgemeiner Verfahren und Computerprogramme für den rechnergestützten Entwurf integrierter Schaltkreise geweckt worden.

Basierend auf einer kritischen Analyse der Literatur und unseren eigenen Arbeiten [34, 28, 33, 32, 30] zu den Grundlagen der Netzwerktheorie werden im folgenden axiomatische Begründungen für vier Klassen von Netzwerken skizziert, die hier als *Kirchhoff*-, *Minty*-, *Mehrpole*- und *Mehrtoren*-Netzwerke bezeichnet werden sollen. Während die Netzwerke der beiden zuletzt genannten Klassen als Zusammenschaltungen von Mehrpolen bzw. Mehrtoren definiert sind, werden die Netzwerke der beiden anderen Klassen als Ganzes und nicht als eine Zusammenschaltung irgendwelcher "Netzwerkelemente" eingeführt. Sie können gegebenenfalls in Unternetzwerke zerlegt werden. Kirchhoff-Netzwerke können stets als Zusammenschaltungen ihrer Unternetzwerke dargestellt werden. Leider liegt z.Z. noch keine vollständig ausgearbeitete Definition für eine Zusammenschaltung von Minty-Netzwerken vor.

2 Allgemeine Vereinbarungen

Wir entwickeln die o.g. Zugänge zur Netzwerktheorie im Rahmen der Mengenlehre, d.h., Netzwerke, Mehrpole usw. werden als mengentheoretische Objekte eingeführt. Als solche Objekte verwenden wir vorzugsweise geordnete Paare, geordnete Tripel usw. Die Objekte der Netzwerktheorie werden dann jeweils durch definierende Bedingungen von der Klasse aller entsprechenden mengentheoretischen Objekte separiert. Diese Bedingungen sind die Axiome der entsprechenden Zugänge zur Netzwerktheorie.

Wichtige Bezeichnungen aus der Mengenlehre findet man im Anhang.

Ausgangspunkt für die im folgenden betrachteten Formalisierungen der Netzwerktheorie sind die durch $\mathcal{U} := \mathbb{R}V := \{\alpha V | \alpha \in \mathbb{R}\}$, $\mathcal{I} := \mathbb{R}A := \{\alpha A | \alpha \in \mathbb{R}\}$, $\mathcal{P} := \mathbb{R}W := \{\alpha W | \alpha \in \mathbb{R}\}$ und $\mathcal{T} := \mathbb{R}s := \{\alpha s | \alpha \in \mathbb{R}\}$ mit Hilfe der Maßeinheiten V, A, W und s definierten Mengen skalarer physikalischer Größen. Mit den für skalare physika-

lische Größen üblichen Rechenregeln (vgl. [20] und die dort angegebene Literatur) denken wir uns diese Mengen mit der Struktur eindimensionaler reeller orientierter normierter Vektorräume versehen, deren Orientierung jeweils durch die Forderung festgelegt wird, daß die Maßeinheiten V, A, W und s eine positiv orientierte Basis der Räume $\mathcal{U}, \mathcal{I}, \mathcal{P}$ bzw. \mathcal{T} bilden, und deren Normen durch die Beträge der Maßzahlen der entsprechenden physikalischen Größen in Bezug auf die jeweilige Maßeinheit definiert werden, d.h. durch $\forall_{\alpha \in \mathbb{R}} \|\alpha V\| := |\alpha|$, etc. Offensichtlich definiert die Zuordnung $(U, I) \mapsto \mathcal{B}(U, I) := UI$ eine nichtausgeartete bilineare Abbildung $\mathcal{B} : \mathcal{U} \times \mathcal{I} \rightarrow \mathcal{P}$.

Der Raum \mathcal{U} liefert die Zweig- oder Klemmenspannungswerte, und der Raum \mathcal{I} die der Zweig- oder Klemmenstromwerte. \mathcal{P} ist der Raum der Leistungswerte. Die bilineare Abbildung \mathcal{B} ist das *Leistungsprodukt*. \mathcal{T} ist die *Zeitachse*. Int \mathcal{T} bezeichnet die Menge aller Intervalle der Zeitachse.

Die Orientierung der Räume \mathcal{U}, \mathcal{I} und \mathcal{P} wird benötigt, um positive und negative Zweigspannungs- (oder Klemmenspannungs-), Zweigstrom- (oder Klemmenstrom-) bzw. Leistungswerte unterscheiden zu können. Entsprechend ermöglicht die Orientierung der Zeitachse eine Unterscheidung von Zukunft und Vergangenheit.

Für jede nichtleere endliche Menge \mathcal{Z} und jedes Intervall $T \in \text{Int } \mathcal{T}$ sollen die Mengen $\mathcal{U}^{\mathcal{Z}}, (\mathcal{U}^{\mathcal{Z}})^T, \mathcal{U}^{\mathcal{Z}} \times \mathcal{I}^{\mathcal{Z}}, \dots, (\mathcal{U}^{\mathcal{Z}})^T \times (\mathcal{I}^{\mathcal{Z}})^T$ mit der durch die Räume \mathcal{U} und \mathcal{I} induzierten Struktur reeller normierter linearer Räume versehen werden. Die Einführung dieser linearen Strukturen ist u.a. erforderlich, damit man lineare von nichtlinearen Netzwerken unterscheiden kann. Die Normen dieser Räume sind unverzichtbar, wenn man Systeme konstitutiver Gleichungen benötigt, die Differential- oder Integralgleichungen enthalten.

Mit Hilfe dieser Räume wird jeder nichtleeren endliche Menge \mathcal{Z} die durch $\mathcal{S} := \bigcup_{T \in \text{Int } \mathcal{T}} (\mathcal{U}^{\mathcal{Z}})^T \times (\mathcal{I}^{\mathcal{Z}})^T$ definierte *universelle Signalmenge über \mathcal{Z}* zugeordnet. Ihre Elemente werden als *Signalpaare* bezeichnet.

Ein Signalpaar ist also ein geordnetes Paar von Zeitfunktionen, die jeweils auf dem gleichen Intervall T der Zeitachse definiert sind. Die Funktionswerte dieser Zeitfunktionen sind selbst wiederum Abbildungen, die jedem Element $b \in \mathcal{Z}$ ein Element von \mathcal{U} bzw. \mathcal{I} zuordnen.

Die hier mit \mathcal{Z} bezeichnete endliche Menge wird im folgenden entweder als Zweig- oder als Klemmenmenge eines Netzwerks interpretiert.

Der Raum $\mathcal{U}^{\mathcal{Z}} \times \mathcal{I}^{\mathcal{Z}}$ ist der *Konfigurationsraum* des betreffenden Netzwerks. Offensichtlich gilt die Beziehung $\dim \mathcal{U}^{\mathcal{Z}} = \dim \mathcal{I}^{\mathcal{Z}} = |\mathcal{Z}|$.

Das Intervall $\text{dom } u = \text{dom } i$ ist der *Definitionsbereich* des Signalpaars $(u, i) \in \mathcal{S}$.

Die Berücksichtigung von Signalpaaren mit

dom $u \neq \mathcal{T}$ ist erforderlich, um Netzwerke zu erfassen, die Lösungen mit einer endlichen *escape-Zeit* haben (vgl. [7, 8]).

Für eine Menge $\mathcal{W} \subseteq \mathcal{S}$ soll die Menge der Definitionsbereiche der in \mathcal{W} enthaltenen Signalaare mit $\text{sd}\mathcal{W}$ bezeichnet werden. Eine Menge $\mathcal{W} \subseteq \mathcal{S}$ wird als *restriktionstreu* bezeichnet, wenn die Menge $\text{sd}\mathcal{W}$ entweder nur ein einziges Intervall enthält oder für alle $(u, i) \in \mathcal{W}$ und alle $T \in \text{Int } \mathcal{T}$ der Bedingung $T \subseteq \text{dom } u \Rightarrow (u|_T, i|_T) \in \mathcal{W}$ genügt.

Die Definition der Restriktionstreue ist eingeführt worden, um mögliche Ausartungen bei der Definition eines Netzwerks auszuschließen. In der Definition der Restriktionstreue einer Menge \mathcal{W} wird für $|\text{sd}\mathcal{W}| > 1$ zwar gefordert, daß mit jedem Signalaar $(u, i) \in \mathcal{W}$ auch seine Restriktionen auf beliebige Teilintervalle von $\text{dom } u$ zu dieser Menge gehören sollen. Es wird dagegen ausdrücklich nicht gefordert, daß es zu jedem Signalaar (u, i) stets eine Fortsetzung (\bar{u}, \bar{i}) geben soll, die auf einem den Definitionsbereich von (u, i) umfassenden Intervall definiert ist und deren Einschränkung auf $\text{dom } u$ gleich dem gegebenen Signalaar (u, i) ist.

Ist \mathcal{Z} eine endliche Menge und gilt $b \in \mathcal{Z}$, so werden für $U \in \mathcal{U}^{\mathcal{Z}}$ oder $I \in \mathcal{I}^{\mathcal{Z}}$ durch $\text{pu}_b(U) := U(b)$ bzw. $\text{pi}_b(I) := I(b)$ die Projektionen $\text{pu}_b : \mathcal{U}^{\mathcal{Z}} \rightarrow \mathcal{U}$ und $\text{pi}_b : \mathcal{I}^{\mathcal{Z}} \rightarrow \mathcal{I}$ definiert. Entsprechend werden für $\mathcal{Z}' \subset \mathcal{Z}$ mit $\mathcal{Z}' \neq \emptyset$ und $U \in \mathcal{U}^{\mathcal{Z}}$ oder $I \in \mathcal{I}^{\mathcal{Z}}$ durch $\text{pu}_{\mathcal{Z}'}(U) := U|_{\mathcal{Z}'}$ bzw. $\text{pi}_{\mathcal{Z}'}(I) := I|_{\mathcal{Z}'}$ die Projektionen $\text{pu}_{\mathcal{Z}'} : \mathcal{U}^{\mathcal{Z}} \rightarrow \mathcal{U}^{\mathcal{Z}'}$ bzw. $\text{pi}_{\mathcal{Z}'} : \mathcal{I}^{\mathcal{Z}} \rightarrow \mathcal{I}^{\mathcal{Z}'}$ definiert.

Ist \mathcal{W} Teilmenge einer universellen Signalmenge über \mathcal{Z} und \mathcal{Z}' eine nichttriviale Teilmenge von \mathcal{Z} . Dann wird die für $(u, i) \in \mathcal{S}$ mit $u_{\mathcal{Z}'} := \text{pu}_{\mathcal{Z}'} \circ u$ und $i_{\mathcal{Z}'} := \text{pi}_{\mathcal{Z}'} \circ i$ durch $\mathcal{W}_{\mathcal{Z}'} := \{(u_{\mathcal{Z}'}, i_{\mathcal{Z}'}) | (u, i) \in \mathcal{W}\}$ definierte Menge als die durch \mathcal{Z}' erzeugte Projektion von \mathcal{W} bezeichnet.

In den folgenden Abschnitten haben wir das bereits in der Einleitung erwähnten System konstitutiver Gleichungen durch eine konstitutive Relation ersetzt. Zwar wird diese konstitutive Relation bei den Anwendungen in der Regel mit Hilfe eines Systems konstitutiver Gleichungen aus der entsprechenden universellen Signalmenge (oder einer ihrer Teilmengen) ausgesondert, aber offensichtlich gibt es für ein und dieselbe konstitutive Relation unendlich viele äquivalente Gleichungssysteme, mit denen sich diese konstitutive Relation aus einer solchen Teilmenge der entsprechenden universellen Signalmenge aussondern läßt. Aus diesem Grunde bevorzugen wir bei den allgemeinen Definitionen den Begriff der konstitutiven Relation.

Außerdem wird in den folgenden Abschnitten nur noch vorausgesetzt, daß die Räume \mathcal{U} , \mathcal{I} , \mathcal{P} und \mathcal{T} reelle eindimensionale orientierte normierte Vektorräume sind, und die Abbildung \mathcal{B} eine nichtausgeartete bilineare Abbildung $\mathcal{B} : \mathcal{U} \times \mathcal{I} \rightarrow \mathcal{P}$ ist.

Auf diese Weise lassen sich auch Anwendungen

der Netzwerktheorie zur Entwicklung von Modellen für translatorische oder rotatorische mechanische Systeme oder für hydraulische, pneumatische und gewisse thermodynamische Systeme erfassen (s. z.B. [18, 35, 39]). Außerdem ist es für solche interdisziplinären Anwendungen der Netzwerktheorie zweckmäßig, die Räume \mathcal{U} und \mathcal{I} durch Familien eindimensionaler linearer Räume zu ersetzen, um elektro-mechanische Systeme o.ä. erfassen zu können [34]. Für gewisse Anwendungen der Netzwerktheorie ist es sogar erforderlich, die Räume \mathcal{U} und \mathcal{I} durch mehrdimensionale lineare Räume oder entsprechende Familien solcher Räume zu ersetzen [1, 34, 33]. Darauf soll hier aber nicht weiter eingegangen werden.

Selbst innerhalb der Klasse der elektrischen Netzwerke ist es zweckmäßig, neben der oben eingeführten Standardinterpretation für diese Räume auch andere Interpretationen zuzulassen. Die Empfindlichkeitsanalyse von Netzwerken liefert ein einfaches Beispiel dieser Art. Sollen etwa zusätzlich zur Berechnung der Lösung eines Netzwerks noch deren partielle Ableitungen nach einem der Widerstände dieses Netzwerks bestimmt werden, so ordnet man zweckmäßigerweise dem gegebenen Netzwerk ein spezielles *Empfindlichkeitsnetzwerk* zu (s. z.B. [8]), bei dem sich die Elemente der Räume der Zweigspannungs- und Zweigstromwerte als Produkte reeller Zahlen mit den Maßeinheiten $V\Omega^{-1} = A$ bzw. $A\Omega^{-1} = A^2V^{-1}$ darstellen lassen. Definiert man die Funktionswerte der bilineare Abbildung \mathcal{B} durch das übliche Produkt skalarer physikalischer Größen, so erhält man als Basis für den Raum der "Leistungswerte" auf natürliche Weise den Wert A^3V^{-1} . Ein anderes Beispiel dieser Art sind die beim Filterentwurf traditionell verwendeten *normierten* Netzwerke [38], die durch $\mathcal{U} := \mathcal{I} := \mathcal{P} := \mathcal{T} := \mathbb{R}$ und $\forall_{(U, I) \in \mathcal{U} \times \mathcal{I}} \mathcal{B}(U, I) := UI$ definiert werden.

3 Kirchhoff-Netzwerke

Grundlage sind die als eindimensional, normiert und orientiert vorausgesetzten reellen lineare Räume \mathcal{U} , \mathcal{I} , \mathcal{P} und \mathcal{T} und die nichtausgeartete bilineare Abbildung $\mathcal{B} : \mathcal{U} \times \mathcal{I} \rightarrow \mathcal{P}$.

\mathcal{U} wird als Raum der *Zweigspannungs-* und \mathcal{I} als Raum der *Zweigstromwerte* bezeichnet, \mathcal{P} ist der Raum der *Leistungswerte* und \mathcal{T} die *Zeitachse*. Die Abbildung \mathcal{B} ist das *Leistungsprodukt*. Für $U \in \mathcal{U}$, $I \in \mathcal{I}$ werde $\mathcal{B}(U, I)$ mit UI bezeichnet. $\text{Int } \mathcal{T}$ bezeichnet die Menge aller Intervalle von \mathcal{T} .

Wenn die Räume \mathcal{U} , \mathcal{I} , \mathcal{P} und \mathcal{T} nicht durch die Abschnitt 2 eingeführte Standardinterpretation festgelegt werden, so sind ihre Elemente selbstverständlich verallgemeinerte Spannungs-, Strom-, Leistungs- bzw. Zeitwerte.

Ein *Kirchhoff-Netzwerk* \mathcal{N} ist ein geordnetes

Paar $\mathcal{N} = (\mathcal{C}, \mathcal{V})$ bestehend aus dem *Skelett* \mathcal{C} und der *konstitutiven Relation* \mathcal{V} . Das Skelett ist definiert als ein geordnetes Paar $\mathcal{C} := (\mathcal{G}_u, \mathcal{G}_i)$ aus zwei orientierten endlichen Graphen \mathcal{G}_u und \mathcal{G}_i mit gleicher Zweig- und Knotenmenge, die sich höchstens in ihrer Orientierung unterscheiden. Der Graph \mathcal{G}_u bzw. \mathcal{G}_i ist der *Spannungs-* bzw. der *Stromgraph* von \mathcal{N} . Durch das Skelett wird die *topologische Struktur* des Netzwerks festgelegt. Die konstitutive Relation ist eine restriktionstreue Teilmenge \mathcal{V} der universellen Signalmenge über der Zweigmengemenge \mathcal{Z} der Graphen \mathcal{G}_u und \mathcal{G}_i . Die konstitutive Relation ist eine zweistellige Relation. Sie charakterisiert die der Zweigmengemenge des Netzwerks zugeordneten physikalischen Eigenschaften und ist unabhängig von seiner topologischen Struktur.

Sei \mathcal{N} ein Kirchhoff-Netzwerk mit der Zweigmengemenge \mathcal{Z} und der universellen Signalmenge \mathcal{S} . Ist (u, i) ein Signalpaar aus \mathcal{S} , dann wird die Zeitfunktion u als *Spannung über der Zweigmengemenge* und die Zeitfunktion i als *Strom in der Zweigmengemenge* von \mathcal{N} bezeichnet. Für jeden Zweig $b \in \mathcal{Z}$ wird die durch $u_b := pu_b \circ u$ bzw. $i_b := pi_b \circ i$ definierte Zeitfunktion als die dem Zweig b durch das Signalpaar (u, i) zugeordnete *Zweigspannung* bzw. als der auf diese Weise dem Zweig b zugeordnete *Zweigstrom* bezeichnet.

Die Orientierungen der Zweige von \mathcal{G}_u bzw. \mathcal{G}_i sind die *Bezugsrichtungen* für die Zweigspannungen bzw. Zweigströme.

Das Skelett eines Kirchhoff-Netzwerks ist bewußt als ein geordnetes Paar orientierter Graphen eingeführt worden, die zwar die gleiche Zweig- und Knotenmenge haben müssen, sich aber in ihrer Orientierung unterscheiden können. Diese Voraussetzung erlaubt einerseits die Verwendung unterschiedlicher Bezugsrichtungen für die Zweigspannungen und Zweigströme (man denke allein an die unterschiedlichen Konventionen von Zählpfeilsystemen bei Zweitoren), sie erlaubt es andererseits innerhalb der hier betrachteten Formalisierung der Netzwerktheorie Operationen zu definieren, mit denen die Orientierung einzelner Bezugsrichtungen geändert werden können.

Es sei $\mathcal{N} = ((\mathcal{G}_u, \mathcal{G}_i), \mathcal{V})$ ein Netzwerk mit der universellen Signalmenge \mathcal{S} . Ein Signalpaar $(u, i) \in \mathcal{S}$ ist ein *Kirchhoffsches Signalpaar*, wenn es den folgenden Bedingungen genügt:

- (KUG) Für jede orientierte Masche $(\mathcal{Z}^+, \mathcal{Z}^-)$ von \mathcal{G}_u gilt $\sum_{b \in \mathcal{Z}^+} u_b - \sum_{b \in \mathcal{Z}^-} u_b = 0$,
(KIG) Für jeden orientierten Schnitt $(\mathcal{Z}^+, \mathcal{Z}^-)$ von \mathcal{G}_i gilt $\sum_{b \in \mathcal{Z}^+} i_b - \sum_{b \in \mathcal{Z}^-} i_b = 0$,
wobei $\sum_{b \in \emptyset} u_b := 0$ und $\sum_{b \in \emptyset} i_b := 0$ vorausgesetzt wird.

Die Bedingungen (KUG) and (KIG) werden als *Kirchhoffsches Spannungs-* bzw. *Kirchhoffsches Stromgesetz* bezeichnet.

Ist \mathcal{N} ein Netzwerk mit der universellen Signal-

menge \mathcal{S} , dann wird die Teilmenge \mathcal{H} aller Kirchhoffschen Signalpaare von \mathcal{S} als der *Kirchhoffsche Teil* von \mathcal{S} bezeichnet.

Die Elemente des Durchschnitts $\mathcal{L} := \mathcal{H} \cap \mathcal{V}$ sind die *Lösungen* von \mathcal{N} . Die Menge \mathcal{L} wird als die *Verhaltensrelation* oder als die *Menge der Lösungen* von \mathcal{N} bezeichnet.

Offensichtlich ist der Kirchhoffsche Teil der universellen Signalmenge eines Netzwerks restriktionstreue. Weil seine konstitutive Relation gleichfalls restriktionstreue ist, hat auch die Menge seiner Lösungen diese Eigenschaft.

Eine zentrale Aufgabe der Netzwerktheorie ist der Beweis von Theoremen, deren Voraussetzungen die Existenz oder Eindeutigkeit der Lösungen eines Netzwerks garantieren (s. z.B. [6, 7, 13]). Zu diesen Aufgaben gehört aber auch die Entwicklung effektiver Algorithmen und Software zur rechnergestützten Analyse von Netzwerken.

Sowohl die konstitutive Relation eines Netzwerks als auch seine Verhaltensrelation definieren ein dynamisches System im Sinne von [40].

\mathcal{N} sei ein Netzwerk mit der Zweigmengemenge \mathcal{Z} und der universellen Signalmenge \mathcal{S} . Weiterhin sei \mathcal{Z}^{gs} bzw. \mathcal{Z}^{eg} die Menge der Zweige von \mathcal{Z} , bei denen die Bezugsrichtungen für die Zweigspannungen und Zweigströme gleich- bzw. entgegengesetzt gerichtet sind. Gilt $b \in \mathcal{Z}^{gs}$, $(u, i) \in \mathcal{S}$ und $t \in \text{dom } u$, dann ist das Produkt $u_b(t)i_b(t)$ die im Zweig b *verbrauchte* Momentanleistung. Entsprechend ist dieses Produkt für $b \in \mathcal{Z}^{eg}$ die vom Zweig b *abgegebene* Momentanleistung.

Bezeichnet \mathcal{H} den Kirchhoffschen Teil der universellen Signalmenge eines Netzwerks, so folgt mit dem Orthogonalitätssatz der Graphentheorie [37] aus den Kirchhoffschen Gesetzen die als Theorem von WEYL-TELLEGEN bezeichnete Aussage $\forall (u, i) \in \mathcal{H} \forall t \in \text{dom } u \sum_{b \in \mathcal{Z}^{gs}} u_b(t)i_b(t) - \sum_{b \in \mathcal{Z}^{eg}} u_b(t)i_b(t) = 0$.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich hervorgehoben, daß der Satz von WEYL und TELLEGEN für alle zulässigen Interpretationen der Räume \mathcal{U} , \mathcal{I} , \mathcal{P} , \mathcal{T} und der Abbildung \mathcal{B} gilt, also auch dann, wenn die Elemente des Raums der Leistungswerte nicht die physikalische Dimension einer Leistung haben.

$\bar{\mathcal{N}}$ und \mathcal{N} seien Kirchhoff-Netzwerke mit den Zweigmengemengen $\bar{\mathcal{Z}}$ bzw. \mathcal{Z} und den Verhaltensrelationen $\bar{\mathcal{L}}$ bzw. \mathcal{L} . Das Netzwerk $\bar{\mathcal{N}}$ *erzeugt die Lösungen* von \mathcal{N} , wenn die Beziehungen $\bar{\mathcal{Z}} \supset \mathcal{Z}$ und $\bar{\mathcal{L}}_{\mathcal{Z}} = \mathcal{L}$ gelten.

Netzwerkpaare, bei denen das eine Netzwerk aus dem anderen durch Kontraktion eines Kurzschluß-Zweiges oder durch Herausnehmen eines Leerlauf-Zweiges hervorgeht, liefern einfache Beispiele für diesen Sachverhalt. Auf weitere Beispiele wird im folgenden hingewiesen.

Es sei \mathcal{G} ein orientierter Graph mit der Zweig-

menge \mathcal{Z} und \mathcal{Z}' eine nichttriviale Teilmenge von \mathcal{Z} . Werden aus \mathcal{G} sowohl die Zweige der Komplementärmenge von \mathcal{Z}' als auch die dabei gegebenenfalls entstehenden isolierten Knoten entfernt, so erhält man aus \mathcal{G} den von \mathcal{Z}' erzeugten Teilgraphen von \mathcal{G} , der mit $\mathcal{G}_{\mathcal{Z}'}$ bezeichnet werden soll. Ist $\mathcal{C} = (\mathcal{G}_u, \mathcal{G}_i)$ ein Skelett mit der Zweigmengung \mathcal{Z} und \mathcal{Z}' wiederum eine nichttriviale Teilmenge von \mathcal{Z} , so wird durch $\mathcal{C}_{\mathcal{Z}'} := (\mathcal{G}_{u, \mathcal{Z}'}, \mathcal{G}_{i, \mathcal{Z}'})$ das von \mathcal{Z}' erzeugte Teilskelett von \mathcal{C} definiert.

Es sei nun $\mathcal{N} =: (\mathcal{C}, \mathcal{V})$ ein Kirchhoff-Netzwerk mit der Zweigmengung \mathcal{Z} und der universellen Signalmengung \mathcal{S} . Ist \mathcal{Z}' eine nichttriviale Teilmenge von \mathcal{Z} und $\mathcal{Z}'' := \mathcal{Z} \setminus \mathcal{Z}'$, dann sind die geordneten Paare $\mathcal{N}_{\mathcal{Z}'} := (\mathcal{C}_{\mathcal{Z}'}, \mathcal{V}_{\mathcal{Z}'})$ und $\mathcal{N}_{\mathcal{Z}''} := (\mathcal{C}_{\mathcal{Z}''}, \mathcal{V}_{\mathcal{Z}''})$ gleichfalls Kirchhoff-Netzwerke und die konstitutiven Relationen dieser Netzwerke genügen stets der Beziehung $\mathcal{V} \subseteq \{(u, i) \in \mathcal{S} \mid (u_{\mathcal{Z}'}, i_{\mathcal{Z}'}) \in \mathcal{V}_{\mathcal{Z}'} \wedge (u_{\mathcal{Z}''}, i_{\mathcal{Z}''}) \in \mathcal{V}_{\mathcal{Z}''}\}$. Die Menge \mathcal{Z}' und ihr Komplement $\mathcal{Z}'' = \mathcal{Z} \setminus \mathcal{Z}'$ sind *entkoppelt*, wenn stattdessen die Beziehung $\mathcal{V} = \{(u, i) \in \mathcal{S} \mid (u_{\mathcal{Z}'}, i_{\mathcal{Z}'}) \in \mathcal{V}_{\mathcal{Z}'} \wedge (u_{\mathcal{Z}''}, i_{\mathcal{Z}''}) \in \mathcal{V}_{\mathcal{Z}''}\}$ gilt. Sind die Mengen \mathcal{Z}' und \mathcal{Z}'' entkoppelt, so werden die Netzwerke $\mathcal{N}_{\mathcal{Z}'}$ und $\mathcal{N}_{\mathcal{Z}''}$ als *Unter- oder Teilnetzwerke* von \mathcal{N} bezeichnet.

Ein Kirchhoff-Netzwerk wird als *nichtzerlegbar* bezeichnet, wenn es kein Unternetzwerk enthält. Mit anderen Worten, bei einem nichtzerlegbaren Netzwerk sind alle Zweige miteinander gekoppelt.

Ein weiterer wichtiger Begriff der Netzwerktheorie ist der der *Zusammenschaltung* von Netzwerken. An dieser Stelle soll auf die Angabe einer allgemeinen Definition der Zusammenschaltung von Kirchhoff-Netzwerken verzichtet werden, vgl. [30]. Wenigstens aber soll hier ein wichtiger Spezialfall einer solchen Definition skizziert werden. Gegeben sei eine Familie $(\mathcal{N}^l)_{l \in L}$ von Kirchhoff-Netzwerken. Dabei bezeichne \mathcal{K}^l für jeden Index $l \in L$ die Knotenmenge und \mathcal{Z}^l die Zweigmengung von \mathcal{N}^l . Die Zweigmengen \mathcal{Z}^l seien paarweise disjunkt. Die resultierende Zusammenschaltung dieser Netzwerke werde mit $\mathcal{N} = (\mathcal{C}, \mathcal{V})$ bezeichnet. Der hier betrachtete Spezialfall der Zusammenschaltung soll durch Identifikation der zu verbindenden Knoten der gegebenen Netzwerke mit einer in der Hilfsmengung $\mathcal{K}_{\text{hm.}} := \bigcup_{l \in L} \mathcal{K}^l$ definierte Äquivalenzrelation $\simeq_{\text{zs.}}$ festgelegt werden. Die Quotientenmenge $\mathfrak{K} := \mathcal{K}_{\text{hm.}} / \simeq_{\text{zs.}}$ ist die Knotenmenge von \mathcal{N} , die Äquivalenzklassen $\mathcal{K}^l \in \mathfrak{K}$ sind seine Knoten. Die Zweigmengung von \mathcal{N} ist gleich der Vereinigung der Zweigmengen der Netzwerke \mathcal{N}^l . Die Inzidenzabbildungen des Spannungs- und Stromgraphen von \mathcal{N} lassen sich mit Hilfe der Relation $\simeq_{\text{zs.}}$ aus den entsprechenden Inzidenzabbildungen der zusammenschaltenden Netzwerke konstruieren. Die konstitutive Relation \mathcal{V} der Zusammenschaltung wird durch $\mathcal{V} := \{(u, i) \in \mathcal{S} \mid \forall l \in L (u_{\mathcal{Z}^l}, i_{\mathcal{Z}^l}) \in \mathcal{V}^l\}$ definiert. Dabei bezeichnet \mathcal{S} die universelle Signal-

mengung über der Zweigmengung $\mathcal{Z} := \bigcup_{l \in L} \mathcal{Z}^l$ von \mathcal{N} .

Bei den Anwendungen wird ein Netzwerk in der Regel nur an den als *Klemmen* bezeichneten Knoten einer Teilmenge seiner Knotenmenge mit anderen Netzwerken zusammenschaltet. Oftmals ist es sogar zweckmäßig, eine Zerlegung dieser Teilmenge in Klemmenklassen vorzuschreiben und zu fordern, daß bei einer Zusammenschaltung die Klemmenklassen mit unterschiedlichen Komponenten des äußeren Netzwerks verbunden werden. Typische Beispiele sind alle Arten von Übertragungsnetzwerken: Leitungen, Verstärker, Filter u.ä.

Ein geordnetes Paar $(\mathcal{N}, (\mathcal{K}^l)_{l \in L})$ ist ein *Mehrpole*, wenn \mathcal{N} ein Kirchhoff-Netzwerk ist und $(\mathcal{K}^l)_{l \in L}$ eine Familie paarweise disjunkter, wenigstens zweielementiger Teilmengen der Knotenmenge von \mathcal{N} . Zusätzlich wird vereinbart, daß das Netzwerk \mathcal{N} höchstens an Knoten der Mengen \mathcal{K}^l ($l \in L$) mit anderen Netzwerken zusammenschaltet werden soll, wobei die Graphen der mit \mathcal{N} verbundenen äußeren Netzwerke keine Wege enthalten dürfen, die Knoten verbinden, die zu verschiedenen der als *Klemmenklassen* bezeichneten Mengen \mathcal{K}^l ($l \in L$) gehören. \mathcal{N} ist das *unterliegende* Netzwerk dieses Mehrpols, und $\mathcal{K}_{\text{kl.}} := \bigcup_{l \in L} \mathcal{K}^l \subseteq \mathcal{K}$ seine *Klemmenmenge*.

Mit der durch $n^l := |\mathcal{K}^l|$ ($l \in L$) definierten Familie $(n^l)_{l \in L}$ wird ein solcher Mehrpol auch als auch als $(n^l)_{l \in L}$ -*Pol* bezeichnet. Enthält die Familie $(\mathcal{K}^l)_{l \in L}$ lediglich eine Klemmenklasse und bezeichnet n die Anzahl ihrer Elemente, so wird ein solcher Mehrpol auch als n -*Pol* bezeichnet.

Ein *Mehrtor* ist ein Mehrpol, dessen Klemmenklassen jeweils genau zwei Elemente enthalten. Ein n -*Tor* ist ein Mehrtor mit n Klemmenklassen.

Ein Mehrpol $(\mathcal{N}, (\mathcal{K}^l)_{l \in L})$ ist ein *elementarer Mehrpol*, wenn der Spannungsgraph von \mathcal{N} ein Wald ohne isolierte Knoten ist, der aus $|L|$ Bäumen besteht, deren Knotenmenge jeweils genau eine der Klemmenklassen \mathcal{K}^l ($l \in L$) ist. Enthält die Familie der Klemmenklassen eines elementaren Mehrpols lediglich eine Klemmenklasse, so ist der Spannungsgraph seines unterliegenden Netzwerks ein Baum, dessen Knotenmenge gleich dieser Klemmenklasse ist. Bezeichnet n die Anzahl der in dieser Klemmenklasse enthaltenen Knoten, so wird ein solcher elementarer Mehrpol auch als ein *elementarer n -Pol* bezeichnet.

Ein *elementares Mehrtor* ist ein elementarer Mehrpol, dessen Klemmenklassen jeweils genau zwei Elemente enthalten. In diesem Fall bestehen die Graphen des unterliegenden Netzwerks aus einzeiligen Komponenten. Ein elementares Mehrtor mit n Klemmenklassen wird als *elementares n -Tor* bezeichnet.

Nach der in [28] eingeführten Definition des Klemmenverhaltens haben zwei Mehrpole mit gleicher Klemmenmenge das *gleiche Klemmenverhalten* in Bezug auf diese Klemmenmenge, wenn man

in beliebigen äußeren Netzwerken, die jeweils mit den Klemmen dieser Mehrpole verbunden werden, nicht feststellen kann, mit welchem der dieser beiden Mehrpole ein solches äußeres Netzwerk verbunden ist.

Wie wir in [28] gezeigt haben, läßt sich jeder $(n^l)_{l \in L}$ -Pol durch einen elementaren $(n^l)_{l \in L}$ -Pol mit gleicher Klemmenklassenfamilie und einem in Bezug auf diese Klemmenklassenfamilie gleichen Klemmenverhalten ersetzen. Entsprechend existiert zu jedem n -Tor ein elementares n -Tor mit gleicher Klemmenklassenfamilie und einem in Bezug auf diese Klemmenklassenfamilie gleichen Klemmenverhalten. Solche elementaren $(n^l)_{l \in L}$ -Pole bzw. n -Tore werden auch als *kanonische Repräsentanten* des Klemmenverhaltens der jeweils gegebenen $(n^l)_{l \in L}$ -Pole bzw. n -Tore bezeichnet.

Für jeden n -Pol gibt es kanonische Repräsentanten seines Klemmenverhaltens, deren Spannungs- und Stromgraphen Wälder mit maximal vielen Komponenten sind.

Zur Bestimmung des Klemmenverhaltens eines Mehrpols kann die unendliche Menge aller äußeren Beschaltungen auch durch eine Zusammenschaltung mit Noratoren ersetzt werden, Beispiele findet man in [29, 31].

Ein Kirchhoff-Netzwerk \tilde{N} hat die *Belevitch-Normalform*, wenn es aus einer Zusammenschaltung eines idealen Übertragermehrtors \hat{N} mit einem Mehrtor \tilde{N} besteht, bei der jeder Zweig von \hat{N} mit genau einem Zweig von \tilde{N} eine zweizweigige Masche und damit auch einen zweizweigigen Schnitt bildet.

Zu jedem Kirchhoff-Netzwerk existiert ein Kirchhoff-Netzwerk in Belevitch-Normalform, das die Lösungen des gegebenen Netzwerks erzeugt und gegenüber diesem Netzwerk die doppelte Zahl von Zweigen hat [2].

Offensichtlich sind die Graphen von Kirchhoff-Netzwerken in Belevitch-Normalform stets planar. Folglich sind die Netzwerke dieser Klasse stets dualisierbar.

Die Belevitch-Normalform von Netzwerken ist in [21] als Ausgangspunkt für eine axiomatische Darstellung der Netzwerktheorie verwendet worden.

4 Minty-Netzwerke

Aus der Tatsache, daß die topologische Struktur der Kirchhoff-Netzwerke durch Graphen beschrieben wird, ergibt sich die grundsätzliche Schwierigkeit, daß sich die so definierten Netzwerke nur dualisieren lassen, wenn die ihnen zugrundeliegenden Graphen planar sind. Einerseits stört dieses Phänomen die innere Symmetrie des Theoriengebäudes, andererseits ergeben sich daraus, wie die Diskussion der elektro-mechanischen Analogien in [33] gezeigt hat, aber auch Probleme bei konkreten Anwendungen.

Wenn es nur um die Abrundung der Netzwerktheorie an sich geht, kann man diesen Schwierigkeiten auf eine außerordentlich elegante Art aus dem Weg gehen, indem man die orientierten Graphen durch orientierte Graphoide ersetzt.

Der Begriff des *Graphoids* und der des *orientierten Graphoids* ist 1966 von G. J. MINTY im Zusammenhang mit seinen Arbeiten (z.B. [23]) zur Charakterisierung der Theorie der Matroide durch ein selbstduales Axiomensystem eingeführt worden.

Derartige Graphoide lassen sich durch Tripel beschreiben, die aus einer Trägermenge, aus der mit den Elementen dieser Trägermenge gebildeten Menge von Maschen und aus der gleichfalls aus den Elementen dieser Trägermenge gebildeten Menge von Schnitten bestehen. Bei orientierten Graphoiden bestehen diese Mengen von Maschen und Schnitten aus orientierten Maschen und Schnitten. Die Mengen der Maschen und Schnitte müssen den von Minty für orientierte und nichtorientierte Graphoide eingeführten Axiomensystemen genügen. Im wesentlichen liegen diesen Axiomensystemen abgeschwächte Formen von Sätzen zugrunde, die aus der Graphentheorie bekannt sind. Insbesondere gehören dazu der im Zusammenhang mit dem Tellegen-Theorem erwähnte Orthogonalitätssatz (vgl. [37]) und der erst 1960 von Minty [22] entdeckte Satz von den gefärbten Zweigen. Aus der Symmetrie der hier nicht näher beschriebenen Axiomensysteme folgt sofort, daß man ein Graphoid stets dualisieren kann, indem man die zugehörigen Mengen der Maschen und Schnitte miteinander vertauscht.

Unabhängig von der Theorie der Matroide und Graphoide hat sich der Satz von den gefärbten Zweigen in der Theorie der elektrischen Netzwerke als ein außerordentlich wirkungsvolles Hilfsmittel beim Beweis von Existenz- und Eindeutigkeitsausagen erwiesen (s. z.B. [6, 7, 13]).

In [32] haben wir auf dieser Basis die Grundzüge einer Theorie der Minty-Netzwerke entwickelt (vgl. hierzu auch die in [3] zitierten Arbeiten von BIRKETT). In Analogie zu den Ausführungen in Abschnitt 3 wird auch ein Minty-Netzwerk wieder durch ein geordnetes Paar aus einem Skelett und einer konstitutiven Relation definiert, wobei das Skelett ein geordnetes Paar aus zwei orientierten Graphoiden mit gleicher Trägermenge ist, die sich höchstens in ihrer Orientierung unterscheiden. Aus der Definition der Minty-Netzwerke folgt unmittelbar, daß sich jedes dieser Netzwerke dualisieren läßt.

Außerdem läßt sich jedem Kirchhoff-Netzwerk stets ein Minty-Netzwerk zuordnen. Die Zweigmengen dieser Kirchhoff-Netzwerke liefert die Trägermenge der entsprechenden Graphoide, die Mengen der Maschen und Schnitte dieser Graphoide erhält man aus den Maschen und Schnitten des Spannungs- und Stromgraphen des gegebenen Kirchhoff-Netzwerks, und die konstitutive Relation

wird unverändert übernommen.

Ein geordnetes Paar $(\mathcal{N}, \mathcal{Z}')$ ist ein *Minty- n -Tor mit der Tormenge \mathcal{Z}'* , wenn $\mathcal{N} =: (\mathcal{C}, \mathcal{V})$ ein Minty-Netzwerk mit der Zweigmengen \mathcal{Z} ist und \mathcal{Z}' eine n -elementige Teilmenge von \mathcal{Z} ist, deren Zweige nicht miteinander und nicht mit denen ihrer Komplementärmenge $\mathcal{Z} \setminus \mathcal{Z}'$ gekoppelt sind, wobei die für $b \in \mathcal{Z}'$ durch $\{b\}$ erzeugten Projektionen $\mathcal{V}_{\{b\}}$ die konstitutiven Relationen von Noratoren sind. Die Idee zu dieser Definition findet man ohne die Verwendung des Noratorbegriffs bereits in [23].

Bei einer Zusammenschaltung von Minty-Mehrtoren werden jeweils die konstitutiven Relationen der Zweigpaare, die zu einem Paar von Toren gehören, die zusammenschaltet werden sollen, durch die konstitutive Relation eines idealen 1:1-Übertrager ersetzt. Diese Art der Zusammenschaltung steht in engem Zusammenhang mit den Verbindungsmehrtoren der Bondgraphenterminologie, vgl. hierzu [32] und die Ausführungen in den Abschnitten 5 und 6.

5 Mehrpol- und Mehrtor-Netzwerke

Während wir in den vorangegangenen Abschnitten zunächst den Begriff eines Netzwerks definiert und danach gegebenenfalls Mehrpole und Mehrtore als spezielle Netzwerke eingeführt haben, gehen wir in diesem Abschnitt in entgegengesetzter Reihenfolge vor. Ansonsten werden wir weitgehend die gleichen Formalisierungstechniken anwenden.

Wie in Abschnitt 3 seien \mathcal{U} , \mathcal{I} , \mathcal{P} und \mathcal{T} eindimensionale normierte orientierte lineare Räume. $\text{Int } \mathcal{T}$ bezeichne wieder die Menge aller Intervalle von \mathcal{T} , und \mathcal{B} eine nichtausgeartete bilineare Abbildung $\mathcal{B} : \mathcal{U} \times \mathcal{I} \rightarrow \mathcal{P}$.

\mathcal{U} wird hier als Raum der *Klemmenspannungen* und \mathcal{I} als Raum der *Klemmenstromwerte* bezeichnet, \mathcal{P} ist der Raum der *Leistungswerte* und \mathcal{T} die *Zeitachse*. Die Abbildung \mathcal{B} ist das *Leistungsprodukt*.

Ein *Mehrpole* wird jetzt definiert als ein geordnetes Paar $(\mathcal{K}, \mathcal{V})$ einer Klemmenmenge \mathcal{K} und einer restriktionstreuen konstitutiven Relation \mathcal{V} , die in der universellen Signalmenge über \mathcal{K} enthalten ist, d.h. $\mathcal{V} \subseteq \mathcal{S} := \bigcup_{T \in \text{Int } \mathcal{T}} (\mathcal{U}^{\mathcal{K}})^T \times (\mathcal{I}^{\mathcal{K}})^T$. Zusätzlich muß die Relation \mathcal{V} noch die folgenden Konsistenzbedingungen erfüllen:

- (i) $\forall_{(\varphi, i), (\psi, i) \in \mathcal{S}} [(\varphi, i) \in \mathcal{V} \wedge (\forall_{v, w \in \mathcal{K}} \psi_v = \psi_w)] \Rightarrow (\varphi + \psi, i) \in \mathcal{V}$,
- (ii) $\forall_{(\varphi, i) \in \mathcal{V}} \sum_{v \in \mathcal{K}} i_v = 0$,

wobei die *Klemmenpotentiale* φ_v und die *Klemmenströme* i_v ($v \in \mathcal{K}$) in Analogie zum Vorgehen in Abschnitt 3 für alle $(\varphi, i) \in \mathcal{S}$ und $v \in \mathcal{K}$ durch $\varphi_v := \text{pi}_v \circ \varphi$ bzw. $i_v := \text{pi}_v \circ i$ definiert werden.

Mit Blick auf die nachfolgenden Ausführungen sei

an dieser Stelle ausdrücklich hervorgehoben, daß die konstitutive Relation eines Mehrpols nicht notwendigerweise von der leeren Menge verschieden sein muß.

Ein Mehrpol $(\mathcal{K}, \mathcal{V})$ ist ein *n -Pol*, wenn $n = |\mathcal{K}|$ gilt.

Für jeden Mehrpol $(\mathcal{K}, \mathcal{V})$ existiert eine eindeutige Zerlegung $\mathfrak{K}_{\text{comp}}$ seiner Klemmenmenge in eine maximale Zahl von Mengen $\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}_{\text{comp}}$, die den folgenden Bedingungen genügen:

- (i) $\forall_{(\varphi, i), (\psi, i) \in \mathcal{S}} [(\varphi, i) \in \mathcal{V} \wedge (\forall_{\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}_{\text{comp}}} \forall_{v, w \in \mathcal{K}'} \psi_v = \psi_w)] \Rightarrow (\varphi + \psi, i) \in \mathcal{V}$,
- (ii) $\forall_{(\varphi, i) \in \mathcal{V}} \forall_{\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}_{\text{comp}}} \sum_{v \in \mathcal{K}'} i_v = 0$.

Die Elemente von $\mathfrak{K}_{\text{comp}}$ sind die *Komponenten* von \mathcal{M} .

Ein *Mehrpole-Netzwerk* \mathcal{N} wird nun als eine Zusammenschaltung einer endlichen Familie $(\mathcal{M}^l)_{l \in L}$ unterschiedlicher Mehrpole $\mathcal{M}^l =: (\mathcal{K}^l, \mathcal{V}^l)$ definiert. Diese Zusammenschaltung kann z.B. durch eine Identifikation von Klemmen der Mengen \mathcal{K}^l ($l \in L$) mit Hilfe einer Äquivalenzrelation \simeq_{zs} in der Hilfsmenge $\mathcal{K}_{\text{hm}} := \bigcup_{l \in L} \mathcal{K}^l$ definiert werden. Die Quotientenmenge $\mathfrak{K} := \mathcal{K}_{\text{hm}} / \simeq_{\text{zs}}$ ist die Menge der Knoten von \mathcal{N} , die Äquivalenzklassen $\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}$ sind die Knoten von \mathcal{N} . Die *Verhaltensrelation* von \mathcal{N} ist die Menge aller Signalpaare $(\varphi, i) \in \mathcal{S}_{\text{hm}} := \bigcup_{T \in \text{Int } \mathcal{T}} (\mathcal{U}^{\mathcal{K}_{\text{hm}}})^T \times (\mathcal{I}^{\mathcal{K}_{\text{hm}}})^T$, die den konstitutiven Relationen der Mehrpole \mathcal{M}^l ($l \in L$), d.h. der Bedingung $\forall_{l \in L} (\varphi_{\mathcal{K}^l}, i_{\mathcal{K}^l}) \in \mathcal{V}^l$, und den *Zusammenschaltungsbedingungen* $\forall_{\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}} \forall_{v, w \in \mathcal{K}'} \varphi_v = \varphi_w$ und $\forall_{\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}} \sum_{v \in \mathcal{K}'} i_v = 0$ genügen, wobei die Größen $\varphi_{\mathcal{K}^l}$ und $i_{\mathcal{K}^l}$ für alle $(\varphi, i) \in \mathcal{S}$ durch $\varphi_{\mathcal{K}^l} := \text{pu}_{\mathcal{K}^l} \circ \varphi$ bzw. $i_{\mathcal{K}^l} := \text{pi}_{\mathcal{K}^l} \circ i$ definiert werden.

Die Zusammenschaltungsbedingungen sind modifizierte Versionen der Kirchhoffschen Gesetze.

Der Fall, daß die Familie der zusammenzuschaltenden Netzwerke nur aus dem einen Glied $\mathcal{M} = (\mathcal{K}, \mathcal{V})$ besteht, ist ausdrücklich zugelassen. Die Verhaltensrelation eines solchen Netzwerks ist dann gleich der Menge $\{(\varphi, i) \in \mathcal{V} \mid i = 0\}$.

Offensichtlich liefern Hypergraphen eine angemessene Darstellung der topologischen Struktur eines Mehrpole-Netzwerks.

Ist $\mathcal{M} =: (\mathcal{K}, \mathcal{V})$ ein Mehrpole und gilt $(\varphi, i) \in \mathcal{V}$. Dann ist $\sum_{v \in \mathcal{K}} \varphi_v i_v$ die in \mathcal{M} *verbrauchte Leistung*.

Ist \mathcal{N} ein Mehrpole-Netzwerk, dann folgt aus den Zusammenschaltungsbedingungen, daß für jede Lösung von \mathcal{N} die Summe der in den Komponenten von \mathcal{N} verbrauchten Leistungen verschwindet. Diese Aussage ist für Mehrpole-Netzwerke das Gegenstück zum Theorem von WEYL-TELLEGEN für die Klasse der Kirchhoff-Netzwerke.

Wichtig für den weiteren Aufbau der Netzwerktheorie auf der Basis von Mehrpolen ist die Aussage, daß man aus jedem Mehrpole-Netzwerk wieder einen Mehrpole erhalten kann, der wiederum mit anderen Mehrpolen zu einem neuen Mehrpole-Netzwerk zusammenschaltet werden kann, usf. Auf

diese Weise ist es möglich, “große” Netzwerke oder Mehrpole als eine hierarchisch geschachtelte Zusammenschaltung von Mehrpolen darzustellen.

Ist etwa \mathcal{N} ein Mehrpolnetzwerk, das sich aus der Zusammenschaltung einer Familie von Mehrpolen $\mathcal{M}^l := (\mathcal{K}^l, \mathcal{V}^l)$ mit Hilfe einer Äquivalenzrelation \simeq_{zs} ergeben hat. Um aus diesem Netzwerk einen neuen Mehrpol zu gewinnen, ist es lediglich erforderlich, aus der Menge $\mathfrak{K} := \mathcal{K}_{hm.} / \simeq_{zs}$ eine nichtleere Teilmenge $\mathfrak{K}_{kl} \subseteq \mathfrak{K}$ von zugänglichen Klemmen auszuwählen. Die konstitutive Relation des so definierten Mehrpols kann man in Analogie zu dem in [28] beschriebenen Vorgehen aus dem Verhalten des in geeigneter Weise mit Noratoren beschalteten Mehrpolnetzwerk \mathcal{N} ermitteln. Dazu wird zunächst jede Klemme $\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}_{kl}$ of \mathcal{N} mit genau einem der Pole eines Norator-Zweipols verbunden. Die “frei” endenden Pole aller dieser Noratoren werden dann in einer weiteren externen Klemme vereinigt. Aus den Klemmenpaarspannungen und Klemmenströmen der Lösungen des resultierenden Mehrpol-Netzwerks erhält man dann die konstitutive Relation des so definierten neuen Mehrpols.

Weil das Verhalten eines Mehrpolnetzwerks auch leer sein kann, haben wir – im Unterschied zu [10] – von vornherein zugelassen, daß die konstitutive Relation eines Mehrpols gleich der leeren Menge sein kann. Nur unter dieser Voraussetzung können beliebige Zusammenschaltungen von Mehrpolen verwendet werden, um neue Mehrpole zu konstruieren.

Mit den Mitteln der Theorie des Klemmenverhaltens von Kirchhoff-Netzwerken [28] ist es möglich, jedem Mehrpol im Sinne der in diesem Abschnitt angegebenen Definition einen elementaren Mehrpol im Sinne der Definition von Abschnitt 3 zuzuordnen, der das gleiche Klemmenverhalten realisiert. Umgekehrt kann auch jedem elementaren Mehrpol im Sinne der Definition aus Abschnitt 3 ein Mehrpol im Sinne der Definition dieses Abschnitts zugeordnet werden. Das gleiche gilt für die Beziehung zwischen dem Verhalten eines Mehrpol-Netzwerks und des ihm zugeordneten Kirchhoff-Netzwerks. Aus diesem Grunde liefert der Mehrpol-Zugang eine äquivalente Basis zur Entwicklung der Netzwerktheorie.

In einer Theorie der Mehrpol-Netzwerke lassen sich Mehrtore als spezielle Mehrpole einführen. Es sei aber an dieser Stelle daran erinnert, daß der Torbegriff in der netzwerktheoretischen Literatur nicht einheitlich verwendet wird. Traditionell wird der Torbegriff mit dem eines Klemmenpaars identifiziert. Es gibt aber auch andere Auffassungen. So z.B. wird in [17] vorgeschlagen, die Klemmenmengen der Komponenten eines Mehrpols, also gewissermaßen die Schnittstellen über die der Energieaustausch in einem Mehrpol-Netzwerk stattfindet, als Tore zu bezeichnen. Wir wollen uns hier aber der zuerst genannten Auffassung anschließen.

Demgemäß wird ein *Mehrtor* als Bezeichnung für einen Mehrpol eingeführt, dessen Komponenten jeweils genau zwei Klemmen enthalten. Die Verträglichkeitsbedingungen, denen die konstitutive Relation eines solchen Mehrtors genügen müssen, können deshalb folgendermaßen umgeschrieben werden:

$$(i') \quad \forall_{(\varphi, i), (\psi, i) \in \mathcal{S}} [(\varphi, i) \in \mathcal{V} \wedge (\forall_{\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}_{comp.}} \forall_{v, w \in \mathcal{K}'} \psi_v = \psi_w)] \Rightarrow (\varphi + \psi, i) \in \mathcal{V},$$

$$(ii') \quad \forall_{(\varphi, i) \in \mathcal{V}} \forall_{\mathcal{K}' \in \mathfrak{K}_{comp.}} \forall_{v, w \in \mathcal{K}', v \neq w} i_v + i_w = 0.$$

Die Bedingungen (i') und (ii') werden auch als *Torbedingungen* bezeichnet (s. z.B. [10, 11, 19, 13]).

Gegeben sei nun eine Familie $(\mathcal{M}^l)_{l \in L}$ disjunkter Mehrtore. Weil Mehrtore in der Klasse der Mehrpole als Spezialfälle enthalten sind, führt die Zusammenschaltungen von Mehrtoren stets auf ein Mehrpol-Netzwerk. Selbstverständlich ist es möglich, in der Knotenmenge eines solchen Mehrpol-Netzwerks eine Menge zweielementiger Teilmengen als von außen zugängliche Klemmenpaare auszuwählen. Allerdings werden die Klemmenpotentiale und Klemmenströme der so ausgewählten Klemmenpaare i.a. nicht den Torbedingungen genügen. Verzichtet man auf die vorgegebene Einteilung der Klemmenmenge in Klemmenpaare, so ist das so entstandene Gebilde zwar stets ein Mehrpol, aber eben nicht notwendigerweise wieder ein Mehrtor. Aus diesem Grund ist es i.a. erst recht nicht möglich, mit Hilfe hierarchisch geschachtelter Zusammenschaltungen solcher Mehrpol-Netzwerke neue Mehrtore zu konstruieren.

Diese Schwierigkeit ist aus der “klassischen” Vierpoltheorie (die aus heutiger Sicht ja lediglich eine unzureichende Bezeichnung für eine Zweitortheorie ist) lange bekannt. Von dort her ist auch ein Notbehelf bekannt, mit dem man dieses Problem umschiffen kann: Die Einführung zusätzlicher idealer Übertrager. In Analogie zu dem dortigen Vorgehen genügt es, $n - 1$ von den n für weitere Zusammenschaltungen als zugänglich ausgewählten Klemmenpaaren eines durch Zusammenschaltung von Mehrtoren entstandenen Mehrpol-Netzwerks mit idealen Zweiwicklungsübertrager abzuschließen, um die Einhaltung der Torbedingungen zu sichern. Wie schon in der “Vierpoltheorie” empfindet man aber auch hier die nachträgliche Einführung der ursprünglich nicht vorgesehenen idealen Übertrager als unangebracht. Dieser “Schönheitsfehler” der Mehrtortheorie hat letztlich wohl auch den Anstoß gegeben, Darstellungen der Netzwerktheorie zu entwickeln, bei denen vom Begriff des Mehrpols und nicht von dem des Mehrtors ausgegangen wird.

Man kann aus der Not aber auch eine Tugend machen, indem man bei der Definition der Zusammenschaltung von Mehrtoren nur solche Familien $(\mathcal{M}^l)_{l \in L}$ disjunkter Mehrtore zuläßt, die in zwei Teilfamilien zerlegt werden können, in eine Fami-

lie $(\mathcal{M}^l)_{l \in L^{vb.}}$ von *Verbindungsmehrtoren* und eine komplementäre Familie $(\mathcal{M}^l)_{l \in L^{zvb.}}$ von *Mehrtoren*, die mit Hilfe der Verbindungsmehrtore verbunden werden sollen. Als Verbindungsmehrtore werden ausschließlich ideale Mehrwicklungsübertrager zugelassen. Zusätzlich wird vorausgesetzt, daß die Anzahl der Tore aller Verbindungsmehrtore wenigstens so groß ist, wie die der Tore aller der damit zu verbindenden Mehrtore. Außerdem wird vereinbart, daß jedes Klemmenpaar der Mehrtore \mathcal{M}^l ($l \in L^{zvb.}$) mit genau einem Klemmenpaar eines der Verbindungsmehrtore zusammenschaltet wird. Die resultierende Zusammenschaltung ist ein Netzwerk, wenn alle Klemmenpaare der Verbindungsmehrtore mit einem der Klemmenpaare der Mehrtore \mathcal{M}^l ($l \in L^{zvb.}$) oder mit einem anderen Klemmenpaar eines Verbindungsmehrtore abgeschlossen sind. Andernfalls liefert diese Konstruktion ein Mehrtor. Die Anzahl der Tore des so definierten Mehrtors ist gleich der Anzahl der freigebliebenen Klemmenpaare der Übertragermehrtore. Jedes solche Mehrtor kann nun auf die gleiche Weise mit Hilfe einer Familie von Verbindungsmehrtoren mit anderen Mehrtoren zusammenschaltet werden. Das Ergebnis ist dann stets ein Netzwerk oder ein Mehrtor. Die konstitutive Relation eines solchen Mehrtors kann in Analogie zu [28] aus dem Verhalten eines zugeordneten Netzwerks bestimmt werden, das man erhält, wenn jedes Tor dieses Mehrtors mit einem Norator abgeschlossen wird..

Vom Gesichtspunkt der Anwendungen ist es möglich, die Klasse der Verbindungsmehrtore auf die Klasse der Parallel- und Serienschaltungsmehrtore der Bondgraphentheorie [25, 14, 39, 26] einzuschränken. Parallel- und Serienschaltungsmehrtore sind Spezialfälle der bereits 1932 von W. CAUER [4] eingeführten Übertragermehrtore erster und zweiter Art.

Die auf diese Weise definierten Netzwerke und Mehrtore können mit den in [32] eingeführten *Paynter-Netzwerke* identifiziert werden.

Es kann gezeigt werden, daß das Verhalten beliebiger Kirchhoff-, Minty- und Mehrpol-Netzwerke mit Paynter-Netzwerken erzeugt werden kann.

In [32] haben wir gezeigt, daß sich jedes Paynter-Netzwerk mit Hilfe eines Bondgraphen darstellen läßt und daß umgekehrt jedem Bondgraphen ein Paynter-Netzwerk zugeordnet werden kann. Die Bondgraphenterminologie liefert deshalb ein adäquates Mittel für die Beschreibung soeben definierten eingeschränkten Zusammenschaltung von Mehrtoren. Sie erlaubt auch eine Beschreibung hierarchisch geschachtelter Zusammenschaltungen von Mehrtoren.

Offensichtlich ist jedes Paynter-Netzwerk ein Netzwerk in Belevitch-Normalform und kann demzufolge dualisiert werden.

6 Abschließende Bemerkungen

In den vorangehenden Abschnitten haben wir axiomatische Begründungen für vier Klassen von Netzwerken skizziert, die Klassen der Kirchhoff-, Minty-, Mehrpol- und Mehrtor-Netzwerke.

Obgleich der Mehrpol-Zugang eine zur Klasse der Kirchhoff-Netzwerke äquivalente Basis zum Aufbau der Netzwerktheorie liefert und obgleich wir eine wachsende Tendenz beobachten, bei der Entwicklung von Software-Paketen für interdisziplinäre Anwendungen der Netzwerktheorie von einem Mehrpol-Zugang auszugehen, hat dieser Zugang doch eine Reihe entscheidender Nachteile. Solen beispielsweise zum Beweis von Aussagen zur Existenz oder Eindeutigkeit der Lösungen eines Mehrpol-Netzwerks graphentheoretische Mittel herangezogen werden, dann ist es in der Regel erforderlich, dem entsprechenden Mehrpol-Netzwerk ein äquivalentes Kirchhoff-Netzwerk zuzuordnen, indem man die Mehrpole des gegebenen Mehrpol-Netzwerks durch elementare Kirchhoff-Mehrpole mit gleichem Klemmenverhalten ersetzt (vgl. auch [13, 5, 18]). Darüber hinaus ist es ohne eine solche Zuordnung nicht möglich, den Begriff der Dualität von Netzwerken zu erfassen. Nicht zuletzt liefert der Mehrpol-Zugang keine Ansatzpunkte für die Definition graphoidaler Netzwerke. Allerdings hat die Klasse der Minty-Netzwerke für die Anwendungen nach wie vor eine untergeordnete Bedeutung, weil es keine Strategien gibt, mit denen man ausgehend von einem realen technischen System direkt zu einem Netzwerkmodell aus dieser Klasse kommt und nicht nur dadurch, daß man zunächst einem Kirchhoff-Netzwerk mit nichtplanaren Graphen ein Minty-Netzwerk zuordnet, daß dann dualisiert wird.

Aus der Sicht der Theorie der Kirchhoff-Netzwerke könnte man die Mehrpol-Definition aus Abschnitt 5 auch als eine spezielle Terminologie zur Beschreibung des Klemmenverhaltens von Kirchhoff-Netzwerken in Bezug auf eine vorgegebene Klemmenmenge betrachten, die bei der Aufstellung von Gleichungssystemen zur Knotenspannungsanalyse vorteilhaft ist (vgl. [11]), aber das ist mit den in Abschnitt 3 eingeführten kanonischen Repräsentanten für das Klemmenverhalten eines Mehrpols genau so gut möglich.

Bemerkenswert ist der in Abschnitt 5 erwähnte Zusammenhang zwischen den Paynter-Netzwerken und der Bondgraphenterminologie. Die Bondgraphenterminologie liefert durch Analyse des Leistungsaustauschs zwischen den Bestandteilen eines realen technischen Systems zugleich eine vielfach anwendbare Strategie zur Konstruktion von Modellen, die aus einer Zusammenschaltung von Mehrtoren bestehen. Allerdings gibt es durchaus berechtigte Zweifel, ob Modelle, die auf dem traditionel-

len Torkonzept basieren, stets ein angepaßtes Netzwerkmodell für ein technisches System liefern, s. z.B. [17, 19].

Nicht eingegangen sind wir auf die Darstellung konstitutiver Relationen durch Momentanwertrelationen oder konstitutive Gleichungen, auf die Definition der Isomorphie zwischen Netzwerken und die Möglichkeiten, die eine Theorie mehrdimensionaler Netzwerke bietet.

A Bezeichnungen aus der Mengenlehre

Binäre Relationen werden als Mengen geordneter Paare definiert. Ist R eine binäre Relation, dann ist $R^{-1} := \{(y, x) | (x, y) \in R\}$ die dazu inverse Relation. Funktionen und Abbildungen werden als binäre Relationen betrachtet, die eine eindeutige Zuordnung der Elemente ihres Definitionsbereichs zu Elementen ihres Wertebereichs realisieren. Für beliebige Mengen X und Y bezeichnet Y^X die Menge aller Abbildungen von X in Y . Anstelle von $f \in Y^X$ wird auch $f : X \rightarrow Y$ geschrieben. Die Menge $\text{dom } f := X$ bezeichnet den Definitionsbereich von f und $\text{rng } f := \{y \in Y | \exists x \in X y = f(x)\}$ den Wertebereich von f . Für jedes $f \in Y^X$ und $X' \subset X$ bezeichnen wir mit $f|_{X'} := f \cap X' \times Y$ die Restriktion von f auf X' . Der Begriff einer Familie wird als Synonym für eine Funktion verwendet. Wenn $(X_i)_{i \in I}$ eine Familie ist, dann ist I ihr Definitionsbereich, und X_i bezeichnet den Funktionswert dieser Funktion an der Stelle $i \in I$. Für jede Teilmenge $I' \subset I$ wird die Restriktion von $(X_i)_{i \in I}$ auf I' mit $(X_i)_{i \in I'}$ bezeichnet. Die Kardinalzahl einer Menge X wird mit $|X|$ bezeichnet. Ist X eine endliche Menge, so ist $|X|$ gleich der Anzahl ihrer Elemente. Für zusätzliche Details wird auf [9, 12, 36]) verwiesen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen früheren Kollegen und Mitarbeitern, den Herren Prof. Dr.-Ing. G. Elst, Prof. Dr.-Ing.habil. B. Straube, Dr.-Ing. J. Haase, Dr.-Ing. M. Uhle, alle am Betriebsteil EAS Dresden des IIS der FhG, Dr.-Ing. H. Loose, Atena Engineering GmbH München, Dipl.-Math. B. Wrase, TU Dresden und Dipl.-Ing. T. Nähring, ITI GmbH Dresden danken, die meine Untersuchungen zu den Grundlagen der Theorie der elektrischen Netzwerke mit stetigem Interesse und vielen anregenden Diskussionen begleitet haben. Der gleiche Dank gilt den Herren Prof. Dr.-Ing. W. Mathis, Leibniz Universität Hannover und Dr.-Ing. R. Pauli, TU München. Außerdem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.rer.nat. P. Schreiber, Universität Greifswald für Diskussionen und wichtige Hinweise zur Formalisierung mathematischer Theorien

bedanken.

Literatur

- [1] G. C. Andrews and H. K. Kesavan. The vector-network model: A new approach to vector dynamics. *Mechanism and Machine Theory*, 10:57–75, 1975.
- [2] V. Belevitch. *Classical Network Theory*. Holden-Day, San Francisco, 1968.
- [3] S. Birkett, J. P. Thoma, and P. Roe. On the pedagogical virtues of bond graphs and linear graphs for physical system modeling. *Proc. 4th Mathmod*, pages Vol. 2, Full Papers CD, 2003.
- [4] W. Cauer. Ideale Transformatoren und lineare Transformationen. *ENT*, 9:157–174, 1932.
- [5] L. O. Chua, Ch. A. Desoer, and E. S. Kuh. *Linear and nonlinear circuits*. McGraw-Hill, New York, 1987.
- [6] L. O. Chua and D. Green. Graph theoretic properties of dynamic nonlinear networks. *IEEE Trans. Circ. and Syst.*, CAS-23(5):292–311, 1976.
- [7] L. O. Chua and D. Green. A qualitative analysis of the behavior of dynamic nonlinear networks. *IEEE Trans. Circ. and Syst.*, CAS-23(6):355–379, 1976.
- [8] L. O. Chua and P. M. Lin. *Computer-Aided Analysis of Electronic Circuits – Algorithms and Computational Techniques*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, 1975.
- [9] J. Dieudonné. *Foundations of modern analysis*. Academic Press, New York, 1968.
- [10] V. Doležal. *Dynamics of linear systems*. Publ. House Czechoslovak Akad. of Sciences, Prague, 1964.
- [11] G. Fodor. *Nodal analysis of electrical networks*. Akad. Kiadó, Budapest, 1988.
- [12] P. R. Halmos. *Naive set theory*. Springer, New York and Berlin, 1974.
- [13] M. Hasler and J. Neirynck. *Non-linear Networks*. Artech House, Inc., New York, 1986.
- [14] D. C. Karnopp, D. L. Margolis, and R. C. Rosenberg. *System Dynamics: A Unified Approach*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2nd edition, 1990.
- [15] G. Kirchhoff. Über den Durchgang eines elektrischen Stroms durch eine Ebene, insbesondere durch eine kreisförmige. *Ann. der Physik und Chemie*, 64:497–514, 1845.

- [16] G. Kirchhoff. Über die Auflösung der Gleichungen, auf welche man bei der Untersuchung der linearen Vertheilung der Ströme geführt wird. *Ann. der Physik und Chemie*, 72:497–508, 1847.
- [17] W. Klein. *Mehrtortheorie*. Akademie-Verlag, Berlin, 3rd edition, 1976.
- [18] H. E. Koenig, Y. Tokad, and H. K. Kesavan. *Analysis of Discrete Physical Systems*. McGraw-Hill - New York, 1967.
- [19] H. Mann. Physical modeling with multipoles. In *Proc. IEEE Symp. on Comp.-Aided control System Design*, volume Full paper CD, 1999.
- [20] W. Mathis and L. O. Chua. Applications of dimensional analysis in network theory. In *Proc. ECCTD'91*, pages 1243–1252, Kopenhagen (Denmark), 1991.
- [21] W. Mathis and W. Marten. On the structure of networks and duality theory. In *Proc. 31th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Amsterdam, 1989. North Holland.
- [22] G. J. Minty. Monotone networks. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, 257:194–212, 1960.
- [23] G. J. Minty. On the axiomatic foundations of the theories of directed linear graphs, electrical networks and network-programming. *J. of Math. and Mech.*, 15(3):485–520, 1966.
- [24] G. S. Ohm. *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet, Nachdruck der Originalausgabe von 1827*. VEB Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1989.
- [25] H. M. Paynter. *Analysis and design of engineering systems*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1961.
- [26] A. S. Perelson. Description of electrical networks using bond graphs. *Int. J. Circuit Theory and Appl.*, 4(2):107–123, 1976.
- [27] A. Recski. *Matroid Theory and its Applications in Electric Network Theory and Statics*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989.
- [28] A. Reibiger. Über das Klemmenverhalten von Netzwerken. *Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden*, 35:165–173, 1986.
- [29] A. Reibiger. Geometrical proof of the thevenin-norton theorem. In *Proc. European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD'97)*, pages 24–28. University of Technology Budapest, 1997.
- [30] A. Reibiger. Networks, decomposition and interconnection of networks. In *Proc. ISTET'03*, volume I, pages 245–248, 2003.
- [31] A. Reibiger. Auxiliary branch method and modified nodal voltage equations. *Adv. of Radio Science*, 6:157–163, 2008.
- [32] A. Reibiger and H. Loose. Bond graphs and matroids. *Mathematics and Computers in Simulation*, 53(4-6):323–332, Oct. 2000.
- [33] A. Reibiger, H. Loose, and T. Nähring. Multidimensional networks. In W. Mathis and T. Schindler, editors, *X. International Symposium on Theoretical Electrical Engineering*, pages 239–298, 1999.
- [34] A. Reibiger and B. Straube. Eine axiomatische Begründung der Netzwerktheorie. *Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden*, 28:399–407, 1979.
- [35] K. Reinschke and P. Schwarz. *Verfahren zur rechnergestützten Analyse linearer Netzwerke*. Akademie-Verlag, Berlin, 1976.
- [36] P. Schreiber. *Grundlagen der Mathematik*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1977.
- [37] K. Thulasiraman and M. N. S. Swamy. *Graphs: Theory and Algorithms*. John Wiley & Sons, New York, 1992.
- [38] R. Saal (unter Mitarbeit von W. Entenmann). *Handbuch zum Filterentwurf*. AEG-Telefunken, Berlin, 1979.
- [39] P. E. Wellstead. *Introduction to Physical System Modelling*. Academic Press Inc., London, 1979.
- [40] J. C. Willems. Paradigms and puzzles in the theory of dynamical systems. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 36(3):259–294, 1991.

Prädiktion digitaler Bildsignale mittels einseitiger gefensterter Autokorrelationsanalyse

TILO STRUTZ

Deutsche Telekom AG, Hochschule für Telekommunikation
 Institut für Kommunikationstechnik
 Gustav-Freytag-Str. 43-45, 04277 Leipzig
 tilo.strutz@hft-leipzig.de

BOYAN BANEV

Technical University Sofia
 8, Kliment Ohridski St.
 Sofia-1000, Bulgaria

Zusammenfassung: Digitale Bildsignale, wie zum Beispiel Fotografien, sind durch eine starke Korrelation zwischen benachbarten Bildpunkten gekennzeichnet. Eine einfache Signalbeschreibung ist deshalb durch ein autoregressives Modell erster Ordnung und einem Modellparameter von ca. 0.95 möglich. Manche Bilder weisen aber auch starke Korrelationen über eine größere Distanz auf, insbesondere wenn sie periodische Texturen oder wiederkehrende Muster enthalten. Diese Muster können durch eine gefensterter Autokorrelationsanalyse aufgespürt und für die Voraussage von Bildpunktwerten verwendet werden. Bei Berücksichtigung der chronologischen Abfolge der Signalwerte können Encoder und Decoder die Analyse synchron durchführen und das Übertragen von zusätzlicher Seiteninformation ist nicht erforderlich. Die Güte der Prädiktion ist bei geeigneter Parameterwahl höher als beim *Median Edge Detector* (MED).

1 Einleitung

Die Voraussage von Signalwerten ist in verschiedenen Anwendungen erforderlich. Insbesondere für die verlustlose Kompression von Bilddaten hat die Prädiktion zur Dekorrelation der Bildpunktwerte eine hohe Bedeutung. Im Allgemeinen lassen sich durch prädiktive Verfahren höhere Kompressionsverhältnisse erreichen als mit transformationsbasierten Verfahren. Dies zeigt sich zum Beispiel beim direkten Vergleich der Kompressionsstandards JPEG-LS und JPEG2000 [1, 2]. Ersterer arbeitet mit einem sehr einfachen aber trotzdem sehr effizienten Prädiktor basierend auf einer lokalen Kantendetektion (*Median Edge Detector*) [3]. Unter Verwenden der direkten Nachbarn A, B und C des aktuellen und vorauszusagenden Bildpunktes X (**Abb. 1**) wird der Schätzwert wie folgt ermittelt

$$\hat{X}_{\text{MED}} = \begin{cases} \min(A, B) & \text{für } C \geq \max(A, B) \\ \max(A, B) & \text{für } C \leq \min(A, B) \\ A + B - C & \text{sonst} \end{cases} \quad (1)$$

Voraussetzung für diese Anordnung ist das zeilenweise Abarbeiten der Bildpunkte von oben nach unten und von links nach rechts. A, B und C liegen also chronologisch vor X.

Der große Erfolg dieser einfachen Prädiktionsmethode liegt in der Tatsache begründet, dass fotografische Bilder eine sehr starke Korrelation zwischen direkt benachbarten Bildpunkten aufweisen, die im Allgemeinen mit einem autoregressiven Modell erster Ordnung beschrieben werden können $x[n] = a \cdot x[n -$

1] + ϵ_n . Der Modellparameter (= Korrelationskoeffizient für die erste Verschiebungsposition) beträgt für typische Bilder $a \approx 0.95$ [4].

Der Standard JPEG2000 definiert neben der verlustbehafteten Kompression auch einen Prozess zur verlustlosen Kompression, allerdings auf Basis einer ganzzahligen Wavelet-Transformation [5]. Die Kompressionsergebnisse sind allgemein schlechter als wenn JPEG-LS verwendet wird.

Der MED-Prädiktor hat jedoch zwei große Nachteile. Erstens kann er keine Korrelationen zwischen Signalwerten ausnutzen, die weit auseinander liegen. Zweitens sinkt sein Prädiktionserfolg dramatisch, wenn das Bild relativ starkes Rauschen enthält, weil dann die Werte von A, B oder C als Schätzwert wenig geeignet sind.

Für das Erkennen von strukturellen Zusammenhängen über größere Distanz ist die gefensterter Autokorrelationsfunktion geeignet.

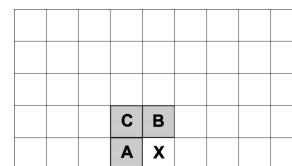


Abbildung 1: Lokale Nachbarschaft beim MED-Prädiktor

2 Einseitige gefensterte Autokorrelationsfunktion

Bei den zu betrachtenden Bildsignalen handelt es sich um digitale Signale, d.h. sie sind sowohl wert- als auch zeitdiskret. In den folgenden Ausführungen wird die Korrelationsfunktion deshalb auch nur in diskreter Form betrachtet.

Die allgemeine Formel zur Berechnung der Autokorrelationsfunktion (AKF) lautet

$$R_{xx}[p] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot x[n-p] \quad (2)$$

mit p als Verschiebungsparameter. Die AKF ist symmetrisch, es gilt $R_{xx}[p] = R_{xx}[-p]$, und sie hat ihr globales Maximum bei $R_{xx}[0]$. Nebenmaxima treten nur auf, wenn das Signal $x[n]$ mindestens eine periodische Komponente enthält. Dadurch ist die AKF in dieser Form nicht geeignet, um lokal begrenzte, nicht-periodische Abhängigkeiten über eine größere Distanz p zu erkennen. Dies ist nur möglich wenn man das Signal abschnittsweise betrachtet. Dazu dient eine Fensterfunktion $w[n]$

$$w[n-k] = \begin{cases} 1 & \text{für } k \leq n < k+W \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

und die Korrelationsberechnung verändert sich zu

$$R_{xx}^W[p, k] = \sum_{n=k}^{W-1+k} w[n-k] \cdot x[n] \cdot x[n-p] \quad (4)$$

$w[n-k] \cdot x[n]$ beschreibt einen Ausschnitt $x^W[n-k]$ aus $x[n]$ an der Position $k > 0$. Die gefensterte AKF ist somit nicht nur von einem Verschiebungsparameter p sondern auch noch von der Position k des gewählten Ausschnitts abhängig

$$R_{xx}^W[p, k] = \sum_{n=k}^{W-1+k} x^W[n-k] \cdot x[n-p] \quad (5)$$

Dies wird im Folgenden als einseitige gefensterte Autokorrelationsfunktion bezeichnet (EG-AKF).

3 Prädiktion

3.1 Prädiktion mit EG-AKF

Bei der Voraussage eines bestimmten Signalwertes $x[x] = [k+W]$ muss der Signalausschnitt alle Signalwerte $x^W[n-k]$ ($k \leq n < k+W$) umfassen, welche

direkt vor $x[k+W]$ liegen. Der Verschiebungsparameter ist somit auf Werte $p \leq k$ beschränkt.

$R_{xx}^W[p, k]$ wird gemäß Gleichung (5) berechnet und die Position p_0 der maximalen Korrelation gesucht.

Die der Methode zugrunde liegende Idee besteht darin anzunehmen, dass die hohe Korrelation nicht nur für den gewählten Signalausschnitt $x^W[n-k]$ gilt, sondern auch für den angrenzenden Signalwert $x[k+W]$. Mit anderen Worten: der Wert $x[k+W-p_0]$ ist vermutlich eine geeignete Basis für die Voraussage von $x[k+W]$. Ein ähnliches Verfahren wurde in [6] für die zeitliche Prädiktion in einem Videokompressionssystem verwendet.

Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass dem Decoder alle Informationen zur Verfügung stehen, um dieselbe Korrelationsanalyse durchzuführen. Er ist in der Lage, ohne zusätzliche Informationen vom Encoder den gleichen Schätzwert zu ermitteln und den Signalwert $x[k+W]$ mit Hilfe des übertragenen Prädiktionsfehlers

$$\begin{aligned} e[k+W] &= x[k+W] - \hat{x}[k+W] \\ &= x[k+W] - x[k+W-p_0] \end{aligned} \quad (6)$$

zu rekonstruieren.

3.2 2D-Prädiktion

Bei Anwendung auf zweidimensionale Signale, wie zum Beispiel Bilder, muss die Betrachtungsweise weiter modifiziert werden, weil davon auszugehen ist, dass nicht nur ein- sondern auch zweidimensionale Korrelationen bestehen. Das Fenster $w[n-k]$ sollte deshalb auch zweidimensional sein. Seine Form ist nur durch das Diktat der Kausalität eingeschränkt.

Angenommen, dass die Bildpunkte nacheinander zeilenweise von oben nach unten und von links nach rechts verarbeitet werden, dann dürfen nur solche Bildpunkte zum Fenster gehören, die entweder in den Zeilen oberhalb der aktuellen Position liegen, oder links von der Position in derselben Zeile.

Da es bei der Wahl des Fensters darauf ankommt, die Korrelationseigenschaften von Fenster und nächstem Bildpunkt so gut wie möglich anzugleichen, wurde ein Fenster gewählt, das einem Halbkreis am ähnlichsten ist (**Abb. 2**). 'x' markiert die Position des nächsten vorauszusagenden Bildpunktwertes. Alle Signalwerte an den dunkelgrau hinterlegten Positionen gehören zum Fenster.

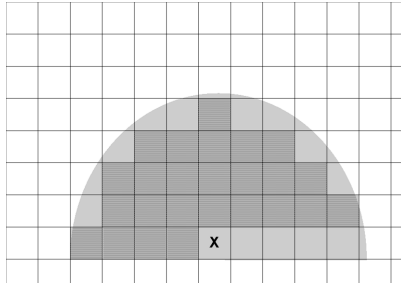


Abbildung 2: Definition des Fensters

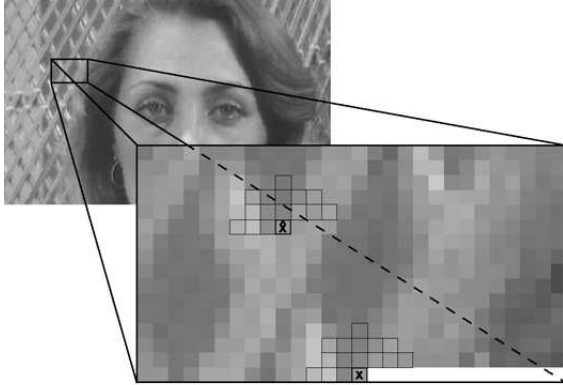


Abbildung 3: Wiederkehrende Muster in Bildern am Beispiel

Auf die Indizierung der zweiten Dimension wird im Folgenden aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

3.3 Modifikation der Berechnung

Die praktische Korrelationsanalyse wird nicht in der durch Gleichung (5) angegebenen Form durchgeführt, denn eine starke Korrelation zwischen zwei Mustern heißt nicht zwangsläufig, dass die Muster auch sehr ähnlich in ihren absoluten Signalwerten sind. Um den Bildpunkt $x[k + W - p_0]$ in einen Schätzwert für $x[k + W]$ umzurechnen, wäre zusätzlicher Aufwand erforderlich. Zur rechentechnischen Vereinfachung wird das Maximieren der EG-AKF durch das Minimieren einer Kostenfunktion

$$C_{xx}^W[p, k] = \sum_{n=k}^{W-1+k} |x^W[n - k] - x[n - p]| \quad (7)$$

mit $1 \leq p \leq k$ ersetzt [7]. Für jede Position k des Fensters gibt es eine Position p im Signal $x[n]$, an der die Kostenfunktion $C_{xx}^W[p, k]$ minimal ist.

Abbildung 3 veranschaulicht den Zusammenhang an einem Beispiel. Der vergrößerte Ausschnitt zeigt die Position x des nächsten Bildpunktes $x[k +$

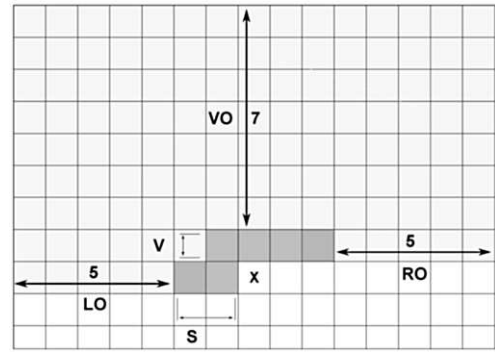


Abbildung 4: Definition des Suchraumes

$W]$ und angrenzend das Fenster, welches zum Mustervergleich eingesetzt wird.

In einem bestimmten Abstand p_0 befindet sich ein Signalabschnitt $x^W[n - k - p_0]$, der dem Signal im aktuellen Fenster $x^W[n - k]$ sehr ähnlich ist. Die berechnete Kostenfunktion ist dort am kleinsten. Der Signalwert $x[k + W - p_0]$ an der mit ' \hat{x} ' gekennzeichneten Stelle wird als Schätzwert $\hat{x}[k + W]$ verwendet. Dieser Wert war nicht in die Korrelationsanalyse eingebunden.

4 Untersuchungen

Der Erfolg der Prädiktion mittels der Kostenfunktion $C_{xx}^W[p, k]$ hängt im Wesentlichen von zwei Parametern ab, welche im Folgenden vorgestellt werden.

4.1 Suchraum

Theoretisch erfolgt die Suche nach einem passenden Signalausschnitt für alle $p \leq k$ (siehe oben). Praktisch hängt die Wahrscheinlichkeit, ein geeignetes Signalsegment zu finden, vom Bildinhalt ab. Um den Berechnungsaufwand der Suche möglichst klein zu halten, ist es sinnvoll, den Suchraum, d.h. den Wertebereich für p zu beschränken. **Abbildung 4** veranschaulicht die Berechnung der Suchraumgröße. Ausgehend von einem Fenster mit den Parametern S und V wird die Suche sowohl horizontal als auch vertikal eingegrenzt. Die Gesamtzahl der zu untersuchenden Verschiebungspositionen ergibt sich aus

$$SA = LO + (LO + RO + 2 \cdot S + 1) \cdot (VO + V) \quad (8)$$

Für die gemachten Untersuchungen sind alle Offset-Werte LO , RO und VO gleich groß. Im Folgenden wird deshalb nur von einem Such-Offset SO gesprochen. An den Rändern des Bildes werden der Such-

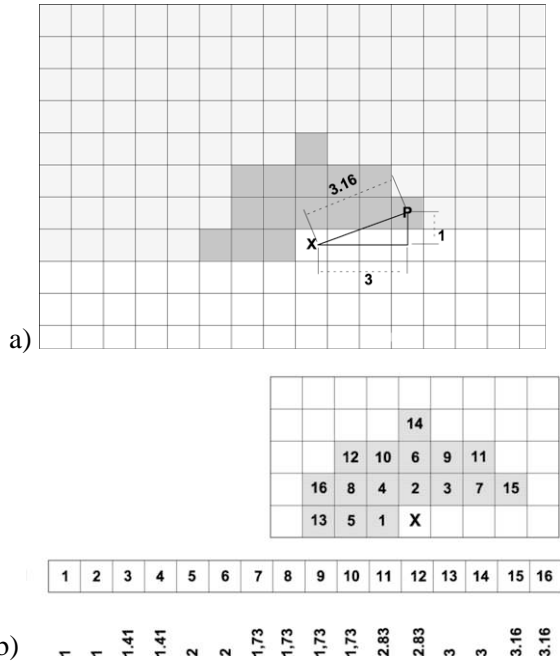


Abbildung 5: Distanzen der Fensterelemente zum aktuellen Bildpunkt; a) euklidische Berechnung, b) Sortieren der Fensterelemente nach steigendem Abstand

raum und gegebenenfalls auch das Fenster entsprechend verkleinert.

4.2 Fenstergröße

Die Größe W des Fensters hat ebenfalls Einfluss auf die Güte der Prädiktion. Generell sollten die Elemente des Fensters so dicht wie möglich am aktuellen Bildpunkt liegen. Beginnend mit dem linken Nachbarn des aktuellen Bildpunktes wird schrittweise immer derjenige Signalwert hinzugenommen, welcher die kürzeste euklidische Distanz zur aktuellen Position hat. Daraus ergibt sich ein halbkreisförmiges Fenster. **Abbildung 5** zeigt die Zusammenhänge.

Mit kleinen Fenstern findet man leicht ein passenden Ausschnitt im Signal. Die Wahrscheinlichkeit, dass auch ein geeigneter Schätzwert ermittelt wird, ist dann aber gering. Die Güte des Schätzwertes steigt mit größeren Fenstern, aber gleichzeitig sinkt die Wahrscheinlichkeit, überhaupt ein ähnliches Muster zu finden.

5 Resultate

Anhand von verschiedenen Bildern mit unterschiedlichem Inhalt wurde die Wirkungsweise der Prädiktion mittels der beschriebenen Musterabgleichsmethode

mehrere Detailverbesserungen auf.

Komplexität
Obwohl H.264/AVC ebenso wie seine Vorläufer nur den Decoder und das Bitstrom-Format spezifiziert, verlangt das Standardisierungsgremium für jedes vorgeschlagene Kodierverfahren eine Beispiel-Implementierung am sowohl die Durchführbarkeit als

wicklung von H.264/AVC sind so über 100 Vorschläge von mehr als 20 verschiedenen Unternehmen in die Referenzsoftware eingeflossen, was dazu führte, dass sie langsam, unübersichtlich und für praktische Implementierungen quasi unbenutzbar wurde. Aus diesem Grund überschätzen beispielsweise Analysen, die wie auf Basis dieser Implementierung erstellt wurden, die tatsächliche Komplexität des

strom mit 1 MB/s in DVD-Qualität, den ein Pentium-4-Computer in Echtzeit kodiert, wenn auch damals mit Hilfe von Hardwarebeschleunigung auf einer FPGA-Karte, die die Bewegungs-schätzung, Schätzung der Intra-Prädiktion, Entscheidungsstatistiken und Video-Konvertierung unterstützte.

Im Oktober 2002 zeigte UB Video (www.ubvideo.com) im H.264/AVC-Baseline-Profil kodier-

kunde. Die für Echtzeitvideokonferenzen optimierte Kodier-Implementierung erzielte bei für ein solches Szenario typischem Material eine nur um zehn Prozent höhere Bitrate als die deutlich langsamere Referenzsoftware.

Wie viele andere Unternehmen – unter anderem Broadcom, Nokia und Motorola – entwickelt auch das Heinrich-Hertz-Institut (HHI) in Berlin H.264/AVC-Echt-

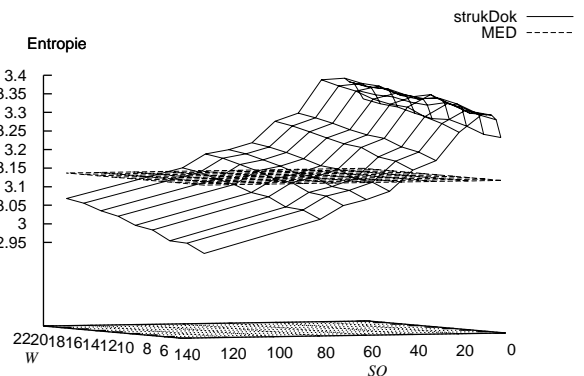


Abbildung 6: Testbild 'strukDok' (1463 × 900), Prädiktionsoptimum mit großem Suchraum und kleiner Fenstergröße

getestet. Als alleiniges Kriterium für die Güte der Prädiktion wurde die möglichst kleine Entropie des Prädiktionsfehlers herangezogen. Zusätzlich erfolgte immer der Vergleich zum MED-Prädiktor (1). Sowohl die Fenstergröße W (Anzahl der Bildpunkte im Halbkreis) als auch die Größe des Suchraums (Such-Offset SO) wurden in einem großem Wertebereich variiert und die Entropie des Prädiktionsfehlers als Funktion dieser beiden Variablen dargestellt. Je nachdem, wo das Optimum der Parametereinstellung lag, konnten die meisten untersuchten Bilder in vier Gruppen unterteilt werden:

1. kleines Fenster, großer Suchraum
2. kleines Fenster, kleiner Suchraum
3. großes Fenster, kleiner Suchraum
4. mittleres Fenster, mittelgroßer Suchraum

Zur ersten Gruppe gehören vor allem Bilder mit künstlichem Inhalt, wie zum Beispiel gedrucktem Text (**Abb. 6**). Das Diagramm zeigt auch, dass für das Bild 'strukDok' der Musterabgleich erfolgreicher ist

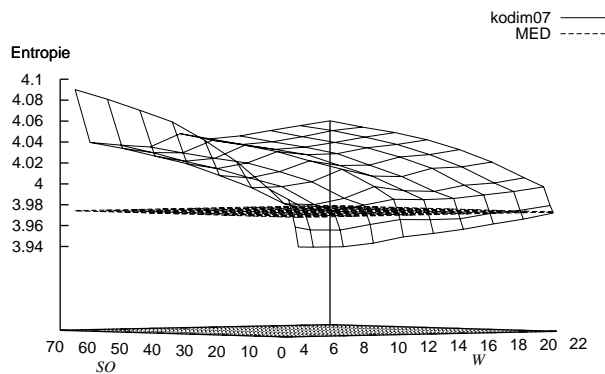


Abbildung 7: Testbild ‘kodim07’ (768 × 512), Prädiktionsoptimum mit kleinem Suchraum und kleiner Fenstergröße

als der MED-Prädiktor, wenn der Suchraum SO ausreichend groß gewählt wird.

In die zweite Gruppe fallen Bilder, die keine sich wiederholenden Muster enthalten (z.B. **Abb. 7**). Das Optimum der Prädiktion ergibt sich für dieses Bild bei $(W, SO) = (8, 1)$. Die Größe des Fensters hat einen etwas geringeren Einfluss als der Suchraum, sollte aber auch relativ klein sein.

Zur dritten Gruppe gehören Bilder mit hohen Ortsfrequenzen, d.h. mit feinen Details oder relativ starkem Hintergrundrauschen (z.B. **Abb. 8**).

Wenn das Bild eine Textur mit einem periodischen Muster aufweist, dann gibt es im Allgemeinen eine mittlere optimale Fenstergröße und auch eine bestimmte Distanz zum aktuellen Bildpunkt, in der ein passender Signalauschnitt gefunden wird. Ein Vertreter dieser Gruppe ist in **Abbildung 9** abgebildet. Die Entropie des Prädiktionsfehlers wird am kleinsten für die Parameter $(W, SO) = (8, 15)$.

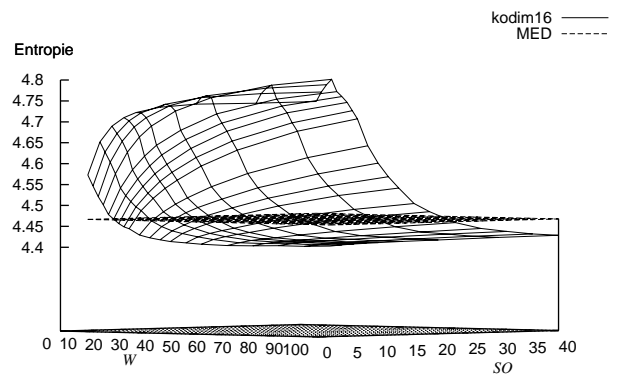


Abbildung 8: Testbild ‘kodim16’ (768 × 512), Prädiktionsoptimum mit kleinem Suchraum und großem Fenster

6 Zusammenfassung und Diskussion

Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen ist die Erkenntnis, dass die Prädiktionsgüte mit der Mustervergleichsmethode für sehr unterschiedliche Bilder höher sein kann als bei Verwenden des MED-Prädiktors. Voraussetzung dafür ist allerdings die Kenntnis über geeignete Werte für die Parameter W und SO . Eine Aufgabe für zukünftige Forschungen besteht im Schätzen dieser Parameter aus den Eigenschaften des Bildes. Unter Umständen wäre es sogar vorteilhaft, nicht mit festen Parametern für das gesamte Bild zu arbeiten, sondern sie lokal anzupassen. Das erscheint insbesondere für Bildkompositionen, wie zum Beispiel ‘strukDok’ in **Abbildung 6**, sinnvoll.

Interessant ist weiterhin, dass Bilder, die subjektiv betrachtet ähnliche Eigenschaften zu haben scheinen, auf die Mustervergleichsmethode sehr unterschiedlich reagieren. ‘kodim07’ und ‘kodim16’ enthalten so gut wie keine sich wiederholenden Muster. Ein großer Suchraum würde zufällig an bestimmten Bildpositionen einen passenden Ausschnitt liefern;

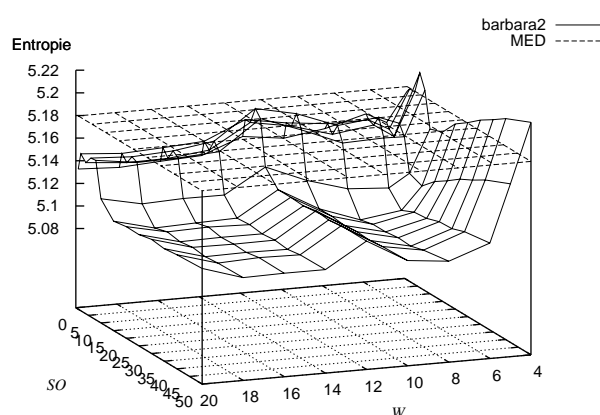


Abbildung 9: Testbild ‘barbara2’ (720×576), Prädiktionsoptimum mit mittlerem Suchraum und mittel-großem Fenster

der angrenzende Signalwert eignet sich dann aber häufig nicht als Schätzwert und die Prädiktionsgüte sinkt. Der Suchraum muss deshalb in beiden Fällen klein gewählt werden. Anders sieht es für die Fenstergröße aus. Für ‘kodim07’ sollte das Fenster möglichst klein sein, wobei die Größe relativ geringen Einfluss auf den Erfolg der Prädiktion hat (Abb. 7). Bei ‘kodim16’ wird das Entropie-Minimum bei ungefähr $(W, SO) = (60, 2)$ erreicht, d.h. ein großes Fenster ist vorteilhaft, weil es einen gewissen Mittelungseffekt mit sich bringt.

Nicht zu erwarten war außerdem die Existenz von lokalen Minima oder Maxima in den Diagrammen. Beim Bild ‘barbara2’ gibt es offensichtlich eine ungünstige Fenstergröße von etwa $W = 12$, die zu einer Verringerung der Prädiktionsgüte führt. Offensichtlich gibt es dann beim Musterabgleich Doppeldeutigkeiten.

Die weitere Forschungsarbeit wird sich auf die

Verbesserung der Prädiktion durch variable Fensterformen (zur Berücksichtigung von unterschiedlichen Abhängigkeiten in horizontaler und vertikaler Richtung) und die unterschiedliche Gewichtung der Signalwerte im Fenster konzentrieren. Desweiteren kann eine automatische, lokale Auswahl eines Prädiktors aus einem Pool von verschiedenen Prädiktoren die Prädiktionsgüte verbessern.

Literatur

- [1] Cruz, D.S.; Ebrahimi, T.: An analytical study of JPEG 2000 functionalities. Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Proc., Vol.2, 49–52 (2000)
- [2] Strutz, T.: *Bilddatenkompression*. VIEWEG-Verlag, 3. Auflage, 2005
- [3] ISO/IEC 14495-1, *Information technology – Lossless and near-lossless compression of continuous-tone still images: Baseline (JPEG-LS)*. International Standard, corrected and reprinted version, 15 September 2000
- [4] Jain, A.K. Advances in mathematical models for image processing *Proc. of IEEE*, May 1981, 502–528
- [5] ISO/IEC 15444-1, *Information technology – JPEG 2000 image coding system: Core coding system*. International Standard, 2nd edition, 15 September 2004
- [6] Park, S.G.; Delp, E.J.; Yu, H.: Adaptive lossless video compression using an integer wavelet transform. *Proc. of ICIP 2004*, Vol.4, 24-27 Oct. 2004, 2251–2254
- [7] Banev, B.: *Investigations on the prediction without side information for lossless image compression*. bachelor thesis, Hochschule für Telekommunikation Leipzig (in Kooperation mit der Technischen Universität Sofia, Bulgarien), Juli 2008

Iteratively Detected and SVD-assisted Broadband MIMO-BICM Schemes

Andreas Ahrens

Abstract—In this contribution the number of activated MIMO layers and the number of bits per symbol are jointly optimized under the constraint of a given fixed data throughput and integrity. In analogy to bit-interleaved coded irregular modulation, a broadband MIMO-BICM scheme is introduced, where different signal constellations and mappings are used within a single codeword. Extrinsic information transfer (EXIT) charts are used for analyzing and optimizing the convergence behaviour of the iterative demapping and decoding. Our results show that in order to achieve the best possible bit-error rate, not necessarily all MIMO layers have to be activated.

Index Terms—Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) System, Wireless Transmission, EXIT Charts, Singular-Value Decomposition, Bit-Interleaved Coded Modulation (BICM), Iterative Decoding, Bit-Interleaved Coded Irregular Modulation (BICIM)

I. INTRODUCTION

Iterative demapping and decoding aided bit-interleaved coded modulation (BICM-ID) was designed for bandwidth efficient transmission over fading channels [1], [2]. The BICM philosophy has been extended by using different signal constellations and bit-to-symbol mapping arrangements within a single codeword, leading to the concept of bit-interleaved coded irregular modulation (BICIM) schemes, offering an improved link adaptation capability and an increased design freedom [3]. Since the capacity of multiple-input multiple-output (MIMO) systems increases linearly with the minimum number of antennas at both, the transmitter as well as the receiver side, MIMO-BICM schemes have attracted substantial attention [4], [5] and can be considered as an essential part of increasing both the achievable capacity and integrity of future generations of wireless systems [6], [7]. However, their parameters have to be carefully optimized, especially in conjunction with adaptive modulation [8]–[11]. The well-known water-filling technique is virtually

synonymous with adaptive modulation [8]–[14] and it is used for maximizing the overall data rate. However, delay-critical applications, such as voice or streaming video transmissions, may require a certain fixed data rate. For these fixed-rate applications it is desirable to design algorithms, which minimize the bit-error rate (BER) at a given fixed data rate.

In general, non-frequency selective MIMO links have attracted a lot of research and have reached a state of maturity [6], [15]. By contrast, frequency selective MIMO links require substantial further research, where spatio-temporal vector coding (STVC) introduced by RALEIGH seems to be an appropriate candidate for broadband transmission channels [16], [17]. In general, the choice of the number of bits per symbol and the number of activated MIMO layers combined with powerful error correcting codes offer a certain degree of design freedom, which substantially affects the performance of MIMO systems. In addition to bit loading algorithms in this contribution the benefits of channel coding are also investigated. The proposed iterative decoder structure employs symbol-by-symbol soft-output decoding based on the Bahl-Cocke-Jelinek-Raviv (BCJR) algorithm and is analyzed under the constraint of a fixed data throughput [18].

Against this background, the novel contribution of this paper is that we jointly optimize the number of activated MIMO layers and the number of bits per symbol combined with powerful error correcting codes under the constraint of a given fixed data throughput and integrity. Since the "design-space" is large, a two-stage optimization technique is considered. Firstly, the uncoded spatial division multiplexing (SDM) broadband MIMO scheme is analyzed, investigating the allocation of both the number of bits per modulated symbol and the number of activated MIMO layers at a fixed data rate. Secondly, the optimized uncoded system is extended by incorporating bit-interleaved coded modulation using iterative detection (BICM-ID), whereby both the uncoded as well as the coded systems are required to support the same user data rate within the same bandwidth.

This contribution is organized as follows: Section II introduces the system model, while the proposed

Andreas Ahrens is with the Hochschule Wismar, University of Technology, Business and Design, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Philipp-Müller-Straße, PO box 1210, 23952 Wismar, Germany, email: andreas.ahrens@hs-wismar.de.

uncoded solutions are discussed in Section III. In Section IV the channel encoded MIMO system is introduced, while the computation of the EXIT transfer function is presented in Section V. The associated performance results are presented and interpreted in Section VI. Finally, Section VII provides our concluding remarks.

II. BROADBAND MIMO SYSTEM MODEL

When considering a frequency selective SDM MIMO link, composed of n_T transmit and n_R receive antennas, the block-oriented system is modelled by

$$\mathbf{u} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{c} + \mathbf{w} . \quad (1)$$

In (1), \mathbf{c} is the $(N_T \times 1)$ transmitted signal vector containing the complex input symbols transmitted over n_T transmit antennas in K consecutive time slots, i. e., $N_T = K n_T$. This vector can be decomposed into n_T antenna-specific signal vectors \mathbf{c}_μ according to

$$\mathbf{c} = (\mathbf{c}_1^T, \dots, \mathbf{c}_\mu^T, \dots, \mathbf{c}_{n_T}^T)^T . \quad (2)$$

In (2), the $(K \times 1)$ antenna-specific signal vector \mathbf{c}_μ transmitted by the transmit antenna μ (with $\mu = 1, \dots, n_T$) is modelled by

$$\mathbf{c}_\mu = (c_{1\mu}, \dots, c_{k\mu}, \dots, c_{K\mu})^T . \quad (3)$$

The $(N_R \times 1)$ received signal vector \mathbf{u} , defined in (1), can again be decomposed into n_R antenna-specific signal vectors \mathbf{u}_ν (with $\nu = 1, \dots, n_R$) of the length $K + L_c$, i. e., $N_R = (K + L_c) n_R$, and results in

$$\mathbf{u} = (\mathbf{u}_1^T, \dots, \mathbf{u}_\nu^T, \dots, \mathbf{u}_{n_R}^T)^T . \quad (4)$$

By taking the $(L_c + 1)$ non-zero elements of the resulting symbol rate sampled overall channel impulse response between the μ th transmit and ν th receive antenna into account, the antenna-specific received vector \mathbf{u}_ν has to be extended by L_c elements, compared to the transmitted antenna-specific signal vector \mathbf{c}_μ defined in (3). The $((K + L_c) \times 1)$ signal vector \mathbf{u}_ν received by the antenna ν (with $\nu = 1, \dots, n_R$) can be constructed, including the extension through the multipath propagation, as follows

$$\mathbf{u}_\nu = (u_{1\nu}, u_{2\nu}, \dots, u_{(K+L_c)\nu})^T . \quad (5)$$

Similarly, in (1) the $(N_R \times 1)$ noise vector \mathbf{w} results in

$$\mathbf{w} = (\mathbf{w}_1^T, \dots, \mathbf{w}_\nu^T, \dots, \mathbf{w}_{n_R}^T)^T . \quad (6)$$

The vector \mathbf{w} of the additive, white Gaussian noise (AWGN) is assumed to have a variance of U_R^2 for both the real and imaginary parts and can still be decomposed into n_R antenna-specific signal vectors \mathbf{w}_ν (with $\nu = 1, \dots, n_R$) according to

$$\mathbf{w}_\nu = (w_{1\nu}, w_{2\nu}, \dots, w_{(K+L_c)\nu})^T . \quad (7)$$

Finally, the $(N_R \times N_T)$ system matrix \mathbf{H} of the block-oriented system model, introduced in (1), results in

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{11} & \cdots & \mathbf{H}_{1n_T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{H}_{n_R 1} & \cdots & \mathbf{H}_{n_R n_T} \end{bmatrix} , \quad (8)$$

and consists of $n_R n_T$ single-input single-output (SISO) channel matrices $\mathbf{H}_{\nu\mu}$ (with $\nu = 1, \dots, n_R$ and $\mu = 1, \dots, n_T$). The system description, called spatio-temporal vector coding (STVC), was introduced by RALEIGH and can also be seen as an extension of the data directed estimation (DDE) introduced by HSU [19]. Every of these matrices $\mathbf{H}_{\nu\mu}$ with the dimension $((K + L_c) \times K)$ describes the influence of the channel from transmit antenna μ to receive antenna ν including transmit and receive filtering. The channel convolution matrix $\mathbf{H}_{\nu\mu}$ between the μ th transmit and ν th receive antenna is obtained by taking the $(L_c + 1)$ non-zero elements of resulting symbol rate sampled overall impulse response into account and results in:

$$\mathbf{H}_{\nu\mu} = \begin{bmatrix} h_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ h_1 & h_0 & 0 & \cdots & \vdots \\ h_2 & h_1 & h_0 & \cdots & 0 \\ \vdots & h_2 & h_1 & \cdots & h_0 \\ h_{L_c} & \vdots & h_2 & \cdots & h_1 \\ 0 & h_{L_c} & \vdots & \cdots & h_2 \\ 0 & 0 & h_{L_c} & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & h_{L_c} \end{bmatrix} . \quad (9)$$

Throughout this paper, it is assumed that the $(L_c + 1)$ channel coefficients, between the μ th transmit and ν th receive antenna have the same averaged power and undergo a Rayleigh distribution. Furthermore, a block fading channel model is applied, i. e., the channel is assumed to be time invariant for the duration of one SDM MIMO data vector.

The interference between the different antenna's data streams, which is introduced by the off-diagonal elements of the channel matrix \mathbf{H} , requires appropriate signal processing strategies. A popular technique is based on the singular-value decomposition (SVD) [20] of the system matrix \mathbf{H} , which can be written as $\mathbf{H} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{V} \cdot \mathbf{D}^H$, where \mathbf{S} and \mathbf{D}^H are unitary matrices and \mathbf{V} is a real-valued diagonal matrix of the positive square roots of the eigenvalues of the matrix $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ sorted in descending order¹. The SDM MIMO data vector \mathbf{c} is now multiplied by the matrix \mathbf{D} before transmission. In turn, the receiver

¹The transpose and conjugate transpose (Hermitian) of \mathbf{D} are denoted by \mathbf{D}^T and \mathbf{D}^H , respectively.

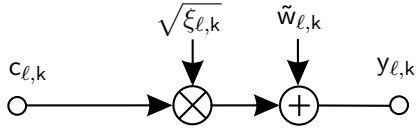


Fig. 1. Resulting layer-specific SDM MIMO system model (with $\ell = 1, 2, \dots, L$ and $k = 1, 2, \dots, K$)

multiplies the received vector \mathbf{u} by the matrix \mathbf{S}^H . Thereby neither the transmit power nor the noise power is enhanced. The overall transmission relationship is defined as

$$\mathbf{y} = \mathbf{S}^H (\mathbf{H} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{c} + \mathbf{w}) = \mathbf{V} \cdot \mathbf{c} + \tilde{\mathbf{w}}. \quad (10)$$

As a consequence of the processing in (10), the channel matrix \mathbf{H} is transformed into independent, non-interfering layers having unequal gains.

III. QUALITY CRITERIA

In general, the quality of data transmission can be informally assessed by using the signal-to-noise ratio (SNR) at the detector's input defined by the half vertical eye opening and the noise power per quadrature component according to

$$\rho = \frac{(\text{Half vertical eye opening})^2}{\text{Noise Power}} = \frac{(U_A)^2}{(U_R)^2}, \quad (11)$$

which is often used as a quality parameter [21]. The relationship between the signal-to-noise ratio $\rho = U_A^2/U_R^2$ and the bit-error probability evaluated for AWGN channels and M -ary Quadrature Amplitude Modulation (QAM) is given by [22], [23]

$$P_{\text{BER}} = \frac{2}{\log_2(M)} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{\rho}{2}}\right). \quad (12)$$

When applying the proposed system structure, the SVD-based equalization leads to different eye openings per activated MIMO layer ℓ (with $\ell = 1, 2, \dots, L$) at the time k (with $k = 1, 2, \dots, K$) within the SDM MIMO signal vector according to

$$U_A^{(\ell,k)} = \sqrt{\xi_{\ell,k}} \cdot U_{s\ell}, \quad (13)$$

where $U_{s\ell}$ denotes the half-level transmit amplitude assuming M_ℓ -ary QAM and $\sqrt{\xi_{\ell,k}}$ represents the corresponding positive square roots of the eigenvalues of the matrix $\mathbf{H}^H \mathbf{H}$ (Fig. 1). Together with the noise power per quadrature component, the SNR per MIMO layer ℓ at the time k becomes

$$\rho^{(\ell,k)} = \frac{(U_A^{(\ell,k)})^2}{U_R^2} = \xi_{\ell,k} \frac{(U_{s\ell})^2}{U_R^2}. \quad (14)$$

Using the parallel transmission over $L \leq \min(n_T, n_R)$ MIMO layers, the overall mean transmit power becomes $P_s = \sum_{\ell=1}^L P_{s\ell}$, where the number of readily separable layers² is limited by $\min(n_T, n_R)$. Considering QAM constellations, the average transmit power $P_{s\ell}$ per MIMO layer ℓ may be expressed as [25], [26]

$$P_{s\ell} = \frac{2}{3} U_{s\ell}^2 (M_\ell - 1). \quad (15)$$

Combining (14) and (15), the layer-specific SNR at the time k results in

$$\rho^{(\ell,k)} = \xi_{\ell,k} \frac{3}{2(M_\ell - 1)} \frac{P_{s\ell}}{U_R^2}. \quad (16)$$

In order to transmit at a fixed data rate while maintaining the best possible integrity, i. e., bit-error rate, an appropriate number of MIMO layers has to be used, which depends on the specific transmission mode, as detailed in Tab. I. In general, the BER per SDM MIMO data vector is dominated by the specific transmission modes and the characteristics of the singular values, resulting in different BERs for the different QAM configurations in Tab. I. An optimized adaptive scheme would now use the particular transmission modes, e. g., by using bit auction procedures [27], that results in the lowest BER for each SDM MIMO data vector. This would lead to different transmission modes per SDM MIMO data vector and a high signaling overhead would result. However, in order to avoid any signalling overhead, fixed transmission modes are used in this contribution regardless of the channel quality. The MIMO layer specific bit-error probability at the time k after SVD is given by [21]

$$P_{\text{BER}}^{(\ell,k)} = \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M_\ell}}\right)}{\log_2(M_\ell)} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{\xi_{\ell,k}}{2}} \cdot \frac{U_{s\ell}}{U_R}\right). \quad (17)$$

The resulting average bit-error probability at the time k assuming different QAM constellation sizes per activated MIMO layer is given by

$$P_{\text{BER}}^{(k)} = \frac{1}{\sum_{\nu=1}^L \log_2(M_\nu)} \sum_{\ell=1}^L \log_2(M_\ell) P_{\text{BER}}^{(\ell,k)}. \quad (18)$$

Taking K consecutive time slots into account, needed to transmit the SDM MIMO data vector, the aggregate bit-error probability per SDM MIMO data vector yields

$$P_{\text{BER block}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_{\text{BER}}^{(k)}. \quad (19)$$

²It is worth noting that with the aid of powerful non-linear near Maximum Likelihood (ML) sphere decoders it is possible to separate $n_R > n_T$ number of layers [24].

TABLE I
Investigated transmission modes

throughput	layer 1	layer 2	layer 3	layer 4
8 bit/s/Hz	256	0	0	0
8 bit/s/Hz	64	4	0	0
8 bit/s/Hz	16	16	0	0
8 bit/s/Hz	16	4	4	0
8 bit/s/Hz	4	4	4	4

When considering time-variant channel conditions, rather than an AWGN channel, the BER can be derived by considering the different transmission block SNRs.

Assuming that the transmit power is uniformly distributed over the number of activated MIMO layers, i. e., $P_{s\ell} = P_s/L$, the half-level transmit amplitude $U_{s\ell}$ per activated MIMO layer results in

$$U_{s\ell} = \sqrt{\frac{3P_s}{2L(M_\ell - 1)}}. \quad (20)$$

The layer-specific signal-to-noise ratio at the time k , defined in (14), results together with (20) in

$$\varrho^{(\ell,k)} = \xi_{\ell,k} \frac{3}{2L(M_\ell - 1)} \frac{P_s}{U_R^2} = \xi_{\ell,k} \frac{3}{L(M_\ell - 1)} \frac{E_s}{N_0}, \quad (21)$$

with

$$\frac{P_s}{U_R^2} = \frac{E_s}{N_0/2}. \quad (22)$$

Finally, the MIMO layer-specific BER at the time k is now given by:

$$P_{\text{BER}}^{(\ell,k)} = \frac{2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M_\ell}}\right)}{\log_2(M_\ell)} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\xi_{\ell,k}}{2L(M_\ell - 1)} \frac{E_s}{N_0}} \right). \quad (23)$$

Taking the different number of activated MIMO layer at the time k into account, the resulting average bit-error probability is obtained as

$$P_{\text{BER}}^{(k)} = \frac{2}{R} \sum_{\ell=1}^L \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M_\ell}}\right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3\xi_{\ell,k}}{2L(M_\ell - 1)} \frac{E_s}{N_0}} \right), \quad (24)$$

with $R = \sum_{\ell=1}^L \log_2 M_\ell$ describing the number of transmitted bits at the time k over the number of activated MIMO layers. Finally, the aggregate bit-error probability per SDM MIMO data block can be calculated by taking (19) into account.

IV. CODED MIMO SYSTEM

The transmitter structure including channel coding is depicted in Fig. 2. The encoder employs a half-rate nonrecursive, non-systematic convolutional (NSC) code

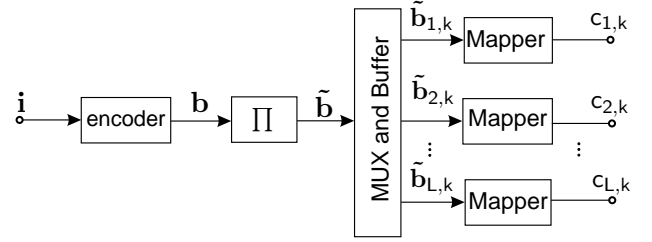


Fig. 2. The channel-encoded MIMO transmitter's structure

using the generator polynomials (7, 5) in octal notation. The uncoded information is organized in blocks of N_i bits, consisting of at least 3000 bits, depending on the specific QAM constellation used. Each data block \mathbf{i} is encoded and results in the block \mathbf{b} consisting of $N_b = 2N_i + 4$ encoded bits, including 2 termination bits. The encoded bits are interleaved using a random interleaver and stored in the vector $\tilde{\mathbf{b}}$. The encoded and interleaved bits are then mapped to the MIMO layers. The task of the multiplexer and buffer block of Fig. 2 is to divide the vector of encoded and interleaved information bits $\tilde{\mathbf{b}}$ into subvectors $(\tilde{\mathbf{b}}_{1,k}, \tilde{\mathbf{b}}_{2,k}, \dots, \tilde{\mathbf{b}}_{L,k})$, each consisting of 8 bits according to the chosen transmission mode (Tab. I). The individual binary data vectors $\tilde{\mathbf{b}}_{\ell,k}$ are then mapped to the QAM symbols $c_{\ell,k}$ according to the specific mapper used.

The iterative demodulator structure is shown in Fig. 3. A detailed structure of the soft demapper structure is portrayed in Fig. 4. When using the iteration index ν , the first iteration of $\nu = 1$ commences with the soft-demapper delivering the N_b log-likelihood ratios (LLRs) $L_2^{(\nu=1)}(\tilde{\mathbf{b}})$ of the encoded and interleaved information bits, whose de-interleaved version $L_{a,1}^{(\nu=1)}(\mathbf{b})$ represents the input of the convolutional decoder as depicted in Fig. 3 [6], [18]. This channel decoder provides the estimates $L_1^{(\nu=1)}(\mathbf{i})$ of the original uncoded information bits as well as the LLRs of the N_b NSC-encoded bits in the form of

$$L_1^{(\nu=1)}(\mathbf{b}) = L_{a,1}^{(\nu=1)}(\mathbf{b}) + L_{e,1}^{(\nu=1)}(\mathbf{b}). \quad (25)$$

As seen in Fig. 3 and (25), the LLRs of the NSC-encoded bits consist of the receiver's input signal itself plus the extrinsic information $L_{e,1}^{(\nu=1)}(\mathbf{b})$, which is generated by subtracting $L_{a,1}^{(\nu=1)}(\mathbf{b})$ from $L_1^{(\nu=1)}(\mathbf{b})$. The appropriately ordered, i. e., interleaved extrinsic, LLRs are fed back as *a priori* information $L_{a,2}^{(\nu=2)}(\tilde{\mathbf{b}})$ to the soft demapper of Fig. 3 for the second iteration.

Following the detailed structure of the soft-demapper in Fig. 4, the N_b LLRs $L_2^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}})$ are composed of the subvectors $(L_2^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{1,k}), L_2^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{2,k}), \dots, L_2^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{L,k}))$, each consisting of 8 elements according to the chosen

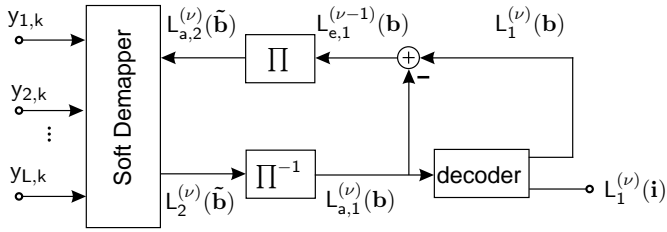
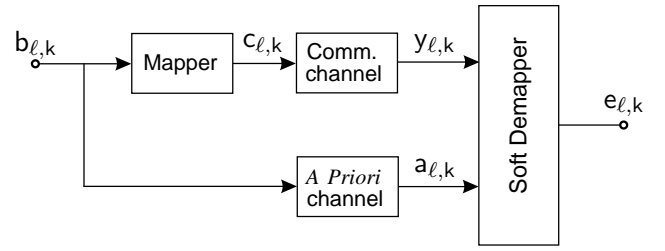


Fig. 3. Iterative demodulator structure

transmission mode (Tab. I). Each vector $L_2^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{\ell,k})$ is generated by the soft demapper from the MIMO channel's output $y_{\ell,k}$ and the *a-priori* information $L_{a,2}^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{\ell,k})$ provided by the channel decoder. After the first iteration, this *a-priori* information emerges from the N_b LLRs $L_{a,2}^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}})$, which are again decomposed into the subvectors $(L_{a,2}^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{1,k}), L_{a,2}^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{2,k}), \dots, L_{a,2}^{(\nu)}(\tilde{\mathbf{b}}_{L,k}))$, each consisting of 8 elements.

V. EXIT CHART ANALYSIS

Random variables (r.v.s) are denoted with capital letters and their corresponding realizations with lower case letters. Sequences of random variables and realizations are indicated by boldface italic letters (as \mathbf{B} or \mathbf{b}). Furthermore, boldface roman letters denote vectors (as \mathbf{B} or \mathbf{b}). The time instant is denoted with k and the layer with ℓ . The transmitted data sequence \mathbf{B} is multiplexed onto the different activated MIMO layers ℓ and results in the MIMO layer specific sequence \mathbf{B}_ℓ with $\ell = 1, 2, \dots, L$. The stationary binary input sequence $\mathbf{B}_\ell = [B_{\ell,1}, B_{\ell,2}, \dots, B_{\ell,k}, \dots]$ consists of r.v.s $B_{\ell,k}$, where the corresponding realizations $b_{\ell,k}$ have an index length of 1 bit and are taken from a finite alphabet $\mathcal{B} = \{0, 1\}$. The mapper output sequence $\mathbf{C}_\ell = [C_{\ell,1}, C_{\ell,2}, \dots, C_{\ell,k}, \dots]$ on the ℓ -th layer consists of

Fig. 5. Transmission model analyzing the ℓ -th MIMO layer

r.v.s $C_{\ell,k}$, where the corresponding realizations $c_{\ell,k}$ have an index length of $\log_2(M_\ell)$ bits and are taken from a finite alphabet $\mathcal{C} = \{0, 1, \dots, M_\ell - 1\}$. The symbols $c_{\ell,k}$ are transmitted over independent channels resulting in the received values $y_{\ell,k}$. The *a priori* channel, as depicted in Fig. 5, models the *a priori* information used at the soft demapper. The sequence $\mathbf{A}_\ell = [A_{\ell,1}, A_{\ell,2}, \dots, A_{\ell,k}, \dots]$ with the corresponding realizations $a_{\ell,k}$ contains the *a priori* LLR information passed to the demapper. EXIT charts visualize the input/output characteristics of the soft demapper and the decoder in terms of a mutual information transfer between the data sequence \mathbf{B}_ℓ and the sequence \mathbf{A}_ℓ of the *a priori* LLR information at the input of the soft demapper, as well as between \mathbf{B}_ℓ and the sequence \mathbf{E}_ℓ of the extrinsic LLR at the output, respectively. Denoting the mutual information between two r.v.s X and Y as $I(X; Y)$ we may define for a given sequence \mathbf{B}_ℓ the quantities $I_{\ell,A} = I(\mathbf{A}_\ell; \mathbf{B}_\ell)$ as well as $I_{\ell,E} = I(\mathbf{E}_\ell; \mathbf{B}_\ell)$. Herein, $I_{\ell,A}$ represents the average *a priori* information and $I_{\ell,E}$ the average extrinsic information, respectively [28]. The transfer characteristic T of the soft demapper is given by $I_{\ell,E} = T(I_{\ell,A}, \rho)$, where ρ represents the SNR of the communication channel. Analyzing the outer decoder in a serially concatenated scheme T does not depend on ρ . An EXIT chart is now obtained by plotting the transfer characteristics T for both the demapper and the decoder within a single diagram, where the axes have to be swapped for one of the constituent decoders [29] (normally the outer one for serial concatenation). Analyzing the layer specific characteristics, a MIMO-layer specific parameter $\alpha^{(\ell)}$ can be defined according to

$$\alpha^{(\ell)} = \frac{\log_2(M_\ell)}{R}, \quad (26)$$

describing the fraction of the data sequence \mathbf{B} that is transmitted over the ℓ th layer, i. e. \mathbf{B}_ℓ [30], [31]. Therein, the parameter R describes the number of transmitted bits per time interval including all L MIMO layers and results in $R = \sum_{\ell=1}^L \log_2(M_\ell)$. Hence, the mutual information for a given sequence \mathbf{B} and the extrinsic LLR \mathbf{E} at the

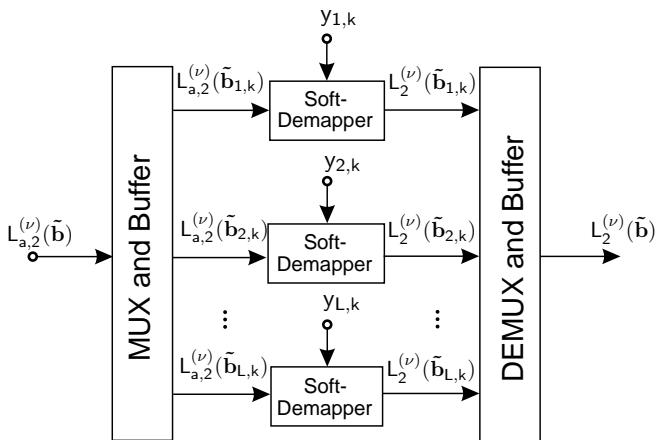


Fig. 4. Detailed soft demapper demodulator structure

TABLE II
Transmission modes and corresponding $\alpha^{(\ell)}$

	$M_1, \alpha^{(1)}$	$M_2, \alpha^{(2)}$	$M_3, \alpha^{(3)}$	$M_4, \alpha^{(4)}$
8 bit/s/Hz	256, 1	0, 0	0, 0	0, 0
8 bit/s/Hz	64, 3/4	4, 1/4	0, 0	0, 0
8 bit/s/Hz	16, 1/2	16, 1/2	0, 0	0, 0
8 bit/s/Hz	16, 1/2	4, 1/4	4, 1/4	0, 0
8 bit/s/Hz	4, 1/4	4, 1/4	4, 1/4	4, 1/4

output is obtained by

$$I(\mathbf{E}; \mathbf{B}) = \sum_{\ell=1}^L \alpha^{(\ell)} I(\mathbf{E}_\ell; \mathbf{B}_\ell) . \quad (27)$$

The MIMO layer specific extrinsic LLR sequences \mathbf{E}_ℓ are multiplexed onto the sequence \mathbf{E} , which is lead to the outer decoder [28]. Beneficial values of $\alpha^{(\ell)}$ may now be chosen by ensuring that there is an open EXIT tunnel between the soft demapper transfer characteristic and the decoder transfer characteristic at a given E_s/N_0 value that is close to the channel capacity bound. Analyzing the transmission modes in Tab. I, the resulting values of $\alpha^{(\ell)}$ are shown in Tab. II.

VI. RESULTS

In this contribution fixed transmission modes are used regardless of the channel quality. Assuming predefined transmission modes, a fixed data rate can be guaranteed. The obtained uncoded BER curves are depicted in Fig. 6 and 7 for the different QAM constellation sizes and MIMO configurations of Tab. I, when transmitting at a bandwidth efficiency of 8 bit/s/Hz³. Assuming a uniform distribution of the transmit power over the number of activated MIMO layers, it turns out that not all MIMO layers have to be activated in order to achieve the best BERs. More explicitly, our goal is to find that specific combination of the QAM mode and the number of MIMO layers, which gives the best possible BER performance at a given fixed bit/s/Hz bandwidth efficiency. However, the lowest BERs can only be achieved by using bit auction procedures leading to a high signalling overhead. Analyzing the probability of choosing specific transmission modes by using optimal bitloading (Tab. III) it turns out that at moderate SNR only an appropriate number of MIMO layers have to be activated, e. g., the (16, 4, 4, 0) QAM configuration. The results, obtained by using bit auction procedures justify the choice of fixed transmission modes regardless of the channel quality as investigated in the contribution.

³The expression $\lg(\cdot)$ is considered to be the short form of $\log_{10}(\cdot)$.

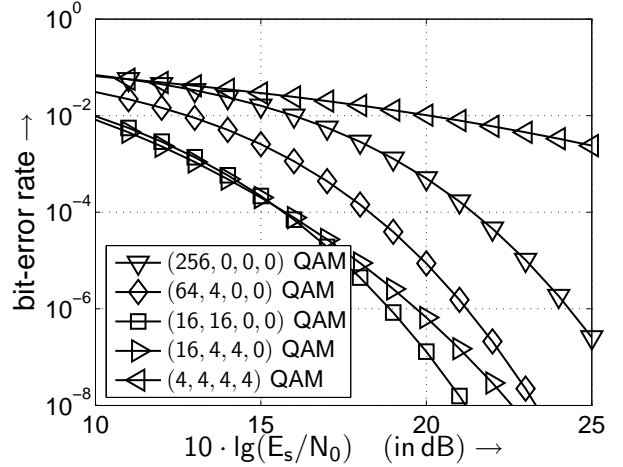


Fig. 6. BER when using the transmission modes introduced in Tab. I and transmitting 8 bit/s/Hz over frequency selective MIMO links with $L_c = 1$

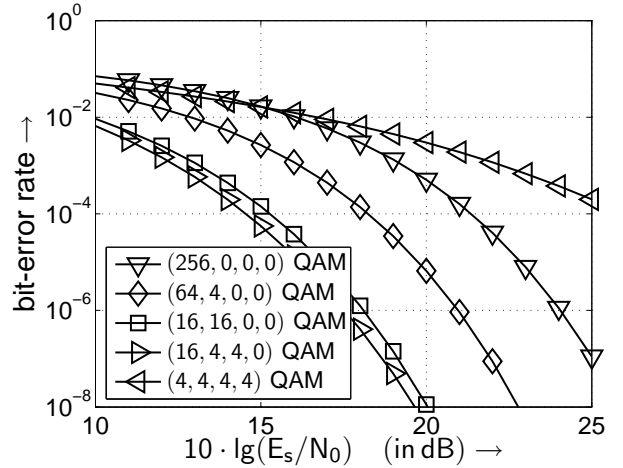


Fig. 7. BER when using the transmission modes introduced in Tab. I and transmitting 8 bit/s/Hz over frequency selective MIMO links with $L_c = 4$

Using the half-rate constraint-length $K_{cl} = 3$ NSC code, the BER performance is analyzed for an effective user throughput of 4 bit/s/Hz. The BER investigations using the NSC code are based on the best uncoded schemes of Tab. I. The information word length is 3000 bits and a random interleaver is applied. In addition to the

TABLE III
Probability of choosing specific transmission modes at a fixed data rate by using optimal bitloading ($10 \cdot \lg(E_s/N_0) = 10$ dB and $L_c = 1$)

mode	(16, 4, 4, 0)	(16, 16, 0, 0)	(64, 4, 0, 0)	(4, 4, 4, 4)
pdf	0.881	0.112	0.007	0

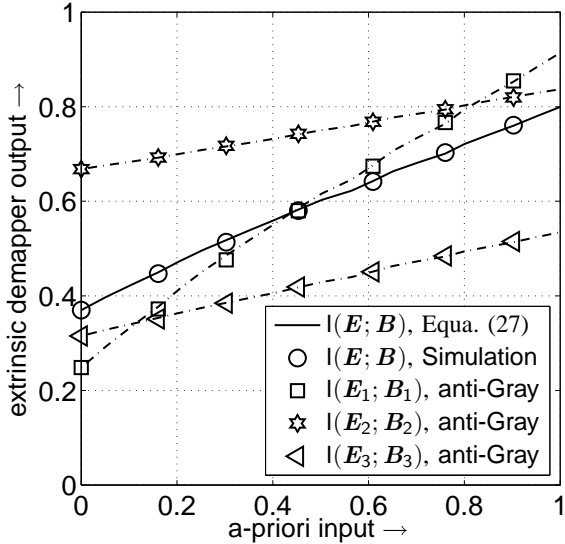


Fig. 8. Soft-Demapper Transfer characteristic when using the $(16, 4, 4, 0)$ transmission mode over frequency-selective MIMO links ($10 \log_{10}(E_s/N_0) = 2$ dB and $L_c = 1$)

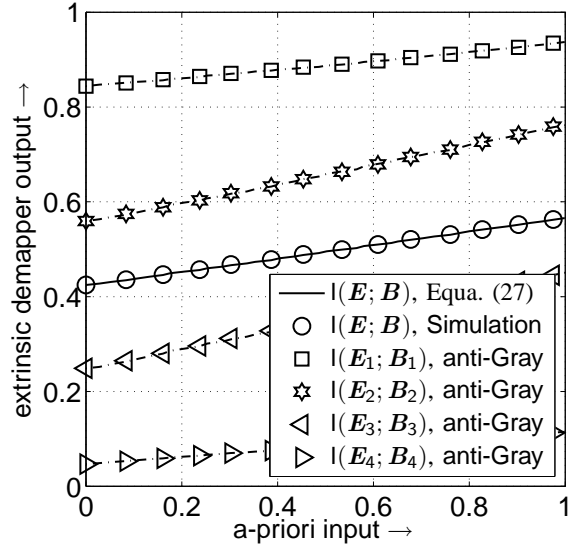


Fig. 9. Soft-Demapper Transfer characteristic when using the $(4, 4, 4, 4)$ transmission mode over frequency-selective MIMO links ($10 \log_{10}(E_s/N_0) = 2$ dB and $L_c = 1$)

number of bits per symbol and the number of activated MIMO layers, the achievable performance of the iterative decoder is substantially affected by the specific mapping of the bits to both the QAM symbols as well as to the MIMO layers. While the employment of the classic Gray-mapping is appropriate in the absence of *a priori* information, the availability of *a priori* information in iterative receivers requires an exhaustive search for finding the best non-Gray – synonymously also referred to as anti-Gray – mapping scheme [2]. A mapping scheme optimized for perfect *a priori* information has usually a poor performance, when there is no *a priori* information. However, when applying iterative demapping and decoding, large gains can be achieved as long as the reliability of the *a priori* information increases with the number of iterations. Analyzing the number of activated MIMO layers, obtained by optimizing the uncoded system, the soft-demapper transfer characteristics are depicted in Fig. 8 and Fig. 9 using anti-Gray mapping on all activated MIMO layers. Assuming predefined QAM constellation sizes, the entire soft demapper transfer characteristic is well predictable by combining the single MIMO layer transfer characteristics using the parameter $\alpha^{(\ell)}$. However, analyzing the best uncoded transmission mode, depicted in Fig. 8, the overall performance is strongly influenced by the most susceptible MIMO layer; here the MIMO layer transmitting 4 bit/s/Hz. Using predefined QAM constellation sizes and the corresponding $\alpha^{(\ell)}$, the resulting EXIT chart curves are depicted in Fig. 10. In order to match the soft demapper transfer

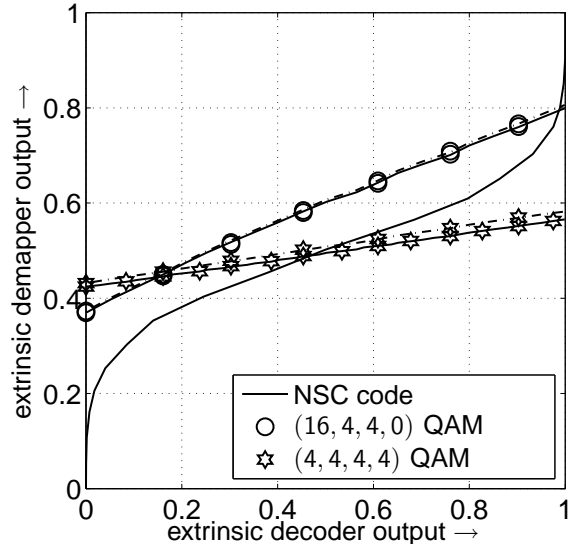


Fig. 10. EXIT chart for an effective user throughput of 4 bit/s/Hz and different delay-spreads ($L_c = 1$ (solid line), $L_c = 4$ (dashed line)) when using anti-Gray mapping on all activated MIMO layers ($10 \log_{10}(E_s/N_0) = 2$ dB) and the half-rate NSC code with the generator polynomials of $(7, 5)$ in octal notation

characteristic properly to the decoder transfer characteristic, a joint optimization of the number of activated MIMO layers as well as the number of bit per symbol has been carried out. Our results suggest that not all MIMO layers have to be activated in order to shape the soft demapper transfer characteristic properly. The best uncoded solutions seems also to be useful in the coded

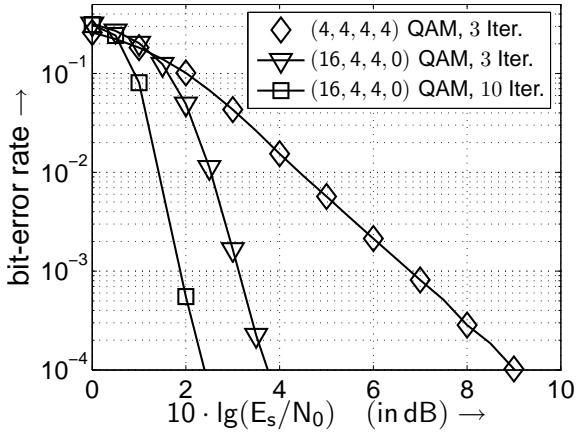


Fig. 11. BER for an effective user throughput of 4 bit/s/Hz assuming anti-Gray mapping in combination with different transmission modes and the half-rate NSC code with the generator polynomials of (7, 5) in octal notation ($L_c = 1$)

scenario. The corresponding BER curves are shown in Fig. 11 and confirm the EXIT charts results. In order to guarantee an efficient information exchange between the soft-demapper and the decoder, i. e., an open EXIT tunnel, only an appropriate number of MIMO layers has to be activated. Using all MIMO layers for the data transmission, the information exchange between the soft-demapper and the decoder stops relatively early at low SNR, as illustrated by the EXIT chart results in Fig. 10, and significant enhancements in the BER performance can't be achieved any longer by increasing the number of iterations. However, taking frequency selective MIMO links rather than non-frequency selective MIMO links into account, large delay-spreads seems to be highly beneficial and lead to further degree of design freedom as investigated in [32] or [33]. The layer-specific transfer characteristics are depicted in Fig. 12 and Fig. 13 for different parameters of L_c . The results highlight that an increased delay spread is only beneficial for MIMO layers carrying a low number of bits. The characteristic of the strongest MIMO layers remains nearly unchanged. Therefore, in combination with an appropriate number of MIMO layers, as determined by analyzing the uncoded transmission scheme, only minor improvements can be expected.

VII. CONCLUSION

The choice of the number of bits per symbol and the number of MIMO layers combined with powerful error correcting codes substantially affects the performance of a MIMO system. Analyzing the uncoded system, it turns out that not all MIMO layers have to be activated in order to achieve the best BERs. Considering the coded

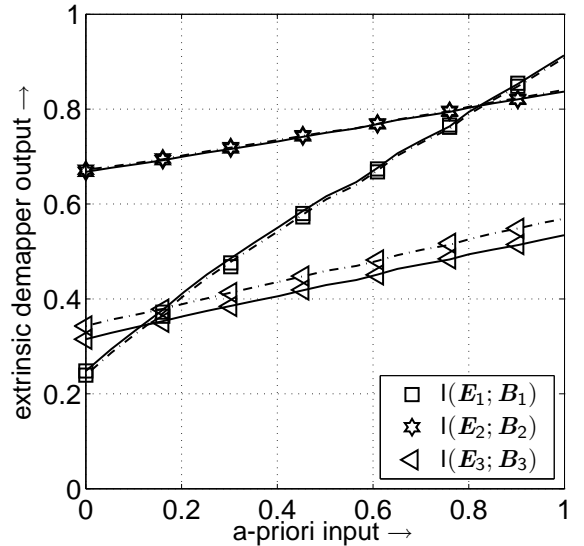


Fig. 12. Layer-specific transfer characteristic when using anti-Gray mapping and the (16, 4, 4, 0) transmission mode over frequency-selective MIMO links ($10 \log_{10}(E_s/N_0) = 2$ dB, $L_c = 1$ (solid line), $L_c = 4$ (dashed line))

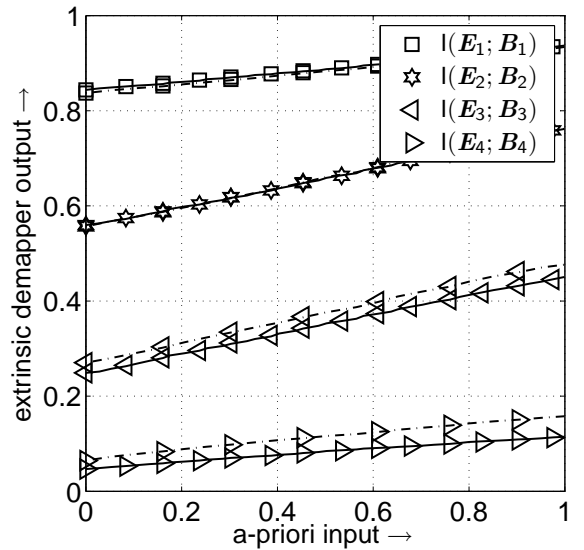


Fig. 13. Layer-specific transfer characteristic when using anti-Gray mapping and the (4, 4, 4, 4) transmission mode over frequency-selective MIMO links ($10 \log_{10}(E_s/N_0) = 2$ dB, $L_c = 1$ (solid line), $L_c = 4$ (dashed line))

system, the choice of the mapping strategies combined with the appropriate number of activated MIMO layers and transmitted bits per symbol offers a certain degree of design freedom, which substantially affects the performance of MIMO systems. Here, using an appropriate number of MIMO layers for the data transmission seems to be a promising solution for minimizing the overall

BER characteristic.

ACKNOWLEDGEMENT

The author thanks *Prof. Reiner Rockmann* for learning a lot about wireless communications from his lectures. Additionally, I thank for many years of faithful and fruitful cooperation at the Institute of Communication Engineering at the Rostock University.

REFERENCES

- [1] G. Caire, G. Taricco, and E. Biglieri, "Bit-Interleaved Coded Modulation," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 44, no. 3, pp. 927–946, March 1998.
- [2] J. A. Chindapol, A. Ritcey, "Design, Analysis, and Performance Evaluation for BICM-ID with square QAM Constellations in Rayleigh Fading Channels." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 19, no. 5, pp. 944–957, May 2001.
- [3] F. Schreckenbach and G. Bauch, "Bit-Interleaved Coded Irregular Modulation." *European Transactions on Telecommunications*, vol. 17, no. 2, pp. 269–282, March 2006.
- [4] M. R. McKay and I. B. Collings, "Capacity and Performance of MIMO-BICM with Zero-Forcing Receivers," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 53, no. 1, pp. 74–83, January 2005.
- [5] S. H. Mueller-Weinfurter, "Coding Approaches for Multiple Antenna Transmission in Fast Fading and OFDM," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 50, no. 10, pp. 2442–2450, October 2002.
- [6] V. Kühn, *Wireless Communications over MIMO Channels – Applications to CDMA and Multiple Antenna Systems*. Chichester: Wiley, 2006.
- [7] L. Zheng and D. N. T. Tse, "Diversity and Multiplexing: A Fundamental Tradeoff in Multiple-Antenna Channels." *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 49, no. 5, pp. 1073–1096, May 2003.
- [8] B. S. Krongold, K. Ramchandran, and D. L. Jones, "Computationally Efficient Optimal Power Allocation Algorithms for Multicarrier Communications Systems." *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, no. 1, pp. 23–27, 2000.
- [9] R. F. H. Fischer and J. B. Huber, "A New Loading Algorithm for Discrete Multitone Modulation." in *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, London, 1996, pp. 724–728.
- [10] C. S. Park and K. B. Lee, "Transmit Power Allocation for BER Performance Improvement in Multicarrier Systems." *IEEE Transactions on Communications*, vol. 52, no. 10, pp. 1658–1663, 2004.
- [11] Z. Zhou, B. Vucetic, M. Dohler, and Y. Li, "MIMO Systems with Adaptive Modulation." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 54, no. 5, pp. 1073–1096, September 2005.
- [12] J. Jang and K. B. Lee, "Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 21, no. 2, pp. 171–178, 2003.
- [13] J. Jang, K. B. Lee, and Y. H. Lee, "Transmit Power and Bit Allocations for OFDM Systems in a Fading Channel." in *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, vol. 22, no. 1, San Francisco, 2003, pp. 858–862.
- [14] A. Ahrens, V. Kühn, and T. Weber, "Iterative Detection for Spatial Multiplexing with Adaptive Power Allocation." in *7th International Conference on Source and Channel Coding (SCC)*, Ulm, January 2008.
- [15] A. Ahrens and C. Lange, "Modulation-Mode and Power Assignment in SVD-equalized MIMO Systems." *Facta Universitatis (Series Electronics and Energetics)*, vol. 21, no. 2, pp. 167–181, August 2008.
- [16] G. G. Raleigh and J. M. Cioffi, "Spatio-Temporal Coding for Wireless Communication." *IEEE Transactions on Communications*, vol. 46, no. 3, pp. 357–366, March 1998.
- [17] G. G. Raleigh and V. K. Jones, "Multivariate Modulation and Coding for Wireless Communication." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 5, pp. 851–866, May 1999.
- [18] L. R. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, and J. Raviv, "Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 20, no. 3, pp. 284–287, March 1974.
- [19] F.-M. Hsu, "Data Directed Estimation Techniques for Single-Tone HF Modems." in *IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, 1985, pp. 271–280.
- [20] S. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [21] A. Ahrens and C. Lange, "Transmit Power Allocation in SVD Equalized Multicarrier Systems." *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, vol. 61, no. 1, pp. 51–61, 2007.
- [22] I. Kalet, "Optimization of Linearly Equalized QAM." *IEEE Transactions on Communications*, vol. 35, no. 11, pp. 1234–1236, November 1987.
- [23] J. G. Proakis, *Digital Communications*. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- [24] L. Hanzo and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA*. New York: Wiley, 2006.
- [25] G. D. Forney, R. G. Gallager, G. R. Lang, F. M. Longstaff, and S. U. Qureshi, "Efficient Modulation for Band-Limited Channels." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 2, no. 5, pp. 632–647, 1984.
- [26] I. Kalet, "The Multitone Channel." *IEEE Transactions on Communications*, vol. 37, no. 2, pp. 119–124, Februar 1989.
- [27] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch, "Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 10, pp. 1747–1758, October 1999.
- [28] A. Ahrens and V. Kühn, "Analysis of SVD-Aided, Iteratively Detected Spatial Division Multiplexing using EXIT Charts." in *12th International OFDM-Workshop*, Hamburg, August 2007, pp. 271–275.
- [29] S. t. Brink, "Convergence Behavior of Iteratively Decoded Parallel Concatenated Codes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 10, pp. 1727–1737, October 2001.
- [30] A. Ahrens and V. Kühn, "Modulation-Mode and Power Assignment for MIMO-BICM Schemes." in *IEEE International Workshop on Smart Antennas (WSA)*, Darmstadt, 26.–27. February 2008, pp. 262–269.
- [31] A. Ahrens, S. X. Ng, V. Kühn, and L. Hanzo, "Modulation-Mode Assignment for SVD-Aided and BICM-Assisted Spatial Division Multiplexing," *Physical Communications (PHYCOM)*, vol. 1, no. 1, pp. 60–66, 2008.
- [32] N. Palleit, A. Ahrens, and C. Lange, "Transmit Power Allocation in SVD-equalized Broadband MIMO Transmission Systems." in *International Conference on Advances in the Internet, Processing, Systems, and Interdisciplinary Research (IPSI)*, New York (USA), 05.–08. Januar 2006.
- [33] D. Gesbert, "Multipath: Curse or Blessing? A System Performance Analysis of MIMO Wireless Systems." in *Proceedings of International Zurich Seminar on Communications (IZS)*, Zurich (Switzerland), 2004, pp. 14–17.