

Raspberry Pi en het Internet of Things

Raspberry Pi en het Internet of Things

Krijn Hoogendorp

Leeswijzer

Oefening	creatief aan de slag, met uitleg
Opdracht	zelf aan de slag, uitwerking inleveren bij je docent
Script	programmaregels
Uitleg script	uitleg van programmaregels en -onderdelen
Uitleg sketch	uitleg van programmaregels en -onderdelen
Eindvragen	toets je kennis, antwoorden inleveren bij je docent
↔	Verbreiding: differentiatie; overleg met je docent
⌵	Verdieping: differentiatie; overleg met je docent
<i>mkdir pietje</i>	Dit lettertype gebruiken we voor tekst die je zelf moet typen
Onbekend board	Dit lettertype is voor tekst die op je scherm verschijnt

Lesstof, oefeningen en opdrachten gemerkt met ↔ of ⌵ zijn voor verbreiding of verdieping. Overleg met je docent of je de lesstof moet doornemen en/of de oefeningen en opdrachten moet maken.

Boom beroepsonderwijs
info@boomberoepsonderwijs.nl
www.boomberoepsonderwijs.nl

Auteur: Krijn Hoogendorp
Illustraties en fotografie: Krijn Hoogendorp, Cees Casander, 123RF
Redactie: Cees Casander / Henk Pel
Opmaak: Henk Pel
Titel: Raspberry Pi en het Internet of Things
ISBN 978 90 3726 588 0
Tweede druk / eerste oplage
© Boom beroepsonderwijs 2023

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in compilatiewerken op grond van artikel 16 Auteurswet kan men zich wenden tot de Stichting PRO (www.stichting-pro.nl).

Door het gebruik van deze uitgave verklaart u kennis te hebben genomen van en akkoord te gaan met de specifieke productvoorwaarden en algemene voorwaarden van Boom beroepsonderwijs, te vinden op www.boomberoepsonderwijs.nl.

Inhoud

Inleiding 1

Hoofdstuk 1 Internet of Things en Raspberry Pi 5

- 1.1 Wat is het Internet of Things? 5
- 1.2 Introductie Raspberry Pi 8
- 1.3 Besturingssysteem 9
- 1.4 Aansluiten en starten van de RPi 12
- 1.5 Raspberry Pi OS configureren 14
- 1.6 Uitproberen 18

Hoofdstuk 2 Raspberry Pi OS en andere besturingssystemen 21

- 2.1 Linux-commando's 22
- 2.2 Teksteditors 25
- 2.3 Tien Linux/Raspberry Pi OS-commando's 27
- ⇒ 2.4 Andere besturingssystemen 30
- ↘ 2.5 Kali Linux op de RPi 32

Hoofdstuk 3 Python 39

- 3.1 Python in Raspberry Pi 39
- 3.2 Beginnen met Python 40
- 3.3 Code bewaren en openen 44
- 3.4 Uitvoeren script 46
- 3.5 Invoer van externe gegevens 48
- 3.6 Functies 49
- 3.7 Verloop van script beïnvloeden 49
- 3.8 Variabelen en datatypen 56
- 3.9 AND, OR en NOT 58
- 3.10 Eigen functies 60
- ⇒ 3.11 OOP of objectgeoriënteerd programmeren 62
- ↘ 3.12 Foutafhandeling 66

Hoofdstuk 4 GPIO-pinnen en componenten 71

- 4.1 Uitleg onderdelen 71
- 4.2 Stroomkring en spanningsbron 72
- 4.3 Drukknopschakelaar 76
- 4.4 GPIO-pinnen 77
- ⇒ 4.5 Elektriciteit en de Wet van Ohm 83
- ⇒ 4.6 Meerkleuren LED 85
- ⇒ 4.7 Pull-up- en pull-down-weerstand 86

Hoofdstuk 5 Modules, libraries en datatypen 91

- 5.1 Modules, packages en libraries 91
- 5.2 Aan de slag met je eigen modules 94
- 5.3 Aan de slag met ingebouwde modules 96
- 5.4 Aan de slag met modules van andere programmeurs 98
- 5.5 Aan de slag met je eigen library (of package) 100
- ⇒ 5.6 Datatypen – list 102
- ⇒ 5.7 Datatypen – dictionary 104
- ↘ 5.8 Gegevens opslaan in een tekstbestand 106

Hoofdstuk 6 Input en sensoren 109

- 6.1 Lichtsensor LDR 109
- 6.2 Bewegingssensor PIR 112
- 6.3 Temperatuursensor DS18B20 114
- ⇒ 6.4 Vochtigheidssensor – DHT11 of DHT22 117
- ⇒ 6.5 Ultrasoonsensor 119
- ↘ 6.6 Conversie analoog naar digitaal en SPI 122

Hoofdstuk 7 Output en actuatoren 129

- 7.1 Relais als hulpschakelaar 129
- 7.2 Transistor als schakelaar 131
- 7.3 Regelen in plaats van schakelen 133
- ↘ 7.4 Regelen met potentiometer 135
- ↘ 7.5 Open en closed loop 138

Hoofdstuk 8 Cloud en data 145

- 8.1 Databases 145
- 8.2 JSON 149
- 8.3 JSON op het internet 152
- ⇒ 8.4 SQL-databases 154
- ↘ 8.5 Omzetten van dataset naar JSON 156

Hoofdstuk 9 Visueel programmeren met Node-RED 161

- 9.1 Beginnen met Node-RED 161
- 9.2 Hallo-flow in Node-RED 164
- 9.3 Blink-simulatie op RPi 165
- 9.4 GPIO als input 168
- 9.5 Node-RED en Python 171
- ⇒ 9.6 JSON 173
- ↘ 9.7 Verzamelen sensorgegevens in JSON-formaat 178

Hoofdstuk 10 Microcontrollers en lokale communicatie 183

- 10.1 Draadloze communicatie tussen microcontroller en gateway 184
- 10.2 Bluetooth communicatie tussen twee RPi's 186
- ↘ 10.3 WiFi 190
- ⇒ 10.4 Microcontrollers 199
- ⇒ 10.5 Microcontroller geeft meetgegevens door 214

Hoofdstuk 11 Netwerken 223

- 11.1 Internet Protocol TCP/IP 223
- 11.2 IP-adressen 224
- 11.3 Andere protocollen 228
- ⇒ 11.4 Vast IP-adres toekennen aan microcontroller 235

Hoofdstuk 12 MQTT 237

- 12.1 MQTT theorie 238
- 12.2 MQTT installeren en toepassen 239
- 12.3 MQTT en Python 245
- 12.4 Actuator aansturen met MQTT 251
- 12.5 Quality of Service 254
- ⇒ 12.6 MQTT en Node-RED 255
- ⇒ 12.7 ESP8266 publiceert analoge meetwaarden op message broker 258
- ↘ 12.8 MQTT-beveiliging 261

Hoofdstuk 13 LoRaWan 267**Hoofdstuk 14 Dashboards 283**

- 14.1 Node-RED-dashboard 283
- 14.2 Gauge 287

Hoofdstuk 15 Raspberry Pi als host en server 289

- 15.1 Apache 289
- ⇒ 15.2 JSON-website 291
- ↘ 15.3 Beveiligen website – HTTP wordt HTTPS 295

Hoofdstuk 16 Security 299

- 16.1 CIA-model 299
- 16.2 Beveiligen van RPi en sudo 301
- 16.3 SSH-verbindingen 304
- ⇒ 16.4 Firewall 308
- ↘ 16.5 Virtual Private Network voor maximale veiligheid 309
- ↘ 16.6 Privacy wettelijke regelingen 317
 - Eindopdracht 1 319
- ↘ Eindopdracht 2 319

Appendix A Hardware 321**Appendix B Raspberry Pi 4B 324****Appendix C Fouten zoeken 325**

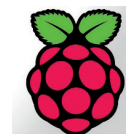
C.1 Ligt het aan de Raspberry Pi? 325

C.2 Wat LED's kunnen vertellen 327

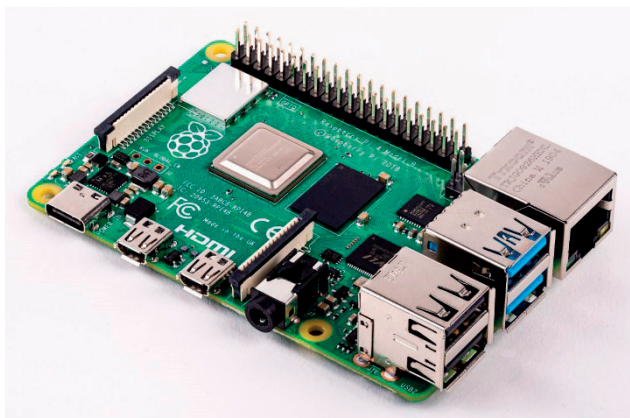
C.3 Netwerkproblemen (geen SSH- of SFTP-verbinding) 328

C.4 Python foutmelding, systeem-pad 329

Appendix D Gebruik van dit boek in het onderwijs 331**Appendix E Woordenregister 335**



toren zoals motoren en LED's kan hij ook als microcontroller dienen. Mede daardoor is Raspberry Pi na Dell en Apple momenteel de meest verkochte 'computer' op de markt. De lesstof in het boek is geschikt voor Raspberry Pi 4, die sinds zomer 2019 op de markt is, maar ook voor de voorgangers Raspberry Pi 3B en 3B+. De RPi 4 is uitgerust met een 1,5 GHz processor (CPU) en USB-3.0-aansluitingen en is leverbaar met 1, 2, 4 of 8 GB RAM geheugen.



Raspberry Pi 4 beschikt over vier USB-3.0-aansluitingen.

Voor het realiseren van IoT-oplossingen is kennis vereist van zowel elektrotechniek als informatica. De leerstof van dit boek legt de verbinding tussen deze uiteenlopende vakgebieden door middel van eenvoudige hardwarevoorbeelden en eenvoudige programma's. Het voornaamste doel is dat de leerling/student zelfstandig leert begrijpen wat de mogelijkheden zijn van IoT en hoe die in de praktijk toegepast kunnen worden.

Opbouw

Elk hoofdstuk heeft dezelfde opbouw. De inleiding vertelt in het kort hoe het hoofdstuk aansluit bij het IoT. Na korte stukjes uitleg gaat de leerling/student aan de slag met *oefeningen*. De ene keer betreft een oefening programmeerwerk, een andere keer het bouwen van een elektronisch circuit rond de Raspberry Pi, en weer een andere keer is de oefening een combinatie van beide. Stap voor stap wordt de leerling/student door de lesstof geleid. Na enige oefeningen volgt vaak een *opdracht* waarin de leerling/student een probleem zonder begeleiding moet oplossen. In de verbredingsparagrafen (aangegeven met ➞) wordt nader ingegaan op de bouwstenen van IoT, zoals microcontrollers. De verdiepingsparagrafen (aangegeven met ↘) zijn bedoeld als aanzet om zelfstandig verder onderzoek te doen. Zowel de verbredings- als de verdiepingsparagrafen mogen worden overgeslagen. De leerling/student loopt daardoor geen informatie mis, waardoor hij of zij de volgende hoofdstukken niet zou begrijpen. Elk hoofdstuk eindigt met een aantal *eindvragen* om de opgedane kennis te toetsen. De antwoorden op deze eindvragen en de opdrachten staan niet in het boek. De leerling/student moet deze naar eigen inzicht beantwoorden.

De oefeningen worden allemaal duidelijk uitgelegd. Zijn er desondanks onduidelijkheden of functioneert iets niet zoals verwacht, dan wordt de leerling/student geacht om zelf op zoek te gaan naar de oplossing. Op diverse websites zijn min of meer vergelijkbare oefeningen en opdrachten te vinden, die mogelijk naar de oplossing leiden.

Voor wie

Deze uitgave is bedoeld voor iedereen die zelfstandig aan de slag wil om meer te weten te komen over de mogelijkheden van het IoT en de Raspberry Pi. Zo zullen MBO 4-studenten de uitleg in de hoofdstukken en de stap-voor-stap-benadering in de oefeningen waarderen. De verbredings- en verdieppingsparagrafen zijn vooral geschikt voor HAVO-, VWO- en HBO-studenten (Associate Degree en Bacheloropleidingen). Een aantal onderdelen van het schoolexamenprogramma HAVO/VWO kan worden onderwezen met behulp van dit boek, waaronder het keuzethema Physical Computing (domein M), Programmeren (domein D) en keuzethema Netwerken (domein L).

Hardware

Om alle hoofdstukken goed te begrijpen is een Raspberry Pi nodig met enige extra onderdelen. In Appendix A staat een overzicht van alle benodigde hardware. Zo zijn vanaf hoofdstuk 5 enkele elektronische sensoren nodig, een experimenteerbord (Engels: *breadboard*) en wat verbindingsdraadjes (Engels: *jumper wires*). Sommige onderdelen worden slechts in enkele paragrafen gebruikt, zoals de ESP8266 microcontroller in hoofdstuk 11 en 12 en de LoRa-module in hoofdstuk 13. Schaf deze zaken pas aan als je zeker weet dat je het desbetreffende project gaat uitvoeren.

Inhoud

Zoals elke computer heeft ook de RPi een besturingssysteem nodig. In dit boek laten we de RPi draaien op Raspberry Pi OS Desktop. De vereiste basiskennis doe je op in hoofdstuk 2. Je leert ook hoe je hem op andere besturingssystemen kunt laten werken; in hoofdstuk 12 (verdieping) ga je aan de slag met OpenWRT, een besturingssysteem om de RPi als router (WiFi-hotspot) te laten werken.

De letters *Pi* in Raspberry Pi verwijzen naar Python. In hoofdstukken 4 tot en met 7 leer je werken met deze populaire programmeertaal. Zo ga je in hoofdstuk 4, 6 en 7 aan de slag met sensoren en actuatoren op de RPi, die worden aangestuurd met zelfgeschreven Python-programma's.

Hoofdstuk 8 gaat over de enorme hoeveelheden data die in de IoT-wereld wordt gegenereerd en hoe je die verwerkt. Hoofdstuk 9 behandelt Node-RED. Dat is een door IBM ontwikkelde programmeeromgeving, waarmee je de verschillende componenten in een IoT-systeem kunt programmeren. Net als Python dus, maar dan op een grafische manier.

Hoofdstukken 10 tot en met 13 behandelen de communicatie tussen verschillende devices in een netwerk. Het verwerken en inzichtelijk maken van de gegenereerde data komen aan bod in hoofdstuk 14. Dat gebeurt onder meer met apps en dash-

boards. In veel IoT-omgevingen is totaal geen rekening gehouden met de veiligheid. Dat is fout, want beveiliging behoort een essentieel onderdeel te zijn van elke IoT-implementatie. Daarom is het laatste hoofdstuk volledig gewijd aan 'security'.

Auteur en redactieleden hebben hun uiterste best gedaan om een helder en begrijpelijk boek te maken. We hopen dat je er veel plezier aan beleeft en wensen je veel succes!

Krijn Hoogendorp

Hoofdstuk 1

Internet of Things en Raspberry Pi

Wat is het Internet of Things? En wat zijn die ‘dingen’ waaruit het IoT is opgebouwd? Wat is de rol van de Raspberry in het IoT? Dit hoofdstuk geeft je de antwoorden. Ook leer je hoe je de Raspberry Pi gereedmaakt voor gebruik door er het Raspberry Pi OS besturingssysteem op te installeren.

1.1 Wat is het Internet of Things?

De oorsprong van het internet ligt in de Verenigde Staten. Eind jaren 1960 lukte het Amerikaanse wetenschappers enkele grote mainframe computers van defensie en universiteiten met elkaar te verbinden. Het internet heette toen nog ‘Arpanet’. Tien jaar later kreeg het netwerk een knooppunt in Amsterdam en konden ook Europese computers met het netwerk verbonden worden. Pas in 1989 kregen particulieren in Nederland toegang. Vooral toen de smartphone zijn intrede deed en ook andere niet-pc’s van het netwerk gebruik gingen maken, groeide het aantal internetaansluitingen als kool. Al deze apparaten of ‘devices’ hadden één ding gemeen: ze hadden allemaal een gebruikersinterface met beeldscherm, toetsenbord en/of muis. Een mens moest ze dus bedienen.



Afbeelding 1.1 IoT draait om machine-to-machine-communicatie (M2M) – beeld: 123RF.

Vanaf 1999 werden ook apparaten zonder *human-to-machine*-bediening met het internet verbonden. De eerste toepassing betrof het volgen van postpakketten die waren voorzien van Radio Frequency Identification tags (RFID). Zodra zo’n pakje in een distributiecentrum arriveerde, werd automatisch een melding naar de verzender én de ontvanger verstuurd. Vanaf dat moment gingen steeds meer apparaten zonder tussenkomst van mensen data uitwisselen. Het Internet of Things was begonnen! Inmiddels zorgt de *machine-to-machine*-communicatie (M2M) voor enorme hoeveelheden beschikbare gegevens (Big Data).

Het Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) geeft twee definities van het IoT, een eenvoudige en een uitgebreide. De eenvoudige versie meldt dat de ‘dingen’ die met het internet worden verbonden:

- uniek identificeerbaar moeten zijn,
- de omgeving moeten kunnen meten/waarnemen (sensing) of beïnvloeden (actuation), en
- programmeerbaar moeten zijn.

Dit betekent onder meer dat bij elke meting/waarneming duidelijk moet zijn van welke sensor de meetgegevens afkomstig zijn. De uitgebreide IEEE-definitie beschrijft bovendien nog communicatieprotocollen, intelligente interfaces en beveiligingsmethoden. Ook worden IoT-devices beschreven, die diensten (Engels: *services*) kunnen leveren aan zowel mensen als andere devices. Overigens benadrukt het IEEE dat de definitie als gevolg van snelle ontwikkelingen in de techniek niet vaststaat en geregeld zal worden aangepast, het is een ‘ever changing definition’. Wil je er meer over weten, bestudeer dan de definitie op: <https://iot.ieee.org/definition.html>.



Abbeelding 1.2 Het IEEE heeft gedefinieerd wat het IoT precies inhoudt.

In de definitie komen sensoren en actuatoren voor. Je kunt de meetgegevens van sensoren meteen door een microcomputer laten verwerken en deze actuatoren laten aansturen. Denk aan een elektrisch slot op de voordeur (actuator) dat je door middel van een afstandsbediening (sensor) aanstuurt. Of aan een kraan (actuator) die gesloten wordt zodra een detector (sensor) een waterlek detecteert (zie afbeelding 1.3). Deze twee voorbeelden behoren *niet* tot het IoT, want ze vinden slechts *lokaal* plaats. Het gele schema in afbeelding 1.3 geeft dit type oplossingen weer in een model.

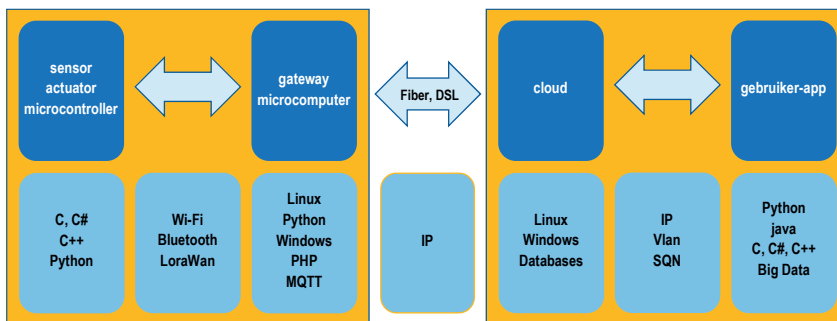


Abbeelding 1.3 Lokale oplossingen voor de verwerking van sensorgegevens en aansturing van actuator – foto midden: Nemeff.

We spreken pas van een IoT-systeem als de sensorgegevens via het *internet* worden uitgewisseld met computersystemen, die nog veel meer doen met de sensorgegevens. Afbeelding 1.4 toont een schematisch model van de zeven stappen van gege-

gegevensuitwisseling in een IoT-systeem: de onderste blokken laten zien *hoe* de gegevens worden uitgewisseld (software, communicatieprotocol), de bovenste blokken laten zien *waar* dat gebeurt. Dit IoT-model zul je nog vaak in dit boek tegenkomen, omdat elk hoofdstuk één of meer van de processen van dit model behandelt.

Laten we beginnen met een korte uitleg van dit model. Links zie je weer de sensoren die de gegevens verzamelen. De pijlen laten de gegevensuitwisseling zien. Zo worden de sensorgegevens opgeslagen in de cloud, vanwaaruit ze door gebruiker-apps worden opgehaald, verwerkt, geanalyseerd en/of gepresenteerd aan de gebruiker. Omdat de meeste sensoren niet rechtstreeks met het internet kunnen communiceren, zit er een ‘gateway’ tussen.



Afbeelding 1.4 Het IoT-model toont de zeven stappen van gegevensuitwisseling in een IoT-systeem en ook waar deze plaatsvinden (bovenste blokken). Met dank aan Marco Verleun en het Academic Advisory Committee van het Linux Professional Institute.

In het IoT-model zie je een microcontroller voor sensoren en actuatoren en een aparte microcomputer. Het aardige van de Raspberry Pi is dat hij meerdere IoT-taken kan vervullen. Zo kan hij bijvoorbeeld dienen als microcontroller en een applicatie draaien die data analyseert, tegelijkertijd een actuator in werking zetten en meetwaarden van sensoren ophalen en zelfs als gateway naar een ander netwerk functioneren. Het ligt dus voor de hand om voor de RPi te kiezen als je met IoT wilt experimenteren!

Opdracht 1.1

Je buurman vertelt dat hij wel eens vergeet om zijn elektrische kookplaat uit te zetten. Hij denkt daar pas aan als hij onderweg is, en moet dan naar huis terugkeren om dit te controleren. Hij zou graag iets hebben waarmee hij onderweg de status van zijn fornuis kan controleren. Bedenk een IoT-oplossing voor dit probleem. Maak een beschrijving van maximaal 100 woorden én een schematische tekening van het IoT-systeem.