Die AGAFE an der Fachhochschule Wiesbaden

Die AGAFE (Arbeitsgemeinschaft für angewandte Forschung und Entwicklung) wurde als eingetragener und gemeinnütziger Verein 1979 von Professoren der FHW gegründet. Ihr Zweck war es, die Zusammenarbeit zwischen Fachhochschule und Industrie zu erleichtern, vor allen Dingen durch unbürokratische Abwicklung von Diplomarbeiten im Auftrag von Industriebetrieben, wobei vor allen Dingen mittelständische Betriebe angesprochen wurden.

Die AGAFE vermittelte und finanzierte diese Diplomarbeiten mit der Industrie und veröffentlichte die Ergebnisse in den AGAFE Mitteilungen, die semesterweise erschienen. Als Beispiel ist die AGAFE Mitteilung vom Juni 2003 beigefügt.

Die Geschichte der ersten 20 Jahre der AGAFE ist in dem Bericht

Zwanzig Jahre AGAFE

beschrieben.

Die AGAFE ist bis heute an der Hochschule Rhein-Main tätig.

Zwanzig Jahre AGAFE

Sigurd Schulien

1. Die Gründung.

Im Oktober 1979 fanden sich sieben Professoren der FHW zusammen und beschlossen, einen Verein zur Förderung der angewandten Forschung und Entwicklung zu gründen. Damals deutete sich an, daß die finanzielle Ausstattung der Fachhochschule nicht ausreichte, um die Labors auf dem neuesten Stand der Technik zu halten und entsprechende Diplomarbeiten durchführen zu können. Der Mangel sollte dadurch behoben werden, daß praxisnahe Entwicklungsarbeiten gemeinsam mit der Industrie und der FHW durchgeführt werden sollten, wobei Mittel aus der Industrie in die Labors fließen sollten. Die Abwicklung der Arbeiten sollte durch den Verein erfolgen, der sich den Namen "Abeitsgemeinschaft für angewandte Forschung und Entwicklung an der FHW („AGAFE") gab. Rechtlich abgesichert war die Gründung des Vereins durch das Hessische Hochschulgesetz vom 6. Juni 1978, dessen Paragraph 4 lautet:

Die Fachhochschule vermittelt durch anwendungsbezogene Lehre eine auf den Erkenntnissen der Forschung beruhenden Ausbildung. Sie fördert die wissenschaftliche Erkenntnis für die Praxis. Sie kann Forschungs- und Entwicklungsaufgaben wahrnehmen, soweit die Erfüllung ihres Bildungsauftrags dadurch gefördert und ihr Lehrauftrag nicht beeinträchtigt wird.

Den Gründern der AGAFE war die Zwiespältigkeit dieses Textes wohl bewußt und auch die Tatsache, daß die höhere Administration teilweise technik- und industriefeindlich eingestellt war. Aber die Tatsache ließ sich nicht weginterpretieren, daß im Gesetz stand: die Fachhochschule fördert die Erschließung wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Praxis und sie kann Forschungs- und Entwicklungsaufgaben wahrnehmen. Wie das finanziert werden soll, sagte das Gesetz nicht. Genau hier sah die AGAFE den wesentlichen Ansatzpunkt für ihre zukünftige Arbeit. Den aus der Industrie zur Fachhochschule gekommenen Entwicklungspraktikern war klar, daß die Fachhochschule als Institution nur unter größten Schwierigkeiten mit Industriebetrieben zusammenarbeiten konnte. Das Personal- und Haushaltsrecht standen dem strikt entgegen sowie die Gremienwirtschaft an der Fachhochschule mit ihren Schlichen und Winkelzügen im Vorfeld und in Hinterzimmern und bei abendlichen Telefongesprächen.

Es gab allerdings ein Beispiel für die gute Zusammenarbeit zwischen Fachhochschule und Industrie, nämlich die Steinbeisstiftung in Baden-Württemberg, die hervorragend arbeitete und bei Industriefirmen einen sehr guten Ruf besaß. Auf Anregung von Prof. Dr. Bergen nahm die AGAFE in ihrer Gründungsphase Kontakt zur Fachhochschule Aalen auf, wo ein leistungsfähiges Technologiezentrum der Steinbeisstiftung unter Leitung von Prof. Franke arbeitete. Dieser verdienstvolle Kollege gab uns wertvolle Hinweise für die Satzung, Struktur und Arbeitsweise der AGAFE. Ansprechpartner der AGAFE sollte vor allem die mittelständische Industrie der Region sein. Die mittleren und kleinen Unternehmen haben üblicherweise keine Forschungsabteilung. Wegen des rasanten Fortschreitens der Technik in Innovationsschüben sind sie aber auf eigene Entwicklungsarbeiten angewiesen, wenn sie auf Dauer am Markt bestehen bleiben wollen. Hier könnte die Fachhochschule mit ihrem breitge-

fächerten Wissen helfen, wobei die AGAFE als Mittler zwischen Industrie und Fachhochschule fungiert.
Nachdem in einer Reihe von Vorbesprechungen diese Tatsachen und Umstände erwogen worden waren, trafen sich am 26.11.1979 sieben Professoren zur Gründungsversammlung der Arbeitsgemeinschaft für Angewandte Forschung und Entwicklung an der Fachhochschule Wiesbaden (AGAFE). Die Gründungsmitglieder waren die Professoren Dr. Bergen (Suk), Fender (E), Flügge (Suk), Irmer (Suk), Lacoste (Suk), Dr. Schatter (P), Schulien (P). Man sieht, daß der Fachbereich Suk in der Gründungsphase sehr intensiv mitwirkte. Dies ergab sich daraus, daß zu Beginn viele juristische, organisatorische und steuerrechtliche Fragen zu klären waren, zu deren Lösung man den Rat der Spezialisten vom Fachbereich Suk benötigte. Die Satzung der AGAFE wurde am 26.11.1979 errichtet. Aus der in der Gründungsversammlung verabschiedeten Satzung des Vereins ergaben sich folgende Ziele und Arbeitsschwerpunkte der AGAFE:

- Vermittlung von Diplom- und Studienarbeiten in der Industrie,
- Durchführung von Entwicklungsarbeiten in Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen und der FHW,
- Unterstützung von interdisziplinären und hochschulübergreifenden Projekten,
- Organisation der Ausstellung von Forschungsergebnissen auf Messen,
- Abwicklung und Finanzierung von Forschungsaufträgen,
- Organisation von Seminaren,
- Veröffentlichung von Forschungsergebnissen.

Nachdem alle organisatorischen Fragen geklärt waren, beantragte der Vorsitzende, Prof. Schulien, die Eintragung des Vereins in das Vereinsregister des Amtsgerichts Wiesbaden und informierte den Rektor der FHW über die Gründung (22.1.1980). Nach der Eintragung in das Vereinsregister am 25.3.1980 trat der Verein in der Öffentlichkeit auf, indem er für seine Ziele warb. Am 19.5.1980 wurde die Gemeinnützigkeit beim zuständigen Finanzamt beantragt. Inzwischen war die Verwaltung der FHW aktiv geworden und hatte den Vorsitzenden zu einer Besprechung in das Rektorat in Wiesbaden gebeten. In dieser Besprechung vom 21.5.1980 zwischen dem Rektor Prof. Dr. Seyffarth, dem Kanzler Dr. Gädeke und Prof. Schulien verlangte die Verwaltung der FHW die Auflösung des Vereins, da er den Interessen der FHW schade, weil die hessischen Fachhochschulen eine eigene Technologietransferinstitution (IWBW = Institut für wissenschaftliche Beratung der Wirtschaft) gründen wollten. Am 3.7.1980 fand im Rektorat eine weitere Besprechung zwischen den Herren Prof. Dr. Seyffarth, Dr. Gädeke auf der einen Seite und Prof. Fender, Prof. Dr. Schatter, Prof. Schulien auf der Seite der AGAFE statt. In die Diskussionen wurden keine neuen Argumente eingebracht, jede Seite beharrte auf ihrem Standpunkt. Wegen der Auflösung des Vereins fand am 7.10.1980 eine außerordentliche Mitgliederversammlung statt. Die Versammlung sah keinen Grund, den Verein aufzulösen.
Am 16.6.1980 schrieb der Rektor einen Brief an den Vorsitzenden der AGAFE, in dem er ein neues Argument in die Diskussion brachte: Die AGAFE sei nicht befugt, den Namen der Fachhochschule zu gebrauchen. Durch den Zusatz „an der Fachhochschule Wiesbaden" erwecke sie den Eindruck, als handle es sich bei der Arbeitsgemeinschaft um eine Einrichtung der FHW. Der Gebrauch des Namens „Arbeitsgemeinschaft für angewandte Forschung und Entwicklung an der Fachhochschule Wiesbaden" erfolge unbefugt. Durch den unbefugten Gebrauch des Namens werden Interessen der Fachhochschule verletzt. Es wurden disziplinarische Strafen angedroht.

2. Der Prozess

Am 18.11.1980 erfuhr die AGAFE, daß das Rektorat gerichtliche Schritte gegen den Verein vorbereite. Um die Sache zu klären, bat der Vorstand brieflich am 18.11.80 um einen Gesprächstermin. Die Verwaltung reagierte nicht auf das Schreiben. In einem persönlichen Gespräch am Rande einer Tagung über Technologietransfer in Bad Kissingen versuchte Herr Schulien den Rektor von der Sinnlosigkeit einer gerichtlichen Auseinandersetzung zu überzeugen. Die AGAFE sei bereit, den Namen zu ändern. Der Versuch war vergebens. Herr Schulien hatte den Eindruck, daß die Würfel gefallen waren, daß der Rektor den Prozeß wollte.

Am 5.12.1980 wurde die Klage der Fachhochschule Wiesbaden gegen die AGAFE vor dem Landgericht in Wiesbaden erhoben, die Klage schriftlich dem Vorstand zugestellt. Die Vorstandsmitglieder wurden mit DM 500.000 Geldstrafe bzw. zwei Jahren Gefängnis bedroht, wenn der Name der FHW weiter im Vereinsnamen erscheine. Diese Klage machte einen verheerenden Eindruck nicht nur auf die Vorstandsmitglieder und hat die Beziehungen zwischen der Hochschulleitung und der AGAFE auf Jahre vergiftet. Der Vorgang war einmalig in der Geschichte der deutschen Hochschulen. Bisher hatte man immer versucht, Meinungsverschiedenheiten durch Diskussionen und intern zu regeln.

Die Klage gegen die AGAFE führte zu einem großen Solidarisierungseffekt. Viele Kollegen traten dem Verein bei, wollten allerdings nicht, daß dies bekannt wurde. Dies ist der Grund dafür, daß auch heute noch die AGAFE die Namen ihrer Mitglieder nicht bekannt gibt. Auf Wunsch der Studenten wurde die Satzung geändert, so daß auch Studierende und Absolventen Mitglieder werden konnten. In dem sich anbahnenden Gerichtsverfahren standen die Studenten mit großer Mehrheit auf Seiten der AGAFE. Am 27.11.1980 hatte der hessische Kultusminister den Plan der Rektorenkonferenz der hessischen Fachhochschulen abgelehnt, das IWBW zu gründen, da die finanzielle Belastung des Landeshaushaltes beträchtlich wäre. Schließlich sollte der Vorstand sowie zwei Geschäftsführer und mehrere Mitarbeiter aus Landesmitteln bezahlt werden.

In dem sich anbahnenden Rechtsstreit übernahm Frau Irmer die Vertretung der Interessen der AGAFE, wobei sie tatkräftig von ihrem Mann, Prof. A. Irmer und Prof. Dr. Bergen unterstützt wurde. Ohne die selbstlose Hilfe von Frau und Herrn Irmer wäre die AGAFE in dem Rechtsstreit, der in verschiedenen Instanzen am Landgericht Wiesbaden und am Oberlandesgericht Frankfurt durchgeführt wurde, aus finanziellen Gründen untergegangen.

Die AGAFE beantragte am 23.12.1980 beim Landgericht Wiesbaden, die Klage abzuweisen. Es kam zu mehreren Verhandlungen, die im einzelnen hier nicht beschrieben werden sollen. Das Verfahren endete am 6.5.1982 durch Vergleich vor dem Oberlandesgericht Frankfurt, indem der Name der AGAFE umgeändert wurde in „Arbeitsgemeinschaft für Angewandte Forschung und Entwicklung von Mitgliedern der Fachhochschule Wiesbaden.

Der Vorstand der AGAFE liess daraufhin einen Stempel anfertigen mit dem Text „von Mitgliedern", sodass die schon fertigen Drucksachen mit dem alten Namen nach Stempelung nicht vernichtet werden mussten.

In dem Vergleich wurden die Kosten des Verfahrens vor dem Oberlandesgericht in Höhe von ca. DM 4.000,00 der AGAFE aufgebürdet. Da die AGAFE während des Gerichtsverfahrens nur beschränkt handlungsfähig war, verfügte sie über keine Mittel, diese Rechnung zu bezahlen. Deswegen kam der Gerichtsvollzieher einige Male, um mit dem Vorstand der AGAFE zu sprechen, traf ihn aber nicht an. Beim dritten Mal platzte er in eine Vorstandssitzung und

fragte nach pfändbaren Gegenständen. Nun hatte die AGAFE kurz vorher den Bildschirm und die Tastatur eines Rechners für den Kollegen Prof. Dr. Schatter gekauft, der Rechner und Drucker wurden von der FHW bezahlt. Der Gerichtsvollzieher war froh, etwas Pfändbares gefunden zu haben und klebte den Kuckuck auf Drucker und Rechner, die der FHW gehörten. Um der unsäglichen Sache ein Ende zu bereiten, hat die AGAFE daraufhin ein Darlehen aufgenommen und die Gerichtskosten bezahlt.

Der Prozeß hatte einiges Aufsehen in der Öffentlichkeit erregt, vor allen Dingen im Technologietransferbereich und in der Industrie, da er ein Schlaglicht auf Verhältnisse in der Hochschullandschaft warf, die man am liebsten verborgen hielt. Im hessischen Landtag kam die Sache zur Sprache, wobei vor allen Dingen die CDU sich schützend vor die AGAFE stellte /1/. Zeitungen und Zeitschriften berichteten über den Fall /2/, /3/, /4/.

Nachdem der Rechtsstreit beendet war, konnte die AGAFE mit ihrer eigentlichen Aufgabe beginnen, d.h. praxisnahe Forschung und Entwicklung zum Vorteil der Fachhochschule Wiesbaden betreiben.

Ich bin etwas ausführlicher auf den Prozess eingegangen, weil dieses Verfahren die AGAFE auf Jahre hinaus geprägt hat. Die Beziehungen zum Rektorat sind nie unbelastet gewesen. Auch neue Vorstände konnten keine Besserung bewirken. Es lag also nicht an den Personen, die in der AGAFE Verantwortung trugen.

3. Der Aufbau

Der Obermotz der 68-er hatte nach dem Prozess zwar gezischelt: Das Problem AGAFE wird jetzt intern gelöst. Der Ärger darüber, daß die Justiz sich nicht hatte instrumentalisieren lassen, saß tief. Außerdem hatte das Wissenschaftsministerium in einem Brief an die AGAFE zu erkennen gegeben, daß es die Aktivitäten des Vereins wohlwollend zur Kenntnis nähme. Offene Anrempeleien waren also nicht mehr zu befürchten. Die Gegner hielten sich bedeckt und warteten auf Fehler der Arbeitsgemeinschaft.

Im diesem Umfeld begann die AGAFE in großem Maßstab, Werbung für die Zusammenarbeit FHW-Industrie bei den Firmen der Umgebung zu machen. Es wurden Leistungskataloge einzelner Labors erstellt, die direkt an die Firmen geschickt wurden oder über die benachbarten Industrie- und Handelskammern. Die interessierten Firmen schickten Listen von Diplomarbeiten, die bei ihnen angefertigt werden konnten. Die AGAFE veröffentlichte diese Listen hochschulintern. Inzwischen hatte das Finanzamt Groß-Gerau der AGAFE den Status der Gemeinnützigkeit zugebilligt unter der Bedingung, daß alle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten veröffentlicht werden müssen. Dies führte dazu, daß das Mitteilungsblatt „AGAFE-Mitteilungen" als Informationsblatt des Vereines geschaffen wurde, in dem Diplom- und Entwicklungsarbeiten angeboten und ihre Ergebnisse veröffentlicht werden. Die Auflage lag von Anfang an zwischen 350 und 400 Exemplaren, die an Mitglieder, Ministerien, Hochschulen, Parteien, Firmen usw. gingen.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten lag in den ersten Jahren in der Vermittlung von Diplomarbeiten mit interessierten Firmen. Die AGAFE hatte davon keinen wirtschaftlichen Vorteil, aber die industriefeindliche Atmosphäre wurde allmählich abgebaut. Es wurden zwar gezielte Bosheiten in Umlauf gesetzt wie: „Die mit der Industrie Zusammenarbeitenden wollen sich nur die Taschen voll machen" oder „Die Industrie will Einfluß auf die Fachhochschule bekommen".

Aber diese Sprüche wurden meist nur von ihren Erfindern geglaubt. Sie verfolgten den Zweck, Kollegen, die die Arbeit der AGAFE mit Wohlwollen

betrachteten, davon abzuhalten, Mitglied des Vereins zu werden.
Es wurden Diplomarbeiten vermittelt bei den Firmen T+N, Leybold-Heraeus, Nukem, Hoechst. Die Firmen stellten Material und Geräte zur Verfügung, um die Diplomarbeiten durchzuführen: Galvanikanlagen, Fertigungs- und Meßeinrichtungen für Leiterplatten, Elektronenmikroskope, Siebdruck- und Aufdampfmaterial, Targets etc. In kleinerem Umfang wurden Diplomarbeiten innerhalb der FHW finanziert, indem die Firmen Mittel zum Ankauf von Geräten und Material zur Verfügung stellten. Diese Geräte blieben in den Labors, wo sie zu Lehrzwecken eingesetzt wurden. Es wurden auch Werkverträge mit den Diplomanden finanziert.
Schon in den ersten Jahren ihres Bestehens förderte die AGAFE die interdisziplinäre Zusammenarbeit, vor allen Dingen auf den Gebieten Windenergie und Sonnenenergie sowie Energiespeicherung.
Ein wichtiges Aufgabengebiet war die Öffentlichkeitsarbeit für die FHW. 1983 nahm die AGAFE an der Gewerbeschau in Rüsselsheim teil. Sie bereitete mit eigenen Mitteln die Teilnahme an der Achema 82 und 85 vor und organisierte den Stand der FHW auf dieser sehr wichtigen Ausstellung. Sie sorgte über zehn Jahre dafür, daß die FHW auf diesem wichtigen Forum der Technik präsent war, außerdem auf dem Sonnenforum in Hamburg und in Frankfurt sowie regionalen kleineren Ausstellungen.
Viel Zeit kosteten die Kontakte zu Behörden, Politik, Ministerien, Verbänden. Mit den entsprechenden Stellen wurden Gespräche über Probleme geführt, die für unsere Arbeit wichtig waren: Nebentätigkeit, Nutzungsentgelt, Deputatsnachlass. Es wurden Kontakte zu anderen Vereinen geführt und eine gegenseitige Mitgliedschaft vereinbart. Pressemitteilungen wurden verteilt, die Presse in die Labors eingeladen. Die Auftragsabwicklung der intern durchgeführten Diplomarbeiten wurde optimiert und den Gegebenheiten an der FHW angepaßt, nämlich:
Die AGAFE übernimmt alle administrativen Arbeiten eines Auftrages. Sie kümmert sich um Angebot, Angebotsverfolgung, Vertragsabschluß, Auftragsbestätigung, Rechnungsstellung, Mittelbewirtschaftung, Bezahlung der Rechnungen, Spesen, Steuern etc. Der Professor braucht sich also nur um die technischen Probleme des Auftrags zu kümmern.
Die ersten Bilanzen wurden von Prof. Dr. Damm erstellt. Nach seiner Erkrankung übernahm Frau Britz die Buchführung und Bilanzierung. Es wurden Kontakte zu Technologietransferstellen in der ganzen Bundesrepublik aufgenommen, was zu einem intensiven Erfahrungsaustausch führte.
In den AGAFE-Mitteilungen wurden Fachartikel veröffentlicht mit dem Ziel, leistungsfähige Arbeitsgruppen ins Leben zu rufen, so auf Gebieten Solartechnik, Windenergie, Energieelektronik, Wasserstofftechnik usw.
Ab 1985 beginnt eine fruchtbare Zusammenarbeit mit der Schwesterorganisation an der FH Darmstadt, der DAFIT bzw. später GFTN.
Im Jahre 1988 bündeln fünf Vereine an südhessischen Fachhochschulen ihre Aktivitäten, um vor allen Dingen im politischen Bereich eine größere Effektivität zu erreichen, als sie einem einzelnen Akteur möglich ist. Die fünf Vereine haben über 350 Mitglieder. Sie gründen auf Anregung von Prof. Dr. Gnauck von der GFTN die ATW = Arbeitsgemeinschaft für Technologie- und Wissenstransfer Wirtschaft-Fachhochschulen. Die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft sind: die AGAFE an der FH Wiesbaden, die GFTN = Gesellschaft zur Förderung des technischen Nachwuchses an der FH Darmstadt, die GftW = Gesellschaft für technische Weiterbildung an der FH

Frankfurt, dasiaw = Institut für angewandte Wirtschaftswissenschaften an der FH Frankfurt und das ZAI = Zentrum für angewandte Informatik an der FH Darmstadt.
Alle fünf Vereine verfolgen die gleichen Ziele: Förderung der Zusammenarbeit zwischen Fachhochschule und Industrie durch Wissenstransfer und Weiterbildung über Seminare, Kurse, Fachtagungen. Sie unterstützen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Kooperation mit den Betrieben. Die ATW hielt in den folgenden Jahren vor allen Dingen den Kontakt zu Politik, Verbänden und Verwaltungen.
Die Erfahrung zeigte, daß meist nur mit größeren Firmen eine Zusammenarbeit möglich ist: z.B. mit Daimler-Benz, Telenorma, MAN-Roland, AEG, Bosch, Leybold-Heraeus, Messer-Griesheim, Danfos u.a. Die kleineren mittelständischen Unternehmen kommen meist mit kurzfristig zu lösenden Problemen, die aus Personal- und Zeitmangel nicht bearbeitet werden können. Weil die Beantragung der Nebentätigkeit Wochen dauert, kein Personal für die Bearbeitung vorhanden ist, kommt in den meisten Fällen kein Auftrag zustande.
Die größeren Firmen planen ihre Projekte langfristig. An der Fachhochschule kann so eine Diplomarbeit ausgeschrieben - das dauert meist einige Wochen - und zusammen mit der Firma durchgeführt werden.
Im Jahre 1985 hat die AGAFE zum ersten Male Personal eingestellt und die damit zusammenhängende Organisation aufgebaut. Im gleichen Jahr fand das erste Semestertreffen vom Absolventen der FHW statt, das von der AGAFE organisiert und finanziert wurde.
Der Verein hat 1985 aus eigenen Mitteln Erstberatungen von Firmen finanziert, also die Dienstreise des Professors zur Firma und vier Beratungsstunden bezahlt. 1986 stellte die AGAFE einen Antrag auf Gewährung einer Zuwendung für Forschung bei der Hessischen Landesregierung. Dieses AGAFE-Projekt wurde noch während der Antragsphase auf Wunsch des Rektors (s. nächste Seite) zurückgenommen und mit seiner Unterstützung neu eingereicht unter dem Titel „Entwicklung eines dezentralen 20kW-Energieversorgungssystems mit einem Windrad als Primärenergiequelle für die Stromversorgung und die Wasserstofferzeugung". Dieses Projekt war der Beginn der Wasserstoff-Aktivitäten der FHW. Im Jahre 1986 ist die Aufbauphase der AGAFE beendet. Alle in der Satzung vorgegebenen Tätigkeitsfelder sind beschritten worden, die Organisation für die Bewältigung der Aufgaben aufgebaut worden. Es waren allerdings Fragen offen geblieben, die nur durch die Politik geklärt werden konnten, besonders bei den Entwicklungsarbeiten, die in Form von Diplomarbeiten in den Labors der FHW durchgeführt und von Firmen finanziert wurden, Fragen, die das Nutzungsentgelt und die Nebentätigkeit betrafen.

4. Die Konsolidierung

Ende der achtziger Jahre war es selbstverständlich geworden, daß die Studenten in Firmen ihre Diplomarbeiten machten, weil dort die Apparaturen und das Geld und gute Arbeitsmöglichkeiten waren.
Außerdem konnten die Diplomanden ihren potentiellen zukünftigen Arbeitgeber kennen lernen oder sich zwanglos bei ihm präsentieren. Die Studenten besorgten sich selbst die Diplomarbeiten bei den Firmen. Die Mithilfe der AGAFE war nicht mehr erforderlich. Der Verein stellte die Veröffentlichung von Diplomarbeits-themen ein.
Zum Schwerpunkt der Aktivitäten wurde die Abwicklung von Entwicklungsarbeiten und Hilfe bei der Durchführung großer Entwicklungsprojekte.
In den meisten Fachbereichen stand kein Hilfspersonal zur Verfügung, das den Professor bei der Durchführung nicht routinemäßiger Arbeiten unterstützen konnte, wie es an den Universitäten der

Fall ist. Von den politischen Aktivisten hörte man, das sei gut so, denn es verhindere, daß sich jemand einen „Lehrstuhl" zimmere und unabhängig von den Drahtziehern im Fachbereich und zu der Verwaltung werde. Aus diesem Grunde war der Professor, der mit der Industrie zusammenarbeiten wollte, gezwungen, die von der Firma in Auftrag gegebene Entwicklungsarbeit in Form von Diplomarbeiten abzuwickeln. Bei größeren Projekten führte dies dazu,daß mehrere Diplomarbeiten zum gleichen Thema liefen, sowohl gleichzeitig als auch aufeinanderfolgend. Die einzelnen Diplomarbeiten waren Unterthemen des Hauptthemas. Sicherlich war der Professor durch die Überwachung und Koordinierung der Arbeit der Diplomanden stark belastet, aber dies wurde durch die Befriedigung kompensiert, daß er mit den Diplomanden Themen bearbeitete, die dem technischen Fortschritt dienten und die anwendungsnah waren. Andererseits war es sehr erfreulich zu sehen, wie die Studenten ihr Bestes gaben, um die Lösung der technischen Probleme zu finden.

Es sind auf diese Art viele hervorragende Arbeiten entstanden. Von interessierter Seite wurde ein neues Schlagwort kolportiert (nachdem sich herausgestellt hatte, daß die Unterstellung mit den vollen Taschen nicht stimmte): der Professor, der mit der Industrie kooperiert, vernachlässigt die Lehre und die Gremienarbeit.

Natürlich ist auch bei dieser Verleumdung das Gegenteil richtig. An dem Lehrdeputat ändert sich durch die Betreuung von Diplomarbeiten nichts. Der Dozent arbeitet an vordester Front bei der Entwicklung und Anwendung neuer Techniken. Er muß über die jüngsten Forschungsergebnisse seines Arbeitsgebiets informiert sein, nicht nur über die aus seiner Studienzeit.

Diese Kenntnisse fließen in seine Lehrveranstaltungen ein, zum Vorteil für den Studenten, der eine anwendungsorientierte Ausbildung erfährt. Die Entwicklungsarbeiten bereichern die Lehre und motivieren die Studenten. Für die Tatsache wird offiziell allerdings keine Reklame gemacht. Warum wohl?

Durch die Entwicklungsarbeiten floß Geld in die Labors, im Mittel zwischen DM 5.000 bis 10.000 pro Projekt. Davon wurde zunächst die Mehrwertsteuer bezahlt, dann wurden Geräte und Material angeschafft, Dienstreisen und Kongreßbesuche finanziert. In vielen Fällen wurden die Studenten über Werkverträge entlohnt.

Manchmal erhielten Professoren für Gutachten Honorare. Der größte Teil der Entwicklungsgelder blieb aber in Form von Geräten, die der Lehre und Entwicklung dienten, in den Labors. Das Dünnschichtlabor zum Beispiel bestand hauptsächlich aus gespendeten Geräten und lief mit Verbrauchsmaterial, das von der Industrie zur Verfügung gestellt wurde, also Verdampferquellen, Targets, Aufdampf- und Sputtermaterial usf. Es konnte allerdings in Gesprächen mit der Verwaltung und der Politik nicht geklärt werden, ob das ev. fällige Nutzungsentgelt durch die Geräte- und Materialwerte bezahlt war. Die AGAFE agierte hiermit teilweise auf dünnem Eis unter unsicheren rechtlichen Bedingungen. Vielleicht war das nicht ungewollt. Hintergedanke: Wer mit der Industrie kooperiert, nimmt kriminelle Machenschaften billigend in Kauf. Wenn ein Projekt nicht über die AGAFE lief, sondern von dem Labor direkt abgewickelt wurde, mußten entsprechende Anträge auf Genehmigung bei den Gremien (z.B. Fachbereichsrat) gestellt werden. Eine der ersten Fragen dabei war oft: dient das zu entwickelnde Verfahren oder Gerät der Kriegswaffenproduktion. Wenn die Frage nicht eindeutig zu beantworten war (z.B. Entwicklung von Infrarotfiltern u.ä.), bedeutete dies das Ende des Projekts.

Das Problem des Nutzungsentgelts und der Nebentätigkeit blieb in der Schwebe. Es flossen aus den AGAFE-Projekten

erhebliche Mittel in die Geräteausstattung der Labors.
Ab 1985 bemühte sich die AGAFE darum, staatliche Förderung für ein großes Projekt der Wasserstofftechnik zu erhalten. Es sollte damit bewiesen werden, daß die Fachhochschule in der Lage ist, auch größere Projekte erfolgreich zu bearbeiten. Diese Bemühungen waren 1987 erfolgreich. Das hessische Wirtschaftsministerium bewilligte einen Betrag von ca. 1,4 Millionen DM für die Durchführung des Wind-Wasserstoffprojekts auf dem Kleinen Feldberg. Dieses und die folgenden Solar-Wasserstoff-Projekte wurden von der Fachhochschule abgewickelt, weil der Rektor der Meinung war, die Durchführung derartig großer Projekte sei Sache der Fachhochschule und nicht die eines privaten Vereins (s.o.). Die AGAFE schloß sich dieser Meinung an. Es genügte ihr, die Sache auf den Weg gebracht zu haben. Von Vorteil war, daß dem Projektleiter ein Deputatsnachlaß von 9 Stunden pro Woche gewährt wurde. Auf Projektkosten wurden Lehrbeauftragte eingestellt, welche die ausgefallenen Stunden des Projektleiters und seines Stellvertreters übernahmen.
In den Jahren 1987 und 1988 wurde die Wind-Wasserstoffanlage auf dem Kleinen Feldberg im Taunus aufgebaut. Ein Windrad mit einer maximalen Leistung von 20 kW lieferte die Energie für die Zersetzung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff in einem alkalischem Druckelektrolyseur (20 kW, 30 bar), der 4 m^3/h Wasserstoff und 2 m^3/h Sauerstoff liefern konnte. Der Wasserstoff wurde in Druckflaschen bei 30 bar (Volumen 2,5 m^3) gespeichert. Wenn Windstille war, aber Energie angefordert wurde, trieb der Wasserstoff ein Notstromaggregat an, das eine Leistung von 10 kW abgeben konnte. Das Notstromaggregat bestand aus einem Corsa-Motor, der von Benzin- auf Wasserstoffbetrieb umgebaut worden war. An dem Motor war ein Generator angeflanscht. Das Gesamtkonzept der Anlage stammt von der AGAFE. Der Elektrolyseur und der Wasserstoffmotor wurden im Fachbereich Physikalische Technik entwickelt. Die sehr umfangreiche und komplexe Energieelektronik des Energieversorgungssystems war das Ergebnis einer sehr fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen AGAFE und dem E-Maschinenlabor des Fachbereichs Elektrotechnik. Ende der achtziger Jahre gab es weder die geeigneten Elektrolyseure noch Wasserstoffmotoren oder die geeignete Energieelektronik auf dem Markt. Die Datenerfassung und Steuerung der Anlage wurde mit Hilfe des Fachbereichs MND geschaffen. Alle Entwicklungsarbeiten liefen in Form von Diplomarbeiten. Ab Ende 1988 lief die Anlage selbständig auf dem Kleinen Feldberg. Ein- bis zweimal pro Woche war eine Wartung erforderlich, wobei die meisten Schwierigkeiten durch das Windrad auftraten. Die Anlage produzierte ca. 1000 m^3/Jahr Wasserstoff, der im Notstromaggregat verbraucht wurde. Der Sauerstoff wurde an die Luft abgegeben. Die Anlage lief bis 1995, dann wurde sie stillgelegt und später abgebaut, da kein Personal für die Wartung zur Verfügung stand.
Es ist ärgerlich, feststellen zu müssen, daß viel Geld ausgegeben wird für administratives und soziopolitisches Personal, daß aber bei technisch-wissenschaftlichen Mitarbeitern streng gespart wird, wodurch Steuergelder in Millionenhöhe verloren gehen. An der Wind-Wasserstoff-Anlage hätten noch viele Jahre lang Messungen und Diplomarbeiten durchgeführt werden können.
Im Jahre 2000 wird aus den Resten der Feldberganlage eine Wind-Wasserstoffanlage in Portugal aufgebaut. Das Projekt wurde durch die Firmen Messer Griesheim, Opel, Hoch-Tief, Fritz u.a. tatkräftig unterstützt. Da die Anlage gut funktionierte und damit bewiesen war, daß die Kooperation verschiedener Fachbereiche bemerkenswerte Ergebnisse bewirken konnte, bewilligte das

hessische Wirtschaftsministerium 1991 ein weiteres Forschungsvorhaben der Wasserstofftechnik: „Aufbau und Optimierung einer dezentralen Energieversorgungsanlage auf der Basis von Solarenergie und Wasserstoff." Es wurde mit etwa 800.000 DM gefördert. Die Anlage wurde in den Jahren 1991 und 1992 in dem Wasserstofflabor der FHW aufgebaut. Sie läuft heute noch. Mit ihr werden Optimierungsmessungen an dem Gesamtsystem und an seinen Komponenten durchgeführt. Ein fotovoltaisches Solarpaneel (Leistung 2 kW) liefert die Energie für die Zersetzung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff in einem alkalischem Druckelektrolyseur (2 kW, 20 bar).

Die Durchführung der Arbeiten lag in den Händen einer gut eingespielten Mannschaft von vier Ingenieuren, die im Wind-Wasserstoff-Projekt die Grundlagen der Wasserstofftechnik kennengelernt hatten. Zwischen dem Ende des Wind-Wasserstoff-Projekts und dem Beginn des Solar-Wasserstoff-Projekts lag eine Zeit von vier Monaten. Da für die Zwischenzeit kein Geld vorhanden war, hätte die Mannschaft entlassen werden müssen. Das wäre fatal gewesen, da sie dann vermutlich auseinander gegangen wäre. Die AGAFE hat aus eigenen Mitteln die fragliche Übergangszeit finanziert, so daß es nicht erforderlich wurde, eine neue Mannschaft aufzubauen, was sehr mühselig und zeitraubend ist.

Während der Arbeiten stellte sich heraus, daß auf dem Markt keine Geräte für den Verbrauch des erzeugten Wasserstoffs vorhanden sind. Aus diesem Grunde wurden mit Hilfe von Mitteln des hessischen Umweltministeriums (ca. 300.000 DM) entsprechende Geräte entwickelt, indem vorhandene Gasgeräte von Erdgas- auf Wasserstoffbetrieb umgebaut wurden. Folgende Apparaturen wurden gebaut: eine Gasheizung (24 kW), katalytische Brenner (1-10 kW), Lampen, Gasherde, ein Kühlschrank, Heißlufterzeuger, Schweiß- und Lötgeräte usf. Die Lehre hatte einen großen Vorteil von diesen Arbeiten. Unterstützung fanden diese Arbeiten durch die Firmen VARTA, Leybold-Heraeus, Viessmann, Electrolux, Briggs und Stratton, Battelle. Die Firmenkontakte liefen meist über die AGAFE.

Der Deputatsnachlaß für die Projektleitung entfiel gleich nach der Landtagswahl 1991, als Hessen wieder eine rot-grüne Regierung erhielt.

Aus den Messungen ergab sich, daß der durch regenerative Energien erzeugte Wasserstoff ziemlich teuer war. /5/ Das liegt z.T. daran, daß die Speichertanks für Druckwasserstoff nicht billig sind. Eines der Hauptergebnisse der Rüsselsheimer Wasserstoffprojekte ist deshalb der Vorschlag, den erzeugten Wasserstoff in geeigneter Weise mit CO_2 reagieren zu lassen. Dabei entsteht Methanol, ein flüssiger Energieträger, der auch im Verkehrsbereich eingesetzt werden kann. Für Methanol ist die Versorgungsinfrastruktur im wesentlichen vorhanden, für gasförmigen Wasserstoff müßte sie in jahrzehntelanger Arbeit erst aufgebaut werden. Die AGAFE stellte seit 1995 Anträge bei Landes- und Bundesbehörden, um Forschungsmittel zur praktischen Erprobung dieses Vorschlags der künstlichen Photosynthese (Methanolerzeugung aus regenerativen Energien und Kohlendioxid) zu erhalten.

Die Projektanträge wurden zusammen mit der DECHEMA, vH-S, Griesser, IPA, Universität Dresden gestellt, bisher ohne Erfolg. Die Vorhaben waren den Förderinstitutionen zu teuer (zwischen 2 und 4,5 Millionen DM) oder den verantwortlichen Beamten schien die Zeit für die neue Energietechnik noch nicht reif (in ca. 50-100 Jahren soll es soweit sein). Nach Ansicht vieler Wissenschaftler hätte man die Energiewirtschaft auf der Basis von Erdöl und Erdgas schon längst substituieren müssen, um die drohenden Verteilungskriege um die fossilen Energieträger zu vermeiden.

Nach dem Auslaufen des Solar-Wasserstoffprojekts im Jahr 1995 begann die Planung für ein großes gemeinsames Vorhaben mit dem Solarinstitut in Tripoli (Libyen).
In der Nähe der tunesisch-libyschen Grenze sollte am Meer ein großes Forschungsinstitut errichtet werden, in dem mit Hilfe von Sonnenenergie und Windenergie Wasserstoff erzeugt werden sollte, der dann in geeigneten zu entwickelnden Geräten zur Anwendung kam. Die AGAFE sollte ihre technisch-wissenschaftlichen Erfahrungen in dieses Projekt einbringen. Es kam nicht zur Ausführung aus finanziellen und politischen Gründen.
Wie weiter oben schon erwähnt, ergab sich aus den beiden großen Rüsselsheimer Wasserstoffprojekten unter anderem, daß der Preis des regenerativ erzeugten Wasserstoffs zu hoch war, um dieses Gas in der Energietechnik sinnvoll einsetzen zu können /6/. Deswegen beantragte die AGAFE bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt ein Projekt, bei dem der bei der Wasserelektrolyse erzeugte Sauerstoff Verwendung finden sollte.
Durch die Nutzung des Sauerstoffs konnte der Wasserstoffpreis gesenkt werden. In dem Projekt „Neuartige Sauerstoffversorgung für dezentrale Kläranlage im Weinbaubetrieb" diente der elektrolytisch erzeugte Sauerstoff zum Abbau organischer Substanzen in hoch belasteten Abwässern, wie sie vor allen Dingen in Weinbau- oder Fruchtsaftbetrieben durch die Reinigung von Flaschen, Fässern, Keltern, Behältern usf. auftreten oder bei der Herstellung von Olivenöl.
Die Firma Griesser stellte die Projektleitung, die AGAFE übernahm die technische und wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens. Zwischen 1996 und 1998 liefen die Messungen im Weinbaubetrieb"Goldenes Rheinhessen" in Bornheim bei Alzey. Die Fördermittel betrugen 200.000 DM. Die Firmen Griesser, vH-S, Aquaplan und die Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt in Neustadt an der Weinstraße waren mit Arbeitspaketen beteiligt, ebenso der Fachbereich Wirtschaft der FHW. Die Sauerstoffversorgung des Systems lief störungsfrei, ein biologischer Abbau der Schmutzfracht fand aber nur zeitweise statt, da die beteiligten Mikroorganismen sehr empfindlich auf starke Belastungsänderungen und chemische Verunreinigungen reagieren.
Es fand aber ein starker chemischer Abbau statt, wenn bei Gegenwart von geeigneten Enzymen Sauerstoff in höherer Konzentration (mehr als 4 mg/l O_2 im Wasser) dem verschmutzten Abwasser zugesetzt wurde /7/.
Als Ergebnis des Projekts wurde ein neues zweistufiges Verfahren zur Behandlung hochbelasteter Abwässer vorgeschlagen: in der ersten Stufe wird das mit organischen Substanzen belastete Abwasser durch chemischen Abbau gereinigt durch Zusatz von Sauerstoff und geeigneten Enzymen. Die Restreinigung erfolgt - falls erforderlich - durch biologischen Abbau über Mikroorganismen. Bei der niedrigen Belastung in der zweiten Stufe werden die bei der Biologie üblichen Schwierigkeiten nicht mehr auftreten.
Dieses Projekt und weitere Vorhaben mit ausländischen Partnern wurden ohne direkte Beteiligung der FHW von der AGAFE abgewickelt, da die Fachhochschule keine Infrastruktur für die Durchführung komplexer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit externen Partnern aufgebaut hatte. Vor allen Dingen auf dem Gebiet der Wasserstofftechnik wurden Kooperationen mit Firmen und Institutionen in Spanien, Portugal, Kuba, Russland in die Wege geleitet und entsprechende Förderanträge, z.B. bei der EU oder nationalen Ministerien gestellt, die vermutlich im Jahre 2000 anlaufen werden.
Ab 1994 beteiligte sich die AGAFE an verschiedenen AIF-Projekten. Bei den Projekten „Forschungspersonal-Austausch" zwischen einem

mittelständischen Unternehmen und einer Forschungseinrichtung förderte die AIF sechs Monate lang einen wissenschaftlichen oder technischen Mitarbeiter mit einem Betrag von 3.000 DM/pro Monat. Der Arbeitgeberanteil am Lohn wurde von der Firma gezahlt. Es wurden Projekte mit einer Reihe von Firmen abgewickelt. Die Mitarbeiter dieser Projekte waren meistens Absolventen, die ihr Studium abgeschlossen hatten und ihre Diplomarbeit in der Firma oder bei der AGAFE weiterführten. Dies führte dazu, daß immer mehr Absolventen mit Zeitverträgen bei der AGAFE angestellt wurden, auch außerhalb der AIF-Projekte.

Die Infrastruktur für die Personal- und Finanzbuchhaltung war im Laufe der Zeit aufgebaut worden, seit Frau Schmidt die administrative Abwicklung der Projekte übernommen hatte und den Mittelzufluß und –abfluß kontrollierte. Den auf Zeit angestellten Diplomingenieuren wurden normale Ingenieurgehälter zwischen 4.000 und 6.000 DM pro Monat gezahlt entsprechend den Projektmitteln, welche die Firmen zur Verfügung stellten.

Nach Abschluß des Projekts wurden die Absolventen normalerweise von den Firmen eingestellt.

Die meisten Arbeiten dieser Art wurden auf dem Gebiet der Software-Entwicklung durchgeführt. Die Absolventen arbeiteten üblicherweise zu Hause an ihrem Rechner.

Wegen der relativ hohen Gehälter stiegen die Umsatzzahlen der AGAFE beträchtlich (s. Abb.).

Bild 1 Zahl der Diplom- und Entwicklungsarbeiten

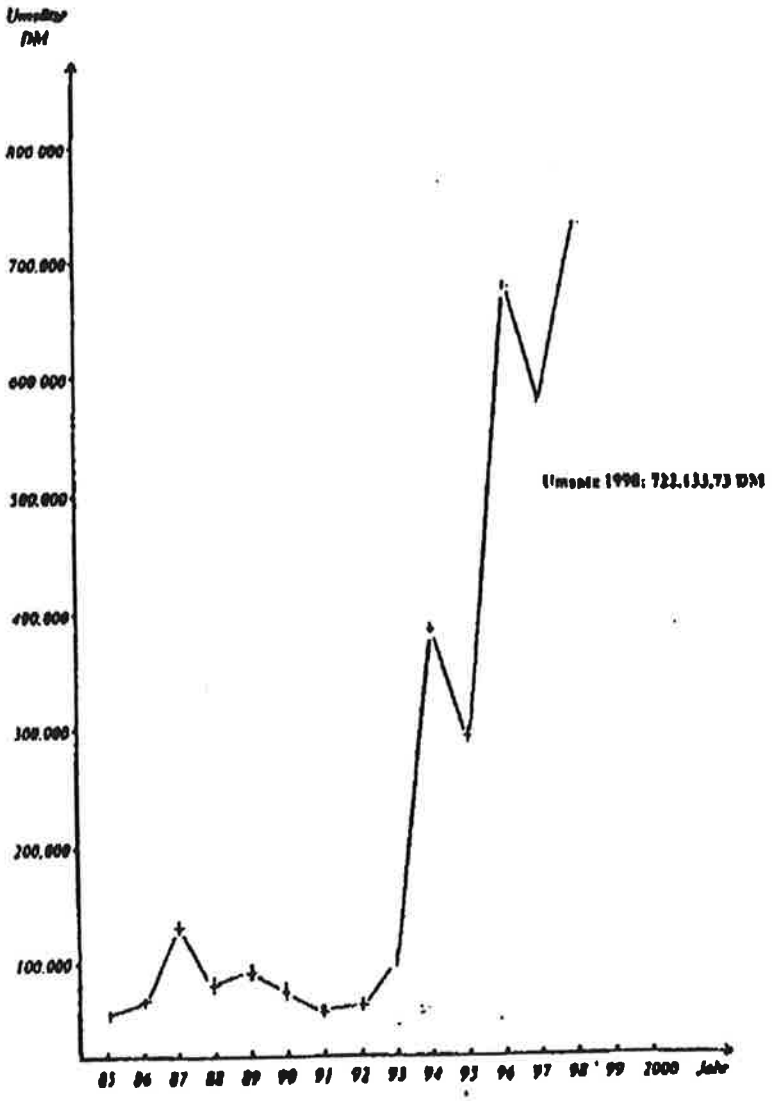


Bild 2 Umsätze der AGAFE 1998

Außerdem wurden F u. E - Kooperationsvorhaben durchgeführt. Entwicklungsprojekte werden in Zukunft noch stärker international geprägt sein als bisher. Das verlangt in allen Stadien des Vorhabens eine unbürokratische und flexible Abwicklung, wie sie seit 20 Jahren bei der AGAFE üblich ist.

Die AGAFE ist seit Jahren über ihr Vorstandsmitglied Prof.Dr. Lertes daran beteiligt, den Studienschwerpunkt Luftverkehrswesen an der FHW einzuführen. Ein an sich selbstverständliches Vorhaben, denn der größte Arbeitgeber Hessens, der Frankfurter Flughafen, befindet sich in unmittelbarer Nähe. In dem neuen Studiengang sollen die administrativen/organisatorischen, die technischen und die betriebswirtschaftlichen Merkmale des Systems Luftverkehr behandelt werden.

Die AGAFE ist Mitglied des FHP (Forschungs- und Arbeitszentrum Hochschulausbildung von Piloten), das FHP Mitglied der AGAFE.

In den letzten Jahren hat die AGAFE wiederholt die organisatorische Abwicklung von Veranstaltungen einzelner Fachbereiche übernommen oder die Verwaltung von Spenden. Eine große Aufgabe wird es in Zukunft sein, Seminarveranstaltungen durchzuführen und Forschungsergebnisse zu veröffentlichen.

Die politischen Probleme, die bei Technologietransfer auftreten, werden seit vielen Jahren von der ATW bearbeitet. Die Hauptziele der ATW sind, die Verordnungen zur Nebentätigkeit von Professoren und zu den Nutzungsentgelten transparenter und praktikabler zu machen, um die Zusammenarbeit mit der Industrie aus dem Geruch des Kriminellen herauszuholen. Die Anregungen der ATW scheinen gefruchtet zu haben, wie neueste politische Entwicklungen im Bereich des Technologietransfers zwischen Hochschule und Industrie anzudeuten scheinen (Transfernetzwerk Hessen).

Selbst ein Herzenswunsch der ATW scheint in Erfüllung zu gehen, nämlich die Einrichtung einer Zentrale für die Technologietransfereinrichtungen in Hessen, die ähnlich funktioniert wie die Steinbeis-Stiftung in Baden-Württemberg, wobei die dezentralen Transferstellen selbständig bestehen bleiben. Die Kooperationsvereinbarung für das Innovationsnetzwerk Hessen deutet in diese Richtung. Im nachfolgenden Artikel ist diese Vereinbarung abgedruckt.

5. Literatur

/1/ Hessischer Landtag, Drucksache 9/5791 vom 17.12.81.

/2/ F.K. Azzola. Wie realisiert man Praxisbezug. Die Neue Hochschule 1981, Heft 4, S. 14

/3/ Der Arbeitgeber Nr. 20/33-1981 FHW Wiesbaden – Gestörte Industriekontakte

/4/ Steuerzahlerbund. Fachhochschule und Professoren in Konkurrenz? Wiesbadener Tageblatt 27.2.1982

/5/ S.Schulien, G.Sandstede, H.W.Hahn: Kohlendioxid und Wasserstoff als Rohstoff für eine umweltfreundliche Energietechnik, Windkraft-Journal 1/96 (1996) S. 16

/6/ S. Schulien, M.Fender, D.Dahlinger: Wasserstoff als alternativer Energieträger. Wasserstofftechnik 6/93 S.1-44

/7/ A. Boeckle, N.Späth, S. Schulien. Dezentrale Kläranlage mit optimierter Sauerstoffversorgung. AGAFE-Mitteilungen 1/99, März 1999

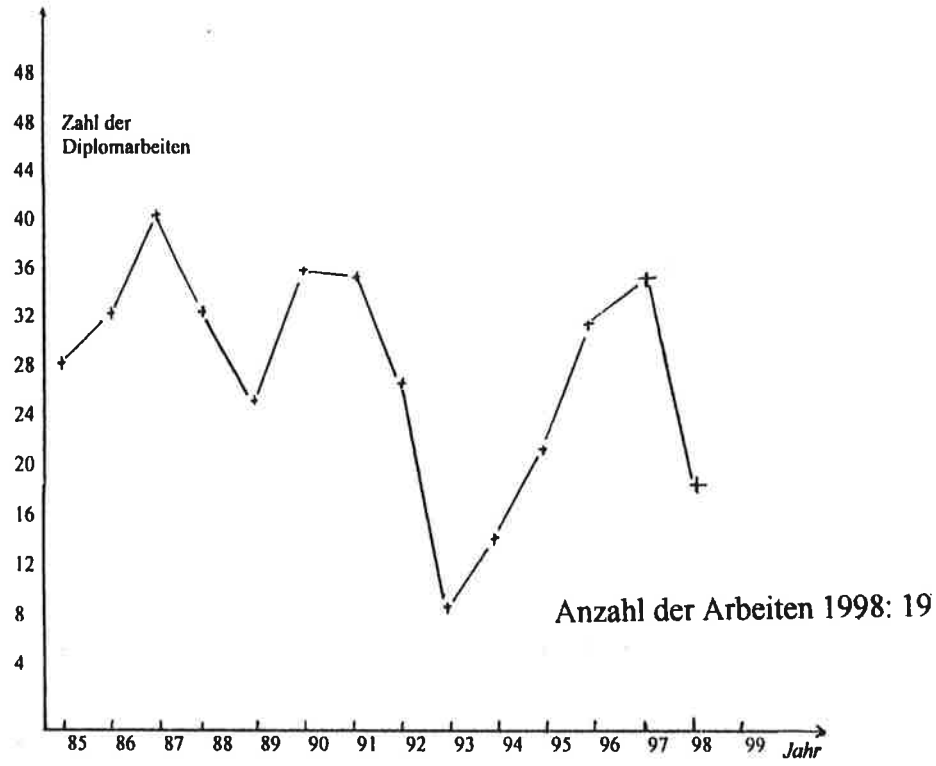


Bild 1 Zahl der Diplom- und Entwicklungsarbeiten

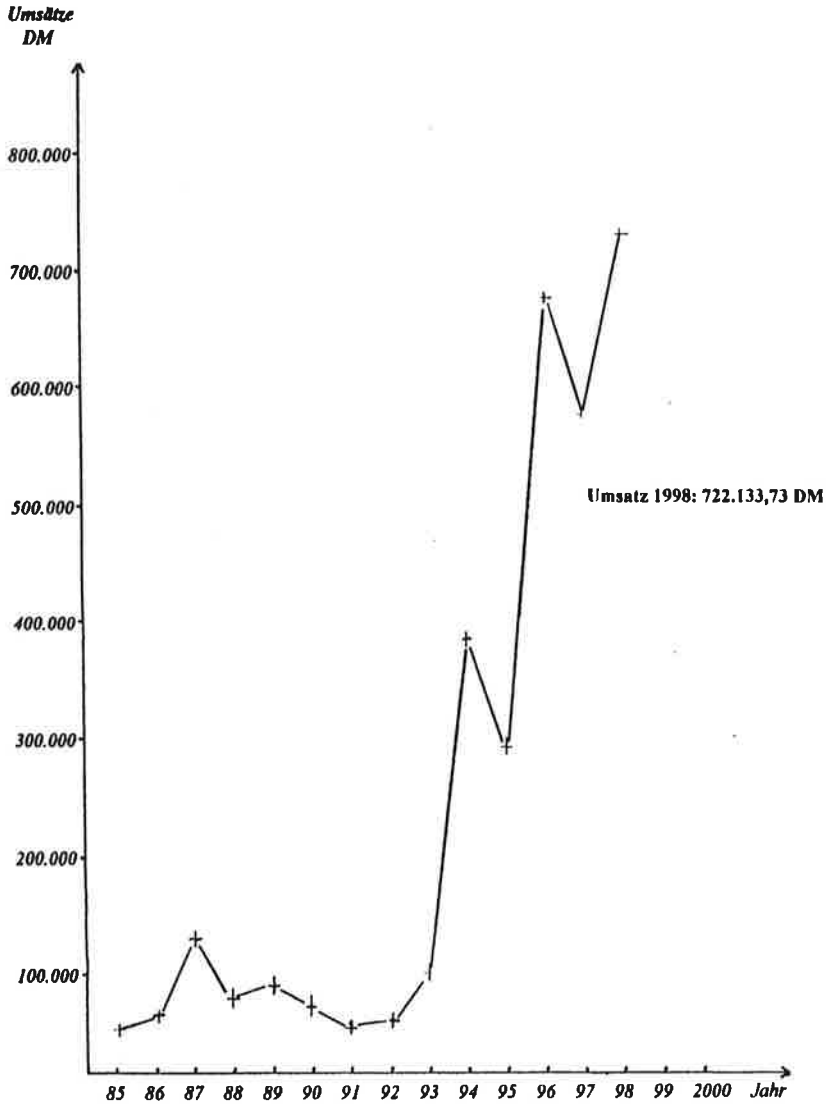
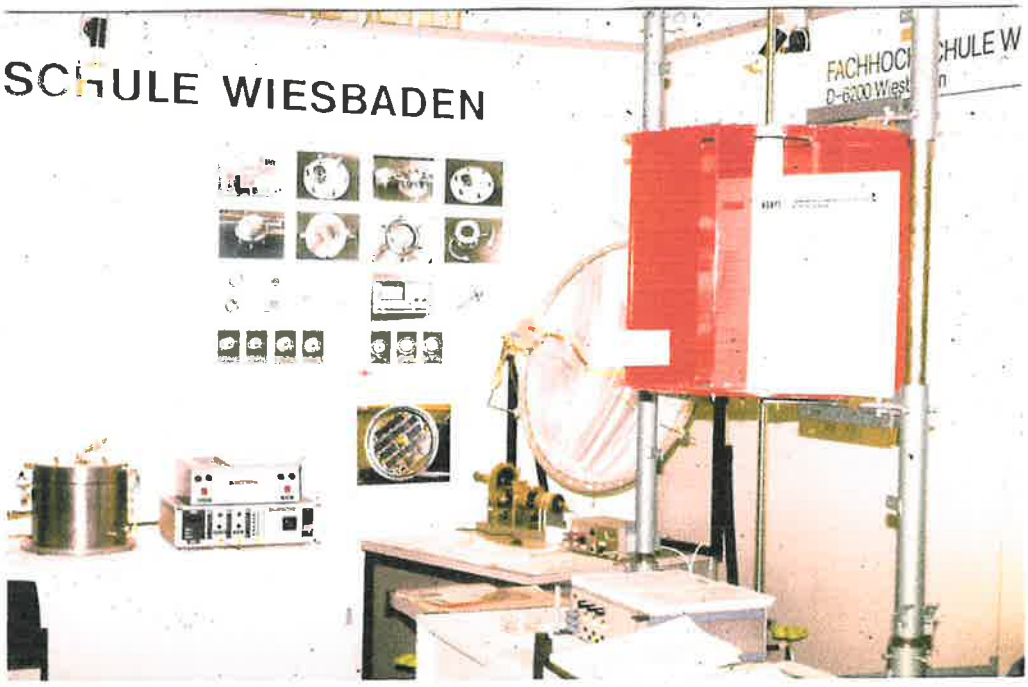
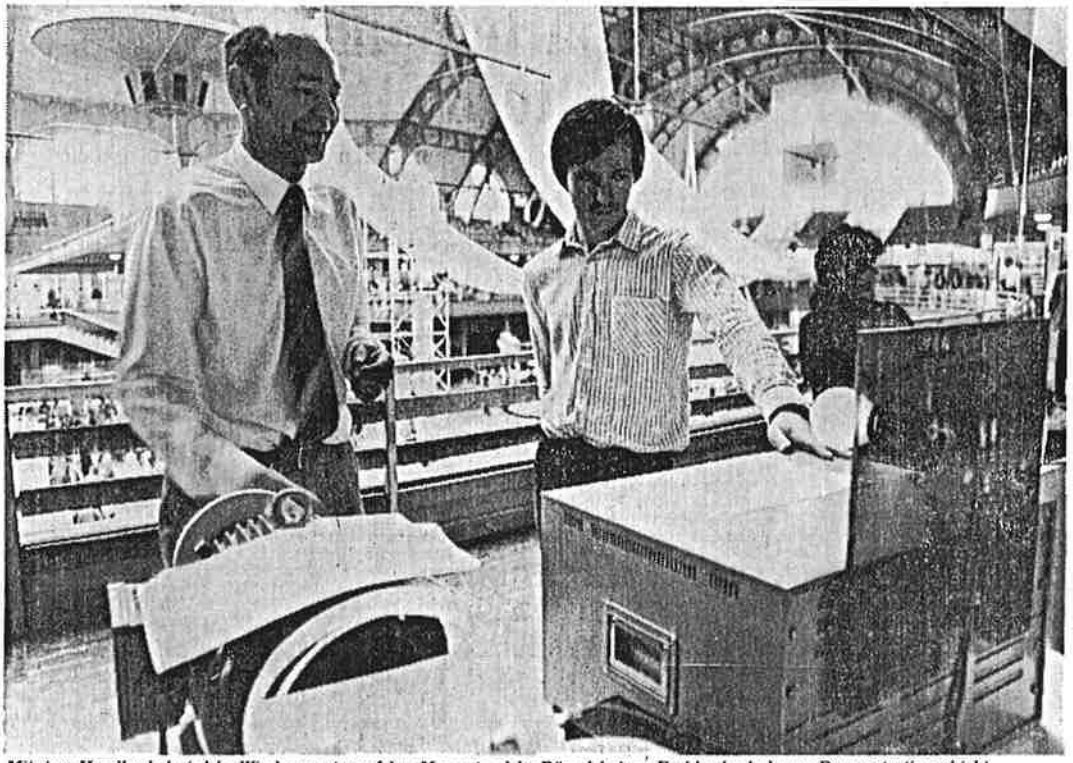


Bild 2 Umsätze der AGAFE 1998

ACHEMA 82
Frankfurt





Mit einer Handkurbel wird der Windgenerator auf dem Messestand der Rüsselsheimer Fachhochschule zum Demonstrationsobjekt.

Ob mit Windrad oder Quecksilberleuchte: Die Rüsselsheimer Fachhochschule ist dabei

Studenten und Lehrer aus der Opel-Stadt stellten auf der ACHEMA 85 in Frankfurt aus

Von unserem Redaktionsmitglied
HARTMUT REITZ

Nicht für die Schule, sondern für das Leben lernen wir. Wer kennt ihn nicht, den Spruch, den man immer dann zu hören bekam, wenn man der Anstalt überdrüssig geworden war. Die Studenten der Rüsselsheimer Fachhochschule arbeiten jedenfalls sehr realitätsnah und haben darüber hinaus noch die Möglichkeit, mit ihrer Abschlußarbeit zum Diplom ein längerfristiges Projekt mittragen zu helfen.

Das Fachliche wird noch großgeschrieben und soll wohl auch das Studium von dem unterscheiden, was an herkömmlichen Hochschulen angeboten wird. Der Kontakt zur Industrie, wo die Studenten später ihre Brötchen verdienen werden, ist in diesem Zweig besonders wichtig.

Diesem Grundsatz hat sich die Arbeitsgemeinschaft für angewandte Forschung und Entwicklung (AGAFE) verschrieben, die von Mitgliedern der Fachhochschule Wiesbaden getragen wird, und die Förderung der praxisorientierten Lehre und Ausbildung im Sinne hat. Zu diesem Zweck werden schon seit Jahren in Zusammenarbeit mit größeren und kleineren Industriebetrieben Projekte bearbeitet, bei denen sich die Absolventen der Hochschule mit einer Diplomarbeit beteiligen können. Am Ende einer solchen Forschungs- und Entwicklungsreihe stehen dann neue Geräte und Einrichtungen, die sowohl dem beteiligten Industriebetrieb zugute kommen als auch den Studenten einen Einblick in die Arbeit in der Praxis gewähren.

Die Möglichkeiten, umfangreiche Kontakte mit der Industrie zu knüpfen, nutzten Rüsselsheimer Dozenten und deren Studenten auf der ACHEMA 85, die gestern in Frankfurt zu Ende ging. Auf der Industriemesse hatte der Förderverein „AGAFE" bereits 1982 einen Informationsstand, der sich mittlerweile zu einem Messestand gemausert hat.

Ausgestellt werden die Entwicklungen der Studenten, wie sie unter Beteiligung der verschiedenen Firmen zustande gekommen sind. Darunter befindet sich auch eine Steueranlage für die ideale Ausnutzung elektrischer Energie, die von einem Windradgenerator erzeugt wird.

Besondere Innovationen sind auf dem Gebiet der Elektrotechnik erreicht worden. Hier konnte eine elektronische Regelung für Quecksilber-Dampf-Lampen konstruiert werden, die eine recht genaue Dosierung der Lichtintensität erlaubt. Dabei mußten die Fachleute der Firmen zusammen mit Dozenten und Studenten neue Wege beschreiten und für die unterschiedlichsten Probleme geeignete Lösungen finden. Diese Leuchten werden zur Herstellung von Waschmitteln und anderen chemischen Prozessen verwendet.

Mit der neuen Technologie werden die Stromkosten erheblich reduziert, das Verfahren wird wirtschaftlicher. Aber nicht nur die Chemieindustrie, ein großer Frankfurter Konzern unterstütze da Projekt, bekommt ihren Teil davon ab. Auch für andere Bereiche kann diese Neuerung Verwendung finden. Beispielsweise kann mit den Ultraviolett-Leuchten das Wasser von Schwimmbädern entkeimt werden, was das Chloren des Wassers letztendlich überflüssig macht. Diese Technik findet, so erläuterte Professor Fender von der Rüsselsheimer Fachhochschule, bereits ihre Anwendung.

Einen weiteren Fortschritt konnten die jetzt fertigen Diplom-Ingenieure und ihre Firmenberater verbuchen, als es um sogenannte Frequenzumrichter ging, mit denen eine verlustärmere Drehzahlsteuerung von Drehstrommotoren erreicht werden kann. Besonders bei Maschinen der Druck- und Fertigungsindustrie stößt diese Entwicklung auf viel Interesse.

Somit ist es nicht verwunderlich, daß die Zusammenarbeit zwischen der Hochschule und einer Offenbacher Druckmaschinenfirma floriert. So richtig regulieren konnte man früher nur Gleichstrommotoren, die im Aufbau und Betrieb allerdings ungleich umständlicher und wartungsanfälliger sind als Drehstrommotren. Diese werden mit dem entwickelten Frequenzumrichter genau gesteuert — die Drehzahl kann reguliert werden. Dazu werden je nach erforderlicher Leistung auch neueste Bauelemente der Mikroelektronik eingesetzt, um den Motor mit einer bestimmten Frequenz anzusteuern.

Mit einem weiten Blick in die Zukunft forciert die Fachhochschule in Rüsselsheim, die der in Wiesbaden angeschlossen ist, neue Technik. So beschäftigt sich der Fachbereich „Physikalische Technik" mit der elektrolytischen Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff. Letzteres Element kann in Gasform sehr umweltfreundlich als Energieträger benutzt werden. Etliche Studenten widmeten sich mit ihren Diplomarbeiten einzelnen Teilaspekten dieses großen Bereiches. Immer ist es eine ganze Reihe von Hochschulabsolventen, die an einem Forschungserfolg teilhaben. Eine Diplomarbeit baut dabei auf die vorangegangenen auf. Zum Schluß steht ein großes Projekt, das über Jahre hinweg in den Labors der Fachhochschule die vielen Köpfe der Studenten „rauchen" ließ.

Im Gespräch mit Firmenvertretern auf der ACHEMA 85 in Frankfurt: der Rüsselsheimer Dozent Professor Fender (rechts).

AGAFE Mitteilungen

Informationsblatt der Arbeitsgemeinschaft für angewandte Forschung und Entwicklung von Mitgliedern der Fachhochschule Wiesbaden
zur Förderung des praxisorientierten Studiums

AGAFE, Am Brückweg 26, 65428 Rüsselsheim

1/2003 | 22. Jahrgang | Juni 2003

Inhalt Seite

Schulien, S.;
Wasserstofftechnik und Kohleverflüssigung als Alternative zum Erdöl 1

Lertes, E.
Studiengang Luftfahrt / Aviation an der Fachhochschule Joanneum Graz 3

Fachaufsätze

Lertes, E.
Kollisionsschutz im Luftverkehr 4

Albrecht, E. W.;
Effektive Staffelung von Überstromrelais 7

Völklein, F.; Meier, A.; Bauer, H.-D.
Aufbau einer Apparatur zur feldunterstützten Diffusion für die Entwicklung von Silizium-Glas-Koppelstrukturen 14

Schnöll, M.; Hedtke, R.;
MPEG - Transcodierung 19

Wasserstofftechnik und Kohleverflüssigung als Alternativen zum Erdöl

Sigurd Schulien, Wiesbaden

Der Artikel „Wasserstofftechnik und Hochtemperaturreaktor" in den AGAFE - Mitteilungen 2/2002 hat auf den inneren Zusammenhang zwischen Kohleverflüssigung und Wasserstofftechnik hingewiesen. Die Kohleverflüssigung (Kohlehydrierung) kann als Teilgebiet der Wasserstofftechnik angesehen werden. Die in den zwanziger und dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts forcierte Kohleverflüssigung sollte die drohende Abhängigkeit Deutschlands von ausländischen Energielieferungen mit den dazugehörigen Zinszahlungen verhindern. Das Energieproblem war schon damals nicht mehr nur ein technisches Problem, sondern hauptsächlich ein politisches. Die Energieressourcen der Welt werden seit über hundert Jahren zielstrebig dazu verwendet, eine Vormachtstellung auf der Erde einzunehmen. Das amerikanische Finanzkapital hat es so eingerichtet, dass Erdölrechnungen in Dollar bezahlt werden müssen, die man sich bei den großen Banken (z.B. in New York) besorgen muss, welche von den Zinsen ganz gut leben. Werden Erdölrechnungen nicht in Dollar fakturiert, sind Kriege nicht ausgeschlossen. Denn, wenn das Schule macht, ist der Dollar am Ende.

Man sieht: das Überleben des heutigen Geldsystems hängt direkt zusammen mit der Beherrschung der Erdöl- und Erdgasressourcen. Mit diesem Geldsystem (Geld ist die Grundlage der Wirtschaft, im Gegensatz zu: Arbeit ist die Grundlage der Wirtschaft) steuert die Welt in eine unvorstellbar Katastrophe in nicht ferner Zukunft.

Welche Möglichkeiten gibt es, diese Katastrophe zu vermeiden?

Es geht z.B. über die Energietechnik. Erdöl und Erdgas müssen entpolitisiert werden, sie dürfen nicht mehr zur Energiegewinnung verwendet werden. Diese Rohstoffe sind viel zu wertvoll, um sie in Motoren und Heizungen zu verbrennen. Es können daraus Kunststoffe, Medikamente, Lebensmittel hergestellt werden.

Welche realistischen Alternativen zum Erdöl als Energieträger gibt es ?

1. Kernenergie
2. Kernfusion
3. Regenerative Energien
4. Verfahren der Kohleverflüssigung

Zu 1: Die Kernenergie ist aus ideologischen Gründen z. Z. in der BRD nicht durchsetzbar. Eine gewaltige Verdummungs- und Vernebelungscampagne hat in den letzten Jahrzehnten eine unglaubliche Gehirnwäsche bei den meisten Bürgern bewirkt. Sicher sollte man die Gefahren der Radioaktivität nicht unterschätzen. Aber man sollte auch wissen, dass die Erde von jeher ein riesiges Inventar von Radioaktivität enthält, dass die Menschen einem ununterbrochenen Beschuss hochenergetischer Strahlung aus dem Weltraum ausgesetzt sind. Nicht zu unterschätzen ist die Röntgenstrahlung aus Farbfernseher und Heim - Computer.

Man sollte allerdings auch wissen: im Laufe der Evolution hat die Natur Wege gefunden, Zellschäden im menschlichen Organismus, die durch natürliche Radioaktivität oder Höhenstrahlung entstanden sind, zu beheben, vorausgesetzt, die Strahlung ist nicht zu intensiv und nicht kontinuierlich. Die Entwicklung moderner leistungsfähiger Kernreaktoren ist in der BRD vor 20 Jahren abgebrochen worden im Widerspruch zu jeder technischen Vernunft. Die Kernenergie hat in dieser Republik auf absehbare Zeit keine Chance.

Zu 2: Die Probleme der Kernfusion sind technisch nicht gelöst. Im übrigen sind hier die Probleme mit der Radioaktivität nicht geringer als bei den Kernreaktoren.

Zu 3: Es bleiben auf lange Sicht gesehen nur die regenerativen Energien für die Energieversorgung der Erde übrig. Das geeignete Speichermedium für die regenerativen Energien ist der Wasserstoff bzw. richtiger seine Folgeprodukte, z.B. Methanol. Es ist teuer, molekularen gasförmigen Wasserstoff in großen Mengen zu speichern. Deswegen sollte man ihn mit CO oder CO_2 reagieren lassen, um so leicht speicherbares Methanol zu erzeugen.

Allerdings wird man nach dem heutigen Stand der Technik größere Systeme nicht mit regenerativen Energien betreiben können, da sie noch viel zu teuer sind. Kleinere dezentrale Anlagen im Leistungsbereich zwischen 1 kW und einigen MW sind allerdings denkbar. Für Großanlagen muss der Wasserstoff mit Kernreaktoren, Wasser- oder Kohle-Kraftwerken erzeugt werden, durch Kohleverflüssigung oder Biomassevergasung.

Zu 4: Von allen Alternativen für eine neue Energietechnik bleiben nur zwei Möglichkeiten übrig: die Kohleverflüssigung (d.h. Kohlehydrierung, d.h. Wasserstofftechnik) nach der konventionellen in den 20er Jahren entwickelten Methode mit der Deutschland unabhängig vom Erdöl werden wollte. Durch die

Nutzung des Hochtemperaturreaktors lässt sich der Prozess der Kohleverflüssigung noch effektiver betreiben.

Beide Möglichkeiten sind zunächst durch Umweltgesichtspunkte blockiert. Es ist die Aufgabe der Politik, mit starken Partnern diese Blockade zu brechen. Das geht am ehesten mit der konventionellen Kohleverflüssigung. Da die Entscheidungen jetzt getroffen werden müssen und die Zeit drängt, ist der HTR nur die zweite Wahl, da bei ihm noch jahrelange Entwicklungsarbeiten zu leisten sind. Man muss mit der Kohleverflüssigung anfangen, dann Hochtemperaturreaktor, danach regenerative Energien.

Kohleverflüssigung, Hochtemperaturreaktor, Wasserstofftechnik, regenerative Energien sind die Glieder der zukünftigen Energietechnik, die uns gestattet eine vom Ausland unabhängige Energiepolitik zu betreiben.

Schrifttum

[1] Schulien, Sigurd
Wasserstofftechnik und Hochtemperaturreaktor
AGAFE - Mitteilungen 21 (2002), H. 2

[2] Schulien, Sigurd
Die Zukunft der Wasserstofftechnik
AGAFE - Mitteilungen 20 (2001), H. 2

[3] Schulien, Sigurd
Europäisches Wind-Wasserstoff-Projekt
AGAFE - Mitteilungen 21 (2002), H. 1

[4] Albrecht, E.W.; Schulien, S.;
-Call for cooperation-
Carbon dioxide hydrogen projects for the energie produktion
AGAFE - Mitteilungen 20 (2001), H. 1

*)
Prof. Dipl.-Phys. Sigurd Schulien,

Fachbereich Physik. Technik,
Fachhochschule Wiesbaden

Studiengang Luftfahrt / Aviation an der Fachhochschule Joanneum Graz

Erwin Lertes, Rüsselsheim *)

Im Oktober 2001 hat der Studiengang Luftfahrt/Aviation an der FH Joanneum seinen Betrieb aufgenommen.

Auf dem 6. FHP-Symposium im Jahr 2002 [1] wurde über den damaligen Aufbaustand berichtet.

Zwischenzeitlich umfasst der Studiengang zwei Jahrgänge mit 38 bzw. 28 Studierenden. Innerhalb der ersten beiden Jahre waren rund 70 Lehrbeauftragte und Mitarbeiter aus sechs Nationen an der Lehre beteiligt [2].

Der neue Studiengang umfasst in acht Semestern die Ausbildungsrichtungen (Module):

- Pilot / Controller
- Flugzeugtechnik und Flugsicherungs-technik
- Aviation und Managemant

Der Studiengang bietet eine interdisziplinäre Ausbildung mit Schwerpunkten im technischen Bereich, ergänzt durch eine fundierte betriebswirtschaftliche Unterweisung. Darüber hinaus werden die sozialen und kommunikativen Fähigkeiten der Absolventen / Absolventinnen gefördert. Neben den gängigen audiovisuellen Hilfsmitteln werden für die Ausbildung CBT (Computer Based Training) eingesetzt.

Die Verknüpfung der Luftfahrtindustrie, der Luftraumüberwachung und der Verkehrsleittechnik auf den Flugplätzen fördert das Verständnis der Luftfahrt als System [3].

Die Lehrveranstaltungen der drei Ausbildungsrichtungen sind mit 150 SWS in den ersten 5 Semestern identisch.

In den 6. und 7. Semestern laufen die Lehrveranstaltungen der drei Module und die Berufspraktiken getrennt. Der erfolgreiche Studienabschluss verlangt für ein Wahlmodul formalisierte Ausbildungsinhalte während des Berufspraktikums.

Als potentielle Arbeitgeber gelten nach dem Abschluss:
- Luftfahrtunternehmen und luftfahrt-technische Betriebe
- Einrichtungen der Flugsicherung
- Zulassungsstellen für Luftfahrgerät.

Quellen

[1] Fogt, H.:
Vortrag über den Studiengang Luftfahrt / Aviation.
6. FHP-Symposium, Rhumspringe / Eichfeld (10. bis 12. April 2002).

[2] Fogt, H.:
Aktueller Stand des Studiengangs Luftfahrt /Aviation.
7. FHP-Symposium, Rhumspringe / Eichfeld (28. bis 30. April 2003).

[3] Mensen, H.:
Handbuch der Luftfahrt.
Springer Verlag,
Berlin-Heidelberg-New York-Hong Kong-London-Mailand-Paris-Tokio 2003.

*) *Prof. Dr. Erwin Lertes*
Fachbereich
Informationstechnologie
und Elektrotechnik
Fachhochschule Wiesbaden

Kollisionsschutz im Luftverkehr

Erwin Lertes, Rüsselsheim *)

1 Einleitung

Die Verhütung von Kollisionen in der Luftfahrt ist Aufgabe der Flugverkehrskontrolle ATC (Air Traffic Control). Dazu dient ein vorgegebener und kontrollierter Flugweg unter Voraussetzung einer Staffelung der einzelnen Flugzeuge. Bei exakter Einhaltung dieser Bedingungen dürften sich keine Kollisionen ereignen.

Die Kollision über dem Grand Canyon (Colorado/USA) am 30. Juni 1956 lieferte einen unübersehbaren Hinweis, daß trotz sorgfältiger Arbeit der Bodenstellen die Piloten verhängnisvollen Irrtümern unterliegen können. Seit den 50-iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts bestehen internationale Bestrebungen , einen bordseitig wirkenden und vom Boden völlig unabhängigen Kollisionsschutz zu erreichen [1].

Die Systeme des Kollisionsschutzes lassen sich in drei Kategorien einteilen [2]:

- Annäherungswarnsystem PWI (Proximity Warning Indicator)
- Kollisionswarnsystem CWD (Collision Warning Device)
- Kollisionsverhütungssystem CAS (Collision Avoidance System).

Ein PWI signalisiert dem Piloten , daß sich ein anderes Flugzeug in seiner Nähe befindet.

Ein CWD bestimmt die relative Position und damit auch die Bewegungen irgend eines Luftfahrzeuges, das eine potentielle Kollisionsgefahr darstellt.

Ein CAS

- erfaßt alle Luftfahrzeuge, die eine mögliche Kollisionsgefahr darstellen,
- ermittelt Art und Ausmaß einer Bedrohung,
- entscheidet, ob eine Ausweichmanöver erforderlich ist,
- zeigt das erforderliche Ausweichmanöver an.

Die Funktion eines CAS kann erweitert werden, indem die Steuerbefehle für ein Ausweichmanöver auf ein automatisches Steuersystem aufgeschaltet werden.

Bordautonomer Kollisionsschutz beruht meistens auf der Verwendung von PR (Primary Radar) [3,4].

Ein kooperatives Kollisionsschutzsystem beruht auf der Zusammenarbeit mit den benachbarten Luftfahrzeugen.

In der Regel arbeiten diese mit SSR (Secundary Surveillance Radar) [5,6]

Folgende Betriebsarten werden hierbei unterschieden:

Mode A: ermöglicht es, die Entfernung und Identifikation eines Intruders festzustellen;

Mode C: ermöglicht die Übermittlung der Flughöhe eines Intruders;

Mode S: ermöglicht die Übermittlung der Entfernung, der Flughöhe und weiterer Informationen eines Intruders.

2 τ – Kriterien

Die Feststellung einer Kollisionsgefahr beruht auf verschiedenen Kriterien, wie Richtung, Richtungsänderung, Entfernung, Entfernungsänderung (Annäherungsgeschwindigkeit) usw. eines Intruders. Bei den realisierten Kollisionsschutzsystemen werden Entfernung und Entfernungsänderung als τ –Kriterien bevorzugt [7,8].

2.1 Einfaches τ - Kriterium

Befinden sich zwei Luftfahrzeuge mit der Schrägentfernung r auf Kollisionskurs mit der radialen Annäherungsgeschwindigkeit dr/dt , so beträgt:

$$\tau = -\frac{r}{dr/dt} \le \tau_0 \qquad (1)$$

mit τ_0 = Zeit, ab der ein Ausweichkommando RA (Resolution Advisory) angegeben wird.

2.2 Modifiziertes τ – Kriterium

Die Einführung einer Abstandsschwelle D_m verbessert das einfache τ – Kriterium wie folgt:

$$\tau_m = -\frac{(r - D_m)}{dr/dt} \le \tau_0 \,. \qquad (2)$$

2.3 Bramson – Kriterium

Eine weitere Verbesserung stellt das Bramson-Kriterium dar:

$$\tau_b = -\frac{r - \frac{D_m^2}{r}}{dr/dt} \leq \tau_o \qquad (3)$$

mit

τ_o = wahre Zeit bis zum Punkt der geringsten Entfernung CPA (Closest Point of Approach).

2.4 Zusammenhänge zwischen den τ – Kriterien

Aus den Gleichungen (1) und (2) folgt:

$$\tau_m = \tau + \frac{D_m}{dr/dt} \qquad (4)$$

mit $\frac{D_m}{dr/dt} < 0$.

Weiterhin folgt aus den Gleichungen (1) und (3) die Beziehung:

$$\tau_b = \tau + \frac{D_m^2}{r \cdot dr/dt} \qquad (5)$$

mit $\frac{D_m^2}{r \cdot dr/dt} < 0$.

Gemäß der Gleichung (4) und (5) gilt:

$$D_m = \left(\frac{\tau_b - \tau}{\tau_m - \tau}\right) \cdot r \ . \qquad (6)$$

3 TCAS

TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) ist ein im Auftrag der FAA (Federal Aviation Administration) entwickeltes kooperatives Kollisionsverhütungssystem. Die operativen Anforderungen sind für 4 Stufen definiert [7, 9].

3.1 TCAS I

TCAS I liefert dem Flugzeugführer auf dem Display im Cockpit einen Hinweis auf einen möglichen Konflikt. Die Peilung und Entfernung (Schrägentfernung) werden dargestellt. Verfügt der Intruder über einen Mode C - oder Mode S - Transponder, so wird auch dessen Flughöhe ermittelt.

3.2 TCAS II

TCAS II [10] ist eine Weiterführung von TCAS I. Hierbei wird der S – Transponder mit allen seinen Möglichkeiten voll und ganz in das System integriert. Die Verkehrsanzeigen TA (Traffic Advisories) und die vertikalen Ausweichkommandos RA (Resolution Advisories) mit Sprachwarnungen erscheinen auf dem Radarbildschirm oder dem ND (Navigations Display) des FMS (Flight Management System). Die Kommandosymbole können hierbei in das Variometer VSI (Vertical Speed Indicator) eingeblendet werden.

3.3 TCAS III

TCAS III sollte u.a. in der Lage sein, vertikale und horizontale Ausweichmanöver zu berechnen. Nach dem Gerätekonzept ist TCAS III nicht kompatibel mit TCAS II . Es wird deshalb z.Z. die Version TCAS IV entwickelt.

3.4 TCAS IV

TCAS IV soll ebenfalls in der Lage sein, vertikale und horizontale Ausweichmanöver zu berechnen und zusätzliche Daten aus dem Bordcomputer der umgebenden Flugzeuge per Funk anzufordern. Darauf basierend lassen sich Ausweichmanöver noch besser koordinieren als mit einem TCAS III möglich wäre.

4 Ausblick

Eine Reihe von Beinahekollisionen veranlaßte 1991 den Kongress der USA zur stufenweisen Einführung von TCAS II als Pflichtausrüstung. Beginnend mit dem 01.01.1994 waren davon alle Passagierflugzeuge mit mehr als 30 Sitzen im Luftraum der USA betroffen.

Weltweit nimmt die Präsenz von Flugzeugen mit TCAS II zu. Eine Erhebung zu TCAS II [11] im Jahre 1996 zeigte u.a. den Wunsch der Piloten, von der Möglichkeit einer horizontalen Ausweichrichtung Gebrauch machen zu können. Die TCAS II – Umfrage zeigte weiterhin, daß der Pilot (Nutzer) die Grenzen seines Systems kennen sollte [12].

Konzeption und Realisierung eines neuartigen Verfahrens zur Kollisionsverhütung und neue Ansätze zu Verkehrsdarstellung im Cockpit wurden erarbeitet [13]. Die Entscheidungslogik zur Erkennung von gefährlichen Situationen und ein Algorithmus zur Bestimmung von Ausweichmanövern unter Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Schnittstelle [14] standen hierbei im Vordergrund.

5 Schrifttum

[1] Stanner, W. in Kramer, E.:
Funksysteme der Ortung und Navigation.
Verlag Berliner Union GmbH und
Verlag W. Kohlhammer GmbH,
Stuttgart-Berlin-Köln-Mainz 1973,
S. 362-375.

[2] Mansfeld, W.:
Funkortung- und Funknavigationsanlagen.
Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1994,
S. 345-351.

[3] Grabau, R.:
Technische Aufklärung.
Franckh-Kosmos, Stuttgart 1989, S. 90-154.

[4] Lertes, E.:
Funkortung und Funknavigation.
Vieweg Verlag, Braunschweig-Wiesbaden
1995, S. 60-83.

[5] Wurster, R. und Hesse F.:
Funknavigation
(2. Auflage). Hitzeroth Verlag, Marburg
1989, S. 88-99.

[6] Mensen,H.:
Moderne Flugsicherung (2. Auflage).
Springer Verlag,
Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-
Tokyo-Hong Kong-Budapest 1993,
S. 279-285.

[7] Working Material
Radio Navigation Instruments and Radar
Systems.
Lufthansa, Verkehrsfliegerschule Bremen.

[8] Kügler, D.:
Die Konflikterkennung beim Bordkollisionsschutzsystem ACAS II.
Z. für Flugwissenschaften und
Weltraumforschung, Bd. 17 (1993), S. 270 ff.

[9] Krüger, G.:
Radar-Grundlagen (6. Auflage).
Lufthansa, Verkehrsfliegerschule Bremen
1991, Anhang.

[10] TCAS II – Operator's Manual ACS-5059
(Mar / 93). Allied Signal Aerospace.

[11] von Viebahn, H.:
Kozeption und Untersuchung eines
bordautonomen Systems zur Vermeidung
von Kollisionen im Luftverkehr.
Dissertation, Fachbereich Maschinenbau
Technischen Hochschule Darmstadt,
Darmstadt 1997, D 17, S. 35-46.

[12] von Viebahn, H.:
Erkenntnisse aus einer Umfrage nach
Einführung von TCAS bei deutschen
Luftgesellschaften. 5. FHP-Symposium
März 2001.

[13] In [11] , S. 47-120.

[14] Dinges, W. und Faber, G.:
System-Mensch - Flugzeug.
Air Report Verlag Peter Bachmannn 1982.

*) *Prof. Dr. Erwin Lertes*
Fachbereich
Informationstechnologie
und Elektrotechnik
Fachhochschule Wiesbaden

Effektive Staffelung von Überstromzeitrelais *)

Erich W. Albrecht, Wiesbaden **)

1 Einleitung

Die Wahl des Leitungsschutzes wird durch die Betriebsweise des Netzes bestimmt. Der Leitungsschutz im Strahlennetz ist in der Regel der Überstromzeitschutz. Für Ringnetze kommt meistens ein Überstromrichtungszeitschutz zur Anwendung. Vorteile dieses Schutzprinzips sind die geringen Kosten und die einfache Handhabbarkeit, d.h., die einfache Staffelung. Für die Einstellung der Überstromanregung muss die Bedingung (1) ([1], [2], [3]) erfüllt sein.

$$\frac{I_{B\max}}{f_r} < I_{an} < \frac{I_{k\min}}{f_A} \qquad (1)$$

$I_{B\max}$ - maximaler Betriebsstrom

I_{an} - Anregewert der Stromanregung

$I_{k\min}$ - minimaler Kurzschlussstrom

$f_r = \frac{I_{rü}}{I_{an}}$ - Rückgangsverhältnis

$f_A = \frac{I_{k\min}}{I_{an}}$ - Anregesicherheit

In Bild 1 ist der Staffelplan für ein Strahlennetz mit Überstromschutzeinrichtungen dargestellt.

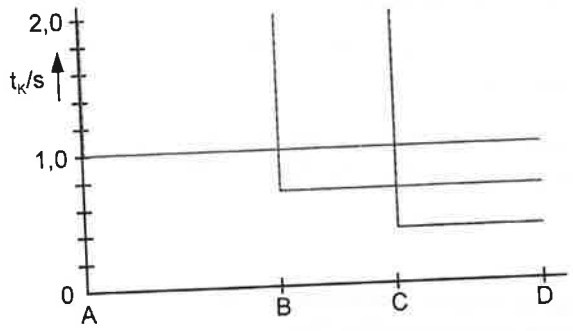


Bild 1 *Staffelplan - unabhängiger Überstromzeitschutz*

Nachteil dieser Staffelung:

Große Abschaltzeiten bei hohen Kurzschlussströmen!

Folge:

- hohe Schadensfolgekosten
- hohe Investitionskosten durch Berücksichtigung der größeren thermischen Beanspruchung der Betriebsmittel

Ziel ist es daher, die Auslösezeiten in Richtung Einspeisung zu senken. Hierzu sind die folgenden Möglichkeiten bekannt:

- Einsatz von abhängigen Überstromzeitschutzeinrichtungen,
- Nutzung der Hochstromstufen bei unabhängigen und abhängigen Überstromzeitschutzeinrichtungen.

Diese beiden Möglichkeiten werden näher betrachtet und mit Hilfe von Excel eine effektive Methode zur Erstellung der Schutzeinstellungen an einem Beispiel angegeben.

2 Abhängiger Überstromzeitschutz

Aus der Vielzahl der abhängigen Kennlinien soll die Methode der Staffelung an Hand der vier wichtigsten Kennlinien erläutert werden. Nach IEC 255-3 sind die Auslösekennlinien durch die Kennliniengleichung (2) definiert.

$$t_K = TMS \cdot \frac{A}{\left(\frac{I}{I_{an}}\right)^B - 1} \qquad (2)$$

Die Kennlinienparameter sind wie folgt festgelegt:

TMS = (0,01 ...10,00) s (Time multiplier setting)

Kennlinie	A	B
Normally inverse	0,14	0,02
Very inverse	13,5	1
Extremely inverse	80	2
Long time inverse	120	1

Mit den angegebenen Kennlinienparametern ergeben sich die im Bild 2 dargestellten Arbeitskennlinien.

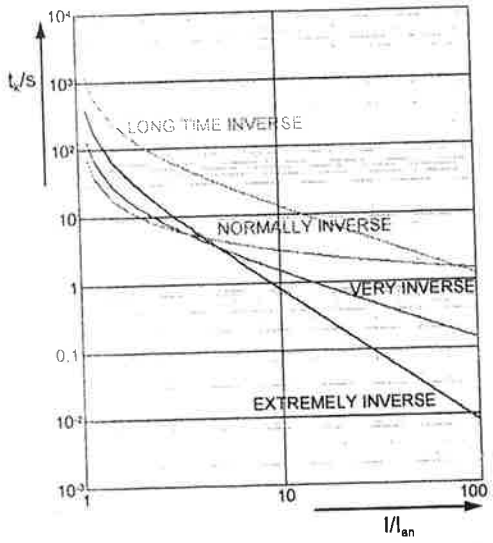


Bild 2 *Stromabhängige Auslösekennlinien (TMS = 1s)*

Für den Staffelplan ist die entfernungsabhängige Darstellung übersichtlicher. Durch Einsetzen der Kurzschlussstromverteilung $I_k(\alpha)$ (3) über der Leitung

$$I_{k\,max} = I''_{k(3)}(\alpha) = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \alpha \cdot \underline{Z}_L|} \qquad (3)$$

in die Kennliniengleichung (2) erhält man die Darstellung für den Staffelplan (4).

$$t_K = TMS \cdot \frac{A}{\left(\frac{1}{I_{an}} \cdot \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \alpha \cdot \underline{Z}_L|} \right)^B - 1} \qquad (4)$$

Bild 3 zeigt den Verlauf der Staffelkennlinien für die stromabhängigen Auslösekennlinien.

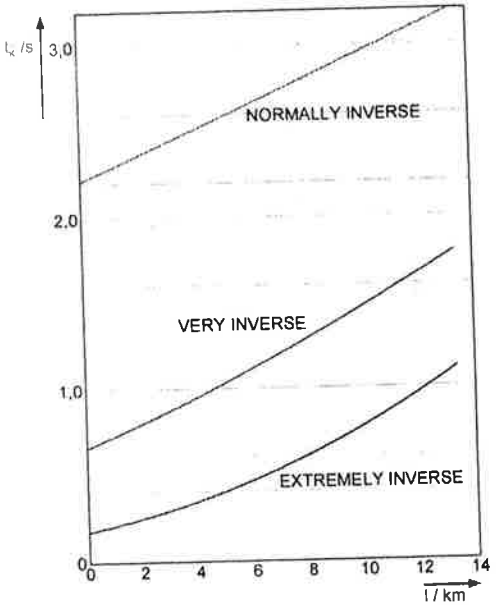


Bild 3 *Staffelplandarstellung der stromabhängigen Auslösekennlinien*

Die Auslösezeit steigt nahezu linear entlang der Leitung an. An einem Beispiel soll die Staffelung der Überstromschutzeinrichtung erläutert werden.

3 Staffelung von Überstromschutzeinrichtungen

Die im Bild 4 dargestellte Stichleitung eines Beispielnetzes soll mit Überstromschutzeinrichtungen geschützt werden.

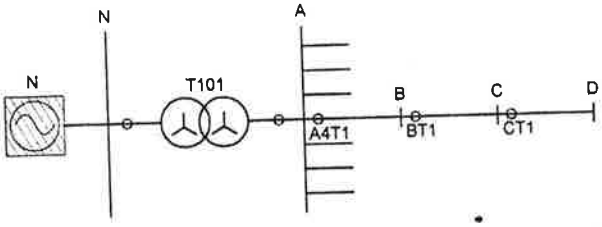


Bild 4 *Beispielnetz*

Beispieldaten:

Netz:

$U_N = 110\,kV$, $S''_k = 3{,}7\,GVA$, $X/R = 2{,}7$

Transformatordaten:

$S_{nT} = 31{,}5\,MVA$, $U_{np} = 115\,kV$, $U_{ns} = 21\,kV$

$u_k = 0{,}12$, $p_k = 0{,}0067$

Leitungsdaten:

$\underline{Z}'_L = 0{,}15\,\Omega/km \angle 40°$

$l_{AB} = 5{,}749\,km$, $l_{BC} = 3{,}334\,km$, $l_{CD} = 4{,}267\,km$

Stromwandlerübersetzungen im Leitungszug:

$KI_{A4T1} = 750A/1A$, $KI_{BT1} = 400A/1A$,
$KI_{CT1} = 300A/1A$

In den Stationen ist die Auslösezeit t_K = 100 ms zu überstaffeln (HH - Sicherung). Die Staffelzeit beträgt Δt = 300 ms.

3.1 Staffelung des unabhängigen Überstromzeitschutzes

Beim Überschreiten des eingestellten Überstromanregewertes wird über die Zeitverzögerung der Schutzeinrichtungen erreicht, dass bei hintereinander liegenden Schutzabschnitten nur der Schutz auslöst, der dem Fehler am nächsten liegt.
Als Einstellwert (primär) für die Überstromanregung I> wird

$$I_p >= 1{,}6 \cdot I_{Wdlp} \qquad (5)$$

gewählt.

Mit dem minimalem Kurzschlussstrom, zweipoliger Kurzschluss in Station D,

$$I_{k\,min} = \frac{c_{min} \cdot U_N}{2 \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CD}|} \qquad (6)$$

kontrolliert man die Anregesicherheit

$$f_A = \frac{I_{k\,min}}{I_p >} \qquad (7)$$

der I> - Anregung.

Der Einstellwert I> ergibt sich mit Gleichung (8).

$$\frac{I >}{I_n} = \frac{I_p >}{KI \cdot I_n} \qquad (8)$$

Aus den Beispieldaten kann sofort die UMZ - Einstellung ermittelt werden (Tabelle 1).

Tabelle 1 *Staffelung UMZ*

Station	I>	$t_{I>}$	f_A
A	1,6 I_n	1,0 s	2,26
B	1,6 I_n	0,7 s	4,24
C	1,6 I_n	0,4 s	5,65

Die Staffelkennlinie ist im Bild 1 dargestellt. Diese Kennlinie zeigt die eingangs erwähnten Nachteile, große Auslösezeit bei hohen Kurzschlussströmen.

3.2 Staffelung des abhängigen Überstromzeitschutzes

An Hand einer abhängigen Auslösekennlinie soll gezeigt werden, wie die Auslösezeit gesenkt werden kann.

Als Beispiel soll die AMZ - Kennlinie „Very inverse" dienen. An der gefunden Überstromanregung I> braucht nichts verändert zu werden. Die Staffelung erfolgt vom Ende der Stichleitung in Richtung der Einspeisung.

Für die AMZ - Kennlinie muss der Kennlinienfaktor TMS unter Berücksichtigung der Auslösezeit t_{KDa} in Station D und der Staffelzeit Δt berechnet werden. Dabei wird die kürzeste Auslösezeit zu Grunde gelegt, die beim maximalen Kurzschlussstrom (I_{k3D}) am Ende der jeweiligen Leitung auftritt.

Maximaler Kurzschlussstrom in Station D:

$$I_{k\,max\,D} = I''_{k(3)D} = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CD}|} \qquad (9)$$

Kennlinienfaktor Station C:

$$TMS_C = \frac{t_{KDa} + \Delta t}{A_C} \cdot \left[\left(\frac{1}{K_{IC}} \cdot \left| \frac{I_{k(3)D}}{I >_C \cdot I_{nC}} \right| \right)^{B_C} - 1 \right] \qquad (10)$$

Mit dem Einstellwert des Kennlinienfaktors TMS_{CE} ergibt sich als kürzeste Auslösezeit bei einem Fehler in Station D:

$$t_{KCe} = TMS_{CE} \cdot \frac{A_C}{\left(\frac{1}{K_{IC}} \cdot \left| \frac{I_{k(3)D}}{I >_C \cdot I_{nC}} \right| \right)^{B_C} - 1} \qquad (11)$$

Die Auslösezeit am Anfang der Leitung, also bei einem Fehler in Station C, erhält man mit dem maximalen Kurzschlussstrom in Station C.

$$I_{k\,max\,C} = I''_{k(3)C} = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC}|} \qquad (12)$$

Kürzeste Auslösezeit am Anfang der Leitung CD, also in Station C:

$$t_{KCa} = TMS_{CE} \cdot \frac{A_C}{\left(\frac{1}{K_{IC}} \cdot \left| \frac{I_{k(3)C}}{I >_C \cdot I_{nC}} \right| \right)^{B_C} - 1} \qquad (13)$$

Nach gleicher Weise geht man bei der Staffelung der Relais B und A vor. Man erhält so die AMZ - Einstellung mit den Kommandozeiten am Ende und Anfang der Leitungen (Tabelle 2)

Tabelle 2 *Staffelung AMZ*

Station	I>	TMS	t_{Ke}	t_{Ka}
A	1,6 I_n	0,20 s	0,824 s	0,551 s
B	1,6 I_n	0,27 s	0,627 s	0,519 s
C	1,6 I_n	0,20 s	0,412 s	0,334 s

Bild 4 zeigt das Ergebnis der AMZ - Staffelung. Für den dreipoligen Kurzschluss, maximaler Kurzschlussstrom, konnten auf der unmittelbar zu schützenden Leitung die Auslösezeiten gegenüber der UMZ - Staffelung gesenkt werden. Gerade bei großen Staffelzeiten stellt die AMZ - Staffelung eine gangbare Alternative gegenüber der UMZ - Staffelung dar. Für den zweipoligen Kurzschluss, minimaler Kurzschlussstrom, ist die Verkürzung der Auslösezeiten gegenüber der UMZ - Staffelung nicht mehr gegeben. In den nachfolgenden Schutzabschnitten (Reserveauslösung bei Schutz-

bzw. Schalterversagern) ist die Auslösezeit größer als beim UMZ.

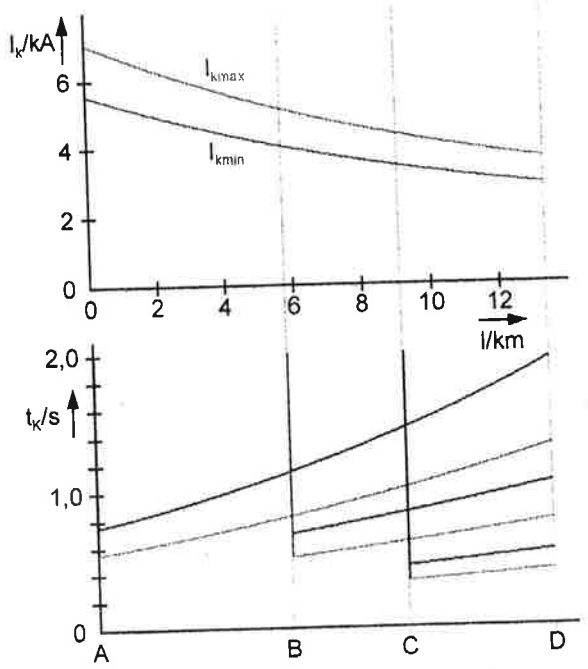


Bild 4 *Staffelplan - abhängiger Überstromzeitschutz*

Eine weitere Möglichkeit zur Senkung der Auslösezeiten ist die Nutzung der Hochstromstufen, die in allen modernen Überstromschutzeinrichtungen vorhanden sind.

3.3 Staffelung der Hochstromstufen I>>> und I>>

Die Staffelung der Hochstromstufe I>>> wird nach dem auf der Leitung auftretenden Kurzschlussstrom so vorgenommen, dass nur Fehler auf einem Teil der zu schützenden Leitung schnell abgeschaltet werden. Zur Überbrückung transienter Vorgänge ist im Mittelspannungsnetz eine geringe Verzögerungszeit von ca. 0,05...0,2 s notwendig [1]. Für eine Stichleitung gemäß dem Beispiel soll das Staffelprinzip erläutert werden. Zuerst werden alle Hochstromanregewerte I>>> der einzelnen Leitungsabschnitte ermittelt.

Für den Überstromschutz in Station A soll dieses exemplarisch gezeigt werden.

Station A:

α - Schutzbereich der I>>> - Anregung

Kurzschlussstrom bei einem Fehler am Ort α:

$$I_{kAB}(\alpha) = I''_{k(3)AB}(\alpha) = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \alpha_A \cdot \underline{Z}_{AB}|} \qquad (14)$$

Kurzschlussstrom am Ende der zu schützenden Leitung:

$$I_{kmaxB} = I''_{k(3)B} = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \underline{Z}_{AB}|} \qquad (15)$$

Damit Kurzschlüsse hinter der Station B nicht zum unerwünschten Ansprechen von I>>> führen, ist ein Sicherheitsfaktor K_S notwendig.

$$K_{S\alpha A} = \frac{|I_{kAB\alpha}|}{|I_{kmaxB}|} > 1{,}05 \ldots 1{,}1 \qquad (16)$$

Der Schutzbereich α in Gleichung (14) wird beginnend mit 0,9 solange verkleinert, bis die Bedingung des Sicherheitsfaktors (16) erfüllt ist und sich ein sekundär einstellbarer Anregewert I>>> ergibt.

$$\frac{I>>>}{I_n} = \frac{I_{kAB\alpha}}{KI_{A4T1} \cdot I_n} \qquad (17)$$

Nach dem gleichen Schema werden die Einstellwerte der I>>> - Anregung für die Stationen B und C ermittelt.

In Tabelle 3 sind die Staffelung der Hochstromstufe I>>> für das Beispiel angegeben.

Tabelle 3 *Staffelung der Hochstromstufe I>>>*

Station	I>>>	$t_{I>>>}$	K_S	α
A	7,2 I_n	0,1 s	1,053	0,83
B	11,5 I_n	0,1 s	1,055	0,66
C	12,7 I_n	0,1 s	1,052	0,71

Der Schutzbereich der I>> - Anregung reicht bis in die nachfolgende Leitung bedingt durch den niedrigeren Einstellwert. Die Selektivität zur Hochstromstufe I>>> der Folgeleitung wird durch die größere Staffelzeit erreicht. Für den Überstromschutz in Station A soll die Staffelung der Hochstromstufe I>> demonstriert werden.

Station A:

β - Schutzbereich der I>> - Anregung ($\beta_A < \alpha_B$)

Kurzschlussstrom bei einem Fehler am Ort β:

$$I_{kBC}(\beta) = I''_{k(3)BC}(\beta) = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \underline{Z}_{AB} + \beta_A \cdot \underline{Z}_{BC}|} \qquad (18)$$

Kurzschlussstrom am Ende des Schutzbereichs der I>>> - Anregung der Station B:

$$I_{kBC}(\alpha) = I''_{k(3)BC}(\alpha) = \frac{c_{max} \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}_N + \underline{Z}_T + \underline{Z}_{AB} + \alpha_B \cdot \underline{Z}_{BC}|} \qquad (19)$$

Sicherheitsfaktor:

$$K_{S\beta A} = \frac{|I_{kBC\beta}|}{|I_{kBC\alpha}|} > 1{,}05 \ldots 1{,}1 \qquad (20)$$

Der Schutzbereich β in Gleichung (18) wird beginnend bei $\beta = \alpha_B$ solange verkleinert, bis der Sicherheitsfaktor Gleichung (20) erfüllt ist und sich ein sekundär einstellbarer Anregewert I>> ergibt.

$$\frac{I>>}{I_n} = \frac{I_{kBC\beta}}{KI_{A4T1} \cdot I_n} \qquad (21)$$

Die Staffelung der Hochstromstufe I>> ist für das Beispiel in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 *Staffelung der Hochstromstufe I>>*

Station	I>>	$t_{I>>}$	K_S	β
A	6,5 I_n	0,4 s	1,061	0,3
B	10,0 I_n	0,4 s	1,055	0,43

Im Bild 5 ist der Staffelplan von unabhängigen Überstromzeitschutzeinrichtungen mit Hochstromstufen dargestellt.

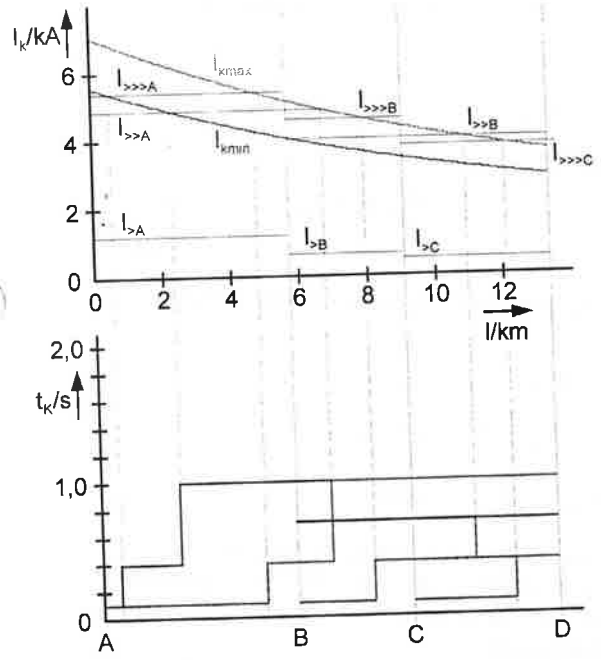


Bild 5 *Staffelplan vom UMZ mit Hochstromstufen*

Bild 6 zeigt zum Vergleich den Staffelplan von abhängigen Überstromzeitschutzeinrichtungen mit Hochstromstufen.

Für den maximalen Kurzschlussstrom erhält man eine Staffelkennlinie, die der des Distanzschutzes ähnelt. Beim minimalen Kurzschlussstrom wird der Schutzbereich verkürzt bzw. sind im ungünstigsten Fall die Hochstromstufen nicht wirksam (vergleiche Relais B und C im Beispiel). In diesem Fall erfolgt die Auslösung entsprechend der UMZ - bzw. der AMZ - Staffelung. Die Verkürzung der geschützten Zone lässt sich am schnellsten grafisch ermitteln.

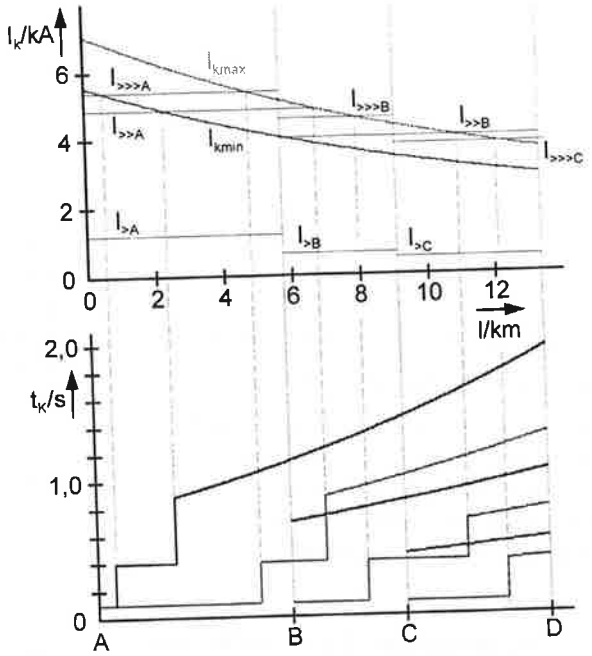


Bild 6 *Staffelplan vom AMZ mit Hochstromstufen*

Aus den Bildern 5 und 6 erkennt man, dass bei der UMZ - Staffelung niedrigere Auslösezeiten erreicht werden.

Zur Senkung der Schadensfolgekosten kann die Nutzung der Hochstromstufen zur Verkürzung der Auslösezeiten empfohlen werden. Bei modernen Überstromschutzeinrichtungen sind sie vorhanden. Die Ermittlung der Einstellung ist nur etwas aufwendiger.

4 Berechnung der Einstellwerte mit Excel

Eine Hilfe bei der Ermittlung der Einstellwerte für einen Leitungszug bietet das Tabellenkalkulationsprogramm Excel.

Nach der Eingabe von Netz- und Leitungsdaten lassen sich mit den im Beitrag angegeben Formeln die Einstellwerte der einzelnen Relais berechnen. Zusätzlich dazu können die Einstelldaten für die Prüfeinrichtung ermittelt werden. Neben den Einstelldaten für die Prüfung des Überstromrelais (Bild 7) lassen sich auch Prüfdateien erzeugen, die die Impedanz - Zeit - Staffelung zeigen. Hier kann die Wirkungsweise der Strom - Zeit - Staffelung auf den Schutzbereich dargestellt werden.

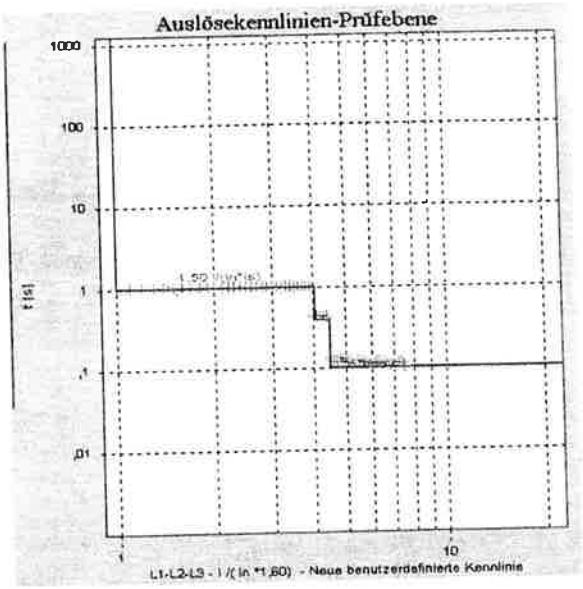


Bild 7 *Staffelplan des Überstromzeitschutzes*

Für die Darstellung als Impedanz - Zeit - Kennlinie bei der Schutzprüfung dient das Prüfmodell „Prüfung mit konstanter Speiseimpedanz". Dabei erhält man gleichzeitig ein Gefühl für die Reichweite der Hochstromanregungen.

4.1 Darstellung der Strom - Zeit - Staffelung als Impedanz - Zeit - Staffelung

Bei einer Prüfung mit konstanter Speiseimpedanz lassen sich als minimale Speiseimpedanzen einstellen:

- Prüfung ohne Verstärker (10 A): $Z_S = 5{,}774\ \Omega$
- Prüfung mit Verstärker (50 A): $Z_S = 1{,}155\ \Omega$

Bei den meisten Anwendungen haben die auf Sekundärgrößen umgerechneten Speiseimpedanzen größere Werte. Mit den umgerechneten Leitungsimpedanzen erhält man aus dem Modellnetz das äquivalente Prüfmodell.

4.2 Prüfung mit konstanter Speiseimpedanz

Für das Prüfmodell am Relaiseinbauort A können aus der Excel - Datei die folgenden Parameter herausgelesen werden:

Speiseimpedanz:

$$\underline{Z}_S = \underline{Z}_N + \underline{Z}_T = 6{,}731\Omega\angle 85{,}7°$$

Leitungsimpedanz:

$$\underline{Z}_L = \underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CD} = 7{,}509\Omega\angle 40°$$

Mit diesen Parametern und den Einstellwerten I>>> und I>> lassen sich unter Annahme einer „konstanten Spannungsquelle"

$$U_P = \frac{100}{\sqrt{3}} \cdot V$$

des Prüfmodells die relativen Schutzbereiche berechnen.

Relativer Schutzbereich für den dreipoligen Kurzschluss

$$\alpha = \frac{\left[\sqrt{U_p^2 \cdot \left(R_L^2 + X_L^2\right) - I_{an}^2 \cdot \left(R_L \cdot X_S - R_S \cdot X_L\right)^2} - I_{an} \cdot \left(R_L \cdot R_S + X_L \cdot X_S\right)\right]}{\left(R_L^2 + X_L^2\right) \cdot I_{an}} \qquad (22)$$

Setzt man für I_{an} die Einstellwerte I>>> bzw. I>> ein, so ergeben sich die relativen Schutzbereiche dieser Stufen für den dreipoligen Kurzschluss. Der absolute Schutzbereich ergibt sich durch Multiplikation mit der Leitungsimpedanz. Als Einstellwerte für die Kreiskennlinie erhält man für das gewählte Beispiel:

Fehler L1-L2-L3:

$$Z_{I>>>3p} = \alpha_{I>>>3p} \cdot \left|\underline{Z}_L\right| = 1{,}709\,\Omega$$

$$Z_{I>>3p} = \alpha_{I>>3p} \cdot \left|\underline{Z}_L\right| = 2{,}76\,\Omega$$

Beim zweipoligen Kurzschluss verkürzt sich die geschützte Zone. Der relative Schutzbereich für diesen Fall kann mit Gleichung (23) berechnet werden.

$$\beta = \frac{\left[\sqrt{3 \cdot U_p^2 \cdot \left(R_L^2 + X_L^2\right) - 4 \cdot I_{an}^2 \cdot \left(R_L \cdot X_S - R_S \cdot X_L\right)^2} - 2 \cdot I_{an} \cdot \left(R_L \cdot R_S + X_L \cdot X_S\right)\right]}{2 \cdot \left(R_L^2 + X_L^2\right) \cdot I_{an}} \qquad (23)$$

Als Einstellwerte für die Kreiskennlinie ergeben sich:

Fehler L1-L2, L1-L3, L2-L3:

$$Z_{I>>>2p} = \beta_{I>>>2p} \cdot \left|\underline{Z}_L\right| = 0{,}301\Omega$$

$$Z_{I>>2p} = \beta_{I>>2p} \cdot \left|\underline{Z}_L\right| = 1{,}295\,\Omega$$

Diese Einstellungen für Station A können der Excel - Datei entnommen werden. Die Ergebnisse der Prüfungen mit einer CMC56 sind in den Bildern 8 und 9 dargestellt.

In den Bildern 10 und 11 sind die Ergebnisse der Prüfung mit der CMC156 angegeben. Bei beiden Prüfeinrichtungen wurden die gleichen Einstellungen vorgenommen. Die Ergebnisse der Prüfungen bestätigen die berechneten Einstellwerte.

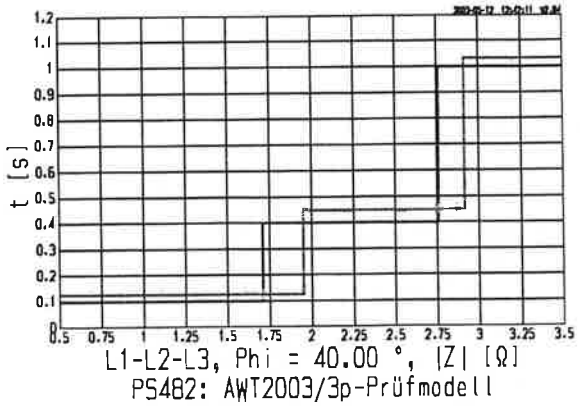


Bild 8 *Prüfung mit dreipoligem Kurzschluss (CMC56)*

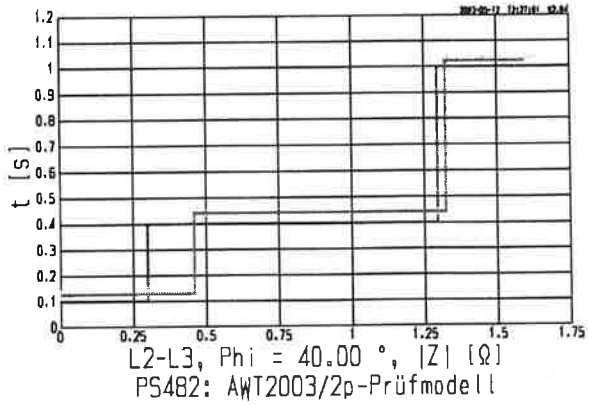


Bild 9 *Prüfung mit zweipoligem Kurzschluss (CMC56)*

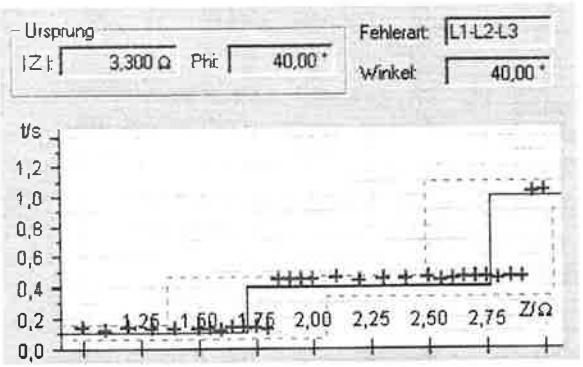


Bild 10 *Prüfung mit dreipoligem Kurzschluss (CMC156)*

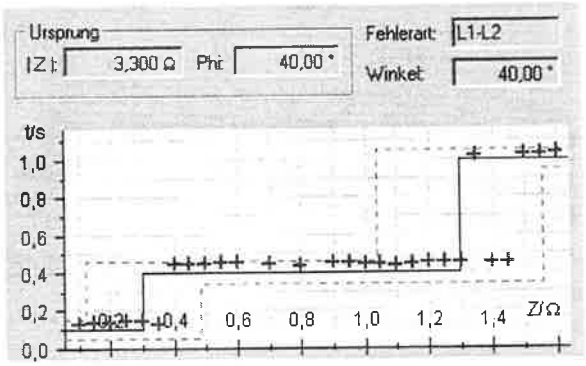


Bild 11 *Prüfung mit zweipoligem Kurzschluss (CMC156)*

Zusammenfassung

Die Strom - Zeit - Staffelung ist eine Möglichkeit, bei hohen Strömen die Auslösezeiten zu senken. Zur Veranschaulichung der Schutzbereiche kann diese Staffelung auch als Impedanz - Zeit - Staffelung dargestellt werden. Im vorliegenden Beitrag wurden die mathematischen Zusammenhänge zur effektiven Strom - Zeit - Staffelung des Überstromschutzes dargestellt, wie sie in einer Excel - Datei realisiert wurden. Neben den Einstellungen für den Überstromzeitschutz werden in dieser Excel - Datei auch die Einstellungen für die Prüfeinrichtung bereitgestellt, damit auch eine Impedanz - Zeit - Staffelung geprüft werden kann.

Die berechneten Einstellungen konnten durch Prüfung mit einer CMC56 und einer CMC156 bestätigt werden.

Literatur

[1] Clemens, H., Rothe, K.;
Schutztechnik in Elektroenergiesystemen
Verlag Technik Berlin 1991

[2] Doemeland, W.;
Handbuch Schutztechnik
Verlag Technik 1995

[3] Schossig, W.;
Netzschutztechnik
VDE Verlag 1999

**) Der vorliegende Beitrag wurde vom Autor auf der OMICRON - Anwendertagung 3. - 4.Juni 2003 in Friedrichshafen gehalten.*

**)
Prof. Dipl.-Ing. E. W. Albrecht

Fachbereich
Informationstechnologie und
Elektrotechnik
Fachhochschule Wiesbaden

Aufbau einer Apparatur zur feldunterstützten Diffusion für die Entwicklung von Silizium-Glas-Koppelstrukturen

F. Völklein, A. Meier, H.-D. Bauer, Wiesbaden *)

1 Einleitung

Für die Entwicklung optischer Telekommunikationsnetze ist die optimale Verbindung der Informationsträger - der optischen Glasfasern - eine wesentliche Aufgabe. Da die Faserkerne, in denen das Licht geführt wird, Abmessungen im Bereich von wenigen µm besitzen, können bei nicht präziser Kopplung an den Koppelstellen starke Intensitätsverluste auftreten. Präzise Faser-Faser Kopplungen sind z.B. durch die Verwendung von Positionier- und Justierhilfen möglich, bei denen mikromechanisch geätzte Silizium-Substrate mit V-Gräben eingesetzt werden. Inzwischen wurden Technologien [1,2,3,4,6,7] entwickelt, mit denen es möglich ist, an einer Koppelstelle durch Licht-Verstärker die in der Faserstrecke durch Dämpfung entstandenen Intensitätsverluste auszugleichen. Diese Verstärker bestehen aus einem wellenleitenden Mikro-Kanal in einem Glassubstrat, der die Dimension des Faserkerns hat, und über den die Faserkerne von zwei Fasern an der Koppelstelle miteinander verbunden werden. Atome der Glasmatrix in diesem Mikro-Kanal werden durch optisches "Pumpen" in einen angeregten Zustand versetzt, so dass sie durch den Effekt der stimulierten Emission die aus dem Faserkern eintretende Lichtwelle verstärken [5]. Ziel der im Projekt durchgeführten Arbeiten war es u.a., eine Apparatur aufzubauen, mit der die Herstellung von wellenleitenden Mikro-Kanälen in Gläsern, die durch ihre spezielle Zusammensetzung als Licht-Verstärker arbeiten können, möglich ist.

2 Experimentelle Herstellung von wellenleitenden Mikro-Kanälen durch feldunterstützte Diffusion

Wellenleitende Mikro-Kanäle in Glassubstraten kann man erzeugen, indem man im Bereich des Kanals eine Brechzahländerung des Glases herbeiführt. Solche Brechzahländerungen sind z.B. realisierbar, indem man die in der Glasmatrix vorhandenen Natrium-Ionen durch andere Metall-Ionen (z.B. Silber-Ionen) austauscht. Dieser Austausch muß lokal begrenzt nur im Bereich des wellenleitenden Kanals mit einem „Kanalquerschnitt" von typisch 5x5 µm erfolgen. Die Herstellung von wellenleitenden Mikro-Kanälen in Glassubstraten erfordert eine Kombination von Beschichtungs-prozessen für Metallschichten, photolithographischer Strukturierung dieser Metallschichten auf den Glassubstraten und lokal begrenzter Diffusion von Metall-Ionen. Die strukturierten Metallschichten dienen dazu, die thermisch induzierte Diffusion durch Anlegen eines elektrischen Feldes zu beschleunigen und andererseits durch die Strukturgebung der Metall-Elektroden räumlich zu begrenzen. Die Prozeßschritte zur Realisierung wellenleitender Mikro-Kanäle mittels feldunterstützter Diffusion sind in Abbildung 1 dargestellt:

a) Aufbringen einer Metallschicht auf der Frontseite (Seite mit den Lichtwellenleitern) der Glassubstrate (Frontseiten-Elektrode)

b) Photolithographische Strukturierung dieser Metallschicht zur Definition der Mikro-Kanäle, in denen ein Ionenaustausch durch Silber-Diffusion stattfinden soll

c) Aufbringen einer Metallschicht auf der Rückseite der Glassubstrate (Rückseiten-Elektrode)

d) Durchführung der feldunterstützten Diffusion von Silber bei hohen Temperaturen durch Aufbringen von Silberschichten in der Bedampfungs-/Diffusionsapparatur

e) Ablösen der Frontseiten- und Rückseiten-Elektrode und des nicht eindiffundierten Silbers

Für die Beschichtung der Metall-Elektroden und deren photolithographische Strukturierung wurden die Beschichtungsanlagen im Labor für Vakuumtechnik und die photolithographische Technologie im Reinraum des FB Physikalische Technik genutzt. Im folgenden wird der Aufbau der Apparatur zur feldunterstützten Diffusion der vorbereiteten Glassubstrate beschrieben.

3 Apparatur zur feldunterstützten Diffusion

3.1 Automatisierte Messung der Diffusionsströme

Für die systematische Untersuchung der feldunterstützten Diffusion wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens eine Apparatur und ein Messverfahren zur Steuerung und Messung von Diffusionsströmen entwickelt, automatisiert und standardisiert. Der Umfang der Untersuchung erstreckt sich auf die Vorgänge beim Aufheizen der Substrate, die Messung der Diffusionsströme bei

der feldunterstützten Diffusion und auf die Vorgänge beim Abkühlen der Substrate. Die Diffusionsströme werden in Abhängigkeit der felderzeugen-den Spannung und der Temperatur untersucht. Im folgenden wird das Messprinzip und der Versuchsaufbau beschrieben.

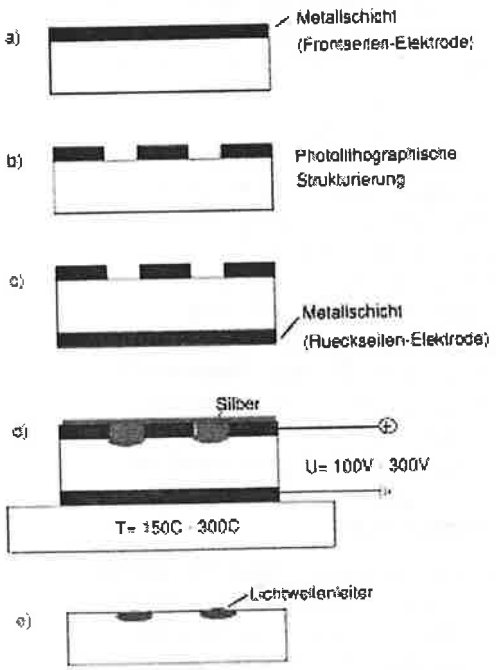


Bild 1 *Prozeßschritte zur Erzeugung von Lichtwellenleitern durch feld-unterstützte Diffusion von Silber*

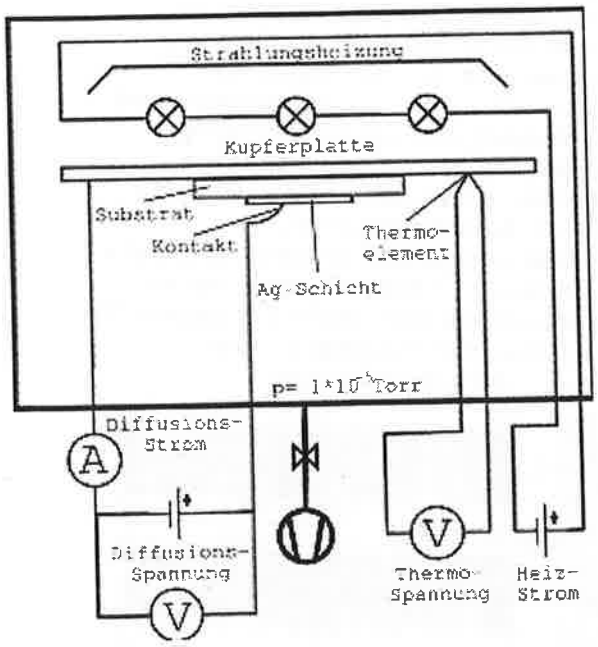


Bild 2 *Prinzip der FHW-Apparatur zur feldunterstützten Diffusion*

3.2 Prinzip

Bei der feldunterstützten Diffusion von Silber in Glas werden Natrium-Ionen im Glas von Silber-Ionen, die von außen zugeführt werden, verdrängt. Durch ein äußeres elektrisches Feld werden die Natrium-Ionen in eine durch die Polarität der Spannung vorgegebene Richtung bewegt. Die frei werdenden Plätze in der Glasmatrix können dann durch Silber-Ionen besetzt werden. Die Bewegung der Ionen stellt einen messbaren Strom dar. Da die Diffusion ein zeitlich abhängiger Prozess ist, muss eine Abfolge von Messwerten aufgenommen werden. Desweiteren ist die Temperatur des Substrates zu überwachen und die felderzeugende Spannung zu messen. Das Substrat ist zu heizen (Beschleunigung des Diffusionsprozesses) und die felderzeugende Spannung ist bereitzustellen. Hieraus folgt das in Bild 2 gezeigte Prinzipbild.

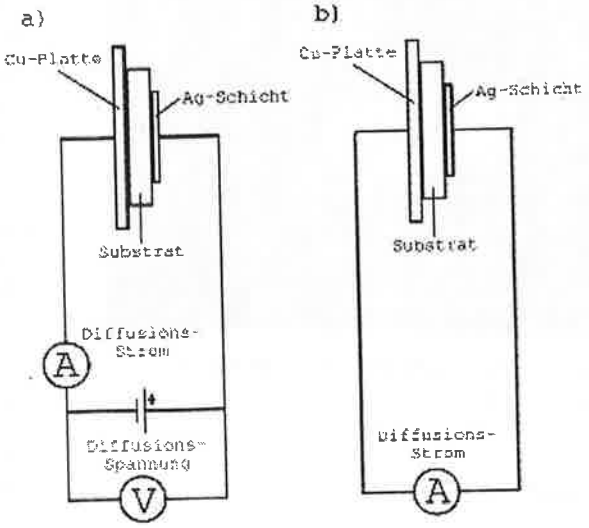


Bild 3 *a) Schaltplan zur Messung bei der feldunterstützten Diffusion,*
b) Schaltplan zur Messung beim Aufheizen und Abkühlen

Da vermutet wird, dass während des Aufheizens der Substrate bereits Diffusionsprozesse ablaufen, soll der Kurzschlussstrom der Proben während der Heizphase aufgezeichnet werden. Dazu werden die Proben mit dem Messgerät, wie in Abbildung 3b) gezeigt, verbunden. Nach Erreichen der Diffusionstemperatur wird die Spannungsquelle zur feldunterstützten Diffusion und das Strommessgerät zur Messung des Diffusionsstromes nach Abbildung 3a) angeschlossen und die Diffusionsspannung eingeschaltet. Für den Abkühlvorgang wird wieder der Schaltplan nach Abbildung 3b) verwendet, um die Kurzschlussströme aufzuzeichnen.

Die Messungen sollen automatisch in einem einstellbaren Zeitintervall erfolgen und die Messdaten gleich zur Datenverarbeitung bereitgestellt werden. Die Umschaltung zwischen den beiden verschiedenen Schaltungen zur Aufnahme der drei Etappen der Messung soll ebenso automatisch erfolgen

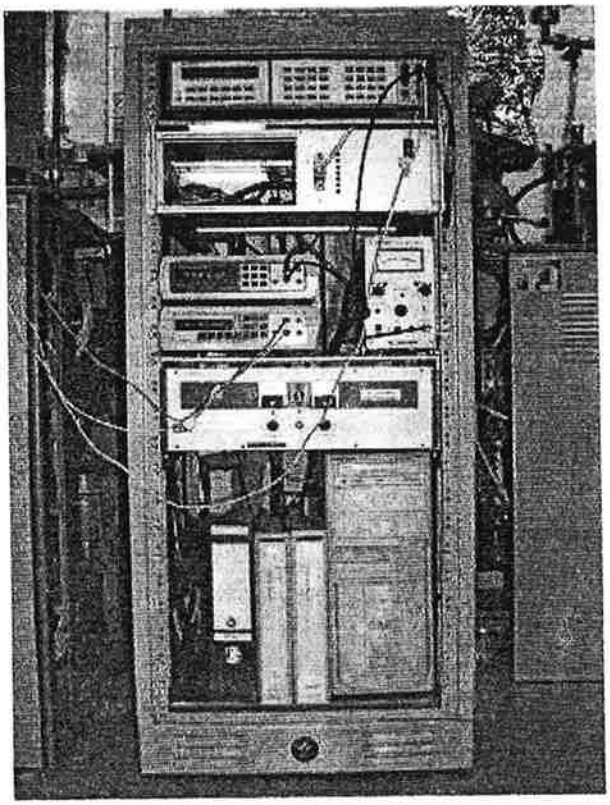


Bild 4 *Spannungsversorgung, Messgeräte und Messrechner*

3.3 Aufbau

Die Apparatur zur Durchführung von Diffusionsexperimenten besteht aus einer Vakuumapparatur und der Mess- und Versorgungselektronik. Der Begriff „Mess- und Versorgungselektronik" dient hier als Oberbegriff für die eingesetzten Netzgeräte, Messgeräte und den Computer. Im Rahmen der Automatisierung der Messungen wurde mit LabView eine Software entwickelt, die den Diffusionsstrom, die Temperatur und die Diffusionsspannung während eines Experiments aufzeichnet. Diese Software steuert über die IEEE 488 Schnittstelle des Computers die einzelnen Messgeräte an und liest diese aus. Dieser Aufbau wird in Abbildung 4 gezeigt. Zu sehen sind von oben nach unten:

- Digitalmultimeter HP 3457 A zur Messung der Diffusionsströme
- Hochspannungsschaltgerät der FHW zum Umschalten der Messphasen
- Digitalmultimeter PREMA 5000 zur Messung der Diffusionsspannung
- Digitalmultimeter PREMA 6001 zur Messung der Thermospannung
- Hochspannungsnetzteil Heinzinger NCL 1200-50 neg oder Heinzinger NCL 6000-10 pos, je nach benötigter Diffusionsspannung
- Heizungsnetzteil LAMBDA LD 351-FM-V als Quelle für den Heizstrom
- Mess- und Steuerrechner mit IEEE 488 Schnittstelle (Monitor und Tastatur befinden sich auf dem Rack, im Bild nicht zu sehen)

Zur Messung der Temperatur wird ein Draht-Thermoelement eingesetzt, dass auf der Cu-Grundplatte in der Nähe des Substrates befestigt ist und dessen Thermospannung mit dem Digital-Multimeter PREMA 6001 gemessen wird. Die Diffusionsspannung wird an dem Hochspannungsnetzgerät entsprechend der gewünschten maximalen Spannung eingestellt und zur feldunterstützten Diffusion nach Erreichen der Diffusionstemperatur eingeschaltet. Für Diffusionsspannungen bis 1200V wird das Hochspannungsnetzteil NCL 1200-50 neg eingesetzt, für Spannungen größer 1200V kommt das NCL 6000-10 pos zum Einsatz. Dieses liefert eine Maximalspannung von 6000V und einen maximalen Strom von 10mA. Der Heizstrom wird manuell am Heizungsnetzteil entsprechend der gewünschten Temperatur eingestellt und bei Bedarf manuell nachgeregelt.

Zur Steuerung und zur automatischen Aufnahme der Messwerte wurde im Rahmen dieses Projektes unter LabView ein Messprogramm entwickelt. Eingesetzt wird LabView 6.1i von National Instruments. Diese Software steuert die drei eingesetzten Messgeräte über die im Rechner eingebaute IEEE 488 Schnittstellenkarte an, das Hochspannungsschaltgerät wird über den Parallelport des Rechners von der Software angesteuert. Die Software gibt die Messdaten und die verstrichene Zeit auf dem Monitor als Zahlenwerte und in Form von Diagrammen direkt nach der Messung aus. Das Frontpanal der Steuersoftware ist in Abbildung 5 zu sehen. Dargestellt werden von oben nach unten in den Diagrammen: der Diffusionsstrom, die Diffusionsspannung und die Diffusionstemperatur des Experiments. Am linken Rand werden die Zahlenwerte und die verstrichene Zeit dargestellt. Die Umschaltung der Messphasen kann zeitgesteuert oder manuell erfolgen.

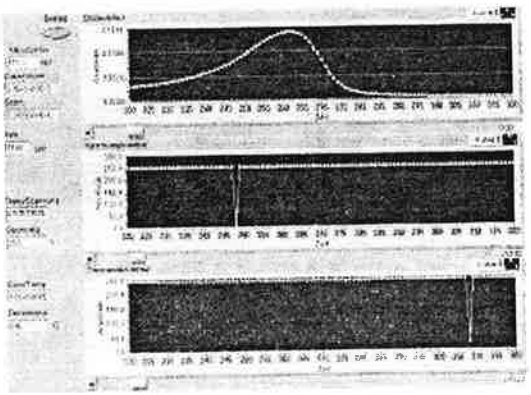


Bild 5 *Frontpanal der LabView-Steuersoftware*

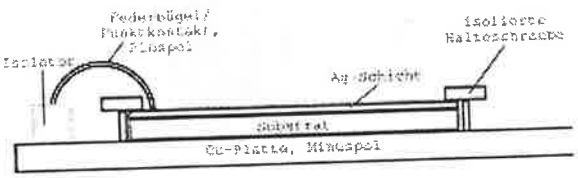


Bild 6 *Kontaktierung der Probe*

3.4 Kontaktierung

Die Substrate werden auf der Rückseite mit einer unstrukturierten, auf der Frontseite mit einer photolithographisch strukturierten Metallelektrode versehen. Auf die Frontseite wird dann vor bzw. während der Diffusion eine Ag-Schicht aufgebracht. Diese Proben werden, wie in Abbildung 6 dargestellt, mittels isolierter Halteschrauben mit der metallischen Rückseiten-Elektrode auf eine Kupfergrundplatte gespannt. Die gegenüberliegende strukturierte Frontseiten-Elektrode wird mit einem Kontaktbügel kontaktiert.

4 Ergebnisse

Die beschriebene Apparatur wurde inzwischen für zahlreiche Diffusionsexperimente erfolgreich eingesetzt. Es konnten wellenleitende Mikro-Kanäle hergestellt und ihre Funktion als Koppelstrukturen demonstriert werden. Die Abbildungen 7 – 9 zeigen den Verlauf einer feldunterstützten Diffusion anhand der gemessenen Diffusionsströme beim Ionenaustausch von Silber in einem natriumhaltigen Glas. Dabei zeigt Abbildung 7 den Diffusionsstrom während des Aufheizens auf die Diffusionstemperatur von 200°C, Abbildung 8 zeigt den Verlauf des Diffusionsstromes während der feldunterstützten Diffusion bei einer felderzeugenden Spannung von 400V und Abbildung 9 zeigt den Diffusionsstrom während des Abkühlens.

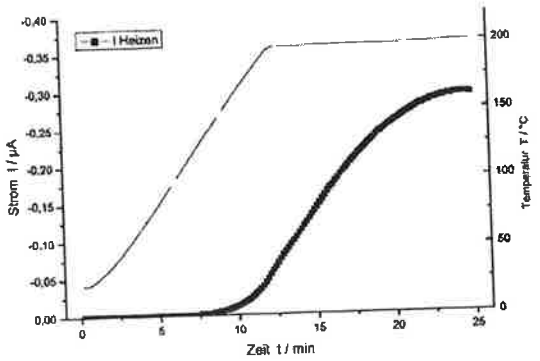


Bild 7 Diffusionsstrom einer Probe beim Heizen auf 200°C

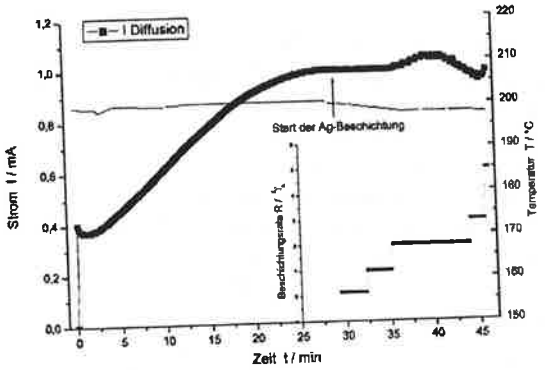


Bild 8 *Diffusionsstrom einer Probe während der feldunterstützten Diffusion bei T_{Diff} = 200°C und U_{Diff} = 400V. Die Beschichtungsrate der zusätzlichen Ag-Beschichtung ist rechts unten dargestellt.*

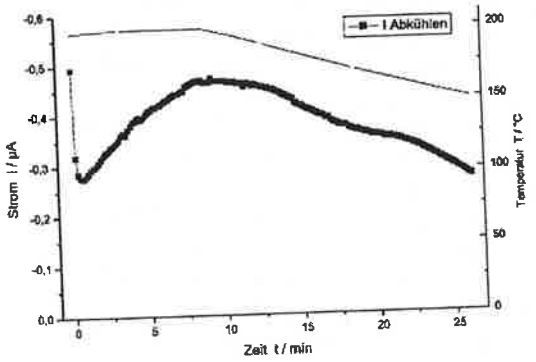


Bild 9 *Diffusionsstrom einer Probe beim Abkühlen*

Literatur

[1] J. Legrand and P. Glorieux. Fabrication and characterization of glass ion-exchanged planar optical waveguides. *European Journal of Physics*, 15(5):228-235, 1994.

[2] J. Linares, C. Montero, and X. Prieto. Graded-index bifocal spectacle lenses produced by ion-exchange in glass: paraxial designing. *Pure and Applied Optics: Journal of the European Optical Society Part A*, 4(6):695-699, 1995.

[3] R. Oven, S. Batchelor, and D. G. Ashworth. Effects of annealing of electric field assisted - ion exchanged soda-lime glass guides. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 32(6):650-655, 1999.

[4] C. W. Pitt, A. A. Stride, and R. L. Trigle. Low temperature diffusion process for fabricating optical waveguides in glass. *Electronic Letters*, (16):701-703, 1980.

[5] Dai Shi-Xun et al, Multi-rare-earth ions codoped tellurite glasses for potential dual wavelength fibre-optic amplifiers. *Chinese Physics Letters*, 20(1):130-132, 2003.

[6] F. Völklein and T. Zetterer. *Einführung in die Mikrosystemtechnik*. Vieweg-Verlag Wiesbaden, 2000.

[7] Guangwen Zhang, S. Honkanen, S. I. Naafi, A. Tervonen, and P. Katila. Ion-exchanged glass waveguide post-annealing on spectral transmission. *Pure and Applied Optics: Journal of the European Optical Society Part A*, 3(5):907-913, 1994.

*)
Prof. Dr. Friedemann Völklein
Fachbereich
Physikalische Technik
Fachhochschule Wiesbaden

MPEG-Transcodierung

Matthias Schnöll, Rolf Hedtke, Wiesbaden *)

Durch die heterogene Struktur der Übertragungsnetze mit unterschiedlicher Bandbreite und deren jeweils spezifische Übertragungseigenschaften entstehen neue Anforderungen an den Content-Anbieter. Die Fernsehanstalten müssen den Inhalt in unterschiedlichen Formaten und diese dann noch in verschiedenen Bitraten bereithalten. Dies bedeutet, dass der gleiche Inhalt mehrfach auf den Videoservern gespeichert werden muß, um eine optimale Bildqualität des Übertragungskanals zu gewährleisten. Aufgrund der neuen Anforderungen an eine vernetzte Broadcastumgebung ist es notwendig, den Content der mit hoher Bitrate in einem digitalen MPEG-2 Videosignal vorliegt, in ein MPEG Format mit geringerer Bitrate zu wandeln, um ihn an einen schmalbandigen Übertragungskanal und oder an das Speichermedium anzupassen. Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten die Videosignale in ein anderes Format oder eine andere Bitrate umzuwandeln. Die allgemeine Form der Transcodierung ist die Umwandlung in der Bildebene. Diese Art der Transcodierung codiert das Signal zunächst in die Bildebene zurück und dann mit den jeweiligen neuen Parametern wieder in die komprimierte Form. Dabei entsteht das sogenannte Generationsverhalten, was zu einer Minderung des Signal-Rauschabstandes führt und somit eine Verschlechterung der Bildqualität bedeutet. Um diese Verschlechterung zu minimieren wird eine Transcodierung in der codierten Ebene, der sogenannten Frequenzebene, durchgeführt. In diesem Bericht wird eine Transcoder-Toolbox mit den notwendigen Methoden und Algorithmen zur Anpassung der verschiedenen Codierstandards (MPEG-2 zu MPEG-4) in der codierten Ebene vorgestellt.

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben technische Entwicklungen das Umfeld eines Fernsehstudios zukunftsweisend geprägt. Im Zuge der Digitalisierung mit der daraus resultierenden Datenkompression und der zusätzlich rasanten Entwicklung im Bereich der Rechner- und Netzwerktechnologie wurde die Signalverarbeitung in einem Fernsehstudio verändert. Es entstanden verschiedene Verfahren für die digitale Videokompression mit jeweils unterschiedlichen Anwendungen. Aus der Vielzahl von unterschiedlichen Datenreduktionsverfahren mit den dazugehörigen Spezifikationen wie Bitrate, Pegel und Bitströmen, die untereinander nicht kompatibel sind, ergeben sich neue Anforderungen an Schnittstellen und Übertragungsstrecken. In der professionellen Fernsehstudioumgebung hat sich das MPEG 2 Verfahren mit seinem 4:2:2 Profil für die Produktion etabliert. Zur Ausstrahlung wird das MPEG 2 ML@MP benutzt. Mit dem Einsatz von digitalen Videosignalen wächst die Forderung, die bereits produzierenden Inhalte auf Basis von MPEG 2 mehrfach zu nutzen. Die Verteilung der Inhalte für ein digitales Vorschauarchiv in schmalbandigen Netzen oder die Ausstrahlung als Web TV im Internet erfordert eine Anpassung an den jeweiligen bandbegrenzten Übertragungskanal. Gerade hier bietet sich der MPEG-Standard mit seinen Verfahren wie MPEG 1, MPEG 2 und MPEG 4 für verschiedene Datenraten an. Zur Zeit geschieht die Reduktion der Bitrate ausschließlich in der Bildebene mit der daraus resultierenden Qualitätsminderung. Um diese Qualitätsverluste zu verringern, besteht die Möglichkeit eine Umrechnung der Videosignale in der codierten Ebene vorzunehmen. Diese Umrechnung und Anpassung an das jeweilige Kompressionsverfahren bezeichnet man als Transcodierung. Die Transcodierung verkleinert die Datenrate und ermöglicht somit eine Anpassung an Multimediasysteme mit geringer Bandbreite und begrenzter Speichermöglichkeit. Für die Untersuchungen und Betrachtungen wird das im Fernsehstudio übliche komprimierte Videosignal (MPEG 2 codiert) verwendet. Nicht betrachtet werden die Audiosignalverarbeitungstheorien und die Systemebene der MPEG 2 Codierung. Die Untersuchungen wurden mit Hilfe von Software der Standards MPEG-2 und MPEG-4 durchgeführt. Die dazugehörigen Algorithmen zur Transcodierung wurde ebenfalls auf Software erstellt und in die vorhandene Standardsoftware implementiert.

2 Anwendungen der Transcodierung im vernetzten Broadcaststudio

In einer vernetzten Studioumgebung (Bild 1) liegen die digitalisierten Videosignale in der Produktion im MPEG-2 4:2:2 I-Frames-only Format mit einer Datenrate von 50 Mbit/s vor. Um die Videosequenzen für die verschiedenen Anwendungen, wie Redakteurarbeitsplätze, Video-vorschauarchiv, Webanwendungen und die Ausstrahlung über MPEG-2 MP@ML zu nutzen [1], ist es notwendig die jeweilige Datenrate an den Übertragungskanal und den notwendigen Videoserver anzupassen. Für die Pre-Editing Applikation ist eine Datenrate von 1-2 Mbit/s im MPEG-4

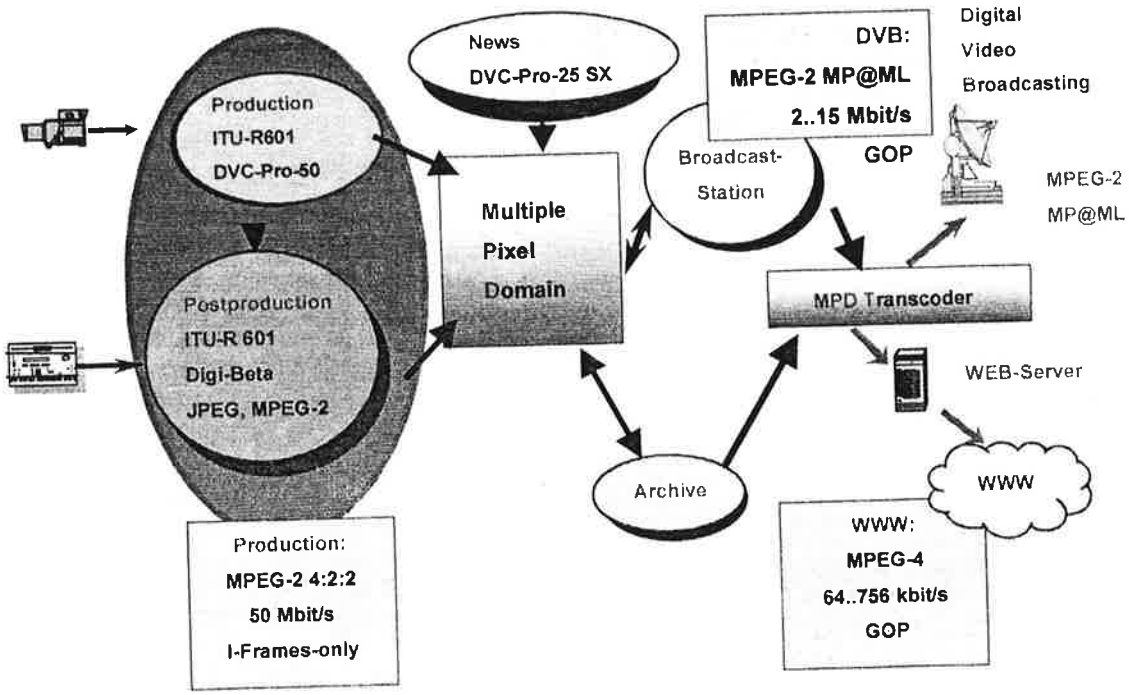


Bild 1 *Vernetzte Studioumgebung mit Transcodern*

Format mit I-Frames ausreichend. Hier ist eine Transcodierung sinnvoll und anwendbar. Mit einem Software-Transcoder werden die Daten in einem Hintergrundprozess neu berechnet und der Browsinganwendung zur Verfügung gestellt. Für die Distribution und Ausstrahlung der Fernsehprogramme muss die Transcodierung von MPEG-2 4:2:2 I-Frames-only in das MPEG-2 MP@ML Format erfolgen. In vielen Fernsehstationen werden Teile des Fernseh-programms über Internet dem Nutzer zur Verfügung gestellt. Man benutzt dazu die proprietäre Formate von Microsoft und Realnetwork. Hier empfiehlt sich der jedoch der Einsatz von offenen Standards z.B. MPEG-4. Es muss bei der Transcodierung der Videodaten eine Datenrate von 64 – 756 kbit/s erreicht werden.

2.1 Transcodierung in der Bildebene

Bei der Umwandlung eines Datenstroms von MPEG-2 nach MPEG-2 oder MPEG-4 arbeiten die bereits vorhandenen Transcoder im Studio- sowie im Broadcastbereich ausschließlich im Bildbereich. Diese Tanscodierung stellt eine Reihenschaltung aus einem vollständigen MPEG-Decoder und einem MPEG-Encoder dar. Das heißt, daß jedes Signal, das transcodiert werden soll, zunächst vollständig decodiert wird, um dann erneut encodiert zu werden (Bild 2). Hierzu zählt beispielsweise die sehr aufwendige Bewegungs-schätzung und Bewegungskompensation sowie die erneute Berechnung der DCT. Der Aufbau des allgemeinen Transcoders enthält keine Verbindung zur Übermittlung von Parametern. Daher muss der Videocoder B alle Codierparameter neu

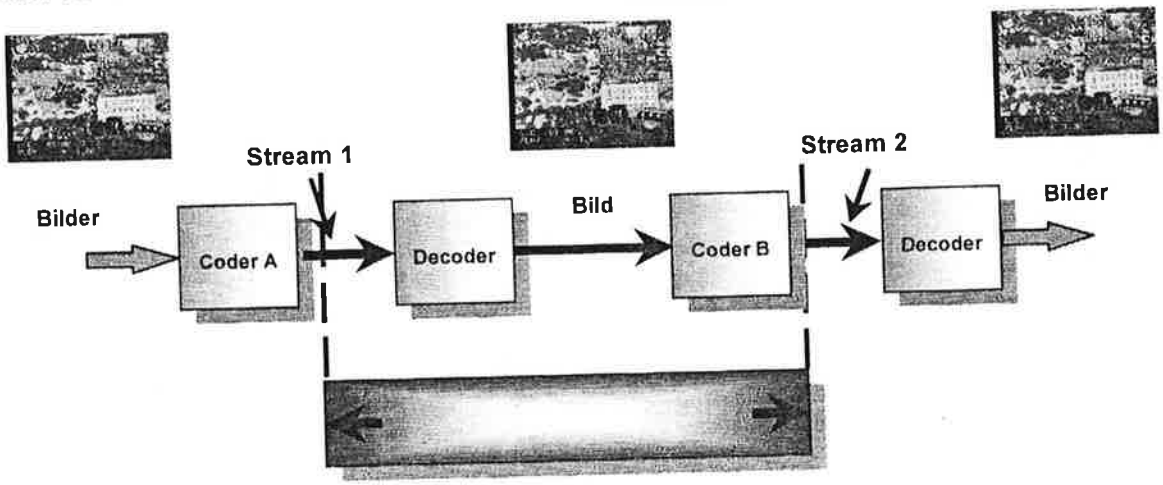


Bild 2 *Transcodierung in der Bildebene*

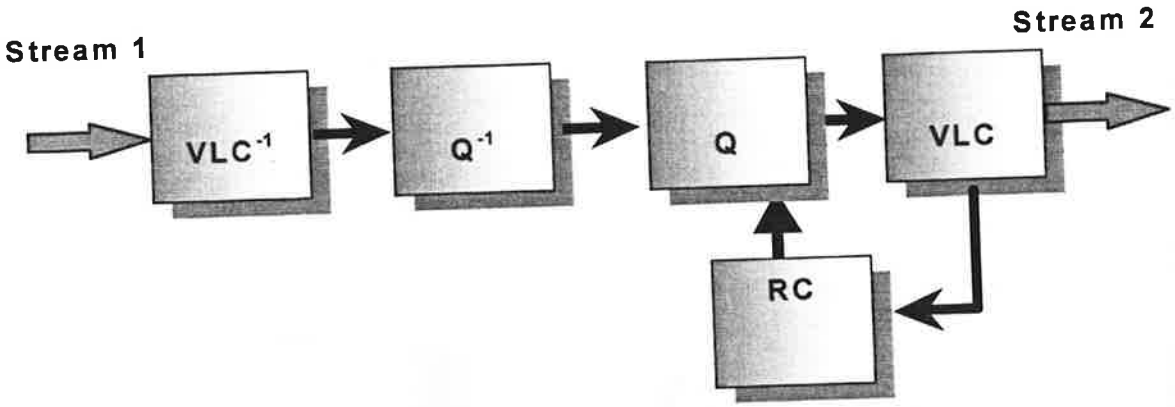


Bild 3 *Aufbau eines Pixel Domain Transcoders*

entscheiden. Da der transcodierte Stream 2 sich vom Stream 1 unterscheidet, werden im Coder B andere Quantisierungsfaktoren verwendet.

Der allgemeine Transcoder erzeugt einen Bitstrom, der sich auf Makroblock- und Blockebene deutlich von dem Eingangsbitstrom unterscheidet. Das Einfügen eines Transcoders in die Bearbeitungskette, bringt allerdings einen zusätzlichen Verlust an Qualität. Durch die wiederholte Codierung unterliegt der Datenstrom einer erneuten Quantisierung, wodurch ein Qualtitätsverlust wie das sogenannte Quantisierungsrauschen auftritt.

2.2 Transcodierung in der Frequenzebene

Nach der Untersuchung des allgemeinen Transcoders in der Bildebene lassen sich verschiedene Transcoder für die Frequenzebene ableiten. Entgegen den Erwartungen, daß dieser allgemeine Transcoder durch die vollständige De- und Encodierung eine bessere Bildqualität liefert, hat sich gezeigt, daß eine einfachere Lösungen bei höherer Effizienz eine vergleichbar gute Bildqualität liefert. Die nach der Decodierung zur Verfügung stehenden Bilder sind allerdings mit Codierartefakten behaftet, wodurch sich die Qualität des wiederum encodierten Bild natürlich verschlechtert. Es hat sich herausgestellt, daß eine Veränderung der Bewegungsvektoren weniger geeignet ist als eine Requantisierung der DCT-Koeffizienten. Somit kann die gesamte Bewegungsinformation des Eingangsbitstromes für den Ausgangsbitstrom übernommen werden, was eine erneute Bewegungsschätzung überflüssig macht und die Komplexität des Transcoders verringert. Die DCT-Werte können ebenso ohne erneute Berechnung auf den Ausgangsbitstrom übertragen werden. Der Decodierprozeß wird nur bis zur Dequantisierung durchgeführt. Durch die Requantisierung mit neuen Quantisierungswerten erreicht man dann die gewünschte Datenrate. Im Allgemeinen besteht ein Transcoder aus zwei Teilen, einem kaskadierten Decoder und Encoder (Bild 3).

3 Methoden zur Reduzierung der Datenrate in der Frequenzebene

Grundsätzlich kann die Datenrate verringert werden, wenn weniger Bilder übertragen werden. Für die Erzeugung eines Streams mit geringerer Datenrate wird deutlich, daß das Auslassen der entsprechenden Anzahl von B-Bildern durchaus akzeptable Bildeindrücke liefert. Das menschliche Auge ist dabei nicht mehr in der Lage die schnellere Bildfolge, also die schnelleren Bewegungen zeitlich aufzulösen. Es interpoliert Gesehenes über den Bildeindruck. Dies gilt ebenfalls für die Ortsauflösung der einzelnen Bilder, was sich bei den weiteren Untersuchungen als sehr nutzvoll erweisen wird. Man kann bei einer Codierung der Quellbilder in einem GOP von 12 Bildern auf die B-Bilder verzichten und nutzt nur die I- und P-Bilder, deren Abhängigkeiten zur Decodierung und Darstellung gewährleistet sind. Daraus ergeben sich fest vorgegebene Datenraten. Das folgende Bild 4 verdeutlicht die Bildauswahl.

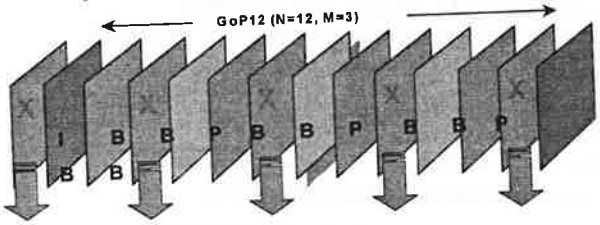


Bild 4 *Veränderung der GOP-Struktur*

Kern dieses Lösungsansatzes ist die ausschließliche Übertragung und Darstellung nur der für die gewünschte Datenrate benötigten Bilder. Irrelevante Bilder werden nicht übertragen, und beanspruchen somit nicht unnötig die Datenrate.

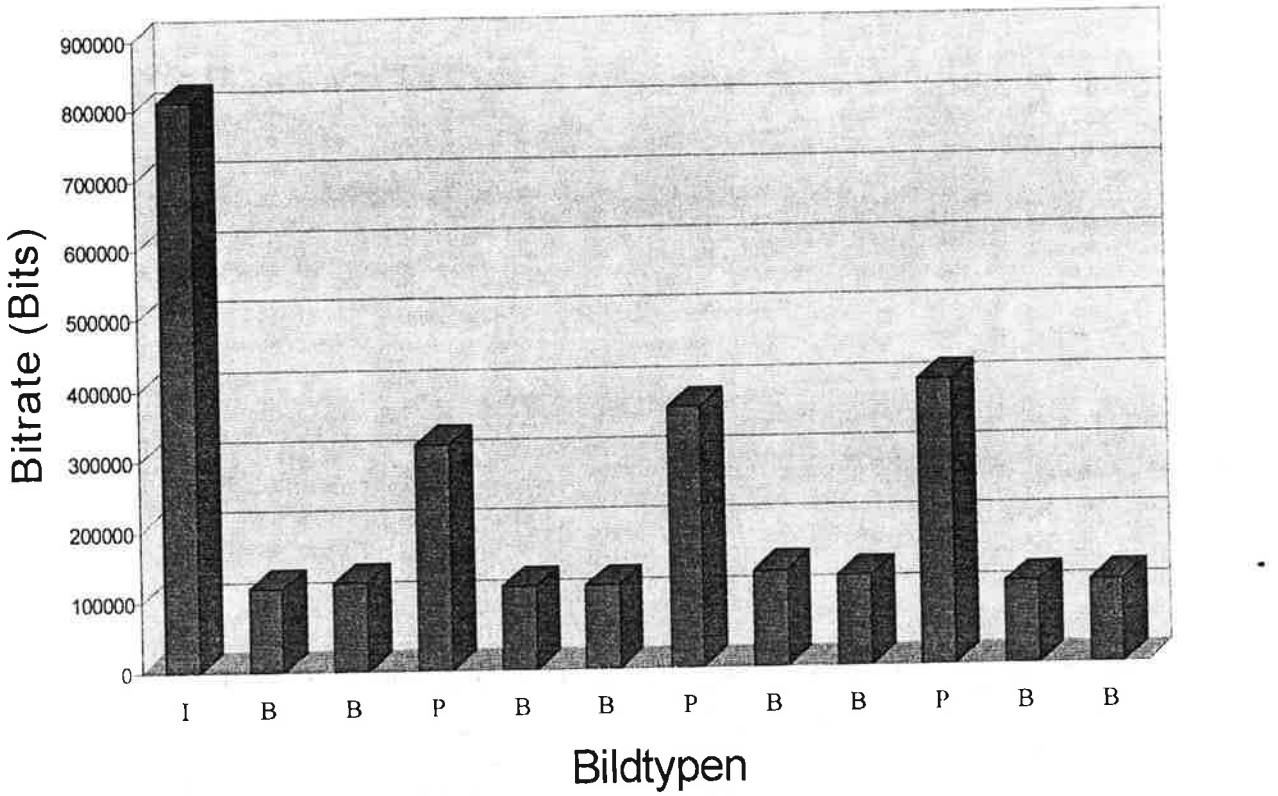


Bild 5 *Bitratenverteilung der Bildtypen innerhalb eines GOP´s*

GOP - Form	Bildfolge
GOP	IBBPBBPBBPB...
GOP1 ohne B-Bildern	IPPPIPPPIPPPI...
GOP2 ohne B-Bildern	IPIPIPIPIPI...
GOP3 ohne B/P-Bildern	I-Frames-only

Tabelle 1 *Bildfolge bei Veränderung der GOP-Form*

Wie in der Tabelle 1 zu erkennen ist, reduzieren sich die GOP´s auf I-, P-und und I-Bildern. Dadurch wird die Datenmenge erheblich reduziert. Zur Verdeutlichung der Bitratenverteilung von verschiedenen Bildtypen innerhalb einer GOP von zwölf Bildern, wurde die Sequenz Mobile & Calendar mit 6 Mbit/s codiert. Das folgende Bild 5 zeigt die entstandene Bitratenverteilung.

Wie zu erkennen ist, tragen die intracodierten Bilder den Großteil an Daten. Ein I-Bild weist demnach die fast achtfache Datenmenge eines B-Bildes auf. P-Bilder beanspruchen in der Regel ein Drittel bis zur halben Datenmenge eines I-Bildes.

3.1 Verringerung der Datenrate durch Veränderung der Bildauflösung

Wenn Videodaten über schmalbandige Übertragungstrecken übertragen werden sollen, ist selbst bei einem MPEG-4 Kompressionsverfahren eine hohe räumliche Auflösung der Bilder nicht mehr möglich. Um dennoch akzeptabele Bewegungsabläufe gewährleisten zu können, muß die räumliche Auflösung verringert werden. Um die Videodaten wieder in ein MPEG-Datenstrom umzuwandeln, müssen die spatial reduzierten Bilder wieder in die Frequenzebene zurücktransformiert und anschließend neu codiert werden, was mit einem hohen Rechenaufwand verbunden ist. Besonders DCT und inverse DCT benötigen sehr viel Ressourcen, was sich in einer langen Rechenzeit niederschlägt. Eine Alternative dazu ist die Bildmanipulation in der Frequenzebene. Der Rechenaufwand wird drastisch reduziert und durch die Möglichkeit, auch qualitätsmindernde Prozesse wie Quantisierung und Dequantisierung in die spatiale Reduktion mit einzubeziehen kann der Signal-Rauschabstand verbessert werden. Da es sich bei der spatialen Reduktion um einen linearen Prozess handelt kann man diese Rechenoperation der Matritzenmultiplikation auch in der codierten Ebene durchführen.

Die 1D-DCT wird folgendermassen beschrieben [2]:

$$F_1 = M \times B \qquad (1)$$

Bei der Transformation von der Bildebene in die Frequenzebene erhält man eine Vektor F der identisch mit der DCT ist., M ist die 8x8 Matrix mit konstanten Parameter der Cosinusfunktion und B

ist der Anteil in der Bildebene. Für die 2-dimensionale Transformation wird die Berechnung des Vektor F mit einer Matrix M^T multipliziert.

$$F_2 = M \times B \times M^T \qquad (2)$$

Um eine Reduktion der Auflösung in der Bildebene um den Faktor 2 in der vertikalen Richtung zu erreichen benötigt man die Umrechnungsmatrizen Q_1 und Q_2. Mit der dazugehörigen Gleichung 3 kann man Werte zwei benachbarte Matrizen mitteln.

$$X = \tfrac{1}{2} (Q_1 g + Q_2 h) \qquad (3)$$

Mit den Originalmatrizen g und h wird die Ergebnismatrix X berechnet [3]. Dadurch wird eine Halbierung der räumlichen Auflösung in vertikaler Richtung erreicht.

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Um eine Verringerung der Bildauflösung in vertikaler und horizontaler Richtung zu erreichen müssen Werte von vier benachbarten Matrizen gemittelt werden. Aus diesen Matrizen wird dann eine einzige berechnet.

$$X = \tfrac{1}{4} (Q_1 g Q_1^T + Q_1 h Q_2^T + Q_2 i Q_1^T + Q_2 j Q_2^T) \qquad (4)$$

In der Frequenzebene lautet die Formel folgend:

$$F_x = \tfrac{1}{4} (U_1 G U_1^T + U_1 H U_2^T + U_2 I U_1^T + U_2 J U_2^T) \qquad (5)$$

Die Matrizen G,H,I,J sind die Original 8x8 DCT der Bildebene, mit:

$U_1 = M\, Q_1\, M^T$ and $U_2 = M\, Q_2\, M^T$

Ein 4:2:2 Makroblock besteht aus vier Y – Blöcken für die Luminanz sowie zwei U- und zwei V – Blöcke für die Chrominanz. Es werden zuerst die Werte der Luminanz – und dann die Werte der Chrominanzblöcke ausgelesen. Die vier Luminanzblöcke in jedem Makroblock, z.B. Y_{11}, Y_{12}, Y_{13} und Y_{14}, werden gemittelt. Die U- und V-Blöcke werden aus vier quadratisch angeordneten Makroblöcken bearbeitet. Beim 4:2:2 -Format müssen zuerst die beiden U- und V- Blöcke in jedem Makroblock gemittelt werden. Jeder Makroblock besteht aus acht 8 x 8 DCT – Blöcken und enthält die Frequenzwerte aus 16 x 16 Bildpunkten. Ein 720 x 576 Pixel großes Bild wird demnach aus 45 x 36 Makroblöcken zusammengesetzt. Bei den Chrominanzblöcken entstehen jeweils vier Umrechnungsmatrizen für U und nochmals vier für V. Durch Berechnung mittels der spatialen Reduktion ergibt sich ein Makroblock mit den halbierten Auflösungswerten [4]. Es entsteht so aus den vier quadratisch angeordneten 4:2:2 – Blöcken ein 4:2:0 – Block mit den gemittelten Werten in der Frequenzebene (Bild 6).

3.2 Modifikation des mquant-Wertes zur Datenratenreduzierung

Durch die Veränderung der Quantisierungsparameter kann man die Datenrate eines MPEG-Streames verringern, ohne das sich die Qualität des Bildes deutlich verschlechtert. Die einfachste Form der Quantisierungsoptimierung ist das Auslesen der Dateninformation nach der inversen Lauflängencodierung im MPEG-Decoder. Die Daten werden dann für die notwendige

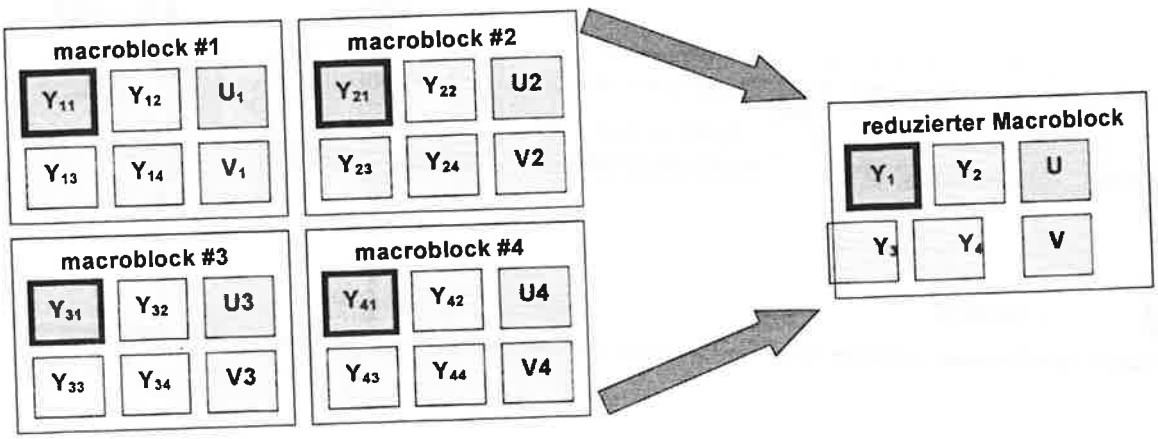


Bild 6 *Makroblockskalierung*

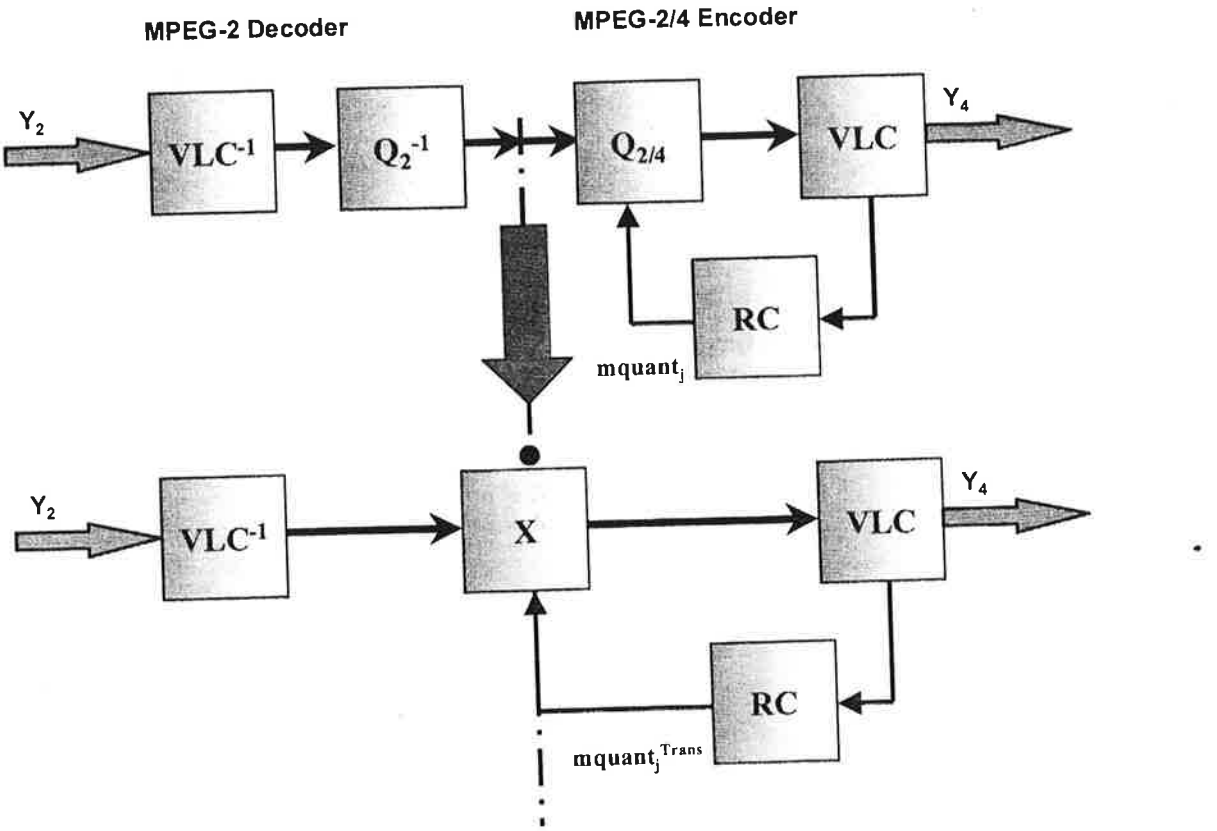


Bild 7 *Neuberechnung und Anpassung des Quantisierungswertes*

Encodierung dem MPEG-Encoder zugeführt. Die DCT-Koeffizienten des Eingangsdatenstoms Y2 sind in den quantisierten Werten m2 enthalten. Diese Werte können durch die inverse Quantisierung Q_2^{-1} wieder rekonstruiert werden.

Zur Ermittlung des Quantisierungswertes m4 im MPEG-Encoder wird für das erste Frame ein fester Wert ermittelt. Mit diesem wird die Veränderung der DCT-Werte und somit die Verringerung der Datenrate neu berechnet:

$$Y4 = m2/m4\ Y2\ . \qquad (6)$$

Hierbei ist die Berechnung der Q_2^{-1} und Q4 durch einen Korrekturfaktor bestimmt:

$$n = m2/m4 \qquad (7)$$

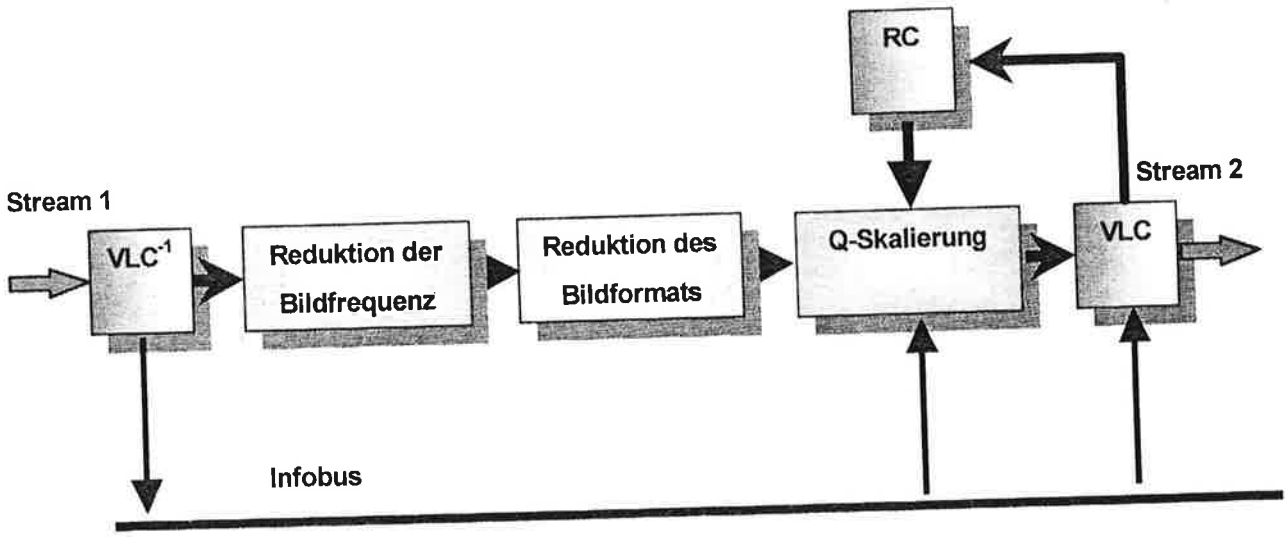


Bild 8 *Frequenztranscoder mit Modulen zur Datenreduzierung*

3.3 Intraframe-Frequenztranscoder mit Modulen zur Datenreduzierung

Im Bild 8 ist der modifizierte Transcoder mit seinen einzelnen Arbeitschritten zur Verringerung der Datenrate zu sehen. Diese Struktur mit den einzelnen Modulen wurde in den MPEG-2 Coder und Decoder der MPEG Simulation Gruppe (TM5) integriert. Zur Integration in das MPEG-4 Format wurde eine Software-Encoder mit dem MPEG-4 Simple Visual Profile verwendet.

- Der Transcoder beinhaltet eine Inverse Variable Lauflängencodierung (VLC^{-1}). Der Datenstrom wird dort einer Umsortierung unterzogen. Aus diesem Modul werden die notwendigen Codierparameter aus dem Eingangsdatenstrom einem Infobus übergeben, da sie für die weitere genaue Berechnung der Sequenz in den Encodermoduln benötigt werden.
- Im zweiten Schritt (Temporal Reduction) wird die GOP-Struktur verändert. Durch die Verringerung der Bildwiederholfrequenz erreicht man eine erste Reduzierung der Datenmenge.
- Die folgende Reduzierung der Datenmenge wird durch eine Verringerung der Bildgrösse (Y/C Reduction) und der Umcodierung des Formats (4:2:2 auf 4:2:0) erreicht.
- Die Veränderung des Quantisierungswertes wird in dem Modul Q-Scaling durchgeführt. Nach der optimierten Quantisierung werden die Bewegungsvektoren wieder eingelesen.
- Die neuen Daten werden in eine Variablen Lauflängencodierung (VLC) eingelesen und einer Umsortierung zu einem neuen Datenstrom (Stream2) unterzogen. Gleichzeitig werden die erforderlichen Daten zur Steuerung der Bufferregulierung ausgelesen und der Datenratenregelung (Modul RC) übergeben.

Durch den modularen Aufbau ist es möglich die Transcodierung der MPEG-Datenströme skalierbar anzupassen. Die hat den Vorteil, dass man die Möglichkeit hat, von einem MPEG-2 Datenstrom einen beliebigen Datenstrom mit unterschiedlichen Parameter zu erzeugen. So kann man z.B. einen MPEG-2 zu MPEG-2 Transcoder für einen Uplink eines DVB-Datenstroms einsetzen. Zugleich kann man aus der Transcodertoolbox einen MPEG-2 zu MPEG-4 Transcoder zusammenstellen.

4 Literaturverzeichnis

[1] Hedtke, Schoell:
"MPEG-2 Transcoding from the Production- into the Emission Format",
Conference Proceedings SMPTE Conference Sept. 1999 New York

[2] Pennebaker, Mitchell:
" JPEG Still Images Data Compression Standard"
Van Nostrand Reinhold 1993

[3] Merhav, Bhaskaran:
"A Transform Domain Approach to Spatial Domain Image Scaling"
ICASSP '96 Conference Proceedings

[4] Yin, Wu, Liu:
" Video Transcoding by Reducing Spatial Resolution"
Conference Proceedings ICIP 2000, Vancouver Sept. 2000

[5] Tudor P.N., Werner O.H.:
"Real-time transcoding of MPEG-2 video bit streams"
IBC 97, Amsterdam
Conference Proceedings, 1997.

*)Prof. Dr.-Ing. Rolf Hedke
Studiengang Fernsehtechnik und elektronische Medien
Fachbereich Elektrotechnik
Fachhochschule Wiesbaden

Dipl.-Ing.(FH) Mathias Schnöll
Studiengang Fernsehtechnik und elektronische Medien
Fachbereich Elektrotechnik
Fachhochschule Wiesbaden