

IHS Sociological Series
Working Paper 55
February 2003

Erfolgsfaktoren heterogener Kooperation: Zur Entstehung einer neuartigen Wissenspraxis in einem kombitechnologisch orientierten Projektcluster

Michael Jonas





INSTITUT FÜR HÖHERE STUDIEN
INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES
Vienna

Impressum

Author(s):

Michael Jonas

Title:

Erfolgsfaktoren heterogener Kooperation: Zur Entstehung einer neuartigen Wissenspraxis in einem kombitechnologisch orientierten Projektcluster

ISSN: Unspecified

2003 Institut für Höhere Studien - Institute for Advanced Studies (IHS)

Josefstädter Straße 39, A-1080 Wien

[E-Mail: office@ihs.ac.at](mailto:office@ihs.ac.at)

Web: www.ihs.ac.at

All IHS Working Papers are available online: http://irihs.ihs.ac.at/view/ihs_series/

This paper is available for download without charge at:

<https://irihs.ihs.ac.at/id/eprint/1473/>

**Erfolgsfaktoren heterogener
Kooperation —**
Zur Entstehung einer neuartigen
Wissenspraxis in einem
kombitechnologisch orientierten
Projektcluster

Michael Jonas

**Erfolgsfaktoren heterogener
Kooperation —**
Zur Entstehung einer neuartigen
Wissenspraxis in einem
kombitechnologisch orientierten
Projektcluster

Michael Jonas

Februar 2003

Contact:

Michael Jonas
☎: +43/1/599 91-212
email: jonas@ihs.ac.at

Founded in 1963 by two prominent Austrians living in exile – the sociologist Paul F. Lazarsfeld and the economist Oskar Morgenstern – with the financial support from the Ford Foundation, the Austrian Federal Ministry of Education, and the City of Vienna, the Institute for Advanced Studies (IHS) is the first institution for postgraduate education and research in economics and the social sciences in Austria. The **Sociological Series** presents research done at the Department of Sociology and aims to share “work in progress” in a timely way before formal publication. As usual, authors bear full responsibility for the content of their contributions.

Das Institut für Höhere Studien (IHS) wurde im Jahr 1963 von zwei prominenten Exilösterreichern – dem Soziologen Paul F. Lazarsfeld und dem Ökonomen Oskar Morgenstern – mit Hilfe der Ford-Stiftung, des Österreichischen Bundesministeriums für Unterricht und der Stadt Wien gegründet und ist somit die erste nachuniversitäre Lehr- und Forschungsstätte für die Sozial- und Wirtschaftswissenschaften in Österreich. Die **Reihe Soziologie** bietet Einblick in die Forschungsarbeit der Abteilung für Soziologie und verfolgt das Ziel, abteilungsinterne Diskussionsbeiträge einer breiteren fachinternen Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Die inhaltliche Verantwortung für die veröffentlichten Beiträge liegt bei den Autoren und Autorinnen.

Abstract

How do heterogeneous actors in R&D-projects organise their cooperation? Which success factors are important? On the basis of a three-year's empirical qualitative investigation of three R&D-projects those questions are answered in this paper. Since 1992 the German Research Ministry funded three different R&D-projects in the field of micro-system technology in its Innovation Support Programs. In the projects under study a changing group of heterogeneous actors from different institutional and organisational backgrounds such as large enterprises, SMEs, universities and Fraunhofer-institutes cooperated under the coordination of one private R&D-department. The development and realisation of common project demonstrators and the cooperation culture, which finally emerged from these projects, can be called the rise of a new 'practice of knowledge'. This practice of knowledge originates from the connection and transformation of the partner's different disciplinarian and organisational working methods and knowledge stocks.

Zusammenfassung

Auf der Basis einer empirischen Untersuchung von drei aneinander anschließenden F&E-Projekten aus den bundesdeutschen Förderprogrammen zur ‚Mikrosystemtechnik‘ wird den Fragen nachgegangen, wie die involvierten Akteure ihre Kooperationsbeziehungen organisieren und welche Erfolgsfaktoren der Zusammenarbeit bestimmt werden können. Anhand der Veränderungsprozesse vor allem in der Entwicklung und Realisierung gemeinsamer Projektdemonstratoren lässt sich aufzeigen, dass die Emergenz einer neuen Entwurfs- und Fertigungsweise zentral von wechselseitigen Austausch- und Lernprozessen der Akteure abhängig ist, die aus ganz unterschiedlichen Kontexten (Großunternehmen, KMU, Universitäten, Fraunhofer-Instituten) entstammen. Im vorliegenden Fall kann beobachtet werden, wie eine neuartige ‚Wissenspraxis‘ entsteht, die auf der Verknüpfung und Transformation unterschiedlicher disziplinärer sowie organisationaler Arbeitsweisen und Wissensbestände basiert und sich in einer spezifischen handlungswirksamen Vorgehensweise im Kooperationsalltag der Akteure nieder schlägt.

Keywords

Evaluation of R&D-projects, heterogeneous cooperation, knowledge, project cluster

Schlagwörter

Evaluation von F&E-Projekten, heterogene Kooperation, Wissen, Projektcluster

Bemerkungen

Die Studie ist ein Beitrag im Rahmen des DFG-Projektes ‚Technologieentwicklung und Wandel organisationaler und institutioneller Strukturen‘, das am Lehrstuhl Technik & Gesellschaft der Universität Dortmund von 1999 bis 2002 durchgeführt worden ist (DFG Az.: Hi 747/1-1). In dem Projekt haben desweiteren Gerd Bender, Hartmut Hrsch-Kreinsen und Horst Steg gearbeitet. Für konstruktive Kritik bedanke ich mich vor allem bei Horst Steg und Rainer Heinstein.

Contents

1. Einleitung	5
2. Das Feld der Hochfrequenztechnik	7
3. Entwicklung kunststoffbasierter Richtfunkssysteme: Vom Nachweis der Machbarkeit zur integrierten Systementwicklung	10
4. Zur Konfrontation heterogener Wissensbestände in der Projektarbeit	15
4.1 Grenzen des Wissensaustauschs bei der Demonstratorentwicklung im Projekt P2.....	16
4.1.1 Primat der konventionellen HF-Entwurfsweise in P2	16
4.1.2 „Pre-Production Tuning“ als konstruktive Lösung für den Diplexer	18
4.1.3 Stablisierende Strukturen und Komponentenzzerlegung als Lösungswege im Fall der Antenneneinheit.....	19
4.1.4 Erfolg und daraus resultierende Problemstellungen.....	22
4.2 Wandel der Entwurfsweise im P3.....	23
5. Erfolgsfaktoren der heterogenen Kooperation in Projektclustern	27
6. Auf dem Weg zu einer neuartigen Wissenspraxis	31
Literatur	33

1. Einleitung

Seit einigen Jahren wird in unterschiedlichen Disziplinen die Bedeutsamkeit von Kooperationsformen diskutiert, die auf der Zusammenarbeit heterogener Organisationen und Akteure basieren. Zu nennen sind hier etwa die Diskussionen über die Entstehung und die innovationspolitische Relevanz eines ‚New Mode of Knowledge Production‘ (Gibbons *et al.* 1994), einer Wissensinfrastruktur im Sinne des ‚Triple Helix‘-Konzeptes (Etzkowitz & Leydesdorff 2000), einer ‚Trading Zone‘ (Galison 1998) oder spezifischer Wirtschafts-Cluster (Porter 1998) und Innovationsnetzwerke (Weyer 2000). Gerade Kooperationen in Form von temporären Projekten bilden die ‚Trading Zones‘ differierender Geschäftsmodelle, Organisationsphilosophien und Einschätzungen, die in der heterogenen Kooperation vorhanden sind (Grabher 2001). Daran anknüpfend geht es in diesem Beitrag darum, die Kooperationsweise von drei aneinander anschließenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten (F&E-) zu beleuchten, die sich auf ein kombitechnologisches Feld bezieht. Das hat vor allem drei Implikationen:

(1) Erstens lässt sich die Zusammenarbeit in zeitlich und thematisch miteinander verbundenen Einzelprojekten als ‚Projektcluster‘ bezeichnen: Als Cluster wird eine spezifische Kooperationsform dann genannt, wenn zentrale Aspekte der Kooperation durch „linkages between firms and innovation support infrastructures and amongst firms, both large and small“ (Cooke *et al.* 1997: 484) geprägt sind. Cluster können zwar oftmals in einzelnen Regionen verortet werden (Baptista & Swann 1998; Heinze *et al.* 1998; Heidenreich & Krauss 1998; Jonas & Berner 2002), der Regionalbezug ist aber keine notwendige Bedingung (Padmore & Gibson 1998: 627). Im Sinne des Cluster-Konzeptes geht es um die Analyse solcher Austauschbeziehungen, die sowohl auf der horizontalen als auch der vertikalen Ebene angesiedelt sind (Dybe & Kujath 2000). Die Analyse heterogener Kooperationen ist für das Verständnis von Clustern deshalb bedeutsam, weil die Ausprägung und die Qualität der Kooperation als Erfolgsindikatoren für Cluster ins Zentrum gerückt werden. Hierbei geht man davon aus, dass die Kooperation der Partner und Akteure nicht nur auf dem Modus einer (vertrauensvollen) Zusammenarbeit, sondern auch auf dem der Konkurrenz beruht (Padmore & Gibson 1998: 627).

Eine Analyse von Projektclustern beinhaltet zudem weitere Aspekte: Auf der konzeptuellen Ebene wird der Beobachtung Rechnung getragen, dass heterogene Kooperationen zunehmend auf der Ebene von temporär befristeten Einzelprojekten stattfinden. Zum einen rücken damit die Handlungen der relevanten Akteure stärker in den Vordergrund: „The debate on projects as ‚temporary systems‘ with ‚institutionalized termination‘ ... seems to suggest a further shift (or widening) of focus from the inter-firm to the inter-personel level“ (Grabher 2002a: 205). Zum anderen geht es im Fall von Projektclustern darum, dass mehrere Einzelprojekte miteinander von den Akteuren verknüpft werden (sollen). Daraus ergibt sich die Problemstellung, wie und unter welchen Bedingungen die Zusammenarbeit

trotz der jeweiligen Befristung der Einzelprojekte in die Zukunft verlängert werden kann. Gegen die Bedeutsamkeit langfristiger Vertrauensbeziehungen gerichtet, hebt Gernot Grabher desweiteren darauf ab, dass nicht ‚Zusammenarbeit und Konkurrenz‘ sondern ‚Rivalität‘ eine Vielzahl von unterschiedlichen Lösungen (und Lösungswegen) erzeugt; und zwar vor allem im Fall projektbasierter Kooperationen. Diese Rivalität „creates and recombines different ways to organise, interpret, and evaluate the same or similiar ... activities“ (Grabher 2001: 358).

(2) Zweitens handelt es sich bei den hier betrachteten Projekten um *Verbundvorhaben*, die im Rahmen der Mikrosystemtechnik-Förderprogramme des Bundes mit öffentlichen Mitteln unterstützt werden (Sonntag 2000). Öffentlich geförderte Verbundvorhaben stellen eine spezifische Form der Zusammenarbeit dar (Lütz 1993), die sich für die Analyse heterogener Kooperationen geradezu anbieten: In ihnen kooperieren eine bestimmte Anzahl heterogener Partner aus der öffentlichen Forschung und der Privatwirtschaft, um Wissensbestände und Methoden aus unterschiedlichen Disziplinen zusammenzuführen sowie deren Funktionabilität anhand gemeinsam erstellter Demonstratoren nachzuweisen. Solche Demonstratoren fungieren als ‚Eigenlösungen‘ (Kowohl & Krohn 2000), in denen eine disziplinübergreifende Kooperation im Hinblick auf spezifizierte Nutzungskontexte ihren materiellen Niederschlag findet (Schulz-Schaeffer et al. 1997). Die beteiligten Akteure sollen über die Grenzen eines individuellen Interessenaustauschs dazu motiviert werden, eine gemeinsame Problemlösung zu erarbeiten, in der der Verbundnutzen und die individuellen Nutzenkalküle möglichst weitgehend ineinander fallen. Hierbei gilt als gesichert, dass sich eine solche Kooperation nicht von selbst ergibt, sondern in der Regel von den beteiligten Akteuren erst im Projektverlauf erlernt, vertieft und auf eine tragfähige Basis gestellt werden muss. Im Erfolgsfall werden unterschiedliche Wissensformen und Arbeitsweisen aneinander anschlussfähig gemacht, die im Spannungsfeld der akademischen und der privatwirtschaftlichen Forschung und Entwicklung angesiedelt sind. Genauso gravierend und anschlussbedürftig wirken sich aber auch Unterschiede auf die Kooperation aus, die zwischen KMU auf der einen und Großunternehmen auf der anderen Seite bestehen, dann aber auch zwischen Hochschulen und anderen öffentlich geförderten Institutionen (etwa der Fraunhofergesellschaft) existieren. Dabei wirkt es sich als hinderlich auf die Entwicklung einer tragfähigen Kooperation der Akteure aus, dass das Instrument ‚Verbundvorhaben‘ vornehmlich für die Förderung von Einzelprojekten, nicht jedoch für aneinander anschließende F&E-Projekte gedacht und genutzt wird.

(3) Und drittens geht es um F&E-Arbeiten in einem *kombitechnologischen Feld*. Hiermit sind Vorhaben gemeint, die sich durch folgende drei Merkmale auszeichnen: Erstens spielen Informationstechnologien eine große Rolle in ihrem Verlauf. Zweitens werden Technologien und Techniken anvisiert, bei deren Entwicklung eine starke wechselseitige Rückkopplung zwischen Grundlagenforschung und Anwendungsbezug feststellbar ist. Und drittens geht es in der Regel um eine (neuartige) Verknüpfung unterschiedlicher technologischer Wissensbestände. Es spricht viel dafür, dass die innovationspolitische Brisanz derartiger

Projekte gerade in der Verknüpfung neuer mit alt bewährten Wissensbeständen liegt (Jonas et al. 1994; Jonas 2000).

2. Das Feld der Hochfrequenztechnik

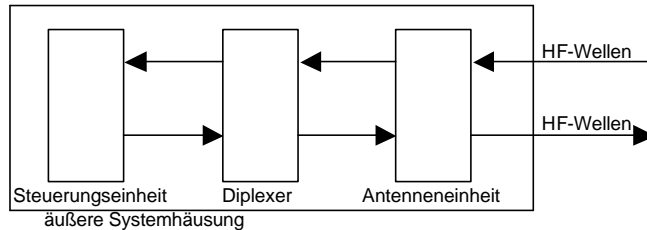
Die Hochfrequenz(HF-)Technik wird unter anderem im Datenverkehr für Richtfunkverbindungen auf der Erde (bei optischer Sichtverbindung) und über Satelliten eingesetzt. Derartige Richtfunksysteme übertragen Daten drahtlos von einer festen Sendestation zu einer anderen vorbestimmten Empfangsstation und erfüllen diese Aufgaben in der Regel auch in der Gegenrichtung. Im Einsatz befindliche Systeme werden beispielsweise dazu genutzt, um in Ballungsgebieten (wie etwa Flughäfen, Messen usw.) mit hohem Mobilkommunikationsaufkommen (über Handys) die Verbindung zwischen den Basisstationen des GSM-Netzes und den Vermittlungsstellen zum Festnetz sicher zu stellen. Die vergleichsweise niedrig-frequenten Signale, die an den Basisstationen eingeht, werden von derartigen Richtfunksystemen in deutlich höhere Frequenzen (etwa 26 GHz) umgesetzt und anschließend an die Vermittlungsstellen gesendet. Auf diese Weise können sehr große Datenmengen gleichzeitig übertragen werden. Da die Wellenlängen in hohen Frequenzbereichen erheblich kürzer sind als in den GSM-Frequenzbändern, die von den Mobilfunk-Endgeräten genutzt werden, und die Größe der Antennen von der Länge der Wellen abhängt, können die Antennen der HF-Systeme zudem relativ klein dimensioniert werden.

Darüber hinaus ist in den letzten Jahren zu beobachten, dass eine Reihe von Unternehmen aus dem Kommunikationssektor Richtfunknetze aufbaut, die im Frequenzbereich zwischen 2,4 Gigahertz und 26 Gigahertz breitbandige Internetzugänge eröffnen sollen. Hierbei werden auch so genannte Point-to-Multipoint Systeme eingesetzt, die nicht nur für die Übertragung der Daten zwischen verschiedenen Basisstationen genutzt werden können (s.o.), sondern die sogenannte letzte Meile zum Verbraucher kostengünstig und erheblich schneller als mit allen bislang bekannten Kabeltechnologien erschließen helfen sollen. Im Gegensatz zu den bislang üblichen Point-to-Point-Lösungen, bei denen jeder Endverbraucher seine eigene Richtfunkstrecke einrichten muss, ist es mit Hilfe der Point-to-Multipoint-Antennen möglich, dass eine Sendeanlage mehrere Kunden bedienen kann. Dadurch soll der Richtfunk vor allem auch für kleinere Unternehmen attraktiv werden, da sich mehrere Firmen eine Anlage teilen können. Als Zulieferer von Netzbetreibern konkurrieren Großunternehmen wie Nokia, Marconi, Alcatel, Erikson, Siemens oder Sony, die nicht einzelne Netzkomponenten, sondern komplette Netzwerke anbieten, zu denen auch derartige Systeme gehören.

HF-Systeme, zumindestens aber die meisten funktionalen Flächen der Systemhäusungen, werden üblicherweise als *Hohlleiter*strukturen entworfen und realisiert. Die Hohlleiterstrukturen

können hierbei – je nach Länge der Hochfrequenzwellen – sehr klein dimensioniert werden. Unter anderem werden auch Hohlleiter auf Grund ihrer großen Leistungskapazität (vgl. *Käs & Pauli* 1991: 46) dort eingesetzt, wo Mikrowellen mit geringen Verlusten in Systemen übertragen werden sollen. Unter einem Hohlleiter versteht man gängiger Weise ein Metallrohr mit gut leitenden Innenwänden, durch die die elektromagnetischen Wellen zusammen gehalten und geführt werden. Diese Wellen “können sich in einem Hohlleiter fortpflanzen, wenn die mechanischen Abmessungen des Hohlleiters mit der Wellenlänge übereinstimmen ... Eine elektromagnetische Welle, die in einen Hohlleiter hineinläuft, wird an einer Begrenzungsfläche des Hohlleiters in einem Winkel umgelenkt und auf die gegenüberliegende Begrenzungsfläche reflektiert, wo wiederum eine Umlenkung (Reflexion) erfolgt.” (*Lobensommer* 1995: 53f.)

Derartige Systeme lassen sich idealtypisch in drei Komponenten aufteilen, nämlich in ein *Steuerungseinheit* (a), einen *Diplexer* (b) und in eine *Antenneneinheit* (c): In der Steuerungseinheit befindet sich die Schaltung und die Steuerungselektronik, mit deren Hilfe die Hochfrequenzsignale verarbeitet – also in einem bestimmten Frequenzbereich empfangen, in einen anderen übersetzt und anschließend wieder abgesendet – werden. Sie wird deshalb auch als aktive Komponente bezeichnet (a). Der Diplexer dient dazu, die beiden hierbei genutzten Frequenzbänder voneinander zu trennen. Die Komponente fungiert also als eine Art Frequenzweiche und verbindet die Steuerungseinheit mit der Antenneneinheit (b). Von der Antenneneinheit wiederum werden die HF-Signale vom Außenraum empfangen und über den Diplexer an die Steuerungseinheit geleitet beziehungsweise ausgehend von dieser an ein anderes Richtfunkssystem abgesendet. Antenneneinheiten bestehen in der Regel aus zwei maßgeblichen Komponenten: der eigentlichen Antenne und einem so genannten Leistungsteiler, der die jeweils empfangenen Wellen gleichmäßig bündelt oder die abgesendeten Wellen gleichmäßig an die eigentliche Antenne ‚verteilt‘ (c) Im Gegensatz zur Steuerungseinheit stellen Diplexer und Antenneneinheit passive Komponenten dar (vgl. Abb. 1).

Abbildung 1: Aufbaukonzept von HF-Kommunikationssystemen

Quelle: in Anlehnung an Scheffer (2002: 5)

Üblicherweise werden – mit Ausnahme der elektronischen Bauelemente und -gruppen – so gut wie alle Komponenten relativ kostenintensiv frästechnisch hergestellt, und zwar durchaus in größeren Stückzahlen. Für abgeschlossene Produktentwicklungen baut man demnach Fertigungslinien auf. Hierbei werden die einzelnen Komponenten mit Hilfe von softwaregesteuerten Maschinen aus Metall, etwa aus Aluminium oder Messing, ausgefräst und vergoldet. Die Einzelkomponenten werden anschließend vor allem mit Schraub- und Lötverbindungen zu einem System integriert. Die hohen Herstellungskosten dieser *konventionellen Entwurfs- und Fertigungsweise* hat man bislang in Kauf genommen, weil sich mit Hilfe des Ausgangsmaterials (Metall) und der Fertigungstechnik (Fräsen) die überaus genauen Konstruktionsanforderungen von HF-Systemen überhaupt nur realisieren lassen.

Das hat mehrere Gründe: Metall kann nicht nur hochexakt bearbeitet werden, sondern stellt auf Grund seiner elektrischen Leitfähigkeit das ideale Ausgangsmaterial dar, um die Wellen weiter zu leiten. Zudem garantieren die Eigenschaften dieses Materials, dass die (Ab-)Wärme, die beim Betrieb der Systeme und hier vor allem der elektronischen Schaltungen entsteht, problemlos an die Umgebung abgegeben werden kann. Die Frästechnik wiederum erlaubt es, fertigungstechnische Anforderungen an die Produkte frühzeitig zu berücksichtigen und auf ihre Funktionsfähigkeit zu überprüfen: HF-Systeme und -komponenten werden schon im Entwurf in der Regel in kleine Subkomponenten zerlegt, die genau berechnet, ausgefräst, vermessen und in mehreren iterativen Schritten optimiert werden, bis die Funktionsanforderungen des Gesamtsystems erfüllt sind. Auch Konstruktionsfehler an einzelnen Subkomponenten, die erst in einem relativ späten Zeitraum einer Produktentwicklung aufgedeckt werden, lassen sich mit Hilfe dieses iterativen Vorgehens relativ einfach und kostengünstig beseitigen, in dem die optimierte Komponente nachträglich in den Serienprototypen eingepasst wird. Zuletzt können mit Hilfe des iterativen Musterbaus auch aufbau- und verbindungstechnische Probleme gelöst werden, die etwa dann entstehen, wenn einzelne Komponenten über Lötverbindungen gefügt werden. Die anfallenden Löt Nähte, die sich mitunter auf die Funktionsfähigkeit der Gesamtlösung

auswirken, können – wie ein Entwurfsspezialist ausführt – “im zweiten oder dritten Schuss” optimiert werden, in dem die Komponenten an den Fügeflächen nachgearbeitet werden.

Alle diese Vorteile sind dafür maßgeblich, dass sich der Entwurf und die Fertigung von HF-Systemen seit Jahrzehnten kaum verändert hat. Ohne Zweifel hat zwar die Entwicklung von CAD-Systemen für den Entwurf wie auch die Verfügbarkeit immer leistungsfähigerer Rechner dazu geführt, dass solche Software in der Entwicklung nicht mehr wegzudenken ist. Grundlegende Veränderungen wurden damit aber nicht angestoßen. Die dominierende Verbindung zwischen Entwurf, Musterbau und frästechnischer Fertigung behauptet ihre Vorrangstellung, solange für die jeweiligen Produkte ausreichend Abnehmer gefunden werden.

Diese Situation stößt jedoch zunehmend an Grenzen. Bedingt wird dies durch die erheblich breiteren Anwendungsmöglichkeiten der HF-Technik vor allem im (zivilen) Kommunikationssektor und durch den Preisverfall der systemzugehörigen elektronischen Komponenten; hier vor allem der Schaltungen. Von den (End-)Kunden werden wesentlich preisgünstigere Produkte verlangt, die sich auf diese Weise kaum mehr entwickeln und herstellen lassen. Die zentrale Problemstellung, die sowohl für den Entwurf als auch für die Fertigung von HF-Systemen zu lösen ist, besteht folgerichtig darin, kostengünstigere Produkte bereitstellen zu können, als dies bislang möglich ist. Der Siegeszug der Kunststofftechnologie in einer Vielzahl von massenmarktauglichen Produkten, wie er seit Anfang der siebziger Jahre zu beobachten ist (vgl. *König* 2000), weist auf eine vielversprechende Möglichkeit hin: Demnach könnte es sinnvoll sein, das bis dato genutzte kostenintensive Packaging, das heißt Häusungs-, Durchführungs- sowie Aufbau- und Verbindungstechnologien (AVT) durch ein *kostengünstiges Packaging für Kunststofflösungen* zu ersetzen.

3. Entwicklung kunststoffbasierter Richtfunksysteme: Vom Nachweis der Machbarkeit zur integrierten Systementwicklung

Genau an dieser Themenstellung setzen drei Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F&E-) an, die seit Anfang der neunziger Jahre unter der Leitung einer Abteilung eines Großunternehmens der Luft- und Raumfahrtindustrie durchgeführt werden¹. Alle drei Projekte werden im Rahmen der Mikrosystemtechnik-Förderprogramme des deutschen Bildungs- und Forschungsministeriums (BMBF) finanziell unterstützt und von einer

¹ Die folgenden Ausführungen basieren auf umfangreichen qualitativen Expertengesprächen vor allem mit den Akteuren dieser drei Vorhaben, aber auch mit Akteuren aus der zuständigen Projektträgerschaft des Bundes. Den InterviewpartnerInnen möchte ich ausdrücklich für die Offenheit und Gesprächsbereitschaft danken.

Projekträgerchaft betreut. Auch wenn sich die inhaltlichen Schwerpunkte der einzelnen Vorhaben stark verändert haben, werden die generellen Fragestellungen bearbeitet, *ob* und *wie* sich ein neuartiges kunststoffbasiertes Packaging von HF-Systemen kostengünstig verwirklichen lässt. Bevor es um die Analyse der Kooperationsweise in den Projekten geht (4.), werfen wir zuerst einen knappen Blick auf die Historie der drei Vorhaben (1), um anschließend kurz auf die technologische Problemstellung und die Schwierigkeiten bei der Partnersuche (2) sowie die projektbezogene Arbeitsteilung zwischen den involvierten Akteuren einzugehen (3).

(1) In den Konsortien kooperieren seit 1992 bis heute unter wechselnden Konstellationen Akteure aus Großunternehmen, KMUs, Hochschulen und einem Fraunhofer-Institut (vgl. Abb. 2). Hierbei setzen sich die drei Projekte P1, P2 und P3 aus relativ großen Konsortien mit jeweils circa 10 Partnern zusammen. Es fällt auf, dass eine Gruppe von vier Partnerorganisationen bei allen drei Projekten ‚mit dabei‘ ist, während andere je nach Bedarf und Möglichkeiten ausgeschieden bzw. neu hinzu gekommen sind. Darüber hinaus entstammen die jeweils bis zu circa 20 Akteure dieser Partnerorganisationen einer Reihe höchst unterschiedlicher Disziplinen wie etwa der Physik, der Chemie, den Ingenieurwissenschaften, der Elektrotechnik bzw. der Nachrichtentechnik und anderen.

Der Förderantrag für das Projekt P1 wird Anfang 1992 bei der zuständigen Projekträgerchaft eingereicht, dort positiv begutachtet und anschließend durch das Ministerium bewilligt. Das Projekt beginnt im September 1992 und wird mit einer Laufzeit von drei Jahren und drei Monaten Ende 1995 abgeschlossen. An dem Verbund mit einer Gesamtkostenhöhe von circa 5 Millionen € nehmen neben dem Konsortialführer neun weitere Partner teil, sieben als Verbundpartner und zwei als Unterauftragnehmer des Systemhauses. Das anvisierte Ziel von P1 besteht laut Abschlussbericht des Vorhabens darin, zuerst einmal „grundlegende Untersuchungen zur Erstellung eines neuen [Packaging-]Konzeptes“ (MWS 1996: 4) durchzuführen; also darin, einen *Machbarkeitsnachweis* zu erbringen.

Abbildung 2: Überblick über zentrale Projektdaten

Projekt	P1	P2	P3
Laufzeit	1992 – 1995	1996 – 1999	1999 – 2002
Gesamtkosten	ca. 5 Mio. €	ca. 7,4 Mio. €	ca. 7,5 Mio. €
Koordination	Systemhaus	Systemhaus	Systemhaus
Partner	10	10	6 + 3 Unteraufträge
davon:			
F&E-Großunternehmen	2	2	2 + 1 Unterauftrag
KMU	5	5	4 (+ 1 Partneraustausch)
Fraunhofer-Institut	-	1	1 (Unterauftrag)
Universitäten	3	2	1 (Unterauftrag)
Konstanz		7 aus P1	4 aus P1 (+ 1 durch Partneraustausch)
Projektziel:			
Nachweis der	Machbarkeit	Systemfähigkeit	integrierten Systementwicklung

Quelle: eigener Entwurf (vgl. Hager & Scheffer 2002)

Die technologische Ausgangsbasis stellen innovative Chiptechnologien wie monolithisch integrierte Mikrowellenschaltungen (MMICs) dar, die von dem Systemhaus Anfang der neunziger Jahre entwickelt und schon in kleinen Stückzahlen hergestellt werden². Da diese Schaltungen die funktionskritischsten Komponenten von HF-Systemen darstellen, konzentrieren sich die Arbeiten darauf, für sie kunststofftechnische Häusungen zu entwickeln und zu realisieren.

Noch während der Laufzeit von P1 geht das Systemhaus daran, ein Konzept für ein Anschlussvorhaben zu entwerfen. In diesem Vorhaben sollen die in P1 abgeschlossenen Arbeiten aufgegriffen und unter veränderten thematischen Schwerpunkten weiter verfolgt werden. Weil man in P1 der Projektträgerschaft überzeugend vermitteln kann, dass kunststoffbasierte Häusungen für derartige Mikrowellenschaltungen prinzipiell machbar sind, ist diese gegenüber einem derartigen Anschlussprojekt offen. Der Kooperationsvertrag des Vorhabens P2 wird Ende 1995 von allen Partnern unterzeichnet. Das Projekt wird von Anfang April 1996 bis Ende März 1999 durchgeführt. Die Gesamtkosten des drei Jahre laufenden Projektes betragen (umgerechnet) circa 7 Millionen €. Sie übertreffen also die von P1 um nahezu 30%. Neben dem Konsortialführer sind von Anfang an zehn weitere Partner an dem Vorhaben beteiligt. In seinem Verlauf werden zwei KMU per Unterauftrag in das Konsortium 'aufgenommen'. In dem Verbund geht man daran, "die *Systemfähigkeit* der im Projekt erarbeiteten Häusungs-, Aufbau- und Verbindungstechniken" (Dasa 2000b: 2-1) nachzuweisen. Man setzt sich also das Ziel, nicht nur die MMICs selbst in eine neuartige Häusung zu integrieren, sondern das kunststoff- und metallisierungstechnische Packaging für den Aufbau kompletter funktionsfähiger Systeme (vgl. Dasa 2000a: 1-2) weiter zu entwickeln und zu nutzen.

Auf der Basis des sehr positiven Verlaufes in der Entwicklung eines Kommunikationssystems in P2 beginnen 1998 erste Gespräche zwischen der Projektträgerschaft und der Konsortialleitung darüber, ob und unter welchen Bedingungen eine Fortführung der öffentlichen Förderung in einem weiteren Anschlussprojekt möglich sein könnte. Aus der Perspektive der Konsortialleitung verfolgt man vor allem das Ziel, mit Hilfe eines derartigen Follow Up-Projektes ein komplettes Redesign des genannten Demonstrators aus P2 vorzunehmen. Es geht demnach darum, auf den noch ausstehenden Ergebnissen von P2 eine 'echte' Systemlösung (vgl. Abb. 1) anzuvisieren, "um hier letztendlich serientauglich zu werden" (Zitat). Der Förderantrag zu P3 wird im Frühjahr 1999 eingereicht. Das Projekt beginnt Anfang Oktober 1999 und wird Ende 2002 abgeschlossen. Die Gesamtkosten betragen circa 7,5 Millionen €, von denen etwa die Hälfte der Mittel von einigen der beteiligten Unternehmen getragen, die andere Hälfte hingegen von der

² Mikrowellenschaltungen gehören zu den Mikrowellen-Halbleiterbauelementen. Das Halbleitersubstrat übernimmt sowohl mechanische als auch elektronische Funktionen. Als Substrat wird in der Regel Galliumarsenid benutzt, das bessere HF-Eigenschaften als Siliciumsubstrate besitzt.

Projekträgerschaft bereit gestellt wird. Neben dem Konsortialführer arbeiten in dem Konsortium neun Partner mit (fünf als Verbundpartner, vier als Unterauftragnehmer). Die Themenschwerpunkte dieses Projektes bilden die Weiterentwicklung der Kunststoff- und Pulverspritzgusstechnik, der Aufbau- und Verbindungstechnik, der Häusungstechnik, der Mikrosystemtechnik und der Designmethoden im Hochfrequenzentwurf zu einer *integrierten Systemtechnik von Kommunikationsmodulen* für Anwendungen im Richtfunkbereich (*Fertigungsnachweis*).

(2) Das Systemhaus, das alle drei Konsortien leitet, steckt seit Ende der achtziger Jahre in einer Krise, die seitdem mal mehr, mal weniger zu umfangreichen Rationalisierungsprozessen führt und erst in jüngster Zeit – bedingt durch die stärkere Nachfrage nach militärischen (und zivilen) Produkten – ‚abzuebben‘ scheint. Auf Grund des Zusammenbruchs der Ostblockstaaten gehen nämlich ab Ende der achtziger Jahre die Aufträge im Hauptgeschäftsfeld des Unternehmens – der Militärtechnik – immer mehr zurück. Deshalb beginnt man ab Anfang der neunziger Jahre, das vorhandene militärtechnische Wissen für massenmarkttaugliche Produktinnovationen etwa im Kommunikationsbereich zu verwenden. Eine kunststofftechnische Abteilung dieses Systemhauses versucht seitdem, mit Hilfe geeigneter Konsortien das unternehmensinterne Know-how im Bereich der Häusung und dem Entwurf hochfrequenztechnischer Systeme für die Entwicklung kunststoffbasierter Häusungen nutzbar zu machen. Hierbei steht man vor der Anforderung, eine Reihe höchst unterschiedlicher Technologien wie die Hochfrequenz-, die Mikrosystem-, die Spritzguss- sowie die Metallisierungstechnologie miteinander zu kombinieren.

Der erhoffte Vorteil der Kunststoffspritzgusstechnologie lässt sich nachweisen, wenn die anvisierten Kunststofflösungen im hohen Maße zuverlässig und mit einem niedrigen Stückpreis gefertigt werden können. „Beides ist nur durch einen rationellen und präzisen Fertigungsprozess zu erreichen.“ (Arburg 1996: 153) Betrachtet man den Prozess der Erzeugung kunststoffbasierter Komponenten, stellt man fest, dass genau die an sich vorteilhafte Verzahnung zwischen Entwurf und Umsetzung, von der zuvor die Rede war (vgl. 2.), nicht mehr möglich bzw. – unter dem Kostenaspekt betrachtet – nicht sinnvoll ist: An die Stelle der frästechnischen Umsetzung treten mit dem Kunststoffspritzguss und der anschließenden Metallisierung der Kunststoffteile *zwei* bislang in diesem Zusammenhang nicht (besonders) genutzte technologische Verfahren. Während in der konventionellen Fertigungsweise die Komponenten gemäß dem Entwurf aus Metallblöcken ausgefräst werden, bedarf es beim Kunststoffspritzguss zudem eines zusätzlichen Zwischenschrittes: Die Komponentenentwürfe müssen zuerst in die Form eines ‚Negativs‘ gebracht werden, welches aus mehreren Metallblöcken ausgefräst und zu einem Spritzgusswerkzeug zusammen gebaut wird. In die hohle ‚Kammer‘ dieser kostenintensiven Werkzeuge (eines kostet zwischen 75.000 und 150.000 €) wird im Fertigungsprozess eine flüssige Kunststoffmasse eingespritzt, die nach einer Abkühlungsphase ausgehärtet ist und als Produktkomponente weiter verarbeitet wird. Denn die anfallenden Spritzlinge sind noch nicht

nutzbar: Sie müssen erst mit unterschiedlichen Materialien (etwa: Kupfer, Nickel, Gold) beschichtet werden (Metallisierung), bevor eine praxistaugliche Weiterleitung der HF-Wellen möglich ist.

Das wissen natürlich auch die Spezialisten aus der kunststofftechnischen Abteilung des Systemhauses. Aus diesem Grund versuchen sie in allen drei Konsortien geeignete Partner aus dem entwurfstechnischen, dem kunststofftechnischen und dem metallisierungstechnischen Bereich zu finden bzw. aufzubauen. Da man auch frästechnisch erzeugte Häusungskomponenten in irgendeiner Weise metallisieren muss, und damit auf bekannte Partner zugreifen kann, hat man hier keine Probleme. In allen Projekten arbeiten neben dem Systemhaus zwei weitere Partner aus dem Metallisierungsbereich mit. Ähnlich sieht es auch im *HF-Entwurf und der AVT* aus: Hier nutzt man einerseits Inhouse-Entwicklungen von anderen Abteilungen. Andererseits können ehemalige Entwurfspezialisten des Systemhauses, die inzwischen an Universitäten Lehrstühle besetzt haben, sowie eine simulationstechnische Arbeitsgruppe eines Fraunhofer-Institutes und – über alle drei Projekte betrachtet – einige kleinere Unternehmen für die Mitarbeit gewonnen werden. Die erforderlichen AVT-Kompetenzen bringt die betreffende Abteilung selbst ein bzw. baut sie während der Vorhaben weiter auf. Da im Fall eines Kunststoff-Packaging die gebräuchlichen Verbindungstechniken der konventionellen Herstellungsweise nicht funktionieren, gilt es parallel zur Entwicklung der Demonstratoren neue Techniken auszutesten. Wie ein AVT-Experte aus P3 ausführt, „fängt das natürlich ganz vorn bei dem Design von den Kunststoffteilen an. Da kann ich nicht erst hinterher in der Fügetechnik überlegen. Sondern ich muss das Design so machen, dass ich hinterher kein Problem mehr mit den Materialeigenschaften habe.“

Schwieriger sieht die Situation im kunststofftechnischen Bereich aus. Obgleich es an derartigen Unternehmen in Deutschland keineswegs fehlt, ist nur eine Handvoll dieser kleinen spritzgusstechnischen Unternehmen in der Lage, aber auch Willens an dieser – aus ihrer Sicht hochexotischen und risikobehafteten – Problemstellung mitzuarbeiten. Dies liegt daran, dass Spritzgussunternehmen zumeist gar keine eigenen Entwicklungsabteilungen vorhalten, primär kurzfristige Produktions- und Absatzstrategien verfolgen und zudem vorwiegend bestimmte Marktsegmente in Low-Tech-Bereichen bedienen. In diesen kommt es aber auf eine hochpräzise Fertigung störungssensibler Strukturen – wie es Hohlleiterstrukturen darstellen – gerade nicht an. Ausschlaggebender Aspekt für eine Kooperationszusage sind für die wenigen hochtechnologisch-orientierten Spritzgussunternehmen zukunftssträchtige Massenmärkte im zivilen Kommunikationssektor, die in absehbarer Zukunft, d.h. in relativ kurzer Zeit eröffnet und erschlossen werden können. Da das Systemhaus diesbezügliche Prognosen nicht garantieren kann, gelingt es in jedem der drei Konsortien nur jeweils *einen* derartigen Partner für die Kooperation zu gewinnen. Immerhin kann man in den ersten beiden Projekten zusätzlich noch ein mittelständisches Unternehmen von der Mitarbeit überzeugen, welches selbst Spritzgussmaschinen herstellt

und damit auch als Vermittler zwischen Systemhaus und Spritzgussunternehmen auftreten kann.

(3) Die anfallenden Probleme einer *disziplinübergreifenden Kooperation* versucht man innerhalb der drei Konsortien dadurch zu mildern, dass die Konsortien jeweils in themenbezogenen Arbeitsgruppen aufgesplittet werden, die von der Abteilung des Systemhauses geleitet werden. In diesen Arbeitsgruppen kooperieren vorwiegend Akteure mit gleichem (oder ähnlichem) disziplinären, aber unterschiedlichem organisatorischen Herkunftskontext. Neben den Arbeitsgruppen im kunststoff- sowie im metallisierungstechnischen Bereich weist jedes Konsortium eine weitere Arbeitsgruppe auf, die sowohl aufbau- und verbindungstechnische als auch entwurfstechnische Aufgabenstellungen verfolgt. Auf diese Weise versucht man, die disziplinübergreifende Kooperation von der interorganisationalen Kooperation zu trennen und vorwiegend in die betreffende Kunststoffabteilung des Systemhauses zu verlegen. Vor allem die Akteure dieser Abteilung sind demnach dafür zuständig, die arbeitsgruppenspezifischen Vorgehensweisen und Ergebnisse aufeinander abzustimmen, also den Entwurf der Komponenten, die spritzgusstechnische Umsetzung, die anschließende Metallisierung sowie die AVT miteinander in Einklang zu bringen.

4. Zur Konfrontation heterogener Wissensbestände in der Projektarbeit

Die Entwicklungsarbeit in den Projekten lässt sich als Prozess beschreiben, in dem die Akteure ihre je eigenen Wissensformen und Vorgehensweisen wechselseitig abgleichen, um zu einer gemeinsamen Problemlösung – dem Demonstrator – zu kommen (vgl. 1.). Das ist keineswegs ein störungsfreier, sondern ein ergebnisoffener Prozess, in dem es darauf ankommt, die eigenen wie die fremden Überlegungen in Frage zu stellen und die eigene Position irritieren zu lassen. Das betonen die Akteure selbst, in dem etwa hervor gehoben wird, dass der Erfolg zumindestens in bestimmten Entwurfsphasen vom Austausch *aller* beteiligten Akteure, das heißt „Hochfrequenzspezialisten, Systemkonstrukteure, Kunststoffverarbeiter und Werkzeugkonstrukteure“ (Görllich 2000: 5-5) – sowie die hier nicht aufgeführten Metallisierer – abhängig ist. Anhand eines Vergleichs der Entwicklung ausgewählter Systemkomponenten der Projekte P2 und P3 wird deshalb den Fragen nachgegangen, wie die Kooperation organisiert ist sowie welche Erfahrungen und Konsequenzen die Akteure aus der Zusammenarbeit in P2 ziehen, die sie im nachfolgenden Projekt umsetzen³.

³ Eine umfassende Analyse der drei Projekte bleibt weiteren Veröffentlichungen vorbehalten.

4.1 Grenzen des Wissensaustauschs bei der Demonstratorentwicklung im Projekt P2

Im ersten Projekt (P1) weist das Konsortium die Fähigkeit nach, die kritischsten Häusungskomponenten – also die Gallium-Arsenid-Schaltungen in der Steuerungskomponente – entwurfs- und fertigungstechnisch in den Griff zu bekommen⁴. Man hat eine Reihe von Erfahrungen gesammelt, auf welche Weise die neuartigen Anforderungen der Spritzgusstechnologie berücksichtigt werden können. Im hier nun thematisierten Projekt P2 geht man unter teilweise neuer Partner-Besetzung daran, *alle* Häusungskomponenten eines HF-Systems spitzgusstechnisch zu entwerfen und zu realisieren. Um die Komplexität der Darstellung zu reduzieren, richtet sich der Fokus im folgenden nur auf einen Teil der Arbeiten; nämlich auf die für die Entwicklung der passiven Sub-Komponenten des Duplexers und der Antenneneinheit (vgl. Abb. 1). Das Vorgehen in P2 lässt sich als iterativer Suchprozess beschreiben, in dem die Partner auf der Basis der Erfahrungen des Systemhauses möglichst viele Aspekte der konventionellen Entwurfs- und Fertigungsweise übernehmen wollen. Wie sich zeigt, stoßen die Akteure hierbei auf eine Reihe neuartiger Probleme, die sie mit Hilfe eines wechselseitigen Konzept- und Erfahrungstransfers lösen möchten.

4.1.1 Primat der konventionellen HF-Entwurfsweise in P2

Die Entwurfsarbeiten werden in der *Arbeitsgruppe 'Hochfrequenztechnik, Aufbau- und Verbindungstechnik, Simulation'* aufgeteilt (vgl. 3.), deren Partner schon im ersten Projekt zusammen gearbeitet haben. Neben der kunststofftechnischen Abteilung des Systemhauses ist ein Universitätslehrstuhl mit dabei, dessen Leitung zuvor im Systemhaus tätig war. Auch die Akteure eines kleinen Software- und Entwurfshauses sowie eine Abteilung eines Fraunhofer-Institutes, die vorher an einer Universität angebunden war, nehmen weiter an den Arbeiten teil (vgl. Abb. 2). Während das kleine Software-Institut für Abschnitte der Entwurfsarbeiten verantwortlich ist, ist das Fraunhofer-Institut dafür zuständig, simulationstechnische Berechnungen zu machen. Von diesen Simulationen erhofft man sich eine erhebliche Zeit- und Kostenreduktion schon "beim konstruktiven Entwurf" (*FhG-IZM 2000: 9-1*), vor allem aber beim Überprüfen und bei der Umsetzung der Höchstfrequenzkomponenten.

Als Arbeitsmittel für den Entwurf der präferierten Hohlleiterstrukturen stehen den HF-Spezialisten eine Reihe von Softwaretools zur Verfügung, mit denen die Komponenten auf der Grundlage der Vorgaben aus dem Systemhaus entwickelt werden. Mit Hilfe der Tools ist es möglich, ausgehend von der physikalischen Struktur einer Komponente Berechnungen

⁴ Auch wenn man die MMICs wegen der Abwärmeproblematik (s. 2.) nicht kunststoff-, sondern metallspritzgusstechnisch kapselt.

anzustellen, die ihre elektrischen Eigenschaften beschreiben und damit Rückschlüsse auf die Entwurfsvorgaben erlauben, also auf mögliche Abänderungen oder auf Fehler im Entwurf hinweisen. Das Besondere an dieser Software besteht darin, dass ihre Entwurfsmethodik sich eng an der konventionellen Entwurfsweise von HF-Systemen orientiert. Sie erlaubt also die kleinschrittige Umsetzung vorgegebener Entwurfparameter einer Häusungskomponente. Die Komponente wird beispielsweise als "dreidimensionale Struktur in kleine quaderförmige Blöcke aufgeteilt" (Kassner & Menzel 2000: 3-5), die sich dann Block für Block sowohl exakt berechnen als auch anschließend überprüfen lässt. Auf diese Weise wird der kleinschrittige Musterbau der konventionellen Entwurfsweise (vgl. 2.) kopiert und zudem optimiert, so dass es möglich ist, auch komplexe Hohlleiterstrukturen am Rechner zu entwerfen.

Mit Hilfe dieser Tools werden die einzelnen Subkomponenten des Demonstrators laut den Vorgaben des Systemhauses entworfen und voroptimiert. Die Entwürfe sind dem Ziel verpflichtet, die Weiterleitung der HF-Wellen sowohl in den Hohlleiterstrukturen der einzelnen (Sub-)Komponenten als auch zwischen den einzelnen Komponenten optimal zu gewährleisten. Da die Wellen an den Hohlleiterwänden nach bestimmten physikalischen Gesetzmäßigkeiten reflektiert werden, wird dieses Ziel aus der Perspektive des Entwurfs dann erreicht, wenn man möglichst *scharfkantige* bzw. *rechtwinklige Hohlleiterstrukturen* nutzt: Deren Eigenschaften sind hinlänglich theoretisch erforscht und in der Praxis nachgewiesen. Wie ein Experte ausführt, lassen sich selbst komplexere Strukturen mit Hilfe der oben genannten Tools relativ einfach entwerfen: „Rechteckige Hohlleiter kann man sehr leicht berechnen. Das weiß man sehr gut. Da gibt es Formeln für und da kann man auch bei etwas komplizierteren Standardkomponenten ... in Büchern nachgucken.“

Nachdem die ersten Feinentwürfe in P2 fertiggestellt sind, werden sie von den Spritzgussexperten überprüft, die sowohl aus dem Systemhaus als auch von den Spritzgusspartnern stammen. Die Abteilung des Systemhauses verfolgt das Ziel, die entwurfstechnischen Vorgaben bei den Spritzgussunternehmen verständlich zu machen, um Änderungswünsche noch rechtzeitig in den Entwurf einspeisen zu können. Es gilt heraus zu bekommen, ob die präferierten Hohlleiterstrukturen spritzgusstechnisch in einer ausreichenden Qualität herstellbar sind. Da man beim Kunststoffspritzgusspartner aus Erfahrung weiß, dass die Spritzlinge beim Abkühlen je nach Bemessung unterschiedlich schrumpfen, sind beispielsweise die Dicken der innen liegenden Hohlleiterwände "konstant zu halten und vorgegeben, um ein gleichmäßiges Schrumpfen des Bauteils zu gewährleisten" (Gessner & Menzel 2000: 3-22). Allerdings erfolgt dieser Schrumpfungsprozess nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten, die sich ex ante nicht exakt berechnen lassen. Deshalb kann man im Entwurf zwar bestimmte, keineswegs aber alle Schrumpfungsvorgänge etwa durch die eben genannte Forderung nach konstant gehaltenen Hohlleiterwänden ausschließen, die die Funktionabilität der Spritzgusskomponenten einschränken. Diese *Wissenslücke* zieht mehrere Konsequenzen nach sich, die sich zum Teil auf die Arbeiten der HF-Experten auswirken, zum Teil aber auch die Konstruktion der

Spritzgusswerkzeuge betreffen, mit denen die Komponenten gefertigt werden sollen. Die auftretenden Probleme sowie daraus resultierende Problemlösungen lassen sich anhand einer Erläuterung der Arbeiten für den Diplexer (4.1.2) und die Komponenten der Antenneneinheit (4.1.3) illustrieren.

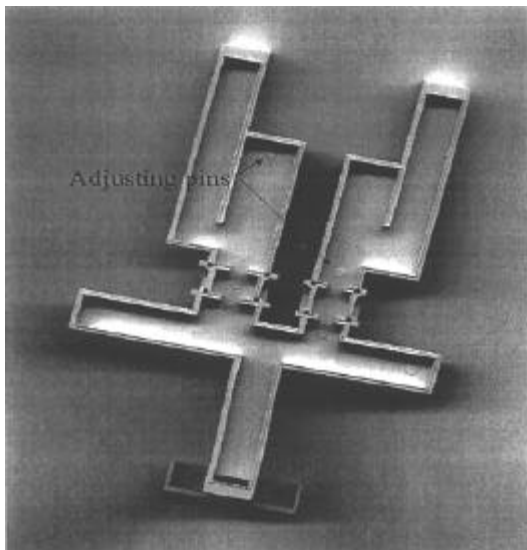
4.1.2 „Pre-Production Tuning“ als konstruktive Lösung für den Diplexer

Auf Grund der Schrumpfungproblematik können die HF-Spezialisten die Funktionstauglichkeit der Entwürfe *nur* abgekoppelt von der kunststofftechnischen Anfertigung der Komponenten überprüfen. Einzelne, nämlich besonders funktionskritische Teilkomponenten wie der Diplexer werden „unabhängig von der Kunststoffspritzgusstechnik messtechnisch“ (Gessner & Menzel 2000: 3-22) wie beim konventionellen Musterbau metallischer Häusungen verifiziert; also aus Aluminiumblöcken ausgefräst, vermessen, montiert und anschließend optimiert. Erst jetzt kann man daran gehen, die Auswirkungen des Schrumpfungsprozesses einzuarbeiten, in dem die HF-Spezialisten die Erfahrungen der Spritzgießer in die Entwürfe hinein modellieren. Dabei zeigt sich, dass es sich nicht um identische Entwürfe handelt. Vielmehr basiert der Kunststoffdiplexer im Vergleich zu seinem Pendant aus Aluminium auf einem deutlich *veränderten* Entwurf (mit anderer, teilweise vergrößerter Bemaßung), um materialbedingte Verformungen, die aus der Nutzung der Spritzgusstechnik resultieren, berücksichtigen zu können. Die HF-Spezialisten erhoffen sich aber, im günstigsten Fall nahezu alle Verformungen antizipieren zu können.

Als nächstes sind demzufolge die Spritzgießer an der Reihe nachzuweisen, dass die veränderten Entwürfe spritzgusstechnisch in ausreichender Qualität realisierbar sind. Problematisch ist hier vor allem, dass der gewählte Kunststoff auch bei sehr hohen Verarbeitungstemperaturen sehr zähflüssig ist und normalerweise nur zur Fertigung vergleichsweise kleiner Teile benutzt wird. Deshalb lassen sich die gewünschten relativ großen und hochkomplexen Teilkomponenten des anvisierten Demonstrators nur schwer spritzen. Nachdem das Spritzgussunternehmen auf der Basis der HF-Entwürfe Werkzeuge angefertigt hat, werden erste Prototypen hergestellt. Deren Funktionstauglichkeit wird anschließend von den HF-Spezialisten überprüft, die ihrerseits das Fraunhofer-Institut einschalten, das die Bauteile ausmisst und (ebenfalls) testet (vgl. *FhG-IZM* 2000: 9-10). Wie sich zeigt, kann der Diplexer „recht erfolgversprechend in Kunststoffspritzgusstechnik gefertigt werden“ (Gessner & Menzel 2000: 3-28). Es gelingt geeignete Werkzeuge zu bauen, mit denen die Subkomponenten – in diesem Fall ein strukturiertes Teil und ein dazu passender Deckel – gespritzt werden. Die Formulierung ‘recht erfolgversprechend’ deutet darauf hin, dass der überarbeitete Entwurf, in den die Erfahrungswerte über den Schrumpfungsprozess eingegangen sind, zu diesem Zeitpunkt noch nicht die Qualität aufweist, die man eigentlich erreichen möchte. Das liegt jedoch nicht am Werkzeug, sondern an dem schon erläuterten Mangel eines ausreichend kodifizierten Wissens über den Schrumpfungsprozess. Damit verschiebt sich das Problem wieder in den Entwurf.

Die dortigen Spezialisten schlagen nun einen Lösungsweg ein, der in der Übertragung eines Optimierungsverfahren mit der Bezeichnung ‚Pre Production Tuning‘ auf die Spritzgusstechnologie besteht (vgl. Hager & Scheffer 2002). Dieses Verfahren wird gängiger Weise bei der Entwicklung und Fertigung frästechnisch erzeugter HF-Komponenten genutzt. Es basiert darauf, dass man in die ausgefräste Komponente nachträglich Abstimmstifte einbringt, mit denen deren HF-technische Eigenschaften optimiert werden. Wird dieses Verfahren auf die Spritzgusstechnik übertragen, muss man die Stifte in das betreffende Werkzeug einbauen, um beim anschließenden Spritzguss die gewünschte Fertigungsgenauigkeit zu erzielen. Das bringt den Vorteil, dass aufwendige und kostenintensive Nacharbeiten am Werkzeug weitgehend vermieden werden. Das iterative Vorgehen der konventionellen Entwurfsweise kann also hier relativ erfolgversprechend adaptiert werden. Bei dem betreffenden Werkzeug für den Diplexer gelingt es auf diese Weise, die *Wissenslücke* zwischen Entwurf und Fertigung zwar nicht zu schließen, aber doch zu *überbrücken* (vgl. Abb. 3) (vgl. Dasa 2000b: 2-26).

Abbildung 3: Diplexerkomponente mit Abstimmstiften (Adjusting pins)



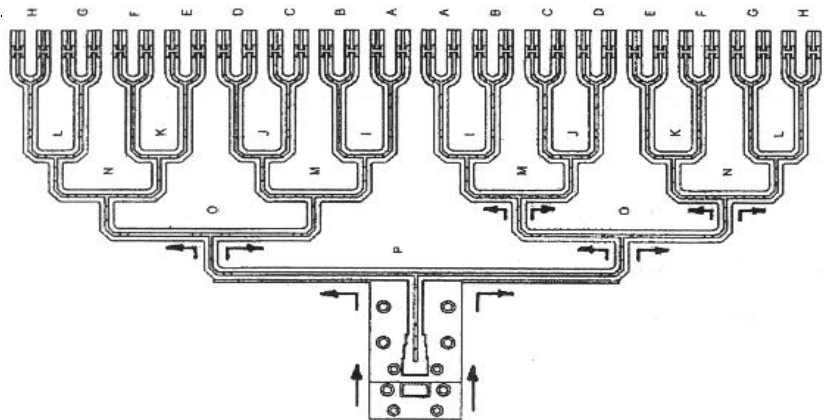
Quelle: Dasa 2000c

4.1.3 Stabilisierende Strukturen und Komponentenerlegung als Lösungswege im Fall der Antenneneinheit

Allerdings kann man die Schrumpfungproblematik, die sich auf Grund der Materialeigenschaften des Kunststoffes ergeben, nicht bei allen Komponenten mit dem Pre Production Tuning lösen, weil sich eine andere Problemstellung ergibt. So müssen die Komponenten der Antenneneinheit viel größer dimensioniert werden als die des Diplexers.

Dies hat zur Folge, dass man sie mit dem genutzten Kunststoff kaum fertigen kann, weil bei zunehmender Komponentengröße es immer schwieriger wird, die Kunststoffmasse schnell genug in die Form einzuspritzen. Die Komplexität der Entwürfe verschärft diese Fertigungsproblematik zusätzlich, so dass sich die Anforderungen an den Werkzeugbau noch erhöhen. Wie das Spritzgussunternehmen ausführt, muss das Werkzeug „durch zusätzliche Formgebung so gestaltet werden, dass der flüssige Kunststoff in die optimalen Fließwege gezwungen wird“ (Görlich 2000: 5-5), ohne die Schrumpfungsprozesse vorhersagen zu können.

Abbildung 4: Hohlleiterstrukturen der Leistungsteilerkomponente und Fließwege beim Spritzguss (in Pfeilrichtung)



Quelle: Görlich (2000: 9)

Auf Anregung der Kunststoffspezialisten werden die Entwürfe zentraler Teilkomponenten der Antenneneinheit (Leistungsteiler und ‚Antenne‘) (vgl. 2.) zudem mit einer Vielzahl stabilisierender Elemente ausgestattet, die vor allem an den verschiedenen Ecken Verformungen verhindern sollen. Zusätzlich werden die Komponentenentwürfe quasi verdoppelt, in dem die hochfrequenzbezogenen Hälften der Komponenten (also die ursprünglichen Entwürfe) als ‚Positiv‘ genommen werden und auf ihrer Rückseite ein – HF-technisch betrachtet – funktionsloses ‚Negativ‘ hinzugefügt wird.

Das Problem, sehr große Komponenten spritzen zu wollen, kann auf diese Weise für eine Teilkomponente der Antenneneinheit – nämlich den Leistungsteiler – gelöst werden. Er hat mit den Maßen von circa 10 cm x 20 cm die schwierigste Form mit zusätzlich den längsten Fließwegen für den flüssigen Kunststoff und besteht – wie der Diplexer – aus einem strukturierten Teil und einem Deckel. Der Kunststoff wird von einer Stelle aus in die Werkzeuge eingespritzt (siehe die unteren Pfeile in der Abb. 4). Da sich der Fließstrom des Kunststoffes in diesem Fall 31 mal teilt, kann der Spritzguss nur unter sehr hohem Druck

(2.300 bar), hoher Temperatur (circa 375°C) und innerhalb kürzester Zeit (nämlich 0,63 Sekunden) gelingen (vgl. *Görlich 2000: 5-4*). Die Quasiverdopplung der hochfrequenztechnischen Strukturen auf der (in Abb. 4 nicht sichtbaren) Rückseite des Leistungsteilerentwurfes bzw. in der Hohlkammer der Werkzeuge ermöglicht es aber, die Komponenten herzustellen.

Eine ähnliche Problematik entsteht auch beim Werkzeugbau für die anderen Komponenten der *Antenneneinheit*, den so genannten Antennenzeilen, welche als unmittelbare Schnittstellen zur Außenwelt des Kommunikationsmoduls fungieren. Diese Zeilen – insgesamt 16 Stück – werden im letzten Drittel der Verbundlaufzeit von P2 von dem Spritzgussunternehmen gefertigt. Aus serienfertigungstechnischen Aspekten wäre es sinnvoll gewesen, die 16 Zeilen möglichst in *einem Stück* (27 cm x 27 cm) zu spritzen. Wie aber im Abschlussbericht eines Partners zu lesen ist, “hat sich herausgestellt, dass es unmöglich ist, die komplette Antennengruppe in einem einzigen Spritzgussprozess herzustellen. Darum ist die Antenne in einzelne Spritzgussteile aufgeteilt.“ (*Baggen et al. 2000: 4-5*; vgl. *Görlich 2000: 5-8*) Der Spritzgusspartner schlägt demzufolge vor, die Antenne in sechzehn gleichgroße Antennenzeilen zu unterteilen, die als Einzelstücke mit den vorhandenen Maschinen gefertigt werden. Bei den Akteuren bleibt allerdings umstritten, ob hierfür prinzipiell technische Gründe verantwortlich sind oder der Umstand, dass das Spritzgussunternehmen – so der betreffende Geschäftsführer – “gar nicht so große Spritzmaschinen [hat], um das Große [die gesamte Antenne] spritzen zu können.”

Schon ab Beginn des Projektes beginnt auch die ‚Metallisierungsgruppe‘ mit den Arbeiten. Hierbei werden unter der gleichen Partnerkonstellation wie in P1 die Arbeiten an den dort schon relevanten Problemstellungen weiter geführt. Diese bestehen einerseits darin, dass die anvisierten Kunststoffkomponenten mit Hilfe der in der konventionellen Fertigungsweise genutzten Verfahren nicht metallisiert werden können. Andererseits sind die existierenden Verfahren der Kunststoffmetallisierung bislang vornehmlich für dekorative Zwecke etwa für Automobilkarosserieteile, Sanitärarmaturen usw. usf. entwickelt worden. Erschwerend kommt hinzu, dass die bis dato genutzten Verfahren zu viele und zudem ökologisch hochbedenkliche Prozessschritte beinhalten, die eine ökonomisch rentable Metallisierung im Fertigungsfall nicht erlauben. Zusätzlich geht man auf die Suche nach geeigneten Metallisierungsmaterialien, die zwar hochfunktional, aber auch kostengünstig sein sollen. Nachdem alle Kunststoffkomponenten gespritzt sind, werden sie von den Metallisierungspartnern mit einer leitfähigen und robusten Oberfläche versehen. Hierbei gilt es zu beachten, dass diese Metallisierung an allen funktionalen Flächen gleichmäßig aufgebracht wird, um eine störungsfreie Weiterleitung der HF-Wellen sicher zu stellen (vgl. *Dasa 2000b: 2-43*)

4.1.4 Erfolg und daraus resultierende Problemstellungen

Trotz der beschriebenen Probleme gelingt es dem Konsortium, unter erheblichen Anstrengungen zum Abschluss des Projektes einen funktionstüchtigen Demonstrator zu erzeugen und der Öffentlichkeit zu präsentieren. Hierbei handelt es sich um ein relativ kleines Kommunikationssystem (circa 30 cm x 30 cm x 5 cm), das an einer Hauswand oder einem Antennenmast montiert werden kann. Wie das Konsortium ausführt, deckt das System „in seiner Anwendbarkeit sowohl Breitbandkommunikationsdienste im Richtfunkbereich als auch Point-to-Multipoint-Anwendungen ab“ (*Dasa 2000a*: 1-3). Zudem zeichnet es sich „durch den erstmaligen Einsatz von Hohlleiterfiltern und Antennen in metallisierter Kunststoffspritzgusstechnik bei einer Frequenz von 28 GHz aus“ (*Dasa 2000a*: 1-3). Dem Konsortium ist es damit zwar gelungen, den *Systemfähigkeitsnachweis* für ein neuartiges kunststoffbasiertes Häusungskonzept zu erbringen. Insbesondere die Übertragung des Pre Production Tuning auf die Spritzgusstechnik hat sich als so erfolgreich erwiesen, dass man nun das Prinzip auch beim Entwurf anderer Komponenten wie der Antenneneinheit nutzen möchte. Allerdings ist man noch lange nicht soweit, ein derartiges System schon in eine fertigungsnahe Entwicklung zu bringen, weil vor allem die Antenneneinheit erhebliche Mängel aufweist.

Das hat bezogen auf die Arbeiten der hier diskutierten Komponenten folgende Gründe: Erstens handelt man sich mit der Antenneneinheit ein unlösbares Fertigungsproblem ein (1). Zweitens führt das Primat der konventionellen Entwurfsweise aus der HF-Technik dazu, eine serientaugliche Metallisierung der Kunststoffkomponenten zu verhindern (2). Und drittens verdeutlichen die realisierten Komponenten des Demonstrators, dass der gewählte Kunststoff sich nicht für eine Fertigung derartiger Systeme eignet (3).

(1) Das Fertigungsproblem besteht vor allem aus einem Montageproblem, denn nach der Metallisierung müssen alle Komponenten gefügt werden. Das ist aber vor dem Hintergrund der 16 Antennenzeilen zu aufwendig, zumal jede Zeile zusätzlich noch mit einer dünnen geschlitzten Alufolie abgedeckt wird, die auf den Kunststoff aufgelötet wird. Mit den zwei Teilen des Leistungsteilers besteht die Antenneneinheit demzufolge aus 34 Einzelteilen. Wie ein Kunststoffexperte ausführt, „muss ich das reduzieren von der Teileanzahl her, von den Fertigungsverfahren, von den Schritten. Das kann so nicht funktionieren“, zumal mit der Alufolie zusätzlich zur Kunststoffkomponenten-Fügetechnik ‚Kleben‘ die Löttechnik hinzu kommt.

(2) In den beiden Konsortien P1 und P2 sind die Arbeiten noch darauf ausgerichtet, die üblicherweise rechteckig und scharfkantig dimensionierten Hohlleiterstrukturen im Packaging von Hochfrequenzsystemen spritzguss- und metallisierungstechnisch in ausreichender Qualität zu realisieren. Was man sich dabei aber einhandelt, sind erhebliche Probleme bei der Metallisierung der Komponenten. Wie sich im Verlauf der Konsortien zeigt, eignen sich komplexe scharfkantige Hohlleiterstrukturen aus Kunststoff gerade nicht, um eine qualitativ

hochwertige Metallisierung im Falle einer Fertigung garantieren zu können. Dieses ‚Problem der scharfen Kanten‘ lässt sich exemplarisch an Hand der HF-Strukturen des Leistungsteilers verdeutlichen (vgl. Abb. 3); es betrifft aber prinzipiell alle Kunststoffkomponenten. An den vielen Ecken und Kanten des Leistungsteilers kann die Metallisierung mit Hilfe der nutzbaren Verfahren erstens nicht gleichmäßig und zweitens nur viel dünner als an den anderen Flächen aufgebracht werden. Als Folge bekommt man es mit Korrosionsproblemen zu tun, die die Nutzbarkeit der Komponenten im Anwendungsfall unmöglich machen.

(3) Zusätzlich gibt es noch materialbedingte Probleme, die die Metallisierung vor allem des Leistungsteilers behindern. Auf Grund des hohen Drucks (s. 4.1.3), mit dem der Kunststoff verarbeitet wird, hat man – so ein Metallisierungsspezialist aus P3 – „sehr starke Spannungen. Das heisst, sie haben hier [an den Ecken der Komponente] Kräfte, die sie in das Spritzgussteil einfrieren.“ Während der Metallisierung werden diese Kräfte „frei in der Form, dass sich irgendwelche Risse oder Spalten bilden“, an denen der Kunststoff nicht beschichtet wird und damit Funktionsstörungen verursacht werden. Verhindern ließe sich das nur, wenn der Leistungsteiler eine andere Form hätte. Wie aber ein Kunststoffexperte des Systemhauses ausführt, der an allen drei Projekten mitarbeitet, hat der Leistungsteiler die in Abb. 3 in etwa ersichtliche Form, „weil ich diesen Kunststoff so verarbeiten muss“.

4.2 Wandel der Entwurfsweise im P3

Da sich die geschilderten Probleme schon während der Akquisition des P3 abzeichnen, beginnt man unter der Federführung des Systemhauses mit dem Umbau des Konsortiums von P2, das in diesem Projekt tätig wird. Der Umbau hat vor allem folgende organisatorische Konsequenzen: Erstens sucht man für P3 die unternehmensinterne Kooperation mit anderen Abteilungen und Profit Centers des Systemhauses im Bereich des HF-Entwurfs zu stärken, da die betreffende kunststofftechnische Abteilung hier zu geringe Eigenkompetenzen bei sich sieht, um einen serientauglichen Entwurf zu erarbeiten. Zudem bleibt das Engagement der betreffenden Abteilung im Systemhaus selbst nicht unangefochten und man überlegt in der Geschäftsleitung, das Projekt zu kippen. Aus diesen Gründen wird ein Entwurfsspezialist aus einem anderen Profit Center für die Mitarbeit gewonnen und in die betreffende Abteilung integriert. Zudem sichert sich die Konsortialführung die Kooperation mit einem universitären Lehrstuhl, dessen Inhaber zuvor in einer führenden Position im Entwurfsbereich des betreffenden Profit Centers tätig gewesen war. Zweitens zieht man sowohl auf Grund der Teilevielfalt des P2-Demonstrators als auch auf Grund der materialbedingten Metallisierungsprobleme die Konsequenz, nunmehr einen anderen Kunststoff zu nutzen, um einen anderen konstruktiven Ansatz wählen zu können. Da Spritzgussunternehmen in der Regel jedoch auf ganz bestimmte Kunststoffe spezialisiert sind und man in P2 gerade deshalb mit dem betreffenden Unternehmen kooperiert hat, benötigt das Konsortium in P3 nicht nur einen anderen Kunststoff, sondern zugleich auch einen neuen Spritzgusspartner.

Um die Forschungslastigkeit der drei Partner im Metallisierungsbereich⁵ auszugleichen, wird drittens ein Metallisierungsunternehmen in das Konsortium aufgenommen, mit dem das Systemhaus parallel zu P2 eine Zulieferbeziehung aufgebaut hat. Denn wie ein Akteur aus dem Systemhaus anmerkt, möchte man nun sicherstellen, das „da ein Verfahren steht, wo das tausendste Teil noch so rauskommt wie das dritte Teil“.

In der Projektarbeit verändern die Akteure auf der Basis der gewonnenen Erfahrungen die Herangehensweisen, mit denen die einzelnen System(sub)komponenten entworfen, gefertigt, metallisiert und gefügt werden: Während in P2 die kunststoff- und metallisierungstechnischen Partner vor allem versuchten, die Vorgaben der Entwurfsspezialisten maßgenau und qualitätsgerecht umzusetzen, adressieren sie in P3 an die Entwurfsspezialisten einen Kriterienkatalog mit genauen Anforderungen, die im HF-Entwurf berücksichtigt und eingearbeitet werden müssen. Da alle Partner zeit- und kostenintensive Rückkopplungsschleifen nach der Fertigstellung der Entwürfe möglichst vermeiden und zudem das Risiko mindern wollen, ein untaugliches Spritzgusswerkzeug anzufertigen, kann dies nur gelingen, wenn der Entwurfsprozess selbst erheblich verändert wird: Ganz im Gegensatz zur konventionellen Entwurfs- und Fertigungsweise müssen alle fertigungsbedingten Optimierungsschritte schon *vor* der Umsetzung der Feinentwürfe berücksichtigt werden. Dies lässt sich – wie der akademische HF-Partner feststellt – jedoch nur durch eine nahezu komplette Simulation aller Systemkomponenten erreichen: „Wir müssen das ganze Teil rechnerisch so in den Griff kriegen, dass wir ganz sicher die ganze Struktur simulieren und festlegen können – mit allen Maßen bis auf ein Hunderstel an jeder Stelle –, so dass es dann komplett gefertigt werden kann.“

Die konstruktiven Probleme vor allem der Antenneneinheit aber auch des Diplexers in P2 können auf der Grundlage dieser Veränderungen von den Akteuren nunmehr im Sinne eines fertigungstechnisch optimierten Ansatzes gelöst werden. Hierzu wählen die Kunststoff- und Metallisierungsexperten einen anderen Kunststoff (1), mit dem sich sowohl das Problem der Komponentenvielfalt (2) als auch das Problem der scharfen Kanten (3) angehen lässt.

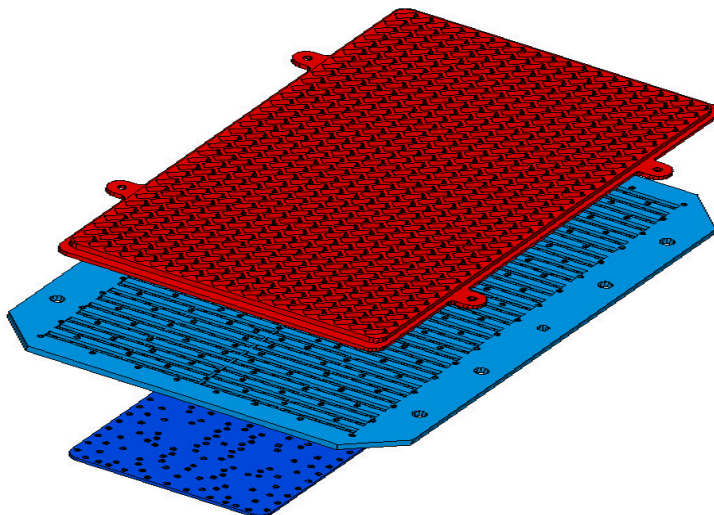
(1) In P3 fällt die Materialentscheidung zugunsten eines Kunststoffes, der zwar eine vergleichsweise schlechtere Nutzungsqualität als der genutzte Kunststoff in P2 aufweist, sich dafür aber leichter verarbeiten lässt und zudem erheblich kostengünstiger ist. Entscheidend für die Auswahl ist, dass nunmehr ein anderer konstruktiver Ansatz gewählt werden kann. Denn wegen der leichteren Verarbeitungsmöglichkeit beim Spritzguss muss nicht mehr mit den Kräften gearbeitet werden, mit denen der flüssige Kunststoff im Vorgängerprojekt in die Werkzeuge gespritzt worden ist und die für die Materialspannungen

⁵ Es handelt sich um F&E-Abteilungen des Systemhauses und eines weiteren Großunternehmens sowie um ein Unternehmen, das Metallisierungsverfahren entwickelt und an Anwender – wie das nunmehr hinzugezogene Metallisierungsunternehmen – verkauft.

vor allem in dem Leistungsteiler sorgte. Auf Grund der viel geringeren Materialkosten „interessiert es zudem nicht, ob der Spritzling schwerer wird“ (Zitat), ob also mehr Material pro Kunststoffkomponente im Fertigungsfall benötigt wird als zuvor.

(2) Auf der Basis dieser Materialentscheidung ist es auch möglich, die Anzahl der Subkomponenten massiv zu reduzieren. Das erlaubt es nicht nur, die Antennenzeilen zu einem Stück zusammen zu fassen. Auf Grund der gesammelten Erfahrungen und der Verstärkung der entwurfstechnischen Kompetenzen wird die Antennenkomponente (Strahlerplatte) so konstruiert, dass sie „zugleich den Deckel für den Leistungsteiler bildet, der unmittelbar angefügt wird“ (Zitat eines Kunststoffexperten). Auch für die montage- und fügetechnisch problematischen Alufolien wird eine Lösung gefunden. Sie werden – wie der betreffende Experte weiter ausführt – als Bestandteil der Strahlerplatte gespritzt, „in der die Schlitze der Alufolie durch 640 kleine Hörner dargestellt sind“. Das ist nicht nur unter dem Aspekt der Teilereduktion vorteilhaft. Nun kann die gesamte Antenneneinheit ‚einfügisch‘, also in einem Schritt gefügt werden. Zudem kann auf die zusätzliche Verbindungstechnik ‚Löten‘ verzichtet werden, so dass alle Subkomponenten der Antenneneinheit nur noch gespritzt, metallisiert und geklebt werden müssen. Zusammenfassend stellt der Experte fest, dass sich dieser fertigungstechnisch optimierte Ansatz innerhalb des Projektes nur realisieren lässt, „wenn ich aus fertigungstechnischer Sicht ganz massiv in das Systemdesign eingreife“ (vgl. Abb. 5).

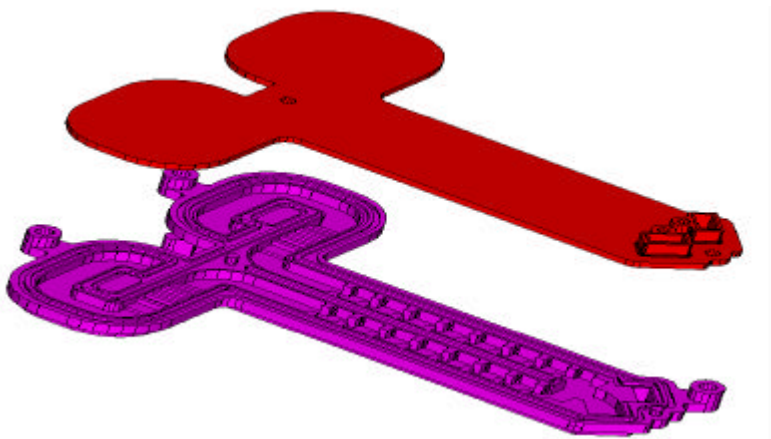
Abbildung 5: Komponenten der Antenneneinheit in P3



Quelle: Stefani (2002); Strahlerplatte (oben); Leistungsteiler (Mitte); Deckplatte: (unten)

(3) Auch das Problem der scharfen Kanten kann einer Lösung zugeführt werden, und zwar nicht vorrangig auf der Grundlage des nunmehr genutzten Kunststoffes, sondern auf den Grundlagen der kompletten rechnerbasierten Simulation der Bauteile sowie der entwurfstechnischen Anforderungen aus dem Spritzguss und der Metallisierung, die sowohl abgerundete Ecken als auch Rundungen in den Komponentenumrissen (vgl. Abb. 6) beinhalten.

Abbildung 6: Rundungen im Systemdesign des Diplexers



Quelle: Scheffer (2002); strukturiertes Teil und Deckel

Laut Vorschlag des akademischen Partners gehen die Entwurfsspezialisten weiterhin so vor, als ob sie Komponenten mit scharfen Kanten, also: ohne Rundungen entwerfen und zwar: bis sie sich an ein optimales Design angenähert haben. Erst wenn sie die Entwürfe im Rechner so weit voran getrieben haben, beginnen sie die Forderungen nach Radien und Rundungen simulationstechnisch zu berücksichtigen. Die Simulation wird also immer mehr verfeinert, „denn diese Rundungen bedeuten, dass man die Struktur noch feiner auflöst in der Darstellung“. Das kostet im ersten Schritt nur Rechenzeit. Die Abrundung scharfer Kanten impliziert also nur kleine Änderungen, nicht aber ein komplettes Redesign. Allerdings ‚rutscht‘ der Entwurf damit aus dem HF-technischen Optimum heraus, so dass er mit Hilfe derjenigen Variablen verändert werden muss, die ihn wieder ins Optimum bringen: „Im Prinzip muss man dann gucken, welche Dimensionen können wir verwenden, um das wieder zurück zu ziehen.“ Zur Auswahl stehen etwa 20 mechanische Größen (Höhe oder Länge der Hohlleiter usw. usw.), die nicht alle gleich wichtig sind und deren Relevanz auf Grund von Berechnungen festgestellt wird. Das ist selbst für einen Experten nicht einfach und erfordert

den Aufbau von Erfahrungswissen: „Dafür entwickelt man aber so nach einem halben Jahr ein Gefühl.“

Mit Hilfe dieser Strategie gelingt es, fertigungstaugliche Komponenten zu entwerfen, die anschließend an den Spritzgusswerkzeugbau weiter gegeben werden. Auf Grund eines Partnerwechsels im Spritzgussbereich werden geeignete Werkzeuge zwar nicht sofort, aber im weiteren Verlauf des Projektes angefertigt. Hier angelangt verlassen wir das Projekt, das zu diesem Zeitpunkt noch andauert⁶.

5. Erfolgsfaktoren der heterogenen Kooperation in Projektclustern

Allerdings erlauben es die bisherigen Ausführungen, Rückschlüsse auf Erfolgsfaktoren heterogener Kooperationen in Projektclustern zu ziehen. Diese beziehen sich auf ein Spektrum von Aspekten, das von der Organisation projektinterner Arbeitsweisen bis zur Frage der Auswirkungen heterogener Kooperationen auf die beteiligten Organisationen reicht:

(1) In welcher Weise heterogene Kooperationen gestaltet werden, stellt sich keineswegs erst ab dem offiziellen Start der einzelnen Projekte heraus. Wie exemplarisch an der Akquisition des P3 ausgeführt, wird sie schon während der Initiierung von der Ideenentwicklung bis zur Partnersuche und der (partnerbezogenen) Festlegung der Arbeitsinhalte vorgeprägt. Hier werden vor dem Hintergrund der jeweiligen Projektzielsetzung Entscheidungen darüber getroffen, welche Disziplinen aus welchen organisatorischen Kontexten zu welchen Fragestellungen wie zusammen arbeiten und Fertigungsbezüge antizipieren sollen. In den hier beobachteten Kooperationen zeigt sich, dass dieser Prozess von einzelnen Akteuren angestoßen (und zumeist dominiert) wird, nämlich denen, die für die ursprüngliche Ideenentwicklung zeichnen, um diese herum ein Konsortium aufbauen und nicht zuletzt für das Gesamtmanagement verantwortlich sind. Im günstigen Fall greifen Konsortialführer auf schon vorher bestehende Kontakte sowie Kooperationen zu, deren Fruchtbarkeit und Qualität sich schon erwiesen hat. Sie integrieren aber gerade auch bislang un- oder kaum bekannte Partner, um fremde sowie neuartige Wissensbestände und Problemlösungsmethoden aufzunehmen. Vor allem der Konsortialführung kommt die Aufgabe zu, geeignete informelle und formelle Regularien und Routinen zu entwickeln und zu implementieren, auf die in der unmittelbaren Kooperation

⁶ Die hier zitierten Expertengespräche wurden bis Mitte 2001 erhoben. Erste Auswertungen wurden den Akteuren des Projektes Ende 2001 auf einem Statusseminar präsentiert (vgl. Jonas 2002). Das hier präsentierte Bildmaterial entstammt aus den Vortragsmaterialien dieser Veranstaltung. Bis Mitte 2003 wurden zusätzliche telefonische Gespräche geführt.

zurückgegriffen werden kann. Ein Beispiel hierfür ist im beobachteten Fall die formale Organisation der Arbeitsprozesse in drei voneinander unabhängigen Arbeitsgruppen, deren Arbeitspakete und Ergebnisse vor allem innerhalb des Systemhauses zusammen geführt und aufeinander abgestimmt werden.

(2) In der unmittelbaren Projektarbeit erweist sich, dass eine disziplinübergreifende Kooperation weit über das reine Verstehen und Erlernen fremder Fachsprachen hinausgeht. Es gilt zwar generell, dass etwa Sachverhalte von unterschiedlichen Disziplinen oftmals auch unterschiedlich beschrieben werden. Dies geht mitunter soweit, dass selbst gemeinsam genutzte Begriffe anders definiert sind und sich die Akteure hierüber erst im Vollzug der Arbeit bewusst werden. Beispiele derartiger Vorgänge haben jedoch eher einen anekdotischen Charakter, um auf die Möglichkeiten sowie die Grenzen disziplinärer Methoden und Verfahren hinzuweisen. Denn diese treten dann zutage, wenn heterogene Wissensbestände in der Weise aufeinander treffen, dass sich Arbeitsergebnisse aus einer Disziplin direkt oder indirekt auf die Arbeitsprozesse und -verfahren anderer beteiligter Disziplinen auswirken. Erst dann nämlich wird deutlich, inwiefern die zu Beginn der Kooperation verabredete Sequenzialisierung von Arbeitsinhalten als auch deren Parallelisierung sowie deren wechselseitige Durchdringung vor dem Hintergrund der gemeinsamen Projektzielsetzung sinnvoll ist. Vor dem Hintergrund des anvisierten Nutzungskontextes wird dann von den beteiligten Akteuren ausgehandelt, welche Wissensformen und Erfahrungen am geeignetsten sind, um die Anwendungsanforderungen zu erfüllen und welche Zugeständnisse hierzu von den einzelnen disziplinär sowie institutionell gebundenen Akteuren gemacht beziehungsweise wie stark von einer bestimmten etablierten Handlungsweise abgerückt werden muss. Im günstigen Fall zielen solche Prozesse auf die genutzten Entwurfsweisen oder Fertigungsverfahren und reichen bei einer intensiven Zusammenarbeit bis auf die Ebene von Materialpräferenzen. Entscheidend für eine intensive disziplinübergreifende Zusammenarbeit ist deshalb, ob und wie derartige Wissensbestände, die aus bestimmten organisatorischen und disziplinären Kontexten stammen, den anderen Akteuren offen gelegt und verständlich gemacht werden. Erst wenn dies gelingt, können Abstimmungen über vorhandene Grenzen hinweg ausgehandelt werden, die sich auf die Herkunftskontexte der einzelnen Akteure auswirken, in dem etwa getroffene Materialentscheidungen in Frage gestellt, etablierte Verfahren modifiziert oder bewährte Entwurfsweisen verändert werden. Im Extremfall zielen die Abstimmungsprozesse darauf ab, dass von den einzelnen Partnern konkrete Anforderungen auf der direkten Arbeitsebene gestellt werden, die von den anderen Partnern vor dem Hintergrund der gemeinsamen Zielsetzung bearbeitet werden. Derartige Anforderungen werden vor allem dann eingelöst, wenn die betroffenen Partner ihre Eigeninteressen nicht aufgeben müssen.

(3) Verbundprojekte bieten die Möglichkeit, eine zeitlich begrenzte Kooperation über disziplinäre Grenzen hinweg auszutesten. Das hat den Vorteil, dass die Kooperation auch wieder beendet wird, ohne dass sich die Partner zu eng aneinander binden. Es hat aber

auch den Nachteil, dass der Wert der Kooperation zumeist erst in den Endphasen der Verbundarbeit für alle Partner ersichtlich wird. Dies liegt einmal daran – das ist hinlänglich bekannt – dass Innovationsprozesse maßgeblich durch Unsicherheit geprägt sind, die mit Hilfe der disziplinübergreifenden Kooperation und der Verknüpfung heterogener Wissensbestände bearbeitet wird. Es kommt jedoch hinzu, dass in derartigen Verbänden erst relativ spät transparent wird, ob die Unsicherheit abgebaut werden kann, in dem anfangs fixierte Aufgabenstellungen abgearbeitet und in Form der Demonstratoren gelöst werden. Ein wesentlicher Indikator einer gelungenen disziplinübergreifenden Kooperation besteht vor diesem Hintergrund darin, ob die oftmals sehr ergeizigen Zielsetzungen, die sich vor allem in der Entwicklung der Demonstratoren niederschlagen, erreicht werden.

(4) An den diskutierten Beispielen zeigt sich, dass eine disziplinübergreifende Abstimmung in den Phasen der Verbundarbeit besonders wichtig ist, in denen die arbeitsteilig gewonnenen Ergebnisse zusammengeführt werden, um das Verbundziel in Form eines funktionsfähigen Demonstrators nachzuweisen. Die hierzu erforderlichen Arbeiten gehören unmittelbar zur Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT). Von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Kooperation ist deshalb, welchen Stellenwert der AVT zugewiesen wird. In Projekten, in denen sie kaum berücksichtigt wird, wird eine disziplinübergreifende Kooperation eher eingegrenzt, als in Projekten, in denen die Integrationsschritte heterogener Wissensbestände auf einen spezifizierten Nutzungskontext hin von Anfang bearbeitet werden. Die AVT erlangt eine Schlüsselstellung, in welchem Ausmaß Fertigungsverfahren und -techniken bei der Entwicklung mikrosystemtechnischer Problemlösungen mitbedacht und deren Restriktionen schon in den Entwurf eingearbeitet werden. Sie erfüllt damit die Funktion einer Schnittstelle, die die artefaktbezogenen Problemlösungen der einzelnen Akteure mit den benötigten Fertigungstechnologien und -verfahren im Hinblick auf die Anforderungen des anvisierten Anwendungskontextes verbindet.

(5) Projektförmige heterogene Kooperationen finden auf der Handlungsebene statt. Von daher ist es nicht erstaunlich, dass die personengebundene Vermittlung von Wissen, die Herausbildung von Vertrauen, Reziprozität oder auch Informalität wichtige Merkmale sind, die die Kooperation prägen. Die anvisierte Problemlösung kann nicht einfach abgerufen werden, sondern wird erst im Projektverlauf erzeugt. Hierzu müssen den Partner aus anderen Disziplinen oder Organisationen implizite Wissensbestände transparent, d.h. expliziert werden, um zu gemeinsamen Problemlösungsstrategien zu gelangen. Und dies kann nur gelingen, wenn sich die Partner schon ab dem Anfang eines Vorhabens mit einem gewissen Vertrauensvorschuss aufeinander zu bewegen, selbst und gerade dann, wenn sie bislang nicht miteinander kooperiert haben. Die reziproke Vermittlung von Wissensbeständen federt die Herausbildung einer vertrauensvollen Kooperation ab, weil sie nicht wie der Markttausch auf eine unmittelbar anschließende und zudem festgelegte Gegenleistung der anderen Partnern fußt. Sie eröffnet einen gewissen Spielraum, wann und mit welchen Informationen die Wissensvermittlung des einen Partners durch die des

anderen abgegolten wird. Da der Kooperationsvertrag vor allem die formale Kooperation der beteiligten Organisationen, nicht aber die tatsächliche direkte Zusammenarbeit der involvierten Akteure auf der Handlungsebene regelt, bekommen informelle Beziehungen zwischen den Akteuren einen wichtigen Stellenwert. Dieser tritt etwa dann zutage, wenn vertraglich nicht festgelegte Zusatzarbeiten, deren Notwendigkeit sich erst im Verlauf der Projekte ergeben, erbracht werden. Zugleich lässt sich beobachten, dass auch marktförmige oder hierarchische Koordinationsmedien ihre Wirksamkeit behalten und so auch unmittelbar auf der Handlungsebene der Projekte wirken. Das betrifft nicht nur die Konkurrenz zwischen unterschiedlichen Problemlösungswegen, die oftmals auf einem machtbasierten Verhältnis der Projektpartner basieren. Sondern dies wird etwa auch dann offensichtlich, wenn die Kooperation selbst oder auch ihre Weiterführung durch marktabhängige Entscheidungen einzelner Partner geprägt wird.

(6) Jede disziplinübergreifende Kooperation erzeugt neue Unsicherheit, indem bestimmte Fragestellungen nicht gelöst werden, aus der Zusammenarbeit entstehen oder gar nur mithilfe anderer Partner angegangen werden können. Ein weiterer wesentlicher Erfolgsindikator disziplinübergreifender Kooperation besteht darin, ob und wie Unsicherheit in der Projektarbeit reproduziert und auch bearbeitet wird. Ersichtlich wird das etwa dann, wenn es einem Teil der Akteure gelingt, gemeinsam neue Vorhaben zu entwickeln und durchzusetzen, indem unter einer veränderten Zielstellung an den gewonnenen Erfahrungen und Kompetenzen angesetzt und angeschlossen wird. Das betrifft einerseits Anschlussvorhaben, in denen weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unter Zuhilfenahme der öffentlichen Förderung vorangetrieben werden. In diesem Fall bedarf es eines intensiven Austauschs innerhalb des Konsortiums, aus dem heraus sich ein neuartiges Projekt bildet. Hier werden um die veränderte Zielstellung herum zumeist auch neue Partner integriert. Zugleich bedarf es der Legitimation der weiteren Kooperation in den Partnerorganisationen selbst, bei der geklärt wird, ob die veränderte thematische Zielsetzung weiterhin in das partnerspezifische Geschäftsfeld passt. Es betrifft andererseits aber auch Anschlussvorhaben, in denen einzelne Akteure des Konsortiums entweder im Alleingang oder in Kooperation mit einzelnen Partnern eine Produktentwicklung in Angriff nehmen, die auf eine rein privatwirtschaftliche Basis gestellt ist.

(7) Neben den Akteuren in den einzelnen Verbundvorhaben kommt auch der Projektträgerschaft des Ministeriums eine zentrale Rolle für die Implementation und Durchführung der F&E-Arbeiten zu, die weit über die (bürokratische) Betreuung der öffentlichen Zuschüsse hinausgeht. Das betrifft nicht nur den Prozess der Initiierung, in dem es darum geht, auf der inhaltlichen und der organisatorischen Ebene über Moderations- und Vermittlungstätigkeiten Einfluss auf die Ausgestaltung der Einzelvorhaben zu nehmen: Diese Einflussnahme reicht im beobachteten Fall von der reinen Partnervermittlung über die Zuspitzung bestimmter Fragestellungen auf der inhaltlichen Ebene bis zur Empfehlung des organisatorischen Rahmens, innerhalb dessen die Kooperation abläuft (Einführung von Arbeitsgruppen). Sondern es betrifft auch wichtige Koordinationsleistungen und

Vermittlungstätigkeiten des verantwortlichen Projektbetreuers, die dieser wahrnehmen kann. Das bezieht sich einerseits auf die Förderung einer stetigen projektinternen Selbstevaluation der Teil- und Endergebnisse (Meilensteine), die in Form von nicht-öffentlichen und öffentlichen ‚Statusseminaren‘ stattfindet. Hier kommt es darauf an, dass in Kooperation mit der Konsortialleitung Ergebnispräsentationen aller Partner vorbereitet werden, die neben Rückschlüssen über den Arbeitsfortschritt auch kritische Punkte enthalten, deren Lösung entweder schon im Vorhinein oder erst im Verlauf der Statusseminare geregelt wird. Vor allem in Konfliktsituationen ist es zudem möglich und sinnvoll, als verbundexterner Akteur einen vermittelnden Einfluss auf alle oder nur auf einige Verbundpartner auszuüben, damit diese das gemeinsam anvisierte Vorhabensziel nicht aus den Augen verlieren. Nicht nur im untersuchten Fall setzt dies allerdings voraus, dass der Vorhabensbetreuer der Projektträgerschaft auf der sachlichen und der sozialen Ebene von den Verbundakteuren anerkannt wird.

(8) Gerade in Projektclustern wird deutlich, dass die disziplinübergreifende Kooperation nicht nur Rückwirkungen auf die Einzelprojekte selbst hat. Auch wenn dieser Aspekt hier nur angedeutet werden kann, wirkt sie sich auch auf die beteiligten Partnerorganisationen aus, in dem in diesen spezifische Infrastrukturen aufgebaut werden, aus denen heraus die Akteure agieren. Diese entstehen etwa aus dem Aufbau von Entwicklungslaboratorien oder Fertigungsverfahren. Hierbei werden von den Partnerorganisationen zumeist auch bislang unberücksichtigte Technologien aufgenommen und implementiert, die für die Projektarbeit benötigt, aber zugleich auch im Rahmen weiterreichender partnerspezifischer Interessen getestet und genutzt werden. In günstigen Fällen werden weitere Entwicklungsprojekte und Innovationsvorhaben initiiert, die sowohl auf die Projektergebnisse aufsetzen als auch einen Ergebnistransfer in die bisherigen Anschlussvorhaben ermöglichen. In diesem Sinne machen sich die Akteure den Umstand zunutze, dass in Projektclustern die Kooperation mehrerer Organisationen über die Laufzeit einzelner zeitlich befristeter Projekte auf Dauer gestellt wird. Und erst dies eröffnet die Chance, dass in den beteiligten Organisationen Infrastrukturen entstehen, auf die in der Zusammenarbeit zugegriffen wird.

6. Auf dem Weg zu einer neuartigen Wissenspraxis

Im beobachteten Fall wird deutlich, dass die Arbeit im Verlauf der Projekte dieses Clusters von der Entwicklung einzelner Komponenten über den Nachweis der Systemfähigkeit bis zur potentiellen Fertigungsreife reichen. Zugleich zeigt sich, dass heterogene Kooperationen in Einzelfällen Arbeitsergebnisse beinhalten, die darüber hinaus reichen: Die Projektcluster-Ergebnisse erlangen ein Potential, mit dem eine neuartige Entwurfs- und Fertigungsweise in bestimmten Produktbereichen ausgetestet sowie der Aufbau bislang unüblicher Fertigungsinfrastrukturen angeregt werden kann. Schaut man sich im sozialwissenschaftlichen Diskurs um, wie gerade dieses Potential konzeptionell gefasst

werden kann, stößt man auf die Beschreibung lokaler ‚communities of practice‘: „These communities of practice serve as a sort of informal training ground for disseminating knowledge that goes far beyond technical competencies“ (Grabher 2002a: 209). In diesen Gemeinschaften überbrücken die Kooperationsbeziehungen die organisationalen Grenzen und verstärken die betreffenden Organisationen zumindestens für die Dauer der Projekte (vgl. Grabher 2002b: 253). Vor allem mit Hilfe der Kommunikation über Projektziele, Meilensteine und Demonstratoren wird Wissen aufgebaut.

Hieran anknüpfend lassen die bisherigen Ausführungen den Schluss zu, dass sich auf der Ebene von Projekt-Clustern emergente Phänomene der heterogenen Kooperation ergeben können, die als ‚*neuartige Wissenspraxis*‘ bezeichnet werden. Damit wird die Verknüpfung unterschiedlicher disziplinärer sowie organisationaler Arbeitsweisen und Wissensbestände aus verschiedenen technologischen Bereichen sowie ihre Transformation zu einer spezifischen handlungswirksamen Vorgehensweise im Arbeitsalltag der Akteure benannt, die zu einer signifikanten Veränderung zuvor üblicher Problemlösungen oder Problemlösungswegen führt. Das verweist einerseits auf die Bedeutung der Kombination von handlungspraktischem und diskursivem Wissen für den Verlauf von Innovationsprozessen (vgl. Jonas 2000). Andererseits wird darauf aufmerksam gemacht, dass eine erfolgreiche heterogene Kooperation zur Entstehung einer Handlungspraxis innerhalb eines Clusters führt, die von Dritten nicht einfach adaptiert werden kann. Dies deshalb, weil sie auf der Veränderung bisher gültiger Handlungsrountinen und Arbeitsweisen beruht, die bislang unabhängig voneinander Geltung gehabt haben. Erst durch eine wechselseitige Verstärkung dieser Veränderungen wird das Potential zu einem Qualitätssprung einer Entwurfs- und Fertigungsweise erzeugt.

Das ist keineswegs ein konfliktfreier Prozess und kann auch mit rivalitätsbedingten Motiven zu tun haben. Wie ein Kunststoffspezialist ausführt, „ist das eben das Thema, was auch Zeit braucht, bis die HF-Leute das auch annehmen und sagen: ‚OK, ich bin nicht der heilige Entwickler und Du musst dann halt hier fertigen‘. Sondern dass man sich wirklich als Team sieht“. Die Lösung derartiger Konflikte basiert wesentlich darauf, über welchen Zeitraum den Akteuren die Möglichkeit eröffnet wird, neuartige Problemlösungen in der heterogenen Kooperation zu entwickeln. Diese Voraussetzung ist jedoch oftmals nicht gegeben, weil es sowohl bei den einzelnen Partnern als auch in der Förderungspraxis der Mikrosystemtechnik-Programme des BMBF im allgemeinen nicht üblich ist, derartige Kooperationen heterogener Akteure über die Laufzeit einzelner Vorhaben zu projektieren und zu bewilligen. Im vorliegenden Projektcluster beruht die Emergenz einer neuartigen Wissenspraxis darauf, dass die bislang etablierte Entwurfs- und Fertigungsweise der HF-Technik an ihre Grenzen stößt und dass innerhalb der Projekte ein alternativer Lösungsansatz demonstriert wird. Insofern kann man hier nurmehr erst die Konturen einer derartigen Wissenspraxis (Jonas 2003) beobachten. Inwiefern die dahinter liegenden Prozesse auf Dauer gestellt werden, wird sich in der Zukunft zeigen.

Literatur

- Arburg 1996, Arburg GmbH & Co-Ergebnisse. in: MWS 1996b, Gemeinsamer Abschlußbericht BMBF-Verbundvorhaben ‚Systemtechnologien für Mikro- und Millimeterwellschaltungen‘. Ulm
- Baggen, Rens, Sybille Holzwarth, Reinhard Kulke, Matthias Rittweger und Winfried Simon 2000, Entwurf integrierter Hohlleiter- und Verbindungstechniken für spritzgegossene Millimeterwellenschaltungen. in: Dasa (Hg.) 2000c, Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht. Ulm
- Baptista, Rui und Peter Swann 1998, Do Firms in Clusters innovate more? *Research Policy*. 27: 525-540
- Cooke, Phillip, Mikel Gomez Uranga und Goio Etxebarria 1997, Regional Innovation Systems: Institutional and Organisational Dimensions. *Research Policy*. 26: 475-491
- Dasa 2000a, Gesamtvorhabensbeschreibung. in: Dasa (Hg.) 2000c, Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht. Ulm
- Dasa 2000b, Schlussbericht des Teilvorhabens ‚Aufbau- und Verbindungstechnik für multifunktionale Mikro- und Millimeterwellen-Module‘ und ‚Hermetische Fügetechniken für Kunststoff- und PIM-Strukturen‘. in: Dasa (Hg.) 2000c, Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht. Ulm
- Dasa (Hg.) 2000c, Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht. Ulm
- Dybe, Georg und Hans Joachim Kujath 2000, Hoffnungsträger Wirtschaftscluster – Unternehmensnetzwerke und regionale Innovationssysteme: Das Beispiel der deutschen Schienenfahrzeugindustrie. Berlin: edition sigma.
- Etzkowitz, Henry und Loet Leydesdorff 2000, The Dynamics of Innovation: from National Systems and ‚Mode 2‘ to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Research Policy*. 29: 109-123
- FhG-IZM 2000, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration Berlin, Abt. Mechanical Reliability and Micro Materials. in: Dasa (Hg.) 2000c, Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht. Ulm
- Galison, Peter 1998, *Image and Logic*. Chicago: University of Chicago.

- Gibbons, Michael, Camille Limoges, Helga Nowotny, Simon Schwartzman, Peter Scott und Martin Trow 1994, *The new Production of Knowledge*. London: Sage.
- Görlich 2000, Präzisions-Kunststoff-Spritzguß in der Hochfrequenztechnik. in: Dasa (Hg.) 2000c, *Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht*. Ulm
- Grabher, Gernot 2001, *Ecologies of creativity: The Village, the Group, and the heterarchic organisation of the British advertising industry*. *Environment and Planning A*. 33: 351-374
- Grabher, Gernot 2002a, *Cool Projects, Boring Institutions: Temporary Collaboration in Social Context*. *Regional Studies*. 36 (3): 205-214
- Grabher, Gernot 2002b, *The Project Ecology of Advertising: Tasks, Talents and Teams*. *Regional Studies*. 36 (3): 245-262.
- Hager, Wilhelm und Norbert Scheffer 2002, *Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen – Module (4M)*. Infobörse Mikrosystemtechnik. Nr. 26. Teltow
- Heidenreich, Martin und Gerhard Krauss 1998, *The Baden-Württemberg production and innovation regime – Past successes and new challenges*. in: Braczyk, Hans-Joachim, Philip Cooke, Martin Heidenreich (ed.): *Regional Innovation Systems – The role of governance in a globalized world*. London: UCL Press.
- Heinze, Rolf G., Josef Hilbert, Jürgen Nordhause-Janz und Dieter Rehfeld 1998, *Industrial clusters and the governance of change – Lessons from North-Rine Westphalia (NRW)*. in: Braczyk, Hans-Joachim, Philip Cooke, Martin Heidenreich (ed.): *Regional Innovation Systems – The role of governance in a globalized world*. London: UCL Press.
- Jonas, Michael 2000, *Brücken zum Elfenbeinturm – Mechanismen des Wissens- und Technologietransfers aus Hochschulen*. Berlin: edition sigma
- Jonas, Michael 2002, *Zur Entstehung einer neuartigen Wissenspraxis*. in: EADS (Hg.): *Statusseminar 22./23.11.2001, Berlin – Präsentationen, Ulm. [CD-Version]*
- Jonas, Michael 2003, *Konturen einer Wissenspraxis – Zur Kooperationsweise in einem kombitechnologisch orientierten Projektcluster*. in: Strübing, Jörg, Ingo Schulz-Schaeffer, Martin Meister und Jochen Gläser (Hg.): *Kooperation im Niemandsland – Neue Perspektiven auf Zusammenarbeit in Wissenschaft und Technik*. Opladen (im Erscheinen)

- Jonas, Michael und Marion Berner 2002, Allheilmittel gegen Arbeitslosigkeit? – Clusterbildung in der Mikrosystemtechnik im Raum Dortmund. S. 179-199, in: Jonas Michael, Sabine U. Nover und Ursula Schumm-Garling (Hg.): Brennpunkt ‚Arbeit‘ – Initiativen für eine Zukunft der Arbeit. Münster: Westfälisches Dampfboot.
- Jonas, Michael, Thomas Malsch und Ingo Schulz-Schaeffer 1994, Kombitechnologien und die Bedeutung anwendungsbezogener Innovationsstrategien. S. 93-114, in: Fricke, Else (Hg.): Zur Zukunftsorientierung von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern. Forum Humane Technikgestaltung. Heft 12. Schriftenreihe der Friedrich Ebert Stiftung. Bonn
- Käs, Günter und Peter Pauli 1991: Mikrowellentechnik – Grundlagen, Anwendung, Messtechnik. München: Franzis.
- Kassner, Jürgen und Wolfgang Menzel 2000, Berichtsteil der Universität Ulm, Abteilung Mikrowellentechnik. in: Dasa (Hg.) 2000c, Multifunktionale Mikrowellen- und Millimeterwellen-Module – Schlußbericht. Ulm
- König, Wolfgang 2000, Geschichte der Konsumgesellschaft. Stuttgart: Franz Steiner.
- Kowohl, Uli und Wolfgang Krohn 2000, Innovation und Vernetzung – Die Konzeption der innovationsnetzwerke. S. 135-160, in: Weyer, Johannes (Hg.) 2000, Soziale Netzwerke – Konzepte und Methoden der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung. München: R. Oldenbourg.
- Lobensommer, Hans 1995, Handbuch der modernen Funktechnik: Prinzipien, Technik, Systeme und praktische Anwendungen. Poing: Franzis.
- Lütz, Susanne 1993, Die Steuerung industrieller Forschungsk Kooperation – Funktionsweise und Erfolgsbedingungen des staatlichen Förderinstrumentes Verbundforschung. Frankfurt a. M.: Campus.
- MWS 1996a, Einleitung und Problemstellung. in: MWS 1996b, Gemeinsamer Abschlußbericht BMBF-Verbundvorhaben ‚Systemtechnologien für Mikro- und Millimeterwellschaltungen‘. Ulm
- Padmore, Tim und Hervey Gibson 1998, Modelling Systems of Innovation: II. A Framework for industrial Cluster Analysis in Regions. Research Poliy. 26: 625-641
- Porter, Michael 1998, Clusters and the New Economy of Competition. Harvard Business Review. November-Dezember 1998: 77-90

Scheffer, Norbert 2002, Überblick zu adaptiven Point to Multi-Point Kommunikationsmodulen, in: EADS (Hg.): Statusseminar 22./23.11.2001, Berlin – Präsentationen, Ulm. [CD-Version]

Schulz-Schaeffer, Ingo, Michael Jonas und Thomas Malsch 1997, Innovation reziprok – Intermediäre Kooperation zwischen akademischer Forschung und Industrie – Ein Innovationssoziologischer Ansatz. S. 91-124, in: Rammert, Werner und Gotthard Bechmann (Hg.): Innovation – Prozesse, Produkte, Politik. Technik und Gesellschaft Jahrbuch 9. Frankfurt a. M.: Campus.

Sonntag, Phillip 2000, Mikrosystemtechnik 1994-1999. Jahresbericht 1999. Teltow

Stefani, U. 2002, Adaptive Point to Multi-Pint Kommunikationsmodule – Fügetechnik für Hochfrequenzstrukturen, in: EADS (Hg.): Statusseminar 22./23.11.2001, Berlin – Präsentationen, Ulm. [CD-Version]

Weyer, Johannes (Hg.) 2000, Soziale Netzwerke – Konzepte und Methoden der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung. München: R. Oldenbourg.

Autor: *Michael Jonas*

Titel: Erfolgsfaktoren heterogener Kooperation – Zur Entstehung einer neuartigen Wissenspraxis in einem kombitechnologisch orientierten Projektcluster

Reihe Soziologie / Sociological Series 55

Editor: Beate Littig

Associate Editor: Gertraud Stadler

ISSN: 1605-8011

© 2002 by the Department of Sociology, Institute for Advanced Studies (IHS),
Stumpergasse 56, A-1060 Vienna • ☎ +43 1 59991-0 • Fax +43 1 59991-555 • <http://www.ihs.ac.at>
