A. Bolz, C. Moor[1]
Institut für Biomedizinische Technik
der Universität Karlsruhe
(Leiter: Prof. Dr. O. Dössel)
[1] Corscience GmbH & Co. KG

Bluetooth-Technologie als Kabelersatz im klinischen Umfeld

Zusammenfassung

Der klassische Weg der Signalübertragung mittels eines Kabels stört mechanisch und führt zu Artefakten. Drahtlose Technologien auf Basis von Bluetooth, wie sie beispielsweise für die Mobiltelefonie bereits seit langem Verwendung finden, sind auch für medizintechnische Applikationen wünschenswert. Dennoch herrscht noch immer eine große Unsicherheit in der Fachwelt, ob dies denn rechtlich und aus Sicht der Sicherheit möglich ist.

Dieser Beitrag fasst die aktuellen Erkenntnisse zusammen und erklärt an praktischen Beispielen, was heute bereits realisiert wurde. Es zeigt sich, dass selbst die FDA der Verwendung von Bluetooth zugestimmt hat und dass sich schon zahlreiche Geräte auf dem Markt befinden, die sich in der Praxis bewährt haben. Die heutigen technischen Komponenten erlauben eine preiswerte und rasche Implementierung der Bluetooth-Technologie in bereits existierende Medizinprodukte.

Schlüsselwörter

Drahtlose Datenübertragung, Bluetooth, Disease Management, Monitoring

Abstract

Regular data transmission using cables impairs mechanically and causes artifacts. Wireless technologies like Bluetooth as they are used for cellular phones are also wanted for medical devices. However, there is still a large uncertainty in the medical community. They don't know if the new technology is safe and legally approved.

This paper summarizes the state of the art and explains some practical examples that are already realized. Even the FDA has approved Bluetooth for medical devices and there are already different devices that have proven the practical usability. State of the art components allow a cheap and fast implementation of Bluetooth in existing devices.

Key Words

Wireless data transmission, Bluetooth, disease management, wireless monitoring

Einleitung

Wer ist nicht schon mal über ein am Boden liegendes Kabel gestolpert, hat dabei dem Patienten einen Sensor abgerissen oder ein Gerät zu Boden geworfen? Kabel sind notwendig, um eine elektrische Verbindung zwischen Sensor und Messgerät sicherzustellen. Aber Kabel stören rein mechanisch. In manchen Fällen lassen sie sich einfach hinter einer Verkleidung verstecken oder mit einem Schlauch kombinieren. Häufig hängen sie aber auch einfach lose herum. Was liegt da näher, als über Lösungen nachzudenken, das Kabel durch drahtlose Technologien zu ersetzen. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die wichtigsten drahtlosen Übertragungstechnologien und ihre Eigenschaften.

Technik	Frequenz	Datenrate	Reichweite	Sendeleistung
WLAN	2,4/5,2 GHz	1–11 / 6–54 KBit/s	25–500 m/k. A.	100 mW/200–1000 mW
Zigbee	868 MHz/2,4 GHz	28–250 KBit/s	10–75 m	1/10 mW
Bluetooth	2,4 GHz	57–721 KBit/s	10–100 m	1/10/100 mW
DECT	1,9 GHz	24–552 KBit/s	< 300 m	250 mW

Tab. 1: Vergleich der wesentlichen drahtlosen Übertragungstechnologien

Jeder der vorgestellten Funkstandards hat seine berechtigte Nischenanwendung in der Medizintechnik. DECT und Wireless LAN werden bereits bei der Ereignisübertragung im Heim- oder Klinikbereich eingesetzt, benötigen aber eine vergleichsweise hohe Energie. Inwieweit Zigbee sein Einsatzgebiet in der Medizin finden wird, wird gegenwärtig evaluiert. Zum jetzigen Zeitpunkt ist jedoch nur Bluetooth netzwerkfähig, verbrauchsarm, verfügbar und standardisiert. Damit erfüllt Bluetooth Anforderungen an die Online- und Ereignisübertragung, die von den anderen Standards nicht eingehalten werden können. Aktuell qualifiziert sich deshalb Bluetooth als führend für den Einsatz in der drahtlosen medizinischen Sensorik.

Ziel dieses Beitrages ist es, eine Zusammenfassung der aktuellen technischen Gesichtspunkte für den Einsatz der Bluetooth-Technologie unter klinischen Rahmenbedingungen zu geben. Darauf aufbauend soll anhand einiger Beispiele gezeigt werden, welche Möglichkeiten existieren und was bereits realisiert wurde.

Grundlagen der Bluetooth-Technologie

Die Bluetooth-Funktechnik arbeitet im Frequenzbereich um 2,4 Gigahertz. Ein Frequenzsprungverfahren und spezielle Fehlersicherungsprotokolle schützen Bluetooth vor Störungen und vor unberechtigtem Abhören. Jede Bluetooth-Apparatur besitzt eine 48 Bit lange Adresse, mit der sie sich weltweit identifizieren lässt. Durch die mögliche Verschlüsselung und Authentifizierung ist ein weiterer Datenschutz gegeben. Die Entfernung zwischen Sender und Empfänger kann bei Bluetooth bis zu 100 Meter betragen (sog. Class-1-Module). Für geringere Reichweiten lassen sich Class-2- und Class-3-Module einsetzen.

Bluetooth bietet je nach Bedarf mehrere Datenkanäle, bis zu drei parallel nutzbare Sprachkanäle oder einen Mischkanal, der Daten und Sprache gleichzeitig übertragen kann. Die Datenkanäle erreichen entweder eine asymmetrische Übertragungsrate von 721,2/57,6 KBit/s oder eine symmetrische Übertragung von 433,9 KBit/s in beiden Richtungen [6]. Spezielle Stromsparmodi ermöglichen eine Reduzierung des Leistungsverbrauchs. Im Besonderen ist hier der Sniff-Modus aufzuführen, bei dem sich

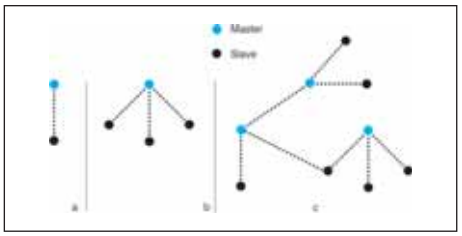

Abb. 1: (a) Pikonetze mit einem Slave, (b) mit mehreren Slaves und (c) ein Scatternetz [1]

das Bluetooth-Modul für eine vorher definierte Zeitspanne in einem inaktiven Pausenzustand befindet.

Per Bluetooth ist die Kommunikation von bis zu 7 Slaves in einem Pikonetz möglich. Einzelne Pikonetze können zu sogenannten Scatternetzen zusammengeschlossen werden (Abb. 1).

Um die Einhaltung des Bluetooth-Standards zu gewährleisten, wurden von der Bluetooth SIG (Special Interest Group) das Bluetooth-Protokoll [1] und die Bluetooth-Profile definiert [2]. Ein Bluetooth-Profil legt eine standardisierte Abfolge an verbindungsaufbauenden sowie verbindungssteuernden Befehlen aus dem Protokoll fest. Hierdurch wird die Übertragungskompatibilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller sichergestellt. Grundlegend für jegliche Kommunikation ist dabei das Serial Port Profile (SPP). Dieses Profil emuliert eine serielle Schnittstelle über Bluetooth und ermöglicht den einfachen Datenaustausch zwischen zwei Endgeräten. Auf SPP baut das Dial-up-Network Profile (DUNP) auf, worüber der drahtlose Zugriff auf ein Modem möglich ist, das sich in die vorhandenen Telefonnetze einwählt. Um eine Fernsteuerung des Modems per Funk vornehmen zu können, kommen Standard-AT-Befehle zum Einsatz [2].

Der Bluetooth-Protokollstack besteht in seiner Standardimplementierung aus einem oberen und einem unteren Teil. Auf der unteren Protokollebene werden Anfragen eines möglichen Verbindungsteilnehmers beantwortet, die keines Eingreifens durch das Applikationsprogramm bedürfen. Ein Beispiel hierfür ist die Übermittlung der Bluetooth-Geräteadresse nach einer entsprechenden Anfrage. Die unteren Protokollebenen werden daher von den Chip-Herstellern in das Bluetooth-Modul integriert, die oberen auf einem Host-Controller oder Personal Computer betrieben (Abb. 2).

Von hoher Bedeutung sind die unteren Ebenen auch für die Datensicherheit. Sie steuern z. B. das bereits erwähnte Frequenzsprungverfahren. Dies stellt sicher, dass Sender und Empfänger immer nur kurze Zeit auf einer Frequenz kommunizieren. Auf diese Weise wird der Einfluss elektromagnetischer Störungen minimiert, da eventuelle Datenverluste stets so gering gehalten werden, dass sie noch ohne Gefährdung der Echtzeitfähigkeit kompensiert werden können.

Neben der Standardimplementierung des Bluetooth-Protokolls bietet sich auch die Embedded-zwei-Prozessor-Lösung an. Bei dieser Lösung werden wie in der Standardimplementierung ebenfalls ein Bluetooth-Modul und ein Host-Controller für die Datenübertragung benötigt. Der Unterschied ist jedoch, dass sowohl untere als auch obere Protokollebenen in das Bluetooth-Modul integriert wurden. Auf dem Host-Controller wird die Verbindung lediglich gesteuert. Die Abarbeitung der Befehle geschieht im Modul selbst.

Noch einen Schritt weiter geht die Embedded-ein-Prozessor-Lösung. Diese betreibt nicht nur den gesamten Protokollstack auf dem Modul, sondern zusätzlich auch das Applikationsprogramm. Eine Übersicht über die Unterschiede vermittelt Tabelle 2. Mit effektiven 115,2 KBit/s ist bereits die Übertragung eines 12-Kanal-EKGs mit einer Abtastrate von 500 Hz möglich. Damit ist die Datenrate von Bluetooth für medizinische Anwendungen in der Regel ausreichend.

Bluetooth-Implementierung	Rechenleistung	Stromverbrauch	Kosten	Datenrate	Flexibilität	Netzwerk
Standard	hoch	hoch	hoch	721 KBit/s	alle Profile	bis 7 Slaves
Embedded-zwei-Prozessor	mittel	gering	mittel	300 KBit/s	alle Profile	bis 3 Slaves
Ein-Prozessor	gering	mittel	gering	200 KBit/s	eingeschränkt	Punkt-zu-Punkt

Tab. 2: Übersicht über die verschiedenen Optionen bei der Bluetooth-Implementierung

Evaluierung von Bluetooth für die medizinische Sensorik

Medizinische Bluetooth-Implementierungen stellen im Vergleich zu Anwendungen aus der Unterhaltungselektronik besonders hohe Anforderungen an Reichweite, Stromverbrauch und Datenrate. Aus diesem Grund wurde BlueSENSE entwickelt, ein für die Medizintechnik optimiertes Bluetooth-Modul. Dieses Modul lässt sich

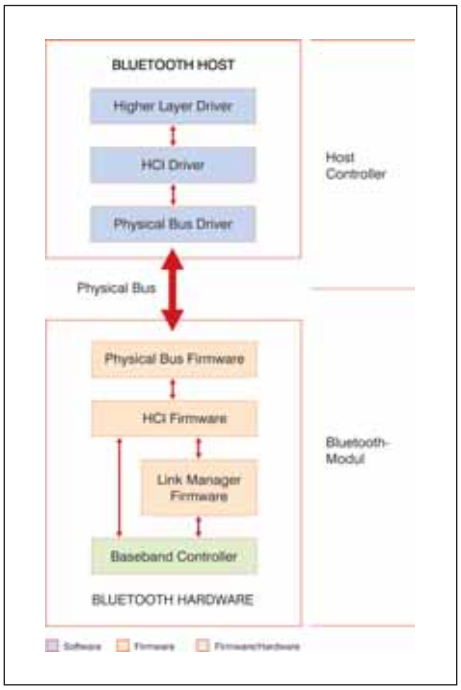

Abb. 2: Standard-zwei-Prozessor-Lösung

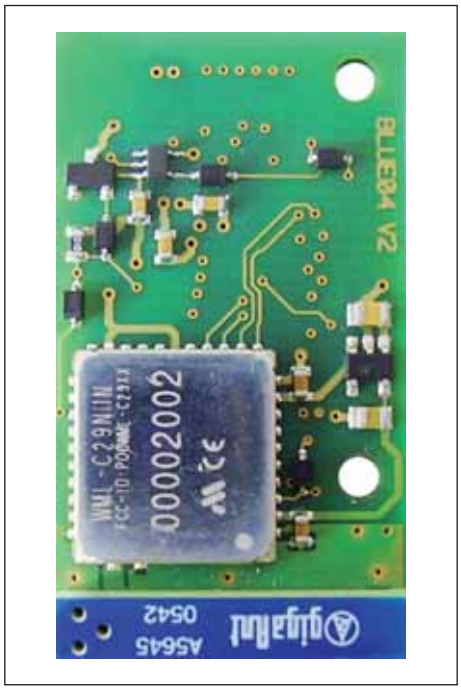

Abb. 3: BlueSENSE-Modul: (a) Ansicht von oben, (b) Ansicht von unten

wegen der universellen Auslegung in fast alle medizinischen Messgeräte integrieren und bildet die Grundlage für die Bluetooth-Übertragung der im Folgenden beschriebenen drahtlosen Sensoren.

Ein mit BlueSENSE (Abb. 3) ausgerüsteter Sensor kann sich in einem Bluetooth-Netz als Master oder Slave anmelden und seine Daten an einen Monitor oder PC/Laptop übertragen. BlueSENSE besitzt zwei Schnittstellen, einen gewöhnlichen UART sowie acht 12-Bit-A/D-Wandler. Hierdurch lassen sich einerseits Daten eines bestehenden Messgerätes wie auch Signale eines Analogverstärkers versenden. Übertragen werden diese beiden Schnittstellen durch zwei voneinander unabhängige serielle Profile.

Um Messgeräte mit unterschiedlicher UART-Geschwindigkeit anbinden zu können, lässt sich die Datenrate über externe Pins konfigurieren. Darüber kann eine der drei Übertragungsraten zwischen 9,6 KBit/s, 38,4 KBit/s und 115,2 KBit/s ausgewählt werden. Über eine vierte Beschaltungsmöglichkeit der Pins ist der Zugriff auf einen programmierten Wert möglich. Des Weiteren sind zur Flusskontrolle CTS- und RTS-Funktionen implementiert. Ein Carrier-Detect-Signal (CD) zeigt an, wann eine Verbindung zu einem Bluetooth-Master aufgenommen wurde. Neben den Einstellmöglichkeiten über Kontaktpins von BlueSENSE besteht die Möglichkeit, Konfigurations- und Kommunikationsbefehle an das Modul zu schicken. Über diese Befehle lassen sich Verbindungen zu anderen Bluetooth-Geräten aufbauen und Daten mit ihnen austauschen.

Da als Host-Controller ein Mikrocontroller zum Einsatz kommt, der im Stromsparmodus einige Mikroampere benötigt, verbraucht BlueSENSE im Stand-by-Betrieb nur 200 µA (Master ohne Verbindung). Wird der IDLE-Modus aktiviert, der ein Auffinden des Moduls noch möglich macht, so steigt der Verbrauch auf 1,4 mA bei 3,3 V im Mittel. Im internationalen Vergleich stellt dies die niedrigsten derzeit erreichbaren Werte dar.

Die maximal erzielbare Datenrate von BlueSENSE ist in Abb. 4a dargestellt. BlueSENSE erreicht mit einem Class-2-Bluetooth-Modul bei direktem Sichtkontakt eine Reichweite von 30 m. Es ist deutlich zu sehen, dass die maximale Datenrate von 115,2 KBit/s mit der Entfernung abnimmt. Dabei sind stabile 115 KBit/s bis 22 m Reichweite möglich, anschließend geht die Übertragungsrate deutlich zurück. Messungen haben gezeigt, dass BlueSENSE auch bei einem auf dem Sender liegenden Patienten eine sichere Übertragung erlaubt (s. Abb. 4 b).

Die Stromaufnahme von BlueSENSE mit und ohne Hindernis bei maximal möglicher Datenrate ist in Abb. 5 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Durchschnittswert mit der Entfernung und dem Vorhandensein eines Hindernisses von 40 mA bis auf 60 mA ansteigt.

Eine weitere Verbesserung der Stromaufnahme ergibt sich, wenn der Sniff-Modus bei einer Datenübertragung aktiviert wird. Mit einem Sniff-Modus von 1,1 s benötigt BlueSENSE nur noch 7 mA bei 3,3 V [4]. Anzumerken ist, dass selbst im Sniff-Modus noch die Übertragung eines 1-Kanal EKGs mit 500 Hz Abtastrate und einer Auflösung von 2 Byte möglich ist.

Zulassung von Medizinprodukten mit Bluetooth-Schnittstelle

Der Zulassungsprozess von Medizinprodukten mit Bluetooth-Schnittstelle besteht aus mehreren Teilen. Zuallererst müssen für die Inverkehrbringung – wie bei allen Medizinprodukten – die Anforderungen der Medical Devices Directive (MDD) eingehalten werden. Ein wichtiger Bestandteil ist dabei die Prüfung der Produktnormen sowie der grundlegenden

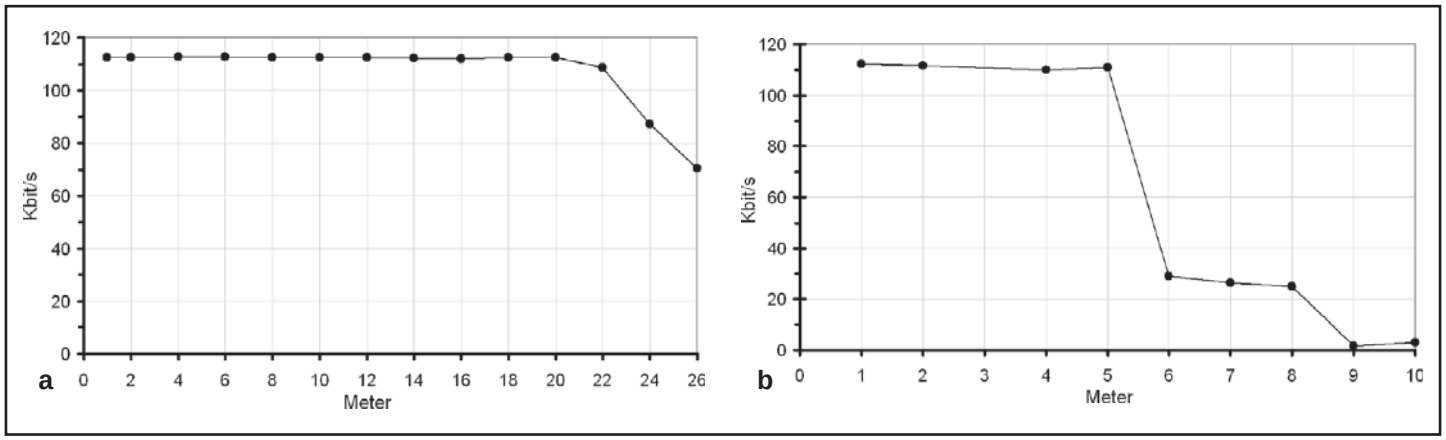

Abb. 4: (a) Datenrate von BlueSENSE ohne Hindernis, (b) Datenrate von BlueSENSE mit darauf liegendem Patienten

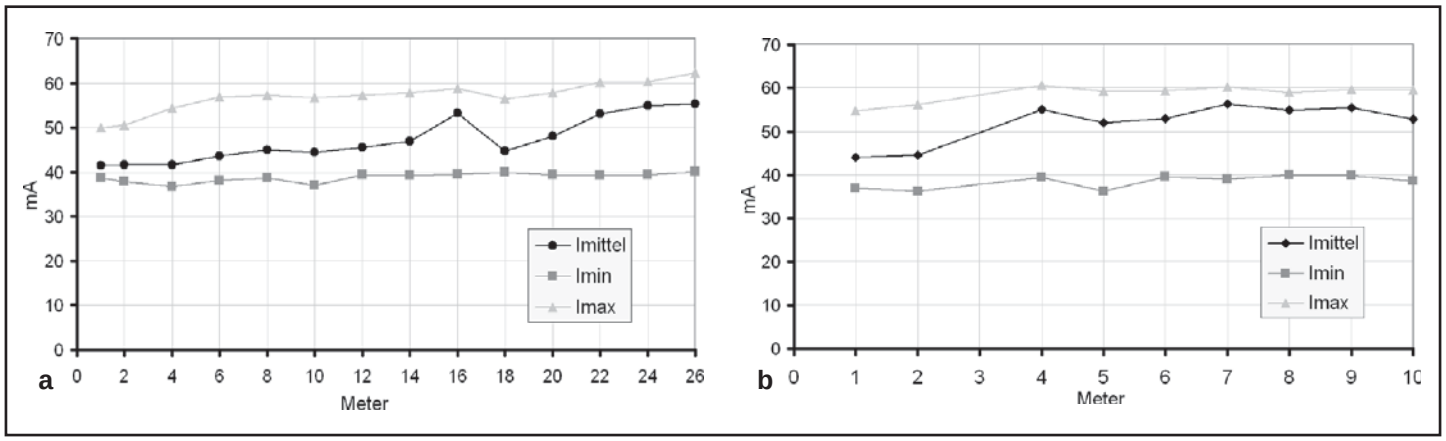

Abb. 5: (a) Stromaufnahme von BlueSENSE ohne Hindernis, (b) Stromaufnahme von BlueSENSE mit darauf liegendem Patienten

Anforderungen an Medizinprodukte, insbesondere der elektromagnetischen Verträglichkeit (EN 60601-1-1). Bei der EMV-Prüfung müssen Anforderungen an die Störfestigkeit wie auch die Störaussendung, also die Emission von elektromagnetischer Strahlung, eingehalten werden. Neben EMV- und Produktnormen müssen Qualitätsrichtlinien erfüllt werden, die in einer Fehlermöglichkeiten-Einflussanalyse (FMEA) und einem Risikomanagementprozess nach EN 14971 zusammengefasst werden. Durch die FMEA werden in einer vorausschauenden Analyse mögliche Fehlerquellen in der Konstruktion, Planung und Produktion erfasst und deren Auswirkungen auf Produkte, Dienstleistungen und den Fertigungsprozess durch Umsetzung präventiver Schritte verhindert. Die Risikoanalyse dient der Herleitung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Schadensfall eintritt. Bei einem Restrisiko bewertet sie das Ausmaß des Schadens. Der Risikoanalyse wird bei der Entwicklung von Medizinprodukten ein hoher Stellenwert zugeordnet. Werden Risiken erkannt, so muss bereits im Rahmen der Entwicklung etwas zur Minimierung des Restrisikos getan werden. Die Funkschnittstelle muss daher bei FMEA und Risikoanalyse besonders betrachtet werden. Es müssen Sicherheitsmechanismen eingebaut werden, die das Abbrechen einer Funkverbindung erkennen und eine fehlerfreie Übertragung sicherstellen.

Da ein Medizinprodukt mit Bluetooth-Schnittstelle auch eine Telekommunikationseinrichtung ist, muss darüber hinaus die entsprechende R&TTE-Richtlinie 1999/5/EG (Radio & Telecom Terminal Equipment) eingehalten werden. Diese Richtlinie regelt die EMV-Anforderungen an das Funkmodul und prüft dabei auch die Einhaltung der erlaubten Sendeleistung.

Neben MDD und R&TTE-Directive unterliegen Produkte mit Bluetooth dem sogenannten Bluetooth Qualification Program. Für ein Endgerät bedeutet dies, dass in Interoperabilitätstests die korrekte Implementierung der Bluetooth-Profile geprüft wird. Diese erfolgen in funktionalen Tests gegen andere Bluetooth-Geräte. Zusätzlich muss das entwickelte Gerät nachweisen, dass dessen Bluetooth-Protokollstack mit Referenzsystemen, den so genannten Blue Units, fehlerfrei kommuniziert [8].

Ein Blick auf die Website der FDA zeigt, dass diese Technologie mittlerweile auch durch die FDA akzeptiert wurde. Im Jahresbericht 2004 wird festgehalten, dass Bluetooth „reif und zuverlässig ist“, so dass es für medizinische Zwecke grundsätzlich nutzbar ist. Auch aus Strahlenschutzsicht sieht die FDA aufgrund der äußerst geringen Sendeleistungen keine gesundheitlichen Bedenken.

Besonders hervorzuheben sind auch bereits vorliegende praktische Erfahrungsberichte aus der Klinik, die über einen fehlerfreien Einsatz berichten [5].

Beispiele

Die beschriebene technische Entwicklung der letzten Jahre sowie die Akzeptanz durch die FDA hat dazu geführt, dass es bereits eine Reihe von zugelassenen medizinischen Geräten gibt, die Bluetooth zur Datenübertragung nutzen. Hierzu zählen:

Fernsteuerungen
- EKG-Geräte
- Pulsoximeter
- Blutdruckmessgeräte
- Peak-Flow-Meter
- Blutzuckermessgeräte
- Intensivmonitore
- und vieles mehr

In allen Fällen wurde das beschriebene BlueSENSE-Modul als Basis der Integration verwendet. Dies bietet den Vorteil, dass alle zulassungsrelevanten Unterlagen übernommen werden können, was den Integrationsaufwand minimiert. Einige Beispiele sollen die Möglichkeiten verdeutlichen:

Das Bluetooth-basierte EKG-Gerät BT 12

BT 12 ist das Mobilteil eines Bluetooth-EKG-Gerätes (siehe Abb. 6), das für die drahtlose Messung von 3, 6 oder 12 EKG-Kanälen eingesetzt werden kann. Konzipiert wurde BT 12 für den Einsatz in Systemen mit Online-Monitoring. In Variante 1 wird ein 3-Kanal-EKG nach Einthoven über eine 4-Elektroden-Anordnung abgeleitet. Durch Software-Konfiguration über den Monitor kann das 3-Kanal-EKG auf ein 6-Kanal-EKG erweitert werden. Bei Variante 2 handelt es sich um ein 12-Kanal-EKG mit 3 Ableitungen nach Einthoven, 3 nach Goldberger und 6 nach Wilson. Neben der einfachen Übertragung der EKG-Kanäle werden auf dem Mobilteil der QRS-Komplex und damit die Herzrate bestimmt, die Elektrodenkontaktqualität gemessen sowie eine Schrittmachererkennung ausgeführt. Zudem wurde als Schutz gegen Defibrillatorimpulse ein Defibrillatorschutz integriert.

Abb. 6: BT 12

Während einer Langzeitüberwachung werden die Messdaten in Echtzeit zu einem Hostsystem übertragen (z. B. PC, PDA oder proprietärer Monitor, alternativ Weiterleitung über ein Handy an eine Zentrale). Wird während einer Online-Übertragung die Verbindung durch äußere Umstände unterbrochen, so werden die Daten im internen Speicher zwischengespeichert. Anschließend wird für 5 Minuten versucht, die Online-Übertragung wieder aufzunehmen und die zwischengespeicherten Messdaten mit dem Empfangssystem zu synchronisieren. So lässt sich ein lückenloses Monitoring auch dann gewährleisten, wenn der Patient den Empfangsbereich versehentlich verlässt.

CorBELT – Bluetooth-Event-Recorder zur Überwachung von Risikopatienten

Der Bluetooth-Event-Recorder CorBELT (Abb. 7) ist ein System zur kontinuierlichen Überwachung von kardiologischen Hochrisikopatienten in ihrer gewohnten häuslichen Umgebung. Um bei kritischen Herzzuständen schnell Hilfe holen zu können, trägt der Patient einen nur 120 g schweren Brustgurt, der kontinuierlich das abgeleitete EKG analysiert. Detektiert der Brustgurt ein lebensgefährliches Ereignis, so wird automatisch eine Bluetooth-Verbindung zu einer Basisstation aufgebaut. Diese Basisstation gibt einen opto-akustischen Alarm ab, um Angehörige oder Pflegekräfte vor Ort herbeizuholen. Hierdurch wird eine schnelle Hilfeleistung gewährleistet, die Leben retten kann.

Zusätzlich zur Alarmierung der Angehörigen und Pflegekräfte wird über die Basisstation eine Telefonverbindung zu einer elektronischen Patientenakte aufgebaut. Diese empfängt von der Basisstation das

Abb. 7: CorBELT – Bluetooth-Brustgurt für kardiologische Risikopatienten

EKG von 30 s vor und 30 s nach dem erkannten Ereignis. Außerdem werden die von der elektronischen Akte empfangenen EKG-Daten an ein Call-Center oder eine Rettungsleitstelle übermittelt. Die ausführliche Analyse der Daten wird dort durch qualifiziertes Personal vorgenommen. Wurde beispielsweise ein Herzkammerflimmern erkannt, so erfolgt die sofortige Alarmierung eines Notarztes.

Gegenüber bestehenden Systemen übernimmt CorBELT auch die Alarmierung bei kritischen Herzzuständen. Dies gibt Hochrisikopatienten eine erhöhte Sicherheit beim Umgang mit ihrer Erkrankung im täglichen Leben [8].

Peak-Flow-Meter AM1 mit Bluetooth

Das hier vorgestellte Peak-Flow-Meter AM1 (Abb. 8) wurde in Kooperation mit der Firma Viasys entwickelt. Es baut nach einer Messung eine Verbindung als Blue tooth-Master zu einem Mobiltelefon auf

Abb. 8: Peak-Flow-Meter mit Bluetooth-Schnittstelle

und versendet mittels GSM-Technologie eine SMS an den Empfangsserver. Übertragen werden dabei der Peak-Flow, der FEV1 sowie die Medikamenteneinnahme und die aufgetretenen Symptome (Husten, Auswurf …) des aktuellen Tages. Diese Daten werden anschließend beim Betreiber des Disease-Management-Programms automatisch ausgewertet. Über- oder unterschreiten die Messwerte die gesetzten Grenzen, so wird die überwachte Person kontaktiert und gegebenenfalls in die Klinik oder zum Hausarzt gebeten. Durch das geschilderte Vorgehen bei Disease-Management-Programmen lassen sich bereits frühzeitig Verschlechterungen im Krankheitsbild erkennen. Dadurch sucht der Patient rechtzeitig einen Arzt auf, bevor sich die Krankheit weiter verschlimmert, was eine unnötige Hospitalisierung vermeidet und damit die Versorgungskosten senkt.

Blutdruckmessgerät 705 IT mit Bluetooth

Ein analoges Beispiel einer erfolgreichen Integration des BlueSENSE-Moduls bietet das bekannte Blutdruckmessgerät 705 IT der Firma OMRON (Abb. 9). Auch hier wird das Gerät mittels Bluetooth in Disease-Management-Netzwerke mittels eines Handys eingebunden. Dank der Verwendung existierender Komponenten war der Integrationsaufwand gering, was zu einer schnelleren Amortisierung führt.

Abb. 9: Blutdruckmessgerät mit Bluetooth-Schnittstelle

Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellten Sensoren stellen den aktuellen Entwicklungsstand von drahtlosen, Bluetooth-fähigen medizinischen Messgeräten dar. Bei allen Systemen handelt es sich um zugelassene Medizinprodukte, so dass die in den letzten Jahren geleistete Forschungsarbeit als abgeschlossen betrachtet werden kann. Aktuell lassen sich damit Systeme zum Online-Monitoring, zur Überwachung von Herz-Risikopatienten und zur Verbesserung von Disease-Management-Programmen aufbauen. Alle vorgestellten Sensorsysteme haben gemeinsam, dass Behinderungen des Patienten und des behandelnden Personals minimiert sowie die Artefaktempfindlichkeiten reduziert werden. Ferner lässt sich durch die neuen Ansätze eine telemetrische Überwachung von Personen in ihrer häuslichen Umgebung realisieren, die davor nicht möglich gewesen wäre. Die beschriebenen Behinderungen und Einschränkungen gehören damit der Vergangenheit an. Für Arzt und betreuendes Personal ergibt sich in den Bereichen Sport-, Schlaf-, Notfall-, Intensivmedizin und Heimüberwachung eine Erleichterung der medizinischen Routine. Aus rechtlicher, sicherheitstechnischer und praktischer Sicht steht damit der Verbreitung der Bluetooth-Technologie auch im Krankenhaus und sogar im OP oder auf der Intensivstation nichts mehr im Wege. Vorhandene Komponenten wie das BlueSENSE-Modul erlauben auch kostengünstige Entwicklungen.

LITERATUR

[1] Bluetooth SIG, Specification of Bluetooth System: Core, Version 1.1, 2001

[2] Bluetooth SIG, Specification of Bluetooth System: Profiles, Version 1.1, 2001

[3] Moor C, Schwaibold M, Roth H, Schöchlin J, Bolz A: Entwicklung drahtloser Sensoren auf Basis von Bluetooth. Biomedizinische Technik 2002; 47-1: 325–327

[4] BluesenseAT, Datenblatt, v 1.0, Corscience GmbH & Co. KG, 2004

[5] Pals H, Gönne M, Matz H, Gehring H: Untersuchung zur Störanfälligkeit von Bluetooth im perioperativen Bereich. Biomedizinische Technik 2004; 49-1: 238–239

[6] Bray J, Sturman CF: Bluetooth: Connect Without Cables. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA 2000

[7] Simon K, Willimowski I, Hölscher U: Anwendung von Bluetooth in der Medizintechnik. MT Medizintechnik, TÜV-Verlag GmbH, 2004; 1: 26–33

[8] Braecklein M, Moor C, Tchoudovski I, Bolz A: Erprobung eines automatischen Systems zur kontinuierlichen häuslichen Überwachung von kardiologischen Risikopatienten. Biomedizinische Technik 2004; 49-1: 234–235

Dr.-Ing. Claudius Moor
Corscience GmbH & Co. KG,
Henkestr. 91
91052 Erlangen
E-Mail: moor@corscience.de