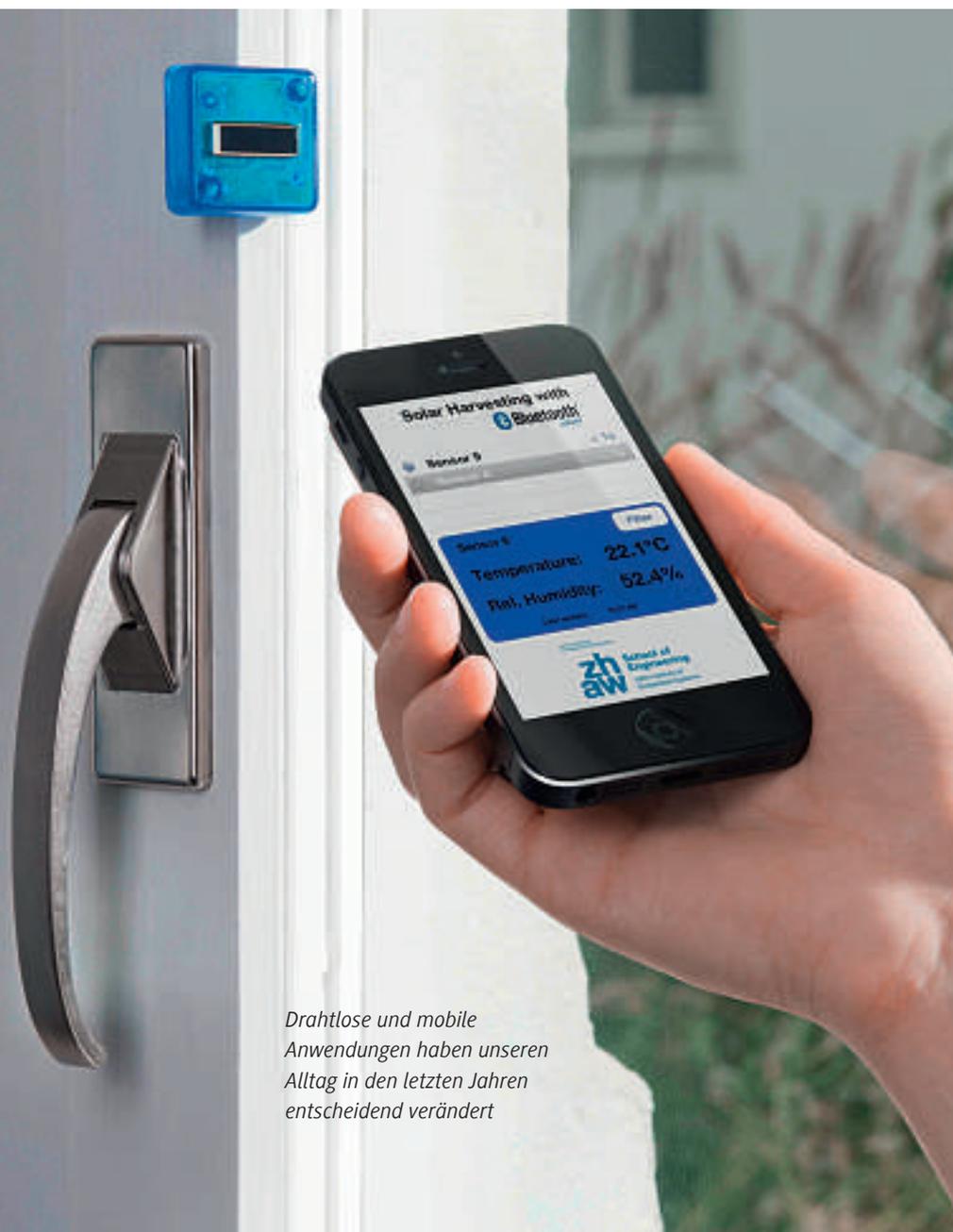


Eine Übersicht über verschiedene Embedded-Wireless-Technologien – Beitrag 1/6

# Vom simplen Kabelersatz zum intelligenten Netzwerk der Dinge

Für Anwender kann es schwierig sein, im dynamischen Wireless-Markt die für ihre Anforderungen richtige Lösung zu wählen. Dieser Artikel beschreibt wichtige Fragen für die Auswahl und gibt eine kurze Übersicht über häufig eingesetzte Technologien. Weitere fünf Artikel, die im Laufe des Jahres erscheinen werden, gehen auf ausgewählte Eigenschaften einzelner Standards ein.

» Andreas Rüst



*Drahtlose und mobile Anwendungen haben unseren Alltag in den letzten Jahren entscheidend verändert*

Drahtlose und mobile Anwendungen haben unseren Alltag in den letzten Jahren entscheidend verändert. Smartphones und WLAN-Verbindungen erlauben dank ihrem kabellosen und flexiblen Datenzugriff neuartige Anwendungen, welche vor Kurzem noch unvorstellbar erschienen. Etwas weniger beachtet – aber nicht weniger bedeutungsvoll – ist die Entwicklung der Funktechnologien im Bereich der kleineren Embedded-Systeme mit ihren eingeschränkten Ressourcen.

Durch den Einsatz von modernen Mikrocontrollern, sparsamen Sendern und hochempfindlichen Empfängern kann man Systeme heute bereits mit einer sehr tiefen Energiemenge betreiben. Die Systeme beziehen die benötigte Energie in vielen Fällen mit Energy Harvesting direkt aus Quellen der Umgebung, wie etwa Temperaturunterschiede, Vibrationen oder Solarzellen. Dadurch sind sie sowohl bei der Datenübertragung als auch bei der Energieversorgung unabhängig von hinderlichen Kabeln. Dies eröffnet ein breites Feld von Anwendungen: von Sensoren auf mobilen oder nicht zugänglichen Teilen über Fernbedienungen bis zur flexiblen Vernetzung intelligenter Knoten.

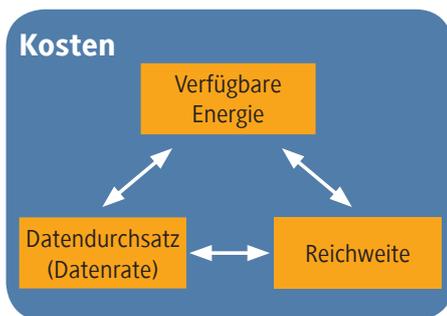
## **Jede Technologie hat ihre Vorzüge, aber auch Schwächen**

Über die Jahre ist eine verwirrende Vielzahl von Funkstandards und proprietären Lösungen entstanden, welche diese Entwicklungen unterstützen. Spezialisten haben jede dieser Technologien im Hinblick auf spezifische Anwendungsfälle entwickelt, dort weisen sie auch ihre Stärken auf. Oft werden die Techno-

logien aber breiter eingesetzt und angepriesen, um die enormen Investitionskosten in Chips und Software zu amortisieren. Für den Anwender kann es schwierig sein, in diesem dynamischen Markt mit konkurrierenden Technologien für seine individuellen Anforderungen die richtige Lösung zu wählen.

### Spannungsfeld «verfügbare Energie – Datenrate – Reichweite»

Eine drahtlose Anwendung bewegt sich neben vielen anderen Faktoren in einem Spannungsfeld zwischen der verfügbaren Energie, der notwendigen Reichweite und der gewünschten Datenrate. Diese müssen im vorgegebenen Kostenrahmen liegen. Jede Anwendung besitzt ihre individuelle Gewichtung dieser vier voneinander abhängigen Punkte. Eine Anwendung kann bei tiefen Kosten nicht gleichzeitig die Datenrate und die Reichweite maximieren und minimale Energie benötigen.



Das Spannungsfeld eines drahtlosen Systems

Die Reichweite hängt direkt von der Sendeleistung des Senders und von der Empfindlichkeit des Empfängers ab. Die Datenblätter der Hersteller geben in der Regel eine theoretische Reichweite im freien Raum an. Diese ist zwar gut quantifizierbar, entspricht aber selten der realen Situation in der Anwendung. Hindernisse, Interferenzen und Störungen durch andere Sender im gleichen Frequenzband reduzieren die Reichweite stark oder führen zu Paketverlusten und Zuverlässigkeitsproblemen. Da diese Punkte sich in mobilen Anwendungen laufend stark verändern, bleibt dem Entwickler nichts anderes übrig, als eine genügend hohe Sicherheitsmarge einzurechnen oder Repeater-Knoten einzusetzen.

#### Autor

Andreas Rüst ist Dozent für angewandte Computertechnik am Institute of Embedded Systems der ZHAW in Winterthur



### Die benötigte Reichweite hängt stark von der Anwendung ab

Bei drahtlosen Verbindungen hängt die Definition der Reichweite stark von der Anwendung ab. Während im einen Fall bereits ein Verlust von wenigen Prozenten des Durchsatzes eine sinnvolle Verbindung verhindert, genügt es im anderen, wenn überhaupt einzelne Bytes oder Pakete ankommen. Auf Kosten einer höheren Sendeleistung und somit eines höheren Energieverbrauchs oder auf Kosten einer Reduktion der Übertragungsrate lässt sich die Reichweite steigern. Aufwendigere Filter und bessere Codierungsverfahren erhöhen die Reichweite, führen aber zu höheren Kosten.

Die meisten Technologien reagieren mit einer Wiederübertragung von Paketen auf den Verlust von Übertragungsdaten. Dies führt einerseits zu einer Verminderung des Datendurchsatzes, andererseits zu einer Zunahme der benötigten Energie, da sowohl Sender als auch Empfänger länger aktiv sind und nicht in einen energiesparenden Schlafzustand wechseln können.

### Die Netzwerktopologie definiert, wer mit wem kommuniziert

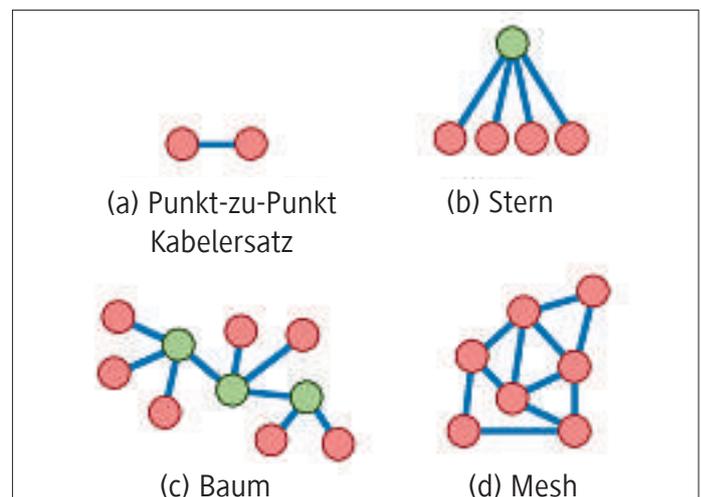
Die Topologie eines Netzwerks ist ein häufig vernachlässigter Punkt bei der Auswahl einer drahtlosen Technologie. Bei verkabelten Systemen ist durch Kabel und Stecker klar definiert und ersichtlich, welche Knoten wie miteinander verbunden sind. Im drahtlosen Fall ist die Situation viel komplexer. Ein sender Knoten kann meist Signale von vielen anderen Knoten empfangen. Oft ist es jedoch nicht erwünscht, dass alle Knoten untereinander eine direkte Verbindung eingehen.

- Im einfachsten Fall realisieren Anwender eine einfache Punkt-zu-Punkt-Verbindung (a) als Kabelersatz. Wie bei allen drahtlosen Verbindungen muss man jedoch auch

hier definieren, wie die Knoten einander finden, eine Verbindung miteinander eingehen, diese energiesparend unterhalten und zu gegebener Zeit wieder trennen.

- Im Fall einer Sterntopologie (b) agiert ein zentraler Knoten als Master und geht Verbindungen mit mehreren Slaves ein. Die Anzahl gleichzeitiger Verbindungen ist dabei stark von der Technologie abhängig. Sie hat über die Grösse des Adressfelds in der Übertragung und über das Zeit- oder Frequenzmultiplexing in der Regel einen direkten Einfluss auf den pro Knoten verfügbaren Datendurchsatz. In der Sterntopologie kann man beim Verbindungsaufbau den Energiebedarf im Slave auf Kosten des Masters reduzieren. Der Slave sendet dabei kurze Verbindungsanfragen und geht dazwischen in den energiesparenden Schlafmodus. Das aufwendige Scannen für Verbindungsanfragen liegt dann beim Master, welcher seinen Receiver über eine längere Zeit eingeschaltet haben muss. Dies minimiert beispielsweise den Energiebedarf für einen batteriebetriebenen Sensor, um eine Verbindung zu einem Gerät mit Netzversorgung oder grösserem Akku (z.B. Smartphone) herzustellen.
- In einer Sterntopologie geht der Slave-Knoten nur mit dem Master eine Verbindung ein. Er kann mit einem anderen Slave nur indirekt über den Master kommunizieren. Eine Baumtopologie (c) erweitert die Sterntopologie, indem die Master-Knoten Verbindungen zu anderen Master-Knoten eingehen können. Die Master agieren in diesem Fall als Router zwischen den Sternnetzwerken.
- Die flexibelste, aber auch komplexeste Topologie ist das Mesh-Netzwerk. In diesem Fall können die Knoten mehre- →

Vier verbreitete Topologien von drahtlosen Systemen



Technologie	Eigenschaften
Bluetooth Low Energy (ble) – Bluetooth Smart (Bluetooth SIG)	Alle Schichten 2,4 GHz (weltweit) Sterntopologie: verbindet einen Master mit mehreren energiearmen Slaves, grosse Interoperabilität von Produkten durch genormte Profile Durch die grosse Verbreitung in Smartphones existiert eine Vielzahl von Masterknoten.
802.15.4 (IEEE)	Untere Schichten: PHY und MAC Wireless PAN (Personal Area Networks): Low Power, Low Data Rate: 20 bis 250 kBit/s Einheitlicher MAC mit verschiedenen PHY-Technologien, z. B. 868 MHz (Europa), 915 MHz (USA), 2,4 GHz (weltweit) Erlaubt Stern- und Peer-to-Peer-Topologien. Wird von ZigBee, 6LoWPAN, Wireless Hart und anderen als Grundlage für höhere Schichten genutzt.
802.11 (IEEE)	Untere Schichten: PHY und MAC Wireless Local Area Networks (WLAN): 1 bis 54 MBit/s Einheitlicher MAC mit verschiedenen PHY-Technologien, z. B. 2,4 und 5 GHz Höhere Schichten verwenden die bewährten Protokolle aus der TCP/IP-Familie.
6LoWPAN (IETF)	Höhere Schichten Bindet Knoten mit limitierter Energie und Prozessorleistung über eine Adaptionsschicht mit Header Compression in ein IPv6-Netzwerk ein. Dadurch können bewährte Protokolle aus der TCP/IP-Familie eingesetzt werden. Ursprünglich für 802.15.4; für ble und Z-wave in Arbeit.
ZigBee (ZigBee Alliance)	Höhere Schichten, basiert auf IEEE 802.15.4 Routing-Funktionalität für Stern-, Baum- und Mesh-Topologien Unterscheidet zwischen energiearmen Endknoten mit langen Schlafphasen und permanent verfügbaren Routern, die mehr Energie zur Verfügung haben. Stellt ein Applikations-Framework und Profile für die Interoperabilität von Produkten unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung.
Wireless Hart (HART Communication Foundation, IEC 62591)	Höhere Schichten, basiert auf IEEE 802.15.4 Drahtlose Variante des drahtgebundenen HART-Standards Zeitsynchrones Mesh-Netzwerk. Die Kommunikation in vorbestimmten Timeslots erlaubt zuverlässige Verbindungen mit garantierten Quality-of-Service-Attributen, z. B. tiefe Latenz. Grosse Verbreitung in der Steuerung von industriellen Prozessen.
Z-Wave (Z-wave Alliance, ITU G.9959)	Untere Schichten: (PHY und MAC) ITU-G.9959 Höhere Schichten: Z-wave Alliance 868 MHz (Europa), 908 MHz (USA) Mesh-Topologie (Home Area Networks) mit Datenraten von 9,6, 40 oder 100 kBit/s. Knoten sind entweder im energiearmen «Frequently Listening Mode» mit langen Schlafphasen oder im «Always Listening Mode», wenn mehr Energie zur Verfügung steht.
EnOcean (EnOcean Alliance, ISO/IEC 14543-3-10)	Alle Schichten 315 MHz (Nord- und Südamerika, Japan), 868 MHz (Europa, China), 902 MHz (USA) Transmitter, Receiver und optionale Repeater: Optimiert für Übertragungen im Energy-Harvesting-Bereich (oft unidirektional); sehr kurze Pakete (max. 13 Bytes) vermindern die Kollisionswahrscheinlichkeit. IEC standardisiert PHY, MAC und Netzwerkschicht. EnOcean Alliance normiert Applikation (Interoperabilität).

Viele Weitere, z. B. ANT, Dash7, DECT ULE, Wireless M-Bus, RFID, NFC

Eine Auswahl von Wireless-Standards und ihre Eigenschaften

re Verbindungen mit anderen Knoten in ihrem Sende-/Empfangsbereich eingehen. Weitere Knoten können sie indirekt über andere Knoten erreichen. Dies führt zu redundanten Pfaden und erhöht damit die Erreichbarkeit der einzelnen Knoten. Ist die Fähigkeit für das Weiterleiten von Daten nicht vorhanden, spricht man auch von Peer-to-Peer-Netzwerken.

### Standard oder proprietäre Lösungen

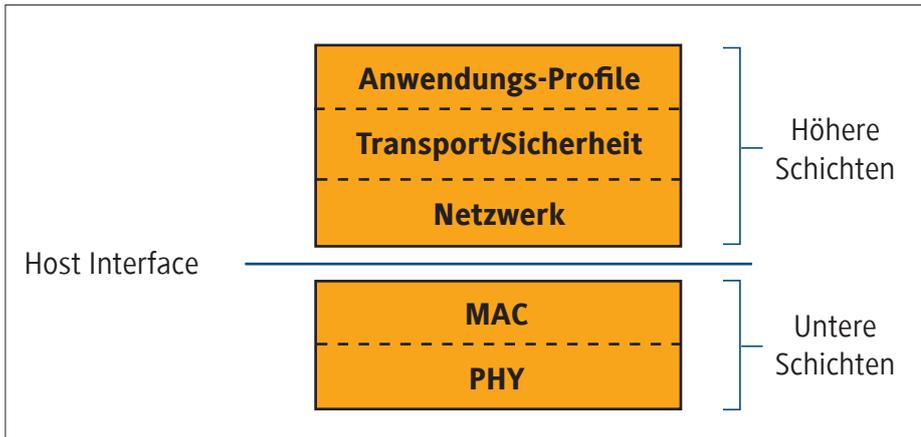
Auf der einen Seite erlauben proprietäre Lösungen eine gezielte Optimierung für spezifische Anforderungen ohne Rücksicht auf Kompatibilität mit anderen Produkten. Anwender können Energiebedarf, Reichweite oder andere wichtige Eigenschaften auf vorhandene Bedürfnisse präzise abstimmen. Auf der anderen Seite profitieren Anwender eines Standards von der Interoperabilität mit anderen Produkten. Aufgrund der grossen Stückzahlen liegen die Kosten tiefer, und man kann aus Komponenten von verschiedenen Herstellern auswählen. Die Komponenten sind zudem länger auf dem Markt erhältlich. Um die Interoperabilität zu gewährleisten, verlangen einige Standardisierungsgremien eine spezielle Zertifizierung, damit ein Produkt den Namen und das Logo des Standards benutzen darf.

### Untere Schichten sind Hardware, obere Schichten Software

Drahtlose Systeme gliedern sich in mehrere Schichten. Physical Layer (PHY) und Media Access Control (MAC) bilden die unteren Schichten. Sie sind oft zusammen auf einem gemeinsamen Hardwarebaustein integriert. Die PHY-Schicht legt Frequenzband, Modulation und Sendeleistung fest. Die MAC-Schicht bildet die Frames für die Übertragung, bestimmt die Topologie und sorgt für eine korrekte und sichere Übertragung zwischen Knoten im gleichen Netz.

Die höheren Schichten oberhalb des sogenannten Host Interfaces sind meist in Software implementiert. Die Netzwerkschicht sorgt für das netzübergreifende Routing. Die Transportschicht garantiert eine Übertragung in einer definierten Qualität und gewährleistet die Sicherheit. Die Anwendungsprofile erlauben eine interoperable und verteilte Implementation einer Anwendung.

Während Standards wie Bluetooth Low Energy alle Schichten standardisieren, spezifizieren andere nur die unteren Schichten (z. B. IEEE 802.15.4) oder nur die höheren Schichten (z. B. Zigbee oder 6LoWPAN). Zigbee schreibt aber vor, dass für die unteren Schichten IEEE 802.15.4 verwendet wird.



Die Schichten eines vereinfachten Wireless-Stacks

### Sicherheit ist nötig – sie hat aber auch ihren Preis

Da im Gegensatz zu einem Kabel das Übertragungsmedium bei der drahtlosen Übertragung allgemein zugänglich ist, kommt der Sicherheit eine viel stärkere Bedeutung zu. Knoten müssen authentifiziert werden, um zu bestimmen, mit wem sie eine Verbindung eingehen dürfen und sollen. Unberechtigte Knoten können sonst durch böswartiges Verhalten ein Netzwerk stören oder schlimmstenfalls lahmlegen. Zusätzlich müssen Anwender übertragene Daten durch Verschlüsselung gegen Mithören durch Unbefugte schützen. Authentifizierung und Verschlüsselung haben aber ihren Preis: Sie fordern ihren Anteil an

kostbarer Datenrate und steigern über die benötigte Prozessorleistung den Energiebedarf. Zusätzlich erschweren die Sicherheitsmechanismen die Benutzbarkeit eines Systems.

### Funkfrequenzen variieren je nach Einsatzort

Die erlaubten Funkfrequenzen und Sendeleistungen variieren je nach Einsatzort und schränken damit die Wahl einer Technologie ein. Während man in Europa beispielsweise die ISM-Frequenzbänder um 433 MHz und 868 MHz unlicenziert verwenden darf, ist es in Nord- und Südamerika das ISM-Band bei 915 MHz. Oft muss man zusätzlich länderspezifische Einschränkungen beachten. Weltweit verfügbar ist beispielsweise das durch WLAN und Bluetooth genutzte ISM-Band bei 2,4 GHz. Selbstverständlich muss jede der Technologien mit Störungen durch andere Benutzer im gleichen Frequenzband umgehen können.

### Fazit

Dieser Artikel hat ausgewählte Eigenschaften von drahtlosen Systemen beleuchtet sowie wichtige Fragen aufgezeigt, welche die Wahl einer Technologie oder eines Standards beeinflussen. Angesichts der Vielzahl drahtloser Technologien und ihrer Eigenschaften bestehen aber viele weitere wichtige Aspekte. Jede Anwendung benötigt individuelle Abklärungen, um die für sie passende Lösung zu finden. Erfahrungsgemäss ist der Einsatz eines drahtlosen Systems bedeutend mehr als der bloße Ersatz eines bestehenden Kabels. <<

### Infoservice

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)  
Institute of Embedded Systems  
Technikumstrasse 9, 8401 Winterthur  
Tel. 058 934 75 25, Fax 058 935 75 25  
info.ines@zhaw.ch, www.ines.zhaw.ch

# Leader in Bluetooth low energy



## EM 9301 – Bluetooth low energy controller for connected mode

- The part contains a low power radio IC and BLE controller
- EM's unique solution simplifies adding BLE to your design
- Use your existing MCU or select the MCU which fits best your application
- It's easy to merge the BLE routines to existing software
- Contact EM for the BLE stack software



## EM 9301 – Bluetooth low energy controller for e- and i-beacon

- The EM Chipset allows cost optimised solutions
- 5 years life time for a CR2032 or solar cells for batteryless supply
- Fast and economical customisation
- Application available on AppStore



EM Microelectronic-Marin SA  
Rue des Sors 3  
2074 Marin  
Tel. +41 32 755 51 11  
www.emmicroelectronic.com  
info@emmicroelectronic.com

### Institute of Embedded Systems

Am Institute of Embedded Systems (InES) der ZHAW in Winterthur arbeiten rund 50 Dozierende, Assistierende und wissenschaftliche Mitarbeitende. Dank interdisziplinärer Fachkompetenz garantieren sie die professionelle und planmässige Durchführung von Projekten und Aufträgen mit Industriekunden und Partnern. Gleichzeitig sichert das Institut einen hohen Standard in der Ausbildung und Betreuung der Studierenden. Die Forschung und Entwicklung im Bereich der industriellen Kommunikation ist anwendungsorientiert, das Institut versteht sich als Schrittmacher für die Verbreitung und Nutzung neuer Technologien im Bereich der eingebetteten verteilten Systeme. Die Schwerpunkte sind:

- System on Chip: FPGA-basierte Systeme für Netzwerkkommunikation
- Zeitsynchronisation und hochverfügbare Netzwerke
- Real-Time-Ethernet, sichere und verlässliche Systeme
- Wireless Communication: Lösungen für energieeffiziente und autonome Embedded-Systeme