

Mobiles Monitoring: Energiebedarf von Sensoren und Smartphone für die Verarbeitung und Übertragung relevanter Daten auf einen Server

Thomas Huber, Johannes Kreuzer, Robert Diemer
thomas.huber@ubitexx.de

Abstract: Im Bereich der Telemedizin werden Daten von verschiedenen Sensoren an ein mobiles Gerät, beispielsweise PDA, Smartphone oder Handy übertragen. Das mobile Gerät dient dabei als Speicher-, Anzeige- und Übertragungsmedium zu einem zentralen Server. Diese scheinbar einfache Lösung hat aber mehrere Hürden, die für ein benutzerfreundliches System gemeistert werden müssen.

Das Forschungsprojekt InPriMo (individualisierte Prävention mit Mobilien Endgeräten der Zukunft), gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Innovation (BMWi), hat den Aufbau einer Mobile-Health-Serviceplattform zum Ziel. Diese kann möglichst einfach an ein Anwendungsszenario und an unterschiedliche Sensoren angepasst werden. Zudem werden nicht-invasive Sensoren entwickelt (u.a. mobile Messung der Körperkerntemperatur), die ebenso wie kommerziell erhältliche Sensoren drahtlos an das System angebunden sind. Die Messdaten werden auf einem Smartphone angezeigt und zur Speicherung an eine Webplattform weitergeleitet. Somit sind Analysen über größere Zeiträume hinweg sowie Vergleiche mit anderen Personen möglich.

Zwei grundsätzliche Messabläufe lassen sich mit Hilfe dieses Systems für den Bereich der mobilen Prävention voneinander unterscheiden:

Zum einen gibt es die gelegentliche, durch Ereignisse hervorgerufene Übertragung von Daten. Diese wird entweder von extern oder auf Grund anormaler Messwerte veranlasst. Zum anderen gibt es eine kontinuierliche Datenübertragung, wobei die Sensoren Messwerte in äquidistanten Zeitabständen aufnehmen.

Während die ereignisgesteuerte Übertragung sich unproblematisch auf die Akkulaufzeit und andere Prozesse des mobilen Gerätes auswirkt, so wird der kontinuierliche Datentransfer zu einem zentralen Thema der Entwicklung. Einerseits dürfen die (Komfort-)Funktionen, das Telefonieren, Musik hören, usw. nicht eingeschränkt werden, andererseits verbraucht das Smartphone durch die stärkere Prozessorbelastung mehr Strom, was sich sehr negativ auf die Akkulaufzeit auswirkt.

Wird bei einem Smartphone mit einem 1000mAh Akku eine Standby-Zeit von 200h (ca. 8 Tage) angegeben, so ist dies als Obergrenze zu verstehen und bereits kleine Abweichungen aus dem Ruhezustand können die Laufzeit extrem verringern. Verbraucht ein Smartphone im Ruhemodus ca. 5mA, so werden bei einer CPU-Belastung von ca. 40% (typisch beim Hören von MP3) bereits 70mA benötigt, was einer maximalen Laufzeit von nur noch 14h entspricht. Kommt zusätzlich noch das Betreiben von Schnittstellen (z.B. Bluetooth-Verbindung zu einem Sensor und UMTS-Verbindung zum Server) hinzu, so wird die Akkulaufzeit weiter verkürzt. Durch geschickte Aufteilung der benötigten Auswertelgorithmen auf Sensor, Smartphone und Server ist man in der Lage, die Laufzeiten der einzelnen Geräte in einem akzeptablen Bereich zu halten. Dazu wurden verschiedene Strategien entwickelt, um die Eigenschaften der verwendeten Recheneinheiten optimal auszunutzen. Somit kann in vielen Fällen auch eine Reduzierung der übertragenen Messdaten erreicht werden, die wiederum eine Stromersparnis mit sich bringt.

1 Einleitung

Die Telemedizin ist ein immer größer werdender Bereich des Gesundheitswesens. Viele Disziplinen der Medizin versuchen das Problem der räumlichen oder zeitlichen Trennung zwischen Arzt und Patienten zu überwinden oder andere Vorteile daraus zu ziehen. Aber nicht nur in Krankenhäusern oder Kliniken kommt die Telemedizin immer häufiger zum Einsatz, sondern auch im Bereich der Prävention, Rehabilitation, Wellness und Fitness steigt der Bedarf an telemetrischen Systemen stetig an. Dem liegt vor allem die Tatsache zugrunde, dass die heutige Gesellschaft verstärkt auf die eigene Gesundheit und Fitness achtet und aktiv daran mitarbeitet.

Das Forschungsprojekt *InPriMo* (Individualisierte Prävention mit Mobilien Endgeräten der Zukunft), gefördert durch das BMWI (Bundesministerium für Wirtschaft und Innovation), hat als Ziel den Aufbau einer Mobile-Health-Serviceplattform, mit Hilfe derer durch die Kombination von mobiler, integrierter Sensorik, mobilen Endgeräten, sowie einer Internetplattform präventive und therapeutische Maßnahmen umgesetzt werden können. Im Rahmen des Projektes soll gezeigt werden, dass durch die sinnvolle Verknüpfung neuester Technologien im Bereich der Medizin, Sensorentwicklung, drahtloser Übertragung und mobilen Endgeräten individuelle Prävention durchgeführt werden kann und damit zur Gesundheit des Einzelnen und zur Entlastung des Gesundheitswesens beiträgt.

Um diese Umstände beweisen und überwachen zu können, bedarf es einer zuverlässigen Übertragungskette zwischen Sensor, Smartphone und Server. Erst wenn dieses Zusammenspiel einwandfrei funktioniert, kann das System für die individuelle Prävention eingesetzt werden.

Die steigende Mobilität der Bevölkerung, sowie der Bedarf an kontinuierlichem Monitoring setzt hohe Anforderungen an das gesamte System; angefangen bei der möglichst nicht-invasiven Sensorik, über die drahtlose Verbindung bis hin zur Berechnung, Anzeige und Speicherung auf einem Smartphone, sowie der Übermittlung der Daten an einen Server.

Voraussetzung an eine hohe Akzeptanz dieses Systems ist vor allem, dass der Benutzer einen Mehrwert durch das Monitoring erfährt, aber in keiner Weise gestört wird. So muss das System unter allen Umständen funktionieren, den täglichen Ablauf nicht behindern und darf die Bewegungsfreiheit in jeglicher Richtung nicht einschränken.

Diese leicht einleuchtenden Voraussetzungen stellen – bei genauerer Betrachtung – sehr hohe Anforderungen an die Technik. Wie sich im Rahmen von *InPriMo* zeigt, stellt neben der nicht-invasiven, mobilen Sensorik vor allem der Energiebedarf ein zentrales Element der Entwicklung dar. Während der Server genügend Energieressourcen besitzt, spaltet sich dieses Problem in zwei Teilbereiche auf: Die Sensorik und das mobile Endgerät.

2 Problemstellung

Als Ausgangssituation soll folgendes Szenario dienen: Ein Sensor nimmt Messwerte auf und verschickt diese drahtlos an ein mobiles Endgerät, beispielsweise ein Smartphone. Dort werden die Daten je nach Bedarf angezeigt, verarbeitet, gespeichert und an einen Server weitergeleitet. Der Energiebedarf der Sensorik und des Smartphones für die Über-

tragung der Daten werden meist als komplett unabhängig angesehen, bei genauerer Betrachtung zeigt sich aber, dass genau das richtige Zusammenspiel zwischen den beiden Teilgruppen das größte Optimierungspotential besitzt. Trotzdem werden Smartphone und Sensorik zunächst getrennt betrachtet.

2.1 Smartphone

Vereinfacht gesagt ist ein zu hohes Datenaufkommen nicht mit den kleinen Akkus der Smartphones vereinbar. Smartphones mit UMTS¹- oder EDGE²-Unterstützung besitzen einen Netto-Daten-Upload von mehr als 10kByte/s. In dem auf der MoCoMed 2005 beschriebenen Szenario von Rainer Herzog [Her05] erzeugt ein 4-Kanal-EKG pro Tag eine Datenmenge von 162MByte, also umgerechnet 1,9kByte in der Sekunde. Dank der sich verändernden Abrechnungsstrukturen bei den Netzbetreibern spielen die Kosten mittlerweile keine große Rolle mehr. Ebenso lassen die Endgeräte sowie der Netzausbau genügend Freiraum, diese Daten auf eine Internet-Plattform zu übermitteln. Allerdings reicht die Akku-Kapazität der momentan verfügbaren Geräte nicht annähernd aus, um einen 24-Stunden-Betrieb zu ermöglichen – zwei bis drei Stunden ist eine viel realistischere Abschätzung.

Die Smartphones wurden in den letzten Jahren mit Funktionen wie Kamera, Speicherkarteneinschub, Bluetooth, WLAN und GPS überfrachtet. In der gleichen Zeit wurden die Geräte aber immer kleiner. Die Packungsdichte der Lithium-Ionen-Akkus hat sich seit der Markteinführung 1991 nur verdoppelt und es wird von einer zukünftigen Verbesserung von 10-15% alle 2-3 Jahre ausgegangen [Sti07]. Einhergehend mit den kleineren Ausmaßen der Geräte bleibt auch weniger Platz für den Akku; effektiv sank in den letzten Jahren die Akkukapazität der Geräte. Nur durch sparsamere Funk-Einheiten, Displays, Prozessoren und Speicherchips werden kleinere Akkukapazitäten bei der Produktentwicklung gerechtfertigt. Werden jedoch alle oben genannten Zusatzfeatures eingeschaltet und genutzt (Bluetooth für ein Headset, WLAN zum Surfen), sinkt die Betriebsdauer der Geräte deutlich.

In einem Blog-Eintrag von Mike Calligaro [Cal06] wird erklärt, wie sich eine ständig leuchtende LED negativ auf die Laufzeit eines Akkus auswirkt. Nimmt man z. B. ein Handy, das im Standby einen Stromverbrauch von 5mA hat, so ist die Betriebsdauer bei einem Akku mit 1000mAh Kapazität ca. 200h lang. Der mittlere Verbrauch einer leuchtenden LED wird mit 3mA veranschlagt. Würde die auf dem Handy befindliche LED ständig leuchten, so sinkt die Laufzeit auf nur noch 125h. Aus diesem Grund lässt man die LEDs nur für einen Bruchteil einer Sekunde aufblincken.

Dieses Beispiel zeigt, dass der Trend hin zu kleineren Akkukapazitäten so nicht fortgesetzt werden kann. Mit der Einführung des iPhone in diesem Jahr ist ein Gegenteil zu erkennen, der für Applikationsentwickler, die auf eine lange Laufzeit angewiesen sind, dringend notwendig ist.

Wie Tabelle 1 zeigt, lässt sich zurückblickend sagen, dass der Energieverbrauch im Standby deutlicher gesenkt werden konnte als der Energieverbrauch unter Last. Da das Mobil-

¹Universal Mobile Telecommunications System

²Enhanced Data Rates for GSM Evolution: Technik zur Erhöhung der Datenrate in GSM-Mobilfunknetzen

	Siemens S4	Siemens S10	Qtek 8500	iPhone
Markteinführung	1996	1997	2006	2007
Akkukapazität in mWh	9720	6660	2775	4500
Gewicht in g	235	190	99	135
Gewicht Akku in g	90	56	18	27
Packdichte in mWh/g	108	130	170	170
Standby				
in h	50	100	150	250
in mW	194	66	19	18
Sprechzeit				
in h	4	10	5	8
in mW	2430	666	555	560

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Parameter von alten und neuen Mobiltelefonen. Werte beruhen auf technischen Spezifikationen, fehlende Werte wurden aus anderen Quellen ergänzt.

telefon als „Alleskönner“ immer häufiger verschiedene Aufgaben erfüllen muss und sich somit seltener im Ruhemodus befindet, besitzt die Standby-Angabe immer weniger Aussagekraft.

Mit der Einführung des iPhones wurde zum ersten Mal publikumswirksam aufgezeigt, wie limitiert die Akkulaufzeiten von Smartphones im Internet-Surf-Betrieb sind [Shi07]. So besitzt das iPhone eine Surf-Laufzeit (mit der dort vorgeschlagenen Messmethode) von 5h 43min, das Samsung i600 eine Laufzeit von 3h 34min. Schaltet man bei diesem Gerät die UMTS-Funktionalität zusätzlich an, so sinkt der Wert auf eine Laufzeit von nur noch 2h 25min.

Diese Messungen wurden jeweils mit abgeschaltetem Bluetooth-Modul durchgeführt. Wird dieses zugeschaltet und Daten empfangen, so sinkt die Laufzeit weiter. Hier gilt: Ein aktives Bluetooth-Modul verbraucht weniger Strom als ein Modul, welches Daten sendet oder empfängt. Besonders die Menge der übertragenen Daten ist ein maßgeblicher Einflussfaktor für den Energieverbrauch der Smartphones.

2.2 Sensorik

Unter dem Namen Sensorik verbirgt sich in diesem Fall sowohl der eigentliche Messaufnehmer, als auch eine kleine Recheneinheit in Form eines Mikrokontrollers. Der Mikrokontroller empfängt die Daten des Messaufnehmers, führt in manchen Fällen erste Berechnungen durch, verpackt die Daten in ein Protokoll und schickt die Ergebnisse über eine Funkstrecke, beispielsweise Bluetooth, an das Smartphone.

Der Anspruch an einen akzeptablen, mobilen Sensor ist sehr vielfältig. Gerade wenn die Sensorik im Alltag getragen werden soll, müssen viele Bedingungen berücksichtigt werden. Im Folgenden werden einige Beispiele dafür aufgeführt:

- Der Sensor muss nicht-invasiv sein.
- Der Sensor darf die Bewegungsfreiheit / Mobilität nicht einschränken.

- Der Sensor muss so klein und leicht wie möglich sein.
- Der Sensor darf nur sehr wenig Strom verbrauchen, um häufiges Akkuladen zu vermeiden.

Daneben existieren natürlich beliebig viele weitere Einschränkungen und Anforderungen an die Sensorik. Allen voran steht das richtige Abwägen zwischen Gewicht, Größe, Applikationsort, Datenmenge/ -rate, Energiebedarf und benötigte Rechenleistung des Sensors. An manchen Körperstellen ist ein flacher Sensor sinnvoll, an anderen schreibt der Applikationsort (z. B. hinterm Ohr) die äußere Form vor. Das Volumen des Sensors legt wiederum die maximale Kapazität des Akkus fest und damit auch den maximalen Energievorrat. Daraus folgt, dass der Energiebedarf eine Obergrenze besitzt, die nicht überschritten werden darf, um die Laufzeit des Akkus in einem vernünftigen Zeitrahmen zu halten.

In vielen Anwendungsfällen der mobilen Sensorik werden kontinuierlich Daten erhoben, welche dann berechnet, ausgewertet und übertragen werden müssen. Die diskontinuierliche Aufnahme von Messwerten stellt dagegen ganz andere Anforderungen. Anhand der Daten eines Lage- und Beschleunigungssensor kann gezeigt werden, wie der Stromverbrauch je nach Anwendung variiert. Verwendet man den Beschleunigungssensor zur Detektion eines Sturzes des Benutzers, so bedarf es erstens keiner Speicherung und zweitens keiner kontinuierlichen Übertragung der Daten. Erst beim Eintreten des Sturzes muss eine Verbindung aufgebaut und das Alarmsignal übermittelt werden. In einem anderen Anwendungsszenario kann man den Beschleunigungssensor für eine komplexe Ganganalyse heranziehen. In diesem Fall müssen kontinuierlich die Beschleunigungswerte über alle drei Raumachsen aufgenommen, analysiert und übertragen werden. In diesem Zusammenhang ist es leicht vorstellbar, dass hierbei der Stromverbrauch gross gegenüber der diskontinuierlichen Übertragung ist.

Weitere Probleme zeigen sich, wenn komplexe Berechnungen auf dem Mikrokontroller durchgeführt werden müssen. Das Berechnen einer Quadratwurzel oder eines Logarithmus verbraucht sehr viel Rechenleistung und damit auch Energie, da die meisten Mikrokontroller keine FPU³ zur Fließkommaberechnung besitzen. Zudem ist oft auch noch der Arbeitsspeicher sehr begrenzt, womit wiederum die Rechenleistung beeinträchtigt wird.

3 Lösungsansätze

Praxisgerecht wird eine telemedizinische Applikation, welche ständig Daten an eine Server-Plattform senden muss, nur dann, wenn sie sich den Anforderungen an die Akkulaufzeit unterwirft. Schlüsselte man beim Smartphone die größten Posten beim Energieverbrauch auf, so kristallisiert sich folgende Reihenfolge heraus:

1. Versendung von Daten via GPRS
2. Hauptprozessor
3. Empfang von Daten via Bluetooth

Diese Reihenfolge lässt sich allerdings nicht als absolut gültig angeben. Erhält ein Smartphone beispielsweise eine große Datenmenge von einem Bluetooth-Sensor und verarbeitet

³floating point unit

diese mit einem komplexen Algorithmus, welcher aber nur eine einzelne Zahl als Ergebnis liefert und versendet, so dreht sich die gesamte Reihenfolge des Energieverbrauchs wieder um. Unabhängig davon in welcher Komponente die meiste Energie benötigt wird, kann und muss der Stromverbrauch des Smartphones mit verschiedenen Methoden – je nach Verwendung und Applikationsart – reduziert werden.

Der Trend verläuft dahin, dass Speicherplatz auf den Geräten immer günstiger wird; eine 1GByte SD-Karte für ca. 20€ spricht für sich. In vielen Fällen des mobilen Monitorings reicht es völlig aus, nur in akuten Situationen wie etwa eines Sturzes, Daten zu übertragen. Die Rohdaten, aus denen der Sturz abgeleitet wird, müssen aber nicht verworfen werden. Sie werden auf einer Speicherkarte – beispielsweise im Smartphone – abgelegt und nur beim Eintreten konkreter Ereignisse in detaillierter Form verarbeitet oder verschickt.

Die aufgenommenen Daten können nun für eine Bewegungsanalyse herangezogen werden. Dabei ist keine Auswertung in Echtzeit notwendig, es genügt vollkommen, wenn die Daten hinsichtlich der Bewegungsaktivität einmal über den gesamten Tag hinweg ausgewertet werden, um Werte für ein Langzeit-Monitoring zur Verfügung zu stellen. Diese Art der Datenbehandlung stellt eine Hybridlösung dar, weil die Daten zwar kontinuierlich vom Sensor zum mobilen Endgerät übertragen werden, von dort aber nicht weiter über die Mobilfunkstrecke.

In Folge konkreter Ereignisse wird ein detaillierter Bericht mit relevanten Daten an die Plattform übermittelt. Mögliche Ereignisse wären:

- angestossen durch ein Sensorereignis
 - Detektion eines Sturzes
 - Abnorme EKG-Kurven
 - Das Erkennen stark unregelmäßiger oder mangelnder Atmung
 - usw.
- angestossen von der Plattform
 - ein Arzt oder Betreuer möchte eine Momentaufnahme begutachten
 - ein Trainer gibt Empfehlungen in Echtzeit
- angestossen durch das Aufladen des Smartphones und der Sensoren

Durch diese Hybridlösung erlangt man ein großes Potential an Energiesparmaßnahmen. So wird nur bei Bedarf oder auf Anforderung die Datenverbindung aufgebaut und auch meist nur zu den Zeiten intensiv genutzt, wenn genügend Energie zu Verfügung steht, wie beispielsweise beim Aufladen der Akkus. Die Applikation soll also dahingehend optimiert werden, dass der Energiespeicher für mindestens 18 Stunden ausreicht, über Nacht werden diese wieder geladen. In dieser Zeit kann auf dem Smartphone evaluiert werden, welche Daten für das Telemonitoring relevant sind, wichtige Daten werden nachträglich übertragen und unnötige verworfen. Also werden dann, wenn genügend Energieressourcen zur Verfügung stehen, die rechenintensiven und „stromfressenden“ Operationen durchgeführt.

Seitens der Sensorik bestehen ebenfalls mehrere Möglichkeiten der Energieeinsparung. Wie bereits erwähnt, ergeben sich bei einer genaueren Betrachtung der Rechenleistung des Mikrokontrollers im Sensor einige Probleme. Da auf den meisten Mikrokontrollern

keine FPU zur Verfügung steht, ist es oft sinnvoll, Auswertelgorithmen in Berechnungen für ganze Zahlen und Fließkommazahlen aufzuspalten. So kann zum Beispiel der Mittelwert (auch der fließende Mittelwert) über 2^n Messwerten sehr leicht bestimmt werden, da die Division in diesen Fällen einer Schiebeoperation gleich zu setzen ist. Auch eine Maximum/Minimum-Berechnung führt zu keinerlei großen Problemen, ebenso wie die Berechnung der Varianz bei geeigneter Wahl der Messpunkte. In vielen Fällen genügt es, diese statistischen Größen des Signals zu übertragen, um damit eine weiterführende Analyse der Messdaten durchzuführen. Den besten Einfluss auf den Energieverbrauch des gesamten Systems erreicht man dann, wenn durch die Berechnung von Zwischenergebnissen der Prozessor des mobilen Endgeräts, auf dem die Fließkommaberechnungen durchgeführt werden, soweit entlastet wird, dass er dennoch in einen stromsparenden Modus betrieben werden kann.

Weiteres Verbesserungspotential ergibt sich bei der genaueren Betrachtung der Kommunikationsstruktur. Im Normalfall wird mehr als nur ein Sensor benötigt, um alle relevanten Daten aufzunehmen. Aus diesem Grund werden mindestens zwei und mehr Sensoren wie zum Beispiel ein GPS-Empfänger und ein Bewegungssensor an das mobile Endgerät gekoppelt. Mit der Anzahl der verbundenen Sensoren steigt aber auch der Energiebedarf des Smartphones. Daher ist es sinnvoll, in einem Sensor, der genügend Rechenleistung und Stromressourcen besitzt, die Bluetooth-Verbindungen der verschiedenen Sensoren zu bündeln, damit das mobile Endgerät nur eine Verbindung verwalten muss. Ein weiterer Vorteil besteht dann darin, dass bereits eine erste Filterung der Sensordaten vorgenommen werden kann, so dass die zu übertragende Datenmenge klein gehalten wird, was wiederum für den Energiehaushalt des Smartphones nützlich ist.

4 Ergebnisse

Die vorangegangenen theoretischen Betrachtungen müssen erst durch Messungen auf der Zielplattform validiert werden. Für die Smartphone-Messungen wurde das Qtek 8500 mit folgenden technischen Eckdaten verwendet:

- TI OMAP850 mit 195 MHz
- Li-Ion-Akku, 3.7 V, 750 mAh
- Ram 64 MB
- Flash 64 MB
- Micro-SD-Slot mit einer 1 GB Micro-SD-Karte
- Bluetooth
- GPRS, EDGE
- Windows Mobile 5 Smartphone Edition
- Microsoft Bluetooth-Stack

Die Ermittlung des Stromverbrauchs wurden mit folgenden Eckdaten durchgeführt (bei allen Messungen war der Display abgeschaltet):

- Bluetooth empfangen:
880 Byte/s werden von einem Sensor zum Smartphone übertragen, die GPRS-Unit ist abgeschaltet.

- Nur SOAP⁴-Pakete:
8 kByte/min werden vom Smartphone zum Server versendet.
- Nur REST⁵-Pakete:
3,75 kByte/h werden vom Smartphone zum Server versendet.
- InprimoMarathon:
880 Byte/s werden von einem Bewegungssensor und ca. 400 Byte/s von einer GPS-Maus empfangen, 6 kByte/min werden von einem Smartphone zum Server übertragen, der Prozessor wird mit ca. 25% belastet.

Es wurden zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Messungen durchgeführt:

- Akkulaufzeitmessungen wurden mit voll geladenem Akku gestartet und liefen so lange, bis der Akku vollständig entladen war.
- Strommessungen

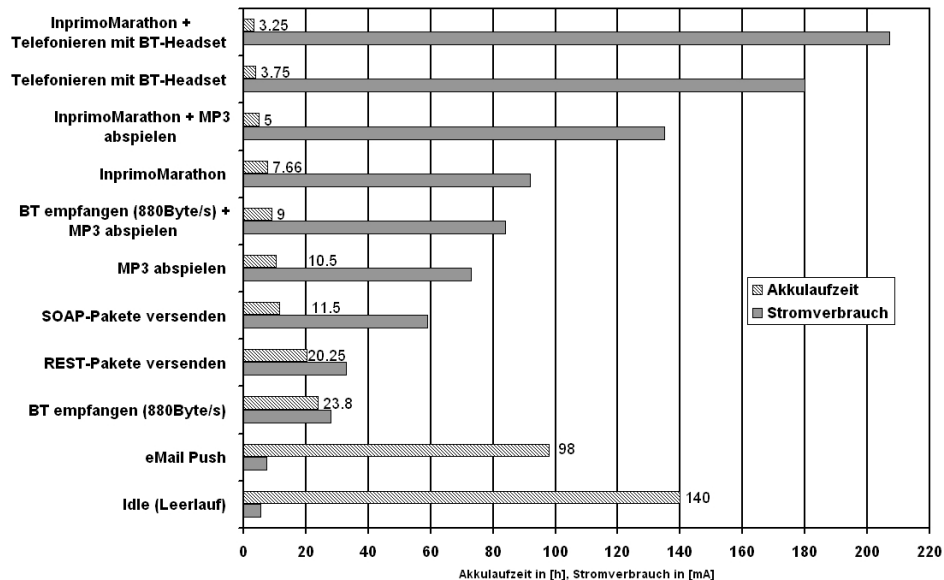


Abbildung 1: Stromverbrauch und Laufzeit

Akkulaufzeitmessungen, Akkukapazitäten und die Strommessungen lassen sich dazu nutzen Laufzeitabschätzungen angeben zu können. So lässt sich aus dem Stromverbrauch und der Kapazitätsangabe eine Größenordnung für die Laufzeit errechnen:

$$\text{Laufzeit} = \frac{\text{Kapazität}}{\text{Stromverbrauch}}$$

⁴Simple Object Access Protocol

⁵REpresentational State Transfer Architektur

Aus folgenden Gründen stimmen die Ergebnisse nicht genau überein:

- Die Kapazität des Akkus sinkt im Laufe der Zeit (er altert).
- Der Akku kann nicht vollständig entladen werden.

Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, verändert sich die Akkulaufzeit in Abhängigkeit von den zu bewältigenden Aufgaben. So stellt sich das Auslesen von Bluetooth-Daten als relativ sparsam heraus (Laufzeit von 23h), wird der Prozessor mit der Wiedergabe von Musik belastet, so wird mehr als doppelt so viel Energie benötigt. Bei einer Prozessorbelastung von ca. 40 % (gültig für den verwendeten TI OMAP-Prozessor) verbraucht das System 73 mA. Werden mehrere Aufgaben gleichzeitig abgearbeitet, fällt die Laufzeit weiter, bis im extremsten Fall nur noch 3h Laufzeit zu erwarten ist.

Source-Code-Optimierungen machen es möglich die Prozessorlast zu senken und damit die Akkulaufzeit zu steigern. Rechenaufwändige Schleifen werden mittels Loop-Unrolling entschärft, Variablenübergaben bei Funktionsaufrufen mittels Call-by-Reference. Auf tiefereifende objekt-orientierte Stilmittel wie generische Listen (generic collections) musste aus Rücksicht auf die Prozessorlast verzichtet werden, da diese mit großem Aufwand verwaltet werden [Bat05].

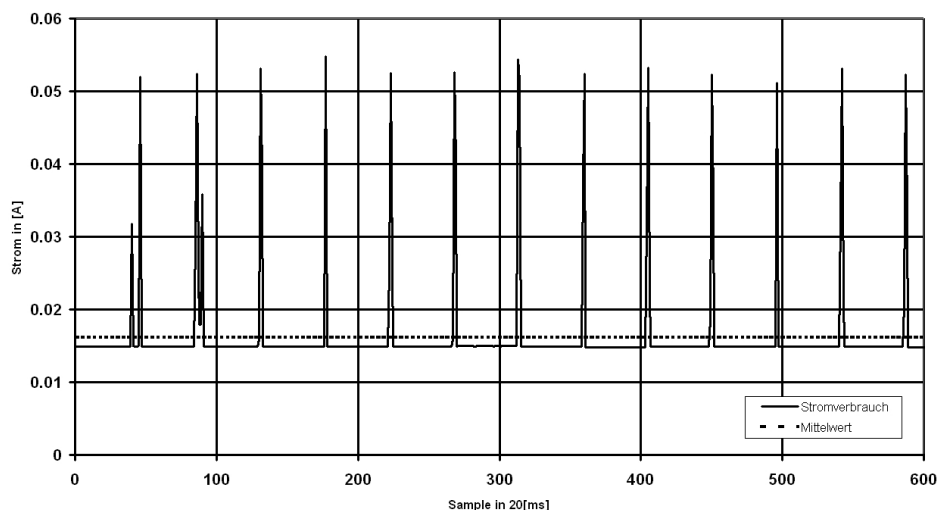


Abbildung 2: Stromverbrauch Sensor ohne aktiver Bluetooth-Verbindung

In Abbildung 2 ist sehr deutlich zu erkennen, wie sich Bluetooth in regelmäßigen Abständen meldet, damit andere Geräte den Sensor finden können. Der Stromverbrauch liegt dabei im Durchschnitt bei etwa 16 mA, wobei die Maximalwerte durchaus bis zu 62 mA erreichen können. Falls nun eine Verbindung aufgebaut wird steigt der Durchschnittsverbrauch auf ca. 24 mA an, wobei nun die Spitzen mit dem sehr hohen Stromverbrauch zeitlich ausgedehnt werden und sich somit dafür verantwortlich zeigen.

Wie Abbildung 3 zeigt, wird die meiste Energie seitens der Sensorik bei der Bluetooth-Übertragung verbraucht. Durch den Einsatz alternativer Funktechnologien kann der Strom-

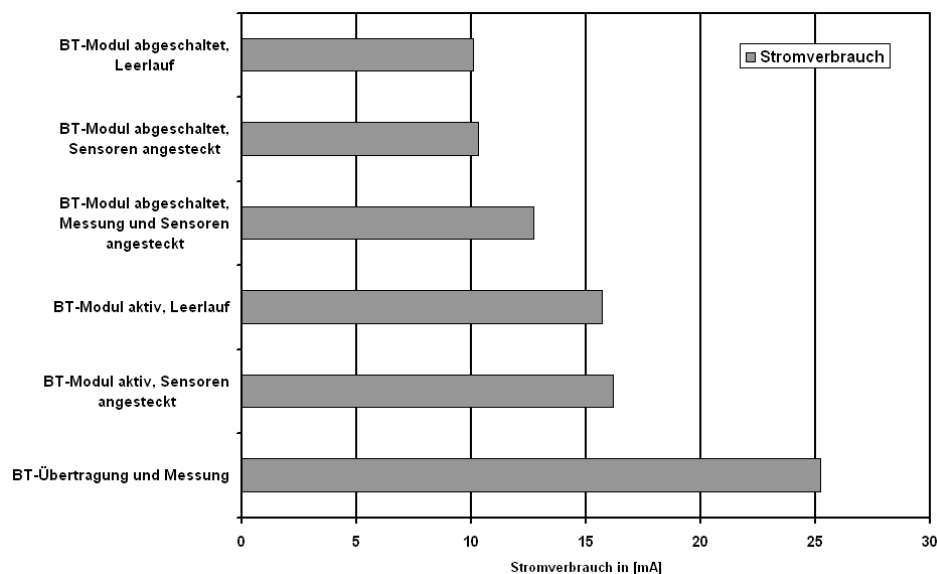


Abbildung 3: Stromverbrauch Sensor in versch. Situationen

verbrauch signifikant reduziert werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es lässt sich sagen, dass es prinzipiell am energie-effizientesten ist, wenn so wenig Daten wie möglich übertragen werden. Dies fängt bereits bei der Datenaufnahme an. So sollten nur medizinisch sinnvolle Abstraten verwendet werden, beispielsweise macht es keinen Sinn, die Körpertemperatur mit einer Samplerate von 100 Hz abzutasten. Eine andere Möglichkeit der Datenreduktion besteht darin, bei sich langsam ändernden Größen nur die Differenz zum letzten Wert zu übertragen.

Allerdings kann unter gewissen Umständen die Berechnung zusätzlicher Kenndaten auf dem Sensor und deren Übertragung die Rechenlast auf dem mobilen Endgerät verringern. Damit ist es möglich, den Prozessor des Handys in einem stromsparenden Modus zu betreiben, da ein (Groß)-Teil der Berechnung bereits auf dem Sensor ausgeführt wurde. Durch das Verharren im Stromsparmodus kann mehr Energie gespart werden, als durch die Mehr-Übertragung verloren geht.

Bei den durchgeführten Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass es zweckmäßig ist, die Akkulaufzeit von Handy und Sensorik einander anzugleichen, da es wenig Sinn macht, wenn eine Komponente um ein Vielfaches länger die Daten aufnehmen und übertragen kann, die Gegenstelle aber keine Energie mehr zur Verfügung hat. Zusätzlich ist es anwenderfreundlicher, wenn Sensoren und Handy gleichzeitig geladen werden müssen, dafür aber eine längere Laufzeit des Komplettsystem zustande kommt.

Dies hat zur Folge, dass man die Rechenleistung und die Größe des Akkus der Sensoren so anpassen sollte, dass die Laufzeit des Sensors mit der des Smartphones identisch ist. Für das Smartphone hat man „nur“ softwaretechnisch die Möglichkeit auf den Energieverbrauch Einfluss zu nehmen, während für das Sensordesign alle Entscheidungen von Sensortyp, -größe und Applikationsort beeinflusst werden. D. h. der Spielraum der Anpassung ist auf Seiten der Sensorik auf jeden Fall größer und sollte vor allem dort auch genutzt werden, sei es auch nur, um die Sensorik noch weiter zu verkleinern und Gewicht einzusparen. Alle Entwicklungen und Optimierungen sollten deshalb immer in Hinblick auf das Gesamtsystem gemacht werden. Nur somit kann es zu einem Monitoring-System kommen, das den extremen Anforderungen der Telemedizin genügt.

Da ein echtes „Telemonitoring“-System nicht nur die Daten über den Zeitraum von ein paar Tagen aufnehmen soll, sondern über Wochen, Monate und Jahre hinweg, werden Energieversorgungssysteme, welche die Energie aus der Körperbewegung, -wärme oder dem Körperumfeld gewinnen, eine immer größere Rolle spielen.

Literatur

- [Bat05] Roman Batoukov. .NET Compact Framework version 2.0 Performance and Working Set FAQ. <http://blogs.msdn.com/netcfteam/archive/2005/05/04/414820.aspx>, 2005.
- [Cal06] Mike Calligaro. Power to the Smartphone. <http://blogs.msdn.com/windowsmobile/archive/2006/08/04/689069.aspx>, 2006.
- [Her05] Rainer Herzog. Sind mobile Gesundheitsdienste die langgesuchten Killerapplikationen für mobile IT? <http://www.mocomed.de/mocomed2005/folien/01-herzog.pdf>, 2005.
- [Shi07] Anand Lal Shimpi. No 3G on the iPhone, but why? A Battery Life Analysis. <http://www.anandtech.com/gadgets/showdoc.aspx?i=3036&p=3>, 2007.
- [Sti07] Wolfgang Stieler. Optimierte Vielfalt - Der Wettlauf um die Batterie der Zukunft ist noch offen. *Technology Review*, Seiten 64–67, 8 2007.