

"Das Netzwerk ist der Sensor"



Prinzipien und Anwendungen
drahtloser Sensornetze

Dr. Matthias Handy, Prof. D. Timmermann
Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik



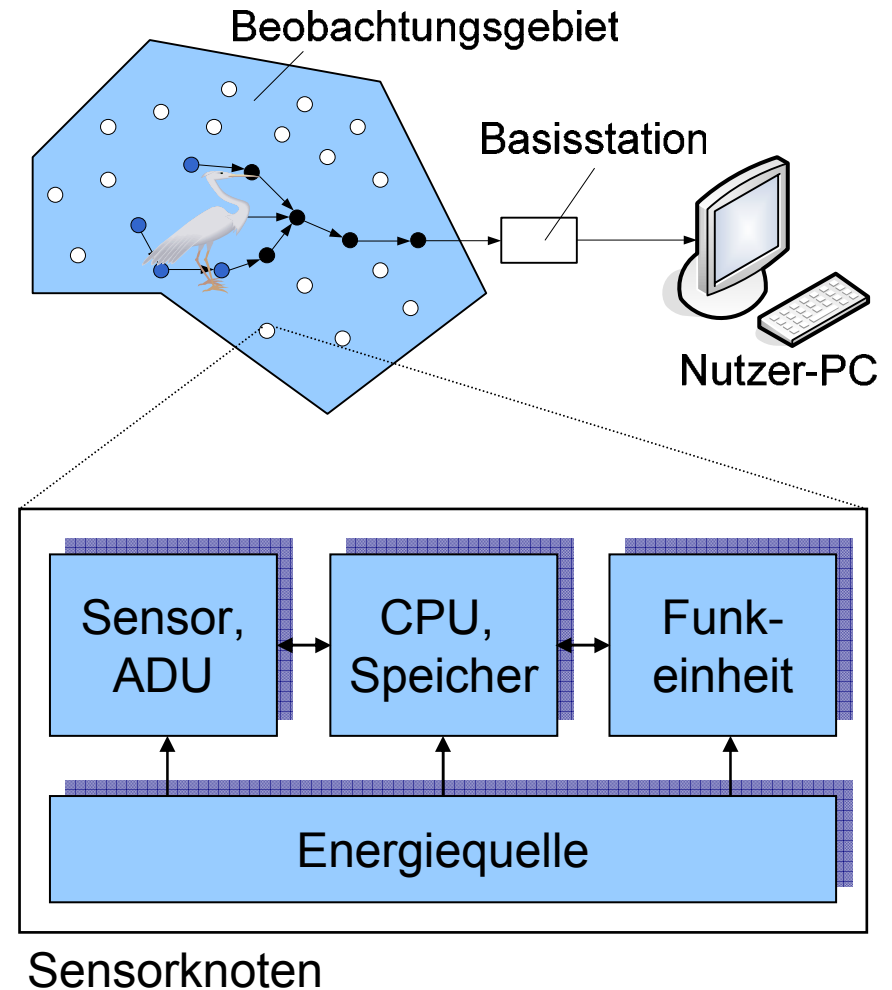
Überblick

- Einführung
 - Drahtlose Sensornetze
 - Sensorknoten
- Herausforderungen
 - Energie
 - Skalierbarkeit
 - Lokalisierung
 - Preis
- Anwendungen
 - Überblick
 - Vineyard Computing
 - Sicherung von Arbeitsumgebungen
 - Überwachung von Klimaschranken
- Prototyp-Sensorknoten



Drahtlose Sensornetze

- **Definition:**
 - Verteiltes, selbstkonfigurierendes Netz von Sensorknoten
 - Aufgabe:
 - Sensordaten sammeln und ...
 - zu einer Basisstation übermitteln
- **Charakteristische Eigenschaften:**
 - Hohe Knotenanzahl und -dichte
 - Stark ressourcenbegrenzt
 - Viele Datenquellen, wenige Datensinken
 - Sehr kurze Arbeitszyklen
 - Datenzentriert
- **Anwendungsbeispiele:**
 - Katastrophenprävention und -management
 - Logistik
 - Automatisierung





Anforderungen an Sensorknoten

- Größe
 - $\text{mm}^3 - \text{cm}^3$
- Energieverfügbarkeit
 - $\sim 1 \text{ J/mm}^3$
- Mindestlebensdauer
 - einige Tage bis 10 Jahre
- Datenraten
 - Bit/s KBit/s
- Reichweite
 - 5-50 Meter
- Räumliche Dichte
 - $0.1 \text{ Knoten/m}^2 \text{ } 20 \text{ Knoten/m}^2$



Beispiele für Sensorknoten

- Mica Mote (Berkeley)
 - 4 MHz Atmel AVR 8535
 - 8 kB Flash, 512 B RAM
 - 512 B EEPROM
 - Tiny OS
 - 916 MHz RF-Komponente
- ETH Zürich BTNodes
 - Atmel ATmega 128L (8 MHz @ 8 MIPS)
 - 64 kB RAM, 128 kB Flash ROM
 - 4 kB EEPROM
 - Bluetooth Radio
- Chipcon CC1010
 - Single-Chip-Lösung
 - 8051-kompatibler μ C
 - 32 kB Flash-ROM, 2 kB RAM
 - 300-1000 MHz RF Transceiver



Xbow Mica Motes



ETHZ BTNodes



Chipcon CC1010



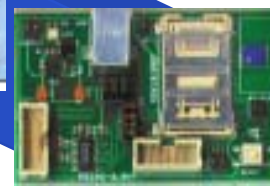
Beispiele für autarke, aktive Knoten



Picoradio
(UCB)



WINS
(UCLA)

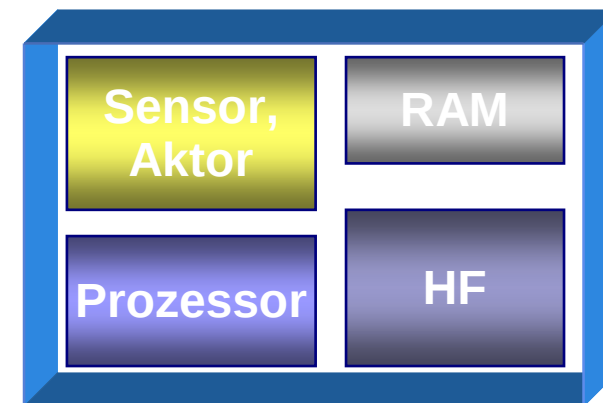


Blue-Node
(UoR)



Smart Dust
(UCB)

„Stück
Silizium“





Überblick

- Einführung
 - Drahtlose Sensornetze
 - Sensorknoten
- Herausforderungen
 - Energie
 - Skalierbarkeit
 - Lokalisierung
 - Preis
- Anwendungen
 - Überblick
 - Vineyard Computing
 - Sicherung von Arbeitsumgebungen
 - Überwachung von Klimaschranken



Herausforderungen

■ Energie

- Gewünschte Lebensdauer:
 - > 1 Jahr, besser 10 Jahre
- Batteriewechsel bei 1000 Sensorknoten?
- Batterie größte Komponente

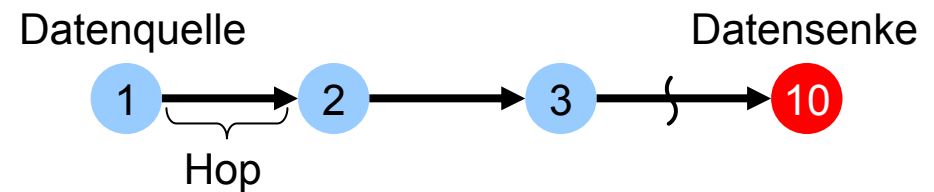
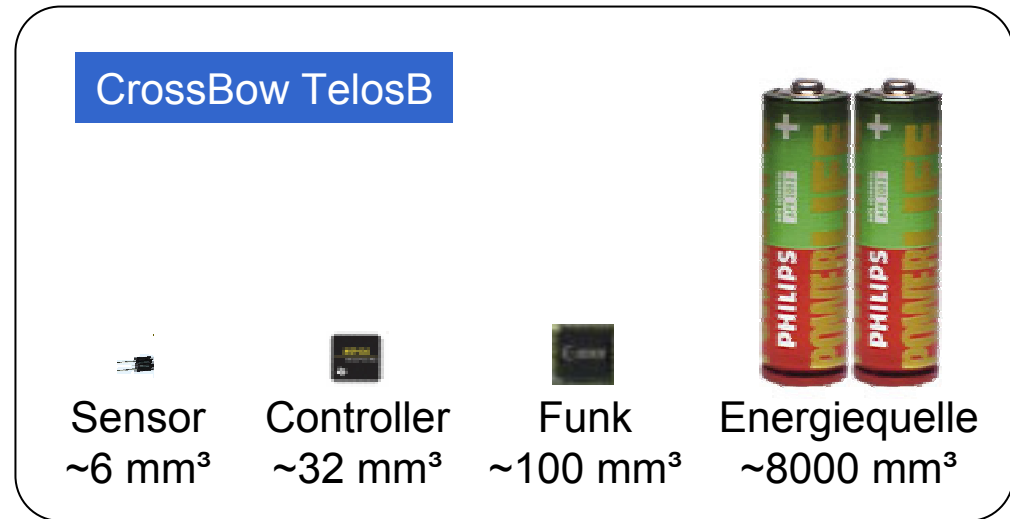
■ Zuverlässigkeit

- Kabelersatz!
- Hardware
 - Temp., Feuchtigkeit, Erschütterung
- Software
- Vernetzung
 - 10 Hops mit $R=99\%$ → $R=91\%$

■ Skalierbarkeit

■ Lokalisierung

■ Preis





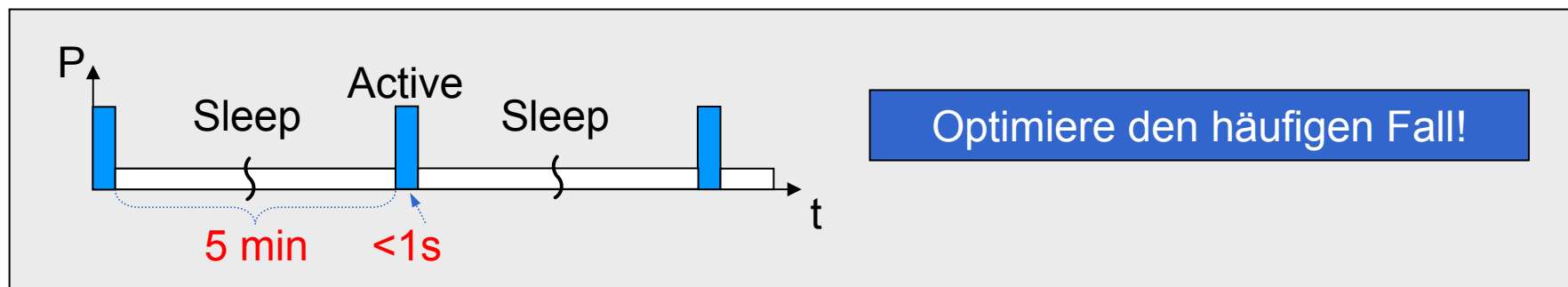
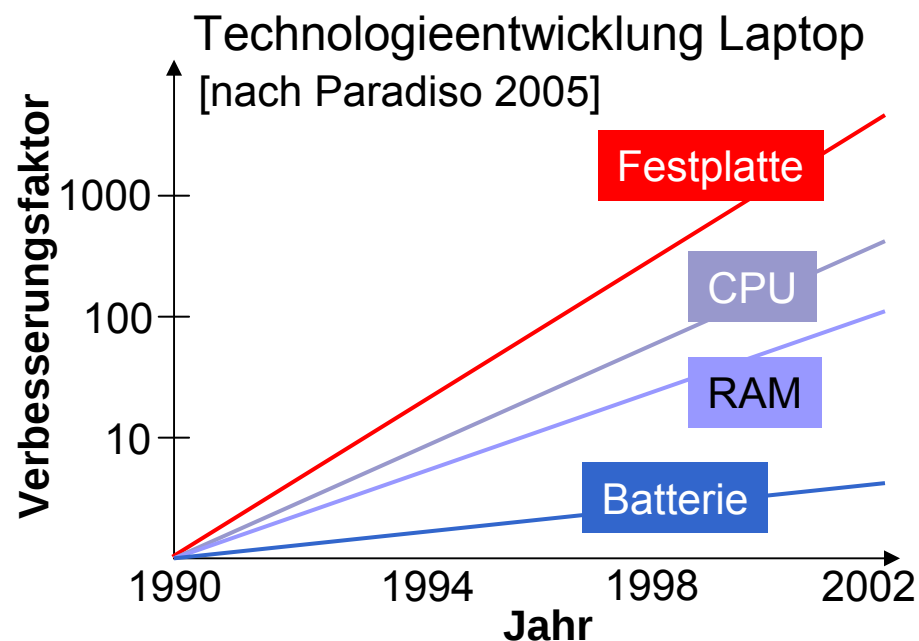
Fokus: Energieaspekt

■ Energieangebot

- Energiedichte v. Batterien
 - NiCd: 45-80 Wh/kg
 - Li-Ion: 110-160 Wh/kg
- Regenerative Energie
 - Solar: 15 mW/cm²
 - Vibrationen: 200 μ W/cm³

■ Energieverbrauch

- Funkeinheit größter Verbraucher
- Aber: Kurze Arbeitszyklen, lange Sleep-Phasen:





Fokus: Skalierbarkeit

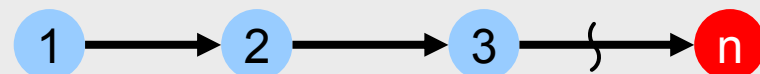
Direkte Übertragung



$$E_{DÜ_{1-2}} = E_{tx_1} + E_{rx_2}$$

- Für kleine Netze interessant
- Schwierig bei großen Entfernungen
- Entfernte Knoten sterben zuerst
- Globale Koordination erforderlich

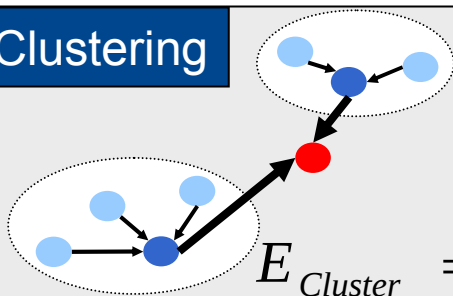
Multihop-Übertragung



$$E_{MH_{1-n}} = E_{tx_1} + E_{rx_n} + \sum_{i=2}^{n-1} (E_{rx_i} + E_{tx_i})$$

- Für größere Entfernungen
- Lokale Koordination
- Nahe Knoten sterben zuerst
- Kann(!) Energie sparen

Clustering



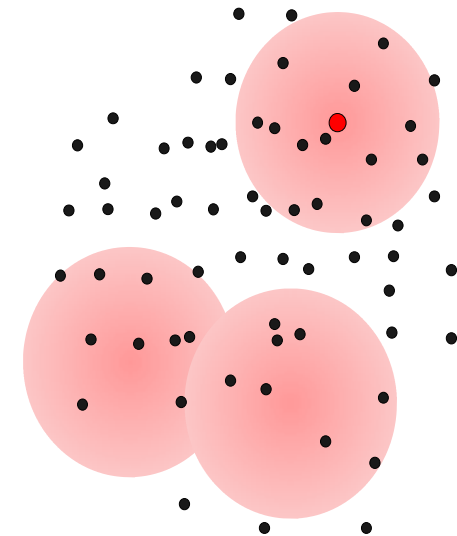
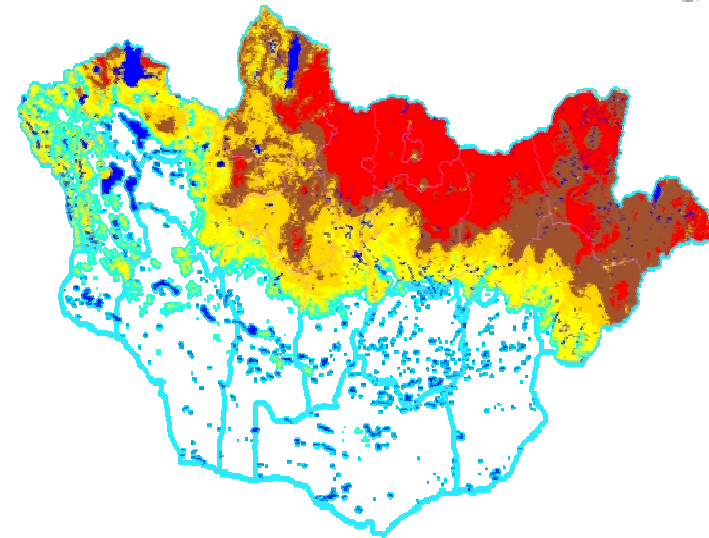
$$E_{Cluster} = E_{CK} + \frac{N}{k} E_{CM}$$

- Hierarchische Struktur
- Vorteilhaft bei großen Netzen
- Clusterköpfe sterben zuerst
- Lokale Datenaggregation möglich



Fokus: Lokalisierung

- Warum Positionsbestimmung?
 - Zuordnung: Messung $\leftrightarrow$ Ort
 - Effizientes Routing
 - Selbstkonfigurierbarkeit
- Probleme:
 - Zufällige Verteilung der Knoten
 - GPS nicht auf jedem Knoten installierbar
- Lösung:
 - Wenige Knoten mit GPS $\rightarrow$ Beacons
 - Restliche Knoten $\rightarrow$ Unbekannte
 - Positionsbestimmung per **Local Positioning System**

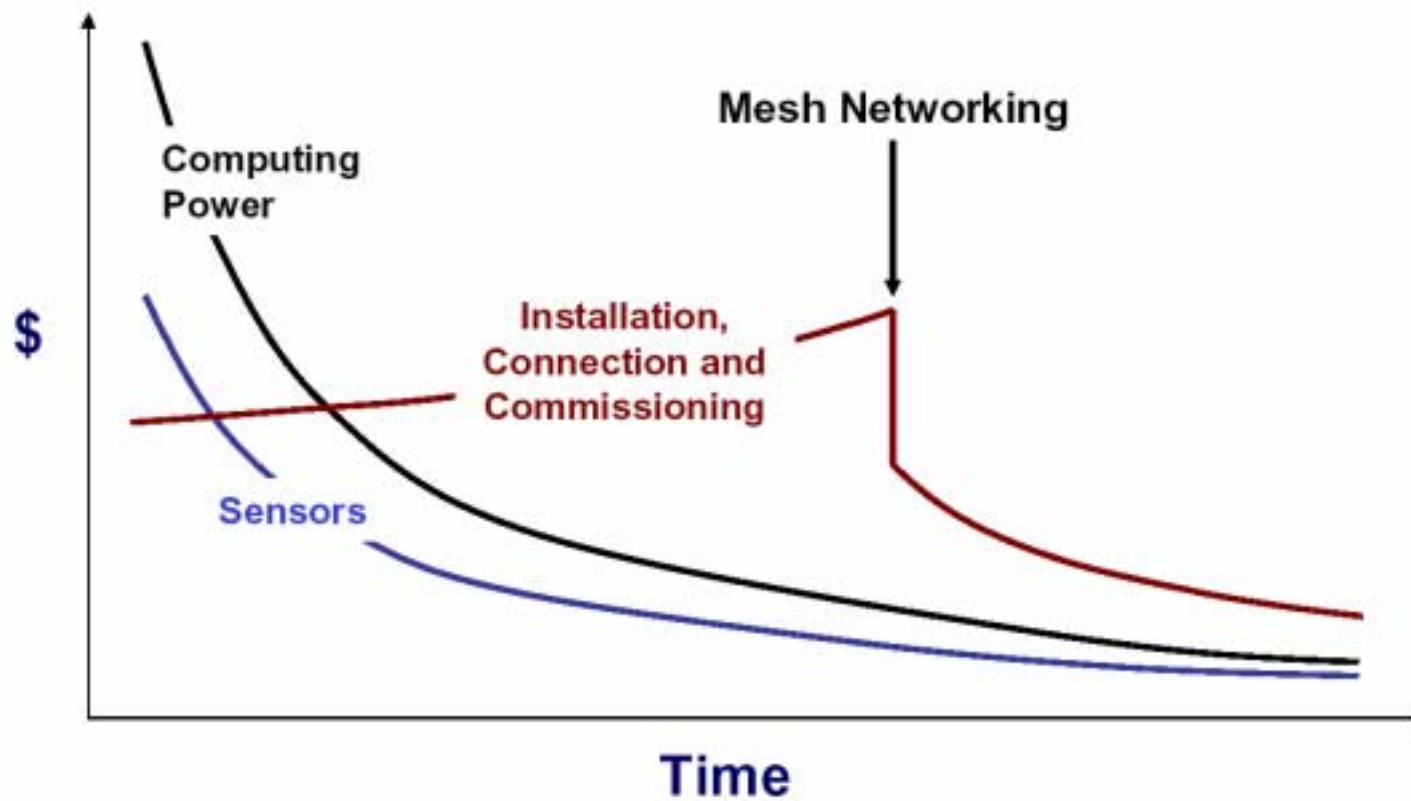


Legende: ● Beacons ● Unbekannte ● Übertragungsreichweite



Fokus: Preis

(Quelle: Pister, 2005)





Überblick

- Einführung
 - Drahtlose Sensornetze
 - Sensorknoten
- Herausforderungen
 - Energie
 - Skalierbarkeit
 - Lokalisierung
 - Preis
- **Anwendungen**
 - Überblick
 - Vineyard Computing
 - Sicherung von Arbeitsumgebungen
 - Überwachung von Klimaschranken

Anwendungen für Sensornetzwerke

■ Umweltüberwachungen

- ☐ Waldbrandbekämpfung
- ☐ Lebensraumüberwachung
- ☐ "Präzisions-Landwirtschaft"
- ☐ Hochwasserbekämpfung

■ Medizinischer Bereich

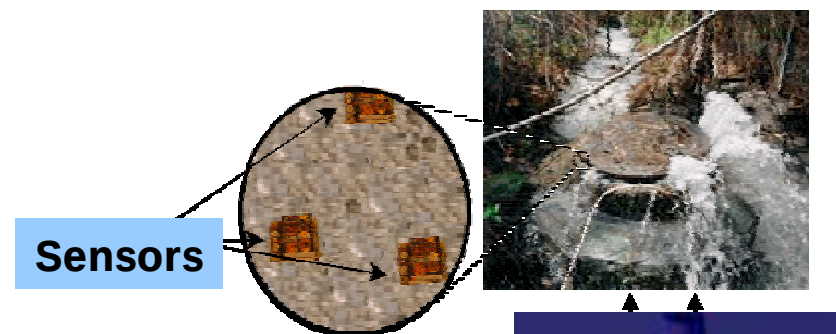
- ☐ Überwachung physiologischer Daten
- ☐ Smart-Pill, Lokalisation

■ Militärischer Bereich

- ☐ Überwachung, Erkundung
- ☐ Früherkennung

■ weitere Anwendungen

- ☐ das intelligente Haus
- ☐ Materialüberwachungen
- ☐ Supermarkt

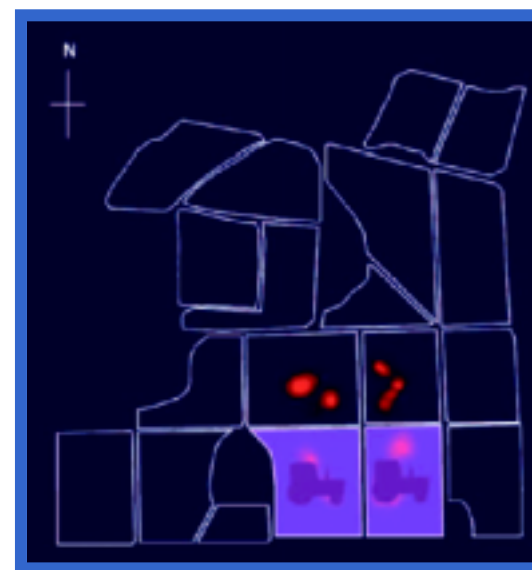


Vineyard Computing

- Was ist Vineyard Computing?
 - Drahtlose Sensorknoten verteilt in einem Weinberg
 - Temperaturmessung zur
 - Berechnung Mehltau-Risiko
 - Frosterkennung
 - (Erkennung Reifegrad)
- Bedeutung:
 - Prototyp für Sensornetze im Bereich Landwirtschaft
 - Anwendbarkeit auf andere Kulturen



Sensorknoten



Rot: Hohes Mehltau-Risiko



Überwachung von Klimaschränken

Problem:

Temp. und Feuchtigkeit regelmäßig messen und dokumentieren

Bei Ausfall:

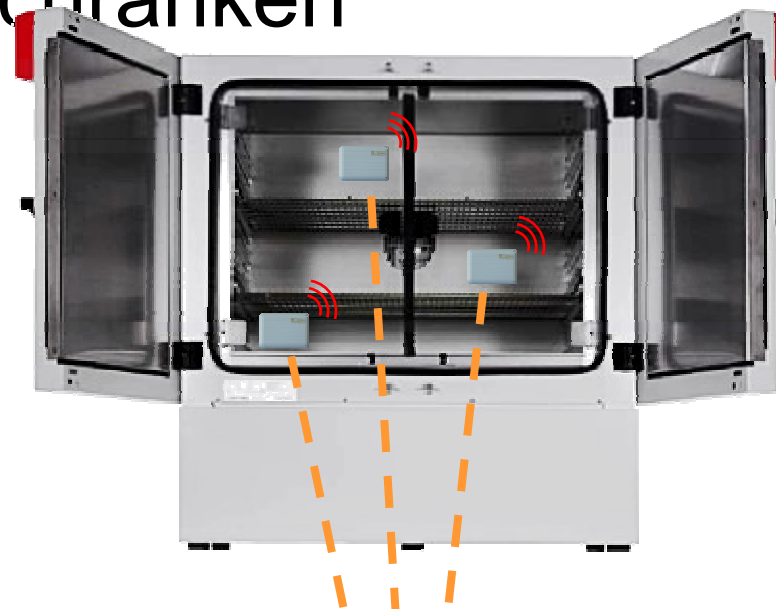
- Verlust aller Proben

Bisheriges Verfahren:

- Messung von Hand 2x am Tag
- häufig Ausfälle

Vorteile Sensornetz:

- + geringere Kosten
- + exaktere Messdaten
- + automatisierte Dokumentation
- + Ausfälle werden **sofort** bemerkt
- + Fernüberwachung möglich (Internet)



10 Schränke
mit je 3 Mess-
stellen

= 5000 €
Einsparung / Jahr



Sicherung der Arbeitsumgebung

- **Problem:**

- MAK-Überwachung nach Gefahrstoffverordnung (~ 1000 Substanzen)

- **Bei Überschreitung:**

- Betriebsunterbrechung / Ausfallzeit

- **Bisheriges Verfahren (Kabel):**

- Festinstallation an der Decke

- **Vorteile Sensornetz:**

- geringere Kosten
- Detektion frühzeitig – kein Notfallablauf
- keine Schutzkleidung – Erhöhung Arbeitseffektivität
- Neue Gase → Neue Sensoren → Keine Installation
- automatisierte Dokumentation



10 Mess-
stellen

= 20000 €
Einsparung

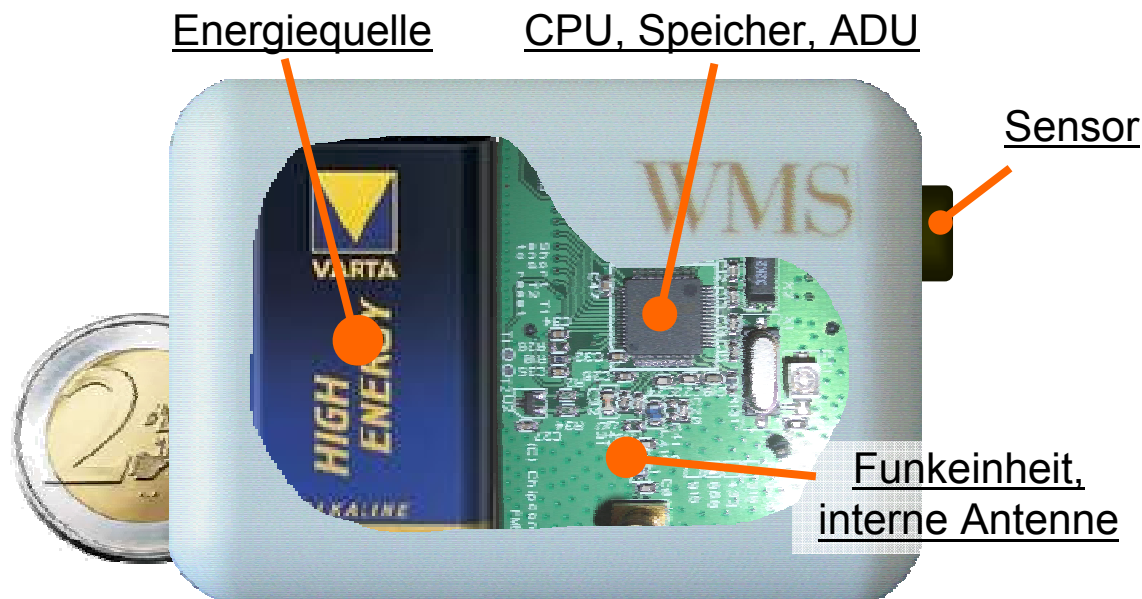


Überblick

- Einführung
 - Drahtlose Sensornetze
 - Sensorknoten
- Herausforderungen
 - Energie
 - Skalierbarkeit
 - Lokalisierung
 - Preis
- Anwendungen
 - Überblick
 - Vineyard Computing
 - Sicherung von Arbeitsumgebungen
 - Überwachung von Klimaschränken

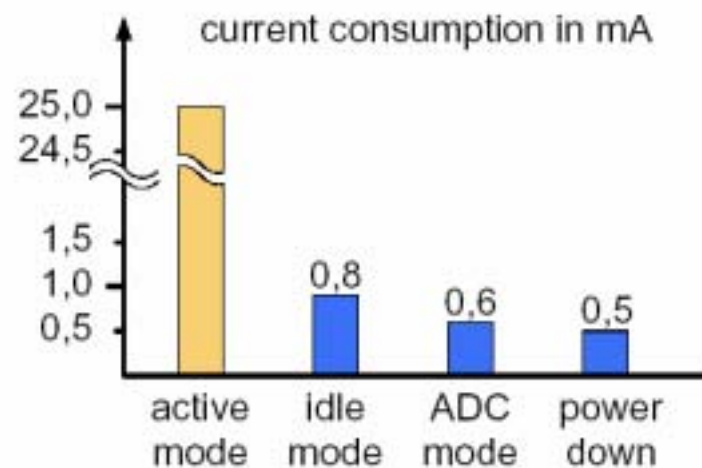


Sensorknoten Prototyp



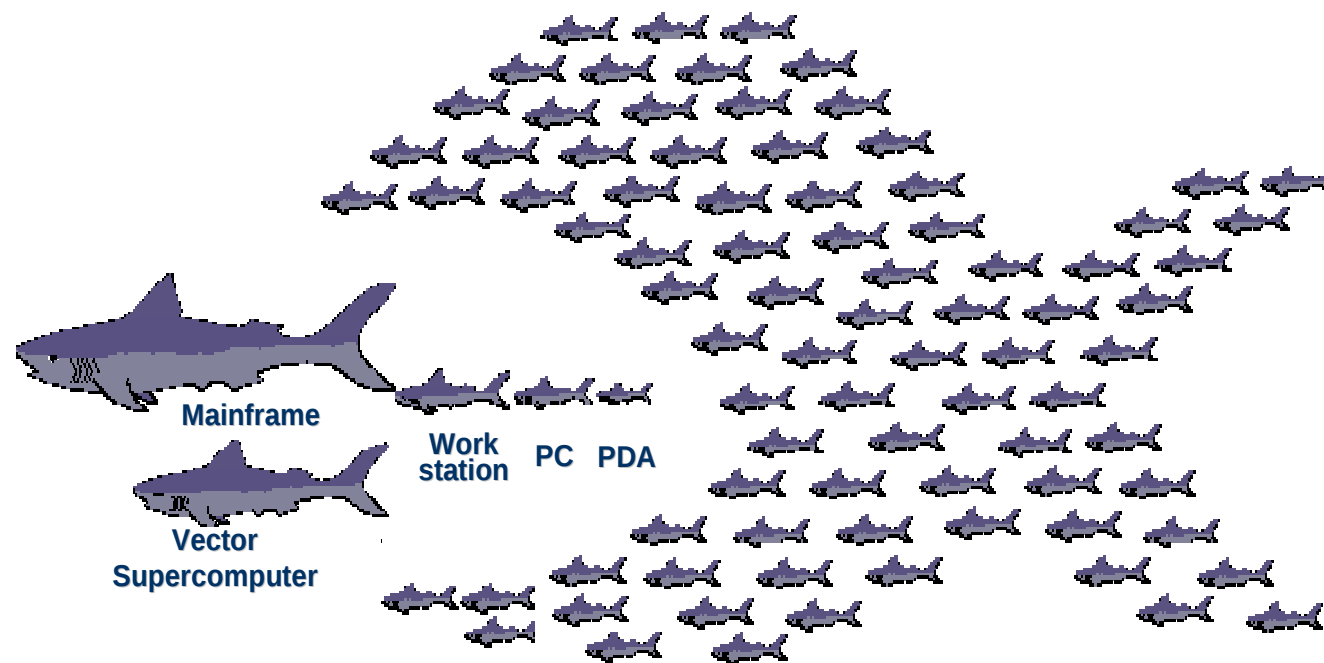
Drahtloser Sensorknoten (Fotomontage)

- Chipcon CC1010
- 868 MHz Radio
- Reichweite bis 100m
- Lebensdauer > 1 Jahr
- bis zu 4 Sensoren
- 3 LEDs, 1 Signalgeber
- 10 Bit AD-Wandler





Nahrungskette in 2010 ?



Sensornetzwerke