



RASPBERRY PI EN ROBOTICA

Boom

COLOFON

Boom Mbo
klantenservice@boom.nl
www.boom.nl

Auteur: Krijn Hoogendorp

Titel: Raspberry Pi en robotica
ISBN: 978 90 3726 9178
Eerste druk, eerste oplage

Bronvermelding: Wikipedia.org / Dan Stroud

© 2025 | Boom | All rights reserved. No text & data mining

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 (een) gedeelte(n) uit deze uitgave in bijvoorbeeld een (digitale) leeromgeving of een reader in het onderwijs (op grond van artikel 16, Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting Uitgeversorganisatie voor Onderwijslicenties (Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.stichting-uvo.nl).

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

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, te vinden op www.boom.nl.

INHOUD

Inleiding	5
1 Raspberry Pi en Linux	9
1.1 Introductie Raspberry Pi	10
1.2 Linux en de Raspberry Pi configuratie	16
1.3 Linux Command Line Interface (CLI)	20
1.4 Nog meer Linux-commando's	23
1.5 Gebruikersrechten in Linux	25
1.6 Linux packages	27
1.7 Begrippen	30
1.8 Praktijkopdracht	31
1.9 Terugblik	32
2 GPIO en Python	33
2.1 Beginnen met Python	34
2.2 GPIO-pinnetjes	40
2.3 GPIO-pinnetjes aansturen met Python	43
2.4 GPIO en input	46
2.5 Verdieping: De wet van Ohm	50
2.6 Python en data-bibliotheken	54
2.7 Begrippen	61
2.8 Praktijkopdracht	63
2.9 Terugblik	64
3 Actuatoren - servo en motor	65
3.1 Servomotor	66
3.2 Potentiometer	69
3.3 Pulse Width Modulation	72
3.4 Schakelen met een relais	75
3.5 Een motordriver	77
3.6 Gebruik van joystick	80
3.7 Begrippen	82
3.8 Praktijkopdracht	83
3.9 Terugblik	85
4 Sensoren – Ultrasoon, IMU, LiDAR	87
4.1 Sensoren	88
4.2 Ultrasoonsensor	89
4.3 IMU - Accelerometer	93
4.4 LiDAR sensor	97
4.5 SLAM	101
4.6 CAN	104
4.7 Begrippen	109
4.8 Praktijkopdracht	110
4.9 Terugblik	112
5 Lokalisatie	113
5.1 Het geografisch coördinatensysteem	114

5.2	Global Navigation Satellite System	116
5.3	Gebruik van een GNSS-module	118
5.4	Python en locatiegegevens	123
5.5	Mapping GNSS data	126
5.6	Universal Transverse Mercator	128
5.7	Begrippen	131
5.8	Praktijkopdracht	133
5.9	Terugblik	134
6	Vision/Image – camera en OpenCV	135
6.1	Installeren van de camera	136
6.2	Picamera2	138
6.3	Python en OpenCV	140
6.4	Grijswaarden	141
6.5	RGB en HSV	143
6.6	Bewegende beelden	147
6.7	Begrippen	149
6.8	Praktijkopdracht	150
6.9	Terugblik	151
7	Verdieping: Artificiële Intelligentie en robotica	153
7.1	Detecteren van gezichten	154
7.2	Herkennen van gezichten	158
7.3	AI en machine learning	161
7.4	Neurale netwerken	162
7.5	Large Language Models	165
7.6	Verbreiding: hardware acceleration	168
7.7	Begrippen	174
7.8	Praktijkopdracht	175
7.9	Terugblik	177
8	Verdieping: Robotic Operating System en simulatie	179
8.1	ROS2 en Docker	180
8.2	Communicatie tussen ROS nodes	185
8.3	Simulatie	187
8.4	Gazebo	190
8.5	ROS2 en de Raspberry Pi	192
8.6	ROS2 en sensordata	197
8.7	Begrippen	202
8.8	Praktijkopdracht	203
8.9	Terugblik	204
	Index	205

INLEIDING



Digitale leeromgeving

Bij sommige opdrachten heb je hulpmiddelen nodig. Bijvoorbeeld filmpjes, formulieren of een link naar een website. Deze staan allemaal in de digitale leeromgeving. Om hier te komen ga je naar [Boomdigitaal.nl](https://www.boomdigitaal.nl).

Eerste keer inloggen in de digitale omgeving

Voordat je de digitale leeromgeving kunt gebruiken moet je je licentie activeren.

- Overleg met je docent welk type account je gebruikt.
- Ga naar www.boomberoepsonderwijs.nl/licentie.
- Bekijk de instructiefilm of lees het stappenplan.
- Volg de stappen.

Daarna kun je aan de slag!

Inleiding

Robots zijn steeds belangrijker in de samenleving. Voorbeelden van robotica kun je overal zien. Op straat rijden auto's die gebruik maken van geavanceerde systemen voor ondersteuning van bestuurders; drones, eigenlijk vliegende robots, worden ingezet om uiteenlopende redenen, van het maken van video's voor entertainment tot in de moderne oorlogsvoering; en ook de aanwezigheid van robots in de industrie is groot en zal alleen maar groeien.

De economie wordt sterk beïnvloed. Steeds minder menselijke arbeid is nodig in de industrie omdat productie efficiënter wordt met de inzet van robotica. In de gezondheidszorg worden robots gebruikt voor ondersteuning bij operaties, in de automobielenindustrie zijn bedrijven bezig met het ontwikkelen van zelfrijdende voertuigen, en robots worden ingezet bij inspecties van moeilijk bereikbare ruimten of installaties (zoals in het riool).

Technologie

Brusselse tool laat robotarm bewegen met gedachten, zónder chirurgische ingreep

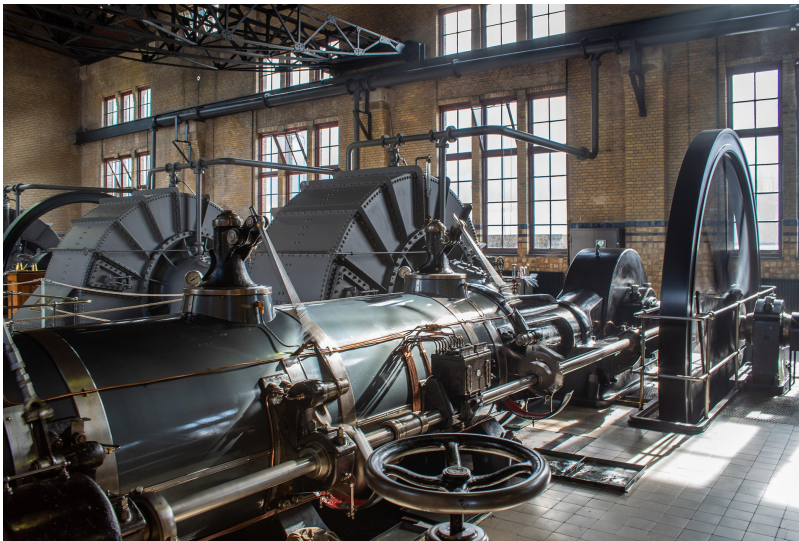
Onderzoekers van de VUB slaagden erin een niet-invasieve brain-computer interface te ontwikkelen. Daarmee kon een proefpersoon een robotarm aansturen met zijn brein.

AI neemt werk over.

Robotica is onderdeel van de ontwikkelingen die bekend staan als de '**vierde industriële revolutie**'. De eerste industriële revolutie is het proces van mechanisatie van productie met behulp van wind, water of stoom. Bekende voorbeelden zijn stoommachines en stoomtreinen. Bij de tweede revolutie werd steeds meer gebruik gemaakt van elektrische energie. Dit bracht innovaties zoals elektrische verlichting, vliegtuigen en televisie. De derde revolutie kwam met de digitalisering van de samenleving door computers.

De vierde industriële revolutie is in gang gezet door de verdere ontwikkeling van het internet zoals het aansluiten van allerlei apparaten (het Internet of Things), artificiële intelligentie, virtual reality, biotechnologie en ook robotica.

Deze innovaties zorgen voor grote veranderingen in hoe mensen leven en werken.



Stoommachine ten tijde van de eerste industriële revolutie.

Steeds vaker zullen werknemers kennis van dit soort nieuwe technieken moeten hebben en daarom groeit de vraag naar lesmateriaal over deze innovatieve onderwerpen. Dit boek voorziet hierin. De behandelde theorie en vaardigheden vormen een goede basis voor verdere stappen in dit mooie vakgebied.

Vanwege praktische redenen is er gekozen om de Raspberry Pi microcomputer te gebruiken in de opdrachten. Voor de aansturing van sensoren wordt gebruik gemaakt van het besturingssysteem Linux en de programmeertaal Python. Uiteraard zijn andere hardware of programmeertalen (zoals Arduino of de taal C++) ook geschikt, maar met de basis die in dit boek wordt gelegd is het mogelijk om ook de andere technologieën in te zetten. Voor de interactie met de robots komt het Robotic Operating System (ROS2) aan de orde.



Let op!

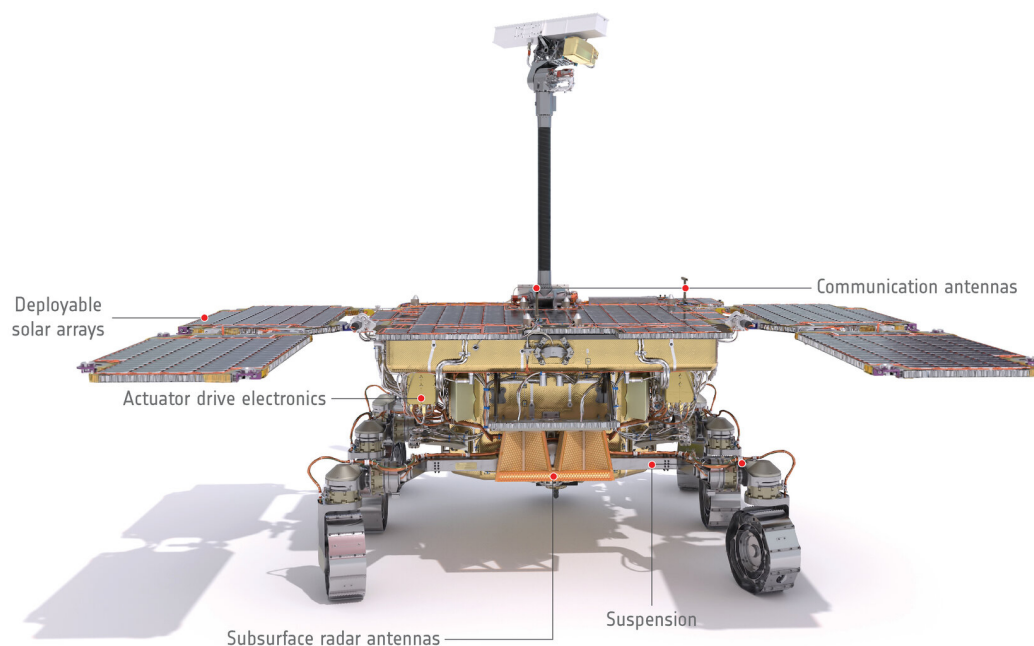
Het doel van dit lesmateriaal is het uitleggen van technologieën die worden gebruikt in robotica. Hierbij wordt de Python programmeertaal gebruikt. Er is gekozen om deze code zo eenvoudig mogelijk te houden. Dit betekent dat een aantal goede programmeerpraktijken achterwege zijn gelaten. Voorbeelden hiervan zijn foutafhandeling (try-except blokken), printen met f-strings en gebruik van de `if __name__ == "__main__"` - constructie.

Zijn deze concepten bekend, dan is het uiteraard beter deze te wel gebruiken in de oefeningen.

Overigens is zowel de kennis van Linux als Python niet alleen nuttig voor robotica; in heel veel onderdelen van ICT komen deze technieken terug. In de meeste blokken wordt gewerkt met de Linux-variant Raspberry Pi OS (RPi OS). Bij de onderdelen over ROS2 (Robotic Operating System) worden Docker containers met ROS2 gebruikt. Wat Docker is en hoe het werkt wordt besproken. Het is niet nodig om vooraf specifieke kennis te hebben over Linux, Python of ROS2. Dit wordt stap voor stap uitgelegd.

Robotica, AI en de combinaties hiervan zijn ingrijpend voor de samenleving. Deze ontwikkelingen hebben positieve kanten, bijvoorbeeld de mogelijkheid om medische ingrepen uit te voeren met behulp van robots. Echter, er zijn ook ethische dilemma's. Dit zijn vraagstukken waarbij het gaat om wat juist is om te doen. Voorbeelden zijn misschien het gebruik van drones (vliegende robots) in oorlogssituaties. Het is goed als professionals in de robotindustrie blijven nadenken over de gevolgen van robotica voor de mensheid. In dit materiaal gaat het voornamelijk over de technische aspecten, maar deze kennis is een goede basis om vervolgens na te denken en te praten over de invloed van technologie op de samenleving. Meer en meer zullen mensen buiten het IT beroepsveld ook moeten gaan leren over digitale technologieën.

In 2028 zal de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, in samenwerking met het Amerikaanse NASA, een onbemande missie naar de planeet Mars sturen. Het risico van het meesturen van mensen is nog te groot, maar er is een goed alternatief: het gebruik van een rover (rijdende robot). Deze rover, genaamd Rosalind Franklin, krijgt de taak om te zoeken naar sporen van leven op de planeet.



Rosalind Franklin Marsrover.

Al sinds het begin van de ruimtevaart worden robots meegestuurd met missies naar de ruimte. In 1970 reed de eerste op afstand bestuurbare rover over het maanoppervlak.

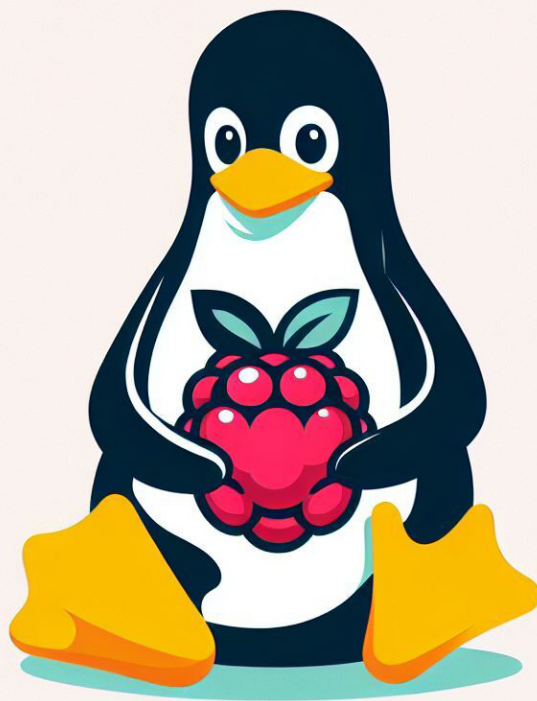


Bekijk de video in de digitale leeromgeving. De Rosalind Franklin Rover bevat belangrijke technologieën die nodig zijn voor onderzoek in moeilijke omstandigheden. Zo wordt er gebruik gemaakt van 'wheel-walking'.

Bekijk het filmpje. Leg in eigen woorden uit wat 'wheel-walking' is. Hoe weet de rover dat er gebruik moet worden gemaakt van 'wheel-walking' en hoe werkt dit mechanisme?

Leerdoelen

- Je kent de belangrijkste termen die worden gebruikt in robotica.
- Je kunt enkele veelvoorkomende technieken toepassen die worden gebruikt in de robotindustrie zoals elektronica, de programmeertaal Python en het besturingssysteem Linux.
- Je weet hoe je sensoren en actuatoren kunt gebruiken om een robot aan te sturen.
- Je kunt uitleggen hoe navigatie en beeldverwerking van belang kan zijn in robotica en je kunt beelden gebruiken voor aansturing van een robot.
- Je kunt eenvoudige AI-toepassingen implementeren.
- Je kunt werken met het Robotic Operating System (ROS2) bij de aansturing van robots.



Blok 1

Raspberry Pi en Linux

Een robot moet acties kunnen uitvoeren op basis van instructies. Deze instructies komen vaak uit microprocessoren en memory modules (geheugen), gezamenlijk 'het brein' van de robot. Daarnaast moeten er ook Input/Output (IO) mogelijkheden zijn. Bijvoorbeeld om data in te voeren in de processor (input) en om data terug te krijgen (output).

In dit materiaal is gekozen voor een Raspberry Pi microcomputer om bovenstaande taken uit te voeren. Deze hardware wordt aangestuurd met het Linux besturingssysteem (Operating System, afgekort: OS). In dit blok ga je de Linux variant Raspberry Pi OS installeren en leer je Linux commando's gebruiken. Dit is een korte inleiding op Linux; voor meer verdieping kun je het boek *Linux Hands-on* raadplegen.

Leerdoelen

- Je kunt de belangrijkste onderdelen van de Raspberry Pi benoemen.
- Je kunt Raspberry Pi OS installeren en configureren.
- Je kunt enkele belangrijke Linux-functionaliteiten gebruiken.

Voor Blok 1 heb je nodig:

1. Raspberry Pi
2. USB-stick (of micro-SD kaart)
3. RPi-accessoires: muis, toetsenbord, voeding, scherm, hdmi/micro-hdmi verbindingkabel, behuizing.
4. Computer met USB-ingang (of micro-SD cardreader).

Opdracht 1 Oriëntatieopdracht Raspberry Pi en Linux

In dit onderdeel moet je zelf op zoek gaan naar antwoorden op vragen. Uiteraard kun je hiervoor het internet gebruiken, maar zorg dat je in eigen woorden antwoord geeft. Je kunt in het antwoord een voorbeeld toevoegen uit je eigen leven.

- a. De Raspberry Pi is in 2012 uitgebracht als computer die geschikt is voor het gebruik in het onderwijs. Geef enkele voorbeelden van wat je leert bij lessen programmeren en informatica. Leg uit hoe de Raspberry Pi daarbij kan helpen.
- b. Zoek op wie Linus Torvalds is. Beschrijf een interessant element van zijn leven en leg uit waarom jij dat interessant vindt.

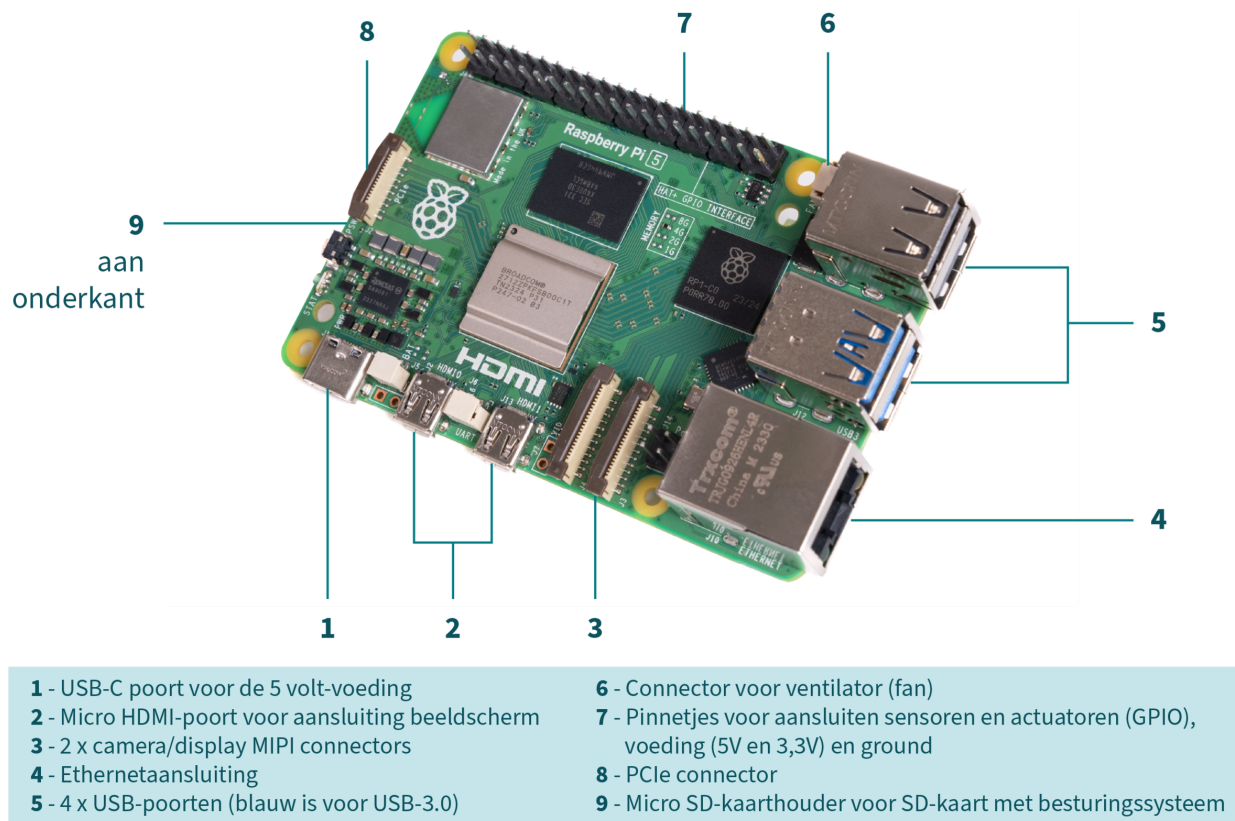
1.1 Introductie Raspberry Pi

De Raspberry Pi (RPi) is een krachtige microcomputer waarop allerlei **sensoren** en **actuatoren** aangesloten kunnen worden. Daarnaast is het apparaat goed in het verwerken van camerabeelden. Allemaal zaken die handig zijn in robotica. De Raspberry Pi kent een eigen Linux-variant als **besturingssysteem**, genaamd Raspberry Pi OS. Het is ook mogelijk om andere besturingssystemen te gebruiken voor de RPi. In blok 8 ga je bijvoorbeeld aan de slag met Ubuntu. Ubuntu is een andere variant van Linux.

In dit blok leer je de basis van Linux. Voldoende voor de opgaven in dit boek, maar het is aan te raden om zelfstandig meer te leren over Linux, bijvoorbeeld door het zoeken op internet naar meer mogelijkheden van dit veelgebruikte besturingssysteem.

Een Raspberry Pi kan vergelijkbare dingen als een 'gewone' laptop. Wel is de processor minder krachtig en heeft de RPi vaak minder geheugen. Het apparaat heeft ook iets heel aantrekkelijks: de Input/Output pinnetjes (genaamd **GPIO** pinnetjes). Hiermee is het mogelijk om verschillende sensoren en actuatoren aan te sluiten. Dit maakt het een ideaal apparaat voor het experimenteren met robotica-projecten.

Vanaf versie 3 heeft de RPi standaard wifi en Bluetooth en er is ook een ethernetpoort. De meest recente versie (versie 5) heeft twee specifieke aansluitingen voor camera of display.



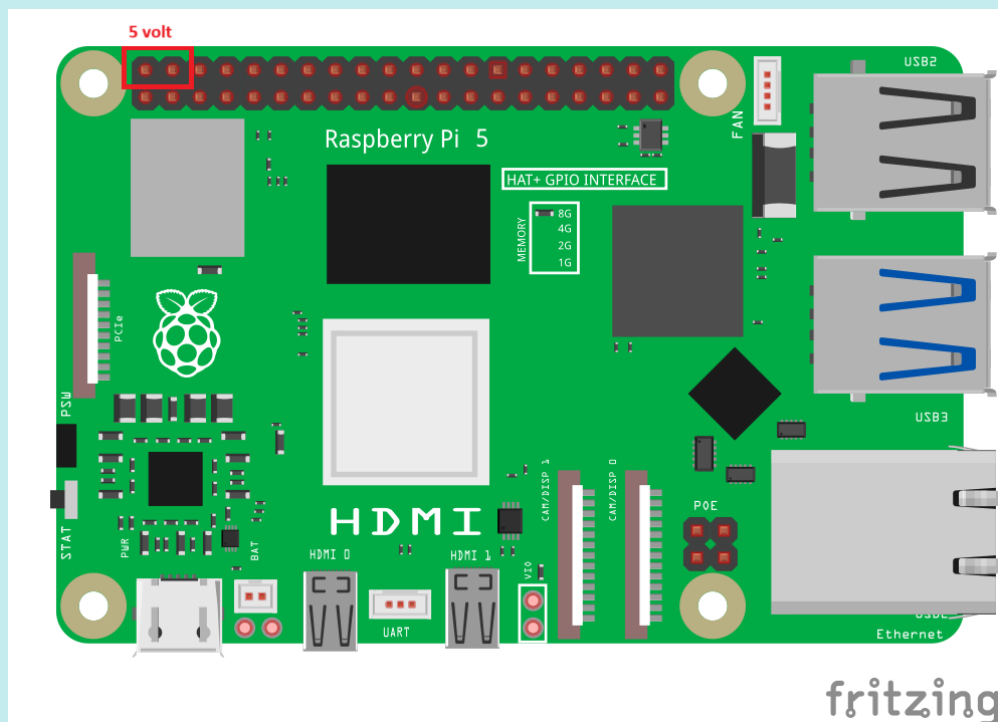
Figuur 1.1 Aansluitingen van de RPi 5.

We gaan alle type aansluitingen gebruiken in dit lesmateriaal.



Let op: wees voorzichtig!

Op de pinnen van de RPi kan spanning staan. Het verkeerd aansluiten van deze pinnen kan kortsluiting veroorzaken waardoor de Raspberry Pi beschadigt. Veel van de RPi-pinnen zijn geschikt voor 3,3 volt. Twee pinnen (zie figuur 1.2) hebben een spanning van 5 volt. Kortsluiting met die pinnen maakt de RPi meteen onbruikbaar. De uitgeverij en auteur dragen geen verantwoordelijkheid voor eventuele schade.



Figuur 1.2 Pinnen met een spanning van 5 volt.

De RPi heeft een besturingssysteem (*operating system/OS*) nodig om bijvoorbeeld de computer op te starten zodat het 'opdrachten' van muis en toetsenbord kan verwerken. De RPi is geschikt voor meerdere besturingssystemen. In dit materiaal gebruiken we het Raspberry Pi Operating System dat is gebaseerd op Linux Debian versie 12 (ook wel Bookworm genoemd). RPi OS start op vanaf een USB-stick of SD-kaart.



Verschil Raspberry Pi 4 en Raspberry Pi 5

Het kan zijn dat je niet met de laatste versie van de Raspberry Pi werkt. Het verschil tussen versie 4 en versie 5 heeft geen grote invloed op de uitleg en opdrachten in dit lesmateriaal.

Wel is de **processor** van RPi 5 twee tot drie keer sneller en heeft het device meer memory. Hierdoor kan de RPi 5 ook warmer worden. Een kleine speciale ventilator is nodig om het apparaat koel te houden. Zo'n ventilator is vaak onderdeel van de behuizing van de RPi. Versie 5 heeft ook meer mogelijkheden van beeldbewerking. Voor de gebruiker is het belangrijk om te weten dat de voeding van versie 4 niet goed werkt voor versie 5. Dit komt omdat Raspberry Pi 5 een 27 watt voeding nodig heeft (in tegenstelling tot de 15 watt voeding van RPi 4).

Opdracht 2 Installatie Raspberry Pi OS

In de volgende stappen ga je het besturingssysteem Raspberry Pi OS installeren voor de Raspberry Pi. Hiervoor gebruiken we een USB-stick of SD-kaart van minimaal 16 GB. Let op: in blok 7 en 8 ga je werken met AI-modellen en het Robotic Operating System (ROS2). Dan wordt een opslagmedium van 32 GB geadviseerd.