

## 2.3 Geräte

### 2.3.1 System on a Chip Geräte

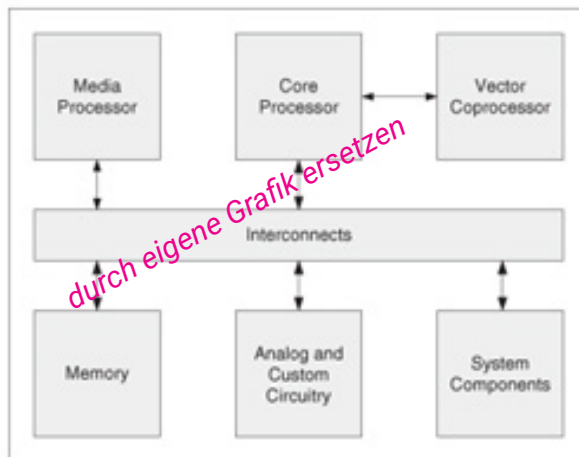


Abb 7.: Beispiel für ein System on a Chip Grundmodell nach [37]

Unter einer "System on a Chip" Architektur (oder kurz SoC), versteht man eine Kombination aus Prozessoren, Speichereinheiten und elektrischen Verbindungen, welche auf eine spezifische Anwendungsdomäne zugeschnitten ist. [37]

Ein SoC der Anwendungsdomäne eines modernen Smartphones müsste hier beispielsweise um drahtlose Netzwerkfunktionen für mobile Daten, WiFi und Bluetooth, einem Medien- beziehungsweise Grafikprozessor, einem Bildverarbeitungsprozessor, Digitalen Signal Prozessoren, zum Beispiel für die Audiowiedergabe, und Encodern/Decodern für Videodateien erweitert werden. Der Großteil an Systemfunktionen ist, wie der Name „System on a Chip“ umschreibt, also in einen einzigen Computer-Chip integriert. [38, 39]

Dieser Hauptchip kann mit Peripherie wie Kameras, dem Bildschirm, Touchscreen, usw. auf dem PCB, der Leiterplatte eines Geräts, interagieren. Hierdurch können kleine Geräte-Formfaktoren mit geringem Stromverbrauch realisiert werden. [37]

Angenommen nicht alle Systemfunktionen werden auf einem einzigen Chip untergebracht, sprich die Netzwerkfunktionen sind zum Beispiel in einem extra Chip auf der Leiterplatte untergebracht, so spricht man von einem „System on a Board“ (SoB). Oftmals wird hier der Begriff „System on a Chip“ dennoch verwendet. Ein SoC oder SoB unterscheidet sich von einem traditionellen Computer mit erweiterbarer Hardware dahingehend, dass die Anforderungen und die Anwendung eines Chips, beziehungsweise Boards bekannt ist. Sobald die Zielanwendung bekannt ist, können Chip-Elemente während des Entwurfsprozesses genau ausgewählt, dimensioniert und bewertet werden. [37]

Bei den nun zu behandelnden Development-Boards, wie dem Raspberry Pi, kann davon ausgegangen werden, dass die haargenaue Anwendung des SoB nicht bekannt war, vielmehr nach Anforderungen der Benutzer beim Design des Boards gearbeitet wurde. So standen Konnektivität, Formfaktor, die Integration von, für den Benutzer, wichtigen Komponenten und der Preis des Endprodukts im Vordergrund. Der Raspberry Pi wurde in erster Linie als Werkzeug zum Lernen von Computerfähigkeiten, Coding- und Digital-Maker-Fähigkeiten (wie dem Basteln und Rumexperimentieren mit elektronischen Bauteilen) entwickelt. [40, 41]

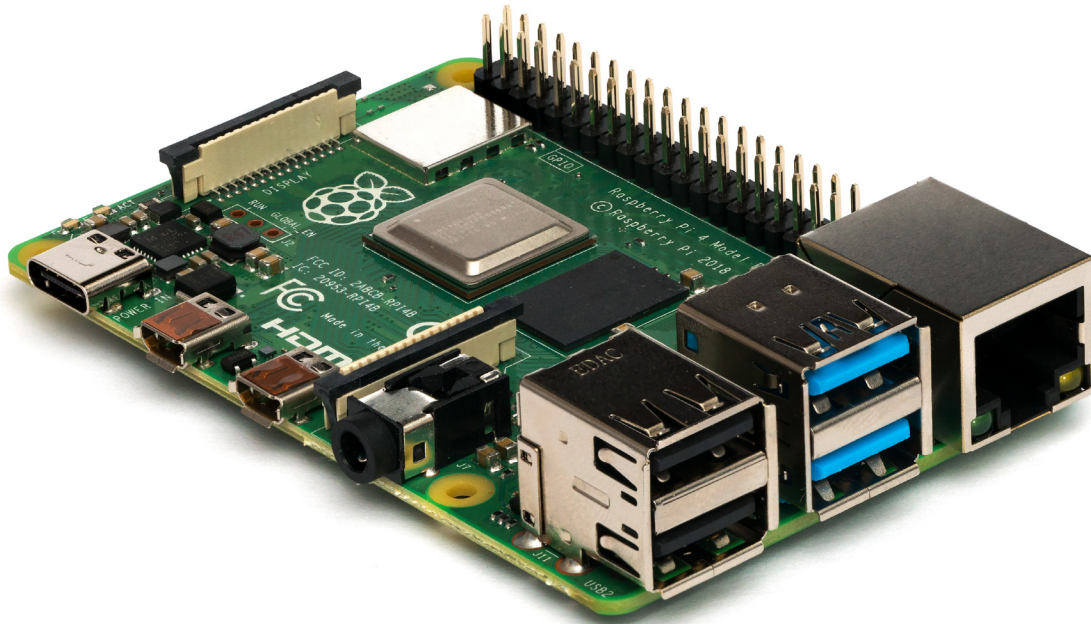


Abb 7.: Raspberry Pi 4 Modell B [42]

**Der Raspberry Pi** eignet sich für diese Arbeit im Rahmen einer Hochschule also hervorragend, da er aufgrund seiner Designaspekte auch sehr umfangreich dokumentiert ist. Mit einem Preis von rund 35€ (Stand April 2021) [33] sind die Anschaffungskosten für ein Raspberry Pi 4 Board überschaubar, was der Zugänglichkeit extrem hilft und ebenfalls den Gedanken eines Computers zum Lernen und „rumprobieren“ widerspiegelt. Netzteil, Speicherkarte und Peripherie müssen separat gekauft werden, denn die Anforderungen eines Nutzers an dieses Zubehör kann variieren. Die Zubehöerteile verwenden jedoch weit verbreitete IT-Standards. Viele Nutzer besitzen deshalb bereits einiges an Zubehör, wie zum Beispiel microSD Karten oder USB-Tastaturen, und können diese einfach für einen Pi verwenden. Auch die Schnittstellen für Sensoren und Aktuatoren sind zugänglich gestaltet. So lassen sich zum Beispiel mit ein paar einfachen Stromkabeln eine breite Masse an unterschiedlichen Sensoren und Aktuatoren von einer Vielzahl an Herstellern ansteuern.

Raspberry Pis kommen in verschiedenen Ausführungen daher: [33]

- Einer Standardvariante mit mittlerweile vier Hardwarerevisionen
- Einer „Zero“-Variante mit kleinem Formfaktor, jeweils in einer Revision ohne Netzwerkfunktionen und einer „W“-Revision mit Netzwerkfunktionen
- Als reduzierte Standardvariante, dem Compute Module, angedacht für industrielle Anwendungen
- Die Standardvariante vierter Revision, integriert in eine Tastatur
- Und als Microcontroller „Raspberry Pi Pico“. Dieses Gerät gilt es in 2.3.2 zu behandeln.

Die erste Standardvariante des Raspberry Pi, der „Raspberry Pi 1 Model B“, erschien 2012 und brachte fast alle Funktionen mit sich, die man heutzutage auf einem Board der neuesten Standardvarianten-Revision, dem „Raspberry Pi 4 Modell B“ wiederfindet. Ein SoC mit Hauptprozessor und Grafikprozessor, erweitert um die SoB Funktionen, Hauptspeicher, Videoausgabe, Audioausgabe, Netzwerkfunktionen, USB-Anschlüsse, GPIO Pins, Schnittstellen wie I2C, einem Speicherkarten Steckplatz und einem Port zur Stromaufnahme.

Über die Jahre hinweg wurde das Design zeitgemäß angepasst, so fand man in Sachen Netzwerkfunktionen der ersten Revision lediglich einen Ethernet-Anschluss. Dies änderte sich mit der Integration eines WiFi und Bluetooth Chips in der zweiten Revision. Auch die Rechenleistung stieg mit jeder neuen Hardwarerevision, die Prozessoren wurden erneuert und die Hauptspeicherkapazität erweitert. Neben den B Modellen gibt es auch leicht veränderte A Modelle, welche einen kleineren Formfaktor aufweisen. [43]

Der neueste Raspberry Pi 4 Modell B besitzt die folgenden Eigenschaften: [43]

- CPU des Typs Arm-Cortex-A72 mit 4 Kernen und einer Taktrate von 1500 MHz
- VideoCore VI Grafikeinheit mit einer Taktrate von 500 MHz und 4K Unterstützung
- Zwischen 2GB, 4GB oder 8GB Low Powered DDR4 Hauptspeicher
- microSD Speicherkarten Steckplatz
- 2x Micro-HDMI und Composite Video als Videoausgabe
- Audioausgabe über den HDMI Stecker, sowie analog über die Composite Video 3,5mm Klinke
- Netzwerkadapter für Ethernet-Kabel mit bis zu 1000Mbit/s
- WLAN b/g/n/ac und Bluetooth 5.0 Low Energy
- 2x USB 2.0 und 2x USB 3.0 Anschlüsse
- GPIO, CSI, DSI und I2C Schnittstellen
- Stromaufnahme von 1500 mA bei einer Betriebsspannung von 5V über USB-C

Mit über 36 Millionen verkauften Einheiten seit 2012 (Stand November 2020) [44] ist der Raspberry Pi wohl das bekannteste SoB Development-Board. Es existieren jedoch zahlreiche Alternativen. Diese haben ähnliche Eigenschaften zum Pi, doch differenzieren sich in einzelnen Spezifikationen und natürlich auch dem Preis. So läuft der **Atomic Pi** von DLI mit einem x86 Intel Prozessor, statt auf der ARM-Architektur, und unterstützt somit auch das herkömmliche Windows als Betriebssystem. Der **Rock Pi 4** von Radxa setzt hingegen auf Geschwindigkeit mit einem 6-Kern Prozessor und sehr schnellem Speicher über einen M.2-SSD Slot. [45] Für Android Unterstützung und eine flotte Desktopumgebung über Ubuntu kann der **ODROID N2+** von Hardkernel dienen. [46]

Jedoch sind die Communities um die meisten Raspberry Pi Alternativen recht klein. Hilfestellungen aus Foren, Anleitungen zur Umsetzung von Anwendungen, das Softwareangebot, Langzeitsupport und Dokumentationen seitens der Hersteller können hier für einige Nutzer ungenügend sein. Aus diesen Gründen und dem hohen Grad an Relevanz soll es in diesem Kapitel bei der ausführlichen Abdeckung des Raspberry Pi Development-Boards bleiben.

*Anmerkung und Gedanken: Zu diesem Zeitpunkt gehe ich nicht davon aus, dass hier ein weiterer ausführlicher Vergleich mit Spezifikationen und so stattfinden muss. Falls sich dies später ändert, zb in der Implementation -> nachtragen. Ansonsten detailreicherer Blick auf Geräte in der Open Hardware Sektion, wobei es da auch nicht viel zu sagen gibt außer, dass eigentlich jedes SoB nur partially open source ist. Mal schauen.*

### 2.3.2 Microcontroller

*To be continued..*

### 2.3.3 Sensoren / Physical Computing

Ein Sensor nimmt konkret erfassbare Werte seiner physikalischen Umgebung auf, wie zum Beispiel die Temperatur. So lassen sich Änderungen dieser Werte über eine gewisse Zeit ermitteln. Die gesammelten Werte können anschließend mit Hilfe eines Computersystems gespeichert, dargestellt und analysiert werden. Bei der Messung wird ein analoges, elektrisches Signal einer physikalischen Größe per Messfühler ermittelt, verarbeitet und für die Nutzung digitalisiert: [46]

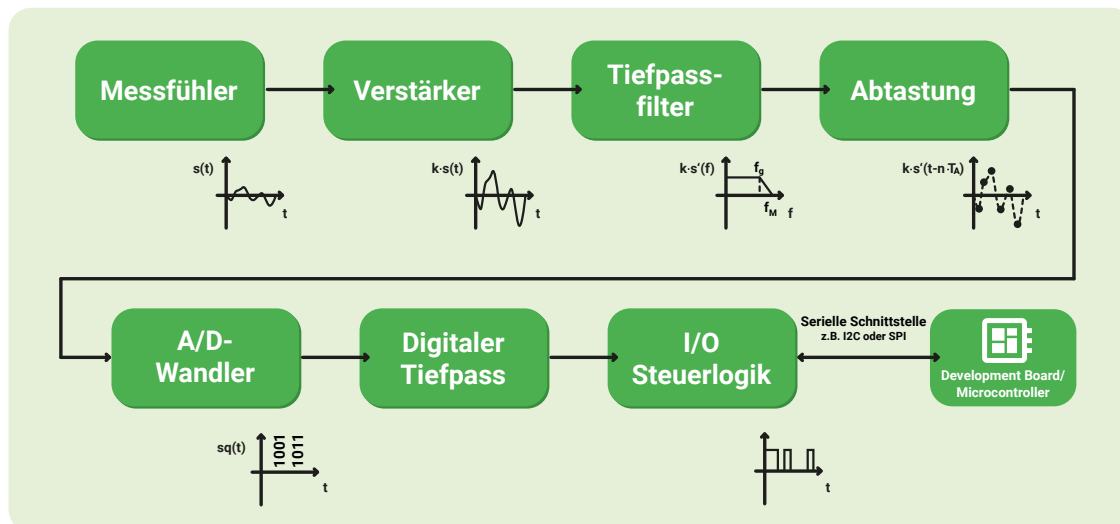


Abb. 4: Beispielhaftes Blockschaftbild eines digitalen Sensors nach [46]

Das analoge Signal wird hier erfasst, verstärkt und anschließend werden irrelevante Anteile des Signalspektrums mit einem Tiefpassfilter entfernt. Es folgt die Digitalisierung des Signals. Durch die Digitalisierung wird ein zeit- und wert-kontinuierliches Analogsignal in einer bestimmten Frequenz abgetastet und in eine zeitdiskrete und wertdiskrete Folge an Digitalwerten umgewandelt, beziehungsweise werden die Werte quantisiert. So erhält jeder abgetastete Signalwert eine genaue Zahlenangabe. Dies wird durch die folgende Abbildung deutlich: [46, 47]

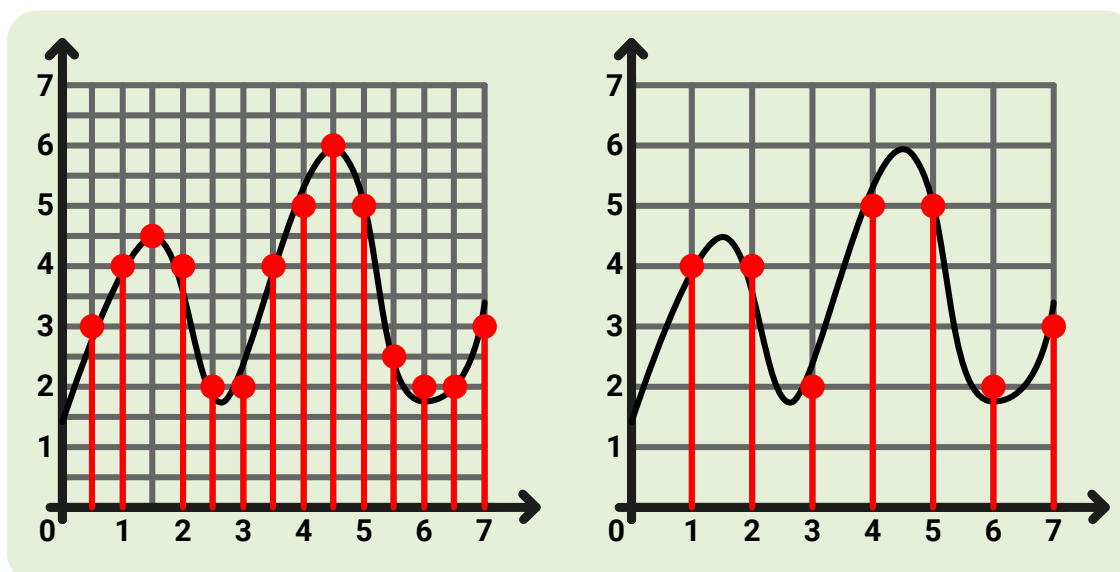


Abb. 5: Zwei Digitalsignale (rote Punkte) nachdem ein analoges Signal abgetastet und quantisiert wurde (graue Linie) - nach [47]

Durch die Quantisierung kommt es unvermeidbar zu einer Quantisierungsabweichung. Das ist die Abweichung zwischen den Werten des wahren, analogen Signals (graue Linie) und den Werten der quantisierten Signale (rote Punkte). Auf der linken Seite der Abbildung ist diese Abweichung vertretbar, hieraus kann das ursprüngliche Signal annähernd genau rekonstruiert werden. Schwieriger wird dies jedoch mit einer niedrigen Abtastfrequenz, wie auf der rechten Seite der Abbildung zu sehen ist. Hier soll verdeutlicht werden, dass die Messung analoger Signale bei einer Umwandlung in digitale Werte immer verlustbehaftet ist. Mit einer ausreichenden Abtastfrequenz, kann jedoch ein annähernd mit dem Quellsignal übereinstimmendes, digitales Signal reproduziert werden. [47]

Die digitalen Werte können nun über eine serielle Schnittstelle per I/O-Steuerlogik an ein Development Board oder Microcontroller weitergegeben werden. Diese Steuerlogik ist unter anderem auch für die Steuerung mehrerer Messfühler zuständig, oder auch für die Zwischenspeicherung der Messwerte in einem Register. Der vorgeschaltete digitale Tiefpass ist in diesem Schaltungsbeispiel übrigens für die Filterung von Wechselspannungen, welche gewisse Spitzenwerte überschreiten, zuständig. [46]

Sensoren können über dieses Beispiel hinaus deutlich komplexer werden. Außerdem kann sich die Funktionsweise gleicher Sensortypen durchaus differenzieren. So können in Beschleunigungssensoren beispielsweise Flüssigmetalle zur Bestimmung der wirkenden Kräfte genutzt werden, oder auch ein gefedertes Gitter. [48, 49] Auf alle diese Einzelheiten einzugehen, wäre an sich schon eine eigene Abschlussarbeit wert, deshalb soll im folgenden Teil lediglich ein einfacher Überblick über eine Vielzahl an Sensoren und deren Messmöglichkeiten gegeben werden, ohne auf genaue elektrotechnische Einzelheiten einzugehen.

### 2.3.3.1 Sensorenübersicht

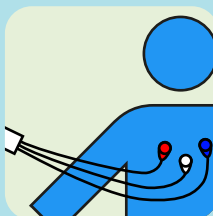
#### Biometrie und menschliche Eingaben



##### Fingerabdruck/Handabdruck

Messung des Musters auf einer Fingerkuppe oder einer Hand.

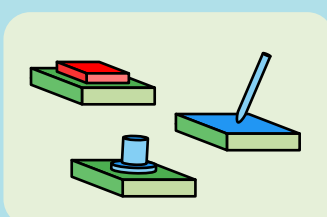
Beispiel: Authentisierung bei einem geschützten System wie Handy oder geschützter Tür



##### Elektrokardiogramm

Aufzeichnung der Summe der elektrischen Aktivitäten aller Herzmuskelfasern. [60]

Beispiel: Erkennung von Herzinfarkten



##### Steuerelemente

Benutzereingaben durch Knöpfe, Schalter, Drehregler (Potentiometer) oder Touchpads.

Beispiel: Smartphone Touchscreen

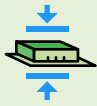
## Kräfte und klassische Umgebungswerte



### Temperatur

Messung der Umgebungstemperatur oder der Temperatur eines direkt anliegenden Objekts.

Beispiel: Wärme/Kälte außerhalb eines Autos



### Druck

Messung des Luftdrucks, Umgebungsdrucks oder eines haptisch ausgeübten Drucks.

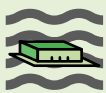
Beispiel: Systemdruck einer Heizung [51]



### Luftfeuchtigkeit

Messung der Luftfeuchtigkeit in Räumen oder im Freien.

Beispiel: Wetterstation



### Gase

Messung der Luftzusammensetzung, Anteil von Gasen und Partikeln.

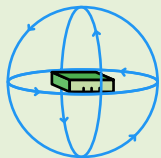
Beispiel: Luftqualität ermitteln



### Geräusche

Messung von Schall-Lautstärken per Mikrofon; ungerichtet auf komplette Umgebung oder gezielt gerichtet.

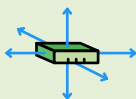
Beispiel: Ärztliche Ultraschall-Untersuchung [52]



### Neigung / Gyroskop

Messung der Neigung einer oder mehrerer Achsen, hier dreiachsiges Rollen, Nicken und Gieren.

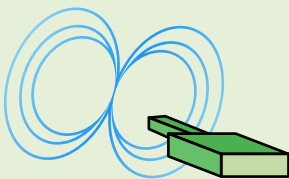
Beispiel: Ausrichtung Jet / Steuerung Handyspiele



### Beschleunigung

Messung der Änderung des Bewegungszustands eines Sensors. [53]

Beispiel: Schrittzähler



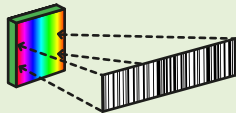
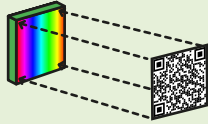
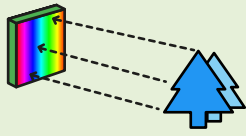
### Magnetfeld

Messung der Richtung eines magnetischen Flusses von magnetischen Materialien, elektrischer Ströme (zum Beispiel durch eine Spule) oder eines elektrischen Felds. [54]

Beispiel: Kompass



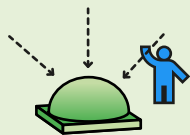
# Elektromagnetische Strahlung und Optik



## Licht / Elektromagnetische Strahlung

Messung der einfallenden elektromagnetischen Strahlung, darunter nicht nur sichtbares Licht, wie im Falle von Kamerasensoren, sondern auch zum Beispiel Infrarotstrahlung, Röntgenstrahlung, ultraviolette Licht, Gammastrahlung, Mikrowellen wie WLAN oder LTE, aber auch Radiowellen des Rundfunks. [55]

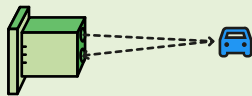
Beispiel: Kameras, Radioastronomie, Banknotenprüfung



## Passive Infrarotmessung

Eigentlich ein Teil der elektromagnetischen Strahlungskategorie, hier jedoch Messung eines Wärmebilds in einem weitem Sichtfeld. [56]

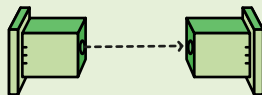
Beispiel: Bewegungsmelder



## Distanz

Messung der Lichtlaufzeit zwischen Messobjekt und Distanzsensoren um Entfernung zum Objekt zu ermitteln. [57]

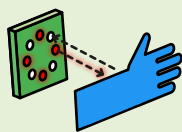
Beispiel: Abmessung von Fertigungsteilen



## Lichtschranke

Erkennung der Unterbrechung eines Lichtstrahls zwischen einem optischen Sender und Empfänger

Beispiel: Rauchmelder in Industrie-Hallen



## Puls und Blutsauerstoff

Optische Erkennung der Blutzusammensetzung und des Pulses mit schnell blinkenden LEDs. Zurückgeworfenes Licht gibt Aufschluss über die Änderung des Blutvolumens in einer gewissen Zeit und der Menge an Blutsauerstoff.

Beispiel: Smartwatch [58]

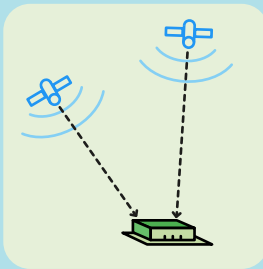


## RFID

Kontaktlose Identifizierung von Objekten und Lebewesen mit Radiowellen. Lesegerät erzeugt Radiowellen mit denen Daten von und zu einem Transponder übertragen werden und diesen auch mit Energie versorgen. [59]

Beispiel: Türeinlass

## Elektromagnetische Strahlung und Optik

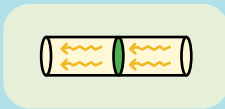


### GPS

Globale Positionsbestimmung eines Objekts über Radiowellen und mehrerer für das Objekt sichtbare Satelliten.

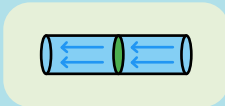
Beispiel: Navigationsgerät

## Umwelt und Strom

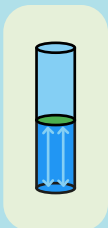


### Stromstärke

Messung des Durchsatzes von zum Beispiel elektrischem Strom oder Flüssigkeiten wie Wasser.



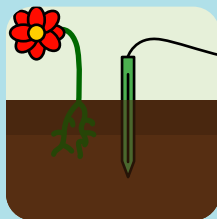
Beispiel: Stromzähler, Abfüllanlagen



### Füllstand

Messung des verwendeten Volumens in einem Container, zum Beispiel durch Flüssigkeiten.

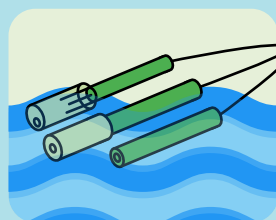
Beispiel: Wassersilos



### Feuchtigkeit und chemische Stoffe

Messung des Feuchtigkeitanteils oder der chemischen Zusammensetzung eines Materials.

Beispiel: Smart Farming



### Wasserqualität

Messung zum Beispiel des PH Wertes, Anteil an Oxidations und Reduktionsmitteln, der elektrischen Leitfähigkeit, der Partikel und der Trübung einer Flüssigkeit. [62]

Beispiel: Überwachung von Biotopen



## Literatur

- [1] A. Rayes und S. Samer, Hg., Internet of Things From Hype to Reality : The Road to Digitization: SpringerLink. Bücher. Cham: Springer, 2017.
- [2] International Telecommunication Union, Overview of the Internet of things. [Online]. Verfügbar unter: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559> (Zugriff am: 9. März 2021).
- [3] H. Guo, M. F. Goodchild und A. Annoni, Manual of Digital Earth. Singapore: Springer, 2020.
- [4] Andelfinger, Volker P., 1960- und Herausgeber/in, Hg., Internet der Dinge : Technik, Trends und Geschäftsmodelle: SpringerLink. Bücher. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015.
- [5] Knieps, Günter, 1950-, V. Stocker und The future of the internet (2017 : Freiburg i.Br.), Hg., The future of the internet : innovation, integration and sustainability, 1. Aufl. Nomos: Nomos, 2019.
- [6] D. f. E. Wikipedia, Seite „Aktor“. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Aktor> (Zugriff am: 21. März 2021).
- [7] A. Sinsel, Hg., Das Internet der Dinge in der Produktion : Smart Manufacturing für Anwender und Lösungsanbieter: Springer eBooks. Computer Science and Engineering. Berlin, [Heidelberg]: Springer Vieweg, 2020.
- [8] I. Podnar Žarko, A. Bröring, S. Soursos und M. Serrano, Hg., Interoperability and Open-Source Solutions for the Internet of Things : Second International Workshop, InterOSS-IoT 2016, Held in Conjunction with IoT 2016, Stuttgart, Germany, November 7, 2016, Invited Papers: Lecture notes in computer science ; 10218. Cham: Springer, 2017.
- [9] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari und M. Ayyash, „Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications“, IEEE Commun. Surv. Tutorials, Jg. 17, Nr. 4, S. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [10] T. Kaufmann und H.-G. Servatius, Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer: Wege zu einem Management 4.0 und einer digitalen Architektur, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg, 2020.
- [11] Hassanien und Ditzinger, Toward Social Internet of Things (SIoT): Enabling Technologies, Architectures and Applications, 1. Aufl. [Place of publication not identified]: Springer International Publishing, 2020.
- [12] J. M. Batalla, G. Mastorakis, C. X. Mavromoustakis und E. Pallis, Hg., Beyond the Internet of Things : Everything Interconnected: Internet of Things, Technology, Communications and Computing. Cham: Springer, 2017.
- [13] Wikipedia, Zweite industrielle Revolution. [Online]. Verfügbar unter: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zweite\\_industrielle\\_Revolution&oldid=207507542](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zweite_industrielle_Revolution&oldid=207507542) (Zugriff am: 25. März 2021).
- [14] Industrial-Internet-Infographic.jpg (JPEG-Grafik, 960 × 3168 Pixel) (Zugriff am: 7. April 2021).
- [15] Nechaeva Lilia Alexandrovna, File:MIREA Laboratory Industry 4.0. Digital robotic manufacturing 6.jpg - Wikimedia Commons (Zugriff am: 7. April 2021).
- [16] Industrial AI, Machine Learning in der Fertigungs-IT - Industrial AI. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ind-ai.net/kuenstliche-intelligenz-in-der-data-analytics/machine-learning-in-der-fertigungs-it/> (Zugriff am: 7. April 2021).
- [17] R. Varshini und A. Karthikeyan, „Internet of Things – Evolution, Architecture and Real Time Application- Survey“ in 2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN), Vellore, India, 2019, S. 1–4, doi: 10.1109/ViTECoN.2019.8899584.
- [18] Wikipedia, Deepwater Horizon. [Online]. Verfügbar unter: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Deepwater\\_Horizon&oldid=210198316](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Deepwater_Horizon&oldid=210198316) (Zugriff am: 25. März 2021).

- [19] M. Jahanbakht, W. Xiang, L. Hanzo und M. R. Azghadi, „Internet of Underwater Things and Big Marine Data Analytics—A Comprehensive Survey“, IEEE Commun. Surv. Tutorials, S. 1, 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3053118.
- [20] ResearchGate, Fig. 1. Maritime MTC (IoT) communications enabled by various wireless. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.researchgate.net/figure/Maritime-MTC-IoT-communications-enabled-by-various-wireless-communications-technologies\\_fig1\\_340683649](https://www.researchgate.net/figure/Maritime-MTC-IoT-communications-enabled-by-various-wireless-communications-technologies_fig1_340683649) (Zugriff am: 7. April 2021).
- [21] M. E. El-hawary, „The Smart Grid—State-of-the-art and Future Trends“, Electric Power Components and Systems, Jg. 42, 3-4, S. 239–250, 2014, doi: 10.1080/15325008.2013.868558.
- [22] T. Kaufmann und H.-G. Servatius, Hg., Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer : Wege zu einem Management 4.0 und einer digitalen Architektur: Springer eBook Collection, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [23] I. F. All, „IoT Applications in Waste Management“, IoT For All, 19. Juni 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.iotforall.com/iot-applications-waste-management>. Zugriff am: 24. März 2021.
- [24] J. Jamali, Towards the Internet of Things. Cham: Springer International Publishing, 2020.
- [25] M. A. E. Khaddar und M. Boulmalf, „Smartphone: The Ultimate IoT and IoE Device“ in Smartphones from an Applied Research Perspective, N. Mohamudally, Hg., InTech, 2017, doi: 10.5772/intechopen.69734.
- [26] M. Jalsari und L. Lakshmanan, „A Survey: Integration of IoT and Fog Computing“ in 2018 Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), Bangalore, India, 8/16/2018 - 8/18/2018, S. 235–239, doi: 10.1109/ICGCIoT.2018.8753010.
- [27] C. Bauer, F. Eickmeier und M. Eckard, Hg., E-Health: Datenschutz und Datensicherheit : Herausforderungen und Lösungen im IoT-Zeitalter: SpringerLink. Bücher. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018.
- [28] M. A. Pfannstiel, Da-Cruz, Patrick, 1972- und H. Mehlich, Hg., Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen V : Impulse für die Rehabilitation: Springer eBooks. Business and Economics, 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019.
- [29] Wikipedia, E Ink. [Online]. Verfügbar unter: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=E\\_Ink&oldid=1001895387](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=E_Ink&oldid=1001895387) (Zugriff am: 25. März 2021).
- [30] B. Palka, „IOX Experte erklärt: E-Ink Displays für den Einzelhandel“, IOX GmbH, 1. Sep. 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://ioxlab.de/de/iot-tech-blog/iox-experte-erklaert-e-ink-displays/#Welche\\_Use\\_Cases\\_gibt\\_es\\_fuer\\_den\\_Retail-Bereich](https://ioxlab.de/de/iot-tech-blog/iox-experte-erklaert-e-ink-displays/#Welche_Use_Cases_gibt_es_fuer_den_Retail-Bereich). Zugriff am: 24. März 2021.
- [31] Bosch.IO, Lebensmitteleinzelhandel: Das Potenzial der vernetzten Filiale. [Online]. Verfügbar unter: <https://bosch.io/de/branchen/lebensmitteleinzelhandel/> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [32] Devin Coldewey, Inside Amazon’s surveillance-powered, no-checkout convenience store. [Online]. Verfügbar unter: <https://techcrunch.com/2018/01/21/inside-amazons-surveillance-powered-no-checkout-convenience-store/> (Zugriff am: 9. März 2021).
- [33] Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.raspberrypi.org/> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [34] D. Norris, The Internet of Things: Do-It-Yourself at Home Projects for Arduino, Raspberry Pi and BeagleBone Black. New York, N.Y.: McGraw-Hill Education, 2015.

- [35] Turing Pi, 12 amazing Raspberry Pi cluster use cases - Turing Pi. [Online]. Verfügbar unter: <https://turingpi.com/12-amazing-raspberry-pi-cluster-use-cases/#:~:text=%2012%20amazing%20Raspberry%20Pi%20cluster%20use%20cases,to%20go%20if%20you%20want%20your...%20More%20> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [36] Telekrmor, Home. [Online]. Verfügbar unter: <https://pi-hole.net/> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [37] M. J. Flynn, Computer system design: System-on-chip. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://learning.oreilly.com/library/view/-/9780470643365/?ar>
- [38] R. Srinivas, „Smartphone SoCs explained: A comprehensive guide“, NextPit, 19. März 2021, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.nextpit.com/smartphone-socs-explained#:~:text=A%20typical%20modern%20smartphone%20SoC%20typically%20integrates%20the,and%20its%20performance%20is%20measured%20in%20GigaHertz%20%28GHz%29>. Zugriff am: 25. März 2021.
- [39] R. Triggs, „What is an SoC? Everything you need to know about smart-phone chipsets“, Android Authority, 28. Juni 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.androidauthority.com/what-is-an-soc-smartphone-chipsets-explained-1051600/>. Zugriff am: 25. März 2021.
- [40] Raspberry Pi Projects, Raspberry Pi Compute Module 4 design process explained. [Online]. Verfügbar unter: <https://projects-raspberry.com/raspberry-pi-compute-module-4-design-process-explained/> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [41] Raspberry Pi, Raspberry Pi Foundation - About Us. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.raspberrypi.org/about/> (Zugriff am: 25. März 2021).
- [42] Raspberry\_Pi\_4\_Model\_B\_-\_Side.jpg (JPEG-Grafik, 4187 × 2464 Pixel) - Skaliert (30%) (Zugriff am: 11. April 2021).
- [43] Wikipedia, Raspberry Pi. [Online]. Verfügbar unter: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry\\_Pi&oldid=210047878](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=210047878) (Zugriff am: 25. März 2021).
- [44] „Raspberry Pi 400: A computer for the coronavirus age?“, BBC News, 2. Nov. 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bbc.com/news/technology-54782255>. Zugriff am: 7. April 2021.
- [45] B. Hofferbert, „Die besten Raspberry-Pi-Alternativen“, heise online, 11. Mai 2020, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.heise.de/tipps-tricks/Die-besten-Raspberry-Pi-Alternativen-4411363.html>. Zugriff am: 7. April 2021.
- [46] ODROID-N2+ with 4GByte RAM – ODROID. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hardkernel.com/shop/odroid-n2-with-4gbyte-ram-2/> (Zugriff am: 7. April 2021).
- [47] A. Meroth und P. Sora, Sensornetzwerke in Theorie und Praxis : Embedded Systems-Projekte erfolgreich realisieren: SpringerLink. Bücher. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [48] Wikipedia, Analog-Digital-Umsetzer. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Analog-Digital-Umsetzer&oldid=207664768> (Zugriff am: 11. April 2021).
- [49] Wikipedia, Beschleunigungssensor. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beschleunigungssensor&oldid=210720982> (Zugriff am: 11. April 2021).
- [50] K. Yoo, C. Lee und J. Kim, „A digital accelerometer using a microscale liquid-metal droplet in photosensitive glass channel“ in TRANSDUCERS 2009 - 2009 International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, Denver, CO, USA, 2009, S. 676–679, doi: 10.1109/SENSOR.2009.5285415.
- [51] Drucksensor: Funktion, Einsatzbereiche | heizung.de. [Online]. Verfügbar unter: <https://heizung.de/heizung/wissen/drucksensor-funktion-und-einsatzbereiche/> (Zugriff am: 12. April 2021).

- [52] Ultraschall: Definition, Gründe, Ablauf - NetDoktor. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.netdoktor.de/diagnostik/ultraschall/> (Zugriff am: 12. April 2021).
- [53] Wikipedia, Beschleunigung. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beschleunigung&oldid=209692618> (Zugriff am: 11. April 2021).
- [54] Wikipedia, Magnetismus. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Magnetismus&oldid=207932378> (Zugriff am: 11. April 2021).
- [55] Wikipedia, Elektromagnetisches Spektrum. [Online]. Verfügbar unter: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektromagnetisches\\_Spektrum&oldid=210114291](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektromagnetisches_Spektrum&oldid=210114291) (Zugriff am: 11. April 2021).
- [56] Wikipedia, Passive infrared sensor. [Online]. Verfügbar unter: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Passive\\_infrared\\_sensor&oldid=1014649119](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Passive_infrared_sensor&oldid=1014649119) (Zugriff am: 11. April 2021).
- [57] Distanzsensoren | SICK. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.sick.com/de/de/distanzsensoren/c/g132151?q=:Def\\_Type:Product](https://www.sick.com/de/de/distanzsensoren/c/g132151?q=:Def_Type:Product) (Zugriff am: 12. April 2021).
- [58] A. Newton, „Pulse Rate (BPM) Monitor using Arduino & Pulse Sensor“, How To Electronics, 4. Feb. 2019, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://how2electronics.com/pulse-rate-bpm-monitor-arduino-pulse-sensor/>. Zugriff am: 12. April 2021.
- [59] Wikipedia, RFID. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=RFID&oldid=210362686> (Zugriff am: 11. April 2021).
- [60] Wikipedia, Elektrokardiogramm. [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektrokardiogramm&oldid=209853143> (Zugriff am: 11. April 2021).
- [61] Wikipedia, Global Positioning System. [Online]. Verfügbar unter: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Global\\_Positioning\\_System&oldid=208253446](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Global_Positioning_System&oldid=208253446) (Zugriff am: 11. April 2021).
- [62] Latest open tech from seeed studio, Build Your Own Water Quality Monitoring Station with 5 Water Quality Sensors - Latest open tech from seeed studio. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/07/06/build-your-own-water-quality-monitoring-station-with-5-water-quality-sensors-m/> (Zugriff am: 12. April 2021).