

Einführung in Sensornetze I

Unterschiedliche Hardware-Plattformen für Sensorknoten

Dominik Wetzel

Betreuer: Christoph Söllner

Seminar Sensorknoten: Betrieb, Netze und Anwendungen SS2011

Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste, Lehrstuhl Betriebssysteme und Systemarchitektur

Fakultät für Informatik, Technische Universität München

Email: wetzeld@in.tum.de

KURZFASSUNG

Fortschritte in der Elektronik und drahtlosen Kommunikation haben die Entwicklung von kleinen, billigen Sensorknoten ermöglicht. Zum Aufbau sogenannter drahtlosen Sensornetze aus diesen Knoten steht inzwischen eine Vielzahl unterschiedlicher Hardware-Plattformen zur Verfügung. Anhand der Waldbranderkennung als Anwendungsbeispiel werden die Plattformen MICA2/z, TelosB, ScatterWeb und BT-node miteinander verglichen und deren Eignung herausgearbeitet. Wichtige Kriterien stellten dabei die Verfügbarkeit der benötigten Sensoren, sowie die eingesetzten Prozessoren und Funkchips dar. Mit allen Plattformen lässt sich das geforderte Netzwerk aufbauen, jedoch erfüllt von den vorgestellten Plattformen TelosB die aufgestellten Kriterien am besten.

Schlüsselworte

Drahtloses Sensornetz, Vergleich, MICA2, MICAz, TelosB, ScatterWeb, BTnode

1. EINLEITUNG

Fortschritte in der Elektronik und drahtlosen Kommunikation haben die Entwicklung von kleinen, billigen Sensorknoten ermöglicht. Die Charakteristika sind ihr geringer Energieverbrauch, ihre vielfältige Einsetzbarkeit, und die Fähigkeit, drahtlos über kurze Distanzen lose miteinander kommunizieren zu können [3]. Ein Sensorknoten (im englischen auch „mote“ genannt) besteht im Allgemeinen aus Komponenten zur Datenerfassung, Datenverarbeitung und zur Kommunikation mit anderen Sensorknoten.

Als Sensornetz (engl. „Wireless Sensor Network“, WSN) bezeichnet man den Zusammenschluss aus häufig vielen Sensorknoten, die dicht im oder in der Nähe des mit den Sensoren beobachteten Phänomens platziert sind. Die Position der einzelnen Sensorknoten muss nicht unbedingt im Voraus bekannt sein, sie können auch zufällig verteilt werden, z.B. durch Abwurf aus einem Flugzeug bei schwer zugänglichem Gelände [3]. Dies bedeutet, dass die verwendeten Netzwerkprotokolle und Algorithmen sich selbst organisieren können müssen. Typischerweise bilden die Sensorknoten ein engmaschiges multi-hop Netzwerk, durch den Aufbau von Verbindungen zu ihren Nachbarn [6]. Ein weiteres besonderes Merkmal eines WSNs ist die Zusammenarbeit der einzelnen Sensorknoten. Durch ihren Prozessor können sie eine lokale Vorverarbeitung durchführen und müssen nicht die Rohdaten übertragen [3]. Die Anwendungsgebiete umfassen

unter anderem die Bereiche Militär, Umweltüberwachung, Gesundheitswesen, Lagerverwaltung oder auch Heimautomation [23, S. 50ff].

Mittlerweile existieren verschiedene Hardware-Plattformen, die den Aufbau eines Sensornetzes erleichtern. Ziel dieses Artikels ist es, einen Überblick über die derzeit verfügbaren Produkte zu geben. Dazu wird im Folgenden zunächst der generelle Hardwareaufbau eines Sensorknotens erörtert. Anschließend werden verschiedene Plattformen vorgestellt und miteinander verglichen.

2. KOMPONENTEN EINES SENSORKNOTENS

Obwohl sich die Hardware-Plattformen in vielen Details unterscheiden, ist der grundlegende Aufbau aller Sensorknoten gleich. Dieser ist in Abb. 1 dargestellt.

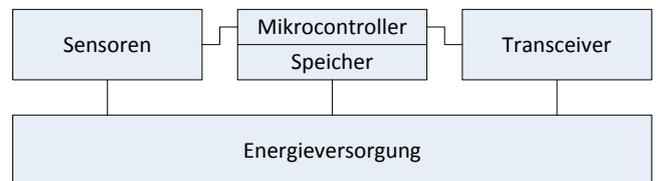


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Sensorknotens. Quelle: [11, Fig. 2.1]

Mikrocontroller Der Mikrocontroller steuert den Sensorknoten. Er erfasst die Sensordaten, führt die Vorverarbeitung durch und koordiniert die Kommunikation mit den benachbarten Knoten. Der Mikrocontroller ist in der Regel frei programmierbar [11, S. 18ff]. Immer öfter kommen allerdings speziell auf Sensorknoten zugeschnittene Betriebssysteme wie zum Beispiel tinyOS [13] zum Einsatz. Durch diese kann die Software unabhängig von der verwendeten Hardware werden [23, S. 80]. Ein weiterer Vorteil des Einsatzes spezieller Betriebssysteme ist, dass durch deren Verwendung mitunter auch ganze Sensornetze simuliert werden können, was deren Aufbau und Planung erheblich vereinfacht. Für tinyOS steht die Simulationssoftware TOS-SIM zur Verfügung [12].

Speicher Im Speicher werden Programme und Zwischenergebnisse abgelegt. Neben dem im Mikrocontroller vorhandenen RAM kommt zusätzlich meist nichtflüchtiger

Speicher in Form von EEPROM oder Flash zum Einsatz. Dieser Speicher kann wiederum im Mikrocontroller integriert, oder aber extern angebunden sein [11, S. 21].

Sensoren Die Sensoren bilden die Schnittstelle zwischen der Außenwelt und dem WSN. Sensoren bestehen meist aus einem analogen Bauteil, welches die Messgröße erfasst (z.B. Thermistor für die Messung von Temperatur), und einem Analog-Digital-Wandler [3]. Letzterer kann ebenfalls im Microcontroller enthalten sein (s.u.).

Transceiver Der Transceiver ist für die eigentliche Datenübertragung zwischen einzelnen Sensorknoten verantwortlich. Er kann sowohl Daten empfangen, als auch senden. Obwohl die meisten WSNs Funk als Übertragungsmedium einsetzen, wird in [10] auch die Möglichkeit der optischen Kommunikation in Betracht gezogen [11, S. 28]. Überwiegend funken die WSNs in den Frequenzen zwischen 433 MHz und 2,4 GHz [11, S. 21].

Energieversorgung Für die unabhängig von einer festen Stromquelle agierenden Sensorknoten ist die Energieversorgung eine entscheidende Komponente [11, S. 32]. In der Regel erfolgt sie über Batterien [6]. Bei relativ geringem Energiebedarf eines Sensorknotens werden oft nicht wiederaufladbare Batterien gewählt, da diese gegenüber den Wiederaufladbaren eine höhere Energiedichte, geringere Selbstentladung und geringe Anschaffungskosten aufweisen. Eine Batteriebensdauer von mindestens einem Jahr ist erstrebenswert [26]. Aus diesem Grund ist es notwendig den Energieverbrauch des Sensorknotens streng zu kontrollieren.

Die größten Energieverbraucher sind vor allem der Mikrocontroller und der Transceiver [11, S. 36]. Im Rahmen dieses Artikels wird daher lediglich der Energieverbrauch dieser beiden Komponenten herangezogen, um den Stromverbrauch verschiedener Plattformen zu vergleichen.

Eine gezielte Regelung des Energieverbrauchs eines Sensorknotens kann dadurch erfolgen, dass die einzelnen Komponenten in verschiedene Schlafzustände versetzt, oder mit geringerer Frequenz oder Betriebsspannung betrieben werden [11, S. 48]. Zusätzlich kann die Lebensdauer eines Sensorknoten dadurch verlängert werden, dass die Batterie z.B. über Photovoltaic wieder aufgeladen wird. Solche Techniken werden als Energy Scavenging oder Energy Harvesting bezeichnet [11, S. 34].

3. HARDWARE-PLATTFORMEN

Um ein Sensornetz aufzubauen stehen unterschiedliche Hardware-Plattformen zur Verfügung. Wie im Verlauf dieses Abschnitts herausgearbeitet wird, variieren diese unter anderem in Faktoren wie:

- Mikrocontroller
- Funktechnik
- Anbindung der Sensoren
- Verfügbarkeit von Sensoren seitens des Plattform-Entwicklers

- Energieverbrauch
- Verfügbare Betriebssysteme

Unterschiede in diesen Eigenschaften bewirken, dass manche Hardware-Plattformen für einen bestimmten Anwendungsbereich eher geeignet sind als andere. Im Folgenden werden einige beispielhafte Plattformen vorgestellt und deren Eignung für das Einsatzgebiet der Waldbranderkennung untersucht. In [5] wurde ein solches System mittels eines Sensornetzes entwickelt. Die von den Sensoren erfassten Parameter waren:

- Helligkeit
- Luftfeuchtigkeit
- Temperatur

Diese Parameter werden deshalb hier zum Vergleich herangezogen. Zusätzlich wird angenommen, dass die Sensorknoten an bestimmten, vorab ausgesuchten Orten angebracht werden. Dadurch ist ihre Position bekannt, und es werden keine diesbezüglichen Sensoren wie zum Beispiel GPS benötigt.

Ähnlich wie in [5] sollen die Sensorknoten unterschiedliche Gefahrenstufen kennen, und bei Erreichen derselben Warnmitteilungen versenden. Zum Beispiel könnte zu einem Zeitpunkt eine hohe Temperatur in Kombination mit einer sehr niedrigen Luftfeuchtigkeit gemessen werden. Sollte daraufhin über den Helligkeitssensor eine Verdunklung entdeckt werden, die möglicherweise vom Rauch eines sich entwickelnden Brandes stammt, wird eine höhere Gefährdungsstufe für das vom Sensorknoten überwachte Gebiet erreicht und kommuniziert.

3.1 MICA2 / MICAz

Die MICA-Plattformen sind aus Forschungsprojekten der University of California Berkeley („UC Berkeley“) hervorgegangen und wurden ursprünglich von Crossbow Technology vermarktet [11, S. 54]. Anfang 2010 wurden die Produktlinien von Memsic übernommen und werden seitdem von dieser Firma vertrieben [14]. Bis auf den eingesetzten Funkchip sind die Plattformen MICA2 und MICAz identisch, weshalb sie hier zusammen betrachtet werden. Ein MICA2-Sensorknoten ist in Abb. 2 dargestellt.

Eigenschaften der Plattformen sind:

- Prozessor: ATmega128L
- Funkchip MICA2: ChipCon CC1000
- Funkchip MICAz: ChipCon CC2420
- 51-Pin Anschlussbuchse für Erweiterungskarten (überträgt analoge Eingänge, digitale I/O-Pins, SPI, I²C und UART)
- Batteriehalter für zwei AA-Batterien
- Abmessungen ohne Batteriehalter: 58 × 32 × 7mm [16, 15, 6]



Abbildung 2: Ein MICA2-Sensorknoten. Quelle: [15]

Der verwendete Prozessor ATmega128L [4] hat die folgenden Merkmale:

- 8-bit RISC-Architektur
- bis zu 8MHz Prozessortakt
- 128 KB Flash-Speicher
- 4 KB RAM
- 4 KB EEPROM
- 10 bit Analog-Digital-Wandler (8 Kanäle)
- 53 digitale I/O-Pins
- UART, SPI und I²C-Schnittstellen
- Energieverbrauch: 8mA im Betrieb und < 15 μ A im Schlafmodus

Ein Vergleich der beiden Funkchips ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Funkchips der MICA2 und MICAz-Plattform. Quelle: [15, 16]

	CC 1000	CC 2420
Allgemeine Eigenschaften		
Frequenzbereiche	868 / 916 MHz	2,4 GHz
Datenrate	38,4 kbps	250 kbps
Reichweite (außen)	ca. 150 m	75-100 m
Energieverbrauch		
senden max.	27 mA	17,4 mA
empfangen	10 mA	19,7 mA
schlafen	< 1 μ A	1 μ A

Auf den MICA-Boards sind an sich keine Sensoren vorhanden. Memsic bietet jedoch einige Sensorboards an, die über den 51-Pin Anschluss mit dem Basisboard verbunden werden können. Das Sensorboard MTS400CC [17] enthält je einen Temperatur-, Feuchtigkeits-, Luftdruck-, Helligkeits- und Beschleunigungssensor und deckt damit die geforderten Parameter ab.

Auf den MICA-Boards kommt üblicherweise das Betriebssystem TinyOS zum Einsatz [11, S. 54].

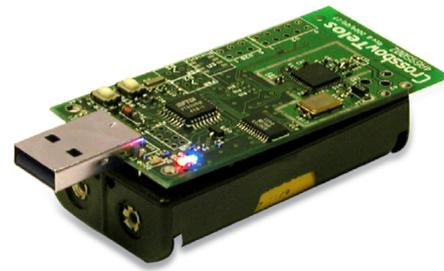


Abbildung 3: Ein TelosB-Sensorknoten. Quelle: [18]

3.2 TelosB

TelosB (Abb. 3) ist eine Hardware-Plattform, die als Nachfolger der MICA-Plattform angesehen werden kann. Sie wurde ebenfalls an der UC Berkeley entwickelt und wird derzeit von Memsic (ehemals Crossbow) vertrieben.

TelosB hat die folgenden Merkmale:

- Prozessor: Texas Instruments (TI) MSP430F1611,
- Funkchip: ChipCon CC2420
- Antenne auf der Platine integriert
- 1 MB externer Flash-Speicher für Messwerte / Logging
- Batteriehalter für zwei AA-Batterien
- Abmessungen ohne Batteriehalter: 65 × 31 × 6mm

Der verwendete Prozessor TI MSP430F1611 [25] hat diese Eigenschaften:

- 16-bit RISC-Architektur
- 10 KB RAM
- 48 KB Flash-Speicher für Programmcode
- 12 Bit Analog-Digital-Wandler (8 Kanäle)
- 48 digitale I/O-Pins
- UART, SPI und I²C-Schnittstellen
- Weniger als 6 μ s zum Aufwachen aus Sleep-Modus benötigt
- Energieverbrauch: 1,8 mA im Betrieb und 5,1 μ A im Schlafmodus

Es gibt zwei Ausführungen der TelosB motes: eine mit und eine ohne Sensoren. Die Variante TPR2420CA enthält einen Helligkeits-, einen Feuchtigkeits- und einen Temperatursensor. Zusätzliche Sensoren könnten prinzipiell über einen 6- und 10-pin Anschluss angebunden werden, allerdings bietet Memsic keine diesbezüglichen Produkte an. Durch die verfügbaren Sensoren ist TelosB für das Anwendungsbeispiel geeignet.

Die TelosB-Plattform ist quelloffen [18]. Dadurch gibt es weitere Hersteller, die darauf basierende Produkte anbieten. Advantic [1] kann als Beispiel dienen. Das Produkt MTM-CM5000-MSP entspricht weitestgehend dem TelosB-Referenzdesign. Variationen des Originaldesigns verzichten aus Platzgründen auf den USB-A-Stecker und besitzen eine spezielle Schnittstelle zum Anschluss von Sensorboards. Davon hat Advantic eine Vielzahl im Angebot (vgl. [2]).

Auch auf den TelosB-Sensorknoten wird das Betriebssystem TinyOS eingesetzt [18].

3.3 ScatterWeb

ScatterWeb ist eine Plattform, die an der Freien Universität Berlin entwickelt wurde [20]. Eine aktives Produkt dieser Plattform ist das „Modular Sensor Board MSB-430 H“ [19]. Es ist in Abb. 4 dargestellt.



Abbildung 4: Ein ScatterWeb MSB430-H-Sensorknoten. Quelle: [19]

Die Charakteristika des MSB-430 H sind:

- Prozessor: TI MSP430F1612
- Funkchip: ChipCon CC1100
- Externer Flash-Speicher per SD-Karte möglich
- Batteriehalter für drei AA-Batterien [19]

Der Prozessor MSP430F1612 unterscheidet sich von der Variante F1611 der TelosB-Plattform nur geringfügig. Die Größe des Arbeitsspeichers beträgt 5 KB anstelle von 10 KB, während 48 KB anstelle von 55 KB Flash vorhanden sind.

Sensoren für Feuchtigkeit und Temperatur, sowie ein Accelerometer sind auf dem Basisboard vorhanden. Für das oben beschriebene Anwendungsbeispiel der Waldbranderkennung fehlt allerdings der Helligkeitssensor. Zum Anschluss weiterer Sensoren verfolgt die ScatterWeb-Plattform allerdings ein interessantes Konzept: An den Randbereichen des Boards sind Stiftleisten angebracht, auf die die Sensorboards gesteckt werden können. Diese haben an ihrer Oberseite ebenfalls Stiftleisten mit denselben Kontakten. Auf diese Weise können mehrere (unterschiedliche) Sensorboards übereinander gestapelt werden (vgl. [19]).

Eine weitere Besonderheit der Plattform ist der SD-Karten-Slot. Während auf der TelosB-Plattform beispielsweise nur 1 MB an externem Flash Speicher zur Verfügung stehen, sind hier ohne Weiteres mehrere Gigabyte möglich. Dadurch kann bei Bedarf eine viel größere Menge an Daten vor der Übertragung zwischengespeichert werden.

Die ScatterWeb-Knoten benutzen die auf sie spezialisierte Software ScatterWeb² [21]. Für eine ältere, nicht mehr verfügbare Produktlinie, in der zum Beispiel das „Embedded Sensor Board“ enthalten ist, wird offiziell zusätzlich das Betriebssystem tinyOS unterstützt. Die neueren Modelle der MSB-Serie sind davon allerdings explizit ausgenommen [22].

3.4 BTnodes

Die Plattform BTnodes wird an der ETH Zürich entwickelt. Wie der Name bereits andeutet, diente als Kommunikationsmedium ursprünglich nur Bluetooth. In der aktuellen Revision 3 ist zusätzlich auch der Funkchip der MICA2 motes zu finden [9]. Eine BTnode ist in Abb. 5 dargestellt.



Abbildung 5: Ein BTnode. Quelle: [9]

Die BTnodes haben die folgenden Merkmale.

- Prozessor: Atmel ATmega 128L
- Funkchip: Chipcon CC1000 und Zeevo ZV4002 (Bluetooth)
- Zwei Anschlussbuchsen für Erweiterungskarten (übertragen analoge Eingänge, digitale I/O-Pins, SPI, I²C, UART, Timer- und LED-Signale)
- Batteriehalter für zwei AA-Batterien
- Abmessungen: 58,15 × 33mm [8].

Der Bluetooth-Chip, auf dessen technische Merkmale hier nicht genauer eingegangen werden soll, wurde integriert, um die BTnodes als Plattform zur Forschung an Mobile Ad Hoc Networks (MANET) nutzen zu können [8]. MANETs sind eng mit drahtlosen Sensornetzwerken verwandt. Sie unterstützen allerdings weniger Knoten pro Netzwerk und verwenden eine höhere Übertragungsleistung, wodurch allerdings auch höhere Reichweiten erzielt werden können [3]. Der Energieverbrauch einer BTnode ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Energieverbrauch der BTnode. Quelle: [7]

CPU im Sleep-Modus, Funk aus	3 mA
CPU an, Funk aus	12 mA
CPU an, Bluetooth an	28 mA
CPU an, CC1000 an	25 mA
Max. Energieverbrauch mit Bluetooth	60 mA
Max. Energieverbrauch mit CC1000	31 mA
CPU an, CC1000 an, Bluetooth an	41 mA

Für die BTnodes gibt es ein eigenes Betriebssystem BTnut, für das über eine C-API eigene Anwendungen geschrieben werden können. Zusätzlich ist die BTnode kompatibel mit tinyOS 2.x [8].

Die BTnode besitzt auf dem Basisboard keine Sensoren. Zudem bietet das BTnode Projekt keine fertigen Sensorboards an. Die Sensoren für den hier betrachteten Anwendungsfall müssten daher auf einer selbst zu entwickelnden Erweiterungskarte sitzen. Neben der Hardwareentwicklung wären auch entsprechende Software-Treiber zu programmieren.

4. VERGLEICH UND BEWERTUNG

Die bisher vorgestellten Plattformen erfüllen die Kriterien des Szenarios der Waldbranderkennung unterschiedlich gut. Um eine Sensorplattform umfassend bewerten zu können, müssen mehrere Gesichtspunkte in Betracht gezogen werden. Nicht alle davon lassen sich in dieser theoretischen Abhandlung sinnvoll beurteilen. So steht es beispielsweise außer Frage, dass die 10 KB Arbeitsspeicher der vorgestellten TI-Prozessoren „besser“ sind als die 4 KB der Atmel-Pendants. Allerdings kann dieser Unterschied für die praktische Anwendung vollkommen unerheblich sein. Genau so verhält es sich mit der Bitbreite des Mikrocontrollers. Ein 8-Bit Mikrocontroller benötigt beispielsweise mehr Rechenoperationen und somit mehr Energie um Berechnungen mit 16-Bit breiten Daten durchzuführen, als ein 16-Bit Mikrocontroller. Ob dies von Belang ist kann nur mit genauer Kenntnis der zur Verarbeitung der Messdaten eingesetzten Algorithmen festgestellt werden.

Bei der Verfügbarkeit der geforderten Sensoren ist die Situation eindeutiger. Wichtig ist, dass keine der hier vorgestellten Plattformen gänzlich für die Waldbranderkennung ungeeignet wäre. Die Plattformen unterscheiden sich lediglich in dem selbst zu leistenden Entwicklungsaufwand. Die TelosB-Plattform bietet eine Variante, die alle Sensoren aufweist. Das Sensornetz aus dem vorgestellten Szenario könnte damit folglich am leichtesten umgesetzt werden. Im Gegensatz dazu befinden sich auf der BTnode keine Sensoren, und es sind des Weiteren keine Sensor-Erweiterungskarten verfügbar. Um dennoch die BTnode einsetzen zu können, ist, wie bereits erwähnt, Hard- und Softwareentwicklung nötig, was einen zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand nach sich zieht. Auch bei der ScatterWeb-Plattform ist aufgrund des nicht verfügbaren Helligkeitssensors Hardware-Entwicklungsarbeit zu leisten. Dagegen sind für die MICA2- und MICAz-Plattformen Sensorboards erhältlich, durch die die Plattformen alle Anforderungskriterien erfüllen.

Ein interessanter Gesichtspunkt ist auch die Art und Weise, wie zusätzliche Sensorik an die einzelnen Plattformen angeschlossen werden kann. Besonders praktisch scheint hier das Konzept von ScatterWeb. Der modulare Ansatz ermöglicht es, dass mehrere Sensorboards gleichzeitig an den Knoten gekoppelt werden können. Bei den anderen hier vorgestellten Plattformen sehen die Hersteller, sofern sie überhaupt zusätzliche Sensorboards anbieten, nur jeweils eines vor. Allerdings muss bei ScatterWeb der Anwender selbst sicherstellen, dass keine Anschlüsse der Erweiterungsschnittstelle von mehr als einem Modul genutzt werden. Sofern dies beachtet wird, kann allerdings die einmal entwickelte Hardware mitsamt der entsprechenden Treiber sehr einfach für andere

Anwendungen wiederverwendet werden.

Da der Energieverbrauch einer Plattform ein entscheidendes Kriterium für die Lebensdauer eines Sensornetzwerks ist, sollte er beim Vergleich verschiedener Plattformen besonders berücksichtigt werden. Maßgeblich für den Energieverbrauch eines Sensorknotens ist die Kombination aus Prozessor und Funkchip. In den vorgestellten Plattformen konnten zwei verschiedene Prozessoren und zwei verschiedene Funkchips in unterschiedlichen Zusammenstellungen vorgefunden werden. Der bei TelosB und ScatterWeb eingesetzte TI MSP430-Prozessor ist erheblich sparsamer als der Atmel ATmega128L der restlichen Plattformen. Bei den Funkchips ist der maximale Stromverbrauch beim Senden des ChipCon CC 1100 geringer als des CC 2420 (siehe Tabelle 1). Umgekehrt ist die Situation beim Empfangen. Allerdings ist die Datenrate des CC 2420 um einiges höher als die des CC 1100, wodurch er dieselbe Datenmenge in viel kürzerer Zeit übertragen kann. Unter Beachtung dieser Kriterien kann sich TelosB von den vorgestellten Plattformen wiederum am Besten behaupten. Sie vereint einen sparsamen Prozessor mit dem Funkchip, der den geringeren maximalen Stromverbrauch besitzt. MICAz verwendet den sparsameren Prozessor und schlechteren Funkchip, bei ScatterWeb verhält es sich genau umgekehrt. MICA2 und BTnode setzen die rein rechnerisch schlechteste Kombination ein. Da die Funkchips im Vergleich zu den Prozessoren sehr viel Strom benötigen, spielt allerdings das Kommunikationsverhalten eines Sensornetzwerks eine extrem wichtige Rolle. Sofern keine Daten gesendet oder empfangen werden, können die Transceiver im Schlafzustand gehalten werden, in dem sie fast keinen Strom verbrauchen. Bei einer geschickten Kommunikationsstrategie könnte dadurch der rechnerischer Nachteil einer Plattform leicht ausgeglichen werden.

In der Praxis wird man ein System zur Waldbranderkennung wahrscheinlich nur an Orten realisieren, die diesbezüglich besonders gefährdet sind. Zweifellos sind dies Orte, die besonders warm und trocken sind. Wie in [24] erwähnt, würde sich daher Energy Harvesting mittels Solarenergie oder des Temperaturgradienten zwischen Tag und Nacht anbieten. Aus diesem Grund könnte der Aspekt des Energieverbrauchs eines Sensorknotens etwas in den Hintergrund rücken.

Zusammenfassend steht die TelosB-Plattform von den hier vorgestellten Plattformen am besten da. Sie verwendet den stromsparenden Prozessor, mit dem größeren Arbeitsspeicher und setzt auf die Funktechnologie mit den höheren Übertragungsraten. Die Tatsache, dass verglichen mit dem SD-Karten-Anschluss von ScatterWeb „nur“ 1 MB an externem Flash-Speicher zur Verfügung steht, ist kein Nachteil. Im Hinblick auf das Datenvolumen der Messwerte sollte sich dies nicht negativ auswirken.

Die BTnodes scheinen aufgrund des vergleichsweise hohen noch zu leistenden Entwicklungsaufwandes für die Sensoren und ihres Energiebedarfes auf den ersten Blick eher ungeeignet für das hier betrachtete Anwendungsgebiet der Waldbranderkennung. Allerdings könnten sie sich gerade wegen ihres Bluetooth-Chips doch als nützlich erweisen. Denn ein bisher noch nicht betrachteter Punkt ist, dass die Daten, die das drahtlose Sensornetz erhebt und überträgt, an einer Stelle gesammelt und / oder ausgewertet werden müssen.

Von Bernardo et al. [5] ist angedacht, dass dies ein Wächter oder Feuerwehrmann übernehmen könnte, der z.B. mit einem PDA das waldbrandgefährdete Gebiet patrouilliert. Im Zeitalter von Smartphones, die heutzutage in den meisten Fällen ebenfalls mit Bluetooth ausgestattet sind, ist es naheliegend diesen Übertragungsweg zu nutzen. Dank des CC1000-Chips der BTnode muss das restliche Sensornetz nicht zwingend aus BTnodes bestehen. Es kann auf eine Hardware-Plattform zurückgegriffen werden, die sich besser für die Sensorik eignet. In diesem Fall wird einmal mehr der Vorteil von Betriebssystemen wie tinyOS deutlich: setzen beide Plattformen dasselbe Betriebssystem ein, sollte sich zum Beispiel die Protokollschicht für die Kommunikation innerhalb des WSN auf beiden Plattformen unverändert nutzen lassen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die untersuchten Hardware-Plattformen eignen sich grundsätzlich alle zur Anwendung im hier betrachteten Bereich der Waldbranderkennung. Unterschiede existieren in der Verfügbarkeit der geforderten Sensoren, sowie im Energieverbrauch der einzelnen Plattformen. Auch die Möglichkeit fehlende Sensoren nachzurüsten ist unterschiedlich. TelosB konnte sich von den anderen Hardware-Plattformen positiv absetzen. Dieses Ergebnis gilt allerdings nur für das gegebene Beispiel und kann nicht pauschalisiert werden. Dennoch wird klar, dass mit Hilfe der vorgestellten Plattformen viele unterschiedliche Anwendungsgebiete für drahtlose Sensornetze abgedeckt werden können.

6. LITERATUR

- [1] Advantic sistemas y servicios S.L. homepage. <http://advanticsys.com/>.
- [2] Advantic sistemas y servicios S.L. Product catalog 2010. <http://advanticsys.com/files/catalog.pdf>.
- [3] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. A survey on sensor networks. *Communications Magazine, IEEE*, 40(8):102 – 114, aug 2002.
- [4] Atmel Corporation. ATmega128L datasheet. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf.
- [5] L. Bernardo, R. Oliveira, R. Tiago, and P. Pinto. A fire monitoring application for scattered wireless sensor networks - a peer-to-peer cross-layering approach. In *WINSYS*, pages 189–196, 2007.
- [6] R. Bischoff, J. Meyer, and G. Feltrin. Wireless sensor network platforms. In *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, chapter 69. John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [7] BTnode Project. BTnode rev3 hardware reference. <http://www.btnode.ethz.ch/Documentation/BTnodeRev3HardwareReference>.
- [8] BTnode Project. BTnode rev3 product brief. http://www.btnode.ethz.ch/pub/files/btnode_rev3.24_productbrief.pdf. Dokumentenrevision: rev3.24 2006/03/21.
- [9] BTnode Project. Homepage. <http://www.btnode.ethz.ch>.
- [10] J. M. Kahn, R. H. Katz, R. H. K. (acm Fellow, and K. S. J. Pister. Next century challenges: Mobile networking for „smart dust“, 1999.
- [11] H. Karl and A. Willig. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, 2007.
- [12] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler. Tossim: accurate and scalable simulation of entire tinyos applications. In *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, SenSys '03, pages 126–137, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [13] P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, and D. Culler. Tinyos: An operating system for sensor networks. In *in Ambient Intelligence*. Springer Verlag, 2004.
- [14] Memsic Inc. Memsic completes crossbow technology acquisition. <http://investor.memsic.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=439436>. Pressemitteilung vom 22. Januar 2010.
- [15] Memsic Inc. MICA2 datasheet. <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/7-datasheets.html?download=147%3Amica2>. Dokumentenrevision: 6020-0042-09 Rev A.
- [16] Memsic Inc. MICAz datasheet. <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/7-datasheets.html?download=148%3Amicaz>. Dokumentenrevision: 6020-0065-05 Rev A.
- [17] Memsic Inc. MTS400CC datasheet. http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/7-datasheets.html?download=174%3Amts400_420. Dokumentenrevision: 6020-0065-05 Rev A.
- [18] Memsic Inc. TelosB datasheet. <http://www.memsic.com/support/documentation/wireless-sensor-networks/category/7-datasheets.html?download=152%3Atelosb>. Dokumentenrevision: 6020-0094-04 Rev A.
- [19] ScatterWeb Project. MSB430-H information. http://cst.mi.fu-berlin.de/projects/ScatterWeb/mod_MSB-430H.html.
- [20] ScatterWeb Project. Scatterweb homepage. <http://cst.mi.fu-berlin.de/projects/ScatterWeb/index.html>.
- [21] ScatterWeb Project. ScatterWeb² software. http://cst.mi.fu-berlin.de/projects/ScatterWeb/sof_ScatterWeb2.html.
- [22] ScatterWeb Project. TinyOS support in ScatterWeb. http://cst.mi.fu-berlin.de/projects/ScatterWeb/sof_TinyOS.html.
- [23] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati. *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*. Wiley-Interscience, 2007.
- [24] H. Soliman, K. Sudan, and A. Mishra. A smart forest-fire early detection sensory system: Another approach of utilizing wireless sensor and neural networks. In *Sensors, 2010 IEEE*, pages 1900 –1904, nov. 2010.
- [25] Texas Instruments. MSP430F1611 datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/msp430f1611>.
- [26] E. M. Yeatman. Advances in power sources for wireless sensor nodes. In *Proc. of BSN 2004*, pages 6–7, 2004.