

A. Bolz
M. Braecklein
C. Moor

Technische Möglichkeiten des Telemonitorings physiologischer Parameter

Eingegangen:  Fehlt! 
Akzeptiert: 26. Juli 2005

The technical possibilities in telemonitoring of physiological parameters

■ **Summary** For decades, telemonitoring of vital parameters has been a recurring topic among experts. Because of its lack of economical advantages it has not established itself as a standard up to now.

Thanks to novel wireless communication technologies such as Bluetooth or Zigbee, the enormous technological progress in mobile communication via GSM, GPRS, as well as UMTS and various radical medical changes within disease management programs, currently very promising new potentials for telemonitoring are appearing. This article summarizes the current technological developments, discusses their advantages and drawbacks, and deduces scenarios and technical requirements for future system architectures.

■ **Key words** Telemonitoring – ECG – weight – blood pressure – pulse oximetry

■ **Zusammenfassung** Telemonitoring von Vitalparametern ist seit vielen Jahrzehnten ein immer wiederkehrendes Thema in der Fachwelt. Bislang hat es sich jedoch mangels ökonomischer Vorteile noch nicht zum Standard durchgesetzt.

Dank neuer drahtloser Kommunikationstechnologien wie Bluetooth oder Zigbee, dem enormen technischen Fortschritt in der Mobilkommunikation über GSM, GPRS und UMTS sowie einiger tiefgreifender medizinischer Veränderungen im Rahmen der Disease Management Programme eröffnen sich jedoch aktuell neue Potenziale für das Telemonitoring, die einen Durchbruch versprechen. Der vorliegende Beitrag fasst die aktuellen technischen Entwicklungen zusammen, diskutiert deren Vor- und Nachteile und leitet daraus Szenarien und Anforderungsprofile zukünftiger Systemarchitekturen ab.

■ **Schlüsselwörter** Telemonitoring – EKG – Gewicht – Blutdruck – Pulsoximetrie

Prof. Dr. Armin Bolz (✉)
Institut für Biomedizinische Technik
Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstr. 12
76135 Karlsruhe, Germany
E-Mail: bolz@ibt.uni-karlsruhe.de

Martin Braecklein · Claudius Moor
Corscience GmbH & Co KG
Henkestr. 9
91052 Erlangen, Germany

Einleitung

Die Idee mit Hilfe des Telemonitorings von Vitalparametern schneller und einfacher diagnostizieren und vor allem reagieren zu können, ist so alt wie die Telefonie. Drahtgebundene Datenübertragung über die Telefonleitung begann bereits Anfang des letzten Jahrhunderts, erbrachte jedoch keinen medizinischen Mehrwert und wurde deshalb fallen gelassen. Erste medizinisch verwendbare, mobile Systeme entstanden in den 60er Jahren, als Analog-Frequenz-Wandler aus den Vitalparametern Töne unterschiedlicher Höhe generierten und diese über das reguläre Telefonnetz weiterleiteten. Dieses Verfahren des sogenannten Akustikkopplers ist zwar denkbar unpraktisch, da der Nutzer zunächst die Messung durchführen, dann ein Telefon aufsuchen, eine Nummer wählen und schließlich das Messgerät solange an den Hörer halten muss, bis alle Daten übertragen wurden. Dies kann je nach Anwendung einige Minuten dauern. Dennoch hat es sich bis in die heutige Zeit in vielen Geräten gehalten und bewährt. Die weiteste Verbreitung fanden derartige Systeme in Flächenstaaten wie Skandinavien oder den USA, wo sie bspw. zur Fernüberwachung von Schrittmachersystemen eingesetzt wurden.

Mit dem Aufkommen der Mobilfunktechnik und vor allem des Internets bzw. alternativer digitaler Netzwerke eröffnen sich jedoch völlig neue, drahtlose und vor allem wesentlich schnellere Möglichkeiten eines effektiven Telemonitorings. Eine umfassende technische Übersicht über mögliche Telemetrieansätze findet sich in [2]. Der folgende Beitrag konzentriert sich jedoch mehr auf praktikable und verwendbare Verfahren des Telemonitorings im medizinischen Einsatz. Komplett drahtgebundene Lösungen werden

dabei nicht berücksichtigt, da sie den Nutzer zu stark in seiner Mobilität einschränken.

Stand der Technik im Telemonitoring von Vitalparametern

Es existieren eine Vielzahl akademischer Ansätze, die anhand einzelner Funktionsmuster die technische Machbarkeit medizinischer Datentelemetrie aufgezeigt haben. Begonnen beim BAN-Projekt der Fraunhofer Gesellschaft [1] über das IMEX Projekt [3] bis hin zu Einzelaktivitäten vieler Universitäten ist die prinzipielle Machbarkeit bestätigt. Grundlegende Arbeiten zur Störsicherheit haben gezeigt, dass Verfahren mit gesicherter Datenübertragung selbst in realen Umgebungen wie OP-Sälen eine ausreichende Sicherheit aufweisen. Dabei kristallisieren sich mehr und mehr Bluetooth-basierte Ansätze als die Methode der Wahl heraus. Zukünftig scheinen auch WLAN-Systeme geeignet, sofern sich ihr Strombedarf noch weiter senken lässt. Allein auf der letzten Jahrestagung der DGBMT wurden etwa 50 Vorträge zum Thema Bluetooth in der Medizin gehalten.

Parallel zu dieser akademischen Diskussion wurden mehr oder weniger unbemerkt bereits komplette Telemonitoringsysteme von verschiedenen Firmen entwickelt, als Medizinprodukt zugelassen und in den Markt gebracht. Neben den etwas älteren Ansätzen von Vitaphone und PHTS, die beide auf älterer Technologie aufbauen, sind insbesondere zwei Ansätze erwähnenswert.

■ Telemonitoring von Blutdruck und Gewicht bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz

Die Firma IEM hat in ihre Blutdruck-Uhr und in eine Waage einen Bluetooth-Transceiver eingebaut, der es ermöglicht, Daten über ein Bluetooth-fähiges Mobiltelefon per SMS an ein Service-Center und von dort weiter in eine Online-Patientenakte zu übertragen (s. Abb. 1). Auf diese Akte haben Patienten und Ärzte Zugriff. Es lassen sich Regeln für die Auswertung definieren, aufgrund derer Alarm-Meldungen in verschiedenen Formen (Fax, SMS, E-Mail) an die Nutzer versandt werden können.

Die Übertragung vom Messgerät (Waage oder Blutdruck) zum Mobiltelefon läuft über eine

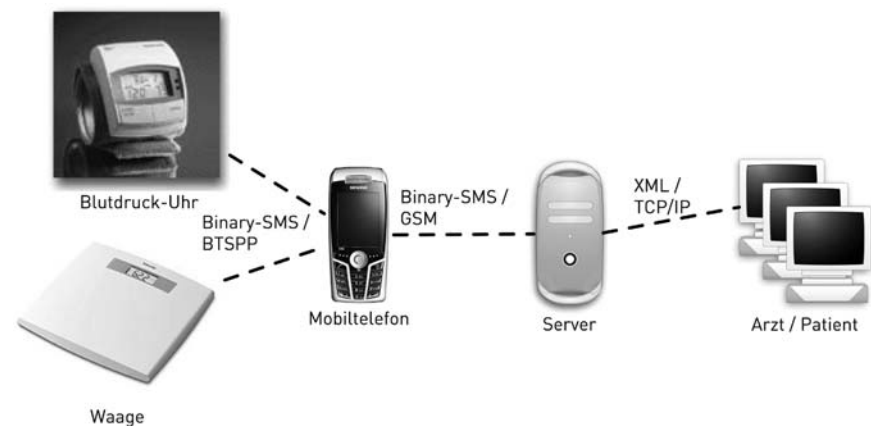


Abb. 1 Aufbau des serverbasierten Blutdruck- und Gewichtsmonitorings

BTSP-Verbindung zum DIALUP_NETWORK_SERVICE des Mobiltelefons. Nach dem Verbindungsaufbau sendet das Gerät Befehle zum Telefon, welche dieses veranlassen, eine SMS an eine vorher definierte Empfangsadresse mit den aktuellsten Messwerten zu senden. Der Empfänger der SMS, das sogenannte ROS-Center (Remote-Operator-Station) extrahiert die Daten und die Seriennummer des Gerätes aus der SMS und legt die Daten in der entsprechenden Patientenakte auf einem zentralen Server per TCP/IP ab. ROS-Center existieren dabei jeweils eines in jedem Land, es gibt aber nur einen Server für alle Patientenakten. Nähere Details sind in einem aktuellen Beitrag von Gmelin zusammengefasst [5].

Telemedizin soll hierbei keinesfalls den Arzt ersetzen, sondern vielmehr ein Verständnis des Patienten für seinen Therapieverlauf schaffen und mögliche Fehlentwicklungen kurzfristig aufzeigen. Die Technik soll helfen, relevante Parameter einer Erkrankung in einem definierten Korridor zu halten anstatt erst im Fall einer akuten Krise durch stationäre Behandlung in der Klinik reagieren zu können. Konkret bei CHF-Patienten bedeutet dies, dass ein akuter Blutdruckanstieg oder das Überschreiten eines vordefinierten Körpergewichtes zu einer Alarmierung des betreuenden Arztes führt, der telefonisch oder persönlich einer Anpassung der Medikamentierung übernimmt und so den kardialen Zustand stabilisiert.

Gegenüber der klassischen Punkt-zu-Punkt-Verbindung von einem Rechner zu einem anderen hat diese Lösung einen besonderen Vorteil. Der zwischengeschaltete Server fungiert als sicherer Datenverteiler, d.h. er kann die Informationen in der Art und Weise aufbereiten, in der sie der Anwender benötigt und lesen kann. So wird der klassische Arzt

die Daten als Fax bekommen wollen, der mobile Anwender eher per SMS oder GPRS-Telemetrie und der innovative Nutzer wiederum eine Internetverbindung bzw. eine Client-Applikation auf seinem PC verwenden wollen. Darüber hinaus besitzt der Server eine eigene Intelligenz und kann bspw. ein eigenes Event-Management durchführen, d.h. automatisch bei Auftreten besonderer Ereignisse eine Meldung auslösen. Auf diese Weise wird dem Arzt die kontinuierliche Überwachung abgenommen und so ein lückenloses Monitoring ermöglicht.

■ Überwachung des Herz-Kreislaufsystems mit Hilfe der Pulsoximetrie

Ein technisch sehr ähnliches System hat die Firma Cardiosafe AG kürzlich vorgestellt. Hier kommt ein speziell entwickeltes, bluetoothfähiges Pulsoximeter zum Einsatz, das sich in Analogie zu einem herkömmlichen Hörgerät hinter dem Ohr tragen lässt (s. Abb. 2). Es erlaubt eine kontinuierliche Überwachung der

partiellen Sauerstoffsättigung und der Herzfrequenz. Aktuelle klinische Studien an der ETH-Zürich zeigen, dass sich auf diese Weise eine Vielzahl kardialer Störungen hochsensitiv erfassen lassen wie z.B. Vorhofflimmern, Kammertachyarrhythmien, Bradykardien und Lungenfunktionsstörungen. Erste Ergebnisse deuten sogar an, dass sich mit Hilfe dieses Systems eine beginnende Ischämie erkennen lässt.

Das System eignet sich somit ideal für das Monitoring von Risikopatienten im klinischen Umfeld, bspw. nach einem akuten Herzinfarkt. Aus präventionsmedizinischer Sicht ist insbesondere an die Patienten zu denken, die bei einer der Screeninguntersuchungen einen auffälligen Befund aufweisen und bei denen sich aus Sicherheitsgründen eine kontinuierliches Follow-Up empfiehlt.

Technisch gesehen werden auch hier die SpO₂- und Herzfrequenzwerte über ein Bluetooth-fähiges Mobiltelefon per SMS an ein Service-Center und von dort weiter in eine Online-Patientenakte übertragen. Auch die verwendeten Pro-



Abb. 2 Bluetooth-Pulsoximeter zur telemetrischen Überwachung der Sauerstoffsättigung mit dem Auricall-System der Firma Cardiosafe AG

tololle und Methoden ähneln dem unter 2.1 vorgestellten System.

Der wesentliche Unterschied ist das verwendete GSM-Smartphone, dass in dieser Anwendung mit einer eigenen Software zur Anzeige und Alarmgenerierung ausgestattet wird. Das in Abschnitt 2.1 vorgestellte System verwendete das Handy lediglich als Relaisstation. Dazu ist keine gesonderte Software auf dem Handy erforderlich, d.h. handelsübliche Handys können ohne technische Veränderung direkt verwendet werden. Die für den Verbindungsaufbau erforderliche Intelligenz muss dann im Sensor integriert werden.

Im letzteren Szenario ist dagegen eine eigene Software (Applikation) auf dem Handy erforderlich. Dafür übernimmt es die gesamte Kommunikation mit dem Sensor und ist sogar in der Lage, gleichzeitig mit mehreren Sensoren zu kommunizieren und ihre Daten parallele zu übermitteln. Diesem eindeutigen Vorteil steht der deutliche Nachteile des höheren Gerätepreises und der aufwendigeren Logistik gegenüber.

Erweiterte Systemarchitekturen für telemedizinische Anwendungen

Aus technischer Sicht haben die handelsüblichen Mobiltelefone meist eine schlechte Bluetooth-Qualität, d.h. eine kurze Reichweite, da sie in der Regel für die Verwendung von Bluetooth-Headsets optimiert wurden. Außerdem gehorchen viele Standardhandys nicht den Bluetooth-Normen. Aus diesem Grunde ist der Verbindungsaufbau zwischen Consumer-Handy und Sensor bei vielen Gerätekombinationen noch unzuverlässig.

Der beschriebene Ansatz über SMS-basierte Datenkommunikation ist in dieser Form entwickelt worden, da er die einfachste Me-

thode darstellt. Der Bluetooth-Sensor übernimmt dabei die Rolle des Masters und hat damit die Kontrolle im Gesamtsystem. Als Relaisstation eignet sich jedes bluetoothfähige GSM-Telefon. Da es nur als Datenmodem verwendet wird, muss es dabei noch nicht einmal eine spezielle Applikation erhalten. Einen ähnlichen Ansatz verwendet beispielsweise die ICD-Telemetrie der Firma Biotronik [6].

Diese Architektur hat jedoch eine Reihe von Nachteilen. SMS-Dienste weisen nur eine etwa 98%ige Übertragungssicherheit auf. Das bedeutet, dass das Übersenden der medizinischen Daten nicht garantiert ist und aufgrund der fehlenden Empfangsbestätigung auch nicht kontrolliert werden kann. Ferner wird vom Provider nicht garantiert, dass die SMS zeitaktuell innerhalb eines bestimmten Intervalls übermittelt wird. Bei starkem SMS-Anfall kann die Übertragungszeit durchaus auch einige Stunden betragen. Dieser Ansatz ist daher nur für unkritische Dienste geeignet.

Ferner lassen sich in einer SMS nur relativ wenige Daten hinterlegen. Für ein kontinuierliches Online-Monitoring ist dieser Aufbau daher nicht geeignet, nicht zuletzt aufgrund der Kostensituation. SMS-Dienste sind in Verbindung mit der monatlichen Grundgebühr der Mobilfunkanbieter für längere Überwachungen teuer und daher eher für kurzzeitige Anwendungen verwendbar. Auf der Suche nach Alternativen sollte daher noch einmal grundlegend über die sinnvolle Kombination existierender Kommunikationsformen nachgedacht werden.

Alternative Kommunikationsformen

Prinzipiell muss in der Kommunikation zwischen Patient und

Arzt zwischen einer Punkt-zu-Punkt-Kommunikation und einer serverbasierten Kommunikation unterschieden werden. Die Punkt-zu-Punkt-Szenarien sind allerdings stark rückläufig, da die Bereitstellung einer hochverfügbaren, skalierbaren Infrastruktur auf Empfängerseite für den Arzt sehr aufwändig ist. Die meisten Anbieter von Punkt-zu-Punkt-Übertragungsdiensten bieten mittlerweile auch serverbasierte Lösungen an.

Lösungen, die einen Server zur zentralen Speicherung der Daten einsetzen, sind aus datenschutzrechtlicher Sicht schwieriger und aufwändiger umzusetzen. Bei entsprechender Dokumentation und Validierung werden aber auch serverbasierte Lösungen in öffentlichen Netzen von den Datenschützern nicht prinzipiell abgelehnt.

Bei Einsatz mehrerer Messgeräte kann die Übertragung vom Messgerät zum Empfänger (Server oder Arzt) über verschiedene Wege erfolgen: Entweder jedes Gerät sendet seine Daten für sich oder mehrere Geräte beim Patienten fassen ihre Daten über einen Hub (eine Basisstation) zusammen und senden die Informationen gebündelt zum Empfänger. Auch muss entschieden werden, ob die Sensoren ihre Messdaten aktiv weiterleiten oder ob die Daten von Außen (bspw. von einer Basisstation) abgerufen werden müssen.

Für den Weg vom Sender (Basisstation oder Sensor) zum Empfänger (Server oder Arzt) kommen auch wiederum verschiedene Möglichkeiten in Betracht:

- Direktwahlverbindung
- Versand per SMS
- IP-basierter Versand und vieles mehr

Somit ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für die Kommunikation (s. Abb. 3).

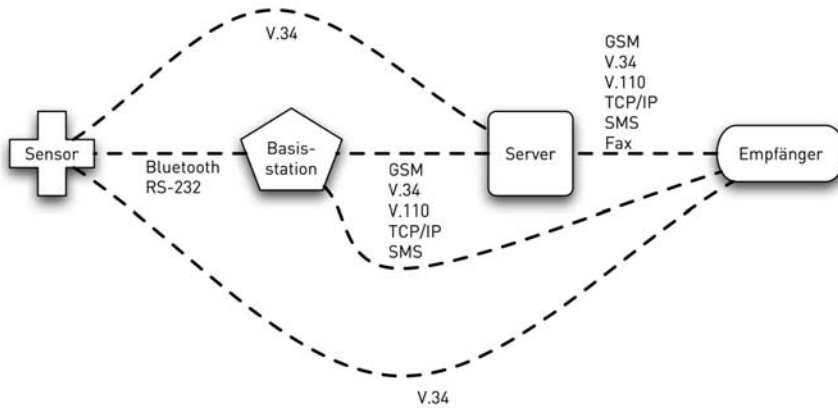


Abb. 3 Mögliche Kommunikationswege/Protokolle zwischen Sensor und Empfänger

■ Kommunikationsprotokolle

Auf den verschiedenen Teilstrecken können je nach verfügbarer Verbindung unterschiedliche Kommunikationsprotokolle zum Einsatz kommen. Aufgrund der beschränkten Ressourcen an Rechenleistung, die auf dem Sensor zur Verfügung stehen, wird auf den vom Sensor abgehenden Strecken (zur Basisstation, zum Server oder direkt zum Empfänger) meist ein proprietäres Kommunikationsprotokoll auf Basis einer seriellen Verbindung (RS-232, V.34, BTSP) eingesetzt.

Auf Teilstrecken, die über eine größere Bandbreite verfügen, lassen sich XML-basierte Protokolle einsetzen, um die Daten später einfacher in medizinische Standardformate wie HL7 oder SCIPHOX umsetzen zu können.

Auf der letzten Teilstrecke zum Empfänger ist es unter Umständen wieder sinnvoll, auf andere Übertragungsformate wie Telefax umzustellen, falls dem Empfänger kein digitaler Empfang möglich ist. Auch kann hier durch den Einsatz der Server-Lösung die Zahl der Empfänger multipliziert werden, um im Fall von Alarmen die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die Meldung auch wahrgenommen wird.

Erweiterte Lösungsansätze

Die Diskussion aller in Abschnitt 3 voreestellten Optionen legt es nahe, intelligentere Basisstationen zu entwickeln, die eine Aufbereitung der medizinischen Informationen vornehmen und eine sichere, zeit-synchrone und kostengünstige Übertragung der Daten sicherstellen. Folgende Szenarien empfehlen sich dabei.

■ Kardiales Eventmonitoring für Risikopatienten

Einen ersten Schritt in die skizzierte Richtung stellt das von der Firma Corscience in Erlangen entwickelte und vermarktete kardiale Home-Monitoring System dar. Es besteht aus einem Brustgurt, einer Basisstation (BlueLINK) und einer Empfangs-Software für den Arzt oder ein Präventionszentrum. Der Brustgurt erfasst kontinuierlich das EKG und das Bewegungsprofil des Patienten und analysiert es. Wird eine pathologische Veränderung (bspw. eine brady- oder tachykardie Rhythmusstörung) detektiert, so speichert der Brustgurt das entsprechende EKG-Segment und übersendet unmittelbar per Bluetooth eine SOS-Nachricht an eine spezielle Basisstation. Diese baut sogleich per Modem eine direkte Datenverbindung mit der Empfangs-Software auf, um die letzten zwei aufgezeichneten Minuten des EKGs zu übertragen. Beim Empfänger erscheint unmittelbar ein Meldung über die neu eingegangene Aufzeichnung.

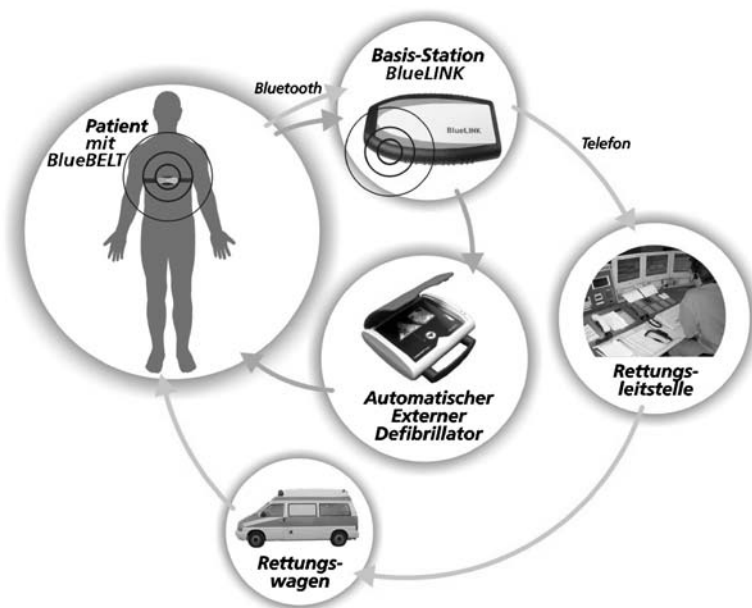


Abb. 4 Überwachung kardiologischer Risikopatienten mit automatischer Alarmierung des Rettungsdienstes

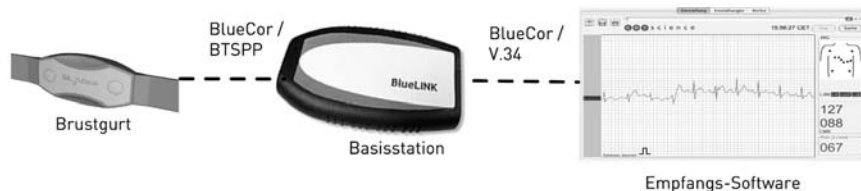


Abb. 5 Kardiales Eventmonitoring von Corscience

Das besondere an diesem System ist, dass selbst wenn der Patient bewusstlos ist, ein Alarm abgesetzt und schnell Hilfe herbeigeholt wird. Hierzu kann die Relaisstation selber als lokaler Alarmgeber für Angehörige oder Pflegepersonal dienen und über die Datenfernübertragung parallel ein Arzt oder der Rettungsdienst alarmiert werden (vgl. Abb. 4).

Für die Übertragung sowohl zwischen Brustgurt und Basisstation als auch von dort weiter zur Empfangs-Software benutzt Corscience ein eigenes binäres Datenprotokoll (BlueCor). Nach dem Empfang auf dem Server werden die Datensätze in ein von der FDA spezifiziertes XML-Format für EKG-Daten exportiert [4]. Abbildung 5 zeigt den technischen Aufbau des Systems.

Das dargestellte System vermeidet die Unsicherheit und Datenratenbeschränkung der SMS-Übertragung durch Verwendung des klassischen und bewährten V.34-Protokolls. Dazu bietet BlueLINK die notwendige Schnittstelle zwischen den Bluetooth-Sensoren und dem Empfangsserver des Systembetreibers durch die Integration eines Bluetooth-Transceivers und eines analogen 56 K Modems. Dank eines Class I Bluetooth-Moduls verfügt das Gerät über eine Reichweite von 100 m.

Wird BlueLINK in der Master-Konfiguration betrieben, so kann es selbständig in definierten Intervallen die umliegenden Sensoren kontaktieren und die aufgezeichneten Messwerte auslesen. Anschließend werden diese Daten über das Modem an den konfigu-

rierten Empfangsserver übertragen. Darüber hinaus ist es möglich, das Modem in BlueLINK durch einen Webclient zu kontaktieren und eine Bluetooth-Verbindung mit dem gewünschten Sensor aufzubauen. Hiermit können Messgeräte fernkonfiguriert, ferngewartet und aktiv fernabgefragt werden. Für diese Form der Kommunikation implementiert BlueLINK einen SPP-Master. Es ist damit der aktive Partner bei einer Verbindungsaufnahme.

Alternativ lässt sich BlueLINK als Bluetooth-Slave einsetzen, so dass Bluetooth-Sensoren über die Profile Serial-Port-Profil (SPP) oder Dial-Up-Network (DUN) verbunden werden. Erfolgt die Verbindungsaufnahme zur SPP-Schnittstelle, so liegt die Kontrolle der Modemverbindung auf der Seite von BlueLINK. BlueLINK muss entsprechend konfiguriert werden, damit bekannt ist, an welchen Empfänger das Modem die Messwerte übertragen soll. Im Gegensatz hierzu liegt die Kontrolle des Modems bei einer DUN-Verbindung auf der Seite des Sensors selbst. Nach einem erfolgreichen Verbindungsaufbau schickt der Sensor AT-Befehle über Bluetooth direkt an das Modem in BlueLINK. BlueLINK bietet damit eine äußerst flexible und an die jeweiligen Bedürfnisse anpassbare Schnittstelle zwischen Sensoren und einem Web- oder Arztserver für eine funktionierende Heimüberwachung.

Darüber hinaus trägt die Basisstation BlueLINK zu einer deutlichen Kosteneinsparung bei. BlueLINK wird zwischen ein

herkömmliches kabelgebundenes Telefon und die Telefonbuchse geschaltet. Im inaktiven Zustand funktioniert das Telefon wie bisher. Wird BlueLINK aktiviert und sendet es Daten, so wird eine eventuelle bestehende Telefonverbindung getrennt und BlueLINK übernimmt den Verbindungsaufbau. Das bedeutet, dass jeder beliebige Analog- oder ISDN-Anschluss verwendet werden kann und keine zusätzlichen Monatsgebühren anfallen. Auch die Datenübertragung wird zeitbasiert mit den wesentlich günstigeren Analoggebühren abgerechnet. Bei herkömmlichen Verträgen hat sich ein derartiges System nach etwa 8 Monaten amortisiert. Der Nachteil dieser Technik ist jedoch die Ortsgebundenheit der Basisstation. Es eignet sich damit nur für stationäres Monitoring. Eine mobile GPRS-Version des Gerätes ist jedoch in Vorbereitung.

■ Kombination beider Systeme für ein umfassendes Monitoring

Aus der Kombination der bislang vorgestellten Systeme lässt sich ein System entwickeln, das eine komplexe telemedizinische Diagnostik erlaubt. Hierzu sind folgende Modifikationen erforderlich.

Erweiterung des Mobiltelefons zur mobilen Basisstation

Aus Kostengründen wurde für die Waage und das Blutdruckmessgerät der Kommunikationsweg per SMS gewählt, bei dem das Mobiltelefon von den Sensoren nur als Modem benutzt wird, um die SMS-Nachrichten ins GSM-Netz einzubringen. Nachteil dieser Lösung ist, dass eine Erweiterung um neue Geräte automatisch auch die Zahl der versendeten SMS erhöht und zudem aufgrund der beschränkten Größe einer SMS nur geringe Datenmengen möglich sind. Die

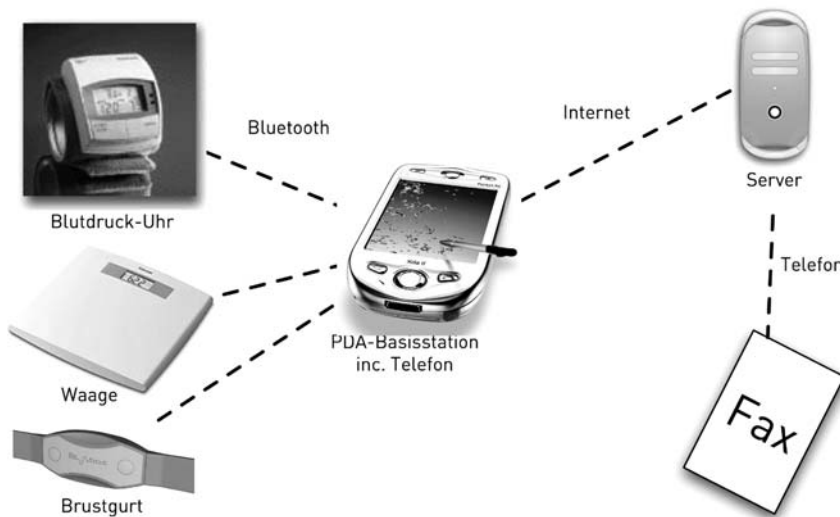


Abb. 6 Aufbau der Telematik mit intelligenter Basisstation

Lösung ist also nur für einzelne Parameter bei langen Messintervallen zu empfehlen, da ansonsten die Kommunikationskosten stark ansteigen.

Um die genannten Probleme zu umgehen und zudem noch die Integration des EKG-Rekorders zu ermöglichen, wird dem System noch ein PDA (PocketPC, Smartphone) hinzugefügt. Auf diesem PDA wird eine Anwendung installiert, die der Waage und dem Blutdruckmessgerät einen DIALUP_NETWORKING Dienst zur Verfügung stellt, wie er normalerweise vom Mobiltelefon zur Verfügung gestellt wird, um den Geräten Zugang zum Modem zu geben. Dieser Dienst fängt die zu sendenden Nachrichten ab und extrahiert die darin enthaltenen Informationen. Für den EKG-Brustgurt wird ein einfaches serielles Profil angeboten, damit auch dieser seine Daten auf dem PDA ablegen kann.

Die gesammelten Daten können dann von dieser intelligenten Basisstation aus über GSM oder Analogtelefon ein- oder mehrmals-täglich an den behandelnden Arzt (z. B. per Telefax) oder einen Empfangsserver versandt werden. Abbildung 6 zeigt diesen neuen Aufbau.

Die Datenübertragung zwischen PDA und Server findet per GPRS statt, da nur relativ kleine Datenpakete zu einem Internet-Server gesendet werden. Diese Pakete bestehen aus XML-Daten für die Messwerte, den EKG-Daten in Binärform sowie einem Patientenschlüssel zur Identifikation des Datensatzes. Falls andererseits ein Bericht per Telefax gewünscht ist, kann dieser entweder serverseitig oder aber mittels eines zusätzlichen Tools direkt auf dem PDA generiert werden. Erste Funktionsmuster dieses Systems bietet die Firma Avetana bereits an.

Der deutliche Nachteil ist dabei die Verwendung eines Consumer-Produktes, des PDA. Derartige Geräte werden in aller Regel nur für etwa 2 Jahre hergestellt und dann durch neuere Typen ersetzt, was zu hohen Folgeaufwendungen und ständiger Produktpflege führt. Nebenbei muss auch die hohe Wahrscheinlichkeit einer Zweckentfremdung für private Anwendungen erwähnt werden bis hin zum Diebstahl dieser begehrten Komponente. Aus diesem Grund ist zukünftig die intelligente Basisstation mit GPRS-basierter XML-Übertragung für pro-

fessionelle Anwendungen durch eine GPRS-Variante des BlueLINK zu ersetzen. Dieses medizinisch zugelassene Produkt ist langfristig verfügbar, kann nicht durch Laien manipuliert werden, da es keine Tasten besitzt, und ist qualitativ deutlich zuverlässiger.

Änderungen auf der Empfängerseite

Beim Empfänger kommt eine Software von Avetana zum Einsatz, die die Daten einliest und in die entsprechende Patientenakte überträgt. Auf die Patientenakte wird per Browser oder speziellem Arzt-Client zugegriffen. Über den Arzt-Client lassen sich die Daten interaktiv visualisieren und auch offline bearbeiten (Abb. 7).

Auf dem Server können komplexe Regeln für Auswertung der Monitoring-Daten hinterlegt werden (Abb. 8). Diese Regeln generieren Alarme, die dann per SMS, Telefax oder E-Mail an vorher definierte Empfänger versandt werden.

Eine Gesamtansicht des Monitoring-Systems ist in Abbildung 9 dargestellt. Je nach Anwendung lassen sich natürlich auch weitere Sensoren in diese Systemarchitekturen integrieren.

Die Basisstation als Ortungsmodul

All diese Szenarien und Systeme eignen sich hervorragend zur Übertragung medizinischer Information. Die technische Machbarkeit ist erwiesen, erste Produkte lassen sich bereits kaufen. Was passiert jedoch, wenn ein Sensor eine pathologische Veränderung erfasst und meldet?

In den bisherigen Szenarien – wie sie beispielsweise durch die Firmen Vitaphone oder Medgate bereits angeboten werden – werden einkommende Nachrichten telefonisch bearbeitet und der Patient wird fernmündlich beraten. Ziel ist dabei lediglich eine Pa-

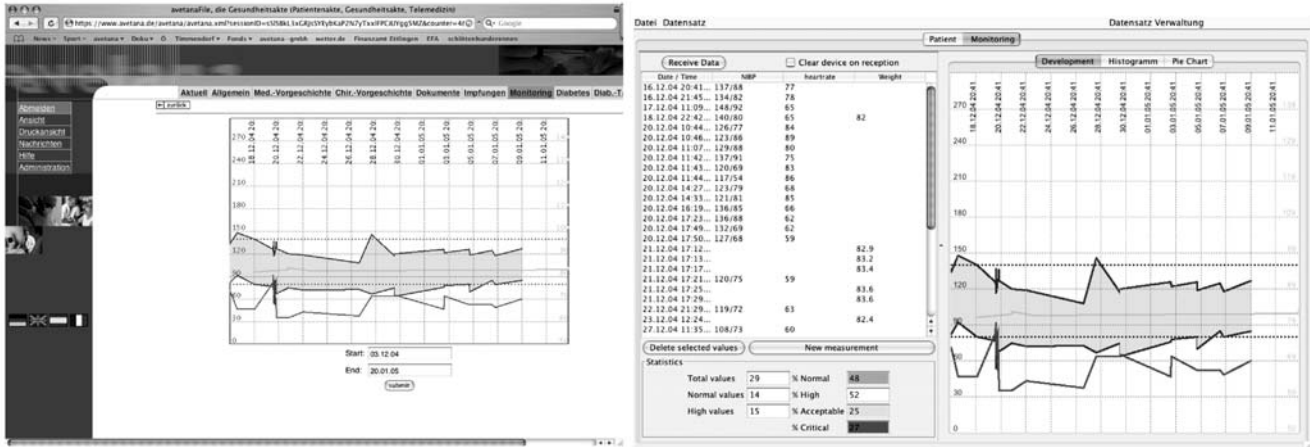


Abb. 7 Blutdruck-Visualisierung im Browser (links) und im Arzt-Client (rechts)

Weight Development-Check

Increase of weight

No average (each measurement)

average of last n measurements

average of last n days

more than kg compared with

average of previous n measurements

average of previous n days

Abb. 8 Definition einer Regel zur Gewichtsentwicklung

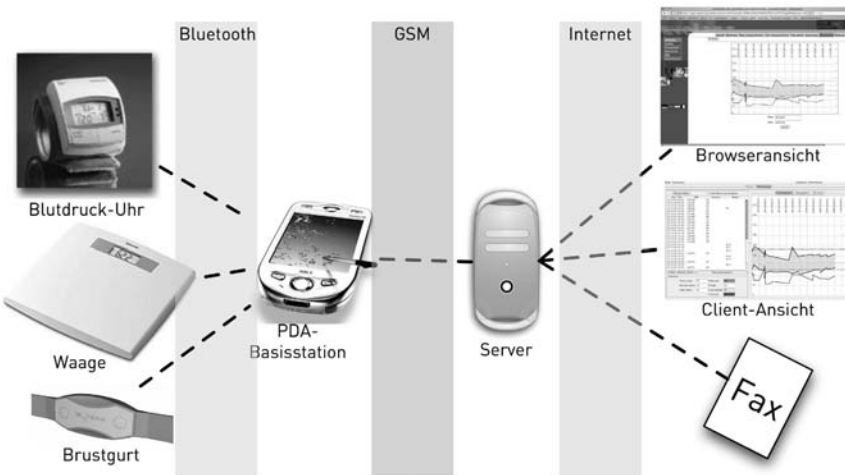


Abb. 9 Gesamtansicht des kombinierten Monitoring-Systems

tientenstromlenkung und Unterstützung bei der Frage, ob ein Arzt aufgesucht werden muss oder nicht.

Aus präventionsmedizinischer Sicht wesentlich wichtiger ist jedoch die Frage, was zu tun ist, wenn eine akut lebensbedrohliche

Veränderung eingetreten ist, die eine sofortige notärztliche Maßnahme erfordert. Als Beispiel sei hierbei genannt, dass etwa 5% der Herzinfarktpatienten im ersten Jahr nach dem Infarkt ein Kammerflimmern erleiden und daran versterben, wenn sie nicht sofort defibrilliert werden.

Bei einer stationären Lösung wie unter Abschnitt 4.1 beschrieben, ist der Aufenthaltsort des Patienten bekannt. In diesem Fall lässt sich das klassische und bewährte System des Hausnotrufs nutzen. Bei Verwendung mobiler Basisstationen ist jedoch die Position des Patienten zunächst unbekannt. Hier bieten sich Verfahren der einfacheren GSM-Ortung oder gar der GPS-basierten Ortung an. Die Firma Corscience hat hierzu bereits erste Systeme entwickelt, die per Internet die genaue Position des Mobilteils anzugeben erlauben (s. Abb. 10). Die Kombination mit den oben beschriebenen Systemarchitekturen erlaubt somit sogar bei lebensbedrohlichen Erkrankungen eine unbeschränkte Mobilität des Patienten bei gleichzeitiger bestmöglicher medizinischer Überwachung und Hilfeleistung im Notfall.



Abb. 10 Screenshot der Ortungsplattform zur Lokalisation von Risikopatienten

Zusammenfassung

Das Telemonitoring von Vitalparametern bietet eine sinnvolle Ergänzung zu klassischen medizinischen Ansätzen. Bereits verfügbare Produkte haben die hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit der

Technologie bestätigt. Die derzeitigen technischen Probleme einer geringen Datenrate, einer fehlenden Zeitsynchronität und relativ hoher Kosten bei Verwendung von Standard-Mobilfunkkomponenten lassen sich durch die Entwicklung spezieller Hubs und die Verwen-

dung alternativer Protokolle und Übertragungsverfahren beseitigen. Durch die zunehmende Verbreitung von Bluetooth in medizinischen- wie in consumer-Geräten lassen sich derartige Verknüpfungen kostengünstig und ergonomisch realisieren.

Server-basierte Systeme werden in der nächsten Zeit aufgrund ihrer Flexibilität und höheren Verfügbarkeit die Punkt-zu-Punkt-Systeme weitgehend verdrängen. Durch den Einsatz von Digital-Fax-Gateways lassen sich die Teilnahmevoraussetzungen an solchen Telemedizin-Systemen, auch wenn sie im Grunde Internet-basiert sind, sehr gering halten, indem die gesamte Arztkommunikation per Fax erfolgt. Verschiedene Firmen bieten bereits für die Knotenpunkte Bluetooth-PDA, Web- und Datenbank-Server, Patienten- und Arzt-Client sowie Fax-Gateway Software-Komponenten an, die Telemedizin-Lösungen schnell und kostengünstig realisierbar machen.

Literatur

1. <http://www.ban.fraunhofer.de>
2. Becks T (2002) IMEX – a new knowledge platform for microsystems in medicine. Biomed Tech 47(Suppl 1):907–908
3. Bolz A, Urbaszek W (2002) Technik in der Kardiologie. Springer
4. FDA-XML Format Spezifikation. http://www.cdisc.org/discussions/EGC/FDA_XML_Data_Format_Requirements_Specification_DRAFT_B.pdf
5. Gmelin M (2005) Avetana – Datenmanagement in der Präventivmedizin. Biomedizinische Technik. Bd. 50, tpb
6. Wildau HJ (2004) Wireless remote monitoring for patients with atrial tachyarrhythmias. J Electrocardiol 37 (Suppl):53–54