

# Entwicklung drahtloser Sensorsysteme durch synergetische Nutzung interdisziplinärer sowie grundlagenorientierter Forschungskonzepte

J. Plattner, S. L. Lattacher, D. Krainer, J. Oberzaucher, G. Batistell, J. Sturm

Die Realisierung von intelligenten Sensorsystemen sowie die weiterführende Integration der entwickelten Konzepte in das tägliche Leben erfordern intensiven Forschungs- und Entwicklungsaufwand. Im folgenden Artikel wird anhand eines konkreten Anwendungsfalls dargestellt, wie die dafür notwendigen Aspekte Interdisziplinarität sowie spezifische grundlagenorientierte Forschung im Rahmen der Forschungsstrategie der Fachhochschule Kärnten gezielt gefördert und umgesetzt werden.

Schlüsselwörter: Interdisziplinarität; Telemonitoring; integrierte Systeme; benutzerzentrierte Forschung

## ***Development of wireless sensor-systems by synergetic usage of interdisciplinary and fundamental research concepts.***

*The implementation of intelligent sensor networks as well as the subsequent integration of these technologies in everyday life requires intensive research and development. The following report deals with a defined use case explaining the implementation of the coherent aspects of interdisciplinarity and specific fundamental research, following the research strategy of the Carinthia University of Applied Sciences.*

*Keywords: interdisciplinarity; telemonitoring; integrated systems; participatory research*

Eingegangen am 13. September 2019, angenommen am 21. Oktober 2019, online publiziert am 17. Dezember 2019  
© The Author(s) 2019



## 1. Einleitung

Im Zentrum der interdisziplinären Forschung steht die Einbeziehung und Koordination von Fachwissen aus verschiedenen Bereichen, um eine gemeinsame Problem- oder Fragestellung zu bearbeiten. Dadurch kann ein Mehrwert durch inhaltlichen Austausch geschaffen werden, der über die Summe der Einzeldisziplinen hinausreicht. Diese Art der Zusammenarbeit ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven und bildet damit eine umfassende Basis zur Adressierung von Forschungsfragen [1].

Diese kooperative und interdisziplinäre Strategie wird an der Fachhochschule Kärnten seit Jahren umgesetzt, indem sich die Schwerpunktbereiche Gesundheit und Soziales, Technik und Wirtschaft im Zusammenspiel in der angewandten Forschung ergänzen. Durch kompetitive fachhochschulinterne Ausschreibungen zur Gründung von sogenannten „Forschungsgruppen“, werden sowohl etablierte als auch strategisch wichtige neue Forschungsthemen gezielt durch eine Basisfinanzierung monetär, sowie auch strukturell gefördert. Darüber hinaus wird als nächste Stufe die interdisziplinäre Vernetzung unterschiedlicher Fachbereiche und Forschungsgruppen durch die Gründung von „Forschungszentren“ unterstützt.

Ein großer Kompetenzaufbau gelang in den letzten Jahren durch zwei Forschungszentren, die sich mit relevanten Fragestellungen in Technik und Gesellschaft beschäftigen. Das Josef Ressel Center

for Integrated CMOS RF Systems and Circuits Design (INTERACT)<sup>1</sup> forscht am spezifischen Thema der integrierten Hochfrequenzsysteme und -schaltungen für drahtlose Kommunikation und damit an einer der am schnellsten wachsenden Kerntechnologien unserer heutigen Gesellschaft.

Das Institute for Applied Research on Ageing (IARA)<sup>2</sup> ist ein Forschungszentrum der FH Kärnten mit der Zielsetzung, die Herausforderungen und Potenziale einer älter werdenden Gesellschaft durch praxisnahe und fächerübergreifende Forschung zu unterstüt-

<sup>1</sup>INTERACT – [www.jrz-interact.at](http://www.jrz-interact.at).

<sup>2</sup>IARA – <https://www.iara.ac.at/en/>.

**Plattner, Johanna**, IARA – Institute for Applied Research on Ageing, Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung, Europastraße 4, 9524 Villach, Österreich (E-Mail: [j.plattner@fh-kaernten.at](mailto:j.plattner@fh-kaernten.at)); **Lattacher, Sandra Lisa**, IARA – Institute for Applied Research on Ageing, Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung, Europastraße 4, 9524 Villach, Österreich; **Krainer, Daniela**, IARA – Institute for Applied Research on Ageing, Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung, Europastraße 4, 9524 Villach, Österreich; **Oberzaucher, Johannes**, IARA – Institute for Applied Research on Ageing, Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung, Europastraße 4, 9524 Villach, Österreich; **Batistell, Graciele**, INTERACT - Josef Ressel Center for Integrated CMOS RF Systems and Circuits Design, Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung, Europastraße 4, 9524 Villach, Österreich; **Sturm, Johannes**, INTERACT - Josef Ressel Center for Integrated CMOS RF Systems and Circuits Design, Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung, Europastraße 4, 9524 Villach, Österreich

zen. Aktuelle gesellschaftlichen Herausforderungen im Zusammenhang mit Alter und Altern (im regionalen Kontext) werden im Rahmen von IARA multiperspektivisch mit wirtschaftlichem, sozialwissenschaftlichem und technischem Fokus im Bereich anwendungsorientierter Forschung entgegnet [2].

Am Beispiel des im Folgenden dargestellten Anwendungsfalles Telemonitoring, treffen die „horizontale“ interdisziplinäre Forschung im Rahmen von IARA mit dem technologischen Schwerpunkt „Health & Assisted Technologies“, sowie die stark grundlagenorientierte, „vertikale“ Forschung im Rahmen von INTERACT im Bereich der Mikroelektronik zur Entwicklung und Integration von Hochfrequenzkomponenten aufeinander.

## 2. Anwendungsfall Telemonitoring

Die Realisierung miniaturisierter, autonomer sowie drahtlos vernetzter Sensorsysteme für zukünftige Anwendungen im Umfeld des Megatrends Internet-of-Things (IoT) erfordert in mehrfacher Hinsicht intensiven interdisziplinären Forschungs- und Entwicklungsaufwand.

Neue Sensor- und Integrationstechnologien mit hochintegrierten, extrem leistungsarmen elektronischen Schaltungen sowie autonome Energieversorgung (Energy Harvesting), in Verbindung mit effizienten drahtlosen Kommunikationstechnologien zur Sensorvernetzung (INTERACT) bilden das technologische Kernstück für eine praxistaugliche Lösung. Um daraus gesellschaftlich akzeptierte und in den Alltag integrierbare Konzepte zu entwickeln, werden Methoden aus der benutzerzentrierten, partizipativen Forschung (IARA) angewendet und essentielle Resultate – transformiert in technische Spezifikationen – rückgekoppelt (INTERACT). Die in diesem Kontext entwickelten und integrierten anwendungsorientierten technischen Systeme sind vielfach sensorbasierte Technologien, die das übergreifende (nicht-technologische) Ziel verfolgen, spezifische Aspekte der Lebensqualität zu fördern und zu unterstützen. Aktuell bestehen für entsprechende technologische Systeme in relevanten Bereichen wie z.B.: Sicherheit (z.B.: Erkennung von kritischen Alltagszuständen), Gesundheit (z.B.: multisensorische Erfassung von Vitalparametern) erstmals die Möglichkeiten, diese aufgrund einer technischen Reife tief in den Alltag zu integrieren und zu evaluieren. Über angewandte Methoden aus dem Bereich der sozio-technologischen Forschung und Innovation (IARA) werden dadurch – evidenzbasiert – wiederum technologische Bedarfe sichtbar, wie z.B. die Forderung nach kürzeren Latenzzeiten in der Übertragung, Miniaturisierung, Edge- vs. Cloud-Ansätze etc., die eine weitere Optimierung bzw. Weiterentwicklung neuer Sensor- und Integrationstechnologien (INTERACT) vorantreiben, um den Benefit im Sinne von Akzeptanz und Alltagsintegration hervorzuheben.

Der Anwendungsfall, illustriert in Abb. 1, zeigt die praktische Realisierung einer technologischen Telemonitoring Lösung und eines integrierten Services (Health Care Center Model), um Benutzer mit gezielten Interventionen zu unterstützen [3].

Die dafür verwendete Datenbasis beruht auf einem multisensorischen Prinzip, um bestimmte Kontexte im alltäglichen Leben aus der Wohnumgebung der Nutzer zu erkennen, z.B. mittels Kontaktsensor, Funkpräsenzmelder, Smart Watch oder Sensorik für Vitalparameter. Hier besteht die Forderung nach einer steigenden Anzahl an Sensoren, mit entsprechender Datenqualität (binär vs. multidimensional), die zusätzlich noch miniaturisiert in die Alltagsumgebung integriert werden können. Die Vernetzung dieser Sensoren erfordert neue Hardwarekonzepte der mobilen Datenkommunikation mit dem Fokus auf möglichst leistungsarme Hochfrequenzsender und Empfänger Komponenten (INTERACT). Über entsprechende Datenverarbeitung können aus den erfassten Rohdaten spezifische Informationen über Aktionen und Alltagsaktivitäten extrahiert werden

und in einem weiteren Schritt, durch das Hinzufügen von Interfaces, sowohl dem Nutzer selbst visualisiert, als auch an Dritte übermittelt werden. Das modulare Setup der Datenverarbeitungseinheit erlaubt die Integration von Auswertungsalgorithmen und Verfahren, die bedarfsorientiert an verschiedene Use Cases angepasst werden können. Dieser Ansatz ermöglicht so den Betrieb einer flexiblen und in verschiedenen Szenarien wiederverwendbaren Basis-Infrastruktur.

Die weiterführende Einbindung und Umsetzung dieser Entwicklungen in das tägliche Leben bedarf einer strukturierten forschungsbasierten Entwicklung, in enger Verschränkung zwischen anwendungsorientierter interdisziplinärer und grundlagenorientierter spezifischer Forschung.

## 3. Forschung am Institute for Applied Research on Ageing (IARA)

Im Rahmen von F&E Aktivitäten am Forschungszentrum IARA werden großangelegte Nutzerstudien umgesetzt. Im Speziellen werden auch Smart Health Systeme im partizipatorischen Entwicklungsprozess generiert, in einem breiten Kontext getestet und anhand multiperspektivischer Evaluierungsdomänen bewertet. Dies ist einerseits Grundlage, um (Sensor-)Daten im (Gesundheits-)Alltag generieren zu können und bietet andererseits die Möglichkeit, diese Daten mit realen, annotierten Zuständen zu verknüpfen.

Auf Basis von Annahmen [5] bezüglich der Datenqualität und -quantität, sowie im Alltag noch akzeptierter Sensorausstattungen, müssen für eine im Alltag relevante Umsetzung oft multisensorische Prinzipien eingesetzt und damit verbundenen Datenbasen generiert werden, um bestimmte Kontexte überhaupt erkennen zu können.

Folgend diesem Ansatz, wurde im Rahmen der Forschungsaktivitäten am IARA ein wiederverwendbares Multi-Sensor Monitoring System entwickelt, welches es erlaubt verschiedene aktive und passive Sensorelemente miteinander zu verknüpfen. Die Sensordaten werden gesammelt, und im Datenverarbeitungsmodul erfasst und nach Anwendungsfall entsprechend weiterverarbeitet. Die Informationen werden in aufeinander aufbauenden Auswertungsstufen abstrahiert und mit individuellen Kontextinformationen ergänzt, um ein möglichst realitätsnahes Abbild der Umgebung in die Berechnungen miteinfließen zu lassen. Ebenso ist es möglich, Daten aus weiteren Quellen wie z.B. Smart Watch, Fitnesstracker oder sonstigen gesundheitsunterstützenden Geräten, einzubinden und mit den erhobenen Werten zu verknüpfen.

Die Integration von bedarfsangepassten Interfaces ermöglicht die Bereitstellung der ermittelten Daten nach jedem Auswertungsschritt einerseits für den Nutzer selbst oder zur Weiterverarbeitung an Dritte, wie im Anwendungsfall aus Abb. 1 skizziert [4].

Der dargestellte Anwendungsfall resultiert in einem Telemonitoring Service Modell, welches bereits in einer 16-monatigen Pilotstudie positiv hinsichtlich Alltagsintegration evaluiert wurde. Dieses Szenario ermöglicht die Beobachtung von Vitalparametern und gesundheitsrelevanten Aktivitäten des täglichen Lebens über ein webbasiertes Portal sowie die Beratung durch Gesundheitscoachs.

Erste Ergebnisse aus diesem Pilot Projekt zeigen eine aktive Nutzung der Sensorik. Mehr als 85% der Teilnehmer verwenden verschiedene gesundheitsrelevante Sensoren mindestens einmal pro Woche. Die langfristige Studie (Probandenanzahl  $n > 100$ ) deutet auf ein erhöhtes Sicherheitsgefühl im Alltag hin und zeigt eine Steigerung des Gesundheitsbewusstseins. 72% der Teilnehmer sind mit dem Service Modell zufrieden, und 75% akzeptieren Telemonitoring als gute Möglichkeit um Gesundheitservices in Anspruch zu nehmen. Eine Verringerung der sozialen Isolation durch regelmäßige Betreuung durch den Gesundheitscoach sowie eine Unterstützung von Risikofrüherkennung wurde als zusätzlicher Nutzen von den Teilnehmern genannt [3].

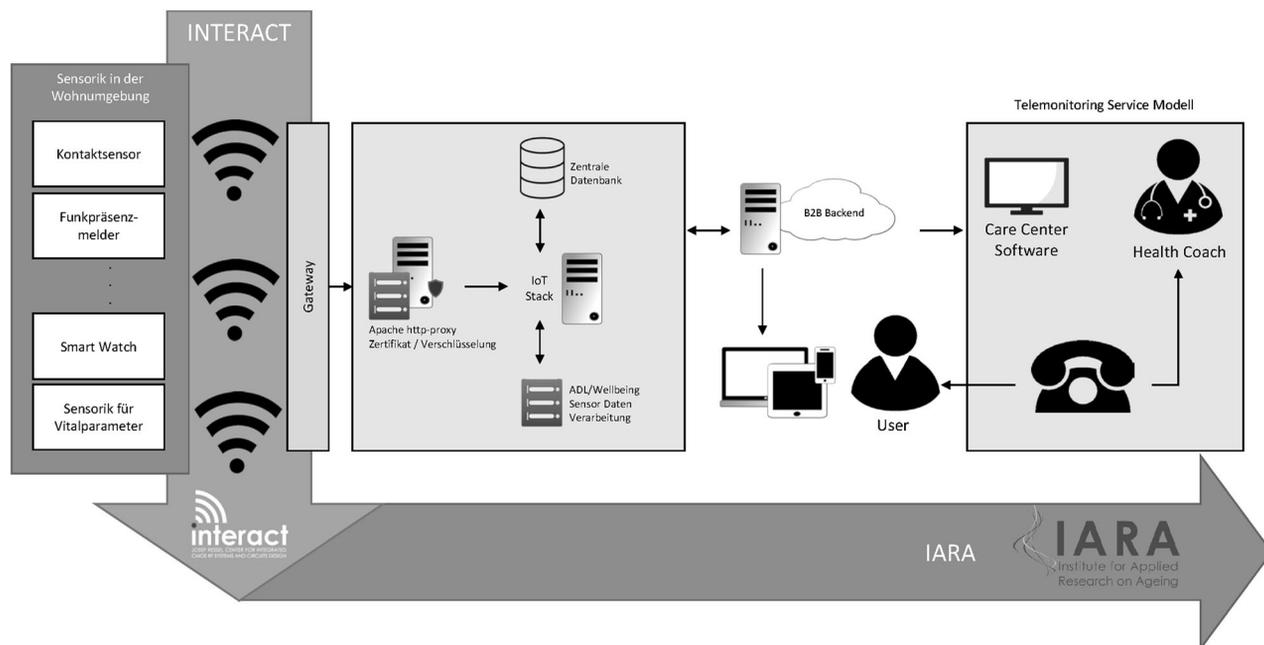


Abb. 1. Anwendungsfall Telemonitoring und Darstellung der Aggregation von vertikaler Grundlagenforschung und horizontaler angewandter Forschung (Quelle: eigene Darstellung, adaptiert aus [3, 4]).

Akzeptanzbarrieren in großangelegten Pilotstudien aus technischer Sicht sind unter anderem auf technische Probleme wie Akkulaufzeit und Interoperabilität, sowie Unhandlichkeit und Größe der Hardware zurückzuführen [6, 7].

Eine intensive Betrachtung der umgesetzten Pilotstudien, mittels ineinandergreifender Evaluierungsmodelle, bestehend aus z.B. Nutzungs- und Akzeptanzanalyse der technologischen Lösungen, Untersuchung der Effekte auf verschiedene Dimensionen der subjektiven Lebensqualität, sowie einer Analyse des sozioökonomischen Potentials, und die entsprechende Aufarbeitung der Ergebnisse sind notwendig, um marktreife Services und Lösungen zu generieren und zu verankern. Durch entsprechende Evidenz und der aktiven Einbindung aller Quadruple Helix Akteure kann es gelingen, die erprobten Lösungen nachhaltig zu verankern [8].

#### 4. Forschung im Bereich Integrierte Schaltungen und Systeme

Die Miniaturisierung von elektronischen Systemen ist die Grundvoraussetzung zur Realisierung flexibler, vernetzter und autonomer Sensorknoten. Nur durch die konsequente Umsetzung als integrierte Schaltung (IC) in modernen Halbleiter CMOS Technologien in Verbindung mit hybriden/heterogenen Packaging und Assembly Technologien werden zukünftige autonome Sensor Module mit extrem geringer Leistungsaufnahme und integrierter drahtloser Kommunikation ermöglicht. Die sehr spezifische Forschung im Bereich der integrierten Schaltungen ist somit die Basis für eine Vielzahl von Anwendungen der elektronisch basierten Systeme.

Für die zuvor diskutierten Sensorapplikationen ergeben sich zusammenfassend folgende Anforderungen. Die Sensoren müssen (a) extrem miniaturisiert sein um in das tägliche Leben nahtlos integriert werden zu können, (b) ohne externe Stromversorgung d.h. mittels Energy Harvesting Methoden betrieben werden, (c) eine drahtlose Vernetzung ermöglichen sowie (d) die notwendigen Anforderungen bezüglich Datensicherheit erfüllen.

Die Fachhochschule Kärnten betreibt seit 2006 den Masterstudiengang „Integrated Systems and Circuits Design – ISCD“ in dessen

Umfeld spezifische Forschung für integrierte Schaltungen durchgeführt wird. Vor allem die zwei nachfolgend näher vorgestellten Forschungsschwerpunkte, an denen seit Bestehen des Studiengangs ISCD aktiv geforscht wird, können in diesem Zusammenhang beispielhaft genannt werden. Sie stellen eine wichtige Voraussetzung für die zukünftige Realisierung vernetzter autonomer Sensorknoten dar.

##### 4.1 Monolithisch integrierte Sensoren

Die Verwendung von IC Technologien ermöglicht in effektiver Weise die Realisierung von hochintegrierten elektronischen Sensorsystemen. So können unterschiedliche Sensortypen wie z.B. Temperatursensoren, Magnetfeldsensoren, chemische Sensoren, optische Sensoren, oder auch MEMS Sensoren monolithisch in den Microchip integriert und mit einer optimierten Ausleseelektronik (Sensor Frontend) kombiniert werden. Dies ermöglicht den zurzeit höchsten Miniaturisierungsgrad mit Abmessungen für komplette Sensorsysteme von wenigen Quadratmillimetern. Ein Forschungsschwerpunkt im Studiengang ISCD war die Realisierung von integrierten Farbsensoren. Es wurden integrierte Sensoren realisiert und vermessen, die durch Nutzung einer Standard 130 nm CMOS IC Technologie, ohne der üblicherweise verwendeten aufwändigen und teuren Farbfilter, eine wellenlängenabhängige Analyse von sichtbarem Licht ermöglichen. Dies wurde durch die Entwicklung von neuen Sensorstrukturen unter Nutzung von Finite-Elemente (FEM) Device Simulation in Kombination mit digitaler Signalprozessierung (DSP) ermöglicht [9–11]. Die simulierte Ladungsträgerverteilung des vorgeschlagenen CMOS Farbsensors ist in Abb. 2a dargestellt. Der Farbsensor beinhaltet 3 verschiedene Photodioden (NWD, NWL, PPNW) mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit. Durch gezielte Analyse der 3 Photodiodenströme mittels digitaler Signalprozessierung kann auf das Lichtspektrum rückgeschlossen werden. Der Farbsensor wurde gemeinsam mit dem Analog Frontend (Analog-Digital-Wandler – ADC) auf einem Demonstrator-IC integriert und im Labor vermessen (Abb. 2b). Der Testchip enthält zwei unterschiedliche Photodioden (Diode V1, Diode V3) welche über einen Multiplexer an einen

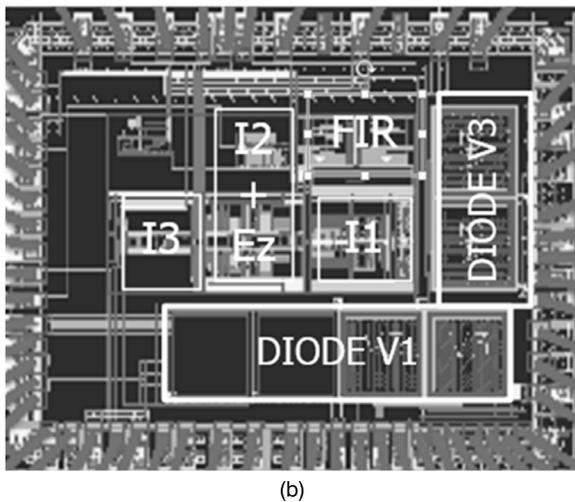
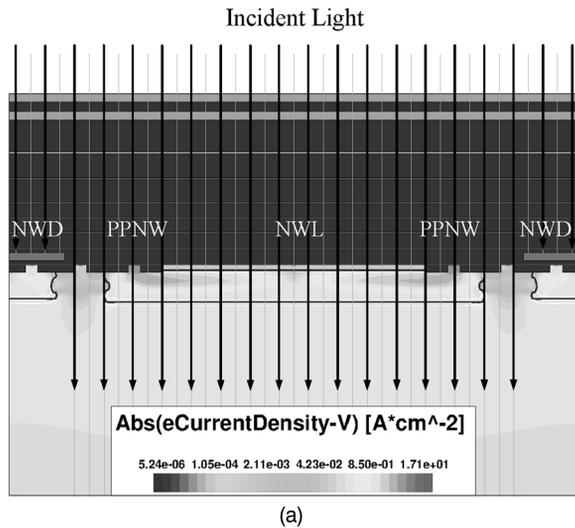


Abb. 2. Integrierter Farbsensor in CMOS Technologie mit Device Simulation der Ladungsträgerverteilung der Sensorstruktur (a) und Layout der Integrierten Schaltung mit Ausleseelektronik und AD-Wandler (b) (Quelle: [11]).

„Photostrom-zu-Digital ADC angeschlossen sind. Der ADC besteht aus einem  $\Sigma\Delta$  Wandler 3<sup>er</sup> Ordnung, mit 3 Integratoren (I1, I2, I3), einem FIR Filter sowie einer Kompensationsschaltung Ez.

#### 4.2 Josef Ressel Zentrum für die Entwicklung Integrierter CMOS RF Systeme und Schaltungen (INTERACT)

Eine notwendige Grundfunktionalität von vernetzten Sensorsystemen ist die drahtlose Datenkommunikation. Auch hier ermöglichen IC Technologien den höchstmöglichen Integrationsgrad. Die Realisierung von integrierten Hochfrequenzschaltungen (RFIC) bildet einen weiteren Forschungsschwerpunkt des Studiengangs ISCD.

Im Jahr 2014 wurde an der Fachhochschule Kärnten das „Josef Ressel Zentrum für die Entwicklung integrierter CMOS RF Systeme und Schaltungen“ (INTERACT) gegründet. In Kooperation mit dem Industriepartner Intel Austria GmbH wurden neue Hochfrequenzschaltungs- sowie Integrationskonzepte für multistandard Wireless-Frontends erforscht und umgesetzt. Schwerpunktmäßig wurde an folgenden Forschungsthemen gearbeitet.

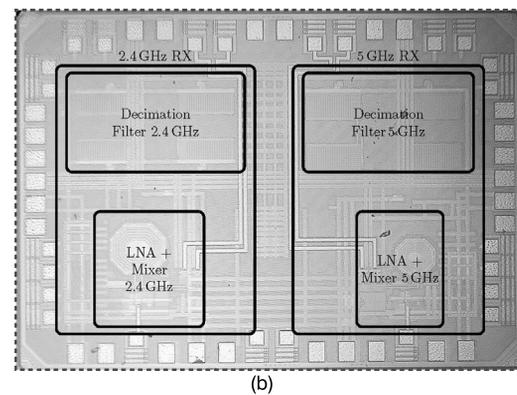
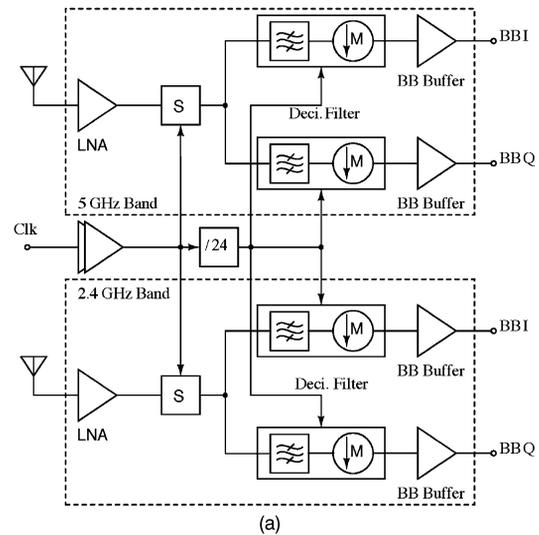
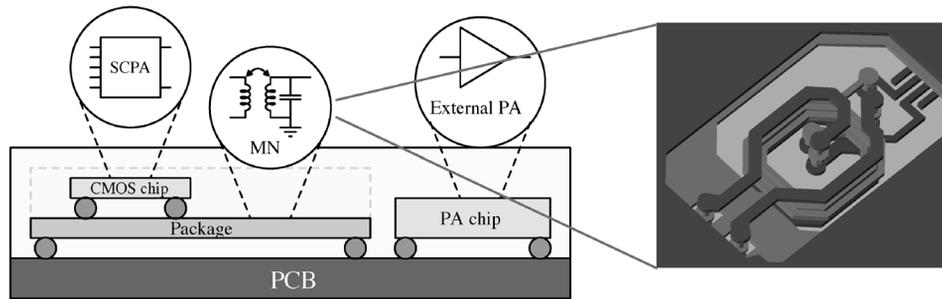


Abb. 3. Sub-sampling Receiver Blockdiagramm (a) und Foto der gefertigten Integrierten Schaltung (b) (Quelle: [15]).

#### 4.2.1 Programmierbarer Multi-Band Sub-Sampling Receiver

Die Herausforderung für moderne Hochfrequenz Transceiver in mobilen drahtlosen Kommunikationsgeräten liegt in der großen Anzahl der Kommunikationsstandards (2G, 3G, 4G, Bluetooth, WLAN, GPS, ...), die gleichzeitig auf immer kleinerem Raum, mit stets sinkendem Leistungsverbrauch realisiert und betrieben werden müssen. Die Komplexität kann durch Realisierung von flexiblen, programmierbaren Hochfrequenzkomponenten sowie „digitalen“ Sampling-Transceiver Konzepten minimiert und gleichzeitig die Performance gesteigert werden.

Als Vorstufe zum „Software Defined Radio – SDR“ [12] mit sehr schnellen Analog-Digitalwandlern (ADC) zur direkten Wandlung des Antennensignals, kann das RF Signal mit einer Sample-and-Hold Schaltung überabgetastet (Sampling Receiver [13]) beziehungsweise unterabgetastet (Sub-sampling Receiver [14]) und mit nachfolgender diskreter Signalverarbeitung in das Basisband transformiert und gefiltert werden. Die diskrete Signalverarbeitung durch z.B. „Switched Capacitor“ Schaltungen ermöglicht eine flexible Anwendung für unterschiedliche Frequenzbänder, mit geringem Leistungsverbrauch. Im Josef Ressel Zentrum INTERACT wurde ein programmierbarer Sub-Sampling Receiver in 65 nm CMOS Technologie für unterschiedliche Frequenzbänder bei 2.4 GHz und 5 GHz (WLAN) realisiert und im Labor vermessen. In Abb. 3 ist das Blockdiagramm des Sub-Sampling Receivers sowie ein Foto der gefertigten Integrierten Schaltung dargestellt. Der Receiver besteht aus einem Low-Noise Amplifier (LNA) gefolgt von einer Sampling-Schaltung S sowie De-



**Abb. 4. System-in-Package (SiP) Modul mit einem CMOS Transceiver Chip und einem Power Amplifier (PA). Das Matching Network (MN) wurde in die SiP Technologie integriert. (Quelle: [17, 18]).**

zimationsfilter und Treiber (BB Buffer) für die Mischung des Signals von einer Zwischenfrequenz in das Basisband, jeweils getrennt für die zwei I/Q demodulierten Ausgänge BBI und BBQ. Der Receiver erzielte ein exzellentes Linearitäts- und Rauschverhalten mit einer EVM Performance von  $-40$  dB [15, 16].

#### 4.2.2 Hybrid-Integration von Co-Optimierung von RF Frontends

Die Integration von passiven Hochfrequenzkomponenten wie z.B. Filtern oder Schaltern in IC Technologien ist oft unwirtschaftlich, da sie sehr viel Silizium Fläche der teuren IC Technologie einnehmen. Ein weiteres wichtiges Forschungsthema ist daher die Untersuchung alternativer Integrationsmethoden wie zum Beispiel „System-in-Package“ (SiP) Technologien, um leistungsfähige und kostengünstige Hochfrequenzsysteme zu realisieren. Bei SiP Technologien werden mehrere IC's und auch passive Komponenten in einen Baustein integriert, welcher in weiterer Folge auf Leiterplatten (PCB) verbaut werden kann. Im Rahmen der Forschungsarbeiten konnte die gezielte Nutzung von SiP Technologien zur Realisierung von effizienten Impedanzanpassungsnetzwerken für digitale Leistungsverstärker in RF Frontends demonstriert werden. In Abb. 4 [17, 18] wurde ein Transformator als Anpassungsnetzwerk MN in ein SiP Package integriert, um das Signal von einem RF CMOS Transceiver Chip (SCPA) auf einen externen Leistungsverstärker (PA Chip) anzupassen.

Die Forschungsarbeiten des Josef Resselzentrums Interact werden nach beendeter Laufzeit mit Oktober 2019 in einem kooperativen Forschungslabor (RFFE-Lab) der Fachhochschule Kärnten mit Silicon Austria Labs (SAL) fortgeführt und ausgebaut.

## 5. Ausblick

Am Beispiel des Anwendungsfalles Telemonitoring konnte demonstriert werden, wie die Zusammenarbeit von grundlagenorientierter, vertikaler und anwendungsbasierter, horizontaler Forschung zur umfassenden Aufarbeitung von Forschungsfragen beitragen kann. Die Förderung des fächerübergreifenden Austausches, sowie das Zusammenspiel von mehreren Schwerpunktbereichen ist wesentlicher Bestandteil der Forschungsstrategie der Fachhochschule Kärnten. Auch zukünftig stehen praxisnahe und interdisziplinäre Forschung im Mittelpunkt, um die bestehende Forschungslandschaft zusätzlich zu den bereits etablierten Zentren INTERACT und IARA weiter auszubauen [2].

## Danksagung

Open access funding provided by Carinthia University of Applied Sciences (CUAS).

**Hinweis des Verlags** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## Literatur

1. Committee on Facilitating Interdisciplinary Research, Committee on Science, Engineering, and Public Policy (2004): Facilitating interdisciplinary research. Washington: National Academies Press. p. 2.
2. FH Kärnten Research (2018): F&E Forschungsbericht der Fachhochschule Kärnten. Spittal, Austria: Fachhochschule Kärnten – gemeinnützige Privatstiftung. ISBN 978-3-9504443-1-5.
3. Krainer, D., Lattacher, S., Oberzaucher, J., Liebhart, W., Liebhart, M., Ströckl, D., Plattner, J., Schaschl, P. (2019): Practical realization of an integrated telemonitoring and health care center model – interim results within the pilot region smart VitAALity. SMARTER LIVES 19 – SMARTER LIVES meets uDay. Digitalisierung und Lebensqualität im Alter, Bozen – Italy. ISBN, 978–3-95853-511–978-3-95853-4.
4. Plattner, J., Oberzaucher, J. (2019): A multi-sensory approach to acquire and process health and lifestyle information. In Smart living forum, innovation congress, 2019, Villach, Austria, submitted for publication.
5. Fouquet, F., Nain, G., Morin, B., Barais, O., Jézéquel, J. (2010): Integrating IoT and IoS with a component-based approach. In 36th EUROMICRO conference on software engineering and advanced applications (S.191–S.198).
6. Krainer, D., Plattner, J., Oberzaucher, J., Schneider, C. (2018): Die Systemakzeptanz von „meinZentrAAL“. In B. Trukeschitz, C. Schneider, S. Ring-Dimitriou (Hrsg.), Smartes Betreutes Wohnen: Nutzung, Systemakzeptanz und Wirkungen von „meinZentrAAL“. Erkenntnisse der AAL-Forschung, Norderstedt: BoD Book on Demand. ISBN 978-3-744-88233-0.
7. Majcen, K., Plattner, J., Ströckl, D. E., Löffler, K., Schuster, E., Schaschl, P., Krainer, D., Oberzaucher, J. (2019): AAL-pilot concepts in Carinthia and Styria. In Proceedings of the 5th international conference on information and communication technologies for ageing well and e-health, ICT4AWE 2019 (S. 289–296). Heraklion. ISBN 978-989-758-368-1, ISBN: 2184-4984.
8. Plattner, J., Krainer, D., Majcen, K. (2018): Aiming for a market success – interlinked aspects of anchoring an AAL-solution. In AAL forum 2018, Bilbao.
9. Batistell, G., Zhang, V. C., Sturm, J. (2014): Color recognition sensor in standard CMOS technology. Solid-State Electron., 102, 59–68.
10. Sturm, J., Batistell, G., Faller, L. M., Zhang, V. C. (2014): Integrated CMOS optical sensor for light spectral analysis. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 20(6), 600608.
11. Strle, D., Nahtigal, U., Batistell, G., Chi Zhang, V., Ofner, E., Fant, A., Sturm, J. (2015): Integrated high resolution digital color light sensor in 130 nm CMOS technology. MDPI Sens., 15(7), 17786–17807.
12. Abidi, A. (2007): The path to the software-defined radio receiver. IEEE J. Solid-State Circuits, 42(5), 954–966.
13. Chen, R., Hashemi, H. (2014): A 0.5-to-3 GHz software-defined radio receiver using discrete-time RF signal processing. IEEE J. Solid-State Circuits, 49(5), 1097–1111.
14. Pekau, H., Haslett, J. W. (2005): A 2.4 GHz CMOS sub-sampling mixer with integrated filtering. IEEE J. Solid-State Circuits, 40(11), 2159–2166.

15. Kale, A., Popuri, S., Koeberle, M., Sturm, J., Pasupureddi, V. S. R. (2019): A  $-40$  dB EVM, 77 MHz dual-band tunable gain sub-sampling receiver front end in 65-nm CMOS. *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, 66(3), 1166–1179.
16. Kale, A., Pasupureddi, V. S. R., Sturm, J. (2019): A  $-40$  dB EVM 20 MHz subsampling multi-standard receiver architecture with dynamic carrier detection, bandwidth estimation and EVM optimization. *Int. J. Circuit Theory Appl.*, 47(4), 549–560.
17. Batistell, G., Holzmann, T., Leuschner, S., Wolter, A., Passamani, A., Sturm, J. (2017): SiP solutions for wireless transceiver impedance matching networks. In *Proc. European microwave conference*.
18. Batistell, G., Kale, A., Sturm, J. (2018): SCPA non-linearity Modelling and Analysis. In *International workshop on integrated nonlinear microwave and millimetre-wave circuits, INMMIC 2018, France*.

## Autoren

**Johanna Plattner**

absolvierte das Bachelorstudium Medizintechnik (2011–2014) und anschließend das Masterstudium Health Care IT (2014–2016) an der Fachhochschule Kärnten. Seit Ende 2016 ist sie als Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachbereich AAL an der Fachhochschule Kärnten beschäftigt. Zu ihren Tätigkeitsfeldern gehören die Implementierung von Softwarelösungen, die Umsetzung von Lösungen

im Bereich Aktivitätserkennung und -monitoring und das Design von Sensornetzwerken, sowie die Durchführung von Evaluierungen zum Thema Akzeptanz, User Experience und Usability. Seit Anfang 2017 ist sie auch Mitarbeiterin des Departments Health and Assistive Technologies im 2016 gegründeten Forschungszentrum IARA und seit 2018 auch Teil der Forschungsgruppe Active & Assisted Living der Fachhochschule Kärnten.

**Sandra Lisa Lattacher**

ist seit Juli 2018 an der Fachhochschule Kärnten im Studienbereich Medizintechnik im Forschungsfeld AAL tätig. Die wissenschaftliche Mitarbeit erfolgt in den Themenbereichen partizipatives Forschungsdesign, Datenanalyse, Kommunikationsstrategie und Dissemination. Sie absolvierte in den Jahren 2008 bis 2014 das Bakkalaureats Studium Medizinische Informationstechnik und das Master

Studium Health Care IT ebenfalls an der Fachhochschule Kärnten. Zwischen 2014 und 2018 lag ihr beruflicher Fokus auf der Akquise, Abwicklung und den Abschluss von multidisziplinären Förder- und Forschungsprojekten.

**Daniela Krainer**

Medizintechnikerin und Ergotherapeutin, ist seit 2014 an der Fachhochschule Kärnten am Studiengang Medizintechnik in der Forschung sowie in der Lehre im Bereich Ageing Care & Technology tätig. Seit 2018 leitet sie die Forschungsgruppe Active & Assisted Living (AAL) an der Fachhochschule Kärnten mit den technischen Forschungsinhalten Smart Health, Smart Home und Smart Interaction, integriert in einen Living Lab Forschungs- und Innovationsansatz. Ihre Kompetenzbereiche umfassen User Research im Bereich Bedarfs- und Anforderungsanalyse, Konzeptualisierung und sozio-technische Evaluierung sowie Management und Durchführung von Studien im Rahmen der Entwicklung und Evaluierung von AAL-Technologien und integrierten Services, mit Fokus auf den Bereich (Tele-) Health Lösungen.

action, integriert in einen Living Lab Forschungs- und Innovationsansatz. Ihre Kompetenzbereiche umfassen User Research im Bereich Bedarfs- und Anforderungsanalyse, Konzeptualisierung und sozio-technische Evaluierung sowie Management und Durchführung von Studien im Rahmen der Entwicklung und Evaluierung von AAL-Technologien und integrierten Services, mit Fokus auf den Bereich (Tele-) Health Lösungen.

**Johannes Oberzaucher**

hat einen Abschluss in Biomedizinischer Elektrotechnik an der TU Graz und promoviert darauf aufsetzend mit Fokus auf Assistive Technologien an der TU Wien. Aus technologischer Sicht sammelte er umfangreiche Erfahrungen in der interdisziplinären Technologieentwicklung auf der Grundlage des nutzerzentrierten Designansatzes. Seine speziellen Interessen umfassen intelligente Sensoren, Sensorfusion, Data Mining, HCI/HRI und AAL-Lösungen. Aus sozio-technologischer Sicht verfügt er über Erfahrungen im Bereich UX (User Experience) und Akzeptanzanalyse, sowie in der sozio-technologischen Studienplanung und -durchführung.

hat einen Abschluss in Biomedizinischer Elektrotechnik an der TU Graz und promoviert darauf aufsetzend mit Fokus auf Assistive Technologien an der TU Wien. Aus technologischer Sicht sammelte er umfangreiche Erfahrungen in der interdisziplinären Technologieentwicklung auf der Grundlage des nutzerzentrierten Designansatzes. Seine speziellen Interessen umfassen intelligente Sensoren, Sensorfusion, Data Mining, HCI/HRI und AAL-Lösungen. Aus sozio-technologischer Sicht verfügt er über Erfahrungen im Bereich UX (User Experience) und Akzeptanzanalyse, sowie in der sozio-technologischen Studienplanung und -durchführung.

**Graciele Batistell**

wurde in Concordia, Brasilien geboren. Sie absolvierte ihr Bachelorstudium im Bereich Electronic Systems am Federal Institute of Santa Catarina, Florianopolis, Brasilien (2010) und ihr Masterstudium im Bereich Integrated Systems and Circuits Design an der Fachhochschule Kärnten (2013). Seit 2011 ist sie an der Fachhochschule Kärnten als Forschungsassistentin im Bereich integrierte Farbsensoren tätig. Aktuell arbeitet Sie als Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich RF Integrated Circuits an der Fachhochschule Kärnten und absolviert ihr PhD Studium an der Technischen Universität Graz.

wurde in Concordia, Brasilien geboren. Sie absolvierte ihr Bachelorstudium im Bereich Electronic Systems am Federal Institute of Santa Catarina, Florianopolis, Brasilien (2010) und ihr Masterstudium im Bereich Integrated Systems and Circuits Design an der Fachhochschule Kärnten (2013). Seit 2011 ist sie an der Fachhochschule Kärnten als Forschungsassistentin im Bereich integrierte Farbsensoren tätig. Aktuell arbeitet Sie als Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich RF Integrated Circuits an der Fachhochschule Kärnten und absolviert ihr PhD Studium an der Technischen Universität Graz.

**Johannes Sturm**

absolvierte sein Diplomstudium in Technischer Physik an der Technischen Universität Graz (1995), sowie das Doktoratsstudium an der Fakultät für Elektrotechnik der Technischen Universität Wien (2006). Nach Forschungsaufenthalten an der Universität Leipzig sowie im Forschungszentrum CNET der France Telecom in Paris war er ab 1996 bei Siemens-Semiconductor und ab 1999 im Entwicklungs-

zentrum für integrierte Schaltungen von Infineon Technologies in Villach, zuständig für Circuit Design, Konzeptentwicklung sowie Projektmanagement für Analog- und Mixed-Signal ASIC Projekte aus dem Anwendungsbereich der optischen, integrierten Sensoren sowie für Hochgeschwindigkeits-IC Design. Im Jahr 2006 wechselte Johannes Sturm an die Fachhochschule Kärnten als Professor für Integrierte Schaltungen und ist dort verantwortlich für kooperative Forschungsprojekte für integrierte Sensoren und Hochfrequenz-Schaltungstechnik. Johannes Sturm leitete von 2014 bis 2019 das „Josef Ressel Center for Integrated CMOS RF Systems and Circuits Design – Interact“ und übernahm im Jänner 2017 die Leitung des Studiengangs Integrated Systems and Circuits Design. Seit Jänner 2019 leitet er die Research Unit RF Frontend Circuits and Systems bei Silicon Austria Labs und ist verantwortlich für das kooperative Forschungslabor RFFE-Lab von Fachhochschule Kärnten und Silicon Austria Labs.