

Verteilte Sensornetzwerke

Mit Datenaggregation und Sensorfusion

PD Stefan Bosse

Universität Bremen - FB Mathematik und Informatik

Grundlagen und Anwendungsbereiche

Wo findet man Sensornetzwerke?

Wo liegen die Anwendungsbereiche?

Wie ist die räumliche Ausdehnung von Verteilten Sensornetzwerken?

Metriken und Taxonomie von Sensornetzwerken

Die Sensorevolution



Historisch exponentieller Anstieg der eingesetzten Sensoren und ansteigender Sensordichte

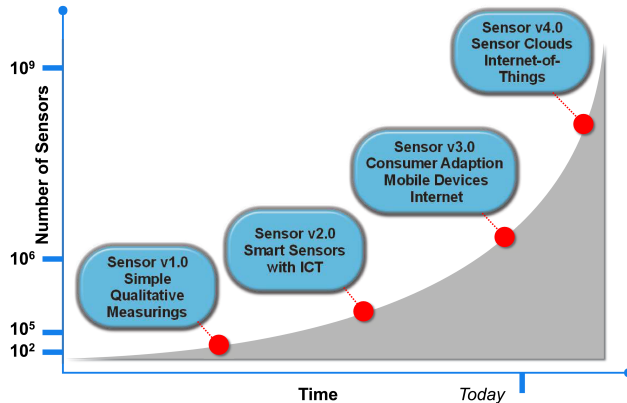


Abb. 1. Alles begann mit einzelnen Sensoren getrennt von der Signalverarbeitung (erst analog, dann digital), zunehmende Kopplung von Analog- und Digitaltechnik, und schließlich Sensornetzwerke (1950-2010)

Verteilte Sensornetzwerke



Datenverarbeitung und Kommunikation unterscheidet sich bei Verteilten Sensornetzwerken grundlegend von klassischer netzwerkbasierter Datenverarbeitung wie das Internet

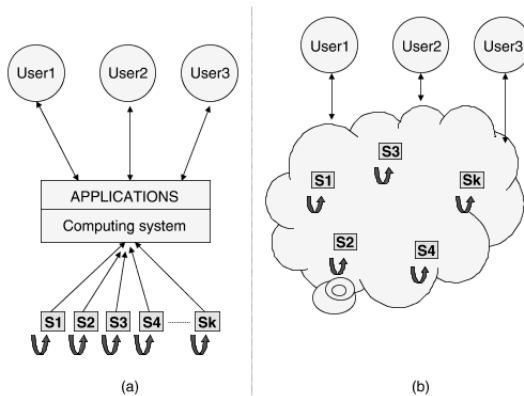


Abb. 2. (a) Klassische zentralisierte Architektur und zentralen Services und Separation von Sensoren und Datenverarbeitung (b) Dezentrale Sensoren und Datenverarbeitung mit verteilten Services

Services

Ein Service ist eine öffentlich bekannte Schnittstelle um Daten durch Operationen zu erlangen, zu verarbeiten, oder zu speichern.



Welche Services könnte es für sensorische Anwendungen geben?

Anwendungsgebiete

Industrie

Sensornetzwerke in Fertigungs- und Produktionsanlagen, häufig gekoppelt mit Maschinen (Cyber-physical Systems, CPS)

Logistik

Monitoring von Waren und Warenlieferketten, Lagern und Transporteinheiten

Gesundheit (Smart Health)

"Wearables", Sensoren die nahe am Körper eines Menschen getragen werden und biometrische Daten liefern, häufig über ein Smartphone und an Server gekoppelt (Gesundheitsanwendungen)

Verkehr

Sensorische Überwachung von Verkehrsflüssen, häufig mit zentraler Verarbeitung zum Zwecke der Optimierung von Verkehrsflüssen

Anwendungsgebiete

Georäumliche Überwachung

Überwachung von georäumlichen Veränderung der Umwelt, z.B. Erdbebenüberwachung, Pegelständen und Fließverhalten von Flüssen, Wetter, Klima, Gletscher, Überwachung aus dem Weltall, usw.

Strukturüberwachung

Erfassung von Bauteilveränderungen zur Betriebszeit, z.B. von Maschinen, Eisenbahnen, Flugzeugen, Windkraftflügeln, Brücken, Gebäuden, usw.

MISS

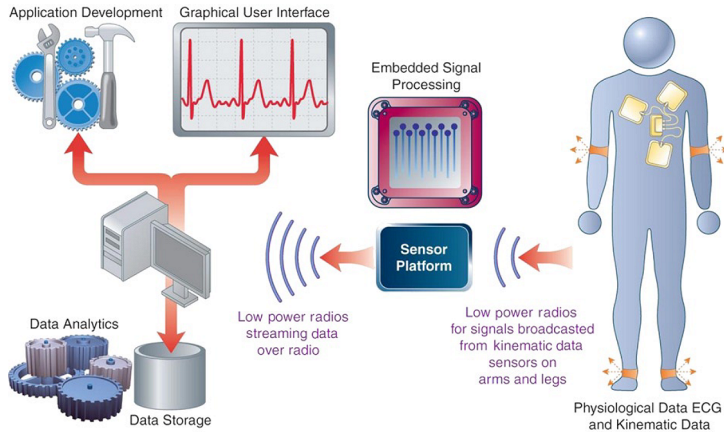
Materialintegrierte intelligente Sensornetzwerke als Unterklasse der Strukturüberwachung, Gesundheitsanwendungen, und Produktsensorierung.

Anwendungsgebiete



Was fehlt noch?

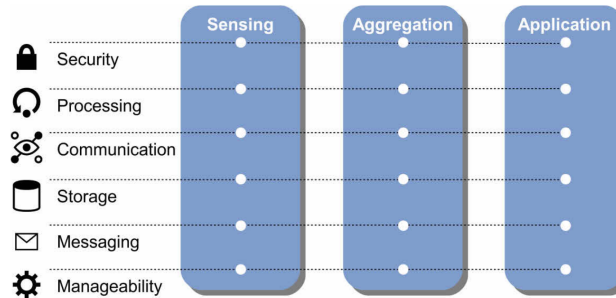
Gesundheitsbereich



[1]

Abb. 3. Szenario einer Gesundheitsanwendung mit Körpersensoren und Einbindung in ein Kommunikationsnetzwerk

Ebenen von Kommunikation und Datenverarbeitung



[1]

Abb. 4. Funktionalen Ebenen: Drei horizontale Ebenen (Erfassung, Zusammenführung, Applikation) die durch die gleichen vertikalen Ebenen (Datenverarbeitung und Kommunikation) durchzogen sind

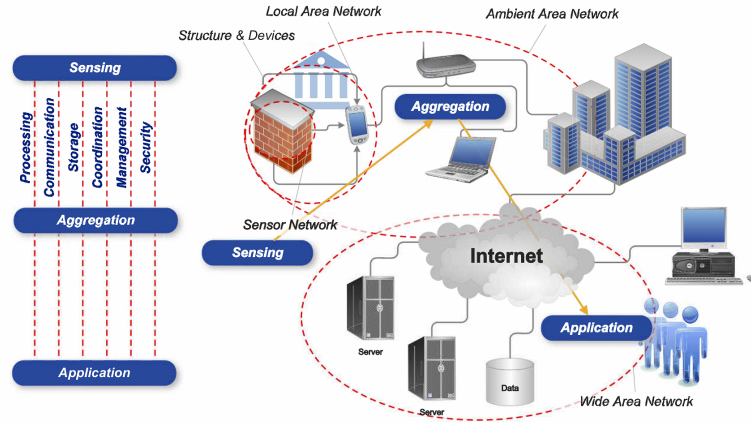


Abb. 5. Die drei vertikalen horizontalen Schichten (Funktionalen Ebenen) können sich über verschiedene Netzwerkbereiche verteilen: Intranet und lokales WLAN Netz (innerhalb von Gebäuden), im und über das Internet, und verbunden mit Cloud Services

Industrielle Sensornetzwerke

Industrielle Drahtlose Sensornetzwerke (IWSN)

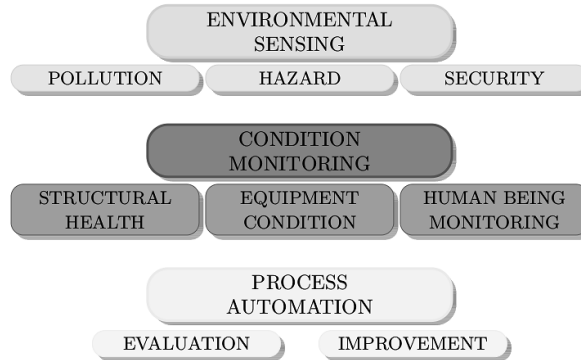
Das sind IWSN Anwendungen in den drei Gruppen:

[2]

- A. Umweltsensorik,
- B. Zustandsüberwachung von Maschinen und
- C. Prozessautomatisierung,

die auf den spezifischen Anforderungen der Anwendungsgruppen basieren.

Taxonomie von IWSN



[2]

Abb. 6. Taxonomie der drei IWSN Anwendungsbereiche

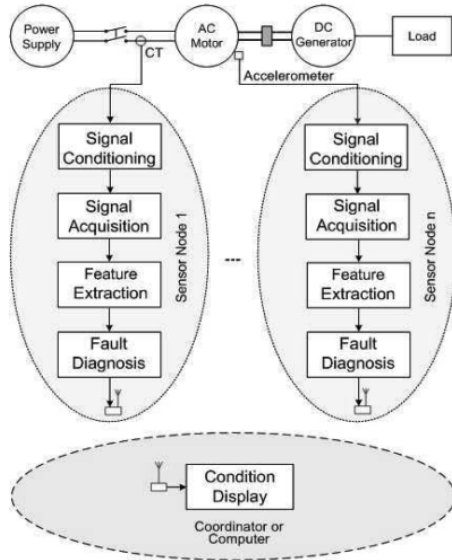
Taxonomie von IWSN

Branch	Environmental			Condition		Process	
	Poll.	Haz.	Sec.	Struc.	Equip.	Eval.	Impr.
Mining, logging	•	•	•	•	•	•	•
Power/Energy		•	•	•	•	•	•
Agriculture	•	•	•			•	•
Chemical/Biotechnology		•	•			•	•
Civil engineering		•	•	•	•		
Electrical engineering			•	•	•	•	•
Mechanical engineering			•	•	•	•	•
Product processing		•	•		•	•	•
Transportation	•	•	•	•		•	
Military/Defense	•	•	•	•	•	•	•
Healthcare		•			•	•	
Communication			•		•	•	
Security R&D			•		•		

[2]

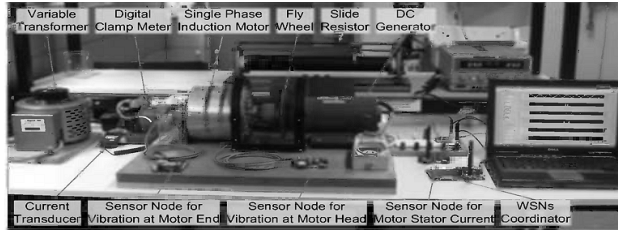
Abb. 7. Industrielle Branchen und Zuordnung zu den IWSN Anwendungsbereichen

Zustandsüberwachung von Maschinen

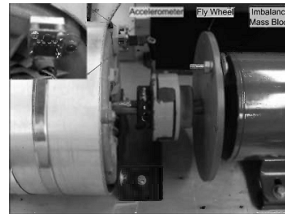


[2]
Abb. 8. Wichtiges Merkmal: Dezentrale aktive Sensoren die die Sensordatenverarbeitung und Informationsberechnung bereits integrieren

[2]



(a)



(b)

Abb. 9. Maschinenüberwachung mittels diskreter Sensoren: Ansicht des Versuchsaufbaus. (a) Gesamtes Motorüberwachungssystem mit WSN. (b) Beschleunigungsmesser, Schwungrad und Massenungleichgewichtsblock.

Materialintegrierte Sensornetzwerke

- Häufig sind Sensoren und Elektronik getrennt
 - Die Sensoren (wie im vorherigen Beispiel) werden **appliziert**
 - Es gibt teils hohen Verdrahtungsaufwand Sensor-Elektronik bei hohen Sensordichten
- Materialintegrierte Sensornetzwerke (MISS) integrieren alle Bestandteile inklusive Energieversorgung in ein Hostmaterial
 - Das Hostmaterial ist i.A. gleichzeitig funktionales Material (mechanische Struktur)
 - Bei gegossenen Betonbauteilen einfach!
 - Bei Laminatstrukturen kann die Einbettung zwischen Lagen erfolgen ("System-in-Foil" Verfahren)
 - Bei Gussbauteilen (vor allem Poylmere, teils auch Aluminium, selten bei Stahl) können die Sensorknoten eingegossen werden
 - Häufig verdrahtete Kommunikation!

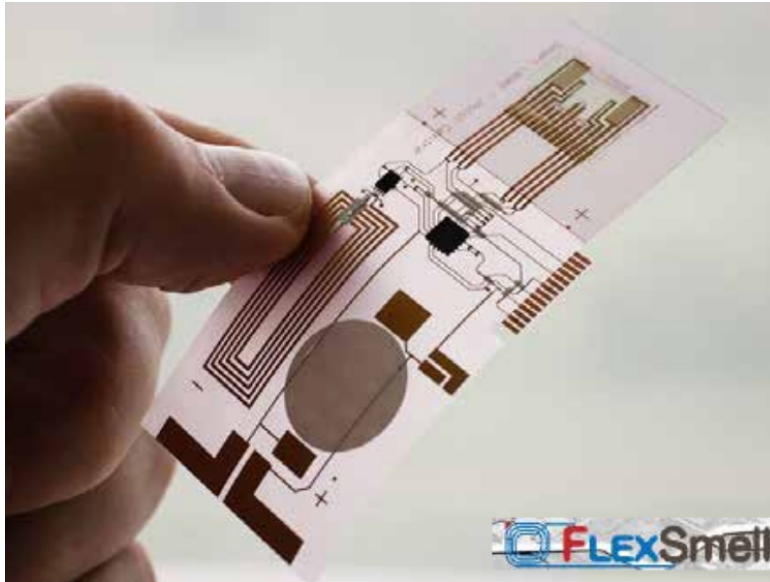
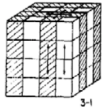
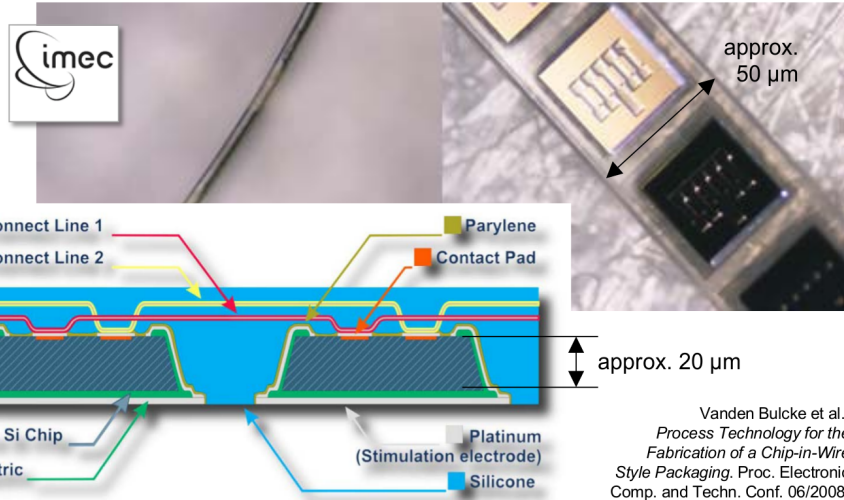


Abb. 10. Vollständige Einbettung von Sensoren und Elektronik in folienbasierten Systemen



R. E. Newnham, D. P. Skinner, L. E. Cross:
Mat. Res. Bull. 13 (1978) 525-536.



Vanden Bulcke et al.:
*Process Technology for the
Fabrication of a Chip-in-Wire
Style Packaging.* Proc. Electronic
Comp. and Techn. Conf. 06/2008,
DOI:10.1109/ECTC.2008.4549986

Abb. 11. Nanowire Kommunikationsstrukturen (Kette von Sensoren)

Intelligente Transport- und Logistikanwendungen

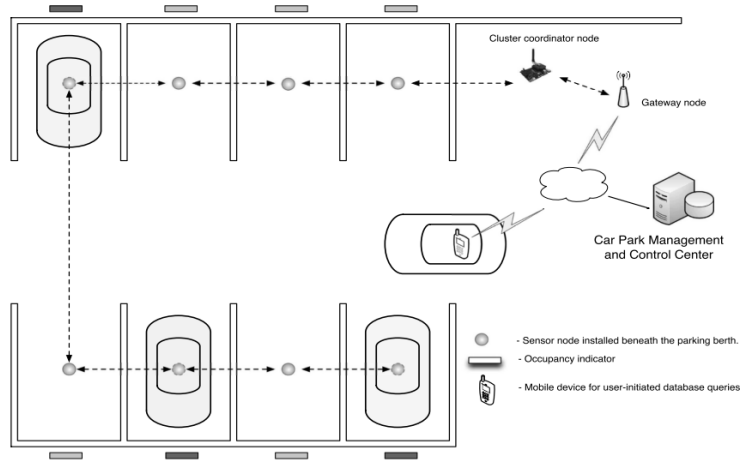
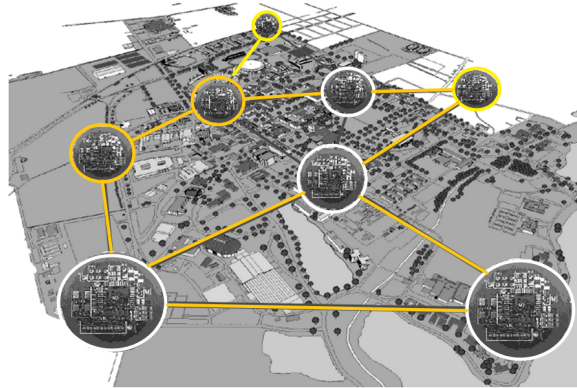


Abb. 12. DSN für automatisches Platzieren und Bewegen von Fahrzeugen ("Automatisches Parken")

Smart City



[3]

Abb. 13. Verteilte drahtlose Sensornetzwerke können um urbanen Bereich im Smart City Konext eingesetzt werden

Sensoren

- Klimatische Größen: Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit
- Optische Größen: Licht, Farbe, Dynamik
- Chemische und physikalische Luftgrößen: Konzentration von Staub und chemischen Gasen
- ...



Was fehlt noch?

Verkehrsüberwachung und Steuerung

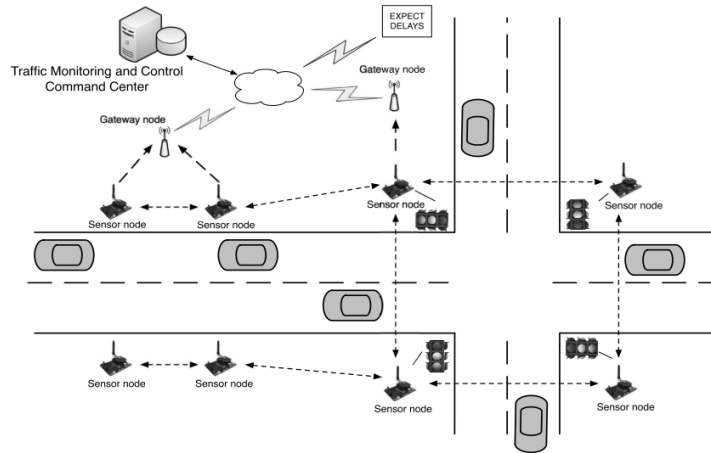


Abb. 14. Lokale Sensoren nehmen Verkehrsbewegungen auf (Sensing), melden diese Daten an Sammelstellen (Aggregation), die dann schließlich durch zentrale Server verarbeitet werden ⇒ Neu: Auch Fahrzeugsensoren und Smartphones können als mobile Sensoren dienen!

Entwurf und Ziele in industriellen drahtlosen Sensornetzwerken

Parameter

Application Domain	Update Frequency	Nodes / 10 m ²
Building Automation	seconds	1 – 20
Process Automation	10 – 1000 <i>ms</i>	1 – 20
Factory Automation	500 μ s – 100 <i>ms</i>	20 – 100
Substation Automation	250 μ s – 50 <i>ms</i>	1 – 10
High Voltage DC control	10 – 100 μ s	300 – 500

[2]

Abb. 15. Wichtige Parameter beim Entwurf von DSN sind Anwendungen: Antwortzeiten, Sensorintervalle, und räumliche Sensordichte

Parameter

Sensor Network Applications	Delay	Update Frequency
Monitoring and supervision		
Vibration sensor	<i>s</i>	sec - days
Pressure sensor	<i>ms</i>	1 <i>s</i>
Temperature sensor	<i>s</i>	5 <i>s</i>
Gas detection sensor	<i>ms</i>	1 <i>s</i>
Closed loop control		
Control valve	<i>ms</i>	10 – 500 <i>ms</i>
Pressure sensor	<i>ms</i>	10 – 500 <i>ms</i>
Temperature sensor	<i>ms</i>	500 <i>ms</i>
Flow sensor	<i>ms</i>	10 – 500 <i>ms</i>
Torque sensor	<i>ms</i>	10 – 500 <i>ms</i>
Variable speed drive	<i>ms</i>	10 – 500 <i>ms</i>
Interlocking and Control		
Proximity sensor	<i>ms</i>	10 – 250 <i>ms</i>
Motor	<i>ms</i>	10 – 250 <i>ms</i>
Valve	<i>ms</i>	10 – 250 <i>ms</i>
Protection relays	<i>ms</i>	10 – 250 <i>ms</i>

[2]

Abb. 16. Wichtige Parameter beim Entwurf von DSN sind die Sensoren: Antwortzeiten, Sensorintervalle, und räumliche Sensordichte

Echtzeitfähigkeit



Echtzeitfähigkeit bedeutet nicht schnell, sondern die Ausführung einer Aufgabe innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls $[t_0, t_1]$.

Man unterscheidet:

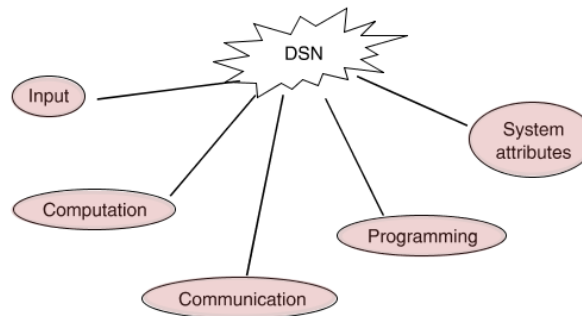
1. Harte Echtzeitheit \Rightarrow Verletzung der Deadline t_1 ist ein Systemfehler (System wird angehalten)
2. Weiche Echtzeitheit: Verletzung der Deadline t_1 wird toleriert

Sensorerfassung sollte im Automatisierungs-, Fahrzeug-, und teils auch im Heimbereich immer mit weicher Echtzeit erfolgen, gemäß den Latenzen und Intervallen die in der vorherigen Tabellen gezeigt wurden. **Veraltete Sensordaten sollten nicht weiter verarbeitet werden!**

Taxonomie von Sensornetzwerken

Übersicht

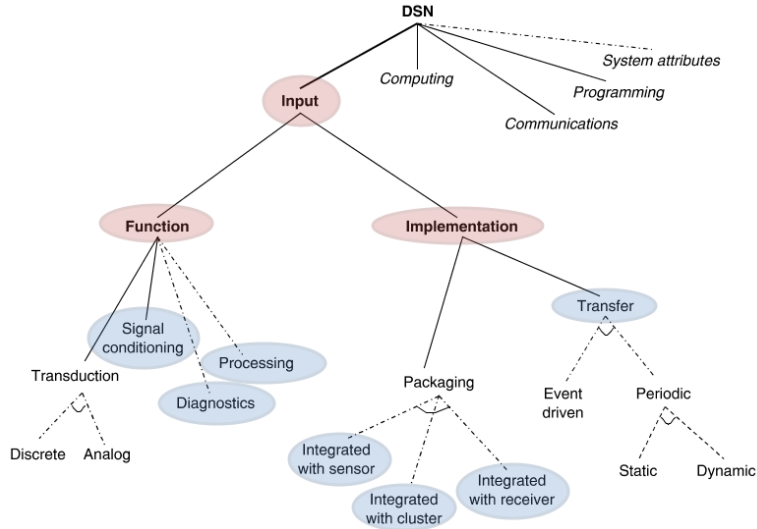
- Die Taxonomie von (verteilten) Sensornetzwerken unterteilt sich in:
 - Schichten: Eingabedaten, Berechnung, Kommunikation, Programmierung
 - Funktion und Implementierung (jeweils)



[3]

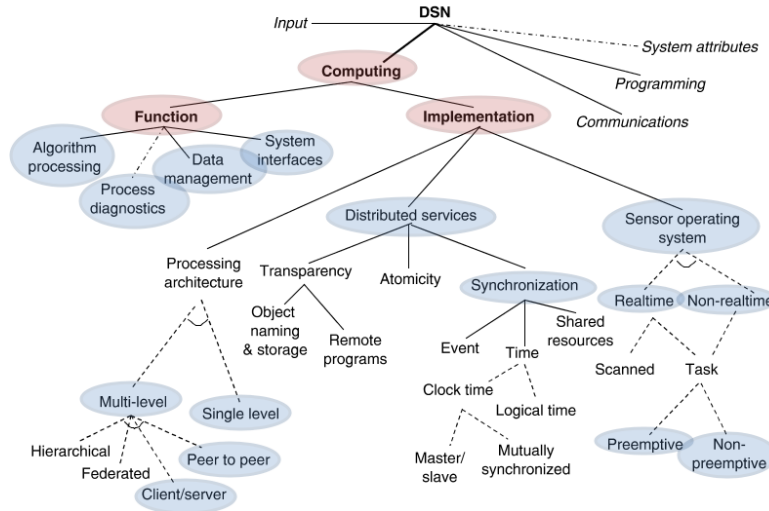
Eingabendaten

[3]



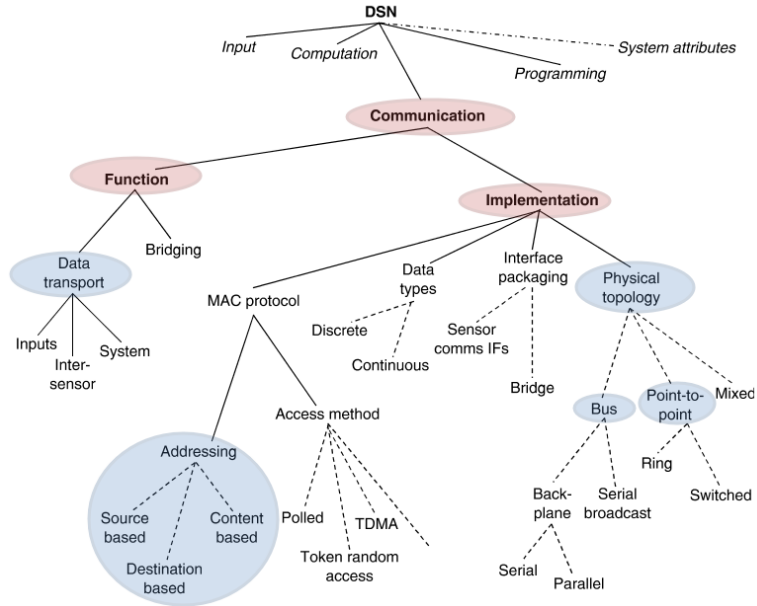
Berechnung

[3]

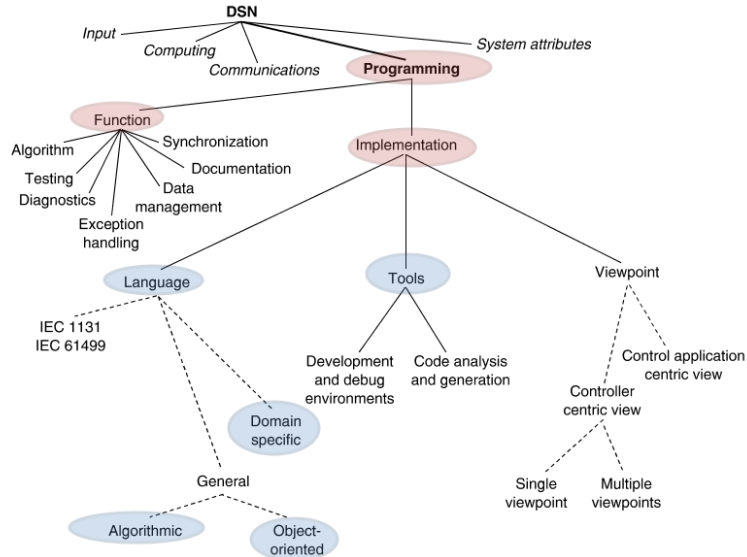


Kommunikation

[3]



Programmierung



[3]

Vertiefende Literatur

[1] V. Ç. Güngör and G. P. Hancke, Eds., Industrial Wireless Sensor Networks - APPLICATIONS, PROTOCOLS, AND STANDARDS. CRC Press, 2013.

[2] M. J. McGrath and C. N. Scanail, Sensor Technologies Healthcare, Wellness, and Environmental Applications. Apress Open, 2014.

[3] S. S. Iyengar and R. R. Brooks, Distributed Sensor Networks. CRC Press, 2005. (Taxonomie: 33 pp)

[4] S. S. Iyengar and R. R. Brooks, Distributed Sensor Networks - Sensor Networking and Applications. CRC Press, 2013. (Anwendungen: 749 pp)

[5] F. Hu and Q. Hao, Intelligent Sensor Networks. CRC Press, 2013. (Sensor IO: 58 pp (fig 3.3))