

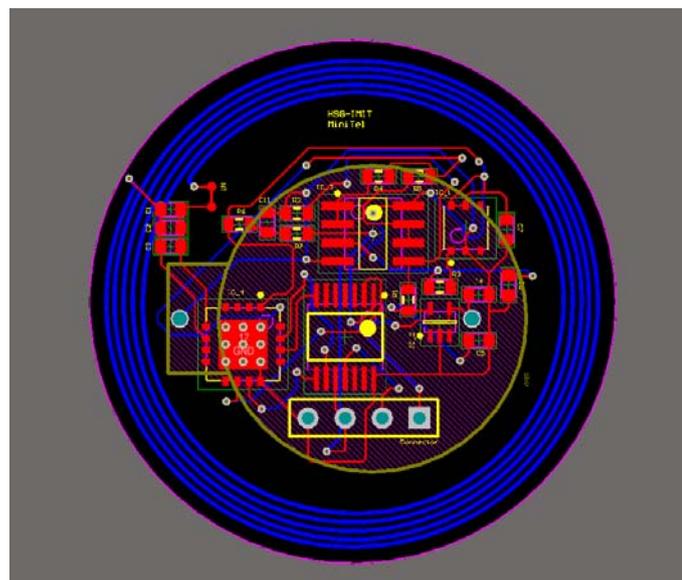
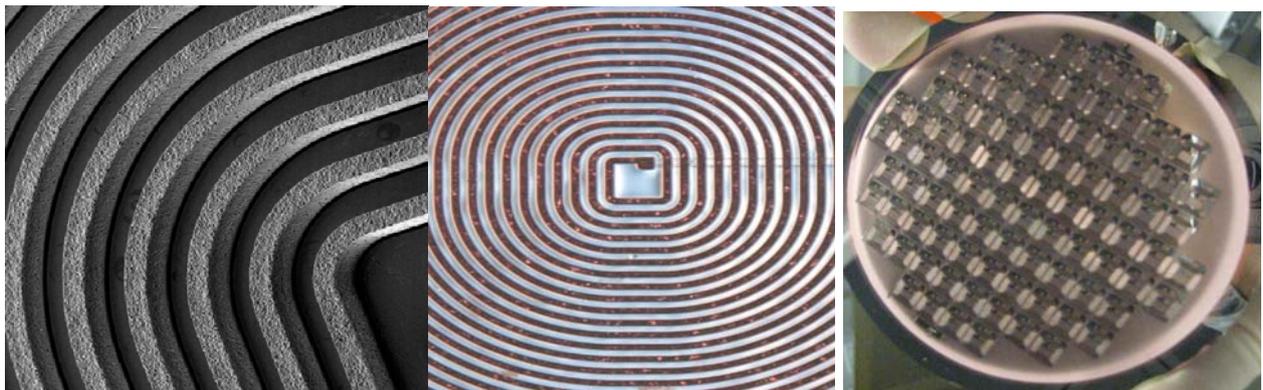
Wir fördern Europa.

Schlussbericht

für das Projekt Nr. 115

**„Entwicklung, Evaluierung und Umsetzung eines miniaturisierten
Hybridsystems für telemetrische Datenübertragung“**

im Rahmen des Interreg IV-Programms Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein



I. Allgemeine Angaben

Füllen Sie hier bitte jeweils die Formularfelder aus. Wechseln Sie anschließend in die Seitenansicht, damit die eingegebenen Daten in die Kopfleiste übernommen werden.

Projektnummer und -titel

Projekt Nr. 115

Entwicklung, Evaluierung und Umsetzung eines miniaturisierten Hybridsystems für telemetrische Datenübertragung MiniTel

Projektkoordinator

Dietmar Schuhmacher

Institut für Mikro- und Informationstechnik der Hahn-Schickard-Gesellschaft e.V. (HSG-IMIT),

Wilhelm-Schickard-Straße 10

D-78052 Villingen-Schwenningen

Projektpartner *(kurze Liste mit Bezeichnung und Herkunftsland der beteiligten Partner)*

Prof. Dr. Johannes Edlinger

Fachhochschule Vorarlberg GmbH

Achstrasse 1

A-6850 Dornbirn

Projektlaufzeit *(TT.MM.YYYY - TT.MM.YYYY)*

01.01.2009 – 31.12.2011

Anlagenverzeichnis *(für zusätzlich beigelegte Dokumente)*

Anlage 1 zum Schlussbericht

Anhang (Bilder zum Abschlussbericht MiniTel)

II. Inhaltlicher Schlussbericht

Sie können Ihren Bericht direkt im entsprechend markierten Bereich auf den folgenden Seiten verfassen. Dieser Abschnitt ist zur Bearbeitung freigegeben. Bitte achten Sie darauf, den Text auf etwa 5 Seiten zu beschränken. Zur Veranschaulichung können dem Bericht Fotos, Grafiken oder ähnliches beigefügt werden.

II.1 Projektbeschreibung

Stellen Sie einleitend zunächst kurz das Projekt vor und beschreiben Sie die Ziele und Inhalte.

Am Beispiel u.g. Funktionsmuster eines technischen Produkts wurde ein modellhafter grenzüberschreitender Wirtschaftscluster gebildet. Dieser umfasst Forschungseinrichtungen und Industriefirmen innerhalb des Interreg-IV-Programmgebiets und arbeitet gemäß der 4 Beurteilungskriterien zusammen: Gemeinsame Ausarbeitung, gemeinsame Durchführung, gemeinsames Personal und gemeinsame Finanzierung.

Das inhaltlich technisch orientierte Projekt „MiniTel“ fördert im Rahmen grenzüberschreitender Zusammenarbeit und internationaler Nutzung von Infrastruktur einerseits Humankapital, d.h. durch Ausbildung und Wissenstransfer zur Industrie, andererseits Innovation durch Herstellung technischer Demonstratoren und Funktionsmuster. Dies umfasst auch die Umsetzung in eine fachmännisch definierte Prozesskette einschließlich ihrer Abbildung in das Qualitätsmanagement im Rahmen normenorientierter Dokumentation.

Hinzu kommt, dass das Programmgebiet – mit Ausnahme des Raumes um Zürich - überregional hauptsächlich unter dem touristischen Aspekt bekannt ist, aber weniger als Ort technischer Innovation. Somit trägt „MiniTel“ auch zur Bekanntheit in industrieller Hinsicht bei. Bzgl. des Humankapitals geschieht dies durch Austausch von Fachkräften und Wissenschaftlern. Bzgl. des Funktionsmusters wird eine innovative Produktplattform unter Erweiterung der Technologiebasis gebildet, bis hin zu einer grenzüberschreitenden, virtuellen Datenbank via Internet.

Technisch sind die Funktionsmuster eine Reihe verschiedener miniaturisierter Sensorsysteme mit telemetrischer Datenübertragung. Unter den zahlreichen Varianten physikalischer Signalwandlung wurden sensitive LC-Kreise mit zusätzlicher Beschaltung ausgewählt, die als Teil eines RFID-Transpondersystems Daten erfassen und drahtlos an eine äußere Signalverarbeitungsinfrastruktur weitergeben.

Anwendungen befinden sich in Medizintechnik, Logistik, Überwachung Regelung wichtiger Systemkomponenten sowie in Identifikationssystemen aller Art, in denen drahtlose Übertragungstrecken gegenüber kabelgebundenen Varianten bevorzugt werden. Durch konsequente Anwendung hybrider Aufbautechnik und Ausschöpfen der Möglichkeiten zur mikrosystemtechnischen Miniaturisierung wurden wesentliche Voraussetzungen geschaffen, rasch und flexibel marktspezifische Ausführungsformen – auch in mittleren Stückzahlen – zu realisieren.

Ziele zusammengefasst

- Aufbau eines Kooperationsverbundes aus Forschungseinrichtungen und Industriefirmen mit der Aufgabe der Bewertung der Projektergebnisse hinsichtlich ihrer industriellen Verwertbarkeit. Der Kooperationsverbund ist die Keimzelle für einen autonomen Wirtschaftscluster, der nach der Projektbeendigung die Nachhaltigkeit der erzielten Ergebnisse sicherstellt.
- Evaluierung der technischen Machbarkeit des Produktkonzeptes anhand der Entwicklung von Demonstratoren und Funktionsmustern.

Technologieentwicklung Detail

- Definition von marktspezifischen Ausführungsformen der Produktdemonstratoren .
- Erweiterung der Technologiebasis, um eine erhebliche Steigerung des Miniaturisierungsgrades zu erreichen.
- Schaffung einer innovativen Produktplattform durch Erweiterung des vorhandenen Transponderdemonstrators mit Sensor- und Transceiverfunktion durch:
 - Verwendung des LC-Kreises als Sensorelement,
 - Aufbau eines Multichip-Hybridsystems aus Sensor + Transponder + LC-Schwingkreis,
 - Prozessstabilisierung durch Auswertung der In-Line-Messdaten,
- Herstellung von Funktionsmustern,
- Abschätzung der Herstellungskosten,
- Normenkonforme Prozessdokumentation (Qualitätsmanagement).

II.2 Gegenüberstellung geplanter und tatsächlich durchgeführter Aktivitäten

Stellen Sie einen Vergleich der nach Projektantrag vorgesehenen und letztendlich innerhalb des Projekts durchgeführten Maßnahmen auf. Gehen Sie insbesondere darauf ein, warum entgegen den Planungen einige Aktivitäten nicht oder eventuell andere zusätzlich durchgeführt wurden. Gab es Probleme bei der Durchführung? Wie haben sich diese auf den weiteren Verlauf ausgewirkt? Gelang die Abwicklung der einzelnen Projektphasen und Meilensteine den Planungen entsprechend oder gab es Abweichungen?

geplante Aktivitäten	umgesetzte Aktivitäten
<p>Meilenstein 1 Konzeptevaluierung, Systemdesign und Berechnung</p>	<p>Alle geplanten Aktivitäten wurden umgesetzt. M1 wurde Ende des Projektmonats 7 abgeschlossen. Leichte Verzögerungen kamen durch die dadurch zustande, dass andere Arbeitspakete wie AP 2.4 und AP 2.5 sowie AP 9 vorzeitig gestartet werden mussten. Geplant war der Abschluss Ende des Projektmonats 6.</p>
<p>Meilenstein 2 Design der Prototypen, Entwicklung von Prozessketten, Prüfung und Verifizierung</p>	<p>Alle geplanten Aktivitäten wurden umgesetzt. M2 wurde am Ende des Projektmonats 2 im 2. Projektjahr abgeschlossen. Geplant war der Abschluss am Ende des Projektmonats 12 im ersten Projektjahr. Grund für die leichte Verzögerung war, dass die Entwicklung der Prozessmodule PZM5 und PZM6 länger gedauert haben als ursprünglich geplant. Auch die Durchführung von AP 1 war mit mehr Aufwand verbunden.</p>
<p>Meilenstein 3 Entwicklung von Prozessmodulen: Antennenchip</p>	<p>Alle geplanten Aktivitäten wurden umgesetzt. M3 konnte nicht wie geplant, am Ende des Projektmonats 18 abgeschlossen werden. Grund hierfür war, dass das Arbeitspaket 8 deutlich länger gedauert hat als ursprünglich geplant, und auch mit mehr Personalaufwand verbunden war. M3 wurde im Projektmonat 20 abgeschlossen</p>
<p>Meilenstein 4 Entwicklung von Prozessmo-</p>	<p>Alle geplanten Aktivitäten wurden umgesetzt. M4 konnte nicht, wie geplant, am Ende des Projektmonats 24 abgeschlos-</p>

dulen AVT	sen werden. Grund dafür war, dass das Arbeitspaket 8 (Kurzbericht D4, Antrag auf Mittelumschichtung vom September 2010) deutlich länger gedauert hat als ursprünglich geplant war, und auch mit mehr Personalaufwand verbunden war.
Meilenstein 5 Technologiedurchlauf Prototypen, Entwicklung Transceiver und Zubehör, Ausbeutestimmung, Kostenabschätzung	Alle geplanten Aktivitäten wurden umgesetzt. Aufgrund der kostenneutralen Projektverlängerung wurde M5 mit 6 monatiger Verzögerung erfolgreich abgeschlossen.

Der geplante Projektabschluss (Meilenstein 5 im Projektmonat 30) war in der vorgesehenen Laufzeit nicht erreichbar. Deswegen wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 6 Monate beantragt.

Durch die kostenneutrale Projektverlängerung konnten die im Projektantrag vorgesehenen Inhalte und Ziele vollständig durchgeführt und mit Erfolg abgeschlossen werden.

Folgend die ausführliche Beschreibung der umgesetzten Aktivitäten.

Meilenstein 1: Konzeptevaluierung, Systemdesign und Berechnung (AP 1 + AP2)

In diesen Arbeitspaketen wurde die Grundlage für die inhaltliche Projektarbeit – eine produktbezogene Technologieentwicklung – gelegt. In dieser Phase wurden zwei Klassen von Prototypen als Ansätze für eine Funktionsmusterentwicklung vorgeschlagen. Die Klasse 1 umfasst Mehrlagenaufbauten aus mikrostrukturierten Polymer- und Metaldünnschichten mit dem LC-Kreis, bestehend aus einer Spule und einem Dünnschichtkondensator als Sensorelement. Die Klasse 2 umfasst Hybridsysteme, die aus diskreten Funktionselementen aufgebaut sind. In AP 1 – AP 3 wurden die Ansätze in Abstimmung mit den Industriepartnern evaluiert und konkretisiert. Aufgrund der verfügbaren Daten wurden die LCR-Parameter ermittelt und Grobentwürfe erstellt. Aus der Klasse 1 wurden die Prototypen 1 und 3 für weitere Projektarbeit ausgewählt. Bei Prototyp 1 wurden aus verfügbarem Material mehrere Muster aufgebaut, verkapselt und eingefasst (Bild 1 und 2). Bild 3 und Bild 4 zeigen den Entwurf von Prototyp 3. Die Realisierung dieses Prototyps erfordert eine relativ umfangreiche Prozessentwicklung. Der für die Klasse 2 dargestellte Ansatz wurde durch einen neuartigen Transponderchip konkretisiert. Die Auswahl des Transponderchips ist für den Aufbau des Multichip-Hybridsystems von entscheidender Bedeutung. Die herkömmlichen (marktüblichen) RFID-Chips, die durch einen etablierten Massenhersteller in der Halbleiterfertigung produziert werden, sind speziell für Anwendungen bei Identifikationssystemen vorgesehen. Die Möglichkeit der Authentifizierung durch eine kryptographische Datenverarbeitung steht im Vordergrund. Das Kernelement in diesen Transponderchips (E2PROM) steht hauptsächlich zur Aufnahme und Speicherung der verschlüsselten Daten zur Verfügung. Diese IC-Typen sind daher für die Realisierung eines hybriden Mikrosystems mit Sensorfunktion und telemetrischer Datenübertragung nicht geeignet.

Ausgehend von dem umfangreichen Datenmaterial über den IDS-Chip sowie dem in Abstimmung mit den Industriepartnern erarbeiteten Anwendungsprofil wurden zwei Entwürfe für die Realisierung eines Multichip-Hybridsystems entwickelt. Bei der MiniTherm-Gruppe wird zunächst der interne T-Sensor des IDS-Chips im

- passiven Mode (MiniTherm 0, Bild 5)
- semiaktiven Mode (MiniTherm 1, Bild 6) eingesetzt.

Aufgrund der hierbei gewonnenen Erfahrungen wird anschließend eine Weiterentwicklung der Prototypen mit

- Planarspule,
- IDS-Chip und
- externer Sensoreinheit untersucht.

Ein wichtiges Instrument zur Reduzierung der aufwendigen Technologiedurchläufe ist die FEM-Simulation der telemetrischen Datenübertragung über die induktive Kopplung.

Es wurde intensiv am Aufbau der Fähigkeit, die Eigenschaften von miniaturisierten Spulen am Rechner zu simulieren, gearbeitet. Die Spulen, die im Rahmen des Vorgängerprojekts Polyhybrid realisiert wurden, wurden dabei als Modellgeometrie verwendet. Die Simulationen wurden validiert indem sie mit den Rechnungen der TU Graz, Institut für Grundlagen der Elektrotechnik, verglichen wurden. Ebenso wurden die Materialparameter, insbesondere die Eigenschaften des galvanisch hergestellten Nickel experimentell bestimmt, um die Simulationen zu parametrisieren. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Simulationen innerhalb einer Ungenauigkeit von etwa 5% sowohl mit den gemessenen Werten für R, L und C als auch mit den Simulationen der TU Graz und mit den Faustformeln übereinstimmt, mit denen bisher gearbeitet wurden. Es ist also davon auszugehen, dass die Rechnungen die physikalische Wirklichkeit hinreichend genau abbilden.

Ein anderer Ansatz, der von einer analytischen Berechnung der elektrischen Kenndaten des Gesamtsystems ausgeht, ist ebenfalls Gegenstand des Arbeitspaketes AP 3. Hierbei wird die Energie- und Datenübertragung zwischen dem Transponder und dem Transceiver durch induktive Wechselwirkung beschrieben. Als ein einfaches Beispiel für diese Wechselwirkungsart kann die Spannung- bzw. Stromtransformation durch einen Grundaufbau bestehend aus zwei Spulen genannt werden.

Bild 7 zeigt in einer schematischen Darstellung zwei induktiv gekoppelten LC-Schwingkreisen. Die Kopplung der LC-Kreise wird durch die Festlegung der dort gekennzeichneten LCR-Werte und der Übertragungsfrequenz (L: Induktivität, C: Kapazität und R. ohmscher Widerstand) bestimmt.

Aus der allgemeinen Darstellung der Maxwell'schen Gleichungen können unter Berücksichtigung der Geometrie, Form und der Materialdaten die funktionsbestimmenden Größen eines RFID-Systems (Transceiver / Transponder) abgeleitet werden.

Mit $N = 14$, $Q = 8,8$ und $H_{min} = 16 \text{ A/m}$ erhält man eine Reichweite in der Größenordnung von 10 bis 13 mm.

N = Windungszahl

Q = Gütefaktor

H_{min} = Ansprechfeldstärke des Datenträgers

Für einen industriell / wirtschaftlichen Lösungsansatz ist jedoch eine Reichweite in der Größenordnung von 40 mm erforderlich. Unsere bisherigen Modellrechnungen zeigen, dass diese Reichweite bei folgenden Parametern realisiert werden kann.

$N = 28$, $Q = 70$, $R_2 = 2 \Omega$, $H_{min} = 0,7 \text{ A/m}$, Reichweite = 40 mm

Meilenstein 2: Design der Prototypen, Entwicklung von Prozessketten, Prüfung und Verifizierung (Arbeitspakete AP3 - AP5)

Die Arbeitspakete AP4 und AP5 umfassen die prozesstechnologische Umsetzung der in AP 1-3 berechneten Entwürfe. Der Prototyp 2 – ein Zweilagenaufbau auf der Basis des neuen IDS-Chips (SL 13 A) Diese Chiparchitektur ermöglicht eine wesentliche Erweiterung der Funktionalität und der Leistungsfähigkeit der miniaturisierten Datenträger und erschließt damit neue Applikationsfelder und neue Marktsegmente.

Der Zweilagenaufbau enthält die Grundstruktur des im Vorgängerprojekt Polyhybrid entwickelten Prototyps 1 mit zusätzlich einer oberen Isolationsschicht (Bild 8 Grau markiert). Diese Schicht – prozessiert durch den UV-empfindlichen Fotolack SU8 - dient als Integrationsplattform zur Aufnahme weiterer Funktionselemente - wie z.B. der Ausgleichskondensator CP.

Nach dem Systementwurf muss eine Prozesskette aufgestellt werden, in der die aufeinanderfolgenden Prozessschritte – in- und außerhalb des Reinraums - festgelegt und charakterisiert werden. Der Prozessplan enthält Prozessmodule, die ihrerseits eine Vielzahl von Arbeitsschritten umfassen. Am HSG-IMIT werden diese Arbeitsschritte sowie die dazu erforderlichen Geräte in den entsprechenden Arbeitsanweisungen festgehalten. Das QM-System des HSG-IMIT ermöglicht somit die durchgehende Kontrolle eines Technologiedurchlaufs, die eine Vielzahl von Einzelschritten umfasst. Die detaillierte Dokumentation des Herstellungsprozesses ist die Grundvoraussetzung für eine technisch-wirtschaftliche Bewertung der Musterentwicklung sowie eine spätere Überführung in die industrielle Produktion.

Der Technologiedurchlauf für Prototyp 2 mit den einzelnen Prozessmodulen wird folgend aufgezeigt.

- PZM 1: Berechnung der LCR-Parameter und Antennendesign
- PZM 2: Herstellung, Strukturierung der Basisschicht mittels PVD
- PZM 3: Herstellung, Strukturierung der SU8 Basisschicht - Photolithographie
- PZM 4: Herstellung der Spule durch Mikrogalvanik
- PZM 5: Herstellung der SU8 Isolationsschicht
- PZM 6.1: Laserstrukturierung der Isolationsschicht über mikromechanisch hergestellte Schablone
- PZM 6.2: Strukturierung der SU8 Isolationsschicht durch Photolithographie
- PZM 7: Wafereinzelnung - Sägeprozess
- PZM 8: Fehlerklassifizierung
- PZM 9: Aufbau –und Verbindungstechnik, Verkapselung
- PZM 10: Personalisierung, Programmierung

Nachdem die Kontaktflächen durch Laserablation/Photolithographie geöffnet wurden erfolgte die anschließende elektrische Prüfung und Verifizierung. Das Anwendungs- und Vermarktungspotenzial der hier laufenden Technologie- und Musterentwicklung setzt eine zuverlässige und umfassende elektrische Funktionsprüfung voraus. Der Mechanismus der drahtlosen Energie- und Datenübertragung wird in einem vereinfachten Schema (Bild 11) veranschaulicht. Die wechselseitige Beeinflussung beider Schwingkreise wird durch die Gegeninduktivität M bestimmt. Die Abhängigkeit dieser Größe von der Entfernung zwischen dem Primärkreis (LC-Kreis im Transceiver) und dem Sekundärkreis ist für die Funktionalität und Einsatzmöglichkeit des Gesamtsystems von entscheidender Bedeutung. Daher war die Ermittlung dieser Größe ein wichtiges Element im Arbeitspaket 5.

Zur anschließenden Bestimmung des Kopplungsfaktors wurde Messeinrichtung entwickelt um die Untersuchung im Bereich der Hochfrequenztechnik (13,56 MHz) durchzuführen. Hierbei müssen die beiden Schwingkreise von der Umgebung (Störeinflüsse) elektromagnetisch isoliert werden, wobei hier eine definierte Änderung der Reichweite möglich sein muss. Eine Konstruktion aus Plexiglas erfüllt diese Anforderungen. Zur Optimierung der Leistungsübertragung müssen die LC-Kreise durch Anpassschaltungen ergänzt werden. Nach der Voltage-Ratio-Methode kann der Kopplungsfaktor k aus den berechneten und gemessenen Größen ermittelt werden. Die Ergebnisse sind ein wichtiger Indikator für die Stabilität und damit letztendlich für die Fertigungstauglichkeit der durchgeführten Technologieentwicklung.

Meilenstein 3: Entwicklung von Prozessmodulen: Antennenchip (AP6)

Das notwendige und zugleich innovative Prozessmodul PZM6 – Laserstrukturierung der Isolationsschicht über mikromechanisch hergestellte Schablone - wurde von der FHV entwickelt und erprobt. Dazu wurde das dort verfügbare Excimer-Lasersystem entsprechend der Vergaben umgerüstet und ergänzt. Bei der Laserablation wird als strukturübertragendes Element eine hochpräzise Schattenmaske eingesetzt (Bild 8). Die mikromechanisch strukturierte Schablone wurde am HSG-IMIT hergestellt. Nach der Justierung der Schablone zu dem Pyrexwafer werden die geätzten Öffnungen der Schablone mit einem feststehenden UV-Laserstrahl ausgeleuchtet. Durch sukzessive Neupositionierung des Werkstücks zur Schablone wurden alle $4 \times 88 = 352$ Öffnungen realisiert (Bild 9 + Bild 10). Durch eine Modifikation des Technologiedurchlaufs werden die Kontaktflächen mittels Photolithographie geöffnet. Dies hat den Vorteil, dass in einem Prozessschritt alle 352 Kontaktflächen simultan geöffnet werden können.

Zur Durchführung des PZM 7 mussten zunächst die Layouts für Siebdruckschablonen erstellt werden. Für die Herstellung der Durchgangslöcher (Vias) und der Zuleitungen zu den Anschlüssen der Bauelemente wurden mehrere Layouts hergestellt und erprobt. Durch die Anschlüsse auf der Spule sowie auf der oberen Isolatorschicht sollen die elektrischen Verbindungen durch einen additiven Druckprozess realisiert werden (Bild 11). Der Siebdruckprozess unter Verwendung einer Ag-haltigen Leitpaste mit relativ hoher Leitfähigkeit wurde im Rahmen eines Fremdauftrags durchgeführt. Dafür werden spezielle Siebdruckprozesse für Feststoffsubstrate mit hoher Auflösung eingesetzt. Es wurden mehrere Pyrexwafer mit einer laserstrukturierten Polymerschicht verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Schichtdicken von ca. 100 μm keine vollständige Strukturübertragung stattfindet.

Meilenstein 4: Entwicklung von Prozessmodulen AVT (AP7)

Chipkontaktierung Klebetechnik: Die ersten Labormuster des Prototyps 2 wurden mit Hilfe der konventionellen Klebetechnik mit Leitkleber aufgebaut. Bei den durch die Klebetechnik aufgebauten Transpondern muss der Chip „Face-down“ montiert werden. Wegen den relativ kleinen Pad- Abständen (ca. 700 μm) und der Padgröße (ca. 90 μm) ist mit den verfügbaren Tischgeräten eine genaue Justierung des Chips zu der Spule schwierig. Außerdem entsteht ein relativ hoher Übergangswiderstand an der Kontaktstelle (Ag-Leitkleber / Al-pads), der zu einer rapiden Verschlechterung des Q-Faktors des LC-Kreises und damit zum Ausfall des betreffenden Bauteils führt. Dies erklärt die relativ geringe Prozessausbeute von $< 20 \%$ bei dieser Aufbau-technik.

Chipkontaktierung Drahtbondtechnik: Ein alternatives Aufbaukonzept für Prototyp 2 (einfache Version) ist der Einsatz der in der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik etablierten Drahtbondtechnik. Bei diesem Aufbaukonzept wird der Kondensator durch den Leitkleber kontaktiert; der Transponderchip wird jedoch „Face-up“ montiert und anschließend sukzessive mit Drahtbonds kontaktiert. Eine hochgenaue Chippositionierung ist hier nicht erforderlich. Durch den Einsatz der Drahtbondtechnik erreicht man eine wesentliche höhere Prozessausbeute. Dieses Verfahren soll in der Phase der Musterentwicklung eingesetzt werden. Durch diese Technik konnte die Prozessausbeute von $\sim 20 \%$ auf $\sim 90 \%$ verbessert werden (Bild 12a).

Für die weiteren Arbeiten wurde die Drahtbondtechnik eingesetzt da durch diese Technik funktionstüchtige Prototypen produziert werden können.

Meilenstein 5: Technologiedurchlauf Prototypen, Entwicklung Transceiver + Zubehör, Ausbeutebestimmung, Kostenabschätzung (AP8 – AP11)

Der Technologiedurchlauf zur Herstellung der MiniTel-Prototypen umfasst 10 Prozessmodule unter Einsatz von 2 Photolithographiemasken.

Kernprozesse in diesem Technologiedurchlauf sind:

1. Herstellung und Strukturierung der SU8-Schicht,
2. Herstellung der metallischen Basisschicht mit anschließender galvanischen Verstärkung,
3. In-Line Messtechnik (LCR-Messung der Antennenspulen im Waferverbund),
4. Wafer-Level-Packaging (Bestückung, Verkapselung und Vereinzelung im Waferverbund).

Im Vergleich zu den früheren Prozessketten stellt der o.g. Prozessabschnitt 4 (Wafer-Level-Packaging) einen wichtigen Ansatz zur Möglichkeit der Industrialisierung der Projektergebnisse. Prozessabschnitt 4 ermöglicht den Einsatz der etablierten Bestückungstechniken der Halbleiterfertigung (Diebonding, Wirebonding) und somit die Überführung der Projektergebnisse in einen wirtschaftlichen Fertigungsprozess.

Der modifizierte Technologiedurchlauf für Prototyp 2 mit den einzelnen Prozessmodulen wird folgend dargestellt:

- | | |
|---------|--|
| PZM 1: | Berechnung der LCR-Parameter und Antennendesign |
| PZM 2: | Herstellung, Strukturierung der Basisschicht mittels PVD |
| PZM 3: | Herstellung, Strukturierung der SU8 Basisschicht - Photolithographie |
| PZM 4: | Herstellung der Spule durch Mikrogalvanik |
| PZM 5: | Herstellung der SU8 Isolationsschicht |
| PZM 6: | Strukturierung der SU8 Isolationsschicht durch Photolithographie |
| PZM 7: | Wafer ansägen/Vereinzelung –Zur elektrischen Vermessung |
| PZM 8: | Fehlerklassifizierung |
| PZM 9: | Aufbau –und Verbindungstechnik, Waferlevel-Packaging |
| PZM 10: | Test mit Maxsol-Reader und Zubehör |

Im Bereich Entwicklung der MiniTherm-0 (Bilder 13-15) und MiniTherm-1 (Bild 16 + 17) Prototypen mussten im Vergleich zur Vorhabensbeschreibung aufgrund von Gründen der Performanceverbesserung Änderungen durchgeführt werden. Durch zahlreiche Gespräche mit den Mitgliedern des PbA kristallisierte sich heraus, dass eine miniaturisierte Spule für diese Art von Prototypen, aufgrund der zu geringen Lesereichweite, nicht ideal ist. Weiter zeigte sich, dass zum Betrieb eines externen Sensors am RFID-Chip eine zusätzliche elektronische Anpassschaltung integriert werden muss und für diese Schaltung zu wenig Platz auf einem miniaturisierten System bereit stand. Bei MiniTherm-1, mit Batterieversorgung, bestimmt zudem die Größe der Batterie die Dimension des Gesamtsystems. Eine Batterie mit 3V wie sie im vorliegenden Fall benötigt wird weist im Durchmesser ca. 20 mm auf. Deshalb wurde die Antennenspule etwas größer gewählt damit das elektromagnetische Feld der Antennenspule von der Batterie nicht gestört bzw. komplett abgeschirmt wird und ein zuverlässiges Auslesen der MiniTherm-Transponder gewährleistet werden konnte. Eine mikrotechnologische Umsetzung von Systemen dieser Größe wäre im Endeffekt für den Endanwender nicht bezahlbar. Aus diesem Grund erfolgte die Prozessierung auf Leiterplattenmaterial wobei die Assemblierung unter Reinraumbedingungen stattfand.

Ein weiterer großer Schritt bei der Entwicklung der Transceiver-Einheit (Bild 18) war die Erhöhung der Ausgangsleistung. Weiter wurde ein Ausleseprotokoll speziell auf die prozessierten Transponder entwickelt und

mit Erfolg getestet. Hiermit können im Multiplexbetrieb einerseits die On-chip Temperaturdaten andererseits die externen Sensordaten ausgelesen werden. Durch eine angepasste Doublelayer-Transveiverantenne war es möglich ~90% der Transponder zuverlässig auszulesen.

Die Ausbeutebestimmung erfolgte anhand der Daten eines Netzwerkanalysators und eines Lesereichweitenmessgerätes welches im Rahmen des Projektes entwickelt und hergestellt wurde. Beim abschließenden Technologiedurchlauf (4 Antennenwafer = 352 Transponder) betrug die Ausbeute ~90%. Die Lesereichweiten der Transponder mit 7 Spulenwindungen lagen zwischen 6 mm und 8 mm für die Transponder mit 14 Spulenwindungen zwischen 11 mm und 13 mm. (Bilder 19 + 20)

Eine Kostenabschätzung zur derzeitigen Produktion der Prototypen 2 wird folgend aufgestellt:

Produktion der Antenne: (8 Wafer):	~ 4000,00 € (640 Antennenspulen)
Beschaffung IDS-SL13A RFID-Chip:	~ 8000,00 € (1 Wafer ☐ 4000 Einzelchips)
Supertag Kondensator SMD:	~ 140,00 € (650 Kondensatoren)
<u>Assemblierung:</u>	<u>~ 1000,00 € (8 Wafer: Kleben, Drahtbonden, Glob-Top...)</u>
Gesamtkosten für 640 Transponder:	6340,00 €
Kosten für einen Transponder:	<u>9,90 €</u>

Im Maßstab, wie die Transponder momentan am HSG-IMIT produziert werden (4 Zoll Wafer), würde ein personalisierter Transponder knapp 10 € kosten. Würden allerdings die Transponder im großtechnischen Maßstab hergestellt werden (8 Zoll Wafer), könnten die Kosten für die komplette Produktion drastisch, auf etwa 5 € / Transponder, gesenkt werden.

II.3 Finanzielle Projektumsetzung

Berichten Sie kurz über die finanzielle Abwicklung des Projekts. Wurde die Finanzplanung gemäß Anlage 1 zum Fördervertrag eingehalten? Begründen Sie eventuelle Abweichungen.

Die finanzielle Abwicklung des Projekts auf deutscher Seite wurde durch den Projektkoordinator HSG-IMIT vollzogen. Die Abwicklung auf österreichischer Seite oblag der Fachhochschule Dornbirn in Vorarlberg.

Die ursprüngliche Finanzplanung konnte nicht genau eingehalten werden. Die Arbeitspakete 8,9 und 10 erforderten umfangreichere und empirischere Untersuchungen als ursprünglich geplant und wurden somit personalintensiver. Eine kostenneutrale Mittelumwidmung wurde gestellt und auch bewilligt.

Am Ende des Projekts wurden dennoch nicht alle Fördermittel ausgeschöpft, da ein Netzwerkanalysator vom Projektpartner geliehen werden konnte und nicht selbst beschafft werden musste.

II.4 Darstellung der Ergebnisse

Legen Sie dar, welche Ziele und grenzüberschreitende Effekte tatsächlich erreicht werden konnten. Gehen Sie dabei insbesondere auf die von Ihnen im Antrag gemachten Angaben zum Innovationsgehalt und der erwarteten Impulswirkung des Projekts ein. Zeigen Sie eventuelle Auswirkungen auf Chancengleichheit und Belange der Umwelt innerhalb des Wirkungsbereichs des Projektes.

In MiniTel wurden neue Gestaltungsmöglichkeiten der mikrosystemtechnischen Fertigung aufgezeigt, indem auf bereits prozessiertem SU 8-Dickschichtlack eine hybride Aufbau- und Verbindungstechnik realisiert wurde. Im Rahmen mehrerer Prototypen kamen verschiedene Kontaktierungsarten zum Einsatz wie z.B. Kleben oder Drahtbonden. Obwohl längst etabliert und als Einzelprozess bekannt, stellen die hier realisier-

ten Hybridbauten neue Kombinationen dar. Zum einen sind zusätzliche Bauten auf SU8 noch nirgends großtechnisch angewandt worden und auch im Labormaßstab außerhalb von MiniTel unbekannt. Zudem erfolgt dies auf Pyrexglas, das aufgrund der elektrischen Anforderungen für die induktive Signalübertragung erforderlich ist.

Die erzielten Ergebnisse führten zu einer Erfindungsmeldung „Mikrostrukturierte Mehrlagenaufbauten“, bei denen ein mikromechanischer Zweispulenaufbau auf der Kombination spezieller Polymerstrukturierung und Mikrogalvanik basiert. Die hierbei erarbeiteten Details und Bedingungen in mechanischer und elektrischer Hinsicht erlauben, unabhängig von der konkret patentierten induktiv arbeitenden Mikrostruktur, auch den Aufbau anderer signalverarbeitender Systeme auf mikrosystemtechnischem Chip.

Der Innovationsgehalt des Projektes ist kennzeichnend für den Aufbau einer vielseitig verwendbaren vorwettbewerblichen Entwicklungsplattform für miniaturisierte Hybridsysteme mit folgenden Kernelementen und Eigenschaften:

- a. Datenträger mit integriertem on-Chip Temperatursensor
- b. Datenträger mit integriertem on-Chip Temperatursensor und externem Sensorelement
- c. Transmitter, Receiver (Transceiver) für eine drahtlose Energie- und Datenübertragung
- d. Möglichkeit der Vernetzung der Datenströme in ein dezentrales Netzwerk

Zur Beurteilung des Innovationsgehalts, also dem spezifisch Neuen bzw. Verbesserten, wurden zahlreiche Gespräche, während allen Phasen des Projektes, speziell am Ende der Meilensteine, mit Vertretern des PbA durchgeführt, Ergebnisse präsentiert und mit dem Projektpartner FhV diskutiert. Hierbei kristallisierte sich heraus, dass, sowohl für ein hochminiaturisiertes Transpondersystem wie es bei der Fachhochschule Vorarlberg entwickelt wurde sowie für ein Multichip-Hybridsystem welches am HSG-IMIT entwickelt wurde, eine Nachfrage seitens der Industrie besteht.

Das Ergebnis des Projektes ist, wie im Projektantrag erläutert, eine Technologiebasis und eine Entwicklungsplattform für neue Hybridsysteme für:

- a. Medizintechnik
- b. Waren- und Produktionslogistik
- c. System-Modul-Identifikation
- d. Identifizierungs-, Authentifizierungs- und Zutrittskontrollsysteme

Die Impulswirkung besteht in neuen technischen Gestaltungsmöglichkeiten mit erstaunlich geringer Komplexität. Als Impulswirkung kann hier aufgeführt werden, dass durch die Öffentlichkeitsarbeit, mehrere Anfragen bezüglich der Prototypen 2 sowie der Prototypen MiniTherm 1 generiert werden konnten.

Zu Punkt a: Auf Basis der Prototypen 2 konnte ein Projekt akquiriert mit 10 Projektpartnern der Industrie werden.

Zu Punkt b: Anfrage bezüglich MiniTherm Prototyp 2 eines großen Logistikunternehmens zur Aufzeichnung von Daten während des Transports auf dem Seeweg.

Zu Punkt c: Anfrage bezüglich Prototyp 2 zu einem Schlüssel/Schloss System im Bereich Netzwerkverkabelung.

II.5 Erfahrungen mit der grenzüberschreitenden Kooperationsstruktur

Beschreiben Sie bitte, in welchem Umfang die Zusammenarbeit im Projekt erfolgt ist (gemeinsame Ausarbeitung, Durchführung, Finanzierung, Personal etc.) und welche Erfahrungen Sie in der Kooperation mit den

beteiligten Projektpartnern gemacht haben und ob auf Grund dieser Erfahrungen weitere Kooperationen, auch ohne öffentliche Förderung, angestrebt werden.

Die grenzüberschreitende Zusammenarbeit konnte auf der Ebene der Projektleitung sowie auf der Ebene der Entwicklungsarbeit durch Austausch von Informationen, Daten, Erfahrungen und Hardwareteile gut organisiert werden. Durch zahlreiche bilaterale Kontakte der Mitarbeiter konnte der gemeinsame Arbeitsplan erfolgreich umgesetzt werden.

II.6 Geplante Folgeaktivitäten sowie weitere Schritte zur Nutzung und Verbreitung der Ergebnisse

Stellen Sie hier die Nachhaltigkeit der erreichten Ergebnisse dar. Wird das Projekt nach Ablauf der geförderten Laufzeit eigenständig fortgesetzt oder sind Nachfolgeprojekte vorgesehen? Wie sollen die im Rahmen des Projekts gewonnenen Erkenntnisse weiter verwendet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden?

Das Verbundprojekt MiniTel bildet die Basis für eine interne Weiterführung der Thematik am HSG-IMIT. Die beiden MiniTerm-Prototypen sollen hierbei durch einen innovativeren RFID-Funkchip ausgestattet welcher über zwei externe Sensoreingänge verfügt. Somit kann zum Beispiel eine miniaturisierte Wetterstation (Temperatursensor, Drucksensor, Feuchtesensor) entwickelt und aufgebaut werden. Zum Beispiel könnte diese Wetterstation zum Arealmonitoring in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Weiter konnte durch die Ergebnisse von MiniTel ein Folgeprojekt im Rahmen des Förderprogramms IKT 2020 des BMBF erfolgreich akquiriert und gestartet werden.

II.7 Bericht über Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit (siehe auch Anlage 1 zum Schlussbericht)

Gemäß § 16 Absatz 1 des Fördervertrages sind die vorgegebenen Bestimmungen über Informations- und Publicitätsmaßnahmen zu beachten. Siehe hierzu auch Leitfaden 1 Ziffer 2.20 sowie Leitfaden 2 Ziffer 2.6. Führen Sie im Bericht auf, welche Maßnahmen zu einer angemessenen Außendarstellung des Projekts und des Förderprogrammes unternommen wurden. Füllen Sie dazu auch die Anlage 1 zum Schlussbericht entsprechend aus.

- Internetplattform <http://minitel-interreg.eu> als Web-Präsenz des Verbundprojektes „MiniTel“ war ein wichtiges Instrument zur Koordinierung der Projektarbeit und diente gleichzeitig als Dokumentenordner für beide Forschungsstellen.
- Vorstellung der geplanten Entwicklungsarbeit für das Projekt „MiniTel“ beim Besuch der EU-Kommissarin für Regionalentwicklung Frau Prof. Dr. Danuta Hübner (FHV, 26.01.2009).
- Florian Hämmerle, „Simulation und Characterization of a Miniaturized Planar Coil“, Master Thesis, Fachhochschule Vorarlberg, Dornbirn, August 2009, ausgezeichnet mit VDI-Preis für herausragende Diplomarbeiten, (Pressemitteilung vom 20. November 2009)
- Johannes Edlinger, Präsentation im Begleitausschuss vom Interreg IV, 26.11.2009 in Bregenz
- Projektergebnisse am 30.11.2011 auf dem Workshop „Autonome RF-ID-Systeme“ (Veranstaltungsort: Virtual Dimension Centre – Technologiezentrum St. Georgen) präsentiert und diskutiert.
- Hossein Farzin, „Aufbau und Charakterisierung von miniaturisierten Hybridsystemen für telemetrische Datenübertragung und Funktionselementen für organische Elektronik“, Bachelor Thesis, Hochschule Furtwangen, 2010/2011.

- Christopher Rohan Lean, “Development and Construction of a Measurement Set-up towards Characterization of RFID Transponders in the 13.5 Megahertz Range”, Master Thesis, Hochschule Darmstadt
- Auf Anfrage von „Interact Point Vienna“ wurde Infomaterial über das Projekt MiniTel für die Interact Website „Danube Projects“ zusammengestellt und übersendet.

II.8 Projektbewertung

Als Abschluss des Berichts bitten wir um eine zusammenfassende Projektbewertung.

Das Projekt ‚MiniTel‘ war aus Sicht der Projektkoordination ein sehr anspruchsvolles aber auch ein durchaus interessantes Projekt. Durch die Einbindung der Industrie in den Entwicklungsprozess konnten die Ideen und Ansätze validiert verbessert und letztendlich in funktionierende Prototypen umgesetzt werden.

Es ist hervorzuheben, dass aufgrund der positiven Projektergebnisse mehrere Anfragen seitens der Industrie eingegangen sind. Beispiel: Wie unter Punkt II.4 erläutert, stehen wir momentan mit einem großen Logistikunternehmen in Kontakt welches ein System zur Überwachung von elektronischen Gütern auf dem Seeweg sucht. Hier sollen speziell die Temperaturen sowie die Beschleunigungskräfte geloggt werden.

Hiermit bestätige ich die Vollständigkeit und Richtigkeit der im Bericht gemachten Angaben.

Ort, Datum

Villingen-Schwenningen, 31.07.2012

Unterschrift