

Dictaat bij studieonderdeel:

IMPERATIEF PROGRAMMEREN

PO, SE

Python x Meet je leefomgeving

2021-2022

H/V5

Periode 1

Informatica

Auteur: Boonstoppel (BNS)

ICHTHUS COLLEGE VEENENDAAL

Met dank aan: Nadine van der Heijden & Peter van Capel

Inhoudsopgave

1	Basisvaardigheden Python	3
1.1	Python scripts schrijven en uitvoeren in Spyder	4
1.2	Eenvoudige rekenkundige operaties	5
1.3	Variabelen	6
1.3.1	Implementatie	6
1.3.2	Commentaar	6
1.3.3	Datatypes	7
1.4	Functies	8
1.4.1	Eigengemaakte functies	8
1.4.2	Lokale vs. globale variabelen	9
1.5	Loops	9
1.5.1	While	10
1.5.2	If	10
1.5.3	Boolean expressions	11
1.5.4	For	11
1.6	Slotopdracht: Omrekenen van Fahrenheit naar Celsius	12
2	Modules (1): NumPy	13
2.1	Arrays maken	13
2.2	Rekenen met arrays	14
2.3	Indexing en slicing	14
2.4	Allerlei functies	15
2.5	Maskers	16
2.6	For-loops	17
2.7	Slotopdracht: Voortschrijdend gemiddelde	17
3	Modules (2): MATPlotLib	19
3.1	Grafiek maken	19
3.2	Lijnen opmaken	19
3.3	Assen opmaken	20
3.4	Meer grafieken in één figuur	21
3.5	Slotopdracht: Heel veel plotjes	22

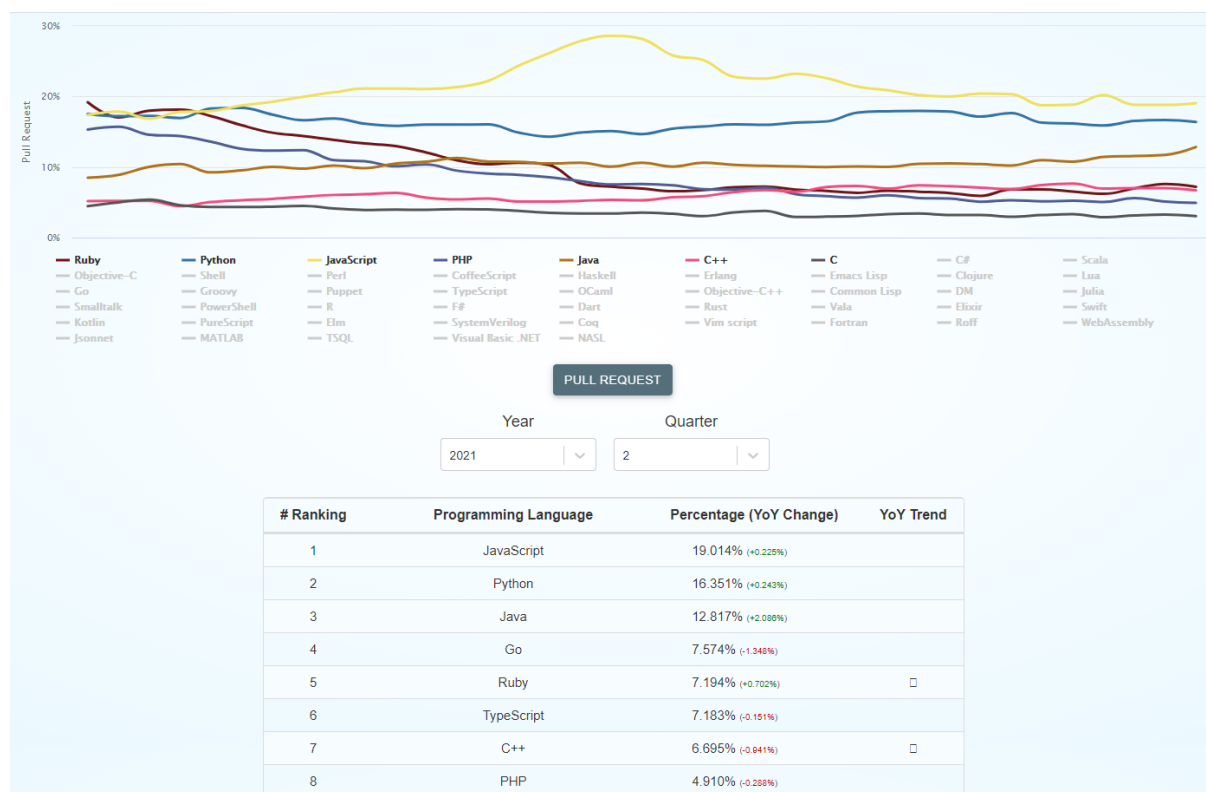
4	Importeren en exporteren	23
4.1	Afbeeldingen exporteren	23
4.2	Formatteren van tekst	24
4.3	Bestanden importeren	25
4.4	Slotopdracht: De Europese bananeninspectie	26
5	Functies	28
5.1	Constructie van functies	28
5.2	Extra argumenten	29
5.3	Defaultwaarde	30
5.4	Slotopdracht: Eigen plotfunctie	31
6	Meet je leefomgeving	32
6.1	De sensoren	32
6.1.1	ADC: accuspanning	32
6.1.2	BME280: temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid	32
6.1.3	MAX4466: geluidssterkte	33
6.1.4	TSL2591: lichtintensiteit	33
6.1.5	VEML6070: UV-intensiteit	33
6.1.6	CJMCU-811: VOC en CO ₂ -gehalte	33
6.1.7	SDS011: fijnstof	34
6.1.8	Ublox NEO-6M GPS6MU2: GPS	34
6.2	Handige informatie	34
6.3	De eindopdracht	35

1 Basisvaardigheden Python

Ons leven bestaat bij de gratie van programmeertalen. Het versimpelt de systemen die we gebruiken, de technieken waarmee we vertrouwd zijn en het feit dat je deze tekst leest bewijst al het nut van programmeertalen.

Een programmeertaal die binnen én buiten de exacte vakken steeds meer gebruikt wordt is Python (www.python.org). Hiervoor zijn een aantal goede redenen:

- Het is gratis en zelf aan te passen.
- Het is eenvoudig om de basis onder de knie te krijgen.
- Er zijn heel veel tutorials en voorbeelden op internet.
- Je kunt er heel veel verschillende dingen mee doen.



Figuur 1: De meest populaire programmeertalen in de periode 2014-2021. Python is de tweede meest populaire taal, goed voor een zesde van alle (openbare) scripts ter wereld. Bron: GitHub

In deze periode komen de meest nuttige eigenschappen van Python aan de orde. Als je het begint te begrijpen, ga je de lol van programmeren vanzelf inzien. Maar zoals je eerst letters moet leren voordat je kunt lezen, moeten we beginnen met de wat taaiere kost waarvan het nut later duidelijk wordt: hoe maak en bewerk je een script, wat zijn datatypes, functies, variabelen, etc.

Een goede programmeur programmeert gestructureerd en begrijpelijk. Wat moet je hiervoor concreet doen?

- Volg conventies: gebruik variabelen namen die aansluiten bij de inhoud van je programma: een lijst met temperatuurwaarden noem je niet `meuk`.
- Structureer je script: voeg scheidingen toe, definieer *secties* met lege regels en kopjes (zoals je ook in normale tekst doet om hem leesbaar te houden).
- Voeg uitleg toe, vooral wanneer een stuk code moeilijk is. Hoe dit kan worden gedaan wordt later in deze reader behandeld.

Een goede stelregel is: *Hoe moet ik een script schrijven zodat ik het zelf snel weer begrijp als ik het over een jaar open om te gebruiken?* In de beoordeling van deze periode is een deel van de punten gereserveerd voor de kwaliteit van de scripts om zo goed programmeren aan te moedigen.

1.1 Python scripts schrijven en uitvoeren in Spyder

We gebruiken op het Ichthus het programma Spyder om in te programmeren. De interface van Spyder wordt weergegeven in Figuur 2. Deze bestaat standaard uit één window met drie schermen: de Editor, Variable explorer en Console. Elk van deze heeft zijn eigen functie:

- Het scherm links is de Editor. Hierin schrijf je de Python code, ook wel script genoemd, die een berekening of taak uitvoert.
- De Explorer rechtsboven heeft vier tabbladen. Tab ‘Files’ laat je scripts zien. In de Tab ‘Variable Explorer’ wordt de waarde van de bestaande variabelen weergegeven nadat je een script hebt uitgevoerd. Alle figuren verschijnen in de Explorer onder de tab ‘Plots’. Tot slot geeft de ‘Help’ tab je een mogelijkheid om snel de eigenschappen van een functie op te zoeken.
- De Console rechtsonder is het gedeelte waarin informatie over het runnen (of *draaien*) van je script verschijnt. Ook de uitvoer (*output*) komt hier terecht.

Sla je bestanden met een duidelijke naam op in jouw GitHub map. Dit betekent dat de naam van de opgeslagen bestanden duidelijk maakt wat het script doet, of waar het onderdeel van is. Je kunt het beste alleen letters, cijfers en eventueel normale (-) of liggende (.) streepjes (geen spaties!) te gebruiken. Een voorbeeld is de naam `h1_1-helloworld.py`.

Oefenopdracht: Hello World

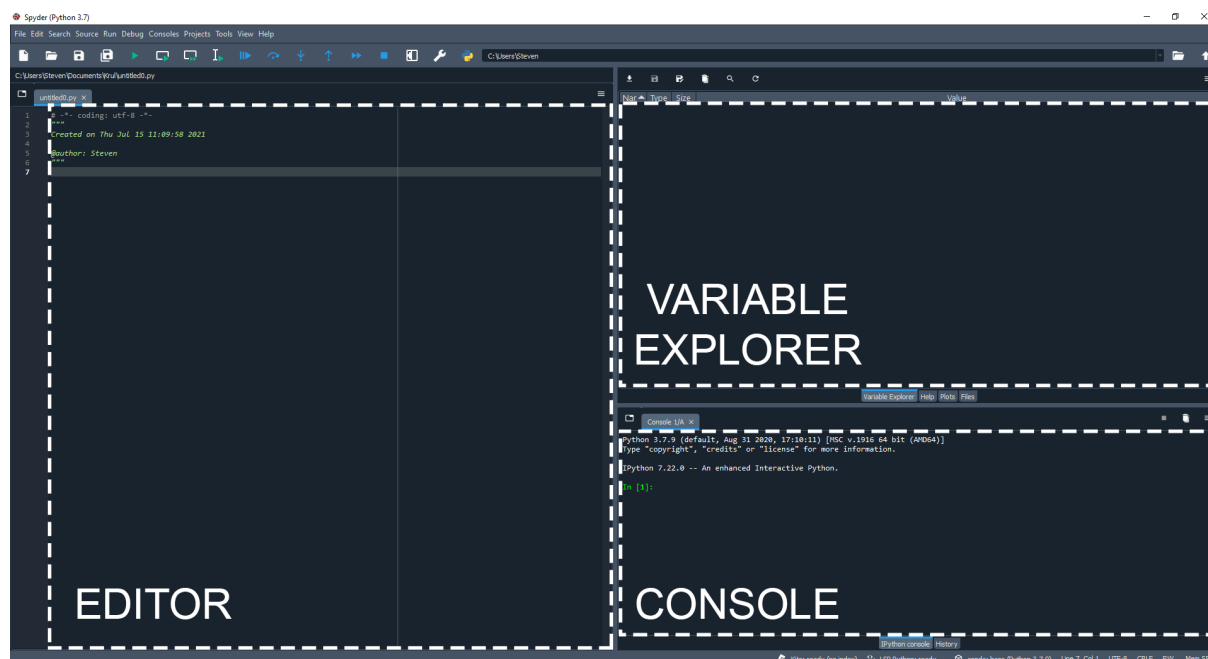
Typ de volgende regel tekst in de Editor:

```
print('Hello, world!')
```

Sla je bestand op met de naam `h1_1-helloworld.py` en run het script. Dat doe je door op de groene play-knop (of de F5-toets) in de balk bovenin te klikken. Wat is de functie van het commando `print`? Kijk hiervoor in de console rechtsonderin.

Tijdens de periode zul je regelmatig (voorbeeld)scripts zien in deze bundel. Die kun je het beste openen via de hyperlink erboven. Sla deze als je ze nodig hebt op in je eigen map met bestanden en open deze vanuit Spyder op dezelfde manier waarop je dat in *Word* zou doen¹.

¹Kopieer **niet** stukjes tekst uit de .pdf file die je nu leest naar het Editor window van Spyder, want dan krijg je vaak verminkte bestanden waaraan je onnodig veel tijd moet besteden om ze te repareren. Typ het over als het kort is, of klik op de hyperlink of ga naar ItsLearning om het hele bestand te vinden.



Figuur 2: De interface van Spyder direct na het opstarten van het programma.

1.2 Eenvoudige rekenkundige operaties

Met Python kun je makkelijk rekenen. Hiervoor gebruik je normale tekens: optellen (+), aftrekken (−), vermenigvuldigen (*), delen (/) en (let op!) machtsverheffen (**). Een andere rekentruc die vaak voorkomt bij programmeren is de *modulus* (%). Dit is eigenlijk de 'rest'-berekening.

```
1 + 1 # = 2
2 − 2 # = 0
3*3  # = 9
4/4  # = 1
5**5 # = 3125
5 % 2 # = 1
```

Tip: Het is onder Python programmeurs gebruikelijk om een spatie te typen voor en na een plus of min-teken, maar niet bij vermenigvuldigen, delen of machtsverheffen. Dit legt nadruk op de rekenregels. Bijvoorbeeld:

```
print(1 + 2 − 3*4**5) # wat komt hieruit?
```

Vraag: Wat is de betekenis van het #-teken? Voer het script uit en je zult er dan wel achter komen.

Vraag: Wat is het nut van `print()`?. Wat gebeurt er als je alleen de som berekent zonder `print()`?

Oefenopdracht: Python als rekenmachine

Bereken de hoogte y van een softbal die vanaf de grond omhoog wordt geslagen met een beginsnelheid van $v_0 = 25 \text{ m/s}$ op $t = 2 \text{ s}$ aan de hand van de formule:

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (1)$$

De zwaartekracht $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Maak gebruik van het voorbeeld hiervoor.

1.3 Variabelen**1.3.1 Implementatie**

Net als wiskunde ‘op papier’ is het handig om van variabelen als letters gebruik te maken in plaats van de getallen gelijk in te vullen. Dit is ook zo bij programmeren en zorgt voor overzicht als je scripts langer en moeilijker worden.

Bij de vorige oefenopdracht moet je meerdere getallen aanpassen als je het tijdstip verandert. Maar veel handiger en sneller is het gebruik van *variabelen* in Python. Let op de volgorde waarin je de variabelen en de formules in je code opschrijft. Een script wordt (best logisch) van boven naar beneden uitgevoerd. Om berekeningen te kunnen doen met variabelen, moeten deze eerst gedefiniëerd worden. Anders krijg je errors.

```
a = 1
b = 2
c = 3
x = 1
y = a*x**2 + b*x + c
print(y)
```

Tip: Namen voor variabelen kun je zelf kiezen. De enige voorwaarden zijn dat de namen moeten beginnen met een letter, en geen spatie of wiskundig teken mogen bevatten.² Kies voor een variabele altijd een naam die past bij de betekenis ervan in jouw script. Noem een lijst van temperaturen bijvoorbeeld `temp` of `temperatuur`.

Oefenopdracht: Gebruik van variabelen

Bereken opnieuw de hoogte van de bal uit de vorige opdracht. Doe dit nu voor $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ en geef een grove schatting hoe lang het duurt voordat de bal weer op de grond is. Nu maak je uiteraard gebruik van variabelen zoals hiervoor beschreven.

1.3.2 Commentaar

Vaak is het voor een buitenstaander een raadsel wat een variabele betekent als hij het script niet kent. Dit is één van de redenen om in een script *commentaar* toe te voegen. Het meest

²Dus namen van variabelen (en later ook van functies) beginnen met een letter, bevatten alleen A-Z, a-z, 0-9 en - en zijn hoofdlettergevoelig.

eenvoudig is het om hiervoor de hashtag te gebruiken, want alle tekst op een regel na # wordt genegeerd bij het runnen van een script.

De oefenopdracht kan bijvoorbeeld op de volgende manier verduidelijkt worden:

```
# hoogte softbal
v0 = 25      # beginsnelheid in m/s
g = 9.81     # zwaartekracht in m/s^2
t = 2        # tijdstip berekening
y = v0*t - 0.5*g*t**2 # formule voor de hoogte
print(y)
```

Als je in Spyder een nieuw Python script aanmaakt zie je direct nog een andere manier om commentaar te schrijven. Alle tekst tussen `"""` en de volgende `"""` is commentaar; deze manier van commentaar aangeven is handig voor grotere stukken tekst.

1.3.3 Datatypes

In alle bovenstaande opdrachten zijn de variabelen hele getallen. Daarnaast kun je gebruik maken van stukken tekst, kommagetallen of **True/False**. Dat zijn allemaal *datatypes*. Hieronder de meest gebruikte, met hun officiële naam:

int Gehele getallen: 3 300 20

In Python (en andere programmeertalen) is **int** het datatype dat gebruikt wordt voor gehele getallen. Zie bovenstaand voorbeeld (`a = 1` etc). Je kunt ook een kommagetal gebruiken, maar let op: dit is niet hetzelfde als afronden op gehele getallen! `int(3.9) = 3` en niet een afgeronde 4.

float Getallen met decimalen: 2.3 4.62 100.00

Het datatype voor decimale getallen is **float**. Floats maak je door een getal met een decimale punt te maken, zoals: `a = 1.5`.

bool Logische waarde: **True** of **False**

Een **boolean** type, dat we later in het hoofdstuk zullen tegenkomen, is een binair datatype dat twee waarden kan hebben: **True** of **False**. **True** is gelijk aan 1, en **False** is gelijk aan 0. `bool(1)` is dus gelijk aan **True**.

str Geordende reeks karakters (tekst): `'hello' 'Sam' "2019"`

Een **string** is het datatype voor tekst. Deze heb je ongemerkt gebruikt in de `'Hello world'!`, met `print()`. Om in Python een **string** te maken gebruik je aanhalingstekens. `a = 'tekst'` en `a = "tekst"` zijn allebei toegestaan.

list Geordende reeks objecten: `[10, "hello", 200.3]`

Een **list** kan alle soorten datatypes bevatten, en die kun je ook los bekijken met behulp van een index. In hoofdstuk 2 komt hier meer van.

Je kunt het datatype van een variabele altijd bekijken in de Variable Explorer, als dat nodig is.

1.4 Functies

Je script kun je automatiseren door variabelen en de handelingen die je vaak herhaalt, in een *functie* te zetten (een functie te definiëren).

1.4.1 Eigengemaakte functies

Een functie is een stukje tekst dat aan de hand van input één of meerdere handelingen kan doen. Functies worden vaak gebruikt om te voorkomen dat blokken code meerdere keren in een script herhaald worden. Hiermee zorg je ervoor dat, wanneer er een aanpassing gedaan moet worden, dit maar op één plek hoeft te gebeuren. Ook blijft je script overzichtelijk, ook al maak je hem steeds langer of complexer.

We gebruiken de formule $y = ax^2 + bx + c$ om de werking van *functies* uit te leggen. In het script hieronder zie je een voorbeeld van een functie die de waarde van de formule berekent en de uitkomst print op het scherm met behulp van de functie `print()`.

```
def formule(a, b, c, x):
    y = a*x**2 + b*x + c    # bereken de formule
    return y                # geef de waarde terug

i = 1
j = 2
k = 3
z = 1
waarde = formule(i, j, k, z) # geef de variabelen mee op volgorde
print(waarde)
```

Een Python functie begin je met het woord `def` ('definition'), gevolgd door de naam van de *functie*. Daarna volgen tussen ronde haakjes de variabelen die door de functie moeten worden gebruikt als input. De regel wordt afgesloten met een dubbele punt om aan te geven dat wat er op de volgende regels staat de echte inhoud is.

Daarna komt de code van de *functie* zelf. Let op dat de regels code na het begin van de `def` niet helemaal links beginnen. Dit is belangrijk! De inspringing of *indent* is onderdeel van de syntax van Python. Dit laat Python weten dat de tekst op die regel onderdeel is van de *functie*. Spyder helpt je hierbij, want als je op Enter drukt komt deze indent er automatisch. Al moet je altijd even opletten. Wanneer de functie klaar is en je verder wilt gaan met de rest van een script, laat je de indent weg. Zo weet Python dat die regel niet bij de functie hoort.

Om een functie te gebruiken typ je de naam van de functie, met de waarden die je als input wilt gebruiken. De *volgorde* van de variabelen vertelt welke waarde waar moet worden gebruikt. In bovenstaand voorbeeld krijgt parameter *a* de waarde 1, want `i = 1`. Parameter *b* krijgt de waarde 2, want `j = 2`.

Kijk na het overtypen (!) en runnen van bovenstaand script in de **Variable explorer** in Spyder. Hier kun je zien welke variabelen er bestaan, wat het type is en welke waarde ze hebben. De variabele `waarde` heeft als het goed is de waarde 6. Dit getal moet ook afgedrukt zijn in de console door `print`.

Een andere manier om waarden toe te kennen aan de variabelen binnen een functie is door de goede namen mee te geven. Dan maakt het niet meer uit in welke volgorde de variabelen een waarde krijgen toegekend. Bijvoorbeeld:

```
# we geven de variabelen mee op een andere volgorde
waarde = formule(x=1, a=3, b=2, c=5)
print('waarde = ', waarde)
```

Je moet in dit geval niet alleen weten dat de functie `formule` vier argumenten verwacht, maar ook wat de naam van die argumenten binnen de functiedefinitie is. Samenvattend:

- Je geeft de argumenten op als een getal: de waarde van *a* als eerste, etc.
- Of: je geeft specifiek de waarden van *a*, *b*, *c* en *x* aan en dan mag je elke volgorde aanhouden.

Oefenopdracht: Controleren van bovenstaande functie

Controleer dat `formule(3, 2, 5, 1)` en `formule(x=1, a=3, b=2, c=5)` dezelfde waarde opleveren. Welke? En dat een `formule(1, 3, 2, 5)` een andere waarde oplevert. Controleer altijd je eigen functies met een simpele manier om fouten te voorkomen.

1.4.2 Lokale vs. globale variabelen

Het bovenstaande voorbeeld toont één waarde op het scherm. Kijk je in het scherm van de **Variable explorer**, dan zie je dat alleen de variabelen *i*, *j*, *k*, *z* en *waarde* een waarde hebben, maar de *a*, *b*, *c*, *x* en *y* komen daarin niet voor. De eerste variabelen zijn globaal (in het hele script) bekend en hebben de getoonde waarde. De andere variabelen zijn alleen bekend binnen de functie `formule` en heten lokale variabelen.

Waarden van lokale variabelen kun je hooguit weergeven door ze te printen binnen een functie, maar dat wordt al snel irritant als zo'n functie duizend keer wordt aangeroepen.

Wat er binnen een functie gebeurt heeft normaal gesproken dus geen invloed op de rest van je script. Dit is een reden om onderdelen van een groter project op te bouwen uit functies.

Waarden van globale variabelen kun je wel gebruiken binnen een functie. Maar je kunt niet binnen een functie de waarde van een globale variabele veranderen.

Bij het gebruik van veel functies binnen een uitgebreid script is het al snel lastig om unieke korte namen voor variabelen binnen een functie te bedenken en kun je per ongeluk (of expres) meerdere keren dezelfde naam gebruiken. Dit zou er voor kunnen zorgen dat je script verkeerde resultaten oplevert. **Noem je variabelen dus niet altijd zomaar *a*, *b* en *c*, maar geef ze een nuttigere naam waar mogelijk.**

1.5 Loops

Binnen Python bestaan manieren om functies of handelingen automatisch en/of heel vaak uit te voeren. We behandelen hier de constructies `while` en `if`.

1.5.1 While

Een zogenaamde **while** loop gebruik je om een bepaald stuk code te herhalen zolang er aan een voorwaarde voldaan wordt. Voor het voorbeeld van de omhoog geslagen bal dat we eerder gebruikt hebben kunnen we de hoogte van de bal berekenen voor de eerste T seconden. Hoe zo'n loop kan worden geïmplementeerd is te zien in onderstaand voorbeeld.

```
v0 = 25    # beginsnelheid
g = 9.81   # zwaartekracht
t = 0.     # begintijd
dt = 0.25  # tijdstap

while t <= 5:
    y = v0*t - 0.5*g*t**2
    print(t, y)

    t = t + dt
```

Net als eerder definiëren we de benodigde variabelen v_0 en g . Daarnaast maken we een variabele aan voor de tijd t en kiezen we de grootte van de tijdstappen dt die we willen maken voor t . Zolang (*while*) $t \leq 5$ wordt de hoogte y berekend en worden t en y geprint.

Zolang $t \leq 5$ wordt aan de conditie voldaan en wordt de code in de functie van de **while** uitgevoerd. Om door te gaan naar de volgende tijdstap tellen we een stukje tijd dt op bij t .

Net als bij het gebruik van **def** moeten de regels code binnen de **while** loop beginnen met een *indent* om aan te geven dat die regels onderdeel zijn van deze *loop*.

Een veelvoorkomende fout bij een **while** is dat de voorwaarde altijd **True** blijft, waardoor het script oneindig doorgaat. Dit gebeurt bijv. als je de regel `t = t + dt` vergeet of verkeerd invoert, of als je de regel wel goed overtypt maar de *indent* vergeet! Je kunt een script stoppen in Spyder door op de rode knop rechts boven in de Console te drukken.

1.5.2 If

Een tweede soort constructie is de zogenaamde *if - else* constructie. Aan de hand van een voorwaarde (*conditie*) wordt een bepaald deel code wel of niet uitgevoerd. Een variant hierop is de *if - else if - else* constructie, waarbij er meer dan 2 mogelijkheden voorkomen.

Let op: ook hier gebruik je *indents*. In Python wordt *else if* afgekort tot **elif**.

```
if gewicht < 40:                # 0 - 39.99999999 kg
    print("Ondergewicht!")
elif gewicht < 80:             # 40 - 79.99999999 kg
    print("Goed gewicht")
else:                           # 80 kg en meer
    print("Overgewicht!")
```

Oefenopdracht: Gebruik van **if** en/of **while**

- Schrijf een eenvoudig Python-script dat om input vraagt. Gebruik hiertoe:

```
invoer = input("Geef een positief getal: ") # input heeft datatype string
getal = int(invoer) # zet het om in een int, waar je mee kunt rekenen
```

Input moet je invoeren in de console. Als het opgegeven getal inderdaad positief is wordt de wortel³ van dat getal geprint en wordt er om nog een getal gevraagd. Is het opgegeven getal negatief, dan wordt de wortel niet uitgerekend. Je print dan de tekst "Dombo: Positief svp!" en vervolgens vraagt het script (heel beleefd) weer om een positief getal. Maak dus gebruik van een loop! Pas als je de waarde 0 invoert stopt de loop en dus het script.

1.5.3 Boolean expressions

In de voorbeelden van loops hierboven hebben we voorwaarden gebruikt om delen van scripts wel of niet uit te voeren. De algemene term voor deze voorwaarde is *Boolean expression*. De uitkomst van zo'n conditie heeft twee mogelijkheden, namelijk **True** of **False**. Vaak wordt zo'n voorwaarde ook wel een test genoemd.

```
a == b # test of a gelijk is aan b
a != b # test of a niet gelijk is aan b
a > b  # test of a groter is dan b
a >= b # test of a groter dan of gelijk is aan b
a < b  # test of a kleiner is dan b
a <= b # test of a kleiner dan of gelijk is aan b
```

Daarnaast kunnen Boolean expressions ook worden gecombineerd door het gebruik van **and** waarbij de formule alleen **True** zal opleveren als aan beide voorwaarden wordt voldaan; of **or** waarbij de formule **True** zal opleveren als aan minstens één van de twee condities wordt voldaan (beide mag dus ook).

```
a > b and c < d
a > b or c < d
```

Oefenopdracht: Testen van combinaties van Boolean expressions

- Neem het voorbeeld van de BMI over, een stukje terug. Voeg naast gewicht nog een voorwaarde toe: lengte. Je hebt alleen ondergewicht bij 40 kilo als je langer bent dan een bepaald aantal centimeter. Bedenk er zelf maar wat van, maar test je functie ook!

1.5.4 For

Als je een functie een exact aantal keer wilt uitvoeren kun je dit met een **while**- of **if**-loop doen waarin je een teller zet. Bijvoorbeeld:

³Weet je niet hoe je de wortel van een getal moet uitrekenen in Python? Zoek het dan op! Niet in deze reader, maar op internet.

```
i=0
while i < 5:
    print(i)
    i=i+1
```

Een handigere manier om dit te doen is met een **for**-loop. Hierbij zit de ‘teller’ automatisch ingebouwd: de loop wordt herhaald voor elk element in de voorwaarde. Elke **while**-loop is om te schrijven in een **for**-loop, maar soms *voelt* de één logischer, en is die ook makkelijker. Maar gebruik waar mogelijk een **for**-loop. Dit voorbeeld is toch best wat korter en simpeler:

```
for k in range(5):
    print(k)
```

Oefenopdracht: for i in range()

- Voer het voorgaande stukje code uit.

Vraag: welke getallen zitten er verborgen in **range(5)**? En wat als je er **range(10)** van maakt?

1.6 Slotopdracht: Omrekenen van Fahrenheit naar Celsius

Voor alle opdrachten geldt dat je wordt aangemoedigd om op het internet te zoeken in de enorme hoeveelheid voorbeelden, tutorials, vragen en antwoorden over het gebruik van Python. Maak daar vooral gebruik van! Voor alle opdrachten geldt ook: maak je eigen script, en sla dat op met het nodige commentaar zodat je het later misschien kunt hergebruiken of je medestudenten er blij mee kunt maken.

Schrijf een script waarin een reeks van verschillende temperaturen in Fahrenheit gebruikt wordt als invoer om te bepalen of het vriest of niet. Laat voor elke stap de temperatuur in Celsius zien samen met de conclusie of het wel of niet vriest. Test waarden van -10 t/m 100 Fahrenheit in stappen van 5 Fahrenheit. De conversie tussen Celsius en Fahrenheit is

$$C = \frac{5}{9}F - 32 \tag{2}$$

2 Modules (1): NumPy

In dit hoofdstuk kijken we naar een essentieel onderdeel van het programmeren in Python: het gebruik van *modules*. Modules bevatten functionaliteit die niet in Python zelf zit maar apart toegevoegd moet worden. Oorspronkelijk kon je met Python niet veel meer dan stukken tekst bewerken. In dit hoofdstuk behandelen we **numpy**, dat het makkelijk maakt om met getallen en data te werken.

Het importeren van een module gebeurt (gewoonlijk op de eerste regel(s) van je script) met het commando **import**. Het is gebruikelijk om **numpy** af te korten tot **np**. Dat ziet er in de praktijk zo uit:

```
import numpy as np
```

Vanaf dit punt wordt naar **numpy** verwezen als **np**. Om functies uit een module te gebruiken wordt de afkorting van de module als voorvoegsel gebruikt, gevolgd door een punt, en dan het commando(= de naam van de functie) uit de module.

Bijvoorbeeld: **np.sin(X)** #berekent de sinus van X.

2.1 Arrays maken

Een *array* (Nederlands: reeks) is een verzameling van getallen. In Python kun je die maken als een lijst (zie hoofdstuk 1.3.3), maar een lijst is in de praktijk heel erg onhandig. In plaats van een lijst gebruiken we veel liever een numpy array. Hier kan maar één datatype tegelijkertijd in voorkomen: **ints** of **floats**.

De duidelijkste manier om een array te maken is met de functie **np.array()**. Als je de getallen van de dobbelsteen in een array wilt zetten, doe je dat bijvoorbeeld zo:

```
getallen_array = np.array([1,2,3,4,5,6])
# let op de extra blokhaken [] tussen de ronde haken ()
```

Handmatig alle getallen invullen is iets waar je als programmeur niet op zit te wachten. Als het ook maar een klein beetje kan, doen we dat het liefst automatisch. In het codeblok hieronder staan een aantal manieren om automatisch arrays aan te maken.

Code 2.1: [code-inc/w2/np`vb1.py](#)

```
# De volgende voorbeelden leveren allemaal arrays op met ints:
array1a = np.array([0,1,2,3,4,5]) # Vanuit een Python-lijst
array1b = np.arange(6)           # Een bereik, beginnend bij 0
# Let op: het resultaat van beide arrays is hetzelfde, maar de tweede
# functie kost minder typewerk, zeker bij een groter bereik.

## De volgende voorbeelden leveren allemaal arrays met floats op:
nullen   = np.zeros(6)           # Array gevuld met 6 nullen (float)
enen     = np.ones(6)            # Array gevuld met 6 enen (float)
random   = np.random.rand(6)     # Array gevuld met 6 random getallen
                                           # tussen de 0 en 1

# Om een array te maken met allemaal stapjes tussen twee waarden (grid)
```

```
# kunnen deze functies gebruikt worden:
grid1 = np.arange(0.,5.,0.25)      # 0 TOT 5 met stapjes van 0.25
grid2 = np.linspace(0.,5.,num=20)  # 0 TOT EN MET 5, 20 gelijke afstanden
```

Merk op dat `np.arange()` het eindgetal (5.) niet meeneemt, `np.linspace()` doet dit wel, dus `grid1` en `grid2` zijn verschillend.

Oefenopdracht: Maken en bewerken van numpy arrays

- a) Schrijf een script waarmee een array wordt gemaakt met daarin de getallen 1.5 tot en met en 3.0 met stappen van 0.3. Doe dit met zowel `np.arange` als `np.linspace`. Controleer je resultaten met `print()`.

Tip: Begin met `xmin = 1.5`, `xmax = 3.0` en `dx = 0.3`. Werk daarna alleen met deze variabelen, of andere hulpvariabelen die volgen uit deze 3 variabelen.

2.2 Rekenen met arrays

Rekenen met arrays is super makkelijk. Wanneer twee arrays dezelfde vorm (evenveel getallen) hebben, kun je ze getal voor getal optellen door `+` te gebruiken. Wanneer deze niet dezelfde vorm hebben krijg je een foutmelding. Alle wiskundige formules (`+`, `-`, `/`, `*`, `**`) werken op deze manier.

Neem het volgende voorbeeld maar over en zie wat er gebeurt:

```
a = np.array([1,2,3,4,5])
b = np.array([6,7,8,9,10])
c = a + b
print("c: ", c)
d = a * b
print("d: ", d)
```

Oefenopdracht: Maken en bewerken van numpy arrays

- b) Schrijf een script dat een array maakt met de gehele getallen tot en met 10, beginnend bij 1. Natuurlijk geef je dat array een naam. Bereken met behulp van dit array k^k voor $1 \leq k \leq 10$ en laat het resultaat op het scherm laten zien met het `print()` commando. Bekijk en controleer de resultaten. Valt je iets op?⁴

2.3 Indexing en slicing

Soms is het fijn om delen van een array een aparte naam te geven. Of je wilt een specifiek getal uit een getallenreeks halen. In het codeblok hieronder is te zien hoe je een enkel element uit een array kunt selecteren (*indexing* of een groter deel van de array *slicing*). Door gebruik te maken van *slicing* bekijk je de *oorspronkelijke* data van de array. Wijzig je de data in de slice, dan wijzig je dus ook de data in het oorspronkelijke array!

⁴Als er iets niet klopt, geef het aan bij de docent! Die legt het wel uit :)

Code 2.2: [code-inc/w2/np`vb2.py](#)

```
# We maken een test array om als voorbeeld te gebruiken.
test_array = np.arange(1,11)      # Ziet eruit als: [ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ]

# Wanneer we een enkel element willen selecteren kan dat als volgt:
element1 = test_array[0]          # Het eerste element heeft index '0'.
element7 = test_array[6]          # Dit heeft dus als resultaat '7'

# Wanneer we een deelverzameling willen selecteren
deel_array1 = test_array[2:5]      # Selecteer element 2 TOT 5 (t/m 4)
deel_array2 = test_array[2:-2]     # Selecteer van 2e t/m 2 na laatste
deel_array3 = test_array[:-2]     # Vanaf begin t/m twee na laatste
deel_array4 = test_array[2:]       # Vanaf tweede

# Het is mogelijk om elk tweede of derde element te selecteren
oneven_arr = test_array[::2]       # Selecteer elk 2e element, vanaf begin
even_arr   = test_array[1::2]      # Selecteer elk 2e element, vanaf 2e
# Let op de naamgeving: de getallen in even_arr zijn even

# Een kopie maken is speciaal:
kopie_arr = test_array.copy()      # Twee verschillende arrays
same_arr  = test_array             # Twee namen voor hetzelfde array
```

Let dus goed op het verschil tussen de laatste twee handelingen: **kopie_arr** is een kopie van de waarden, terwijl **same_arr** alleen een andere naam is voor **test_array**!

Oefenopdracht: Maken en bewerken van numpy arrays

- c) Vraag: wat is de waarde van **test_array[1]**? Let goed op!

Een computer begint bij nul te tellen. Dat betekent dat het eerste getal, wat bij ons altijd plek 1 krijgt (bijvoorbeeld vers 1 van een hoofdstuk in de Bijbel), voor de computer op plek 0 staat. En het vijfde getal in een reeks staat voor de computer op plek 4.

- d) Neem de laatste regel (en het bijbehorende **test_array**) over van bovenstaand voorbeeld. Print eerst de laatste getallen van beide arrays (**test_array** en **same_arr**). Voeg vervolgens daaronder deze regel toe: **test_array *= 10**. Daarmee vermenigvuldig je het **test_array** met 10. Print weer beide getallen. Zet daaronder deze regel: **test_array = test_array / 5**, en print weer beide getallen. Wat is het verschil? Vraag het als je het niet snapt!

2.4 Allerlei functies

Numpy arrays hebben een aantal ingebouwde functies, om bijvoorbeeld het gemiddelde of de som uit te rekenen. Ook de lengte of de vorm en datatype worden verkregen door **.functie** aan de naam van zo'n array vast te plakken.

Code 2.3: [code-inc/w2/np`vb3.py](#)

```
# Gebruik een testarray
```



```

test_array = np.arange(1,11)      # Ziet eruit als: [ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ]

# Berekening van minimum, etc.; let op de verplichte () aan het eind
min_arr = test_array.min()        # Geeft minimum van array (1)
max_arr = test_array.max()        # Geeft maximum van array (10)
sum_arr = test_array.sum()        # Geeft som van array (55)
avg_arr = test_array.mean()       # Geeft gemiddelde van array (5.5)

# Eigenschappen van een array; let op het ontbreken van () aan het eind
ta_lengte = test_array.size       # Geeft aantal getallen in array (10,)
ta_dtype = test_array.dtype       # Geeft datatype in array (int32)

# Deze manier van aanroepen "functie(argument)" is ook toegestaan
min_arr = np.min(test_array)      # Geeft minimum van array (1)

```

Let op de laatste regel: dit is eigenlijk iets meer werk, maar over het algemeen veel veiliger! Als je bijvoorbeeld de mediaan van een array uit wilt rekenen, kun je *niet* gebruik maken van `test_array.median()`, maar moet je de andere methode gebruiken: `np.median(test_array)`.

2.5 Maskers

In sommige gevallen wil je een lijst getallen ook filteren. Je bent bijvoorbeeld geïnteresseerd in alle leeftijden boven de 18 jaar, of alle leerlingen in de bovenbouw. Dit kan aan de hand van een *masker*. De werking van zo'n masker wordt uitgelegd aan de hand van het onderstaande voorbeeld ⁵. Een masker maak je door een voorwaarde op te geven bij een variabele. Alle plekken in de array die voldoen aan die voorwaarde, geven de waarde **True**, alle anderen geven **False**. Een masker pas je vervolgens toe met de blokhaken `[]`.

Code 2.4: [code-inc/w2/np_vb4.py](#)

```

# Gebruik van een test_array
test_array = np.array([12, 1, 7, 8, 4, 3])
print(" test_array (origineel) = ", test_array)

# Aanmaken van een masker met de voorwaarde dat elementen > 5 moeten zijn
masker = test_array > 5          # True als element > 5, anders False
print(" masker =                  ", masker)

# Selecteren van elementen waarvoor het masker True is
g5 = test_array[masker]          # Met de blokhaken [ ] gebruik je het masker
print(" Elementen die > 5 zijn:  ", g5)

# Aanpassen van de waarde van alle elementen waarvoor het masker True is
test_array[masker] = 0           # Zet alle elementen >5 gelijk aan 0
print(" test_array (nieuw)       = ", test_array)

```

⁵In de .pdf zie je dat diverse Python woorden blauw gekleurd zijn; ook als er in een stukje tekst toevallig een Python woord staat, zoals in masker. Een klein foutje waar ik helaas niet veel aan kan doen.

Oefenopdracht: Maken en bewerken van numpy arrays

- e) Bereken het gemiddelde van het k^k -array van oefenopgave b).
- f) Selecteer met behulp van een masker alle oneven getallen uit `test_array` van bovenstaand voorbeeld.

2.6 For-loops

De structuur van een **for**-loop is altijd:

```
for element in data:
    voer_functie_uit_voor_element
```

Het Python key-woord **in** komt hierin dus altijd voor evenals de `:` aan het eind. Cruciaal is dat `data` elementen bevat. Eén zo'n element kun je noemen zoals je wilt, dus kies een nuttige naam. Kun je geen nuttige naam bedenken, dan is `i` eigenlijk de standaard. Vervolgens voer je berekeningen uit voor elk element. De volgende voorbeeld-code maakt dat duidelijk.

Code 2.5: [code-inc/w2/for`vb1.py](#)

```
import numpy as np

data = np.array([[1,2,3], [3,4,5]])
print('data = ', data)
print('Gemiddelde van ALLE items = ', np.mean(data))

# Berekening van het gemiddelde van elk item apart gaat met een for-loop:
for item in data:
    print('gemiddelde van', item, ' = ', np.mean(item))

# De volgende for-loop doet hetzelfde maar is wat omslachtiger
for i in range(len(data)):
    print('gemiddelde van data[' + str(i) + ']' = ', np.mean(data[i]))

# Als je data eenmaal in een array staat heb je geen for-loops nodig:
print('Kolom gemiddeldes = ', np.mean(data, axis=0))
print('Rij gemiddeldes = ', np.mean(data, axis=1))

data2 = np.array([1,2,3,4,5,6]) # tweede test array

# De volgende for-loop start pas bij een bepaalde waarde (2)
for i in range(2, len(data)):
    print(data[i])
```

2.7 Slotopdracht: Voortschrijdend gemiddelde

Tijdens de corona pandemie hebben we eindeloos veel grafiekjes gezien van het aantal besmettingen per dag. In het weekend is dat altijd lager, en door de weeks juist weer hoger. Het is

daarom nuttiger om naar het gemiddelde van de afgelopen zeven dagen te kijken: dan compenseer je de uitschieters een beetje. Dit gemiddelde noemen we het *voortschrijdend gemiddelde*: voor elke dag bereken je het gemiddelde van de zeven dagen daarvoor. Je kunt over de eerste 7 dagen geen voortschrijdend gemiddelde berekenen: er zijn immers nog geen volledige zeven dagen geweest.

In deze slotopdracht maak je zelf een voortschrijdend gemiddelde.

- Maak een array van 50 random getallen tussen de 0 en 1 (zoek hiervoor in het hoofdstuk).
- Maak een variabele genaamd `periode`, met de waarde 7. Dit is het aantal dagen waarover we het gemiddelde gaan berekenen.
- Start vervolgens een `for`-loop toe. Deze gaat lopen van de dag ná de periode, tot en met de laatste waarde van je array.
- Bereken per element in de `for`-loop het gemiddelde van de afgelopen 'periode' dagen. Voeg dit gemiddelde toe aan een array met de voortschrijdende gemiddeldes.
- Print na afloop van de loop de array met voortschrijdende gemiddeldes. Wat valt je op als je de periode verhoogt (naar bijvoorbeeld 20)?

3 Modules (2): MATPlotLib

In dit deel bekijken we hoe we data kunnen visualiseren: zichtbaar maken in grafieken. We gebruiken hiervoor het `pyplot` onderdeel uit het pakket `matplotlib` (MATLab Plotting Library). Het importeren werkt vergelijkbaar als bij `numpy`:

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

3.1 Grafiek maken

Hieronder een voorbeeld om een sinus in beeld te brengen.

Code 3.1: [code-inc/w3/plt`vb1.py](#)

```
### importeer de nodige modules
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

###
# Maak 2 arrays x en y, waarbij y=sin(x)
x = np.linspace(0., 2*np.pi, num=100)
y = np.sin(x)                                # Per element wordt sin(x) uitgerekend
plt.figure('Fig 1')                          # Maak een nieuw figuur 'Fig 1'
plt.plot(x,y)                                # Plot punten (x,y)

plt.figure('Fig 2')                          # Maak een nieuw figuur 'Fig 2'
plt.plot(x,y**2)                             # Plot sin(x)^2
```

Oefenopdracht

- Imiteer het bovenstaande voorbeeld. Verander het aantal elementen in `x`. Wat gebeurt er als het aantal elementen in de lijst klein is? (bijvoorbeeld 10)
- Voeg een cosinus toe door een `y2` te definiëren en een extra `plt.plot()` toe te voegen.
- Maak een extra plaatje (door in hetzelfde script een nieuwe `plt.figure()` toe te voegen) waar `y` en `y2` tegen elkaar uitgezet worden. In plaats van `x` en `y` in `plt.plot(x,y)` moet je dus wat anders invoeren.

3.2 Lijnen opmaken

Wanneer twee grafieken in één figuur getekend worden, zoals hiervoor, geeft `plt` automatisch de tweede lijn een andere kleur. Om zelf kleur en stijl in te stellen is het mogelijk om een aantal commando's toe te voegen aan `plt.plot()`.

Code 3.2: [code-inc/w3/plt`vb2.py](#)

```
## Hieronder een verzameling van kleuren
# b: blauw          # m: magenta      # c: cyaan
```

```

# g: groen          # y: geel          # w: wit
# r: rood           # k: zwart

## Het is ook mogelijk om de stijl te variëren. Enkele voorbeelden zijn:
# —: gestreepte lijn          # .: punten
# o: grote punten           # -: lijn

## Alle opties kunnen aan plt.plot() worden toegevoegd.
## Het voorbeeld hieronder produceert een plaatje met lijn en punten.
x = np.linspace(0, 2*np.pi)

plt.figure()          # nieuwe figuur
plt.plot(x, np.cos(x), 'r—') # cosinus plotten
plt.plot(x, np.sin(x), 'k.') # nog een cosinus eroverheen plotten
plt.show()            # forceer om weer te geven

```

Oefenopdracht (vervolg)

- d) Pas het script van b) aan zodat de sinus als rode lijn en cosinus als magenta punten geplotted worden.
- e) Bij het aanroepen van de `plt.plot()`, voeg de optie `label = "Label van grafiek"` toe binnen de haakjes van `plt.plot()`. Label de sinus “Sinus” en de cosinus “Cosinus”. Gebruik vervolgens het commando `plt.legend()` onder de plot-functies om een legenda weer te geven.
- f) De waarden op een bepaalde plek op de lijn zijn niet altijd zo makkelijk af te lezen bovenin of rechts in de figuur. Hier komt `plt.grid()` goed van pas. Hoe zit je figuur er uit als je dit toevoegt?

3.3 Assen opmaken

Een grafiek zonder tekst is (bijna) helemaal nutteloos. Zien we de windsnelheid, of de temperatuur, en dan in graden Celsius of Fahrenheit? En gaat het over de uren op een dag of over de maandnummers? Cruciale info, die aanwezig moet zijn in een grafiek. Uiteraard helpt `pyplot` ons hier ook weer een handje met een aantal nuttige functies. Zie onderstaand voorbeeld:

Code 3.3: [code-inc/w3/plt_vb5.py](#)

```

jaren = np.arange(1981, 2022)          # bereik x-as
temp = np.sqrt(jaren) - 2*np.random.rand(len(jaren)) # meetpunten maken
trend = np.sqrt(jaren) - 1              # trendlijn maken

plt.figure()                            # figuur maken
plt.plot(jaren, temp, 'k.', label='Meting') # meetpunten plotten
plt.plot(jaren, trend, 'r-', label='Trend')  # trendlijn plotten
plt.xlabel('Jaren')                     # x-as label
plt.ylabel('$T$ ($^\circ$C)')            # y-as label

```

```
plt.suptitle("Hoogst gemeten temperatuur in Madrid") # titel
plt.legend() # legenda
plt.grid() # lijnen
plt.show() # figuur weergeven
```

Oefenopdracht (vervolg)

- g) De lijn in het plaatje van het voorbeeld toont gaten aan de linker- en rechterkant. Pas met `plt.xlim(x_min, x_max)` het bereik van de x -as aan. Maak het bereik van de x -as 1981 tot 2021. Je kunt het bereik op de y -as ook op dezelfde manier aanpassen. Zet het bereik van de y -as van 30 tot en met 50.
- h) In het plaatje van c) (wat een cirkel zou moeten tonen) is de verhouding van x - en y -as niet ingesteld. Zet de aspectratio (verhouding) op 1 met `plt.axes().set_aspect('equal')`. In plaats van `'equal'` kun je ook 1 invullen (verhouding 1:1).
- i) Maak de volgende plot: kies t van 0 tot 2π . Laat $x = 16\sin^3(t)$ en $y = 13\cos(t) - 5\cos(2t) - 2\cos(3t) - \cos(4t)$. Zorg voor een goede verhouding tussen de assen.

3.4 Meer grafieken in één figuur

Soms is het fijn om twee plots boven elkaar of naast elkaar te laten zien, eventueel zodat ze de x - of y -as delen voor het overzicht (ze hebben dan hetzelfde bereik). Om meerdere plots tegelijk te laten zien kan de functie `plt.subplots()` gebruikt worden. `plt.subplots()` maakt van elk figuur (subplot) een apart object, waarop je met `axN.plot()` en gelijke functies figuren kunt plotten. Hier is de naam `ax` niet verplicht, maar heel veel voorbeelden op internet werken met deze naam, dus doen we dat hier ook.

Code 3.4: [code-inc/w3/plt_vb3.py](#)

```
# Begin met een.subplots.
# fig bevat de informatie van de gehele figuur.
# ax1 t/m ax3 bevatten informatie over de individuele plots.
# sharex en sharey zorgen ervoor dat zowel x- als y-as gedeeld zijn.
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3, sharex=True, sharey=True)

x = np.linspace(0, 2*np.pi) # startwaarden

ax1.plot(x, np.cos(x)**2) # plot sin(x)^2 in het eerste figuur
ax2.plot(x, np.sin(x)**2) # plot cos(x)^2 in het tweede figuur
ax3.plot(x, np.cos(x)*np.sin(x)) # plot sin(x)*cos(x) in het derde figuur
ax1.grid() # lijnen toevoegen in het eerste plaatje

# suptitle verwijst naar de titel van de gehele figuur. Dit is dus een
# eigenschap van de totale figuur f.
fig.suptitle("Drie plotjes tegelijk")
plt.show()
```

Een tweede voorbeeld waar plotjes in een 2-bij-2 vorm worden getoond.

Code 3.5: [code-inc/w3/plt`vb4.py](#)

```
# Begin met een subplots.
# sharex='col' zorgt dat de x-coördinaat gedeeld wordt over de kolommen
# sharey='row' idem voor rijen en de y-coördinaat
fig, axarr = plt.subplots(2, 2, sharex='col', sharey='row')

x = np.linspace(0, 2*np.pi)          # startwaarden

axarr[0,0].plot(x, np.cos(x)**2)      # linksboven
axarr[0,1].plot(x, np.sin(x)**2)     # rechtsboven
axarr[1,0].plot(x, np.cos(x)*np.sin(x)) # linksonder
axarr[1,1].plot(x, np.cos(x)**2*np.sin(x)**2) # rechtsonder

# suptitle verwijst naar de titel van de gehele figuur. Dit is dus een
# eigenschap van de totale figuur fig.
fig.suptitle("Vier plotjes tegelijk")
plt.show()
```

Merk op dat gebruik wordt gemaakt van een 2-bij-2 array om de informatie voor de individuele plots op te slaan. De eerste index (het eerste getal) tussen de blokhaken staat daarbij voor de x-as, het tweede getal voor de y-as. Let op: Python begint linksbovenin met `[0,0]`, en heeft `[0,1]` linksonderin staan. De y-as loopt dus naar beneden in plaats van naar boven. De x-as 'klopt' wel.

Oefenopdracht (vervolg)

- j) Maak een figuur met twee subplots: plot in de ene een sinus, en in de andere een cosinus. Kies de x-as tussen 0 en 2π met behulp van `axN.xlim(x_min, x_max)`. Voeg in allebei de plots de legenda toe. HINT: vervang `plt` nu door `ax1` en `ax2`.

3.5 Slotopdracht: Heel veel plotjes

Maak een figuur van 2-bij-2 plots waarin net als in het voorbeeld met de drie plotjes de x -markering weggelaten is voor figuren die niet onderaan staan. Laat ook de y -markering weg voor figuren die niet helemaal links staan. De plots moeten er als volgt uit zien: voor elke plot is het bereik voor x gelijk aan $[0, 1]$. In elke plot moet x^α komen staan. In linksboven voor $\alpha = 0.125, 0.25, 0.5, 1$, in rechtsboven $\alpha = 1, 1.5, 2$, in linksonder $\alpha = 1, 2, 3, 4$ en rechtsonder $\alpha = 0.1, 1, 10$. Je kunt dit met de hand, regel voor regel doen, maar de uitdaging van deze opdracht zit hem vooral in het zo compact en efficiënt mogelijk maken van je script. Voeg achteraf ook labels en legenda toe en maak de figuur met behulp van de geleerde dingen in dit hoofdstuk zo netjes mogelijk.

4 Importeren en exporteren

Voor het verwerken van data ben je eigenlijk altijd afhankelijk van losse bestanden die alle gegevens bevatten. Niemand gaat voor de lol duizenden getalletjes met de hand invoeren: dan kun je net zo goed Excel gebruiken. Ook wil je graag je gemaakte figuren en resultaten opslaan om ergens in te voegen: anders kun je net zo goed maar wat met de hand tekenen of berekenen. Maar daar doen we het niet voor: we gaan handelingen automatiseren door bestanden te *importeren*, en vervolgens resultaten te *exporteren*. Dat gaan we dit hoofdstuk behandelen.

4.1 Afbeeldingen exporteren

In het vorige hoofdstuk heb je al geleerd om plaatjes te maken. Figuren staan normaal gesproken alleen in Spyder, en kunnen niet direct gebruikt worden in een verslag, artikel of rapport. Daarvoor moet je de afbeelding eerst opslaan. Hiervoor kan je gebruik maken van `plt.savefig()`.

De belangrijkste opties die je aan deze functie kunt meegegeven zijn de naam van de afbeelding en de resolutie. De standaard locatie waar de afbeelding wordt opgeslagen is de map waar het script is opgeslagen.

Als bestandstype kan er worden gekozen voor `jpg`, `png` en `pdf`. De resolutie van deze afbeeldingen wordt gespecificeerd in *dots-per-inch* (`dpi`). Afbeeldingen van het type `.jpg` en `.png` kun je niet zo ver inzoomen, omdat op een gegeven moment de pixels zichtbaar worden. Afbeeldingen van het type `.pdf` zijn opgebouwd uit formules zoals punten, lijnen en/of krommen. Ook gewone letters hebben zo'n structuur. Daardoor kun je zo ver inzoomen als je zou willen zonder dat het onscherp wordt.

Met behulp van `plt.figure(figsize=[breedte, lengte])` kun je instellen hoe groot je plaatje is, en welke verhoudingen hij heeft. Hoe groter de breedte en lengte, hoe groter het bestand.

Code 4.1: [code-inc/w4/export_vb1.py](#)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
x = np.linspace(-2*np.pi, 2*np.pi, num=1001)
y = np.sin(x)
plt.figure(figsize=[8,4])
plt.plot(x,y)
plt.savefig('sinus.png', format='png', dpi=300)
```

Oefenopdracht

- Open het onderstaande voorbeeld-script `export_vb2.py`. Je kunt met dit voorbeeld ook makkelijk meerdere figuren in één script aanmaken.
- Verander het script zodat het een aantal plaatjes van alleen de sinus-functie maakt. Om niet steeds hetzelfde plaatje te krijgen varieer je met de volgende instellingen:
 1. De extensie van het weggeschreven bestand. Kies: `png` of `pdf`. Hierin is al voorzien in het voorbeeld door tweemaal een `plt.savefig` te doen.

2. De grootte van het plaatje. Kies bijv. [2,1] of [20,10].
 3. Het aantal dots-per-inch. Kies bijv. 300 of 1200. (Zie het vorige voorbeeld!)
- Open de plaatjes en kijk naar de kwaliteit. Gebruik de zoom-functie! Kijk ook naar de bestandsgrootte (in kilobytes) van de aangemaakte bestanden. Trek je conclusie!

Code 4.2: [code-inc/w4/export_vb2.py](#)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

plt.figure(1) # begin met opbouwen van Figuur 1, default afmeting

x = np.linspace(-2*np.pi, 2*np.pi)
y = np.sin(x)
plt.plot(x, y, color = 'red') # 1 curve is getekend

# nu een gladdere curve tekenen door meer (dan 50) punten te kiezen
x = np.linspace(-2*np.pi, 2*np.pi, num=200)
y = np.sin(x)

# de breedte van de te tekenen curve moet ook worden aangepast
# anders zie je nog geen verschillen met de rode lijn
plt.plot(x, y, linewidth=0.1, color='black')

plt.savefig('sinus.png') # sla verschillende bestandstypen
plt.savefig('sinus.pdf') # op om te kunnen vergelijken

plt.figure(2, figsize=[8,4]) # begin met opbouwen van Figuur 2
                             # met opgegeven afmeting in inches
plt.plot(x, np.cos(x))
plt.savefig('cosinus.pdf') # ... en weer een figuur opgeslagen.
```

4.2 Formatteren van tekst

In het begin hebben we losse waarden op het beeldscherm getoond: vaak dus één getal per regel, maar er kunnen ook meerdere berekende waarden in een keer op het scherm worden getoond met één `print` statement. Dit kan door meerdere variabelen op te geven gescheiden door komma's.

```
a = 1
b = 2
c = 3
print('a =', a, 'b=', b, 'c=', c)
```

Het kan handig zijn tekst toe te voegen, zodat berekende waarden meer voor zichzelf spreken, zoals in onderstaand voorbeeld.

```
print('Na ', t, 'seconden, is de bal', y, 'meter hoog.')
```

Een andere manier om tekst te tonen op je beeldscherm kan met behulp van `format`. Je hoeft dan veel minder komma's en quotes te gebruiken en hebt er meer controle over. Het is dan niet langer nodig verschillende stukken te scheiden met komma's, maar je gebruikt een enkele `string`. Hierin geef je met accolades (`{}`) aan waar de waarden van variabelen kunnen worden ingevuld en sluit je af met de functie `format`, waarin je de namen van de variabelen aangeeft.

In de accolades kun je met een code aangeven hoe je tekst er uit komt te zien. Deze *codes* beginnen met een dubbele punt gevolgd door een aantal letters. Zie tabel 1 voor een aantal mogelijkheden.

Tabel 1: Codes voor het weergeven van gegevens.

<code>:d</code>	integer	<code>500</code>
<code>:.xf</code>	decimale notatie met x decimalen	<code>500.00</code> ($x = 2$)
<code>:.xe</code>	wetenschap. notatie met x decimalen	<code>5.0e+02</code> ($x = 1$)
<code>:s</code>	string	<code>'5'</code>

Oefenopdracht: Oefenen met het precies formatteren van tekst

- Verander de manier waarop de getallen t en y worden geformatteerd. Hoeveel correcte decimalen van `np.pi` kun je zo op je scherm te zien krijgen? (Antwoord: 15). Probeer behalve het aantal decimalen te variëren ook te spelen met het type door t en y af te drukken als string of integer! Let op wat er dan gebeurt. Je kunt gebruik maken van onderstaand voorbeeld:

```
t = np.pi
y = 22/7
print('Na {} seconden is de bal {} meter hoog'.format(t,y))
print('Na {:.2f} seconden is de bal {:.2f} meter hoog'.format(t,y))
```

4.3 Bestanden importeren

Net als bij het exporteren van gegevens voor later gebruik, moet er bij importeren een vertaalslag worden gemaakt om de gegevens uit een bestand om te zetten zodat deze bruikbaar zijn binnen Python. Daarvoor zijn allerlei instellingen, maar deze periode zien de bestanden er allemaal hetzelfde uit:

1. Het bestand bestaat uit regels (lines). Elke regel bevat of numerieke data of het is een commentaarregel. Zoals in elk tekst bestand zijn regels van elkaar gescheiden door een enter, of in programmeertaal: `'\n'`.
2. Elke regel bestaat uit één of meerdere getallen die van elkaar gescheiden door komma's. Het scheidingsteken heet de *delimiter*. Met `np.genfromtxt` (de functie die we willen gebruiken) kun je de delimiter specificeren.
3. Een commentaarregel is herkenbaar aan het `#` teken op de eerste positie. Precies zoals in een Python script. Commentaarregels aan het begin van een bestand heten ook wel de *header*.

Het doel is om bestanden die aan deze eisen voldoen te kunnen importeren en vooral correct te kunnen verwerken in Python. Concreet betekent dit dat na het inlezen van het bestand een `np.array` wordt aangemaakt van de data.

Het inlezen van bestanden die numerieke data bevatten in de vorm van een array (rijen en kolommen) kan heel makkelijk gebeuren met de `numpy` functie `genfromtxt()`. Deze functie negeert regels die beginnen met een `#` en dat komt goed uit, want dat is meestal toch vooral commentaar. Het weergeven van bijvoorbeeld twee kolommen uit de ingelezen data in een *xy*-plot stelt dan echt weinig meer voor. Zie volgend voorbeeld.

Code 4.3: [code-inc/w4/genfromtxt`vb1.py](#)

```
'''
Voorbeeld: het gebruik van genfromtxt
'''

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# de naam van het bestand
dir = 'http://nspracticum.science.uu.nl/DATA2020/DATA-Py/Databestanden/'
filename = dir+'vb1.txt' # het 'optellen' van strings

# lees de data in dit tab-gescheiden bestand
data = np.genfromtxt(filename, delimiter='\t')

# als het goed is kun je zien dat data een array met floats is
# en de size ervan is (20,3); zie in Spyder bij je Variable explorer
# of bekijk het resultaat van onderstaande print
print('size of data = ', np.shape(data))

# plot de ingelezen data; kolom 0 wordt niet gebruikt
(x, y) = (data[:,1], data[:,2])
plt.plot(x,y)

plt.show()
```

4.4 Slotopdracht: De Europese bananeninspectie

We slaan dit keer de oefenopdracht over en gaan direct door naar de eindopdracht. We passen de stof van de afgelopen weken toe op de strenge Europese regelgeving voor bananen.

1: Importeren van data

Bekijk het volgende bestand: [data-h4](#).

Sla een kopie van dit bestand op in dezelfde map waar ook het Python-script staat dat dit bestand moet gaan lezen en bewerken. Gebruik `np.genfromtxt` met de komma als `delimiter`, zodat je de meetgegevens in het bestand kunt inlezen en die in een `numpy`-array om kunt zetten.

2: Testen op dikte

We zullen de officiële criteria van de Europese Commissie aanhouden zoals vastgesteld in *Commission Regulation (EC) No 2257/94*. Deze richtlijnen stellen dat de minimale lengte van een banaan $L_{\min} = 14$ cm en de minimale dikte is $d_{\min} = 27$ mm. We passen nu nog geen criteria toe op de kromtestraal R of de smetten op het oppervlak A .

Voor bananen uit bepaalde Europese grondgebieden (Madeira, de Azoren, de Algarve, Kreta en Laconië) geldt vanwege klimaatfactoren het criterium op de lengte niet, maar mogen deze toch op de Europese markt verkocht worden. Ervan uitgaande dat de dataset gegenereerd bij Opdracht 1 betrekking heeft op bananen uit één van deze regio's, bereken het percentage bananen wat zou worden afgekeurd.

3: Lengte en dikte

Na onderzoek blijkt dat een slimme bananenhandelaar uit Portugal heeft geprobeerd om een partij bananen uit India als bananen afkomstig uit de Algarve te verkopen om zo de Europese regelgeving omtrent de lengte van een banaan te omzeilen. Toets de partij bananen nu niet enkel op dikte, maar ook op lengte. Hoeveel procent van de bananen wordt nu afgekeurd?

4: Klasseindeling

Binnen de Europese richtlijnen worden bananen in Klassen ingedeeld. De “Extra” klasse bevat bananen van “superieure kwaliteit”. Klasse I bananen is de standaardklasse en Klasse II bevat bananen met lelijke vorm. De bijbehorende criteria staan in de tabel hieronder.

Deel de bananen aan de hand van de criteria in bovenstaande tabel in in de verschillende klassen. Rapporteer voor de gegenereerde dataset hoeveel procent van de bananen in de Extra klasse, hoeveel in klasse I en hoeveel in klasse II worden ingedeeld, rapporteer ook hoeveel procent van de bananen afgekeurd is.⁶ Controleer of de bepaalde percentages optellen tot 100%.

Tabel 2: Criteria gesteld aan Bananen in de Europese Unie, per Klasse.

	Extra	I	II
d	≥ 27 mm	≥ 27 mm	≥ 27 mm
L	≥ 14 cm	≥ 14 cm	≥ 14 cm
R	$1.25L \leq R \leq 1.3L$	$1.2L \leq R \leq 1.4L$	geen
A	≤ 1 cm ²	≤ 2 cm ²	≤ 4 cm ²

⁶Het correcte antwoord ligt rond: $1.52 \pm 0.04\%$ Extra, $12.84 \pm 0.10\%$ Klasse I, $66.50 \pm 0.15\%$ Klasse II en $19.13 \pm 0.13\%$ afgekeurd.

5 Functies

In hoofdstuk 1 hebben we al kort gekeken naar functies. In dit hoofdstuk gaan we hier dieper op in, want het is heel erg fijn om functies te gebruiken. Een functie is een stuk code dat eerder gemaakt is en een bepaalde taak uitvoert. Het resultaat van een functie, bijv. de sinus-functie, wordt bepaald door de waarden die je meegeeft als argument(en). In Python kun je met `def` heel makkelijk zelf allerlei functies maken en gebruiken. Er zijn meerdere mogelijkheden:

- Functies kunnen nul of meer argumenten hebben.
- Soms hoeft je argumenten niet op te geven en wordt een standaardwaarde (*defaultwaarde*) gebruikt.
- Soms kom je functies tegen met argumenten die een naam/label hebben: de *keyword* argumenten.
- Soms kom je functies tegen die een wisselend aantal argumenten gebruiken.

Je hebt hier bijvoorbeeld al kennis mee gemaakt met `plt.plot(x,y,'k+',label='sinus')`. Hierin is `y` een argument, `x` en `'k+'` een optioneel argument en `label='sinus'` een keyword argument (omdat je `label=...` gebruikt).

In dit hoofdstuk leer je hoe je zelf functies kunt schrijven en gebruiken. Dit is ook nuttig als je op internet informatie over functies opzoekt (documentatie).⁷

Let op: een functie met nul argumenten zal altijd hetzelfde doen. Denk bijvoorbeeld aan `plt.show()`: er staat nooit iets tussen de haakjes en deze functie zal dan ook altijd precies hetzelfde doen.

5.1 Constructie van functies

Informatie wordt naar een functie gestuurd in de vorm van argumenten. Een serie argumenten wordt opgegeven en de volgorde van de argumenten bepaalt welk argument welk is.

```
def f(a,b):
    return a + 2*b
```

```
print(f(1,2)) # 5
print(f(2,1)) # 4
```

Het is ook mogelijk om argumenten te labelen, dan maakt de volgorde niet uit:

```
print(f(a=1,b=2)) # 5
print(f(b=1,a=2)) # 4
print(f(b=2,a=1)) # 5
```

Als sommige argumenten wel, en andere niet gelabeld zijn, dan moeten de **niet** gelabelde argumenten eerst komen, en er mag geen conflict optreden. De volgende twee functie aanroepen geven dan ook een foutmelding: `f(a=1, 2)` en `f(1, a=2)`, terwijl `f(1,b=2)` wel correct is.

⁷Kijk bijvoorbeeld op https://matplotlib.org/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.plot.html voor de documentatie over de functie `plt.plot()`.

5.2 Extra argumenten

Een functie kan een *wisselend* aantal argumenten mee krijgen. Die voer je in door bijvoorbeeld `f(a,b,*args)`, waar `*args` (van *arguments*) een willekeurig aantal argumenten kan zijn. Dat maakt het sterretje ervoor duidelijk. Bijvoorbeeld het optellen van een willekeurig aantal elementen:

```
def mijn_som(*args):
    som = 0
    for arg in args:
        som += arg
    return som

print( mijn_som(1,2,3) )      # 6
print( mijn_som(2,1,3,4,5) ) # 15
print( mijn_som() )          # 0
```

Dit is natuurlijk een erg droog voorbeeld. Let erop dat je op deze functie niet kunt gebruiken om bijv. de elementen in een lijst op te tellen. Dus

```
mijn_lijst= [1,2,3]
print( mijn_som(mijn_lijst) )      # geeft foutmelding
```

Oefenopdracht: Extra argumenten

- (a) Test de functie `mijn_som`. Krijg je de voorspelde uitkomsten?
- (b) Probeer ook het voorbeeld met `mijn_lijst`. Hoe kun je tóch de lijst gebruiken? (*Hint*: maak gebruik van een **for**-loop om losse argumenten te maken.)

Een handige toepassing is wanneer een functie een andere functie moet aanroepen. Ter verduidelijking hieronder een voorbeeld, waarin de functie `my_plot` met soms 4 en anders 5 argumenten moet worden aangeroepen om de gewenste plaatjes te krijgen.

Code 5.1: [code-inc/w5/voorbeeld5'2.py](#)

```
# Rechte lijn
def f(x,a,b):
    return a + b*x

# Sinus
def g(x,a,b,c):
    return a + b*np.sin(c*x)

## Simpele plotfunctie:
# plot "functie" op het bereik "x"
# extra argumenten worden doorgegeven met *args
def my_plot(x,functie,*args):
    plt.plot(x,functie(x,*args))
    plt.show()
```

```
# Bereik:
x_arr = np.linspace(-5.,5., num=100)
```

Het runnen van dit script ‘doet’ niks (geeft geen output). Na het runnen zijn de functies en variabelen in het script wel actief in de *console*.

Oefenopdracht: Extra argumenten (vervolg)

- (c) Laad en run de voorbeeldcode met de functie `my_plot`. Test nu één voor één de volgende vier regels code: (*Hint*: type deze regels in de *command line* van de Console in Spyder; waar normaal je geprinte text verschijnt.)

```
my_plot(x_arr,f,1,2)
my_plot(x_arr,g,1,2)
my_plot(x_arr,f,1,2,3)
my_plot(x_arr,g,1,2,3)
```

Welke werken er wel en welke niet? Begrijp je waarom?

- (d) Maak ook een eigen functie met 4 argumenten (wees creatief, gebruik bijvoorbeeld machten, wortels en sinussen) en plot deze functie met de `my_plot` functie van hierboven.

5.3 Defaultwaarden

Sommige argumenten worden maar zelden gebruikt of juist altijd op dezelfde manier. Een plot van temperatuurverloop bijvoorbeeld is eigenlijk altijd prettiger te lezen mét gridlijnen. Maar het is wel fijn als je dit soms kunt aanpassen (in dit geval het grid onderdrukken). Daarvoor zijn defaultwaarden erg praktisch: je kunt een argument standaard een waarde toekennen in een functie, tenzij je het anders opgeeft. Kijk maar eens naar het volgende voorbeeld:

Code 5.2: [code-inc/w5/voorbeeld5`3.py](#)

```
## Simpele plotfunctie:
# plot een rechte lijn op het bereik "x"
# voor een grid maken we gebruik van een defaultwaarde
def my_plot(x,a,b,*args,grid=True):
    y = a + b*x
    plt.plot(x,y)
    if grid:
        plt.grid()
    plt.show()

# Bereik:
x_arr = np.linspace(-5.,5., num=100)
```

Oefenopdracht: Defaultwaarde

1. Herhaal de opdracht van de vorige paragraaf, maar nu met de volgende regels:

```
my_plot(x_arr,1,2)
my_plot(x_arr,1,2,True)
my_plot(x_arr,1,2,False)
```

Wat gebeurt er?

5.4 Slotopdracht: Eigen plotfunctie

Als je met een bak data aan het werk bent, maak je vaak plots die (bijna) helemaal hetzelfde zijn, op de lijnen na. Daarom is het best fijn om een standaardfunctie te hebben die je in elke opdracht opnieuw kunt gebruiken, en met behulp van argumenten aan te passen is naar hoe de specifieke opdracht. In deze opdracht heb je alle vrijheid, op één regel na: je `my_plot`-functie begint met deze regel:

```
def my_plot(x,functie,*args,style='k-',label=None,
            xmin=min(x),xmax=max(x),ymin=None,ymax=None,
            xlabel=None,ylabel=None,titel=None,
            legenda=False,grid=True,show=True):
```

Hier staat `x` voor het bereik op de x-as, `functie` voor de functie die op de y-as geplot wordt, `*args` voor de argumenten die die functie nodig heeft. Vervolgens komen de keyword-arguments: `style` staat voor de kleur en vorm van de lijn, `label` staat voor het label van je lijn. `xmin`, `xmax`, `ymin` en `ymax` staan voor het bereik op de x- en y-as. `xlabel`, `ylabel` en `titel` spreken voor zich; `legenda` voor `plt.legend()`, `grid` voor `plt.grid()` en `show` betekent `plt.show()`.

Als *proof-of-concept* moet je vervolgens het volgende data-bestand downloaden en importeren, om vervolgens elke kolom te plotten met behulp van jouw plot-functie. Plot ook in elke figuur het bijbehorend voortschrijdend gemiddelde over de afgelopen 10 waarden. Hiervoor kun je je functie van de slotopdracht van hoofdstuk 2 hergebruiken. (Hoe goed was je commentaar destijds? Begrijp je jouw script van toen nu nog steeds?)

6 Meet je leefomgeving

Dit hoofdstuk is de klapper op de vuurpijl. De afgelopen weken heb je een kastje vol met sensoren mee naar huis gehad (tenzij je te ver weg woont). Dit kastje heeft lange tijd data verzameld van jouw leefomgeving, en het is tijd dat we die data gaan verwerken. Niet toevallig dat we Python combineren met het Meet je leefomgeving-project.

De sensorkastjes zijn op zichzelf best ‘dom’: het enige wat ze doen is de sensoren uitlezen en de data versturen. Aan jou nu de taak om van deze data chocola te gaan maken: hoe was de temperatuur de afgelopen weken, hoeveel fijnstof is er rond jouw huis, en hoeveel lawaai maken jouw burens nou werkelijk?

De eerste vijf hoofdstukken hebben we geleerd hoe Python werkt, hoe je `numpy` en `matplotlib` kan gebruiken, data kan importeren, bewerken en opslaan. Dat gaat nu allemaal samenkomen in de eindopdracht. Tot en met de vrijdag voor de toetsweek gaan we hiermee aan de slag.

Dit hoofdstuk bevat nauwelijks nieuwe stof: in principe kun je alles wat je tot nu toe geleerd hebt combineren om de eindopdracht te maken. De informatie in dit hoofdstuk geeft jou vooral de nodige kennis om te weten wat voor data je nou werkelijk bekijkt en wat voor plaatjes je moet maken, en een enkele truc die specifiek voor dit project fijn is om te weten.

6.1 De sensoren

Het kastje meet een flink aantal dingen. We behandelen de sensoren hier één voor één met de bijbehorende informatie zoals eenheden.

6.1.1 ADC: accuspanning

Het meest cruciale onderdeel is de accu. Hiervoor maken we geen gebruik van een fysieke sensor, maar van de ingebouwde

- 0) ADC: een Analog to Digital Converter. Een analoog signaal (de stroom) komt binnen bij de microcontroller, die een digitaal signaal berekent in Volt, die de spanning van de batterij aangeeft. Deze ligt typisch tussen de 4.7 en 3.4 V. Een vol opgeladen batterij levert 4.7 à 4.8V en naarmate die leegloopt gaat de spanning terug naar 3.4V waarna de batterij ‘afslaat’.

6.1.2 BME280: temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid

Deze sensor zit flink verstopt in het kastje: het is de middelste van de paarse printplaatjes onder aan de voorkant. Deze sensor meet drie dingen:

- 1) Temperatuur, in graden Celsius (°C). Als het goed is gaat de temperatuur uiteraard elke dag op en neer.
- 2) Luchtdruk, in hectopascal (hPa); de volledige naam is barometrische luchtdruk. Deze heeft meestal een waarde net iets boven de 1000 hPa, en kan door de dag of week heen wat op en neer gaan, maar niet zo hard als de temperatuur.

- 3) Relatieve luchtvochtigheid, in procenten (%). De luchtvochtigheid verschilt met het weer, en hangt een beetje af van de luchtdruk. Dit gaat dus ook wat op en neer, net als de luchtdruk. Een logische waarde hiervoor is rond de 50%.

6.1.3 MAX4466: geluidsterkte

Deze chip zit links onderaan en heeft een gaatje ervoor aan de voorkant. Dat is voor een goede meting wel nodig, want deze chip meet:

- 4) Geluidsterkte, in decibel (dB). De chip zit wat naar achteren in het kastje zodat hopelijk de wind niet al teveel herrie maakt, maar het lawaai nog wel goed te meten is. Maar als het stormt zal dat waarschijnlijk best wat storing opleveren in je meting: goed om rekening mee te houden! Er is niet zomaar een gemiddeld waarde, maar het zal ergens tussen de 20 en 80 decibel liggen waarschijnlijk.

6.1.4 TSL2591: lichtintensiteit

Was het de afgelopen week groeizaam weer of ontbrak de zon? Voor een boer en onderzoekers een relevante vraag, en zodoende is deze blauwe chip linksbovenop toegevoegd, en die meet:

- 5) Lichtintensiteit, in Lux (lx). Deze waarde kan erg hard heen en weer gaan: in een klaslokaal is de lichtintensiteit een paar honderd lux, buiten op een bewolkte dag ongeveer 1000 lux, in daglicht 10 tot 20 kilolux (klx) en in volle zon loopt het zelfs op tot 100 klx. Maar: deze chip zit onder wat donker plastic, dus een zonnige dag betekent hier niet direct 100 klx.

6.1.5 VEML6070: UV-intensiteit

Gebroederlijk naast de lichtsensoren zit een kleine paarse chip. Deze meet:

- 6) UV-intensiteit. Deze heeft geen logische grootte en eenheid, maar daarover later meer. Een logische waarde voor deze sensor is tussen de 0 en 1000. Ook deze sensor heeft 'last' van de donkere plastic cover.

6.1.6 CJMCMU-811: VOC en CO₂-gehalte

Dit is de rechtse van de sensoren onder aan de voorkant met zijn eigen opening, en meet de luchtkwaliteit met betrekking tot:

- 7) VOC-gehalte in de lucht. VOC's zijn Vluchtige Organische Stoffen (*Volatile Organic Compounds*), gemeten in 'parts per billion' (ppb). Ze zijn verantwoordelijk voor smog, verzuring en hebben een (kleine) invloed op klimaatverandering. Ze worden geproduceerd door sommige planten en bomen, maar ook door mensen bij het gebruik van bijvoorbeeld verf en spuitbussen. Tot 250 ppb is een gezond gehalte; bij een aanhoudend niveau van 250-2000 ppb gedurende een aantal dagen is het opletten, en een gehalte van meer dan 2000 ppb is erg schadelijk voor de gezondheid.⁸

⁸Bron: <https://www.airthings.com/what-is-voc>

- 8) CO₂-gehalte in de lucht. Dit wordt gemeten in ‘parts per million’ (ppm): het aantal deeltjes dat per miljoen deeltjes in de lucht voorkomt. Gemiddeld lag dit in 2019 volgens Buienradar op 417 ppm. Uiteraard de grootste veroorzaker van het versterkte broeikas-effect. Hierover later ook nog een kanttekening.

6.1.7 SDS011: fijnstof

De grote metalen sensor onderin heeft ook een opening aan de voorkant, en een ventilator die je soms aan hoort slaan. Deze meet ook luchtkwaliteit, maar dan met betrekking tot fijnstof, in twee categoriën:

- 9) PM_{2,5} deeltjes (*particulate matter*): deeltjes met een diameter van minder dan 2,5 μm (micrometer). Dat is het formaat van rookdeeltjes, of de diameter van een gemiddelde bacterie. De maximale toegestane waarde volgens de Wereldgezondheidsorganisatie voor deze deeltjes is 10 $\mu g/m^3$. Dat is dan ook direct de eenheid waarin dit gemeten wordt.
- 10) PM₁₀ deeltjes: deeltjes met een diameter van minder dan 10 μm . Dat is kleiner of gelijk aan het formaat van een mistdruppeltje. De maximaal toegestaan concentratie in de lucht volgens de WHO is 20 $\mu g/m^3$.

6.1.8 Ublox NEO-6M GPS6MU2: GPS

Niet altijd is duidelijk waar precies je sensorkastje zich bevindt, of soms wil je een leuk overzichtje hebben van alle locaties. Daarom is ook de grote blauwe module met het metaal-roze blok bijgevoegd. Deze meet:

- 11) GPS-locatie, in NB-OL coördinaten. Coördinaten kun je echter niet zo makkelijk in een grafiekje weergeven, dus laten we dat hier achterwege. Mocht je de uitdaging aan willen gaan om GPS op een kaartje weer te geven is dat mogelijk, maar het valt wel buiten het doel van deze reader.

6.2 Handige informatie

Lees eerst de volgende paragraaf over de eindopdracht, en kom vervolgens hier terug voor hints over het opzetten van je script.

np.argsort()

De data van het sensorkastje is ongesorteerd. De meetwaarden worden allemaal in één keer verzonden en afhankelijk van het bereik, de kracht van de antenne en andere factoren komen de data allemaal net niet tegelijkertijd aan, en telkens in een andere volgorde. Om te sorteren kun je handig gebruik maken van `np.argsort()`; zie het voorbeeld:

```
data = np.array([0,20,30,40,10,60,50])
volgorde = np.argsort(data)           # [0 4 1 2 3 6 5] is de volgorde
sortering = data[volgorde]           # [0 10 20 30 40 50 60] gesorteerd
```

volgorde is hier het array dat aangeeft welke index op welke plek moet staan: `data[0]` hoort op plek 0, `data[1]` hoort op plek 4, `data[2]` op plek 1 enzovoorts. Aangezien elke meetwaarde bij een bepaald *channel*nummer hoort, kun je deze nummers gebruiken om de data te sorteren. Er zijn elf channels: 0 tot en met 10. Elke elf waarden kun je sorteren met behulp van deze nummers. *Hint: je kunt ook een deel van de data sorteren door bijvoorbeeld het volgende in te vullen: `np.argsort(data[1:4])`.*

6.3 De eindopdracht

Na het harde(?) werken om 5 hoofdstukken onder de knie te krijgen, ben je eindelijk klaar om de eindopdracht te maken. Deze opdracht luidt als volgt:

Verwerk de data van jouw meetkastje tot drie figuren: één figuur met alle data van de afgelopen maand, één figuur met alle data van de afgelopen week, en één figuur met de data van een dag naar keuze uit de afgelopen maand.

Voltooi je deze opdracht, dan scoor je daarmee een 8. Verwerk je de volgende punten ook, dan scoor je daarmee 1 extra punt. Steek je extra veel moeite in efficiëntie, commentaar en/of opmaak, kun je daar 1 punt extra voor scoren.

De exacte puntenverdeling en de onderdelen die aanwezig moeten zijn staan vermeld in de rubric op ItsLearning: kijk deze nog eens door voor je begint en af en toe terwijl je bezig bent.

Extra opgaven:

- De UV-index wordt vermeld als *maat*, zonder eenheid. Je kunt er in de praktijk dus eigenlijk weinig mee. De fabrikant heeft echter wel de matchende UV-*levels* bij vermeld. De plot van de UV-waarden is veel nuttiger als je deze levels of zones dus ook aangeeft. Maak daarbij gebruik van de volgende verdeling:
 - 1) "LOW": [0, 560],
 - 2) "MODERATE": [561, 1120],
 - 3) "HIGH": [1121, 1494],
 - 4) "VERY HIGH": [1495, 2054],
 - 5) "EXTREME": [2055, 9999]

Maak zelf een bewuste keuze: welke regio's geef je aan? Ga je door tot 9999? En geef je ook de namen weer, of alleen met kleuren de zones? En als lijnen, of als gekleurde vlakken? Maak hierbij gebruik van internet om het mooi te maken!

- De CJMCU-811-sensor is eigenlijk een beetje nep. Hij meet inderdaad correct het VOC-gehalte in de lucht, maar eigenlijk helemaal geen CO₂. De sensor neemt aan dat alle VOC's van mensen afkomstig zijn, en berekent dus hoeveel mensen er aanwezig zouden zijn volgens de VOC-waarde. Vervolgens neemt hij de gemiddelde CO₂-productie van een mens, om te berekenen hoeveel CO₂ er misschien dan in de lucht zit. Maak het inzichtelijk dat de sensor je hier voor de nep houdt door beide lijnen in dezelfde plot (in een nieuw figuur) te zetten. Helemaal mooi is het als je een tweede y-as (aan de rechterkant) weet toe te voegen waardoor je de lijnen kunt schalen.