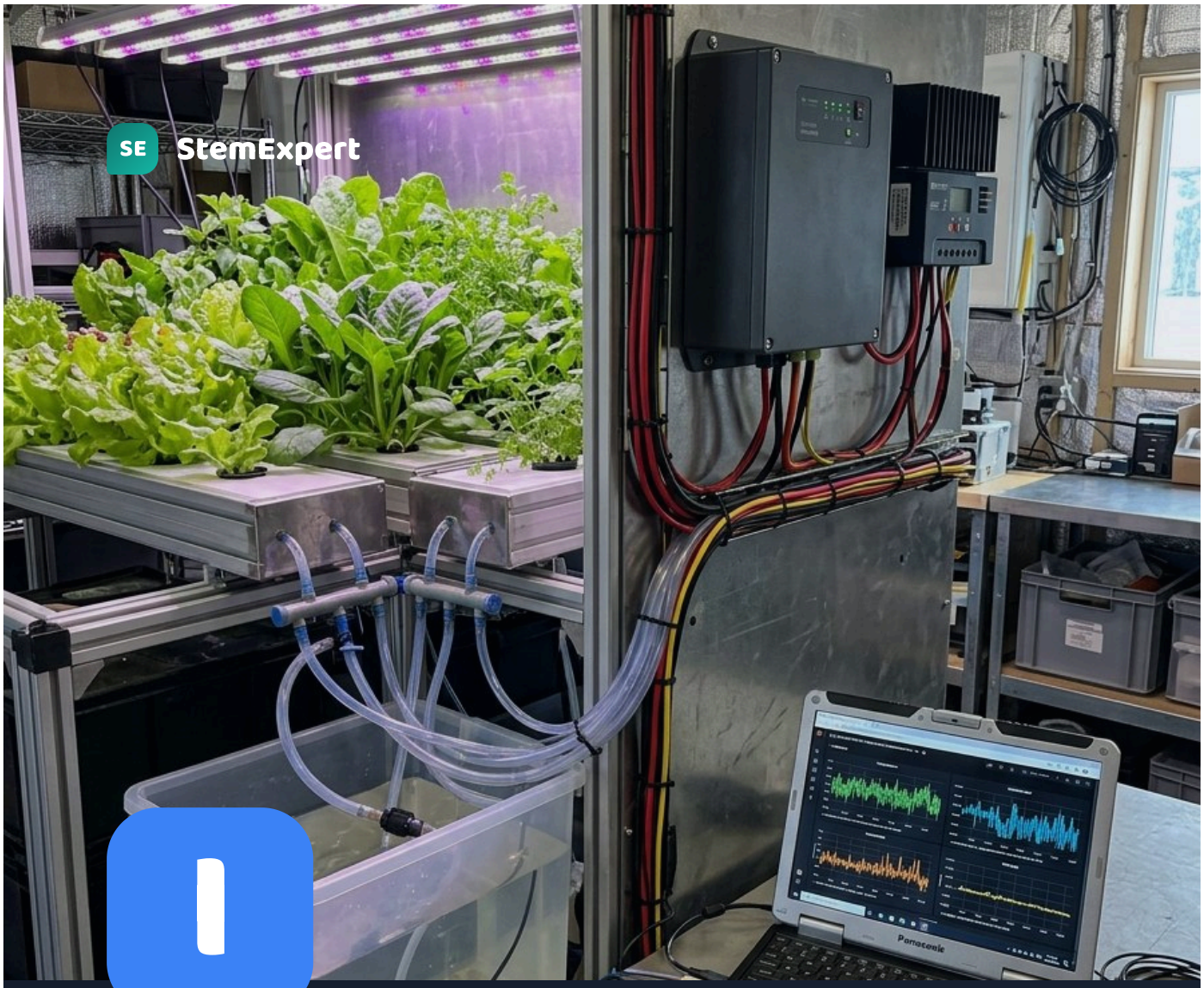


I

Intermediate Werkboek

Opdrachten in drie treden: oefenen, toepassen, uitdagen. Met antwoordruimte.

14-16 jaar · 40 hoofdstukken · schaal 3–7

Brecht Corbeel · schoolium.me

StemExpert Intermediate — Werkboek

Auteur: Brecht Corbeel
Uitgave: schoolium.me
Reeks: StemExpert — STEM in drie niveaus (Fundamental, Intermediate, Expert)

Voor wie: Voor wie Fundamental beheerst (tweede graad secundair, STEM-richtingen). Van kwalitatief naar kwantitatief: rekenen met modellen, meetfouten, Python en C++, en de eerste regelkringen.

Wiskunde op dit niveau: algebra, lineaire, kwadratische en exponentiële functies, rechthoekige driehoeken, vectoren

Habitat-laag: De klimaat- en energiemodule: eigen zonnestroom met batterij, een waterkringloop met hydroponie, een geregeld klimaat en datalogging.

Dit boek hoort bij een handboek, een werkboek en een oplossingenboek per niveau, en bij de offline website van StemExpert. De StemExpert-schaal (1 tot 9) loopt over de drie niveaus heen. Druk af zonder schaling (100 %).

Inhoud

I1 · Onderzoeken met data

I1 Meetfouten en nauwkeurigheid 5

I2 Experimenten ontwerpen en rapporteren 24

I3 Verbanden in data 45

I2 · Wiskunde als taal van STEM

I4 Functies als modellen 63

I5 Groei en verval: exponentiële modellen 83

I6 Goniometrie en vectoren 103

I3 · Mechanica

I7 Beweging beschrijven 121

I8 De wetten van Newton 144

I9 Arbeid, energie en vermogen 162

I10 Moment en evenwicht 179

I11 Druk en hydraulica 206

I4 · Chemie en materialen

I12 Atomen en het periodiek systeem 226

I13 Chemische bindingen en stofeigenschappen 242

I14 Reacties en stoichiometrie 258

I15 Zuren, basen en pH 274

I16 Redox en batterijen 291

I17 Polymeren en composieten 308

I5 · Energie en warmte

I18 Warmte berekenen 324

I19 Warmtetransport en isolatie 343

I20 Zonne-energie dimensioneren 361

I6 · Elektronica

I21 De wetten van Kirchhoff 380

I22 De spanningsdeler en sensoren 402

I23 Halfgeleiders: diode, led en transistor 421
I24 Condensatoren en de RC-tijd 440
I25 Van analoog naar digitaal 460
I26 Motoren en actuatoren 476

I7 · Programmeren

I27 Python: de basis 494
I28 Functies, lijsten en data in Python 516
I29 Microcontrollers programmeren in C++ 534
I30 Datalogging en communicatie 559

I8 · Regelen en robotica

I31 Regelsystemen 580
I32 Toestandsmachines 602
I33 Een mobiele robot 627

I9 · Leven en biotechnologie

I34 Enzymen en stofwisseling 645
I35 Micro-organismen en biotechnologie 667
I36 Hydroponie en voedselproductie 687

I10 · Ontwerpen en data

I37 Parametrisch ontwerpen 706
I38 Duurzaam ontwerpen 727
I39 Data visualiseren en eerste stappen in AI 745

I11 · Habitat I: energie, water en klimaat

I40 Integratieproject: de klimaatmodule 763

I INTERMEDIATE · DEEL I1 · ONDERZOEKEN MET DATA

WERKBOEK · HOOFDSTUK 1

Meetfouten en nauwkeurigheid

Waarom elke meting een marge heeft, en hoe je die eerlijk in een getal zet

Je begint met herkennen, noteren en afronden. Daarna reken je met echte meetreeksen: gemiddelden, standaardafwijkingen, fouten die doorwerken in een dichtheid of een volume, uitschieters. In de laatste trede ontwerp je zelf een betere meting en licht je de sensoren van de meetkas door: opdracht 1.14 is een bouwsteen voor de klimaatmodule van Habitat.

5× oefenen | 6× toepassen | 4× uitdagen | ± 301 min

O Onderzoeken en meten | W Wiskundig modelleren



Drie thermometers naast elkaar, drie verschillende antwoorden. Welke vertrouw je?

1.1 Systematisch of toevallig?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Zes leerlingen beschrijven een probleem met hun meting.

a Je leest een maatcilinder telkens van schuin boven af.

- A systematisch
- B toevallig

b Je start de stopwatch de ene keer iets te vroeg, de andere keer iets te laat.

- A systematisch
- B toevallig

c De balans toont 0,3 g als er niets op ligt.

- A systematisch
- B toevallig

d De temperatuursensor van de kas hangt in de volle zon.

- A systematisch
- B toevallig

e Kleine luchtstromen doen de laatste decimaal van een precisiebalans verspringen.

- A systematisch
- B toevallig

f Kies twee systematische fouten uit deze lijst en leg uit hoe je elk ervan zou opsporen of wegwerken.

1.2 Beduidende cijfers

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Tel de beduidende cijfers en reken met meetwaarden volgens de vuistregels.

a Hoeveel beduidende cijfers hebben: $0{,}0470\ \text{m}$; $305\ \text{g}$; $2{,}00\ \text{V}$; $6{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{A}$?

b Rond af op 3 beduidende cijfers: $9{,}8066\ \text{m/s}^2$; $0{,}0012345\ \text{kg}$; $123\,456\ \text{s}$.

c Bereken en rond correct af: $4{,}52\ \text{cm} \times 2{,}1\ \text{cm}$.

d Bereken en rond correct af: $125{,}4\ \text{g} - 3{,}27\ \text{g}$.

e Een leerling deelt $10{,}0\,\mathrm{cm}$ door 3 (drie gelijke stukken) en schrijft $3{,}3333333\,\mathrm{cm}$. Wat is juist, en waarom telt die 3 niet mee als 'één beduidend cijfer'?

1.3 Absolute en relatieve fout

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Reken om tussen absolute en relatieve fout.

a $m = (250 \pm 2)\,\mathrm{g}$. Bereken de relatieve fout in procent.

b $t = (4{,}2 \pm 0{,}2)\,\mathrm{s}$. Bereken de relatieve fout in procent.

c Een afstand van $2{,}50\,\mathrm{m}$ heeft een relatieve fout van 0,4 %. Hoe groot is de absolute fout? Noteer het resultaat.

d Een multimeter meet op het bereik van 20 V met een nauwkeurigheid van ± (0,5 % + 2 digits). Het scherm toont 12,00. Bereken de fout (1 digit is hier 0,01 V) en noteer het resultaat.

1.4 Correct noteren

Oefenen · 4 · Rekenen · 10 min

Een leerling noteerde deze meetresultaten. Schrijf ze telkens correct.

a $l = 12{,}3456 \pm 0{,}2\,\text{cm}$

b $m = 81{,}4\,\text{g} \pm 0{,}153\,\text{g}$

c $t = 2{,}5 \pm 0{,}05\,\text{s}$

d $I = 0{,}0253\,\text{A} \pm 0{,}0004\,\text{A}$ (in mA)

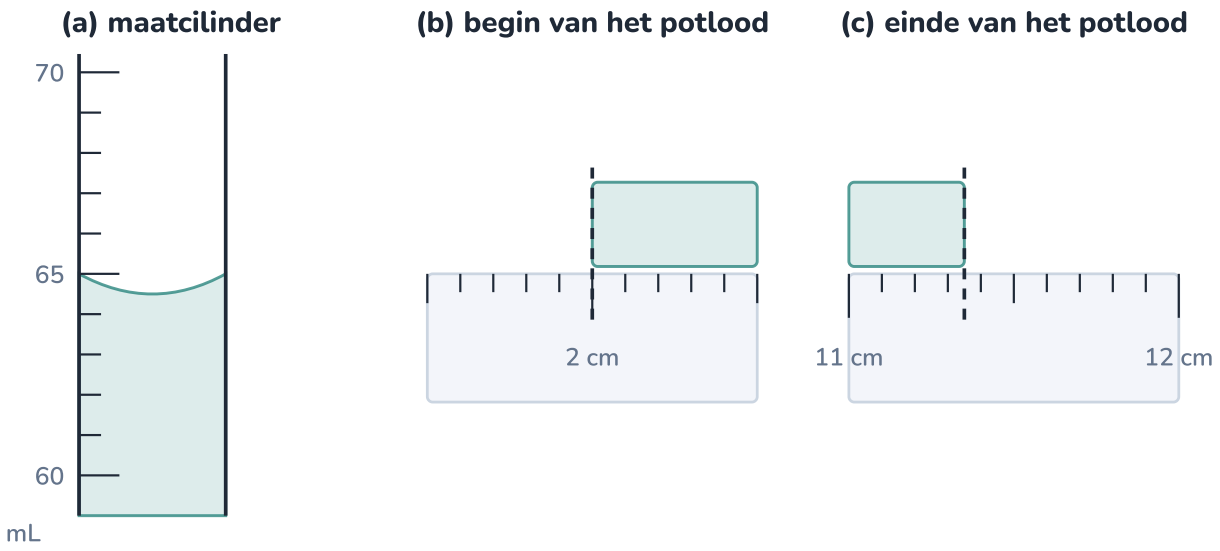
e $T = 293{,}15 \pm 1\,\text{K}$

f Bij (c) moest je een cijfer toevoegen aan de waarde. Mag dat? Leg uit.

1.5 Aflezen met een afleesfout

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Hieronder zie je (a) een uitvergroot stuk van een maatcilinder en (b) en (c) twee uitvergrote stukken van een lat waarlangs een potlood ligt.



Links het wateroppervlak in een maatcilinder, rechts het begin en het einde van een potlood langs een lat.

a Noteer het volume in de maatcilinder als waarde ± afleesfout. Waar lees je af?

b Noteer de aflezing aan het begin en aan het einde van het potlood, in mm, elk met afleesfout.

c Bereken de lengte van het potlood met fout.

d Waarom is het beter om het potlood tegen het nulpunt van de lat te leggen?

1.6 Hoe hoog is de plant?

●●○ Toepassen | 4 | Rekenen | 15 min

Zes leerlingen meten na elkaar de hoogte van dezelfde basilicumplant met dezelfde lat: 23,4 cm; 23,9 cm; 23,1 cm; 23,6 cm; 24,0 cm; 23,5 cm.

a Bereken het gemiddelde, het bereik en de mediaan.

b Bereken de standaardafwijking met de hand, in een tabel.

h (cm)	h – gem. (cm)	(h – gem.)² (cm²)

c Noteer het resultaat als waarde ± fout.

d De plant verandert niet, de lat ook niet. Waarom verschillen de metingen dan? Noem twee oorzaken en één afspraak die de spreiding kleiner maakt.

1.7 De dichtheid van een blokje

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een metalen blokje wordt opgemeten met een schuifmaat en gewogen: $l = 5{,}02\,\text{cm}$, $b = 3{,}01\,\text{cm}$, $h = 2{,}00\,\text{cm}$, elk $\pm 0{,}01\,\text{cm}$; $m = (81{,}6 \pm 0{,}1)\,\text{g}$. Enkele dichtheden: aluminium 2,70 g/cm³, titaan 4,51 g/cm³, zink 7,14 g/cm³, ijzer 7,87 g/cm³.

a Bereken het volume en de dichtheid (nog niet afronden).

b Bereken de relatieve fout op de dichtheid. Welke meting draagt het meest bij?

c Noteer de dichtheid correct. Van welk metaal is het blokje?

1.8 Drie thermometers in ijswater

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Drie thermometers staan in een bekerglas met smeltend ijs in water. Dat mengsel is 0,0 °C. Elke thermometer wordt zes keer afgelezen, met een halve minuut ertussen.

meting	1	2	3	4	5	6
thermometer A (°C)	0,1	−0,1	0,0	0,2	−0,1	0,1
thermometer B (°C)	1,6	1,4	1,7	1,5	1,5	1,6
thermometer C (°C)	−0,8	0,6	0,3	−0,5	0,9	−0,4

a Bereken voor elke thermometer het gemiddelde en de standaardafwijking.

	gemiddelde (°C)	s (°C)
A		
B		
C		

b Welke thermometer is nauwkeurig én precies, welke precies maar niet nauwkeurig, en welke gemiddeld nauwkeurig maar niet precies? Koppel elk aan een dartbord uit het handboek.

c Thermometer B is goedkoop. Hoe zou je hem toch bruikbaar maken? Wat moet je dan eerst nog controleren?

1.9 Uitschieter of niet?

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Reeks 1: de lengte van de plantenbak, acht keer gemeten met een rolmeter (cm): 120,4; 120,3; 120,5; 120,4; 130,4; 120,3; 120,5; 120,4.

Reeks 2: reactietijden van één leerling (s): 0,22; 0,25; 0,21; 0,24; 0,27; 0,23; 0,20.

a Reeks 1: toets de waarde 130,4 cm. Wat is de vermoedelijke oorzaak? Noteer het resultaat.

b Reeks 2: is 0,27 s een uitschieter? Toets en noteer het resultaat.

c Waarom bereken je het gemiddelde en de standaardafwijking zonder de verdachte waarde?

1.10 Labo: je reactietijd meten met een vallende lat

Toepassen · 5 · Labo · 45 min

Een partner houdt een lat verticaal vast, met het nulpunt tussen jouw duim en wijsvinger (niet aanraken). Zonder waarschuwing laat hij los; jij knijpt zo snel mogelijk. Uit de valafstand d volgt je reactietijd: $t = \sqrt{2d/g}$, met d in meter en $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$.



Hoe verder de lat valt voor je knijpt, hoe langer je reactietijd.

a Meet tien keer. Noteer de valafstand en bereken telkens de reactietijd.

nr.	d (cm)	d (m)	t (s)

b Bereken gemiddelde en standaardafwijking van t. Toets of er een uitschieter is.

c Noteer je reactietijd correct als waarde ± fout.

d Noem een mogelijke systematische fout in deze methode en hoe je ze kleiner maakt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Tien metingen, eenheden in de kop, omzetting cm naar m correct, t met drie decimalen berekend.
Statistiek	Gemiddelde en s correct (n − 1); uitschieter getoetst tegen de andere metingen.
Notatie	Resultaat als (waarde ± fout) s, correct afgerond.
Kritische reflectie	Een echte systematische fout benoemd, met een concrete verbetering.

1.11 Hoe dik is een blad papier?

●●○ Toepassen · 5 · Onderzoeken · 30 min

Een blad printpapier is te dun om met een lat te meten. Je hebt een lat, een schuifmaat en een ongeopend pak van 500 bladen.

a Bereken de relatieve fout als je één blad (ongeveer 0,1 mm dik) met de lat zou meten. Wat besluit je?

b Beschrijf een methode waarmee je de dikte van één blad tot op 1 % kan bepalen. Hoe dik moet de stapel minstens zijn als je met de lat meet?

c Voer de meting uit met de lat en met de schuifmaat. Noteer beide resultaten met fout.

d Een pak dat je net openscheurde, meet dikker dan hetzelfde pak dat stevig aangedrukt is. Wat voor soort fout is dat, en welke afspraak maak je?

●●● Uitdagen

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

1.12 Hoeveel slingeringen tel je?

●●● Uitdagen · 6 · Rekenen · 15 min

Je timet een slinger met de hand. De standaardafwijking van één handmatige tijdmeting is 0,08 s, ongeacht hoe lang je meet. De slingertijd is ongeveer 1,8 s.

a Bereken de relatieve fout op T als je 1, 10 of 20 slingeringen samen timet.

b Hoeveel slingeringen moet je minstens samen timen om onder 0,5 % te blijven?

c Een klasgenoot stelt voor om 200 slingeringen te tellen. Geef twee redenen waarom dat geen goed idee is.

1.13 Het volume van een steen

●●● Uitdagen · 7 · Rekenen · 20 min

Om de dichtheid van een steentje te bepalen, weeg je het ($m = 20{,}3\,\text{g} \pm 0{,}1\,\text{g}$) en laat je het zakken in een maatcilinder van 100 mL. Het water stijgt van 50,0 mL naar 57,5 mL; elke aflezing heeft een fout van ± 0,5 mL. Graniet heeft een dichtheid van ongeveer 2,6 à 2,7 g/cm³, basalt ongeveer 2,9 à 3,0 g/cm³.

a Bereken het volume van de steen met fout. Hoe groot is de relatieve fout?

b Bereken de dichtheid met fout.

c Kan je met deze meting uitmaken of het graniet of basalt is?

d Stel twee verbeteringen voor en schat voor één ervan hoe klein de fout op de dichtheid wordt.

1.14 Habitat: de sensoren van de meetkas doorgelicht

Uitdagen · 6 · Habitat · 40 min

De klimaatmodule moet de temperatuur tot op 1 °C kennen en de relatieve luchtvochtigheid (RV) tot op 5 %, en dat voor minstens 95 % van de metingen. In de meetkas hangen een NTC-temperatuurmodule en een DHT11 (die ook de luchtvochtigheid meet). Je hangt er een geijkte referentiethermometer en een referentie-hygrometer naast en leest tien keer tegelijk af, verspreid over een dag.

nr.	referentie T (°C)	NTC-module (°C)	referentie RV (%)	DHT11 RV (%)
1	14,2	14,9	88	85
2	15,8	16,1	84	81
3	17,5	18,3	79	75
4	19,9	20,8	72	70

nr.	referentie T (°C)	NTC-module (°C)	referentie RV (%)	DHT11 RV (%)
5	22,4	22,4	64	61
6	24,6	24,8	58	53
7	25,3	25,9	55	52
8	23,1	23,6	61	56
9	20,2	20,8	70	67
10	17,0	17,3	79	75

a Bereken voor de temperatuur de verschillen NTC – referentie, hun gemiddelde (systematische fout) en standaardafwijking (toevallige fout).

b Doe hetzelfde voor de luchtvochtigheid (DHT11 – referentie).

c Haalt elke sensor de eis? Gebruik als maat: |systematische fout| + 2s.

d Stel voor elke sensor een correctie voor, als formule die de microcontroller kan gebruiken. Haalt de sensor de eis na correctie?

e Waarvoor mag je deze correcties niet zomaar gebruiken? Stel een aanvullende test voor.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekeningen	Verschillen, gemiddelden en standaardafwijkingen correct, met eenheden.
Beoordeling	Eis correct getoetst met |systematisch| + 2s, voor en na correctie.
Correctie	Formules met het juiste teken, bruikbaar in een programma.
Geldigheid	Grenzen van de test benoemd (bereik, één dag, veroudering) en een concrete vervolgtest.

1.15 Debat: mag je slechte metingen weglaten?

●●● Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Lotte meet tien keer de valtijd van een balletje. Twee metingen liggen wat verder van de rest. Ze laat ze weg, 'want dan is mijn standaardafwijking kleiner en ziet het resultaat er beter uit'. Haar klasgenoot Ayoub vindt dat ze alle tien moet houden, 'want weglaten is sjoemelen'.

a Geef een argument voor en een argument tegen elk van beide standpunten.

b Schrijf een regel van hoogstens drie zinnen die jullie klas voortaan volgt bij verdachte metingen.

c Wat moet er in het verslag staan als je een meting weglaat?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan systematische en toevallige fouten herkennen, hun oorzaak benoemen en zeggen hoe je ze verkleint.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen wat nauwkeurig en precies betekenen, en waarom resolutie iets anders is dan nauwkeurigheid.	▢ ▢ ▢
Ik kan een meetresultaat correct noteren als (waarde ± fout) eenheid, correct afgerond.	▢ ▢ ▢
Ik kan de absolute en de relatieve fout berekenen en ermee instrumenten en metingen vergelijken.	▢ ▢ ▢
Ik kan beduidende cijfers tellen en de regels toepassen als je met meetwaarden rekent.	▢ ▢ ▢

Ik kan de fout op een berekende grootheid schatten met de regels voor som, verschil, product, quotiënt en macht.	☐ ☐ ☐
Ik kan gemiddelde, bereik, mediaan en standaardafwijking berekenen en uitleggen wat ze zeggen.	☐ ☐ ☐
Ik kan een uitschieter opsporen en onderbouwd beslissen wat je ermee doet.	☐ ☐ ☐

I INTERMEDIATE · DEEL I1 · ONDERZOEKEN MET DATA

WERKBOEK · HOOFDSTUK 2

Experimenten ontwerpen en rapporteren

Een eerlijke proef ontwerpen, alles noteren en er een verslag over schrijven dat een ander kan controleren

Je begint met het herkennen van vragen, hypotheses, variabelen en delen van een verslag. Daarna ontwerp je zelf proeven, houd je een labojournaal bij, beoordeel je bronnen en schrijf je resultaten en discussie. In de laatste trede reken je uit hoeveel herhalingen een proef nodig heeft, beoordeel je andermans verslag en schrijf je een onderzoeksplan voor de klimaatmodule van Habitat (opdracht 2.14).

5× oefenen | 5× toepassen | 4× uitdagen | ± 380 min

O Onderzoeken en meten | D Ontwerpen en maken



Een eerlijke vergelijking van twee lichtkleuren: elk vak een eigen lamp, elke pot een nummer, elke meting in het journaal.

2.1 Vraag, hypothese of voorspelling?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een groep onderzoekt papieren helikopters. Welk soort uitspraak is elke zin?

a Hoe hangt de valtijd van een papieren helikopter af van de lengte van de vleugels?

- A vraag
- B hypothese
- C voorspelling
- D resultaat
- E besluit

b Langere vleugels vangen meer lucht, waardoor de luchtweerstand groter wordt.

- A vraag
- B hypothese
- C voorspelling
- D resultaat
- E besluit

c Als we de vleugels van 5 cm naar 10 cm verlengen, dan neemt de valtijd over 2,00 m toe.

- A vraag
- B hypothese
- C voorspelling
- D resultaat
- E besluit

d Met vleugels van 10 cm viel de helikopter in (2,41 ± 0,08) s.

- A vraag
- B hypothese
- C voorspelling
- D resultaat
- E besluit

e De valtijd nam toe met de vleugellengte; de resultaten ondersteunen de hypothese.

- A vraag
- B hypothese
- C voorspelling
- D resultaat
- E besluit

2.2 Variabelen benoemen

Oefenen · 3 · Begrijpen · 15 min

(A) Leerlingen laten een speelgoedautootje van een helling rijden onder 10°, 20° en 30° en meten hoe ver het daarna op de vloer uitrijdt. Ze gebruiken telkens hetzelfde autootje en starten op dezelfde afstand van de voet van de helling.
(B) In de meetkas krijgen drie bakken radijs 0, 50 en 100 mL water per dag. Na vier weken worden de knollen gewogen.
(C) Een leerling test of een ventilator de kas koeler houdt: op maandag staat hij aan, op dinsdag uit. Ze vergelijkt de hoogste temperatuur van beide dagen.

a Vul de tabel in.

	onafhankelijk	afhankelijk	twee gecontroleerde
A			
B			
C			

b Proef C heeft een verstorende variabele. Welke, en hoe los je dat op?

c Proef B heeft één bak per behandeling. Waarom is dat een probleem?

2.3 Een scherpere onderzoeksvraag

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Deze vragen zijn te vaag om te onderzoeken.

a Is kokosvezel beter dan potgrond?

b Werkt isolatie?

c Is onze pomp sterk genoeg?

d Kies één van je vragen en operationaliseer de afhankelijke variabele: hoe meet je ze precies, met welk instrument en in welke eenheid?

2.4 In welk deel van het verslag?

Oefenen · 3 · Analyseren · 10 min

Deze zinnen komen uit het verslag van de slaproef. Omcirkel bij elke zin waar ze thuishoort: I (inleiding), M (methode), R (resultaten) of D (discussie).

a De planten werden met een rekenblad willekeurig over de zes vakjes verdeeld.

- A I
- B M
- C R
- D D

b Onder wit licht was de gemiddelde verse massa (121 ± 18) g.

- A I
- B M
- C R
- D D

c Verlichting is een van de grootste energieposten in een serre.

- A I
- B M
- C R
- D D

d Mogelijk speelde de temperatuur een rol, al verschilde die hoogstens 0,6 °C.

- A I
- B M
- C R
- D D

e We verwachtten dat rood-blauw licht beter benut zou worden.

- A I
- B M
- C R
- D D

f Figuur 1 toont de verse massa van elke plant.

- A I
- B M
- C R
- D D

g Een vervolgproef met meer planten per groep kan uitmaken of er een klein verschil is.

- A I
- B M
- C R
- D D

h De verse massa werd gemeten met een balans (± 0,1 g) na het afknippen op het grondoppervlak.

- A I
- B M
- C R
- D D

2.5 Bronnen in APA-stijl

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Gegevens van twee bronnen:

(1) Een artikel van Edwin Hubble uit 1929, getiteld 'A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae', in het tijdschrift *Proceedings of the National Academy of Sciences*, volume 15, nummer 3, bladzijden 168 tot 173, DOI 10.1073/pnas.15.3.168.

(2) Een boek van Georg Simon Ohm uit 1827, getiteld *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*, uitgegeven door T. H. Riemann.

a Schrijf beide bronnen zoals ze in de bronnenlijst staan, in de juiste volgorde.

b Schrijf de verwijzing in de tekst tussen haakjes voor bron (1), en voor een bron van drie auteurs uit 2020 waarvan de eerste Janssens heet.

c Je neemt letterlijk een zin over van bladzijde 170 van bron (1). Wat moet je doen?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

2.6 Zoek de fouten in deze proefopzet

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Twee leerlingen willen weten of een nieuwe vloeibare meststof basilicum sneller laat groeien. Ze kopen zes plantjes. De drie mooiste krijgen meststof en komen op de vensterbank bij de verwarming; de drie andere krijgen gewoon water en staan achteraan in het lokaal. Na twee weken meet de leerling die het idee had de hoogte van elke plant. Ze schrijven: 'De planten met meststof waren gemiddeld 2 cm hoger. Onze hypothese is bewezen.'

a Noem minstens vijf fouten in de opzet of in het besluit.

b Herschrijf de proefopzet zodat ze eerlijk is.

2.7 Ontwerp een kiemproef

Toepassen · 5 · Ontwerpen · 30 min

Hydroponische teelt gebeurt vaak met een voedingsoplossing van 18 tot 22 °C. Ontwerp een proef die onderzoekt hoe de temperatuur de kieming van radijszaadjes beïnvloedt. Je hebt een koelkast (6 °C), het lokaal (20 °C), een broedstoof die je kan instellen, petrischalen en 500 zaadjes.

a Onderzoeksvraag, hypothese en voorspelling.

b Variabelen: onafhankelijk (met de waarden die je kiest), afhankelijk (geoperationaliseerd), minstens vier gecontroleerde.

c Hoe zorg je voor herhalingen, loting en blind tellen?

d Teken de tabel waarin je de ruwe gegevens zal noteren.

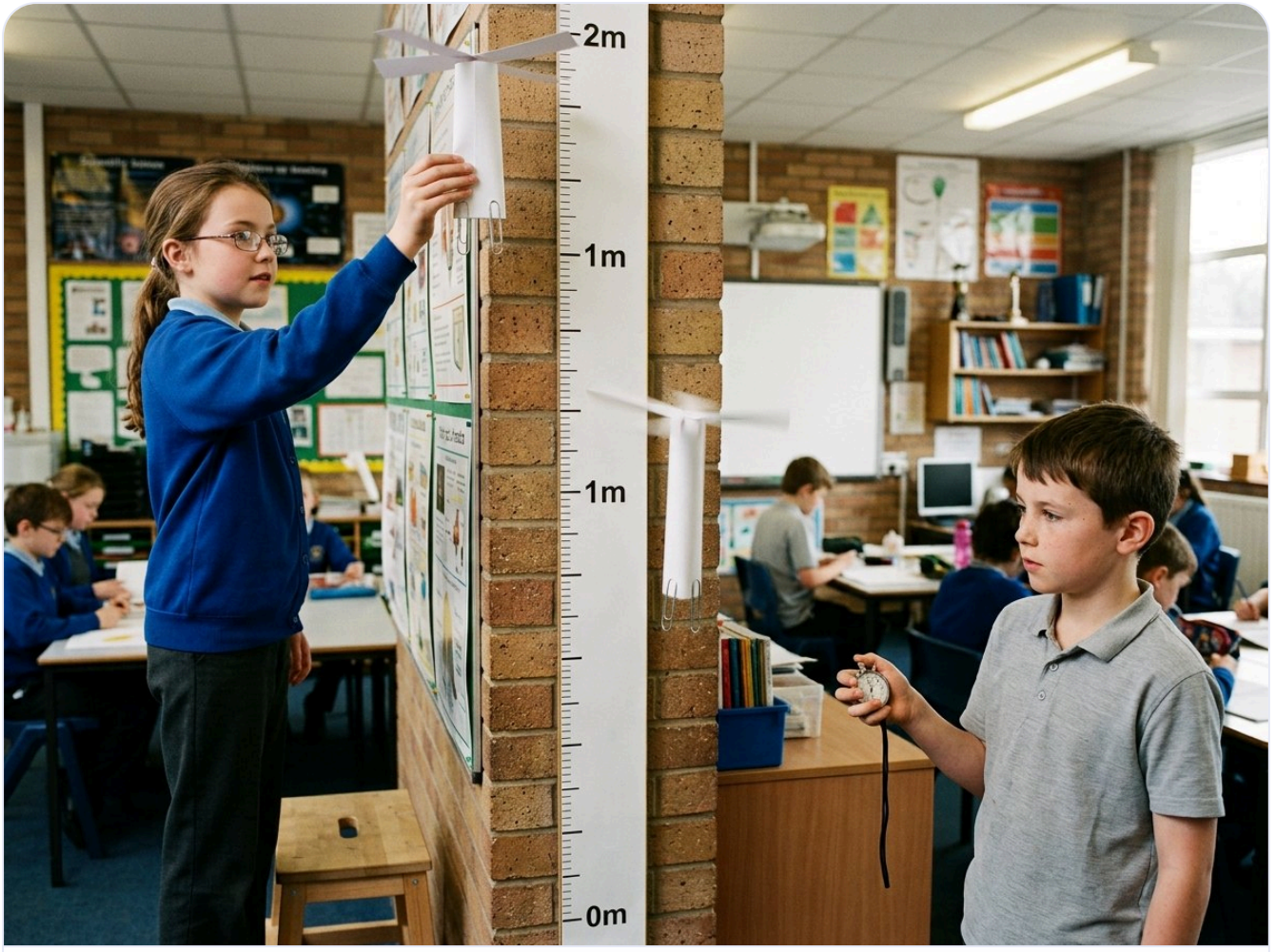
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vraag en hypothese	Vraag met één onafhankelijke en één afhankelijke variabele; hypothese met een reden; voorspelling in als-dan-vorm.
Variabelen	Minstens drie temperaturen; kieming precies gedefinieerd; relevante gecontroleerde variabelen.
Eerlijkheid	Meerdere schalen per temperatuur, geloot, op code en blind geteld.
Tabel	Grootheden en eenheden in de kop, een rij per schaal, ruimte voor opmerkingen.

2.8 Labo: de papieren helikopter, met labojournaal

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Knip papieren helikopters met vleugels van 4, 6, 8 en 10 cm (verder alles gelijk, met één paperclip onderaan). Laat ze van 2,00 m hoogte vallen en meet de valtijd. Houd alles bij in je labojournaal volgens de regels uit het handboek.



Vier vleugellengtes, vijf keer elk, alles in het journaal.

a Noteer in je journaal: vraag, hypothese, voorspelling en variabelen, voor je begint.

b Meet vijf keer per vleugellengte, in een geloot volgorde van lengtes.

vleugel (cm)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	gem. (s

c Waarom meet je in een gelote volgorde en niet eerst vijf keer 4 cm, dan vijf keer 6 cm enzovoort?

d Schrijf een besluit van drie zinnen, met de resultaten als waarde ± fout.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Journaal	Gedateerd, in pen, ruwe gegevens met eenheden, correcties leesbaar doorgehaald, afwijkingen genoteerd.
Opzet	Eén variabele veranderd; valhoogte, papier en loslaten gelijk; gelote volgorde.
Verwerking	Gemiddelde en s per lengte, correct afgerond.
Besluit	Antwoord op de vraag, getoetst aan de voorspelling, met de grootte van het verschil tegenover de spreiding.

2.9 Bronnen beoordelen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Voor de slaproef zoek je informatie over groeiledlampen. Je vindt: (A) een artikel uit 2021 in een wetenschappelijk tijdschrift met peer review, met methode, metingen en 45 bronnen; (B) een blog van een webwinkel die groeilampen verkoopt: 'Tot 40 % meer oogst met onze rood-blauwe panelen!'; (C) een Wikipedia-pagina over tuinbouwverlichting met 38 bronverwijzingen; (D) een forumbericht van een hobbykweker met foto's van zijn eigen oogst; (E) een antwoord van een AI-chatbot met twee bronnen erbij.

a Beoordeel elke bron kort met de vijf vragen (actueel, relevant, auteur, accuraat, doel).

b Welke bron(nen) gebruik je in je inleiding, en hoe gebruik je de andere?

c Wat doe je met de twee bronnen die de chatbot vermeldt?

2.10 Resultaten en discussie schrijven

Toepassen · 6 · Analyseren · 35 min

Een klas vergeleek basilicum in potgrond met basilicum in kokosvezel, acht planten per groep, geloot en blind gewogen. De verse massa na vijf weken (g):

plant	1	2	3	4	5	6	7	8
potgrond (g)	38,0	35,4	40,8	44,1	47,7	42,5	39,2	38,1
kokosvezel (g)	50,7	55,2	48,4	40,8	42,2	55,0	48,0	38,3

Een vooronderzoek gaf een spreiding van ongeveer 5 g per groep.

a Bereken per groep het gemiddelde en de standaardafwijking.

b Maak een figuur die elke plant en per groep het gemiddelde ± s toont.

c Schrijf de paragraaf Resultaten (drie à vier zinnen, met verwijzing naar je figuur).

d Schrijf de paragraaf Discussie. Gebruik de vuistregel om te beoordelen hoe sterk je besluit mag zijn.

Uitdagen

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

2.11 Hoeveel planten heb je nodig?

Uitdagen · 6 · Rekenen · 20 min

Voor een nieuwe slaproef weet je uit de vorige proef dat de verse massa binnen een groep een standaardafwijking van ongeveer 18 g heeft. Gebruik de vuistregel $n \approx 16\,(s/\delta)^2$ per groep.

a Hoeveel planten per groep heb je nodig om een verschil van 15 g te kunnen aantonen?

b En voor een verschil van 7,5 g? Vergelijk en verklaar.

c Je hebt maar plaats voor 32 planten in totaal. Welk verschil kan je dan nog betrouwbaar aantonen?

d Een klasgenoot zet 32 planten onder twee lampen (16 per kleur) en zegt: 'n = 16'. Wat is het probleem, en hoe los je het op met dezelfde 32 planten?

2.12 Debat: moet de weger blind zijn?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Bij de slaproef zegt een groepslid: 'Blind wegen is overdreven. Een balans liegt niet: 121 g is 121 g, of ik nu weet welke lamp het was of niet.'

a Geef twee argumenten die het groepslid gelijk geven.

b Geef minstens drie momenten in de proef waarop de verwachting van wie meet het resultaat toch kan beïnvloeden.

c Neem een standpunt in en verdedig het in vijf zinnen. Verwijs naar het verhaal van Kluge Hans.

2.13 Een verslag beoordelen

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Een klasgenoot vraagt feedback op een deel van zijn verslag. Lees het fragment.

> **Methode.** We hebben planten in twee bakken gezet, de ene met voeding en de andere zonder. We hebben ze om de paar dagen gemeten.
>
> **Resultaten.** De planten met voeding groeiden veel beter, zie de foto. Gemiddeld 14,3333 cm tegenover 11,5 cm. Dat komt doordat voeding goed is voor planten.
>
> **Besluit.** Voeding werkt, dus onze hypothese is bewezen.

a Noem vijf concrete problemen in dit fragment, telkens met het deel van het verslag waar het hoort.

b Herschrijf de eerste zin van de Resultaten zoals die in een goed verslag zou staan (je mag gegevens verzinnen voor de spreiding, maar zeg dat).

c Schrijf je feedback in twee zinnen die je klasgenoot helpen, niet alleen afbreken.

2.14 Habitat: een onderzoeksplan voor de klimaatmodule

Uitdagen · 7 · Habitat · 90 min

De klimaatmodule van Habitat krijgt een kweekruimte met ledverlichting, een hydroponiesysteem en een ventilator. Kies één ontwerpbeslissing die je met een proef wil onderbouwen, bijvoorbeeld: hoeveel uur licht per dag, welke EC van de voedingsoplossing, wel of geen ventilatie 's nachts, welk substraat. Schrijf het onderzoeksplan dat je aan de projectleiding voorlegt.

a Titel, achtergrond (met minstens twee beoordeelde bronnen) en onderzoeksvraag.

b Hypothese en voorspelling.

c Variabelen, met de operationele definitie van de afhankelijke variabele en de meetfout van je instrumenten (hoofdstuk 1).

d Proefopzet: controlegroep, aantal herhalingen (met de vuistregel en een geschatte spreiding), loting, blind meten, mogelijke verstorende variabelen.

e Planning en afspraken over het labojournaal (wie, wat, wanneer).

f Bronnenlijst in APA-stijl.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vraag en hypothese	Scherpe, meetbare vraag; hypothese met een reden uit de bronnen; voorspelling in als-dan-vorm.
Proefopzet	Controlegroep, onafhankelijke herhalingen onderbouwd met de vuistregel, loting, blind meten, verstorende variabelen benoemd en aangepakt.
Meten	Operationele definitie en meetfouten van de instrumenten.
Bronnen	Minstens twee bronnen, beoordeeld, correct vermeld in tekst en lijst.
Haalbaarheid	Realistische planning, materiaal en taakverdeling.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan een onderzoeksvraag scherp formuleren en er een toetsbare hypothese en een meetbare voorspelling bij schrijven.
- Ik kan de onafhankelijke, afhankelijke en gecontroleerde variabelen van een proef benoemen en een verstorende variabele herkennen.
- Ik kan uitleggen waarom een controlegroep, herhalingen, loting en blind meten nodig zijn, en ze in een proefopzet gebruiken.
- Ik kan met een vuistregel schatten hoeveel herhalingen een proef nodig heeft, en herkent pseudoreplicatie.
- Ik kan een labojournaal bijhouden dat een ander kan controleren.
- Ik kan een wetenschappelijk verslag opbouwen volgens inleiding, methode, resultaten en discussie.

Ik kan bronnen zoeken, beoordelen met vijf vragen, en correct vermelden in de tekst en in een bronnenlijst (APA).



WERKBOEK · HOOFDSTUK 3

Verbanden in data

De best passende rechte, de richtingscoëfficiënt als grootheid, en krommen die je rechttrekt

Je begint met hellingen en snijpunten aflezen, verbanden herkennen in tabellen en rekenbladformules lezen. Daarna teken je zelf best passende rechten, reken je de kleinste kwadraten uit, werk je in een rekenblad en trek je krommen recht. In de laatste trede kalibreer je de bodemvochtsensor van Habitat (opdracht 3.11), zoek je een fout in Python-code, schat je de fout op een helling en ontmasker je een misleidende R^2.

4× oefenen | 6× toepassen | 4× uitdagen | ± 336 min

O Onderzoeken en meten | W Wiskundig modelleren | A Data en AI

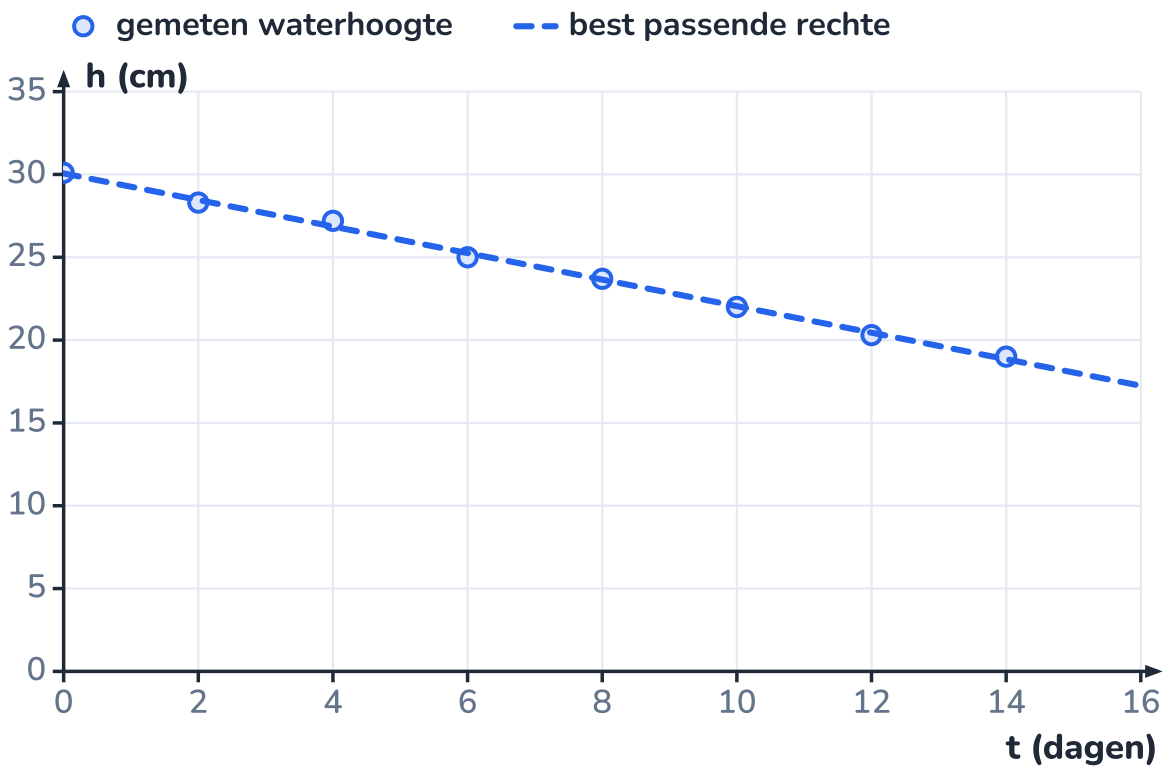


IJswater, kraantjeswater, warm water: drie referentiepunten, één rechte, en de sensor spreekt de waarheid.

3.1 Helling en snijpunt aflezen

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Het waterreservoir van de kas wordt twee weken niet bijgevuld. Om de twee dagen meet je de waterhoogte.



De waterhoogte daalt door verdamping en door wat de planten opnemen.

a Lees het snijpunt met de verticale as af. Wat betekent het?

b Bepaal de richtingscoëfficiënt met twee punten op de rechte. Geef de eenheid en de betekenis.

c Schrijf het model $h = a \cdot t + b$ met getallen en eenheden.

d Wanneer is het reservoir leeg volgens het model? Waarom is die voorspelling onzeker?

3.2 Welk verband?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Vijf tabellen.

(A) x: 1, 2, 3, 4; y: 2,5; 5,0; 7,5; 10,0

(B) x: 1, 2, 3, 4; y: 12; 6; 4; 3

(C) x: 0, 1, 2, 3; y: 5; 8; 11; 14

(D) x: 1, 2, 3, 4; y: 1; 4; 9; 16

(E) x: 2, 4, 6, 8; y: 10; 8; 6; 4

a Welk verband heeft elke tabel: recht evenredig, lineair (niet evenredig), omgekeerd evenredig of geen van deze? Toon met een berekening.

	verband	hoe je het ziet
A		
B		
C		
D		
E		

b Schrijf voor A, B en C de formule.

c Wat zet je op de horizontale as om D recht te trekken?

3.3 Formules in een rekenblad lezen

Oefenen · 4 · Programmeren · 12 min

In een rekenblad staan in A2:A7 volumes (mL) en in B2:B7 de massa van beker plus vloeistof (g). In F1 staat de massa van de lege beker: 52,5. In C2 typt een leerling `=B2-$F$1` en trekt die formule door tot C7. Een klasgenoot typt in D2 `=B2-F1` en trekt die ook door.

a Welke formule staat er na het doortrekken in C5 en in D5?

b Wat berekent kolom C? Waarom geeft kolom D vanaf D3 foute waarden?

c Schrijf een formule voor E2 die de dichtheid van de vloeistof in die rij berekent, en die je kan doortrekken.

3.4 Wat zet je op de assen?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Voor elk model wil je een rechte. Vul in wat horizontaal en verticaal komt, en wat de helling betekent.

a Model per situatie.

situatie en model	horizontaal	verticaal	helling
vrije val: $s = \frac{1}{2}gt^2$			
stroom bij vaste spanning: $I = U/R$			
massa aan een veer: $T = 2\pi\sqrt{m/k}$			
vermogen in een weerstand: $P = U^2/R$ (vaste R)			

b Bij de veer vind je een rechte die niet door de oorsprong gaat. Bedenk een fysische reden.

●●○ Toepassen Toepassen

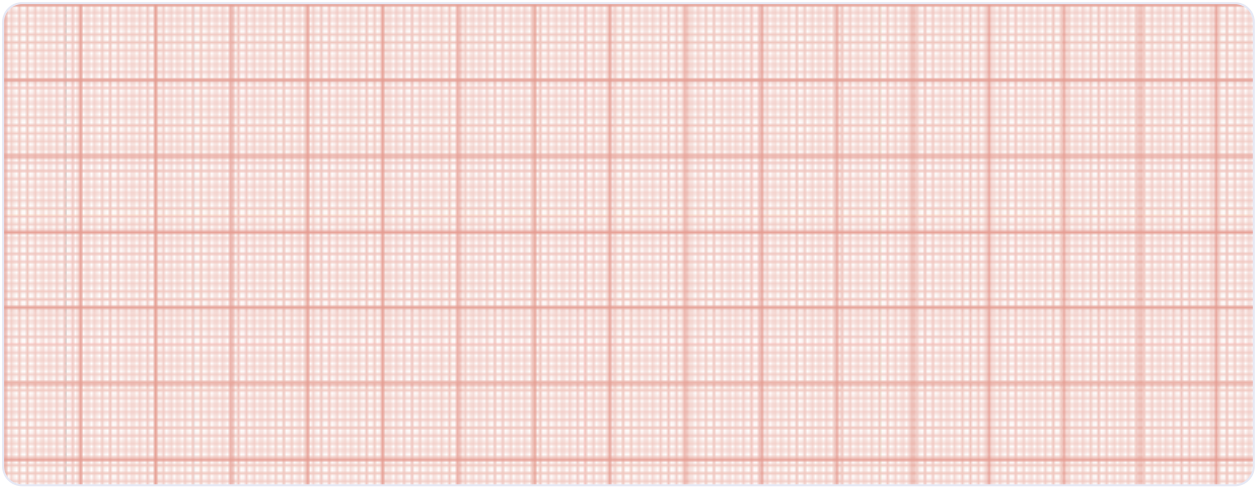
meerdere stappen, in een context

3.5 Een zonnepaneel op millimeterpapier

●●○ Toepassen · 4 · Tekenen · 25 min

Een zonnepaneel van 0,50 m² wordt bij verschillende instralingen G (W/m²) gemeten. Het elektrisch vermogen P (W): bij 200 W/m²: 16,9 W; 350: 31,7; 500: 46,4; 650: 61,8; 800: 75,1; 950: 89,8.

a Zet de punten uit (G horizontaal) en trek de best passende rechte op het oog.



b Bepaal de richtingscoëfficiënt. Toon dat haar eenheid m² is.

c De helling is het oppervlak maal het rendement. Bereken het rendement van het paneel.

d Het snijpunt is een beetje negatief. Wat betekent dat voor het paneel bij zeer zwak licht?

3.6 De kleinste kwadraten met de hand

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Tijdens een gelijkmatige regenbui vult een regenton zich. Je meet het volume V dat erin zit na t = 1, 2, 3, 4 en 5 minuten: 2,1 L; 3,9 L; 6,2 L; 7,8 L; 10,1 L.

a Bereken $\bar{t}$ en $\bar{V}$.

b Vul de tabel in en bereken a en b van de kleinste-kwadratenrechte.

t (min)	V (L)	$t - \bar{t}$	$V - \bar{V}$	$(t - \bar{t})(V - \bar{V})$	$(t - \bar{t})^2$

c Wat betekenen a en b? Is een snijpunt van die grootte te verwachten?

d Bereken de residuen. Liggen ze willekeurig rond nul?

3.7 In het rekenblad: de ledstrip

Toepassen · 5 · Analyseren · 25 min

Van een 12 V-ledstrip voor de kas worden stukken van verschillende lengte gemeten. Lengte L (m) en vermogen P (W): 0,5 m: 7,2 W; 1,0 m: 14,5 W; 1,5 m: 22,0 W; 2,0 m: 29,0 W; 2,5 m: 36,3 W; 3,0 m: 43,6 W.

a Zet de gegevens in een rekenblad, maak een spreidingsdiagram en laat een lineaire trendlijn met vergelijking en R^2 tonen. Noteer de vergelijking.

b Bereken helling en snijpunt ook met RICHTING en SNIJPUNT. Rond correct af en geef hun betekenis.

c Mag je hier het snijpunt op nul vastzetten? Motiveer.

d Voorspel het vermogen van 5,0 m strip. Een leverancier waarschuwt dat 12 V-strips langer dan 5 m aan het einde zwakker branden. Wat betekent dat voor je model?

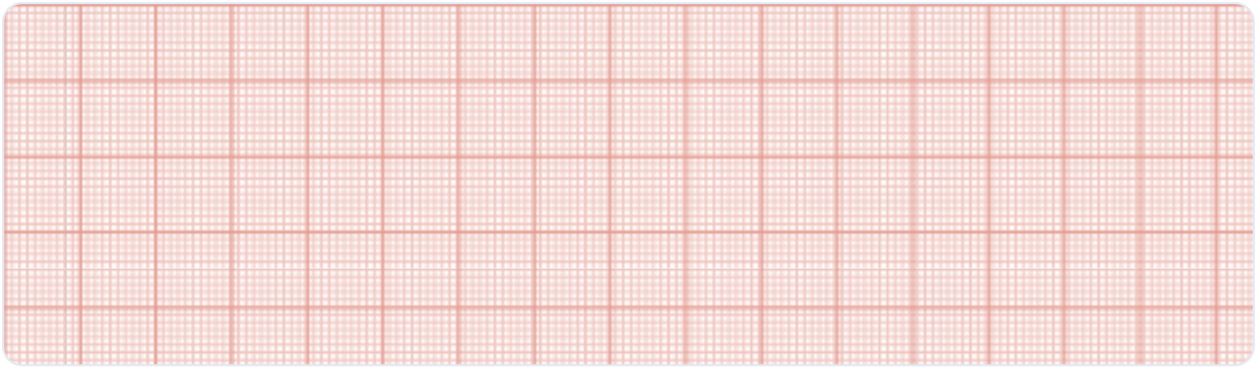
3.8 Omgekeerd evenredig: stroom en weerstand

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Een voeding van 12,0 V wordt telkens op een andere weerstand aangesloten. Weerstand R (Ω) en stroom I (A): 10 Ω: 1,174 A; 15 Ω: 0,790 A; 20 Ω: 0,599 A; 30 Ω: 0,394 A; 40 Ω: 0,298 A; 60 Ω: 0,200 A.

a Bereken $R \cdot I$ voor elke meting. Wat stel je vast?

b Bereken $1/R$ en zet I uit tegen $1/R$. Bepaal de helling met eenheid.



c Het product is net niet overal 12,0 V. Bedenk een verklaring.

3.9 De valversnelling uit een valproef

Toepassen · 6 · Analyseren · 25 min

Een kogeltje valt van verschillende hoogtes s door twee lichtpoortjes; een timer meet de valtijd t. s (m): 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; 1,00; 1,20; 1,40; 1,60. t (s): 0,201; 0,285; 0,350; 0,407; 0,455; 0,494; 0,533; 0,573. Model: $s = \frac{1}{2}gt^2$.

a Welke grootheden zet je op de assen om een rechte te krijgen? Wat is dan de helling?

b Bereken de nodige kolom en bepaal de helling (rekenblad of op papier).

c Bepaal g en vergelijk met 9,81 m/s². Hoe groot is het verschil in procent?

d Het snijpunt is bijna nul. Welke systematische fout zou een snijpunt verschillend van nul geven?

3.10 Labo: de veerconstante met een rekenblad

Toepassen · 5 · Labo · 45 min

Hang een veer aan een statief en meet haar lengte met een lat bij zes verschillende massa's (bijvoorbeeld 50 g tot 300 g). Verwerk in een rekenblad.



Lees af op ooghoogte, recht voor de onderkant van de haak: zo vermijd je parallax.

a Noteer je metingen met hun afleesfout.

m (g)	F (N)	l (cm)	residu (cm)

b Maak een spreidingsdiagram van l tegen F met trendlijn. Wat is de betekenis van de helling en van het snijpunt?

c Bereken de veerconstante k in N/m. Schat de fout met de steilste en de minst steile rechte.

d Bekijk de residuen. Gedraagt de veer zich lineair over het hele bereik? Wat als je een veel grotere massa zou hangen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Zes massa's, F = m · 9,81 N/kg correct, lengtes met afleesfout.
Rekenblad	Spreidingsdiagram met assen en eenheden, trendlijn, RICHTING en SNIJPUNT in cellen, residuen in een kolom.
Resultaat	k in N/m, correct uit de helling (k = 1 / helling, eenheden omgezet), met fout en afronding.
Interpretatie	Snijpunt = rustlengte; residuen beoordeeld; geldigheidsgebied (elastisch gebied) benoemd.

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

3.11 Habitat: de bodemvochtsensor kalibreren

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

De capacitieve bodemvochtsensor van de klimaatmodule geeft een ruwe waarde die *daalt* als de grond natter wordt. Om hem te kalibreren, meng je potgrond met afgemeten hoeveelheden water en bepaal je het volumetrisch watergehalte θ (in %) door wegen en drogen. Resultaten: θ = 5, 10, 17, 24, 31, 38 en 45 %; ruwe waarde = 530, 496, 446, 407, 362, 306 en 272.

a Maak een spreidingsdiagram (welke grootheid zet je horizontaal, en waarom?) en bepaal de kleinste-kwadratenrechte.

b Geef de betekenis en de eenheid van de helling. Waarom is ze negatief?

c Vorm om tot een formule die de microcontroller gebruikt: θ als functie van de ruwe waarde r.

d Bereken de residuen in procentpunten. Hoe nauwkeurig is de gekalibreerde sensor?

e Noteer het geldigheidsgebied en twee situaties waarin je opnieuw moet kalibreren.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rechte	Juiste keuze van de assen, a en b correct met eenheid.
Formule	Correct omgevormd: θ = (r − b) / a, bruikbaar in code.
Nauwkeurigheid	Residuen berekend en vertaald naar procentpunten watergehalte.
Geldigheid	Bereik 5 tot 45 % vermeld; opnieuw kalibreren bij andere grond, andere sensor of na veroudering.

3.12 Zoek de fout in de Python-code

Uitdagen · 6 · Programmeren · 20 min

Een leerling wil de dichtheid van de stamoplossing uit het handboek berekenen met de kleinste kwadraten. Het programma stopt met een foutmelding.

```
V = [20, 40, 60, 80, 100, 120]
m = [73.9, 95.1, 116.5, 138.0, 159.1, 180.5]
n = len(V)
x_gem = sum(V) / n
```

```
y_gem = sum(m) / n
teller = 0
noemer = 0
for x, y in zip(V, m):
    teller = teller + (x - x_gem) * (y - y_gem)
    noemer = noemer + (x - x_gem)
a = teller / noemer
b = y_gem - a * x_gem
print("a =", round(a, 4), "g/mL")
print("b =", round(b, 2), "g")
```

Uitvoer:

```
Traceback (most recent call last):
  File "dichtheid.py", line 11, in <module>
    a = teller / noemer
ZeroDivisionError: float division by zero
```

a Wat betekent de foutmelding?

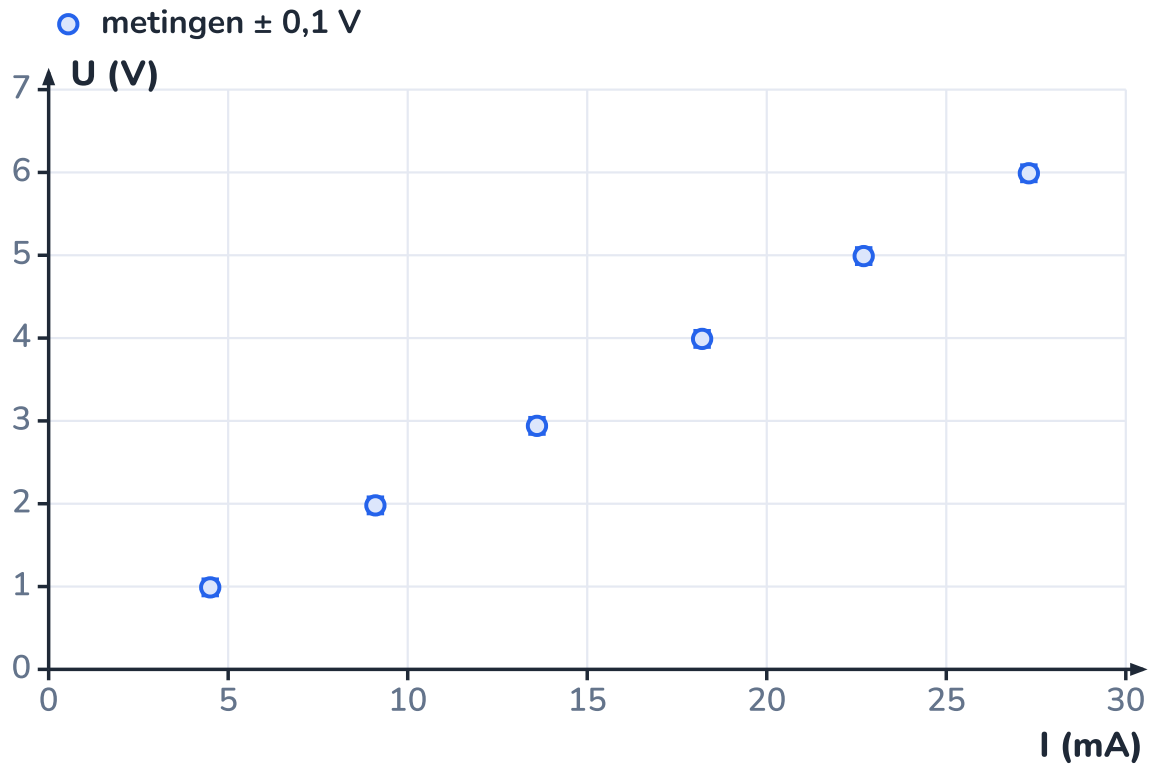
b Waarom is `noemer` precies nul? Toon dat de som van de afwijkingen $x - \bar{x}$ altijd nul is.

c Verbeter de regel en voorspel wat het programma dan print.

3.13 Hoe zeker is de weerstand?

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Over een weerstand wordt de spanning U gemeten bij zes stromen I. De voltmeter heeft een fout van ± 0,1 V.



Metingen met foutbalken van ± 0,1 V; stroom 4,5 mA tot 27,3 mA.

a Wat is de betekenis van de helling van U tegen I? Welke eenheid krijgt ze als I in mA staat?

b Teken de steilste en de minst steile rechte die door alle foutbalken gaan, en bepaal hun hellingen.

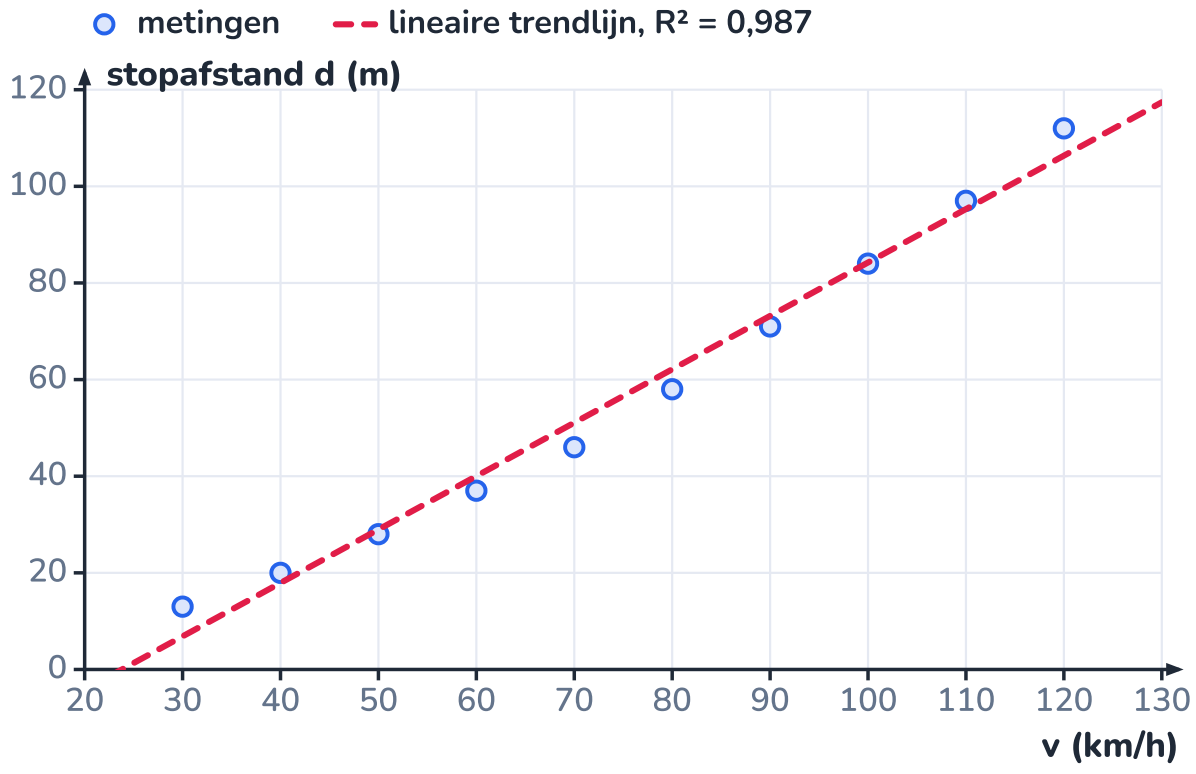
c Geef de weerstand als waarde ± fout. (De kleinste-kwadratenrechte geeft 0,2201 V/mA.)

d De kleurcode zegt 220 Ω ± 5 %. Is je meting daarmee in overeenstemming?

3.14 Een misleidende R²

Uitdagen · 7 · Analyseren · 35 min

Bij een verkeersproef op een droge weg werd de stopafstand d gemeten (van het moment dat de bestuurder het gevaar ziet tot stilstand) bij tien snelheden. Een rekenblad geeft een lineaire trendlijn $d = 1{,}105 \cdot v - 26{,}3$ (v in km/h, d in m) met $R^2 = 0{,}987$. Gegevens: v = 30, 40, ..., 120 km/h; d = 13, 20, 28, 37, 46, 58, 71, 84, 97 en 112 m.



Tien metingen met een lineaire trendlijn uit een rekenblad.

a Wat voorspelt de lineaire trendlijn bij 20 km/h? Wat zegt dat over het model?

b Bereken de residuen van de rechte (of lees ze uit de grafiek) en beschrijf het patroon.

c Een fysisch model is $d = v \cdot t_r + \dfrac{v^2}{2a}$ (reactieafstand plus remafstand; v in m/s). Toon dat d/v tegen v een rechte geeft. Wat zijn helling en snijpunt?

d Bereken d/v (met v in m/s), bepaal de rechte en daaruit de reactietijd t_r en de remvertraging a.

e Schrijf in twee zinnen waarom een hoge R^2 hier misleidt.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan de richtingscoëfficiënt en het snijpunt van een rechte bepalen en ze interpreteren als grootheden met een eenheid.
- Ik kan door meetpunten de best passende rechte tekenen en er met de steilste en de minst steile rechte een fout op de helling bij schatten.
- Ik kan uitleggen hoe de methode van de kleinste kwadraten een rechte kiest, en a en b met de formules berekenen.
- Ik kan residuen en R^2 gebruiken om te beoordelen of een lineair model past.
- Ik kan een omgekeerd evenredig verband herkennen aan een tabel, een formule en een grafiek.
- Ik kan een kromme rechttrekken door de juiste grootheden op de assen te zetten, en uit de rechte een grootheid bepalen.
- Ik kan in een rekenblad formules met relatieve en absolute celverwijzingen maken, een spreidingsdiagram tekenen en een trendlijn laten berekenen.
- Ik kan een sensor kalibreren met een rechte en de kalibratieformule omvormen tot een bruikbare omrekening.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 4

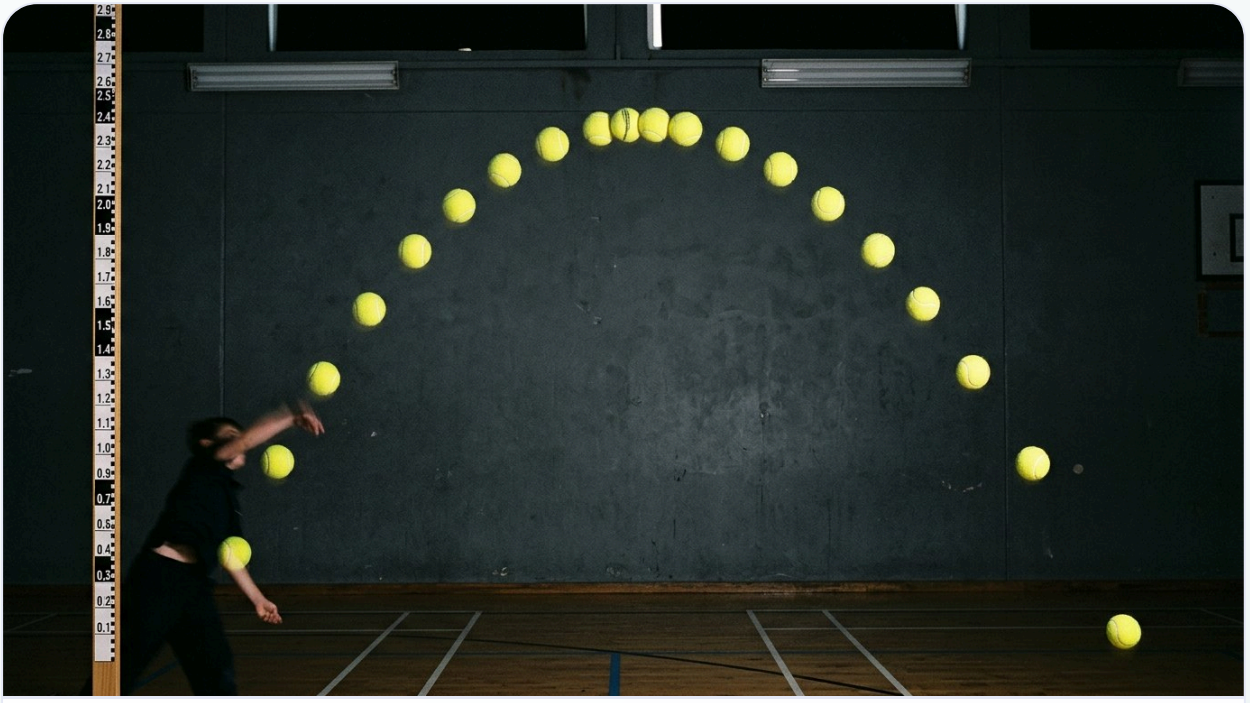
Functies als modellen

Rechten en parabolen die kosten, afstanden en remwegen voorspellen, en weten waar ze ophouden

Je begint met functies herkennen, formules opstellen en toppen en nulpunten berekenen. In de tweede trede kies je tussen kostenformules, reken je stopafstanden en worpen door, test je data met verschillen, meet je de knikker zelf en laat je Python rekenen. In de laatste trede bouw je het kostenmodel voor de hydroponie van de klimaatmodule (opdracht 4.12), zoek je de grootste winst, en onderzoek je waar modellen ophouden te werken.

5× oefenen | 6× toepassen | 4× uitdagen | ± 349 min

W Wiskundig modelleren | K Krachten, beweging en constructies



Gelijke tijdstappen, ongelijke afstanden: de baan van een bal is een parabool, en de top is waar hij het traagst gaat.

4.1 Functie of niet?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een functie koppelt aan elke invoer precies één uitvoer. Beoordeel de vijf voorschriften.

a Is dit een functie? Leg telkens kort uit.

invoer → uitvoer	functie?	waarom
(a) plantenbakje → zijn massa		
(b) massa → het bakje met die massa		
(c) tijdstip → temperatuur in de kas		
(d) temperatuur → tijdstip waarop de kas die temperatuur had		
(e) getal x → getal y met $y^2 = x$		

b Je meet een volle dag de temperatuur in de kas. Ze blijft tussen 9 °C en 31 °C. Geef een zinvol domein en bereik voor (c).

4.2 Taxi: tabel, formule, grafiek

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

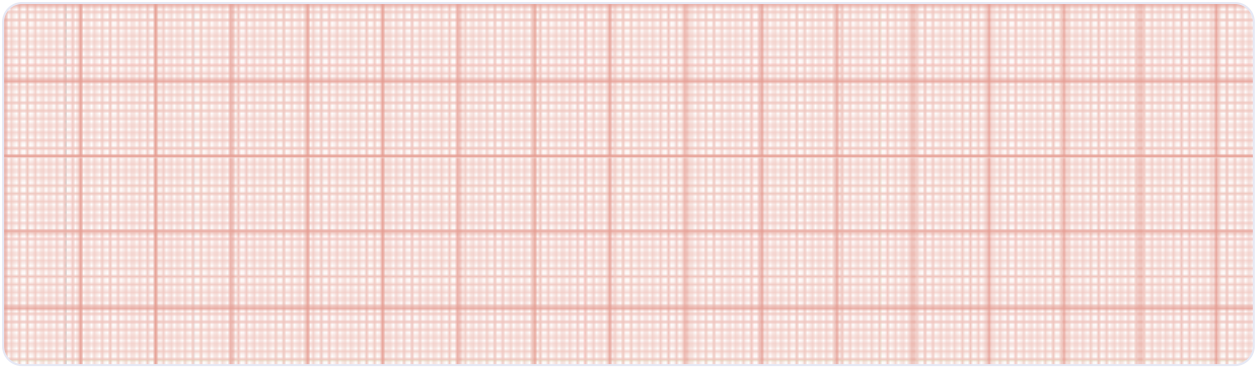
Een taxi rekent € 4,20 instapprijs en € 2,10 per gereden kilometer.

a Vul de tabel in.

afstand x (km)	0	2	5	8	12
kost K (€)					

b Schrijf de formule $K(x)$. Wat betekenen de twee getallen, met hun eenheid?

c Teken de grafiek voor 0 tot 12 km. Wat is een zinvol domein?



d Hoe ver geraak je met € 30?

4.3 Helling en beginwaarde met betekenis

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Vier lineaire modellen, met hun grootheden en eenheden.

a Geef a en b met eenheid en betekenis, en zeg of het nulpunt iets betekent.

model	a	b	nulpunt
$V(t) = 60 - 2{,}5\,t$ (V in L, t in min)			
$T(h) = 15 - 6{,}5\,h$ (T in °C, h in km)			
$K(n) = 260 + 11\,n$ (K in €, n plantplaatsen)			
$T_F = 1{,}8\,T_C + 32$ (in °F en °C)			

b Bij welke temperatuur geven de Celsius- en de Fahrenheitschaal hetzelfde getal?

4.4 Top en nulpunten berekenen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Bereken voor elke functie de top, de discriminant en de nulpunten. Zeg of de top een maximum of een minimum is.

a $f(x) = -2x^2 + 8x - 6$

b $g(x) = x^2 - 6x + 9$

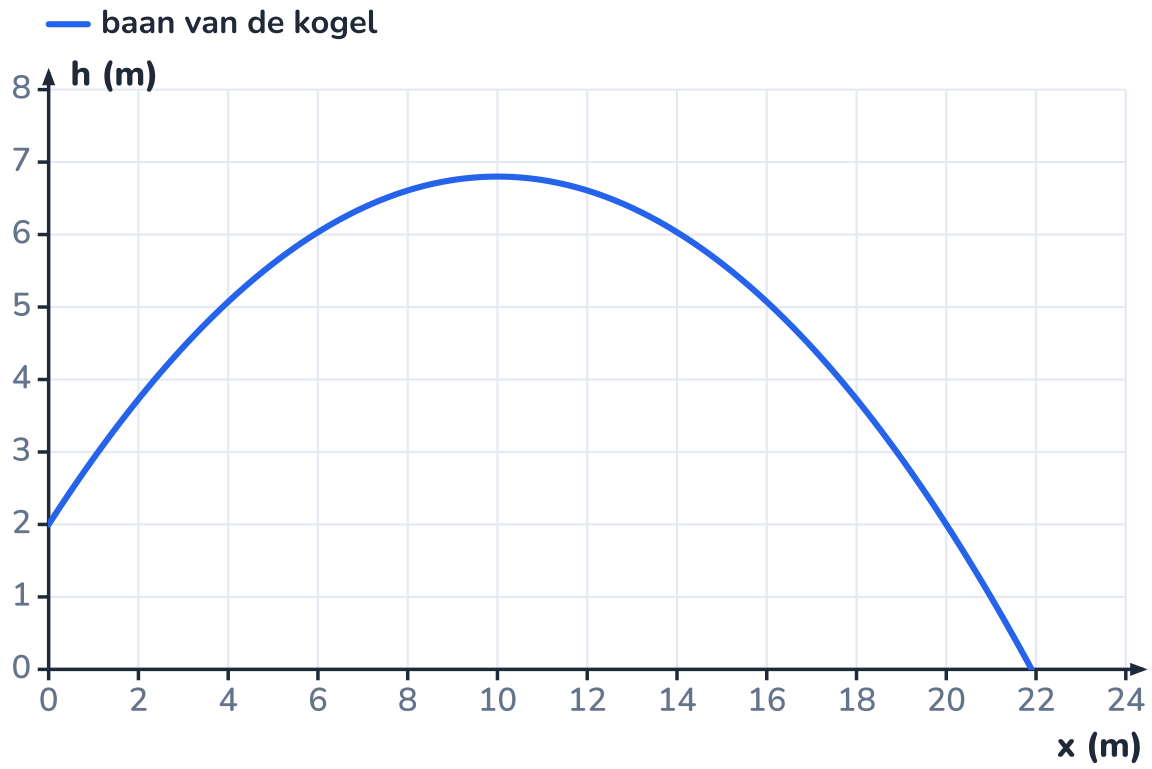
c $h(x) = 0{,}5\,x^2 + x + 3$

d Schets de drie parabolen in één assenstelsel.

4.5 Een kogelstoot lezen

Oefenen · 4 · Analyseren · 12 min

De baan van een kogel bij een kogelstoot van wereldniveau, zonder luchtweerstand, is $h(x) = -0{,}048\,x^2 + 0{,}96\,x + 2{,}0$, met x de horizontale afstand vanaf de hand en h de hoogte, allebei in m.



De kogel verlaat de hand op 2,0 m hoogte.

a Op welke hoogte verlaat de kogel de hand? Uit welk getal van de formule lees je dat meteen?

b Bereken het hoogste punt van de baan.

c Hoe ver vliegt de kogel (tot hij de grond raakt)?

d De formule heeft nog een nulpunt. Waar, en waarom telt het niet?

e Is dit de hoogte als functie van de tijd? Waarom is de baan toch een parabool?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

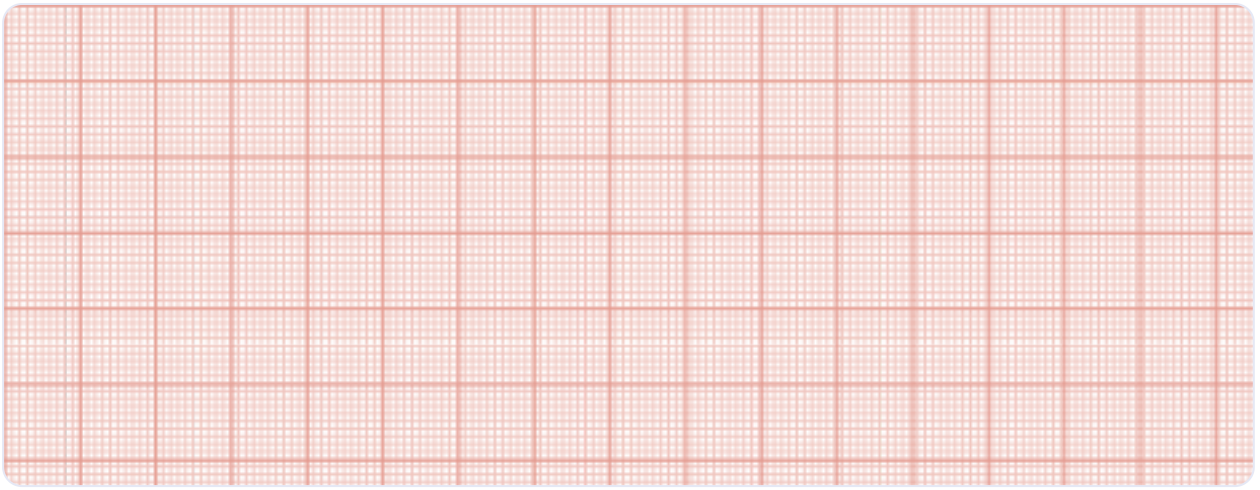
4.6 Printen: welke formule is het goedkoopst?

Toepassen · 5 · Rekenen · 25 min

Voor de behuizingen en houders van de klimaatmodule moet de klas het komende jaar onderdelen 3D-printen. Drie mogelijkheden: (A) een printservice rekent € 0,15 per gram; (B) een eigen printer kopen voor € 250, filament en stroom kosten dan € 0,025 per gram; (C) een jaarabonnement bij een makerspace voor € 60, plus € 0,05 per gram.

a Schrijf de drie kostenfuncties $K_A(m)$, $K_B(m)$ en $K_C(m)$ met m in gram.

b Teken de drie rechten voor 0 tot 8000 g.



c Bereken de drie snijpunten.

d Welke keuze is de goedkoopste, afhankelijk van de verwachte massa? Geef je advies in een zin per gebied.

e Noem twee dingen die dit model niet meeneemt.

4.7 Stopafstand op een natte weg

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Op een natte weg remt een auto met een vertraging van 5,0 m/s². De bestuurder is moe: zijn reactietijd is 1,5 s. In een schoolstraat moet hij binnen 25 m kunnen stoppen.

a Schrijf de stopafstand $d(v)$ met v in m/s.

b Bereken de stopafstand bij 30 km/h en bij 50 km/h.

c Hoe snel mag hij hoogstens rijden om binnen 25 m te stoppen? Geef het antwoord in km/h.

d Waarom schrap je een van de twee oplossingen?

e Vergelijk bij 50 km/h met de uitgeruste bestuurder op de droge weg uit het handboek (27,7 m). Hoeveel procent langer is de stopafstand nu?

4.8 Een waterraket

●●○ Toepassen · 4 · Rekenen · 20 min

Een waterraket uit een PET-fles schiet recht omhoog. Zodra het water eruit is, is haar hoogte (vereenvoudigd, vanaf de grond gerekend) $h(t) = 18\,t - 4{,}905\,t^2$ (h in m, t in s).

a Hoe hoog komt de raket, en wanneer?

b Na hoeveel seconden landt ze?

c Hoe lang is ze hoger dan 10 m?

d Noem twee redenen waarom de echte vlucht anders verloopt dan dit model.

4.9 Welk model past?

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Drie meetreeksen, telkens bij gelijke stappen. (P) Hoogte h (cm) van water in een lekkende emmer, om de 5 min: 24,0; 21,1; 18,4; 15,9; 13,6; 11,5. (Q) Oppervlakte (cm²) van een vierkant zonnecelletje met zijde 1, 2, 3, 4, 5 cm: 1; 4; 9; 16; 25. (R) Afgelegde weg (m) van een skateboard op een vlakke vloer, per seconde: 0; 2,1; 4,2; 6,2; 8,3; 10,4.

a Bereken voor elke reeks de eerste en de tweede verschillen.

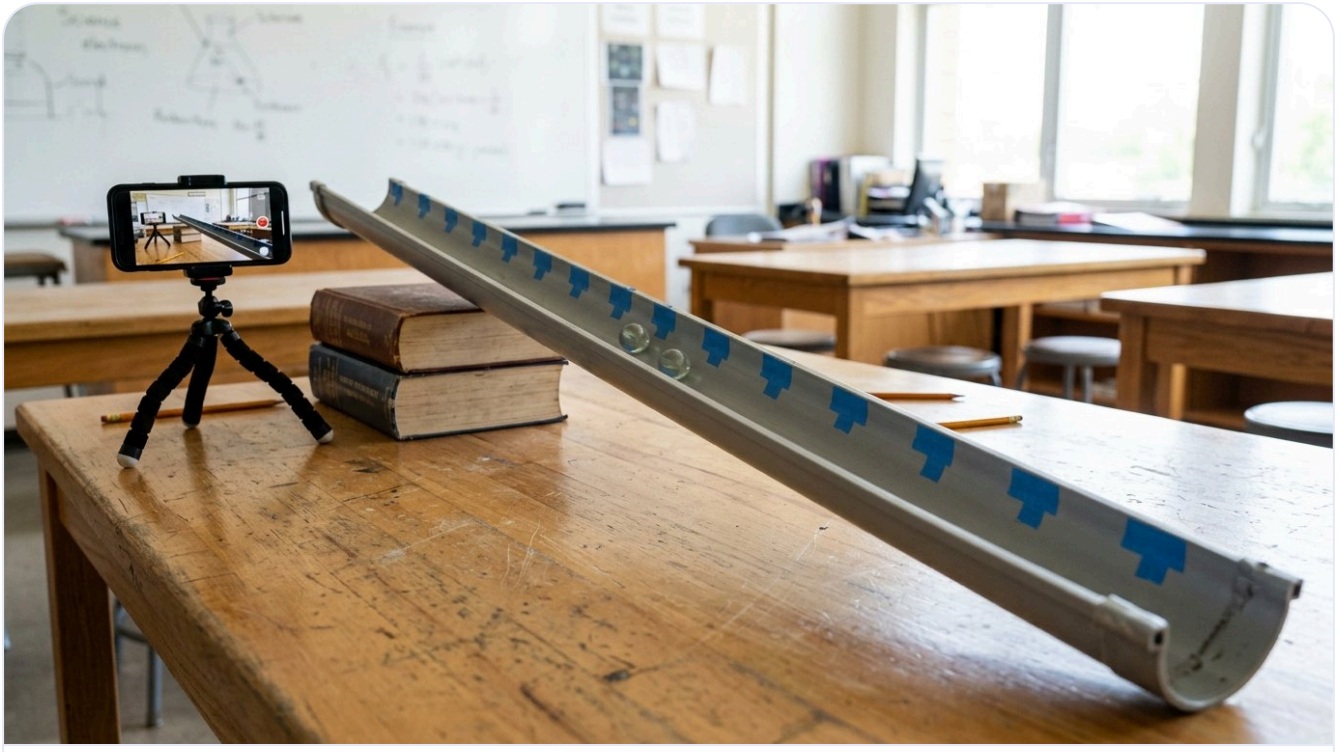
b Welk soort model past bij elke reeks? Past dat bij wat je fysisch verwacht?

c Stel voor reeks R het model op en voorspel de positie na 8 s. Mag dat?

4.10 Labo: de knikker in de goot

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Doe de proef uit het handboek zelf. Kies een andere helling dan in het handboek (bijvoorbeeld 3 cm of 7 cm hoogteverschil over de goot) en bepaal het model en de versnelling.



Film van opzij, met de camera stil: dan lees je de positie beeld per beeld af.

a Beschrijf je opstelling: lengte en hoogteverschil van de goot, beeldfrequentie, gekozen tijdstap.

b Noteer je metingen en bereken de verschillen.

t (s)	s (cm)	eerste verschil	tweede verschil

c Zet s uit tegen t en tegen t^2. Welk model past? Bepaal de versnelling op twee manieren (tweede verschillen en helling van s tegen t^2).

d Vergelijk met het handboek (0,40 m/s² bij 4 à 5 cm). Wat verwacht je bij een steilere goot, en klopt dat?

e Wat is het geldigheidsgebied van je model?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Meten	Camera stil en loodrecht, vaste tijdstap, posities met afleesfout (±0,5 cm is realistisch).
Verschillen	Eerste en tweede verschillen correct; besluit over het modeltype met verwijzing naar de meetfout.
Grafiek en model	s tegen t^2 is een rechte door de oorsprong; helling = a/2; a met eenheid.
Geldigheid	Grenzen benoemd: lengte van de goot, slippen bij steile helling, wrijving.

4.11 Python: de stopafstand in een lus

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 20 min

Een leerling schrijft een programma dat de stopafstand uit het handboek berekent.

```
def stopafstand(v_kmh, t_r=1.0, a_rem=7.0):
    v = v_kmh / 3.6                  # km/h omzetten naar m/s
    return v * t_r + v ** 2 / (2 * a_rem)


for v in (30, 50, 70):
    print(v, "km/h:", round(stopafstand(v), 1), "m")

v = 0
while stopafstand(v) <= 40:
    v = v + 1
print("vanaf", v, "km/h is de stopafstand groter dan 40 m")
```

a Voorspel de eerste drie regels die het programma print (rond af op 0,1 m zoals de code).

b Wat doet de `while`-lus? Voorspel de laatste regel.

c Voer het programma uit en controleer. Verander dan de oproep in de lus in `stopafstand(v, 1.5, 5.0)` (de natte weg van opdracht 4.7). Wat print het nu?

d Het handboek vond met de abc-formule 63,6 km/h. Waarom print het programma een ander getal? Wat is de nauwkeurigheid van deze methode?

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

4.12 Habitat: een kostenmodel voor de hydroponie

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

De klimaatmodule krijgt een hydroponiesysteem (hoofdstuk 36). Er is plaats voor hoogstens 48 plantplaatsen, en het budget is € 800. Twee opties:
(A) kant-en-klare hydroponiebakken: € 38 per plantplaats, alles inbegrepen;

(B) zelf bouwen met pvc-goten: € 260 vaste kost (pomp, lichtdicht reservoir van 60 L, timer, EC- en pH-sensor) plus € 11 per plantplaats (goot, netpotje, substraat).

a Stel $K_A(n)$ en $K_B(n)$ op. Wat is het domein? Is de grafiek een lijn of een rij punten?

b Bereken het snijpunt en leg uit wat het voor de keuze betekent.

c De kost per plantplaats is $k(n) = K(n)/n$. Bereken k_A en k_B voor 12, 24 en 48 plaatsen. Welk soort functie is k_B? Welke waarde nadert ze?

n	K_A (€)	K_B (€)	k_A (€)	k_B (€)
12				
24				
48				

d Hoeveel plantplaatsen krijg je binnen het budget met elke optie? Houd rekening met de plaats.

e Schrijf een advies van vijf à zes regels voor het projectteam: je keuze, het kantelpunt, de kost per plantplaats, en twee grenzen van je model.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Model	Beide functies correct, met eenheden; domein 0 tot 48 natuurlijke getallen; grafiek als punten.
Snijpunt	Algebraïsch opgelost (9,6) en correct vertaald: vanaf 10 plantplaatsen is B goedkoper.
Kost per plaats	Tabel juist; k_B herkend als 11 + 260/n (omgekeerd evenredig deel plus constante), nadert € 11.
Advies	Onderbouwde keuze met getallen; minstens twee modelgrenzen (werkuren, prijzen, onderhoud, risico van zelfbouw).

4.13 Kruidenpotjes verkopen

Uitdagen · 6 · Rekenen · 30 min

De klas verkoopt kruidenpotjes uit de kas op de schoolmarkt. Een bevraging geeft een vraagmodel: om n potjes per week te verkopen, mag de prijs hoogstens $p(n) = 6 - 0{,}05\,n$ euro zijn. Een potje (pot, grond, zaad) kost € 1,20, en de standplaats kost € 20 per week.

a Schrijf de opbrengst $R(n) = n \cdot p(n)$. Bij hoeveel potjes is de opbrengst het grootst, en tegen welke prijs?

b Schrijf de kosten $K(n)$ en de winst $W(n) = R(n) - K(n)$.

c Bij hoeveel potjes is de winst het grootst? Welke prijs vraag je dan, en hoeveel win je?

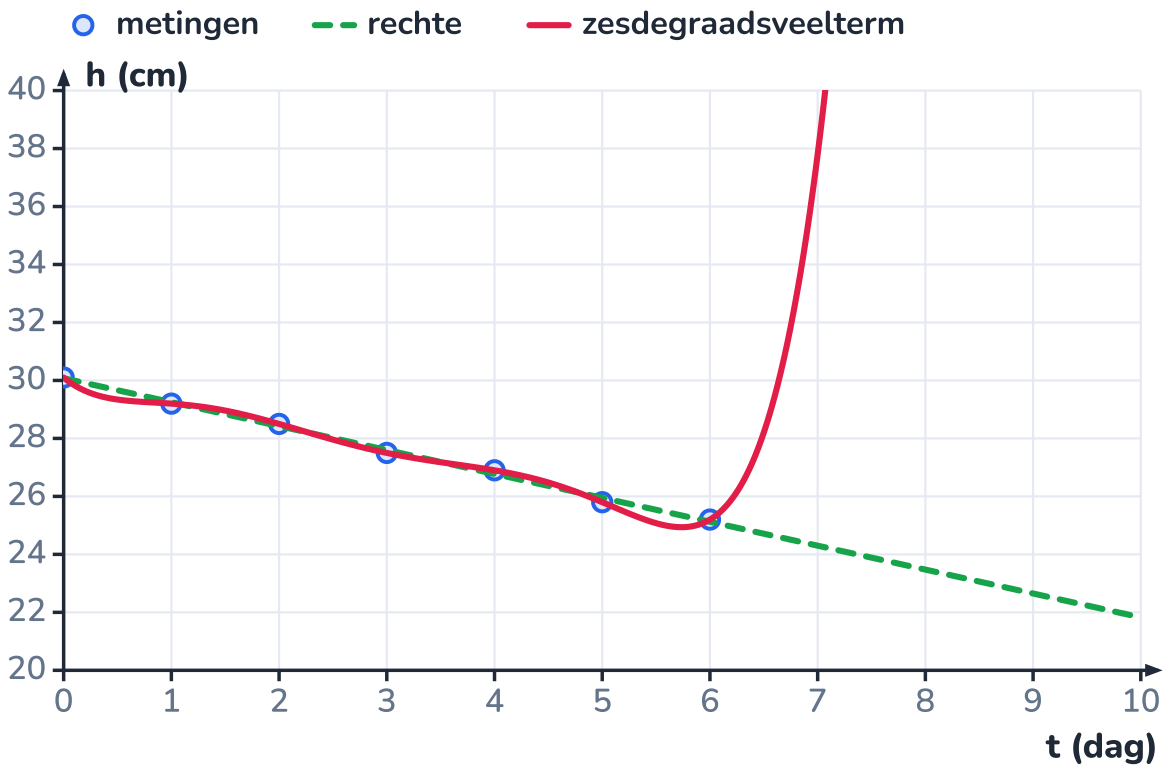
d Tussen welke aantallen maak je winst?

e Waarom ligt de grootste winst bij minder potjes dan de grootste opbrengst? En waar houdt het vraagmodel zeker op te kloppen?

4.14 Past een ingewikkelder model altijd beter?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Om de waterstand in het reservoir te voorspellen, meet een leerling zeven dagen lang de waterhoogte: 30,1; 29,2; 28,5; 27,5; 26,9; 25,8 en 25,2 cm. Ze vergelijkt drie modellen (numpy.polyfit): een rechte $h = -0{,}825\,t + 30{,}08$ (som van de kwadraten van de residuen 0,062 cm²), een parabool (som 0,061 cm²) en een veelterm van graad 6 die precies door alle zeven punten gaat (som 0). De veelterm voorspelt 37,8 cm voor dag 7 en 839,5 cm voor dag 10.



Binnen de metingen vallen de modellen samen; na dag 6 schiet de zesdegraadsveelterm omhoog.

a Welk model heeft de kleinste residuen? Welk model zou je gebruiken om dag 10 te voorspellen, en wat voorspelt het?

b Waarom voorspelt de veelterm onzin, al gaat ze door alle punten?

c De parabool is maar 0,001 cm² beter dan de rechte. Is de extra parameter de moeite waard? Hoe beslis je dat?

d Debat. Stelling: 'Het beste model is het model dat de meetpunten het best volgt.' Geef twee argumenten voor en twee tegen, en je besluit.

4.15 Waar houdt v = g · t op?

Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

Een valschermspringer draagt een datalogger die haar valsnelheid registreert, vanaf het moment dat ze uit het vliegtuig springt (buik naar beneden). Gemeten snelheid v (m/s) om de 2 s: 0; 18,8; 33,7; 43,4; 49,0; 52,0; 53,5.

a Bereken bij elke meting wat het model $v = g \cdot t$ voorspelt en hoeveel procent het afwijkt van de meting.

t (s)	0	2	4	6	8	10
gemeten v (m/s)	0	18,8	33,7	43,4	49,0	52,0
g · t (m/s)						
afwijking (%)						

b Tot welk tijdstip is het model nauwkeurig tot op 10 %? Leg fysisch uit waarom het in het begin goed werkt.

c Wat voorspelt het model na 60 s vrije val? Waarom is dat onmogelijk?

d Beschrijf het verloop van de echte snelheid. Is het een lineaire of een kwadratische functie? Welke eigenschap moet een beter model hebben?

e Een stalen kogeltje valt 1,0 m (0,45 s). Mag je daar $v = g \cdot t$ gebruiken? Motiveer met je antwoorden hierboven.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan uitleggen wat een functie is en een functie voorstellen als tabel, grafiek en formule.	☐ ☐ ☐
Ik kan het domein en het bereik van een functie in een context bepalen, met eenheden, en onderscheiden van wat de formule wiskundig toelaat.	☐ ☐ ☐
Ik kan een lineaire functie opstellen uit een beschrijving of uit twee punten, en richtingscoëfficiënt en snijpunt interpreteren als grootheden.	☐ ☐ ☐
Ik kan van een kwadratische functie de top, de symmetrieas en de nulpunten berekenen en ze in de context betekenis geven.	☐ ☐ ☐
Ik kan snijpunten van twee functies algebraïsch en grafisch bepalen en uitleggen wat ze betekenen (kantelpunt, inhalen).	☐ ☐ ☐
Ik kan met eerste en tweede verschillen nagaan of data lineair of kwadratisch zijn, en een model kiezen dat bij data én fysica past.	☐ ☐ ☐
Ik kan het geldigheidsgebied van een model benoemen en inschatten wanneer extrapoleren misloopt.	☐ ☐ ☐

Ik kan in Python een functie schrijven, een tabel maken en een lineair en een kwadratisch model fitten.



WERKBOEK · HOOFDSTUK 5

Groei en verval: exponentiële modellen

Vermenigvuldigen in plaats van optellen: van bacteriën en algen tot afkoelende thee en vervallende kernen

Je begint met groeifactoren, tabellen, logaritmen en een logaritmische as. In de tweede trede reken je met procenten die zich opstapelen, cafeïne, radioactief jodium, een ontladende condensator en ledlampen die zwakker worden; je gooit zelf dobbelstenen en laat Python tellen. In de laatste trede analyseer je de algengroei in het reservoir van Habitat (opdracht 5.13), dateer je hout met koolstof-14, reken je uit waarom vroeg ingrijpen telt, en vind je een onbekende omgevingstemperatuur met logaritmen.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 329 min

W Wiskundig modelleren | B Leven en systemen | E Energie



Zelfde voeding, zelfde warmte: in het doorzichtige reservoir verdubbelen de algen elke dag, in het lichtdichte niet.

5.1 Groeifactor en procent

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Zet om.

a Vul de tabel aan.

verandering per stap	groeifactor g
+4 %	
−15 %	
+100 %	
	1,25
	0,92
	3

b Een reservoir verliest elke dag 6 % van zijn water door verdamping. Wat is de groeifactor per dag? Hoeveel liter is er na 10 dagen over van 60 L?

5.2 Verdubbelen en halveren in een tabel

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

(a) Gistcellen in brooddeeg verdubbelen onder goede omstandigheden ongeveer om de 90 minuten. Bij de start zijn er 500 per mL (in een staaltje). (b) Een luchtstaal met radon-222 wordt in een afgesloten flesje bewaard; de activiteit is bij de start 800 Bq. Radon-222 heeft een halveringstijd van 3,82 dagen.

a Vul de tabel voor de gist in.

t (h)	0	1,5	3	4,5	6
N (per mL)					

b Vul de tabel voor het radon in.

t (dag)	0	3,82	7,64	11,46	15,28
A (Bq)					

c Schrijf beide modellen met $2^{t/t_2}$ of $(\frac{1}{2})^{t/t_{1/2}}$. Hoeveel gistcellen zijn er na 12 uur?

5.3 Lineair of exponentieel?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Vijf tabellen, telkens bij gelijke stappen in t.

(A) 3; 6; 12; 24; 48

(B) 3; 6; 9; 12; 15

(C) 800; 720; 648; 583,2

(D) 800; 720; 640; 560

(E) 1; 4; 9; 16

a Welk verband heeft elke tabel? Toon met verschillen of verhoudingen.

	verband	bewijs
A		
B		
C		
D		
E		

b Schrijf de formule voor A, C en D (met t = 0 bij de eerste waarde).

5.4 Rekenen met logaritmen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik de log-toets van je rekenmachine. Rond af op drie beduidende cijfers.

a Bereken zonder rekenmachine: $\log 1000$, $\log 0{,}001$, $\log 1$, $\log 10^7$.

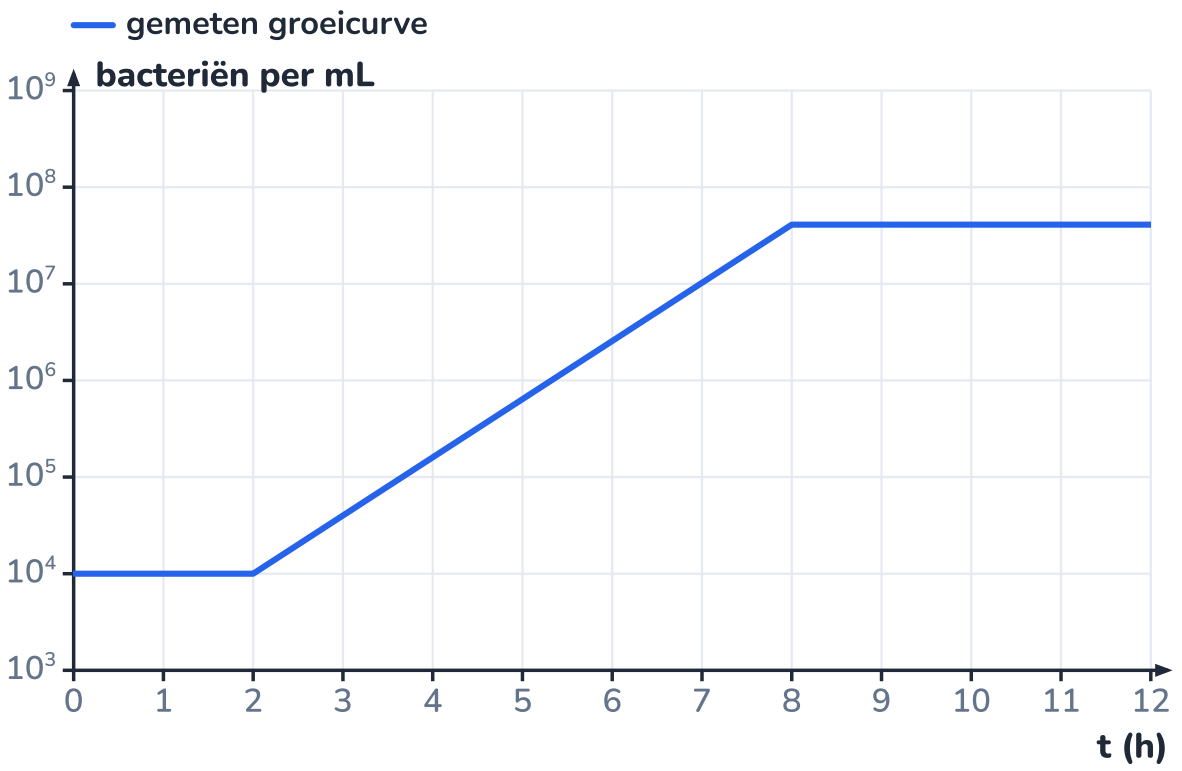
b Los op: (a) $2^t = 50$; (b) $1{,}05^t = 3$; (c) $0{,}8^t = 0{,}1$; (d) $10^x = 0{,}5$.

c Bereken de verdubbelingstijd bij $g = 1{,}12$ en de halveringstijd bij $g = 0{,}97$ (in tijdstappen).

5.5 Een logaritmische as aflezen

Oefenen · 4 · Analyseren · 15 min

In het labo wordt de groei van een bacteriecultuur gevolgd. De verticale as is logaritmisch.



Groeicurve van een bacteriecultuur: aanloop, groei, stationaire fase.

a Hoeveel bacteriën per mL zijn er bij de start? En na 12 uur?

b In welk tijdsinterval groeit de cultuur exponentieel? Hoe zie je dat op deze grafiek?

c Hoe lang duurt het in dat interval om van 10^4 naar 10^6 per mL te gaan? Bereken daaruit de verdubbelingstijd.

d Lees de waarde na 5 uur af (ze ligt tussen twee rasterlijnen) en controleer met je model.

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

5.6 Procenten die zich opstapelen

Toepassen · 4 · Begrijpen · 15 min

Vier beweringen uit een groepswerk. Welke kloppen? Verbeter wat fout is.

a 'De algen groeien 10 % per dag, dus 70 % per week.'

b 'De prijs van een sensor steeg 20 % en daalde daarna 20 %: hij kost weer evenveel.'

c 'Een cultuur die per dag verdubbelt, groeit 100/24 = 4,2 % per uur.'

d 'Een groei van 50 % per jaar is 50 / 12 = 4,17 % per maand.'

5.7 Cafeïne in je bloed

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een blikje energiedrank van 250 mL bevat 80 mg cafeïne. Je lichaam breekt cafeïne ongeveer exponentieel af; bij volwassenen is de halveringstijd gemiddeld ongeveer 5 uur (maar ze verschilt sterk van persoon tot persoon). Iemand drinkt een blikje om 16 uur.

a Met hoeveel procent daalt de hoeveelheid cafeïne per uur?

b Hoeveel cafeïne is er om 23 uur nog, als je slapen gaat?

c Wanneer is er minder dan 10 mg over?

d Noem twee redenen waarom dit model voor één persoon niet precies klopt.

5.8 Jodium-131 in het ziekenhuis

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Voor een schildklierbehandeling krijgt een patiënt jodium-131 met een activiteit van 2,0 GBq ($2{,}0 \cdot 10^9$ Bq). De halveringstijd van jodium-131 is 8,02 dagen.

a Wat is de activiteit na één week, als je alleen naar het radioactief verval kijkt?

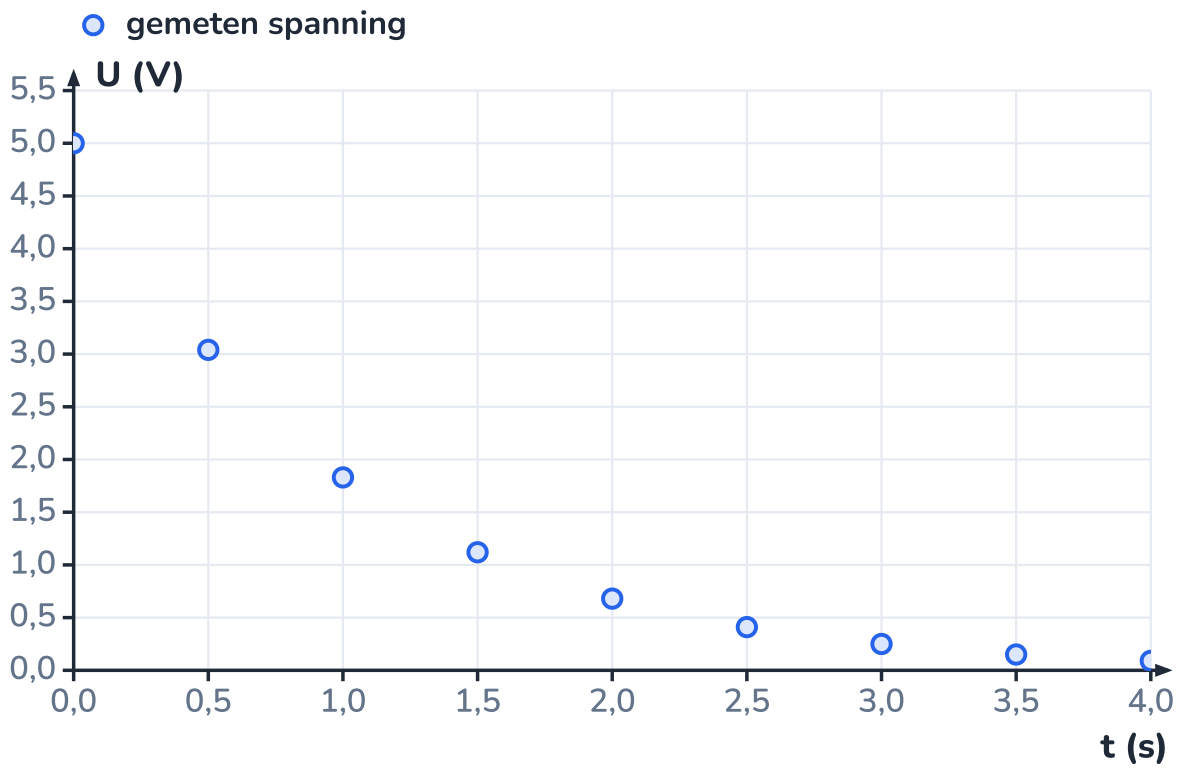
b Na hoeveel dagen is de activiteit gedaald tot 1 % van het begin?

c In werkelijkheid daalt de activiteit in het lichaam sneller dan zo berekend. Bedenk waarom.

5.9 De condensator van de drukknop

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Om een drukknop te ontdenderen (hoofdstuk 24) gebruik je een condensator. Je meet met een microcontroller de spanning terwijl hij ontlaadt over een weerstand van 100 kΩ.



Gemeten spanning om de 0,5 s: 5,00; 3,04; 1,83; 1,12; 0,68; 0,41; 0,25; 0,15; 0,09 V.

a Bereken de verhouding van opeenvolgende metingen. Is de ontlading exponentieel?

b Wat is de groeifactor per seconde? Bepaal de halveringstijd.

c Bepaal de tijdconstante τ (na hoeveel tijd is nog 37 % over?) en daaruit de capaciteit.

d Waarom wordt de relatieve meetfout groter bij de laatste metingen?

5.10 Labo: verval met dobbelstenen

Toepassen · 5 · Labo · 40 min

Elke groep krijgt 100 dobbelstenen. Gooi ze allemaal, haal de zessen eruit en tel wat overblijft. Herhaal tot er minder dan 5 over zijn. Voeg daarna de resultaten van alle groepen samen.

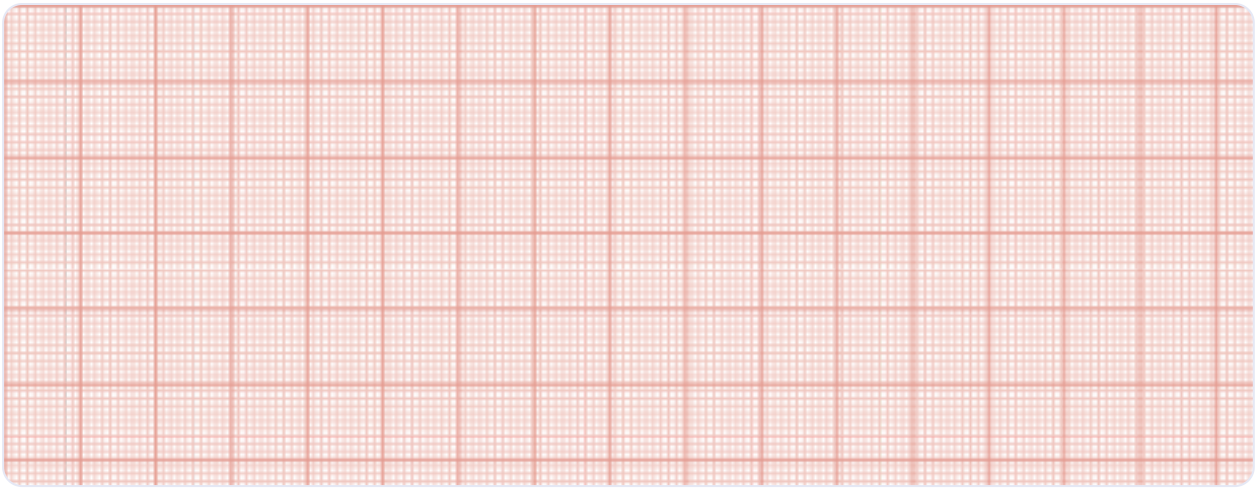


Elke zes is een 'vervallen kern': ze gaat uit het spel, de rest wordt opnieuw gegooid.

a Noteer je resultaten en die van de hele klas.

worp	over (groep)	over (klas)	model (klas)

b Teken beide reeksen in één grafiek, met het model erbij. Wat valt op aan de schommelingen van je groep tegenover die van de klas?



c Bepaal de halveringstijd uit je grafiek en vergelijk met het model (3,80 worpen).

d Wat verandert er als je in plaats van zessen de even worpen (2, 4, 6) verwijdert? Voorspel de halveringstijd.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Tabel volledig, aantallen correct geteld, klasgegevens samengevoegd.
Grafiek	Assen met grootheden, punten voor groep en klas, modelkromme N0 · (5/6)^n.
Interpretatie	Halveringstijd afgelezen; kleinere relatieve schommelingen bij de grotere groep verklaard.
Transfer	Voorspelling voor kans 1/2 correct: halveringstijd 1 worp.

5.11 Python: hoe lang tot het verdubbelt?

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 20 min

Een leerling zoekt de verdubbelingstijd met een lus in plaats van met logaritmen.

```python
p = 3                    # groei in procent per jaar
g = 1 + p / 100          # groeifactor per jaar
N = 100.0                # beginwaarde
jaren = 0
while N < 200:
    N = N * g
    jaren = jaren + 1
print(jaren, "jaar, N =", round(N, 1))
```

a Wat doet de `while`-lus? Voorspel de uitvoer.

b Voer het programma uit. Vergelijk met de formule $t_2 = \log 2 / \log g$. Waarom verschillen ze?

c Verander `p = 3` in `p = 7`. Wat print het programma nu? Klopt de vuistregel van 70?

d Pas het programma aan zodat het de halveringstijd zoekt bij een afname van 12 % per stap (tip: welke voorwaarde en welke groeifactor?).

5.12 Ledlampen die zwakker worden

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een led brandt niet door zoals een gloeilamp: hij wordt langzaam zwakker. Fabrikanten testen dat duizenden uren en passen er een exponentieel model aan (de norm TM-21). Een ledmodule voor de kweekruimte geeft na een test van 10 000 uur nog 96 % van zijn oorspronkelijke licht. 'L70' is de tijd tot er nog 70 % over is. De norm laat niet toe om verder te voorspellen dan zes keer de testduur.

a Wat is de groeifactor per 1000 uur?

b Bereken L70 volgens het model.

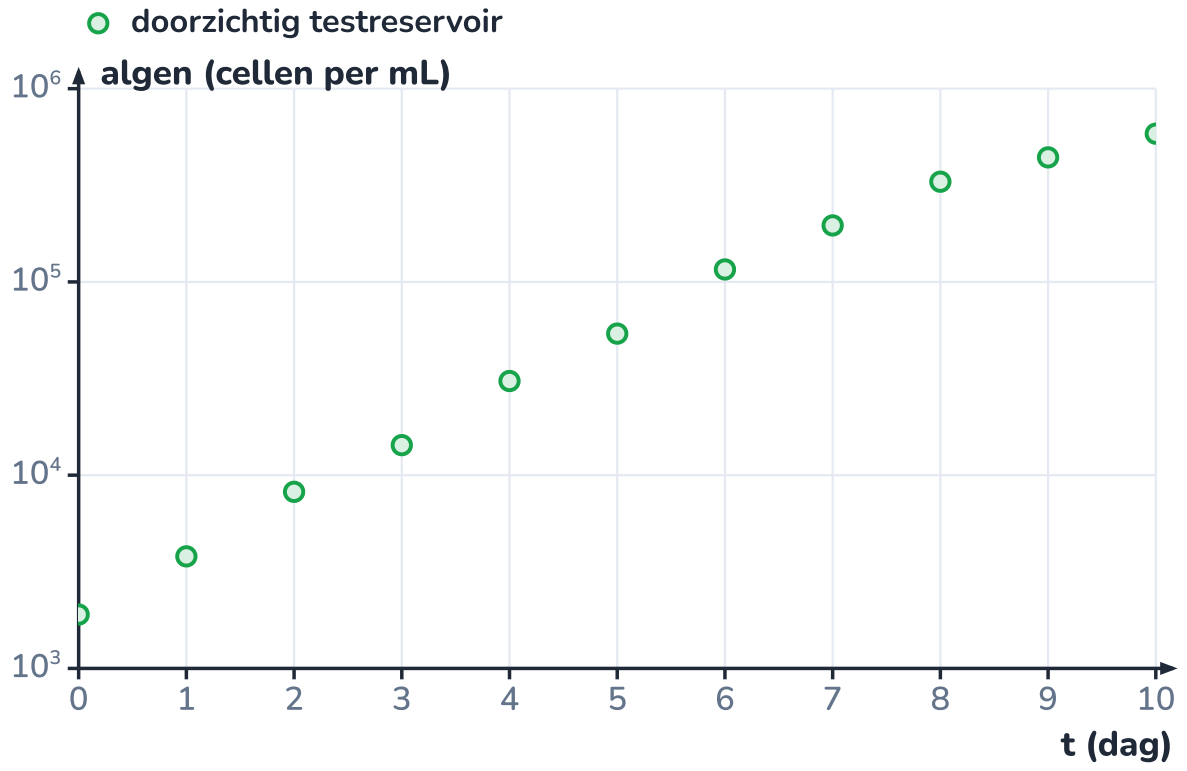
c Welke L70 mag de fabrikant op de verpakking zetten? Waarom die regel?

d De lamp brandt 16 uur per dag. Hoeveel jaar is de waarde op de verpakking?

5.13 Habitat: algen in het voedingsreservoir

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Voor de keuze van het reservoir van de klimaatmodule vul je twee testreservoirs van 60 L met dezelfde voedingsoplossing: één doorzichtig, één lichtdicht. Een sensor meet elke dag de algen (cellen per mL). In het lichtdichte reservoir blijft het aantal de hele tijd tussen $1{,}5 \cdot 10^3$ en $2{,}5 \cdot 10^3$ per mL. In het doorzichtige: $1{,}9 \cdot 10^3$; $3{,}8 \cdot 10^3$; $8{,}2 \cdot 10^3$; $1{,}43 \cdot 10^4$; $3{,}07 \cdot 10^4$; $5{,}4 \cdot 10^4$; $1{,}16 \cdot 10^5$; $1{,}96 \cdot 10^5$; $3{,}30 \cdot 10^5$; $4{,}41 \cdot 10^5$; $5{,}85 \cdot 10^5$ (dag 0 tot dag 10). De alarmgrens is $5 \cdot 10^5$ per mL.



Metingen in het doorzichtige testreservoir, op een logaritmische as.

a Bereken de verhouding van opeenvolgende dagen. In welke periode is de groei exponentieel? Wat gebeurt er daarna?

b Bepaal uit het exponentiële deel de groeifactor per dag en de verdubbelingstijd.

c Wanneer zou het alarm afgaan volgens het exponentiële model? Wanneer ging het echt af? Leg het verschil uit.

d Het team overweegt drie maatregelen: het reservoir elke week reinigen, een deksel op het doorzichtige reservoir, of een lichtdicht reservoir. Beoordeel ze met je model.

e Schrijf je advies voor het ontwerp van de klimaatmodule in drie zinnen, met één getal uit je analyse.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Analyse	Verhoudingen berekend; exponentiële fase (dag 0 tot ongeveer 6) herkend en afvlakking benoemd.
Model	g ≈ 2 per dag uit meerdere punten (niet uit twee willekeurige), t2 ≈ 1 dag.
Voorspelling	Alarm volgens model na ongeveer 8 dagen; werkelijk tussen dag 8 en 9; verschil verklaard door begrenzing.
Advies	Maatregelen beoordeeld op groeifactor versus beginwaarde; onderbouwde keuze met een getal.

5.14 Hoe oud is dit hout?

Uitdagen · 6 · Rekenen · 20 min

Koolstof-14 heeft een halveringstijd van 5730 jaar. Een labo meet in een staal van een houten werktuig dat nog 40 % van de oorspronkelijke fractie koolstof-14 aanwezig is. In een eikenhouten balk uit een oude schuur is dat 94 %.

a Hoe oud is het werktuig?

b Hoe oud is de balk? Waarom is die uitkomst relatief onzekerder?

c Waarom gebruikt men koolstof-14 niet voor fossielen van dinosaurussen (ongeveer 70 miljoen jaar)? Reken.

5.15 Waarom vroeg ingrijpen telt

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Een nieuwe besmettelijke ziekte verspreidt zich in een regio. Zolang niemand ingrijpt, verdubbelt het aantal nieuwe besmettingen per dag ongeveer elke 4 dagen. Vandaag zijn het er 100 per dag. (Dit is een vereenvoudigd model; echte epidemiologen gebruiken rijkere modellen.)

a Wat is de groeifactor per dag, en de procentuele groei per dag?

b Hoeveel nieuwe besmettingen per dag zijn er over 4 weken als niets verandert?

c Maatregelen die de groei stoppen, komen er vandaag of pas over een week. Hoeveel keer zoveel besmettingen per dag zijn er op het moment dat ze beginnen te werken?

d Na de maatregelen daalt het aantal nieuwe besmettingen met 5 % per dag. Hoe lang duurt het om te halveren? Vergelijk met de verdubbelingstijd.

e Leg in eigen woorden uit waarom een probleem met exponentiële groei in het begin onderschat wordt, en waarom afbouwen trager gaat dan opbouwen.

5.16 Een onbekende omgevingstemperatuur

Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

Een beker soep koelt af op een koele veranda; de temperatuur van de lucht daar is niet gemeten. Metingen om de 5 minuten: 80,0; 63,7; 51,5; 42,3; 35,5; 30,3; 26,5 °C (van 0 tot 30 min).

a Bereken de verhouding van opeenvolgende temperaturen. Daalt de temperatuur zelf exponentieel?

b Als het verschil met de omgeving exponentieel daalt, geldt voor drie metingen op gelijke afstand: $(T_2 - T_{\text{omg}})^2 = (T_1 - T_{\text{omg}})(T_3 - T_{\text{omg}})$. Toon waarom, en bereken T_{omg} uit de metingen bij 0, 10 en 20 min.

c Bereken $T - T_{\text{omg}}$ voor alle metingen en zet ze uit op een logaritmische as (of reken $\log(T - T_{\text{omg}})$ uit). Is het een rechte?

d Bepaal de halveringstijd van het verschil en schrijf het volledige model.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan een groeifactor omzetten in een procentuele groei of afname en omgekeerd, ook naar een andere tijdseenheid.
- Ik kan een exponentieel model N = N0 · g^t opstellen uit een beschrijving of uit twee metingen, en het herkennen aan constante verhoudingen.
- Ik kan met logaritmen een exponent terugrekenen en de formule voor de verdubbelingstijd t2 = log 2 / log g afleiden en gebruiken.
- Ik kan bacteriegroei, afkoeling, het ontladen van een condensator en radioactief verval met een exponentieel model beschrijven, met de juiste beginwaarde en eindwaarde.
- Ik kan uitleggen waarom exponentiële groei lineaire groei altijd inhaalt en waarom ze in het begin misleidt.
- Ik kan waarden aflezen op een logaritmische schaal en er een groeifactor en een verdubbelingstijd uit bepalen.
- Ik kan het geldigheidsgebied van een exponentieel model benoemen: waar groei begrensd wordt en waar de aannames niet meer gelden.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 6

Goniometrie en vectoren

Hoeken en pijlen: van de helling van een oprit tot de hoek van de zon op het zonnepaneel

Je begint met zijden benoemen, zijden en hoeken uitrekenen, hellingen omzetten en vectoren tekenen en ontbinden. In de tweede trede plaats je een ladder, stuur je een boot, ontwerp je opritten, ontbind je krachten op een helling, meet je zelf de zonnehoogte en zoek je een klassieke fout in Python. In de laatste trede kies je de hellingshoek van het zonnepaneel van Habitat (opdracht 6.13), meet je een boom, doe je de meting van Eratosthenes over, en ontdek je waarom een strak gespannen kabel een slecht idee is.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 349 min

W Wiskundig modelleren | K Krachten, beweging en constructies | E Energie

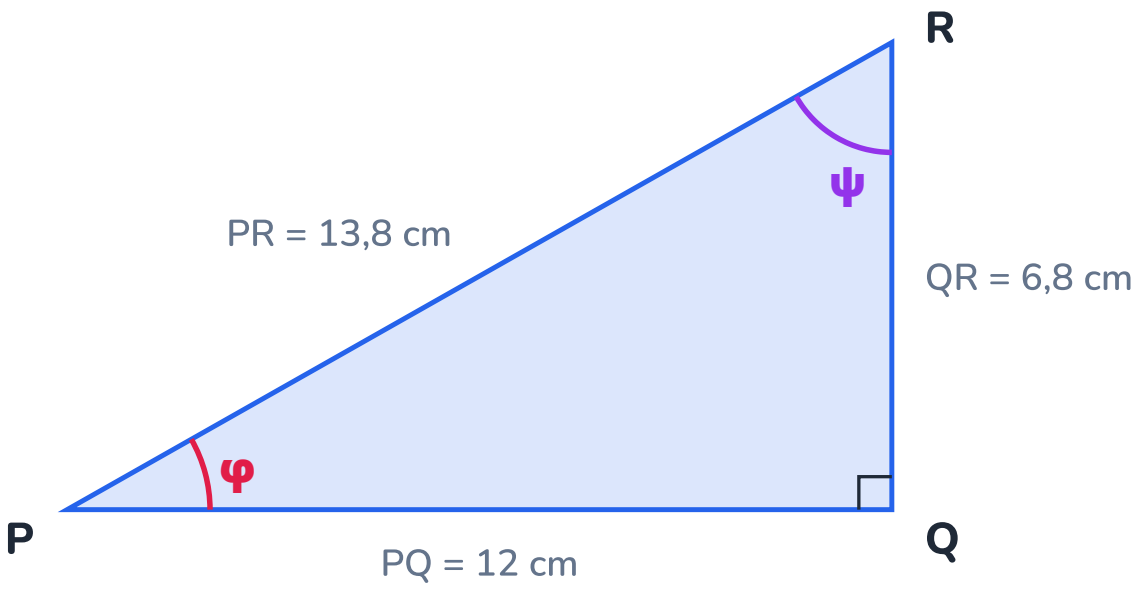


In december staat de middagzon in België maar 15,6° boven de horizon: een steil paneel vangt haar het best.

6.1 Zijden benoemen

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Driehoek PQR heeft een rechte hoek in Q. De scherpe hoeken zijn φ (in P) en ψ (in R).



PQ = 12 cm, QR = 6,8 cm en PR = 13,8 cm (verkleind getekend).

a Welke zijde is ten opzichte van φ de overstaande, de aanliggende en de schuine zijde? En ten opzichte van ψ?

b Schrijf $\sin\varphi$, $\cos\varphi$, $\tan\varphi$, $\sin\psi$ en $\cos\psi$ als verhoudingen van zijden, en bereken ze.

c Welke twee van die vijf getallen zijn gelijk? Leg uit waarom dat altijd zo is.

6.2 Zijden en hoeken berekenen

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Vier rechthoekige driehoeken. Maak telkens een kleine schets met de hoek en de gegeven zijden.

a Schuine zijde 5,0 m, hoek 30°. Bereken de overstaande zijde.

b Aanliggende zijde 8,0 m, hoek 40°. Bereken de overstaande zijde en de schuine zijde.

c Overstaande zijde 3,0 m, aanliggende zijde 4,0 m. Bereken de hoek.

d Schuine zijde 10 m, aanliggende zijde 6,0 m. Bereken de hoek en de overstaande zijde.

6.3 Van procent naar graden en terug

Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Vul de tabel aan. Rond hoeken af op 0,1° en percentages op 0,1 %.

a Omrekenen.

helling (%)	hoek (°)
5	
8,3	
12	
100	
	3
	10
	45
	60

b Een fietser zegt: 'Die helling van 12 % is minder dan 7°, dat stelt niets voor.' Wat zou je hem antwoorden?

6.4 Vectoren optellen op ruitjespapier

Oefenen · 4 · Tekenen · 15 min

Neem één hokje als eenheid. Vector $\vec{a}$: 4 naar rechts en 1 omhoog. Vector $\vec{b}$: 1 naar rechts en 3 omhoog. Vector $\vec{c}$: 3 naar links en 2 omhoog.

a Teken $\vec{a} + \vec{b}$ met de kop-staartmethode en met de parallellogrammethode.

b Teken $\vec{a} + \vec{c}$ en $\vec{a} - \vec{b}$.

c Bereken de grootte van de drie resultanten (in hokjes) met Pythagoras, en de hoek van a + b met de horizontale.

6.5 Krachten ontbinden

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Ontbind elke kracht in een horizontale en een verticale component. De hoek is gemeten vanaf de positieve x-as, tegen de klok in.

a Bereken de componenten.

kracht	hoek	Fx (N)	Fy (N)
50 N	30°		
120 N	70°		
80 N	150°		

b Waarom is bij de derde kracht één component negatief? Controleer met een schets.

6.6 De ladder

●●○ Toepassen · 4 · Rekenen · 12 min

Een ladder van 6,0 m wordt tegen de gevel van het station gezet.

a Volgens de 1-op-4-regel: hoe ver van de muur staat de voet, en hoe hoog reikt de ladder?

b Een collega zet de voet op 2,0 m van de muur. Onder welke hoek staat de ladder? Is dat veilig?

c Hoe hoog reikt de ladder dan nog? Hoeveel verlies je tegenover de regel?

6.7 Recht naar de overkant

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Dezelfde boot als in het handboek (3,0 m/s ten opzichte van het water), dezelfde rivier (60 m breed, stroming 1,5 m/s). Nu wil de schipper recht tegenover zijn vertrekpunt aankomen.

a Teken de snelheidsvectoren. In welke richting moet de neus van de boot wijzen?

b Bereken de hoek met de loodlijn op de oever.

c Hoe snel gaat de boot nu dwars over de rivier, en hoe lang duurt de oversteek? Vergelijk met het handboek.

d Wat gebeurt er als de stroming sneller is dan de boot?

6.8 Opritten volgens de regels

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Gebruik de tabel met de toegelaten hellingen uit het voorbeeld 'Habitat: een toegankelijke oprit naar de module'.

a Bereken voor een drempel van 8 cm, een trede van 20 cm en een verhoog van 60 cm de grootste toegelaten helling, de horizontale lengte en de hoek.

hoogteverschil	helling	horizontale lengte	hoek
8 cm			
20 cm			
60 cm			

b Welke van de drie heeft een tussenbordes nodig? Hoe lang wordt ze in totaal?

c Een aannemer stelt voor de 60 cm te overbruggen met 5,0 m oprit. Hoe steil is dat? Mag het?

6.9 Een kist op een helling

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een kist met gereedschap van 25 kg staat op een plank die je steeds schuiner zet.

a Bereken de componenten van de zwaartekracht langs en loodrecht op de plank.

hellingshoek	F∥ (N)	F⊥ (N)
10°		
20°		
30°		
45°		

b Bij welke hoek zijn beide componenten even groot? Toon het zonder rekenmachine.

c De kist blijft liggen tot ongeveer 30° en schuift dan. Wat zegt dat over de wrijving? (Kwalitatief: de getallen volgen in hoofdstuk 8.)

6.10 Schaduwen door het jaar

Toepassen · 4 · Rekenen · 15 min

In Oostende (51,2° noorderbreedte) staat een boom van 10 m hoog op een vlak terrein.

a Bereken de zonnehoogte op het middaguur op 21 juni, 21 maart en 21 december.

b Hoe lang is de schaduw van de boom op die drie middagen?

c De kas staat 20 m ten noorden van de boom. Ligt ze op het middaguur ooit in zijn schaduw?

6.11 Labo: de zonnehoogte en je breedtegraad

Toepassen · 5 · Labo · 60 min

Voer de proef met de schaduwstok uit het handboek uit, op een zonnige dag rond het middaguur.

a Noteer tijd en schaduwlengte om de 5 minuten.

tijd	schaduw (m)	h (°)

b Wanneer was de schaduw het kortst? Bereken de zonnehoogte op dat moment.

c Zoek de declinatie van de dag op (of bereken ze met de benadering) en bereken je breedtegraad. Vergelijk met een kaart.

d Bespreek je belangrijkste foutenbron en schat hoe groot haar invloed is.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opstelling	Stok verticaal (gecontroleerd), ondergrond horizontaal, stoklengte gemeten tot op 1 cm.
Metingen	Reeks rond het middaguur, kortste schaduw bepaald, tijdstip genoteerd.
Berekening	h met de tangens, declinatie met bron of formule, breedtegraad correct.
Foutenanalyse	Minstens één foutenbron gekwantificeerd (bv. 1 cm schaduw ≈ 0,2° bij 1 m stok in maart).

6.12 Python: graden of radialen?

Toepassen · 5 · Programmeren · 15 min

Een leerling ontbindt een kracht van 200 N onder 30° in Python. De uitvoer klopt niet.

```
import math

F = 200                    # kracht in N
hoek = 30                  # hoek met de horizontale, in graden
Fx = F * math.cos(hoek)
Fy = F * math.sin(hoek)
print("Fx =", round(Fx, 1), "N   Fy =", round(Fy, 1), "N")
```

Uitvoer:

```
Fx = 30.9 N   Fy = -197.6 N
```

a Welke uitkomst had je verwacht? Reken ze uit.

b Wat gaat er mis? Waarom is Fy zelfs negatief?

c Verbeter de twee regels en voorspel de nieuwe uitvoer. Voer het uit om te controleren.

```
```

Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

6.13 Habitat: de hellingshoek van het zonnepaneel kiezen

Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Het zonnepaneel van de klimaatmodule staat op het zuiden. De module heeft een batterij voor de nacht, en het energieverbruik is het hele jaar ongeveer gelijk (verwarming en verlichting wegen in de winter zwaarder, ventilatie in de zomer). Opbrengsten per kWp uit PVGIS voor Brussel:

hellingshoek	jaar (kWh/kWp)	december	januari	juni
0°	869	14,3	18,2	127,8
20°	998	26,4	30,9	129,1
39°	1041	34,9	39,6	122,1
60°	990	40,0	44,4	104,3
75°	891	40,7	44,7	85,6
90°	746	39,0	42,4	63,6



Een verstelbaar frame: de hoek is een ontwerpkeuze, geen natuurwet.

a Bereken met de zonnehoogte op het middaguur de hellingshoek waarbij de middagzon loodrecht invalt op 21 juni, 21 maart en 21 december.

b Bij welke hoek is de jaaropbrengst het grootst? Waarom ligt die hoek niet bij 51°?

c Bereken voor 20°, 60° en 75° het verschil in procent met 39°, voor het jaar en voor december.

hoek	jaar t.o.v. 39°	december t.o.v. 39°
20°		
60°		
75°		

d Welke hoek kies je voor de klimaatmodule? Verantwoord in vijf à zes regels, met getallen, en noem een nadeel van je keuze.

e Het paneel is 1,00 m lang. Hoe hoog komt de bovenrand, en hoe ver moet een volgende rij minstens staan (21 december, middaguur)?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Zonnestand	β = 90° − h juist toegepast voor drie data (27,6°; 51°; 74,4°).
Data	Procentuele verschillen correct berekend en gelezen.
Afweging	Keuze verantwoord vanuit het doel (winter tegenover jaar), met getallen; nadeel benoemd.
Geometrie	Hoogte en rijafstand correct met sinus, cosinus en tangens.

6.14 Hoe hoog is die boom?

Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Je kan niet tot aan de voet van een boom, want er staat een omheining. Met een hellingmeter meet je de hoek naar de top: 40° op een zekere plaats, en 25° als je 15,0 m verder achteruit loopt, in een rechte lijn. Je ogen zijn 1,60 m boven de grond.

a Maak een schets met de twee rechthoekige driehoeken. Noem de onbekende afstand tot de boom x en de hoogte boven ooghoogte H.

b Schrijf twee vergelijkingen met $\tan 40°$ en $\tan 25°$.

c Los op naar x en H. Hoe hoog is de boom?

d Een fout van 1° op de tweede hoek (24° in plaats van 25°): hoeveel verandert de hoogte? Wat leer je daaruit over de opstelling?

6.15 Eratosthenes in de klas

Uitdagen · 6 · Analyseren · 30 min

Twee scholen, 800 km uit elkaar op (bijna) dezelfde meridiaan, meten op dezelfde dag de kortste schaduw van een stok van 1,000 m. School A (in het noorden): 1,150 m. School B (in het zuiden): 0,900 m.

a Bereken de zonnehoogte bij elke school.

b Welke hoek maken de twee scholen, gezien vanuit het middelpunt van de aarde? Leg uit waarom dat het verschil van de zonnehoogtes is.

c Bereken de omtrek van de aarde. Hoeveel procent zit je naast de echte 40 008 km?

d Waarom moeten de scholen op dezelfde dag, op hun eigen middaguur en op dezelfde meridiaan meten?

6.16 Waarom een kabel nooit strak kan hangen

Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

Een groeilamp van 5,0 kg hangt in het midden van een staalkabel die tussen twee wanden van de kweekruimte gespannen is. Beide helften van de kabel maken dezelfde hoek θ met de

horizontale. De lamp hangt stil.

a Teken de drie krachten op het ophangpunt: het gewicht en de twee spankrachten T. Ontbind de spankrachten.

b Leg uit waarom de horizontale componenten elkaar opheffen, en toon dat de verticale componenten samen het gewicht dragen: $2\,T\sin\theta = m\,g$.

c Bereken de spankracht bij θ = 30°, 10° en 2°.

θ	T (N)
30°	
10°	
2°	

d Wat gebeurt er als je de kabel helemaal strak wil trekken (θ → 0°)? Wat betekent dat voor het ontwerp van de ophanging?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan in een rechthoekige driehoek de zijden benoemen ten opzichte van een hoek en sinus, cosinus en tangens als verhoudingen schrijven.

- Ik kan met sinus, cosinus en tangens een onbekende zijde of hoek berekenen, en de rekenmachine correct gebruiken (graden, inverse functies). ▢▢▢
- Ik kan een helling omrekenen van procent naar graden en omgekeerd, en uitleggen waarom 100 % geen verticale wand is. ▢▢▢
- Ik kan vectoren tekenen, optellen met de kop-staartmethode en de parallellogrammethode, en het verschil met gewone getallen uitleggen. ▢▢▢
- Ik kan een vector ontbinden in componenten en vectoren optellen met componenten, met grootte en richting van de resultante. ▢▢▢
- Ik kan de zwaartekracht op een helling ontbinden in een component langs en een component loodrecht op de helling. ▢▢▢
- Ik kan de zonnehoogte op het middaguur berekenen uit de breedtegraad en de declinatie, en er schaduwlengtes en de invalshoek op een zonnepaneel mee bepalen. ▢▢▢
- Ik kan een hellingshoek voor een zonnepaneel kiezen en verantwoorden met een afweging tussen jaaropbrengst en winteropbrengst. ▢▢▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 7

Beweging beschrijven

Plaats, snelheid en versnelling: drie grafieken die samen één beweging vertellen

Je begint met de basisbegrippen: verplaatsing en afgelegde weg, grafieken lezen, de formules van ERB en EVRB. In de tweede trede werk je met echte bewegingen in fasen (een tram, een lift), maak je een reactielat, ontcijfer je de vuistregels van de rijschool, meet je zelf een beweging en laat je Python een noodstop narekenen. In de laatste trede ontwerp je de snelle sluiting van het kasdak van Habitat (opdracht 7.13), los je de put exact op, verdedig je een zone 30 met cijfers en onderzoek je hoe de versnelling van de hellingshoek afhangt.

5× oefenen | 7× toepassen | 5× uitdagen | ± 424 min

K Krachten, beweging en constructies | W Wiskundig modelleren



Het schuifpaneel van het kasdak moet zacht vertrekken en zacht stoppen: hoe beschrijf je zo'n beweging precies?

Oefenen

7.1 Heen en terug

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een lift vertrekt op de tweede verdieping ($y = 6\,\text{m}$, de as wijst omhoog met de oorsprong op het gelijkvloers), gaat naar de vijfde ($y = 15\,\text{m}$) en daarna naar de kelder ($y = -3\,\text{m}$).

a Bereken de verplaatsing van de hele rit.

b Bereken de afgelegde weg.

c Kan de afgelegde weg ooit kleiner zijn dan de grootte van de verplaatsing? Kan de verplaatsing nul zijn terwijl de afgelegde weg dat niet is? Geef een voorbeeld.

7.2 Een (x,t)-grafiek lezen

● ○ ○ Oefenen · 3 · Analyseren · 15 min

Een wandelaar loopt in een lange gang heen en weer. De grafiek toont zijn plaats.



Vier rechte stukken: telkens een constante snelheid.

a Bereken de snelheid in elk van de vier stukken, met teken.

van … tot … s	Δx (m)	Δt (s)	v (m/s)

b Wanneer stond de wandelaar stil? Wanneer liep hij het snelst?

c Bereken de verplaatsing, de afgelegde weg, de gemiddelde snelheid en de gemiddelde baansnelheid over de hele minuut.

7.3 Rekenen met een ERB

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Een trein rijdt aan constante snelheid over een rechte spoorlijn. Op $t = 0$ passeert hij een sein op kilometerpaal 12,0 (km), in de zin van stijgende kilometerpalen, aan 126 km/h.

a Schrijf de plaats $x(t)$ in km met t in uur, en ook in m met t in s.

b Bij welke kilometerpaal is hij na 5,0 minuten?

c Hoe lang doet hij over de 7,0 km tot de volgende halte? (Het afremmen verwaarloos je.)

7.4 Versnellingen

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Bereken telkens de gemiddelde versnelling in m/s², met teken. Kies de bewegingszin als positieve zin.

a Een sprinter gaat in 1,5 s van 0 naar 7,5 m/s.

b Een auto gaat in 9,5 s van 0 naar 100 km/h.

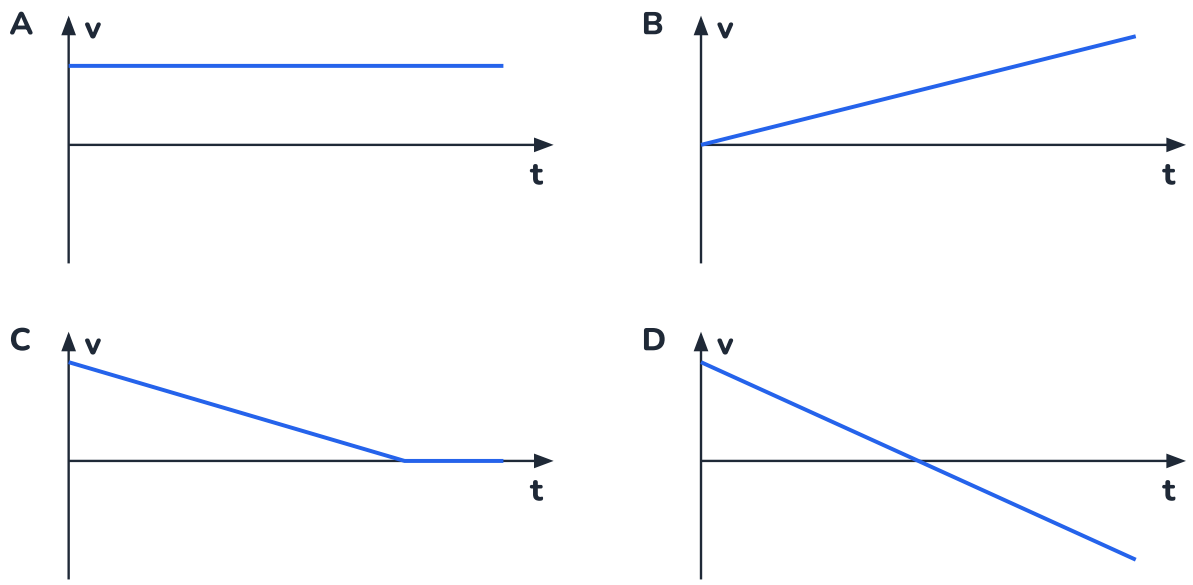
c Een fietser remt in 4,0 s van 25 km/h tot stilstand.

d Een vallende steen (naar beneden positief) gaat in 0,50 s van 2,0 naar 6,9 m/s. Wat valt je op?

7.5 Welke grafiek hoort erbij?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Vier (v,t)-grafieken zonder getallen. De horizontale as is telkens $v = 0$.



Vier bewegingen langs een rechte, als (v,t)-grafiek.

a Koppel elke beschrijving aan een grafiek: (1) een auto op cruisecontrol; (2) een steen die je loslaat, naar beneden positief; (3) een fietser die remt voor een rood licht en blijft staan; (4) een bal die je recht omhoog gooit tot hij terugvalt, omhoog positief.

b In welke grafiek(en) is de versnelling negatief? In welke wordt het voorwerp op een bepaald moment sneller terwijl de versnelling negatief is?

c Schets bij grafiek C de (x,t)-grafiek.

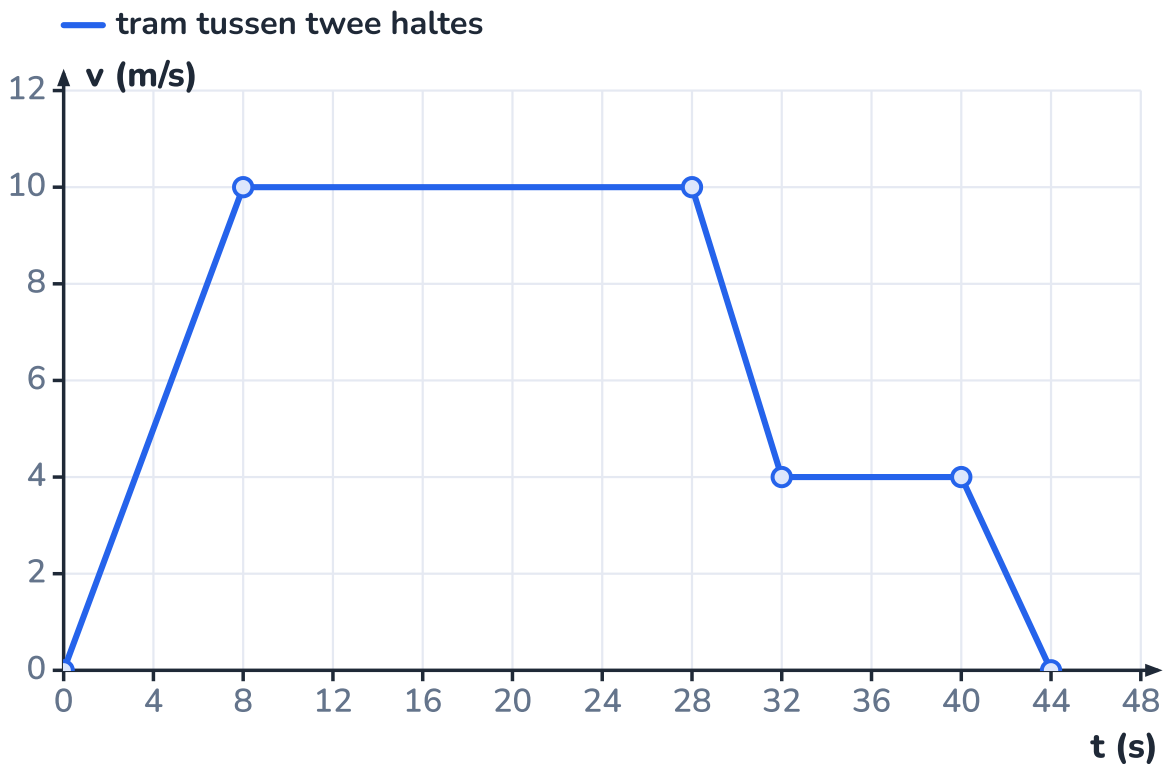
Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

7.6 De rit van een tram

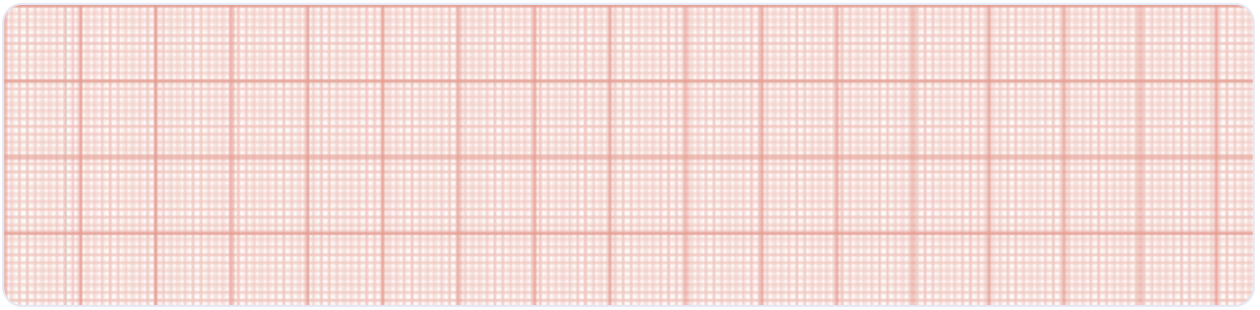
Toepassen · 4 · Analyseren · 20 min

Een tram rijdt tussen twee haltes. Onderweg vertraagt hij voor een kruispunt.



Vijf rechte stukken tussen de twee haltes.

a Bereken de versnelling in elk stuk en teken de (a,t)-grafiek.



b Bereken de afstand tussen de haltes met oppervlaktes.

c Bereken de gemiddelde snelheid in km/h. Waarom mag je hier niet $(v_0 + v)/2$ gebruiken?

7.7 Optrekken en remmen

Toepassen · 4 · Rekenen · 20 min

Twee situaties met een constante versnelling.

a Een elektrische auto gaat in 7,5 s van 0 naar 100 km/h. Bereken zijn versnelling en de afstand die hij daarvoor nodig heeft.

b Een trein remt gelijkmatig van 120 km/h tot stilstand over 800 m. Bereken de vertraging en de remtijd.

c Controleer je antwoord op de eerste vraag met de gemiddelde snelheid.

7.8 Maak een reactielat

●●○ Toepassen | 4 | Maken | 25 min

In hoofdstuk 1 mat je je reactietijd met een vallende lat: een partner laat de lat los, jij knijpt zo snel mogelijk. Nu maak je een lat waarop je de reactietijd meteen afleest in plaats van de valafstand.

a Leid uit de formules van de vrije val af hoe ver de lat valt in een tijd t.

b Bereken de valafstand voor de reactietijden in de tabel.

t (s)	valafstand (cm)
0,10	
0,15	
0,20	
0,25	
0,30	

c Plak een strook papier op een lat en zet de merktekens erop. Waarom liggen de streepjes niet op gelijke afstanden?

d Test de lat met vijf klasgenoten. Hoe nauwkeurig kan je aflezen tussen 0,20 en 0,25 s?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Formule	$d = \frac{1}{2}gt^2$ met de lat vanuit rust; eenheden omgezet naar cm.
Merktekens	Vijf merktekens binnen 2 mm van de berekende plaats, vanaf de nullijn gemeten.
Uitleg	Ongelijke afstanden verklaard met de toenemende snelheid (kwadratisch verband).
Test	Vijf metingen genoteerd; afleesnauwkeurigheid realistisch ingeschat.

7.9 De vuistregels van de rijschool

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Cursussen voor het Belgische rijbewijs B geven op een droog wegdek bij 50 km/h een reactieafstand van 15 m en een remafstand van 12,5 m; bij 90 km/h 27 m en 40,5 m; bij 120 km/h 36 m en 72 m. Op een nat wegdek is de remafstand bij 120 km/h 108 m. Als veilige volgafstand geven ze 'de snelheid gedeeld door twee' (in meter).

a Welke reactietijd zit in de reactieafstanden? Is ze bij alle drie de snelheden dezelfde?

b Welke remvertraging zit in de remafstanden op een droog wegdek? En op nat wegdek bij 120 km/h?

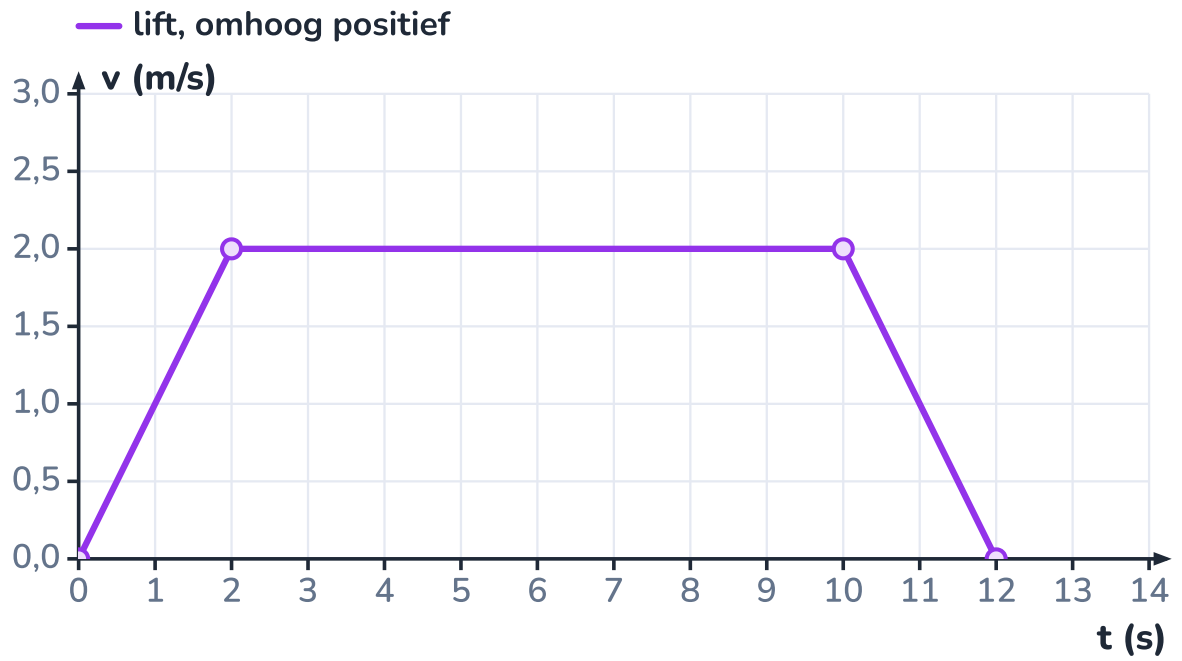
c Vergelijk met de waarden in het handboek (1,0 s en 7,0 m/s²). Wie rekent voorzichtiger?

d De volgafstand bij 120 km/h is 60 m, veel minder dan de stopafstand van 108 m. Waarom is die volgafstand toch meestal veilig? Wanneer niet?

7.10 Van een (v,t)-grafiek naar de twee andere

Toepassen · 5 · Tekenen · 25 min

Een lift rijdt van het gelijkvloers naar boven. Omhoog is positief.



Optrekken, constante snelheid, afremmen.

a Bereken de versnelling in de drie fasen en teken de (a,t)-grafiek.

b Bereken de hoogte na 2, 10 en 12 s en teken de (x,t)-grafiek. Let op de vorm van elk stuk.

c In dit gebouw is elke verdieping 4,0 m hoog. Naar welke verdieping reed de lift?

7.11 Labo: meet een versnelde beweging

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Voer de proef met het karretje uit het handboek uit, met de afstandssensor of met videoanalyse. Kies zelf een hellingshoek tussen 2° en 6°.

a Noteer je metingen (om de 0,2 s).

t (s)	x (m)	Δx (m)	v = Δx/Δt (m/s)	t midden (s)

b Teken de (x,t)- en de (v,t)-grafiek.

c Bepaal de versnelling uit de (v,t)-grafiek. Vergelijk met $g \sin \alpha$.

d Waarom schommelen de snelheden meer dan de plaatsen? Hoe maak je dat kleiner?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opstelling	Hoek gemeten (hoogte en lengte), karretje vanuit rust losgelaten, sensor uitgelijnd.
Verwerking	Snelheden per interval correct berekend en in het midden van het interval uitgezet.
Grafieken	Assen met grootheid en eenheid, best passende parabool en rechte.
Besluit	Versnelling met eenheid; vergelijking met g sin α; verschil verklaard.

7.12 Python: een noodstop in stapjes

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 20 min

Dit programma rekent de noodstop vanaf 50 km/h uit het handboek na, in stapjes van 0,1 s.

```
v = 50 / 3.6        # beginsnelheid (m/s)
T_R = 1.0           # reactietijd (s)
A_REM = -7.0        # versnelling tijdens het remmen (m/s2)
DT = 0.1            # tijdstap (s)

x = 0.0
stap = 0
while v > 0:
    t = stap * DT
    if t < T_R:
        a = 0.0
    else:
        a = A_REM
    x = x + v * DT
    v = v + a * DT
    stap = stap + 1
print("stil na", round(stap * DT, 1), "s en", round(x, 1), "m")
```

a Wat doet de `if`-regel? Welk deel van de stopafstand hoort bij `a = 0.0`?

b Voer het programma uit. Wat print het? Vergelijk met de 27,7 m uit het handboek.

c Verklaar het verschil. Tip: welke snelheid gebruikt de regel `x = x + v * DT` in elk stapje, en daalt de snelheid in dat stapje?

d Maak `DT` tien keer kleiner. Wat print het nu? Pas het programma aan voor een natte weg (5,0 m/s²) en een afgeleide bestuurder (2,0 s).

●●● Uitdagen

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

7.13 Habitat: het kasdak sluit bij regen

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 40 min

Als de regensensor van de klimaatmodule regen meet, moet het schuifpaneel (slag 0,60 m) sneller dicht dan de 7,0 s bij het gewone openen: binnen 5,0 s. De motor haalt hoogstens 0,15 m/s. Hoe groter de versnelling, hoe groter de kracht op de riem (hoofdstuk 8), dus je wil ze zo klein mogelijk houden.

a Toon aan dat de totale tijd voor een profiel 'aanlopen, constant, afremmen' (gelijke versnelling en vertraging a, topsnelheid v, slag s) gelijk is aan $T = \frac{s}{v} + \frac{v}{a}$.

b Lukt het binnen 5,0 s met a = 0,10 m/s² en v = 0,15 m/s? En met a = 0,20 m/s²?

c Welke versnelling is minstens nodig om met 0,15 m/s precies binnen 5,0 s te sluiten?

d Teken voor je gekozen profiel de (a,t)-, (v,t)- en (x,t)-grafiek onder elkaar, met getallen op de assen.

e Noteer je keuze in je portfolio, met één zin over wat er gebeurt als de motor bij vorst trager draait (0,12 m/s).

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Afleiding	Tijden en afstanden van de drie fasen correct opgeteld en vereenvoudigd tot s/v + v/a.
Berekening	Beide profielen correct getoetst; minimale versnelling 0,15 m/s².
Grafieken	Drie grafieken op één tijdas, met juiste vormen (trappen, trapezium, parabool-rechte-parabool) en getallen.
Reflectie	Gevolg van een tragere motor berekend en besproken.

7.14 De put, exact

Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

In het handboek liet je een steen in een put vallen en hoorde je hem na 2,4 s. Nu houd je rekening met de looptijd van het geluid (343 m/s). Noem de diepte h.

a Schrijf de valtijd t_1 en de looptijd van het geluid t_2 als functie van h.

b Stel $t_1 + t_2 = 2{,}4\,\text{s}$. Substitueer $u = \sqrt{h}$ en los de vierkantsvergelijking in u op.

c Hoe groot is de fout als je het geluid verwaarloost, in meter en in procent?

7.15 Zone 30: een debat met cijfers

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 35 min

De gemeente wil de straat voor de school van 50 naar 30 km/h brengen. Een buurtbewoner vindt dat onzin: 'Het scheelt maar 20 km/h, en een goede chauffeur remt toch op tijd.' Werk in groepjes van twee: de ene verdedigt de zone 30, de andere zoekt de zwakke plekken in de argumenten.

a Bereken de stopafstand bij 30 en bij 50 km/h op een droge en op een natte weg (5,0 m/s²), met een reactietijd van 1,0 s.

	30 km/h	50 km/h
droog		
nat		

b Op welke afstand moet een kind opduiken opdat de auto aan 50 km/h het nog raakt met meer dan 30 km/h (droog)?

c Hoeveel langer duurt een rit van 400 m door de zone aan 30 km/h dan aan 50 km/h?

d Schrijf je drie sterkste argumenten op, elk met een getal, en het sterkste tegenargument.

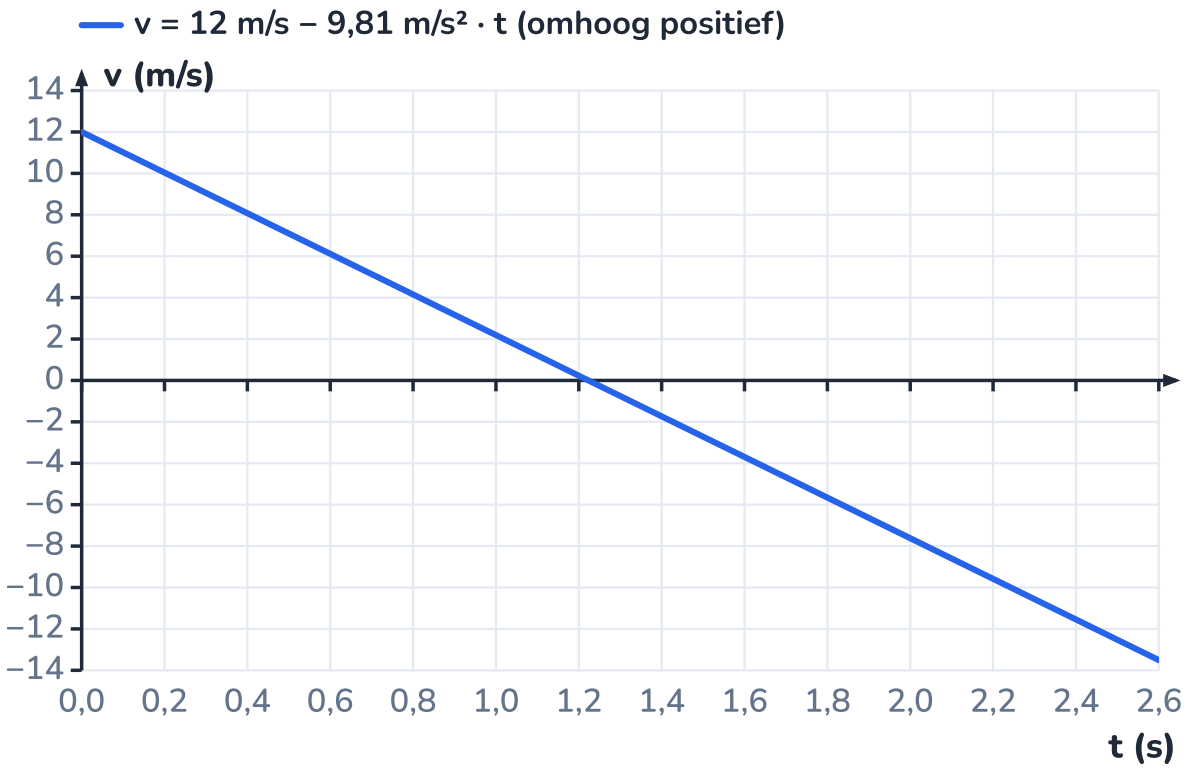
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekeningen	Vier stopafstanden correct; eenheden omgezet.
Analyse	Afstand voor een botsing boven 30 km/h correct met de formule zonder tijd.
Argumentatie	Argumenten met getallen, eerlijk tegenover het tijdverlies.
Luisteren	Het tegenargument ernstig genomen en beantwoord.

7.16 Een bal omhoog

Uitdagen · 6 · Analyseren · 20 min

Je gooit een bal recht omhoog met 12 m/s en vangt hem op dezelfde hoogte weer op. Omhoog is positief; luchtweerstand verwaarloos je.



Een rechte die door de t-as gaat.

a Wanneer bereikt de bal de top? Hoe lees je dat af, en wat is dan de versnelling?

b Hoe hoog komt de bal boven je hand? Gebruik een oppervlakte, en controleer met de formule zonder tijd.

c Wanneer vang je hem, en met welke snelheid? Leg uit met de oppervlaktes boven en onder de t-as.

d Een klasgenoot zegt: 'Op de top is de bal even gewichtloos, dus is de versnelling daar nul.' Wat antwoord je?

7.17 Onderzoek: versnelling en hellingshoek

Uitdagen · 7 · Onderzoeken · 60 min

Hoofdstuk 6 voorspelt dat de zwaartekracht langs een helling een component $m\,g\sin\alpha$ heeft. Zonder wrijving zou een karretje dus versnellen met $a = g\sin\alpha$. Klopt dat, en wat verandert de wrijving?

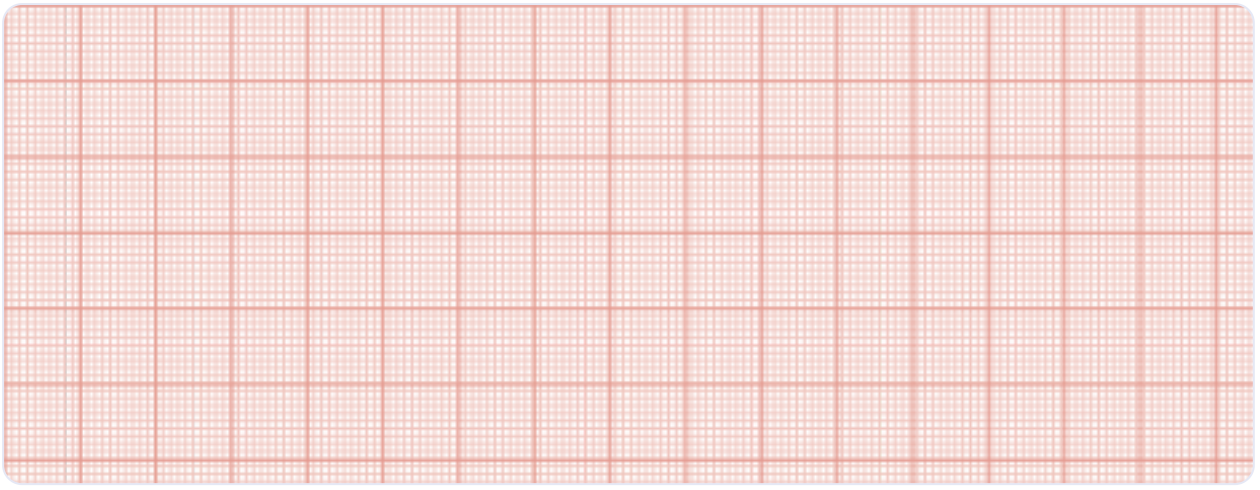
a Formuleer een onderzoeksvraag, een hypothese en een voorspelling voor α = 2°, 4° en 6°.

b Beschrijf je opstelling, je variabelen en hoe je de hoek nauwkeurig instelt.

c Voer uit: meet voor minstens vijf hoeken de versnelling (drie keer per hoek).

α (°)	sin α	a_1	a_2	a_3	a gemiddeld (m/s²)

d Zet a uit tegen $\sin \alpha$. Wat verwacht je zonder wrijving? Wat betekenen de helling en het snijpunt van jouw rechte?



ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Onderzoeksopzet	Vraag, hypothese en voorspelling; één variabele veranderd, de rest constant (karretje, startpunt, plank).
Metingen	Vijf hoeken, drie herhalingen, gemiddelde en spreiding.
Linearisering	a tegen sin α uitgezet (hoofdstuk 3), rechte getekend, helling en snijpunt met eenheid.
Interpretatie	Helling vergeleken met g; snijpunt verklaard als wrijving.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan plaats, verplaatsing en afgelegde weg onderscheiden, met een gekozen positieve zin. ▢ ▢ ▢

Ik kan gemiddelde en ogenblikkelijke snelheid berekenen en aflezen als helling van koorde en raaklijn in een (x,t)-grafiek. ▢ ▢ ▢

- [ ] Ik kan een eenparige rechtlijnige beweging (ERB) en een eenparig versnelde rechtlijnige beweging (EVRB) herkennen, beschrijven met formules en er problemen mee oplossen.
- [ ] Ik kan de (x,t)-, (v,t)- en (a,t)-grafiek van eenzelfde beweging uit elkaar afleiden, met helling en oppervlakte.
- [ ] Ik kan met de oppervlakte onder een (v,t)-grafiek een verplaatsing berekenen, ook bij een beweging in fasen.
- [ ] Ik kan een vrije val berekenen met $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ en de grenzen van dat model benoemen.
- [ ] Ik kan een stopafstand opsplitsen in reactieafstand en remafstand en uitleggen waarom snelheid zo zwaar doorweegt.
- [ ] Ik kan een beweging meten met een sensor, er snelheid en versnelling uit berekenen en een beweging stap voor stap simuleren in Python.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 8

De wetten van Newton

Drie wetten die verklaren waarom iets versnelt, remt, of gewoon blijft doen wat het deed

Je begint met de drie wetten apart: traagheid herkennen, krachten optellen, rekenen met F = m · a, actie-reactieparen vinden en vrijlichaamsdiagrammen tekenen. In de tweede trede combineer je ze: in een lift, met wrijving, op een helling, met een schuin touw, en in een kleine simulatie. In de laatste trede kies je de dakmotor van Habitat (opdracht 8.13), laat je de batterijkar ontsnappen, onderzoek je wat de wrijving bepaalt, ontdek je waarom ABS de remweg korter maakt en los je een klassiek systeem met een katrol op.

5× oefenen | 7× toepassen | 5× uitdagen | ± 411 min

K Krachten, beweging en constructies | W Wiskundig modelleren



Een curlingsteen glijdt tientallen meters ver: bijna zonder wrijving blijft hij doen wat hij deed.

Oefenen

8.1 Traagheid in het dagelijks leven

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Verklaar elke situatie met de eerste wet van Newton. Zeg telkens welke kracht er (niet) werkt.

a Een bus trekt plots op. Staande passagiers vallen naar achter.

b Je trekt een tafelkleed met een snelle ruk onder de borden uit; de borden blijven staan.

c Een hoofdsteun in een auto beschermt je nek vooral als je langs achter aangereden wordt.

d Een ruimtesonde vliegt jarenlang met uitgeschakelde motor in een rechte lijn verder.

8.2 Resulterende krachten

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Bereken telkens de grootte en de richting van de resulterende kracht.

a Op een kist werken horizontaal 120 N naar rechts, 80 N naar links en 30 N naar rechts.

b Op een boei trekken twee touwen: 60 N naar het oosten en 80 N naar het noorden.

c Een lamp hangt aan drie kabels in een horizontaal vlak, elk met 50 N, onder hoeken van 0°, 120° en 240°. Bereken de resultante met componenten.

8.3 Rekenen met F = m · a

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Vul de tabel aan. Het gaat telkens om de resulterende kracht.

a Bereken de ontbrekende grootheid.

situatie	F_res	m	a
auto trekt op		1200 kg	2,5 m/s²
kar op de werkvloer	15 N		0,60 m/s²
tennisbal tijdens de slag	285 N	57 g	
dakpaneel bij het aanlopen		10 kg	0,10 m/s²

b Waarom is de versnelling van de tennisbal zo enorm, en waarom merk je dat toch niet als 'geweld'?

8.4 Actie en reactie

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Geef bij elke kracht de reactiekracht: op welk voorwerp werkt ze, en in welke richting?

a De aarde trekt aan de maan.

b Een zwemmer duwt het water naar achter.

c De riem trekt het dakpaneel omhoog.

d Een boek ligt op tafel. Iemand zegt: 'De reactie op de zwaartekracht op het boek is de normaalkracht van de tafel.' Klopt dat?

- **A** ja: ze zijn even groot en tegengesteld
- **B** nee: ze werken allebei op het boek
- **C** nee: de normaalkracht is groter

8.5 Vrijlichaamsdiagrammen tekenen

Oefenen · 4 · Tekenen · 20 min

Teken voor elk voorwerp het vrijlichaamsdiagram, met de krachten ongeveer op schaal en met een naam. Zeg bij elke kracht wie ze uitoefent.

a Een schilderij hangt aan twee koorden die elk schuin naar een haak lopen.

b Een fietser rijdt aan constante snelheid over een vlakke weg (fietser en fiets samen).

c Een blok glijdt van een helling en wordt trager.

d Een bal op het hoogste punt van zijn baan, nadat je hem schuin omhoog gegooid hebt (zonder luchtweerstand).

Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

8.6 Een andere rit met de lift

Toepassen · 4 · Rekenen · 20 min

Een leerling van 50 kg legt een smartphone op de vloer van de lift en staat zelf op een weegschaal. De meting staat hieronder.



Voorbeeldmeting: eerst minder dan 9,81, daarna meer.

a Rijdt de lift omhoog of omlaag? Leg uit aan de hand van de grafiek.

b Lees de versnelling af in de twee fasen en bereken wat de weegschaal dan toont.

c Bereken de rijsnelheid en de hoogte van de rit.

8.7 Een kist over de vloer

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een kist van 50 kg staat op een vloer met $\mu_s = 0{,}50$ en $\mu_k = 0{,}35$. Je duwt horizontaal.

a Je duwt met 200 N. Beweegt de kist? Hoe groot is de wrijvingskracht?

b Vanaf welke duwkracht schuift de kist?

c Je duwt met 246 N en ze schuift. Hoe groot is de versnelling? Met welke kracht moet je daarna duwen om ze aan constante snelheid te laten glijden?

8.8 Labo: de wrijvingscoëfficiënt van twee materialen

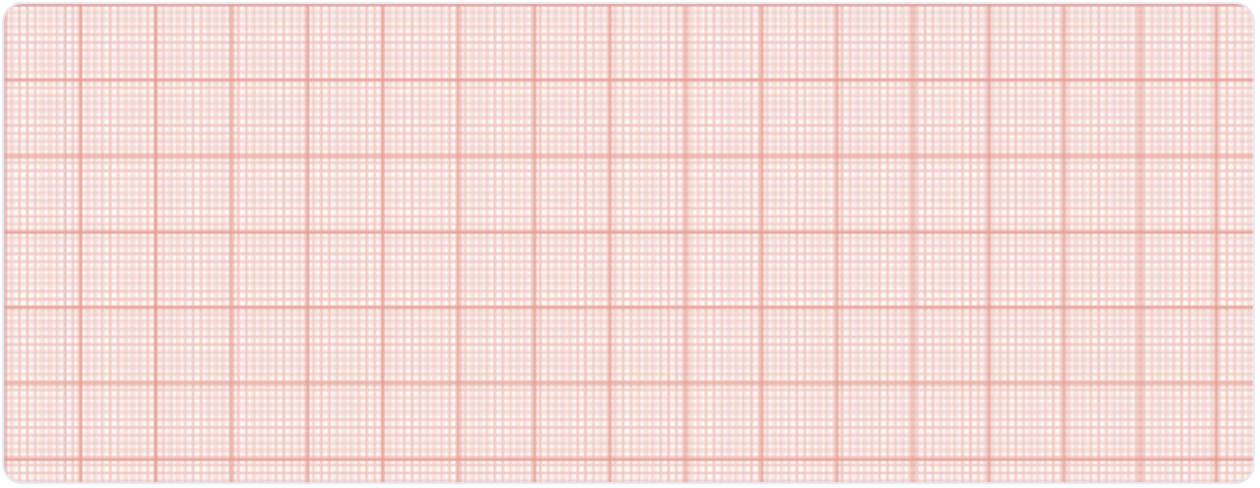
Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Voer de proef met de dynamometer uit het handboek uit voor twee materialen onder het blok (bijvoorbeeld hout en een laagje rubber of vilt). Houd de ondergrond dezelfde.

a Noteer je metingen.

materiaal	m (kg)	FN (N)	F statisch (N)	F dynamisch (N)

b Zet voor beide materialen de wrijvingskracht uit tegen FN en teken rechten door de oorsprong.



c Bepaal μs en μk voor beide materialen. Vergelijk met de tabel in het handboek.

d Waarom moet je horizontaal trekken? Wat meet je als je 20° omhoog trekt?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Vijf massa's per materiaal, drie herhalingen, statisch en dynamisch gescheiden.
Grafiek	Rechten door de oorsprong, helling bepaald met eenheid 'geen'.
Besluit	μs > μk voor elk materiaal; waarden met realistische onzekerheid.
Kritisch	Invloed van de trekhoek op FN correct uitgelegd.

8.9 De grenshoek

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een blok ligt op een plank die je langzaam schuiner zet. Bij 22° begint het te glijden. Bij 30° glijdt het vanuit rust 1,00 m ver in 0,95 s.

a Bereken μs.

b Bereken de versnelling bij 30° en daaruit μk.

c Waarom hoef je de massa van het blok niet te kennen?

8.10 De slee

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Je trekt een kind van 25 kg op een slee van 5,0 kg over vlakke sneeuw ($\mu_k = 0{,}10$) met een touw onder 35° met 60 N.

a Teken het vrijlichaamsdiagram van kind en slee samen.

b Bereken de normaalkracht en de wrijvingskracht.

c Bereken de versnelling.

d Trek je beter onder 35° of horizontaal met dezelfde 60 N? Reken het na.

8.11 Misvattingen ontmaskeren

Toepassen · 5 · Argumenteren · 25 min

Vijf uitspraken die je vaak hoort. Bespreek ze in een groepje; schrijf per uitspraak of ze klopt, en waarom (niet), met een voorbeeld of een getal.

a 'Een voorwerp beweegt altijd in de richting van de resulterende kracht.'

b 'Als het paard de kar trekt, trekt de kar even hard terug, dus kan de kar nooit vertrekken.'

c 'Een zwaar voorwerp heeft meer kracht nodig om te blijven bewegen dan een licht.'

d 'In een ruimtestation is er geen zwaartekracht.'

e 'Hoe groter het contactoppervlak, hoe meer wrijving.'

8.12 Python: een koffiefilter valt

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Een koffiefilter valt zo traag dat je de eindsnelheid met een meetlint en een stopwatch kan meten. Het programma simuleert de val.

```
G = 9.81
M = 0.0010          # massa van een koffiefilter (kg)
K = 0.0068          # luchtweerstandsconstante (kg/m)
DT = 0.01           # tijdstap (s)

v = 0.0
for stap in range(101):                # 0 tot 1,0 s
    t = stap * DT
    a = (M * G - K * v ** 2) / M
    if stap % 10 == 0:
        print(round(t, 1), "s:", round(v, 2), "m/s")
    v = v + a * DT
```

a Welke regel is de tweede wet van Newton? Wat stelt `K * v ** 2` voor?

b Voer het programma uit. Na hoeveel tijd is de eindsnelheid (bijna) bereikt, en hoe groot is ze? Controleer met een formule.

c Vier filters in elkaar hebben dezelfde vorm (zelfde K) maar vier keer de massa. Voorspel de eindsnelheid, pas het programma aan en controleer.

d Ontwerp een meting om te controleren of de eindsnelheid met √m groeit.

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

8.13 Habitat: de dakmotor kiezen

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 40 min

Voor het schuifpaneel (10 kg, rails onder 25°, μk = 0,20 in normale omstandigheden) zijn drie aandrijvingen te koop, telkens met een riem op de rail: A: trekkracht tot 50 N, gewone tandwielkast; B: tot 100 N, wormoverbrenging (zelfremmend); C: tot 150 N, wormoverbrenging (zelfremmend). In de winter kan er ijs op de rails komen: reken dan met μk = 0,40. De sluiting bij regen versnelt met 0,20 m/s² (opdracht 7.13).

a Bereken de kracht die de riem moet leveren bij het sluiten, aanlopen met 0,20 m/s², in normale omstandigheden en met ijs.

b Bereken of het paneel zonder motor zou blijven liggen (μs = 0,25). Waarom is een zelfremmende overbrenging nodig?

c Een ontwerper eist een veiligheidsfactor 1,5 op de grootste kracht. Welke aandrijving kies je? Verantwoord.

d Welke kracht werkt er op de bevestiging van de motor als het paneel met ijs dichtgetrokken wordt? Welke wet gebruik je?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vrijlichaamsdiagram	Alle krachten op het paneel, met juiste richting van de wrijving bij sluiten.
Berekening	F∥, FN, wrijving en m · a correct voor beide situaties; eenheden.
Keuze	Veiligheidsfactor toegepast op het slechtste geval; zelfremming meegewogen.
Derde wet	Reactiekracht op de motorsteun benoemd en even groot als de riemkracht.

8.14 De batterijkar ontsnapt

Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Iemand laat de batterijkar (80 kg, rolweerstand $\mu_r = 0{,}025$) bovenaan de oprit los (6,41 m lang, 6,25 %). Beneden gaat de kar over in een vlakke betonvloer.

a Bereken de versnelling langs de oprit.

b Met welke snelheid komt de kar beneden aan, in m/s en km/h?

c Hoe ver rolt ze nog op de vlakke vloer?

d Stel een maatregel voor en toon met een berekening dat hij werkt.

8.15 Onderzoek: wat bepaalt de wrijving?

Uitdagen · 6 · Onderzoeken · 50 min

Hangt de dynamische wrijving af van de grootte van het contactoppervlak, en van de snelheid? Ontwerp een onderzoek met een dynamometer of een krachtsensor.

a Formuleer twee onderzoeksvragen en je hypotheses.

b Beschrijf per vraag wat je verandert, wat je meet en wat je constant houdt. Hoe verander je het contactoppervlak zonder de massa te veranderen?

c Voer uit en noteer je metingen.

variabele	meting 1	meting 2	meting 3	gemiddelde

d Formuleer je besluit en bespreek de grootste foutenbron.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Onderzoeksvragen	Twee toetsbare vragen met hypothese.
Eerlijke proef	Eén variabele tegelijk; massa en materiaal constant bij de oppervlakteproef.
Metingen	Herhalingen, gemiddelde, spreiding.
Besluit	Onderbouwd met de metingen en de meetonzekerheid.

8.16 Remmen met en zonder ABS

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Een rollende band raakt het wegdek zonder te schuiven: dan werkt statische wrijving. Blokkeert het wiel, dan schuift de band: dynamische wrijving. Neem op droog asfalt $\mu_s = 0{,}9$ en $\mu_k = 0{,}7$ (vereenvoudigd model). ABS laat de remdruk telkens even los zodat de wielen net niet blokkeren.

a Bereken de grootste remvertraging met rollende en met blokkerende wielen.

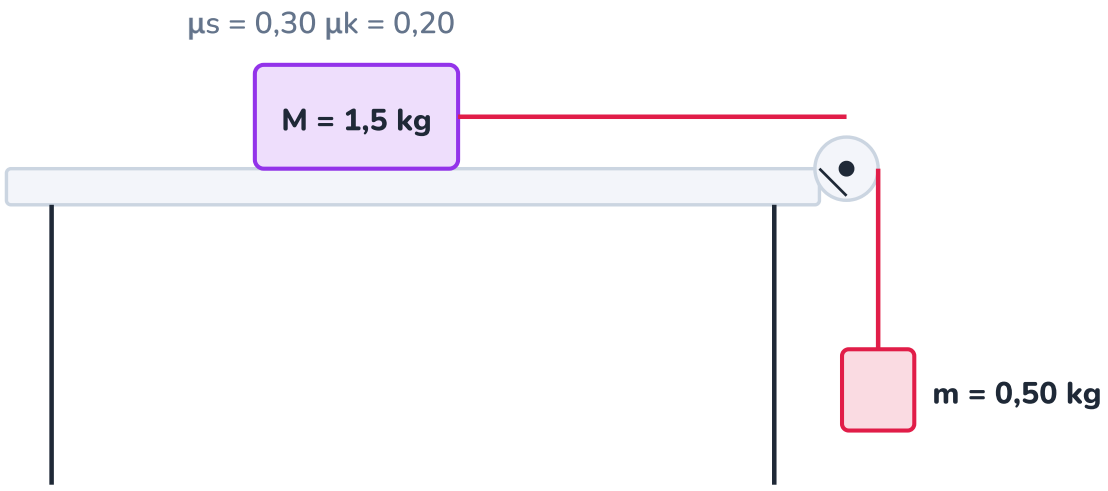
b Bereken de remafstand bij 100 km/h in beide gevallen.

c Geef nog een reden waarom blokkerende wielen gevaarlijk zijn, los van de remafstand.

8.17 Een blok, een touw en een katrol

Uitdagen · 7 · Rekenen · 30 min

Een blok op een tafel is met een touw over een lichte, wrijvingsloze katrol verbonden met een hangend gewicht.



Het touw is licht en rekt niet: beide voorwerpen hebben dezelfde versnelling.

a Teken het vrijlichaamsdiagram van het blok en dat van het hangende gewicht apart.

b Toon aan dat het systeem in beweging komt als je loslaat.

c Schrijf de tweede wet voor elk voorwerp en bereken de versnelling en de spankracht in het touw.

d Welk hangend gewicht is net genoeg om het blok in beweging te krijgen?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan de resulterende kracht bepalen van krachten langs één lijn en van loodrechte krachten.
- Ik kan de eerste wet (traagheid) toepassen en uitleggen waarom er geen kracht nodig is om te blijven bewegen.
- Ik kan met $F_{\text{res}} = m \cdot a$ een kracht, een massa of een versnelling berekenen, in een of twee richtingen.
- Ik kan actie-reactieparen herkennen en uitleggen waarom ze elkaar niet opheffen.
- Ik kan een vrijlichaamsdiagram tekenen met zwaartekracht, normaalkracht, spankracht, wrijving en duwkracht.
- Ik kan statische en dynamische wrijving berekenen met een wrijvingscoëfficiënt, en een coëfficiënt meten.
- Ik kan de krachten op een voorwerp op een helling ontbinden en de versnelling of de benodigde kracht berekenen.
- Ik kan een beweging met een veranderlijke kracht stap voor stap simuleren met de tweede wet.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 9

Arbeid, energie en vermogen

Kracht maal weg: hoe energie van vorm verandert, hoeveel ervan verloren gaat, en hoe snel

Je begint met arbeid, energie, eenheden en rendement in één stap. In de tweede trede reken je met behoud van energie en met wrijving, meet je je eigen vermogen en het energieverlies van een stuiterbal, en laat je Python het pompverbruik plannen. In de laatste trede maak je het energiebudget van de waterkringloop van Habitat (opdracht 9.13), reken je de dakmotor door, volg je de energie van een reep chocolade en van een remmende auto, en beslis je of water een goede batterij is voor het station.

5× oefenen · 7× toepassen · 5× uitdagen · ± 402 min

K Krachten, beweging en constructies · E Energie · W Wiskundig modelleren



Een batterij van water: 's nachts wordt het water omhoog gepompt, overdag stroomt het door turbines terug.

Oefenen

9.1 Arbeid of geen arbeid?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Zeg telkens of de genoemde kracht positieve, negatieve of geen arbeid verricht op het voorwerp, en waarom.

a De zwaartekracht op een appel die van een boom valt.

b De normaalkracht van de vloer op een kar die je horizontaal duwt.

c De wrijvingskracht op een kist die over de vloer glijdt.

d Jouw kracht op een zware doos die je een minuut stil boven je hoofd houdt.

e De kracht van de riem op het dakpaneel tijdens het openen (het paneel schuift naar beneden, de riem houdt tegen).

9.2 Arbeid berekenen

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Bereken de arbeid in joule.

a Je duwt een kast met 150 N over 12 m, in de richting van de beweging.

b Je trekt een slee 5,0 m ver aan een touw met 80 N, onder 40° met de grond.

c Een kraan tilt een pallet van 500 kg aan constante snelheid 3,0 m op. Hoeveel arbeid doet de kraan? En de zwaartekracht?

d Een wrijvingskracht van 20 N werkt op een blok dat 2,5 m glijdt.

9.3 Kinetische en zwaarte-energie

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Vul de tabel aan. Neem de grond als referentieniveau.

a Bereken de ontbrekende waarden.

voorwerp	m	v	h	Ek	Ep
voetbal na een trap	0,43 kg	25 m/s	0		
plantenbak op een rek	12 kg	0	1,8 m		
zwaluw	20 g		15 m	4,0 J	
vrachtwagen		90 km/h	0	3,9 MJ	

b Welke grootheid moet je eerst omzetten bij de zwaluw en de vrachtwagen?

9.4 Joule, wattuur en watt

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Energie en vermogen komen in veel eenheden voor. Reken om en bereken.

a Hoeveel joule is 2,4 Wh? En 1,2 kWh?

b De pomp van Habitat (12 W) draait 6 uur per dag. Hoeveel energie is dat in Wh, in kWh en in MJ?

c Een lift tilt 800 kg (cabine en personen) 20 m hoog in 16 s. Welk vermogen is daar minstens voor nodig?

d Het dakpaneel wordt met 59 N aan 0,10 m/s dichtgetrokken. Bereken het vermogen op twee manieren.

9.5 Rendement en Sankey

Oefenen · 4 · Tekenen · 15 min

Een elektrische heftruck neemt 5,0 kW op. Hij tilt een pallet van 600 kg in 4,0 s 2,5 m hoog. De motor wordt warm, en in de hydraulica gaat ook energie verloren.

a Bereken het nuttige vermogen en het rendement.

b Teken het Sankey-diagram op schaal (1 cm per kW).

c Waar blijft de 'verloren' energie?

Toepassen

meerdere stappen, in een context

9.6 Vallen, met energie

Toepassen · 4 · Rekenen · 15 min

Luchtweerstand verwaarloos je, tenzij anders gevraagd.

a Met welke snelheid raakt een steen de grond na een val van 20 m? Controleer met de formules van hoofdstuk 7.

b Een tennisbal valt van 1,50 m en stuitert terug tot 0,82 m. Welk deel van de energie gaat per stuiter verloren?

c Van welke hoogte moet je de bal laten vallen opdat hij de grond raakt met 10 m/s?

9.7 De achtbaan met wrijving

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Het karretje van de achtbaan uit het handboek (500 kg) vertrekt bijna stil op 30 m. Metingen tonen dat het in het laagste punt B (0 m) 23,3 m/s haalt en op de top van heuvel C (20 m) 10,6 m/s. Het baanstuk van A naar B is 80 m lang, van B naar C 60 m.

a Bereken de mechanische energie in A, B en C.

punt	Ep (kJ)	Ek (kJ)	Ek + Ep (kJ)
A			
B			
C			

b Hoeveel energie is er tussen A en B en tussen B en C verloren gegaan? Waar naartoe?

c Hoe groot is de gemiddelde wrijvingskracht (wielen en lucht samen) op elk baanstuk? Vergelijk met het gewicht.

9.8 Labo: vermogen op de trap

Toepassen · 5 · Labo · 40 min

Voer de proef uit het handboek uit met drie leerlingen en twee manieren van naar boven gaan.

a Noteer de metingen en bereken per poging de zwaarte-energie en het vermogen.

naam	m (kg)	h (m)	t (s)	Ep (J)	P (W)

b Wie levert het grootste vermogen? Is dat ook wie het snelst boven is? Leg uit.

c Schat met een spierrendement van 25 % hoeveel energie je lichaam verbruikte bij je snelste poging.

d Noem twee foutenbronnen en hun invloed op P (te groot of te klein).

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Hoogte van een trede tot op 0,5 cm, aantal treden, tijden herhaald.
Berekening	Ep en P correct, eenheden.
Interpretatie	Vermogen hangt af van massa én tijd; vergelijking eerlijk gemaakt.
Foutenanalyse	Reactietijd bij de stopwatch en het niet meetellen van beweging van armen en benen besproken.

9.9 Onderzoek: hoeveel energie verliest een stuiterbal?

●●○ Toepassen | 5 | Onderzoeken | 45 min

Laat een bal vallen tegen een meetlat en film hem (liefst in slow motion). Lees de hoogte van elke top af.

a Formuleer een onderzoeksvraag en een hypothese over de terugsprong.

b Meet de hoogte van de eerste vijf toppen.

stuiter	hoogte (cm)	hoogte / vorige hoogte

c Is de verhouding constant? Welk soort verband volgt daaruit voor de hoogte na n stuiters (hoofdstuk 5)?

d Herhaal op een andere ondergrond. Wat besluit je?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opzet	Vraag en hypothese; starthoogte constant; camera loodrecht op de meetlat.
Metingen	Vijf toppen, herhaald; aflezen tot op 1 cm.
Analyse	Verhoudingen berekend; exponentieel verband herkend.
Besluit	Vergelijking van ondergronden met getallen.

9.10 Fietsen: P = F · v

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een fietser levert 200 W aan de trappers. Op een vlakke weg zijn lucht- en rolweerstand samen 25 N bij de snelheid waarmee hij rijdt. Fietser en fiets wegen samen 80 kg.

a Hoe snel rijdt hij, in m/s en km/h?

b Nu rijdt hij een helling van 5 % op, met dezelfde 200 W. Welke extra kracht moet hij langs de helling leveren?

c Schat zijn snelheid op de helling als je de luchtweerstand verwaarloost en de rolweerstand 4,0 N is.

9.11 Python: een pompplanner

Toepassen · 5 · Programmeren · 20 min

In een eb-en-vloedsysteem draait de pomp elk uur een tijdje. Het programma berekent het dagverbruik.

```
# pompplanner.py - hoeveel energie kost de waterkringloop per dag?
P_POMP = 12.0          # opgenomen vermogen van de pomp (W)
DEBIET = 5.0           # liter per minuut bij 1,5 m opvoerhoogte
BATTERIJ = 1200.0      # bruikbare energie in de batterij (Wh)

minuten_per_uur = 15   # de pomp draait elk uur een kwartier
uren = 24

pomptijd = minuten_per_uur * uren / 60          # uren per dag
energie = P_POMP * pomptijd                      # Wh per dag
liters = DEBIET * minuten_per_uur * uren         # liter per dag
print("pomptijd per dag:", pomptijd, "h")
print("energie per dag:", energie, "Wh")
print("rondgepompt water:", liters, "L")
print("deel van de batterij:", round(100 * energie / BATTERIJ, 1), "%")
```

a Voorspel de uitvoer en voer het programma uit.

b De planten hebben maar 10 minuten per uur nodig, en 's nachts (8 uur) helemaal niet. Pas het programma aan. Wat wordt het verbruik?

c Voeg een regel toe die het rendement print, met 60 kg per 60 L en een opvoerhoogte van 1,5 m.

9.12 De slinger

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een massa hangt aan een touw van 1,00 m. Je trekt ze opzij tot het touw 30° met de verticale maakt, en laat los.

a Hoeveel hoger dan het laagste punt hangt de massa bij de start? Gebruik goniometrie (hoofdstuk 6).

b Bereken de snelheid in het laagste punt.

c Waarom doet de spankracht van het touw geen arbeid?

d Tot welke hoek zwaait de massa aan de andere kant? En na enkele minuten?

9.13 Habitat: het energiebudget van de waterkringloop

Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

De pomp van de waterkringloop (12 W, 5,0 L/min bij 1,5 m) voedt de kweekgoten. Voorlopig rekenen we met een batterij van 1,2 kWh. Twee plannen liggen op tafel. Plan A: de pomp draait continu, 24 uur per dag. Plan B: eb en vloed, overdag (16 uur) elk uur 15 minuten, 's nachts niet. De planten hebben minstens 600 L rondgepompte oplossing per dag nodig.

a Bereken voor beide plannen de pomptijd, de elektrische energie per dag (Wh) en het rondgepompte volume.

plan	pomptijd (h)	energie (Wh)	volume (L)	% van de batterij
A				
B				

b Hoeveel van die energie wordt zwaarte-energie van het water, en waar blijft de rest?

c Voldoen beide plannen aan de eis van 600 L? Welk plan kies je? Verantwoord met getallen.

d Een klasgenoot stelt een pomp met een rendement van 30 % voor (zelfde debiet en hoogte). Hoeveel vermogen neemt die op, en hoeveel bespaar je per dag in plan B?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Pomptijd, energie en volume correct voor beide plannen; eenheden Wh en L.
Energie	Nuttige energie met m · g · h; verlies benoemd als warmte.
Keuze	Plan getoetst aan de eis van 600 L en aan de batterij; afweging met getallen.
Uitbreiding	Opgenomen vermogen bij 30 % correct uit het nuttige vermogen afgeleid.

9.14 Habitat: energie en vermogen van de dakmotor

●●● Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Het schuifpaneel (10 kg, 25°, μk = 0,20) wordt over 0,60 m dichtgetrokken met gemiddeld 59,2 N, aan 0,10 m/s. Een wormoverbrenging is zelfremmend, maar heeft een laag rendement: reken voor motor en overbrenging samen met 30 %. Het dak gaat gemiddeld vier keer per dag open en dicht.

a Bereken de arbeid van de riem bij één keer sluiten, en splits ze op in zwaarte-energie en warmte.

b Bereken het mechanische en het elektrische vermogen tijdens de constante fase.

c Schat de elektrische energie per dag (openen kost ongeveer 40 % van sluiten). Vergelijk met de pomp in plan B van opdracht 9.13.

d Waarom is een laag rendement hier geen probleem, en bij de pomp wel?

9.15 Een reep chocolade en de trap

Uitdagen · 6 · Analyseren · 20 min

Op de verpakking van een reep chocolade van 50 g staat een energie van 1000 kJ. Je spieren zetten ongeveer 25 % van de energie uit voeding om in arbeid. Je weegt 60 kg; een verdieping is 3,0 m hoog.

a Hoeveel arbeid kunnen je spieren met die reep leveren?

b Hoe hoog kan je daarmee klimmen, en hoeveel verdiepingen is dat?

c Een trap van 10 verdiepingen oplopen: hoeveel reep 'verbruik' je (met het rendement)?

d Waarom is je lichaam toch warm na het klimmen? Waar ging de rest van de energie heen?

9.16 Remmen en terugwinnen

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Een elektrische auto van 1500 kg rijdt 10 km door de stad aan 50 km/h en moet onderweg 20 keer tot stilstand remmen. Bij recuperatief remmen werkt de motor als dynamo en laadt hij de batterij; neem aan dat 60 % van de kinetische energie zo terug in de batterij komt. Rij- en luchtweerstand verwaarloos je in deze opdracht.

a Hoeveel kinetische energie heeft de auto aan 50 km/h?

b Hoeveel energie moet de motor over de 10 km leveren om 20 keer op te trekken? Hoeveel is dat in kWh?

c Hoeveel wint recuperatief remmen terug? Vergelijk met een verbruik van ongeveer 1,5 kWh per 10 km in de stad.

d Waar gaat de remenergie heen bij een gewone auto?

9.17 Water als batterij voor het station?

Uitdagen · 7 · Argumenteren · 40 min

Een ontwerper stelt voor om de energie van Habitat op te slaan in een watertoren: overdag water 10 m hoog pompen met zonnestroom, 's nachts het water door een kleine turbine

laten terugstromen. Het rendement van de hele cyclus (pomp, leidingen, turbine) schat hij op 50 %. Het station heeft 's nachts 1,2 kWh nodig.

a Hoeveel water moet er in de toren om 's nachts 1,2 kWh te leveren?

b Vergelijk met een lithiumbatterij van 1,2 kWh (ongeveer 12 kg). Hoeveel keer zwaarder is het water?

c Controleer met de gegevens uit het verhaal over Coo dat de uitbreiding van 600 000 m³ ongeveer 440 MWh extra betekent.

d Schrijf een advies van vijf à zes regels: voor Habitat, en waarom het voor een land wel werkt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Massa uit m · g · h met het rendement verrekend; volume in m³.
Vergelijking	Verhouding met de batterijmassa, orde van grootte juist.
Coo	E = m · g · h voor 600 000 m³ en 270 m, omgerekend naar MWh.
Advies	Onderbouwd met getallen; verschil tussen kleine en grote schaal verklaard.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan arbeid berekenen als kracht maal verplaatsing, ook als de kracht een hoek maakt met de verplaatsing, en het teken van de arbeid verklaren.	☐ ☐ ☐
Ik kan arbeid bepalen als oppervlakte onder een (F,s)-grafiek, ook bij een veranderlijke kracht.	☐ ☐ ☐
Ik kan kinetische en potentiële energie berekenen en de formule voor de kinetische energie afleiden uit de tweede wet.	☐ ☐ ☐
Ik kan met behoud van mechanische energie snelheden en hoogtes berekenen, zonder de tijd te kennen.	☐ ☐ ☐
Ik kan het energieverlies door wrijving berekenen als arbeid van de wrijvingskracht en in een energieboekhouding verwerken.	☐ ☐ ☐
Ik kan vermogen berekenen met $P = W/t$ en $P = F \cdot v$, en omrekenen tussen joule, wattuur en kilowattuur.	☐ ☐ ☐
Ik kan het rendement van een machine berekenen en de verliezen voorstellen in een Sankey-diagram.	☐ ☐ ☐
Ik kan het energieverbruik van de pomp van Habitat berekenen en vergelijken met de energie in een batterij.	☐ ☐ ☐

WERKBOEK · HOOFDSTUK 10

Moment en evenwicht

Waarom een lange sleutel helpt, waar een balk op steunt, en wanneer iets omvalt

Je begint met momenten uitrekenen, een deur en een wip, evenwicht herkennen, zwaartepunten van profielen en de reacties van een balk. In de tweede trede reken je aan een boekenplank en een plank met een overstek, meet je zelf steunpuntsreacties, bouw je een mobiel, laat je Python een balk doorrekenen en onderzoek je waarom kasten omvallen. In de laatste trede reken je de draagbalk onder het reservoir van Habitat na (opdracht 10.14), zoek je hoe hoog je op een ladder mag klimmen, kies je het contragewicht van een kraan, stapel je blokken zo ver mogelijk over de rand en ontwerp je de ballast voor het zonnepaneel.

6× oefenen · 7× toepassen · 5× uitdagen · ± 487 min

K Krachten, beweging en constructies · W Wiskundig modelleren · D Ontwerpen en maken

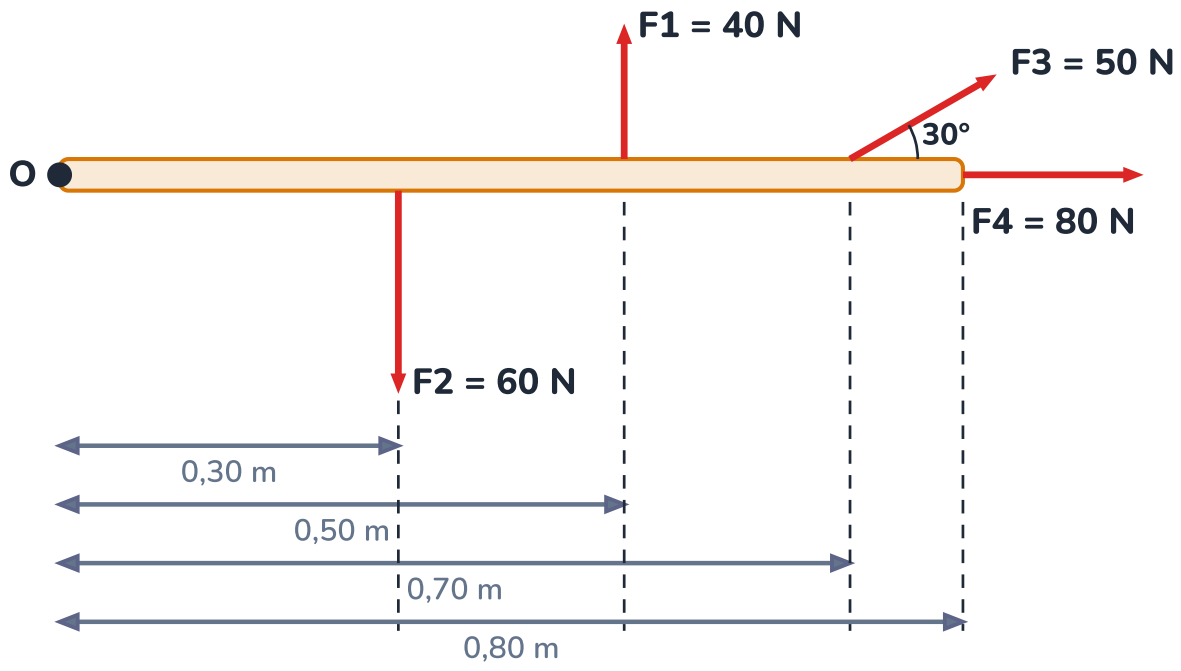


Een torenkraan is een reusachtige wip: het contragewicht houdt de last in evenwicht.

10.1 Momenten om een draaipunt

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Een staaf kan draaien rond O. Er werken vier krachten op, zoals in de figuur.



F1 en F3 wijzen omhoog, F2 omlaag, F4 trekt langs de staaf.

a Bereken het moment van elke kracht om O, met teken (tegen de klok in positief).

kracht	arm (m)	moment (N·m)
F1		
F2		
F3		
F4		

b Hoe groot is het totale moment? In welke zin draait de staaf?

c Welke loodrechte kracht moet je op 0,80 m uitoefenen, en in welke richting, om de staaf in evenwicht te houden?

10.2 Een deur openduwen

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een deur draait rond de scharnieren. Ze is 0,90 m breed en de klink zit 0,80 m van de scharnieren.

a Waarom zit de klink zo ver mogelijk van de scharnieren?

b Om de deur te openen is een moment van 4,0 N·m nodig. Met welke kracht duw je loodrecht aan de klink? En loodrecht op 10 cm van de scharnieren?

c Je duwt aan de klink met 20 N, maar schuin: je kracht maakt 30° met het deurblad. Gaat de deur open?

d Waarom mag je een deurstopper beter niet vlak bij de scharnieren zetten als iemand de deur hard dichtduwt?

10.3 De wip op de speelplaats

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Lotte (35 kg) zit op een wip, 1,8 m van het draaipunt. Haar vader (80 kg) gaat aan de andere kant zitten. Het gewicht van de plank verwaarloos je (ze is symmetrisch).

a Op welke afstand van het draaipunt moet haar vader zitten voor evenwicht?

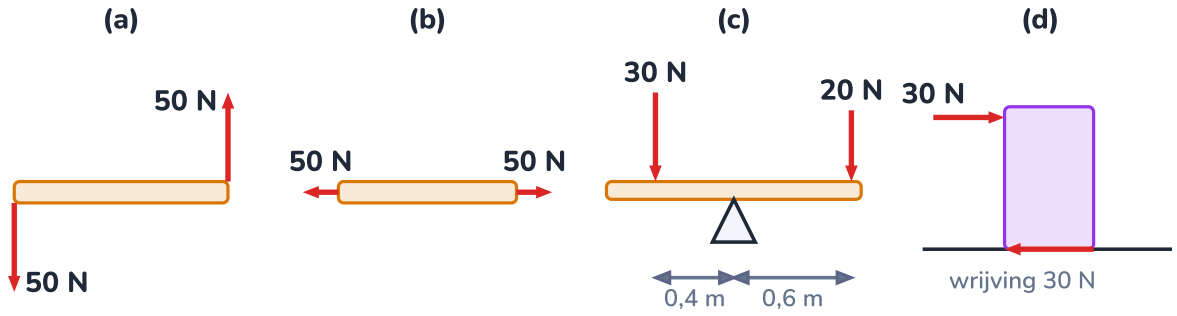
b Haar broertje (15 kg) komt bij Lotte zitten, 1,2 m van het draaipunt. Waar moet de vader nu zitten?

c Met welke kracht duwt het draaipunt dan op de plank?

10.4 Evenwicht of niet?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Vier situaties. Het gewicht van de plankjes en het blok verwaarloos je in (a) tot (c).



(a) twee krachten aan de uiteinden; (b) twee krachten op één lijn; (c) een wip met twee lasten; (d) een blok dat bovenaan geduwd wordt.

a Is de som van de krachten nul in (a), (b) en (c)? En de som van de momenten? Welke zijn in evenwicht?

	ΣF = 0?	ΣM = 0?	evenwicht?
(a)			
(b)			
(c)			

b Welke kracht ontbreekt er in figuur (c) om het een volledig vrijlichaamsdiagram te maken? Hoe groot is ze?

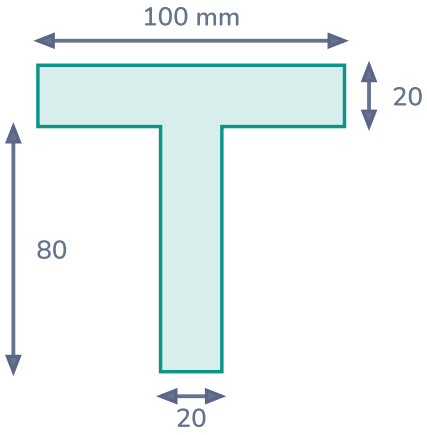
c In (d) duw je bovenaan een blok met 30 N en de wrijving onderaan is ook 30 N. De horizontale krachten heffen elkaar op. Waarom kantelt het blok dan toch niet vanzelf, en wanneer wel?

10.5 Zwaartepunten van profielen

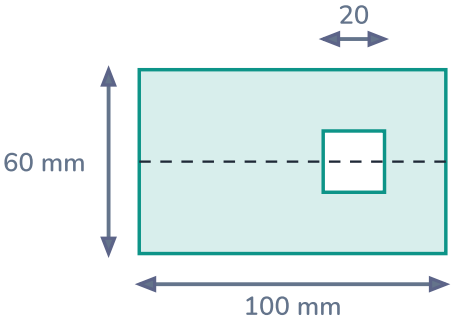
Oefenen · 4 · Rekenen · 20 min

Bereken het zwaartepunt van de twee vormen. Leg de oorsprong linksonder.

T-profiel



plaat met vierkant gat



midden van het gat: 70 mm van links

Links een T-profiel (lijf 20 × 80 mm, flens 100 × 20 mm), rechts een plaat van 100 × 60 mm met een vierkant gat van 20 × 20 mm.

a Waar ligt het zwaartepunt van het T-profiel horizontaal? Leg uit zonder te rekenen.

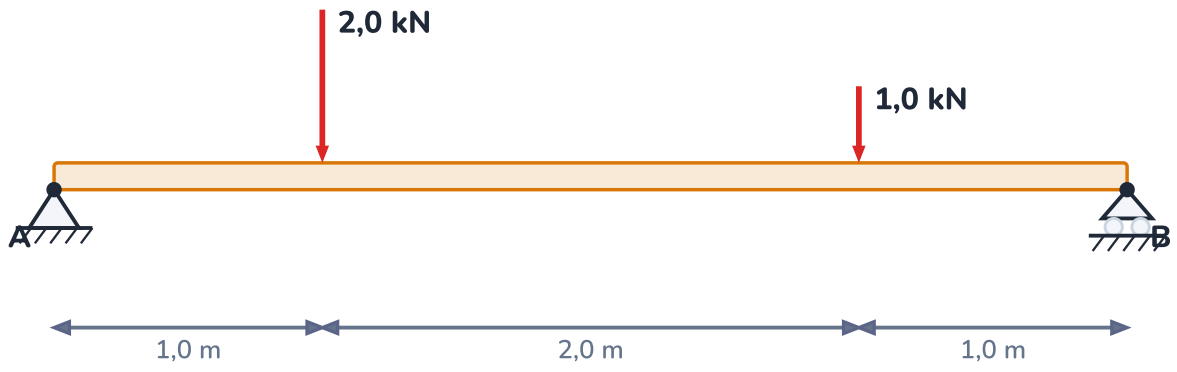
b Bereken de hoogte van het zwaartepunt van het T-profiel.

c Bereken het zwaartepunt van de plaat met het gat.

10.6 Steunpuntsreacties van een balk

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een balk van 4,0 m rust op een scharnier in A en een rol in B.



Twee puntlasten: 2,0 kN op 1,0 m en 1,0 kN op 3,0 m van A.

a Teken het vrijlichaamsdiagram en bereken R_A en R_B. Controleer met de momenten om B.

b De balk weegt zelf 0,50 kN per meter. Hoe groot worden de reacties nu?

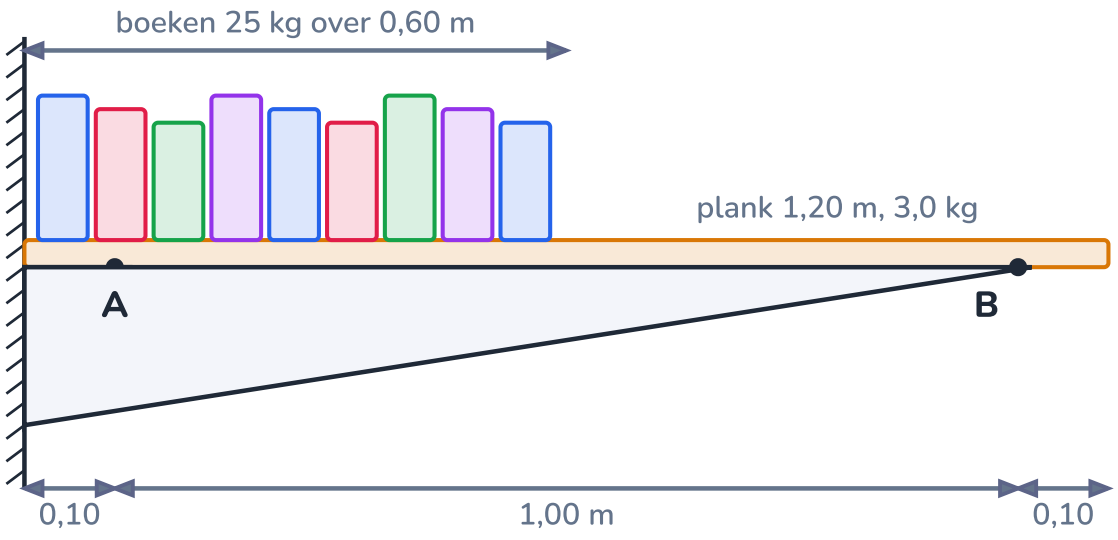
Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

10.7 Een boekenplank

Toepassen · 4 · Rekenen · 20 min

Een plank van 1,20 m en 3,0 kg ligt op twee dragers aan de muur, 0,10 m van elk uiteinde. Links op de plank staan boeken: 25 kg, gelijkmatig over de eerste 0,60 m.



De dragers staan 1,00 m uit elkaar; de plank steekt aan elke kant 0,10 m uit.

a Bereken de kracht op elke drager.

b De boeken gaan weg. Iemand zet een pot van 10 kg helemaal links op het uitstekende stukje. Hoe groot zijn de reacties nu?

c Vanaf welke massa helemaal links komt de plank los van drager B? Wat moet je dan doen?

10.8 Labo: steunpuntsreacties meten

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Herhaal de proef met de twee keukenweegschalen uit het handboek, maar met je eigen lat of plank en twee massa's tegelijk. Voorspel eerst, meet dan.

a Meet de massa van de lat en de afstand tussen de steunpunten. Kies twee massa's en hun plaatsen.

b Voorspel met de evenwichtsvoorwaarden wat elke weegschaal zal tonen.

c Meet voor minstens vijf opstellingen en vergelijk met je voorspelling.

opstelling	voorspeld A (g)	gemeten A (g)	voorspeld B (g)	gemeten B (g)	

d Verschuif één massa in stappen van 10 cm en zet de aflezing van B uit tegen de plaats. Welke helling verwacht je?

e Verklaar de verschillen tussen voorspelling en meting.

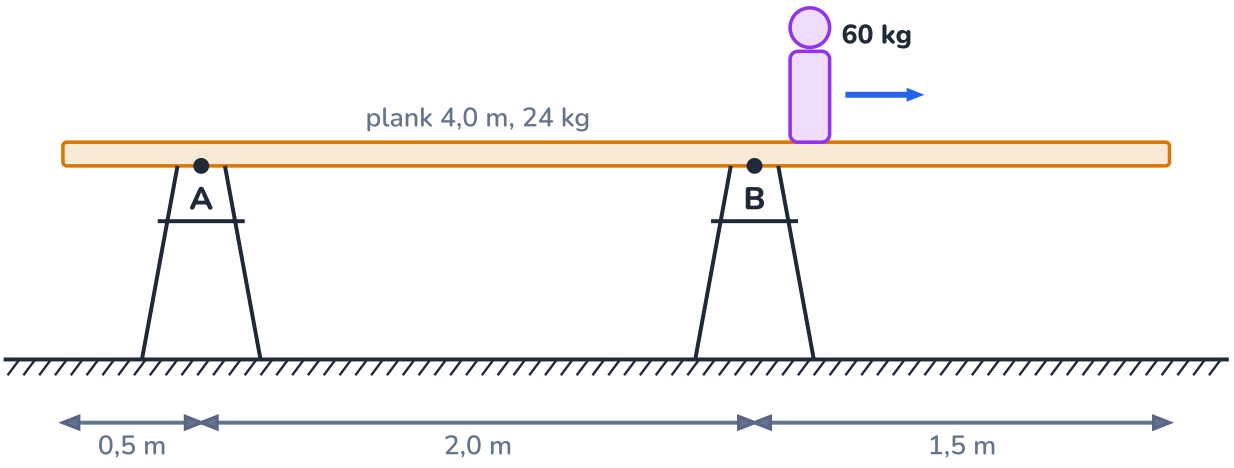
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Voorspelling	Momentenvergelijking om een steunpunt correct, met het gewicht van de lat in het midden.
Metingen	Minstens vijf opstellingen, tarra op nul, eenheden.
Grafiek	Rechte met helling = massa gedeeld door de afstand tussen de steunpunten.
Besluit	Verschillen gekwantificeerd en verklaard (resolutie, plaatsing, blokjes).

10.9 Een plank met een overstek

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een plank van 4,0 m en 24 kg ligt op twee schragen A en B, op 0,5 m en 2,5 m van het linkeruiteinde. Een schilder van 60 kg wandelt over de plank naar rechts.



Voorbij schraag B steekt de plank 1,5 m uit.

a Tot waar kan de schilder wandelen voor de plank kantelt? Rond welk punt kantelt ze?

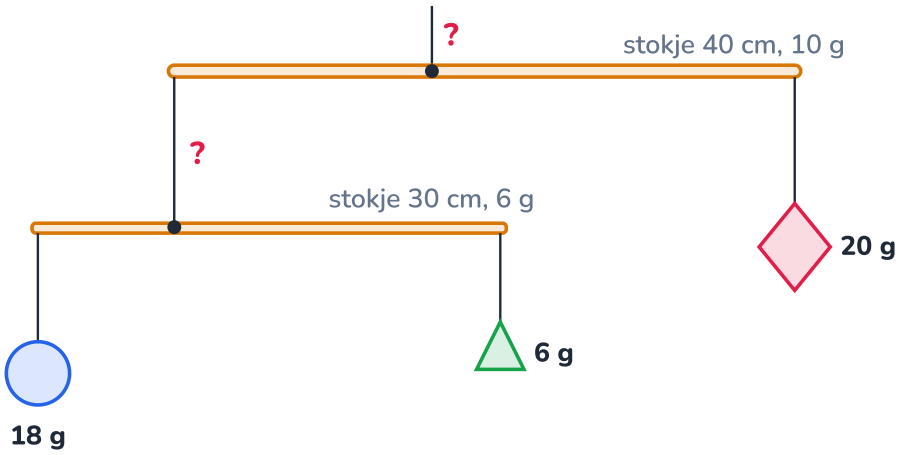
b Welk tegengewicht moet op het linkeruiteinde liggen, zodat hij tot het rechteruiteinde kan (kantelveiligheid 1)?

c Waarom is het veel veiliger om schraag B verder naar rechts te zetten?

10.10 Maak: een mobiel in evenwicht

Toepassen · 5 · Maken · 45 min

Voor de inkom van het station maak je een mobiel: stokjes die aan draadjes hangen, met figuren aan de uiteinden. Elk stokje moet horizontaal hangen. Het voorbeeld in de figuur: onderaan een stokje van 30 cm (6 g) met 18 g links en 6 g rechts; bovenaan een stokje van 40 cm (10 g) met links het onderste mobiel en rechts 20 g. Het gewicht van de draadjes verwaarloos je.



Waar komen de ophangdraadjes (de vraagtekens)?

a Bereken waar het ophangdraadje van het onderste stokje moet komen, gemeten vanaf links.

b Bereken waar het bovenste stokje opgehangen moet worden.

c Ontwerp en bouw je eigen mobiel met minstens drie niveaus. Weeg alle onderdelen, bereken de ophangpunten vooraf en controleer.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Voor elk stokje een momentenvergelijking om het ophangpunt, met het gewicht van het stokje in zijn midden.
Volgorde	Van onder naar boven: een lager niveau telt als één last (zijn totale massa) voor het niveau erboven.
Bouw	Alle stokjes hangen binnen enkele graden horizontaal zonder bijregelen, of het bijregelen is verklaard.
Verslag	Tabel met massa's, ophangpunten berekend en gemeten.

10.11 Python: waar mag het reservoir staan?

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 25 min

Gebruik het programma `steunpuntsreacties.py` uit het handboek. Als iemand het reservoir bijvult, staat hij (80 kg, dus 785 N) 0,40 m naast het midden van het reservoir, aan de kant

van B. De balkdragers waarmee de vloerbalk aan de liggers hangt, mogen elk hoogstens 1,0 kN dragen.

a Welke regel moet je aanpassen om de persoon mee te rekenen? Schrijf de nieuwe regel(s).

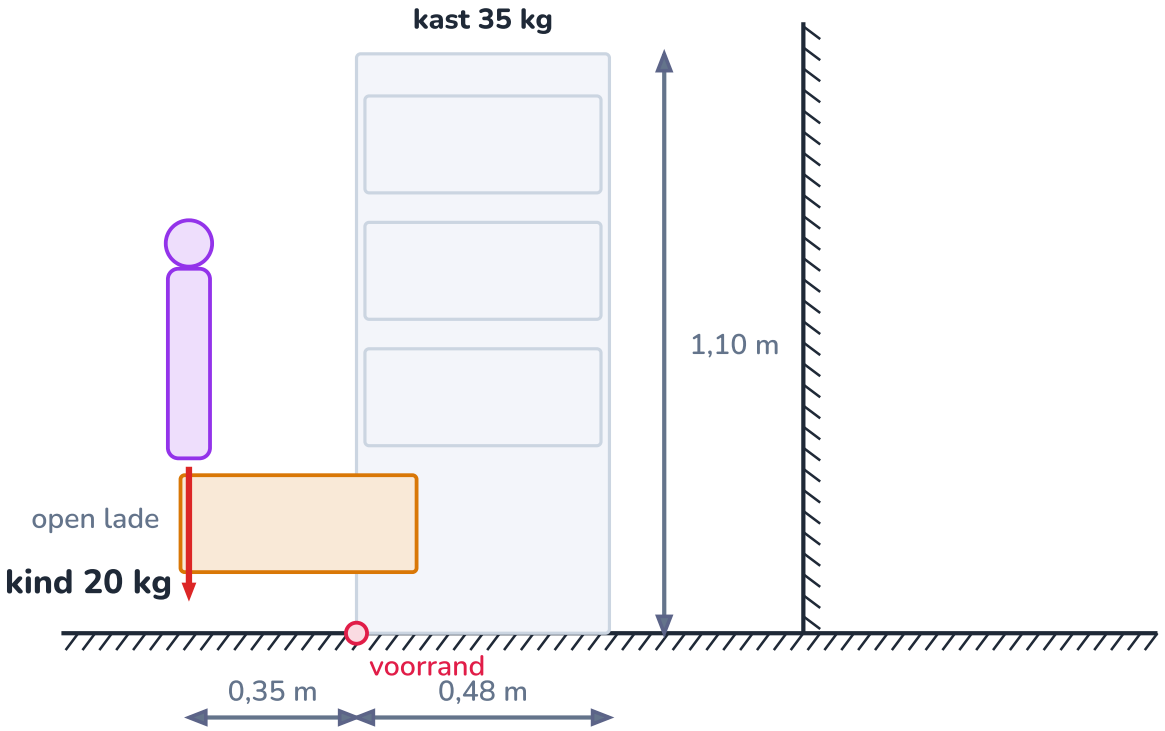
b Laat het midden van het reservoir in stappen van 1 cm van 0,32 m tot 2,08 m lopen, en print alleen de plaatsen waar beide reacties hoogstens 1000 N zijn. Tussen welke grenzen mag het reservoir staan?

c Controleer één grens met een berekening op papier.

10.12 Waarom kasten omvallen

Toepassen · 5 · Analyseren · 25 min

Een ladekast van 35 kg is 0,48 m diep en 1,10 m hoog. Met alle laden dicht ligt haar zwaartepunt midden in de diepte. De vier laden wegen samen 12 kg; de onderste weegt 5 kg. Een kind van 20 kg staat op de open onderste lade, 0,35 m voor de voorkant van de kast.



De kast kantelt, als ze kantelt, rond haar voorste onderrand.

a Met welke horizontale kracht bovenaan (1,10 m) kan je de gesloten kast naar je toe trekken voor ze kantelt?

b Alleen de onderste lade staat 0,35 m open en het kind staat erop. Waar ligt het zwaartepunt van de kast nu? Kantelt ze?

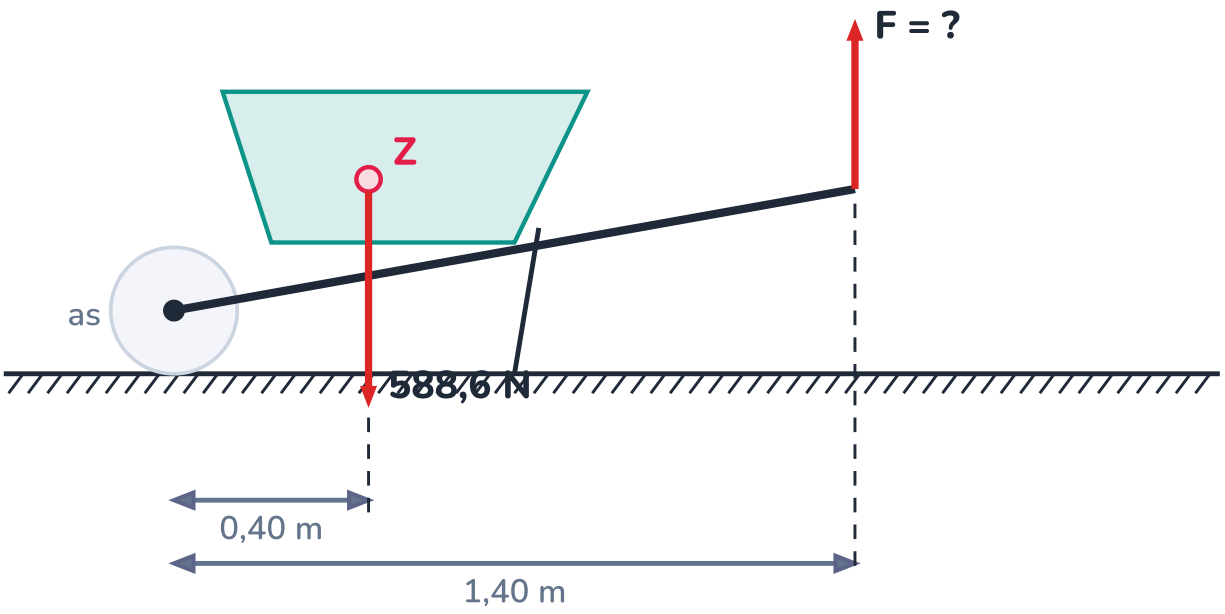
c Alle laden staan open. Kantelt de kast met het kind erop?

d Een muuranker bovenaan (1,05 m hoog) trekt de kast horizontaal naar de muur. Hoe sterk moet het zijn voor een kantelveiligheid van 1,5 in het geval met alle laden open?

10.13 Tekenen: een kruiwagen

Toepassen · 4 · Tekenen · 15 min

Een kruiwagen met lading weegt samen 60 kg. Het zwaartepunt ligt horizontaal 0,40 m van de wielas; je handen tillen de handvatten 1,40 m van de wielas.



Een hefboom van de tweede soort: de last zit tussen het draaipunt (de as) en de kracht.

a Teken het vrijlichaamsdiagram van de kruiwagen met de lading, met elke kracht op haar aangrijpingspunt.

b Bereken de kracht waarmee je moet tillen, en de kracht op het wiel.

c Waarom laad je een kruiwagen het best vooraan, boven het wiel?

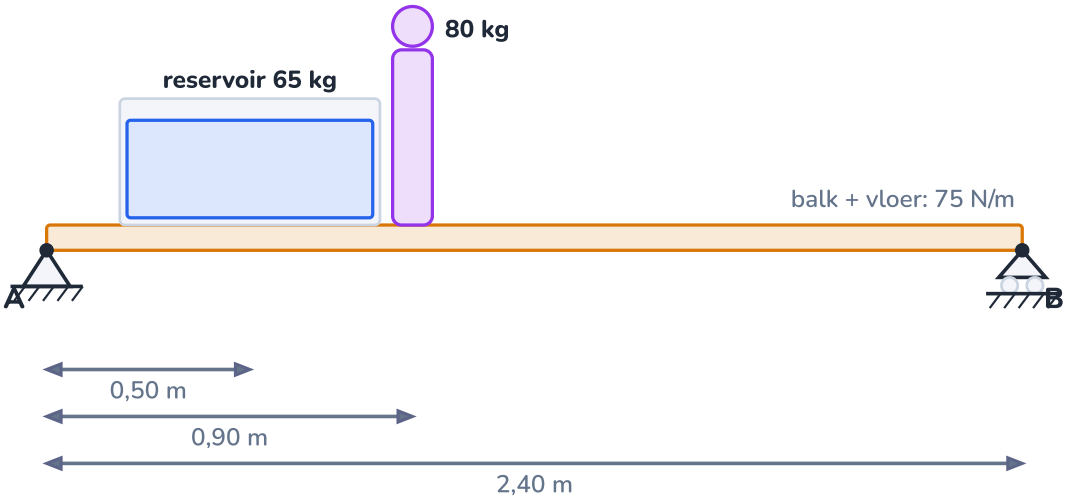
●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

10.14 Habitat: de draagbalk onder het reservoir narekenen

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

De vloerbalk uit het handboek (2,40 m, 75 N/m) draagt het reservoir (65 kg over 0,64 m, midden op 0,50 m van A). Bij het bijvullen staat er iemand van 80 kg op 0,90 m van A, op dezelfde balk. De metalen balkdragers waarmee de balk aan de liggers hangt, mogen volgens hun fiche elk hoogstens 1,0 kN dragen. Reken aan de veilige kant: één balk draagt alles.



Het reservoir en de persoon op dezelfde vloerbalk.

a Teken het vrijlichaamsdiagram van de balk en vervang de verdeelde lasten door resultanten.

b Bereken R_A en R_B. Controleer met een tweede momentenvergelijking.

c Is de balkdrager bij A sterk genoeg? En die bij B?

d Het team stelt voor het reservoir naar het midden te schuiven (midden op 1,20 m); de persoon staat dan op 1,60 m. Bereken opnieuw.

e Schrijf voor je portfolio een advies van drie à vier regels: waar komt het reservoir, en waarom? Noem ook wat de berekening niet zegt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vrijlichaamsdiagram	Alle lasten op hun plaats, verdeelde lasten met hun resultante, twee reacties, afmetingen.
Berekening	Momenten om A en om B; som van de krachten klopt; eenheden.
Toetsing	Beide reacties vergeleken met 1,0 kN, voor beide opstellingen.
Advies	Keuze onderbouwd met getallen; grenzen van het model benoemd (één balk, sterkte en doorbuiging van de balk zelf: E12).

10.15 Hoe hoog mag je op de ladder?

●●● Uitdagen · 7 · Rekenen · 30 min

Een ladder van 5,0 m en 14 kg staat onder 65° tegen een gladde muur. De voet staat op een vloer met $\mu_s = 0{,}35$. Een persoon van 80 kg klimt naar boven.

a Teken het vrijlichaamsdiagram van de ladder met de persoon op een afstand s langs de ladder.

b Stel de momentenvergelijking om de voet op en druk de muurkracht uit in functie van s.

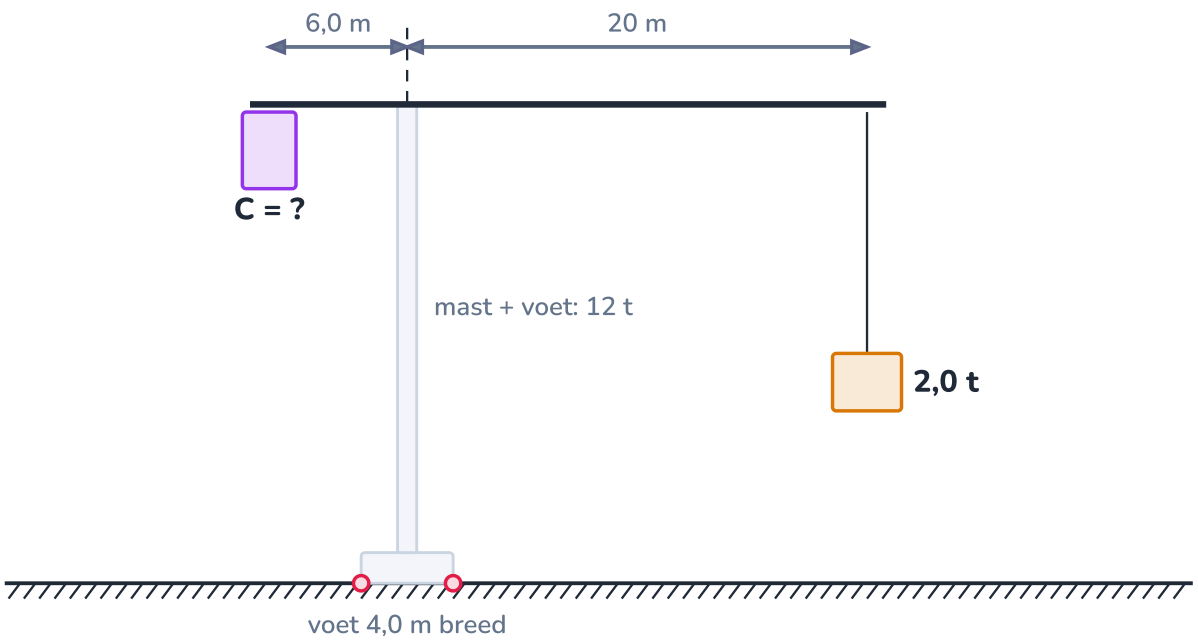
c Tot welke afstand s kan de persoon klimmen voor de ladder wegschuift?

d Onder welke hoek moet de ladder minstens staan om veilig tot bovenaan te klimmen?

10.16 Het contragewicht van een kraan

Uitdagen · 6 · Rekenen · 30 min

Een kleine torenkraan staat op een voet van 4,0 m breed, met de mast in het midden. Mast en voet wegen samen 12 t, met hun zwaartepunt op de as. Het contragewicht C ligt 6,0 m achter de mast; de grootste last is 2,0 t op 20 m voor de mast. Het gewicht van giek en contragiek verwaarloos je.



De kraan kantelt naar voor rond de voorste rand van de voet, of naar achter rond de achterste.

a Met de grootste last: welk contragewicht is minstens nodig om niet naar voor te kantelen (kantelveiligheid 1)?

b Zonder last: welk contragewicht is hoogstens toegelaten om niet naar achter te kantelen?

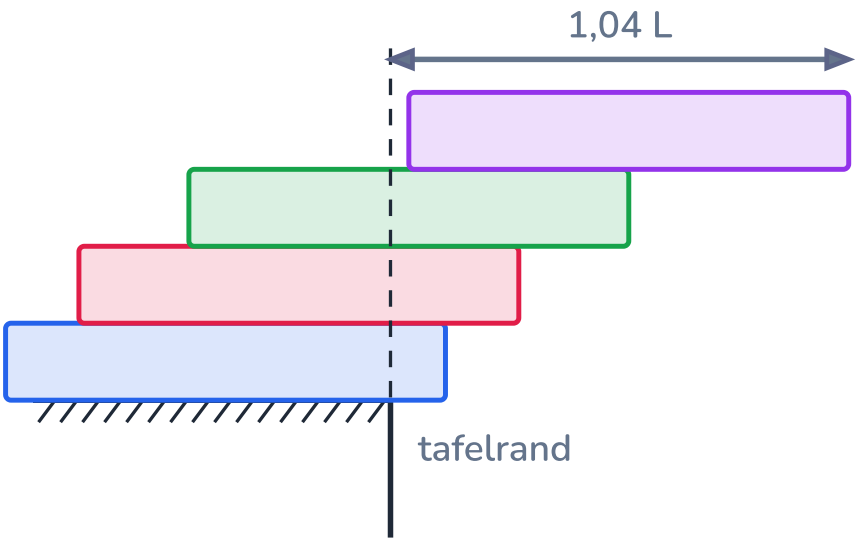
c Herhaal beide met een kantelveiligheid van 1,5. Tussen welke grenzen moet C liggen?

d Met C = 4,0 t: welke last mag er op 10 m hangen (veiligheid 1,5)? Wat leer je daaruit over een hijstabel?

10.17 Onderzoek: hoe ver kan een stapel overhangen?

Uitdagen · 6 · Onderzoeken · 50 min

Leg identieke blokken (boeken, dominostenen, houten blokjes) op elkaar aan de rand van een tafel, telkens een beetje verschoven. Hoe ver kan het bovenste blok voorbij de tafelrand steken? De theorie zegt: met n blokken van lengte L hoogstens $\frac{L}{2}\left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\cdots+\frac{1}{n}\right)$.



Met vier blokken steekt het bovenste blok helemaal voorbij de tafelrand.

a Leg met het zwaartepunt uit waarom het bovenste blok hoogstens $L/2$ over het tweede mag uitsteken, en waarom de twee bovenste samen hoogstens $L/4$ over het derde.

b Bereken met de formule de theoretische overhang voor 1 tot 6 blokken, in eenheden L.

n	theorie (× L)	gemeten (cm)	gemeten (× L)

c Bouw de stapels en meet de grootste overhang die je haalt. Vergelijk met de theorie.

d Hoeveel blokken zijn nodig voor een overhang van twee bloklengtes? Wat zegt dat over de reeks?

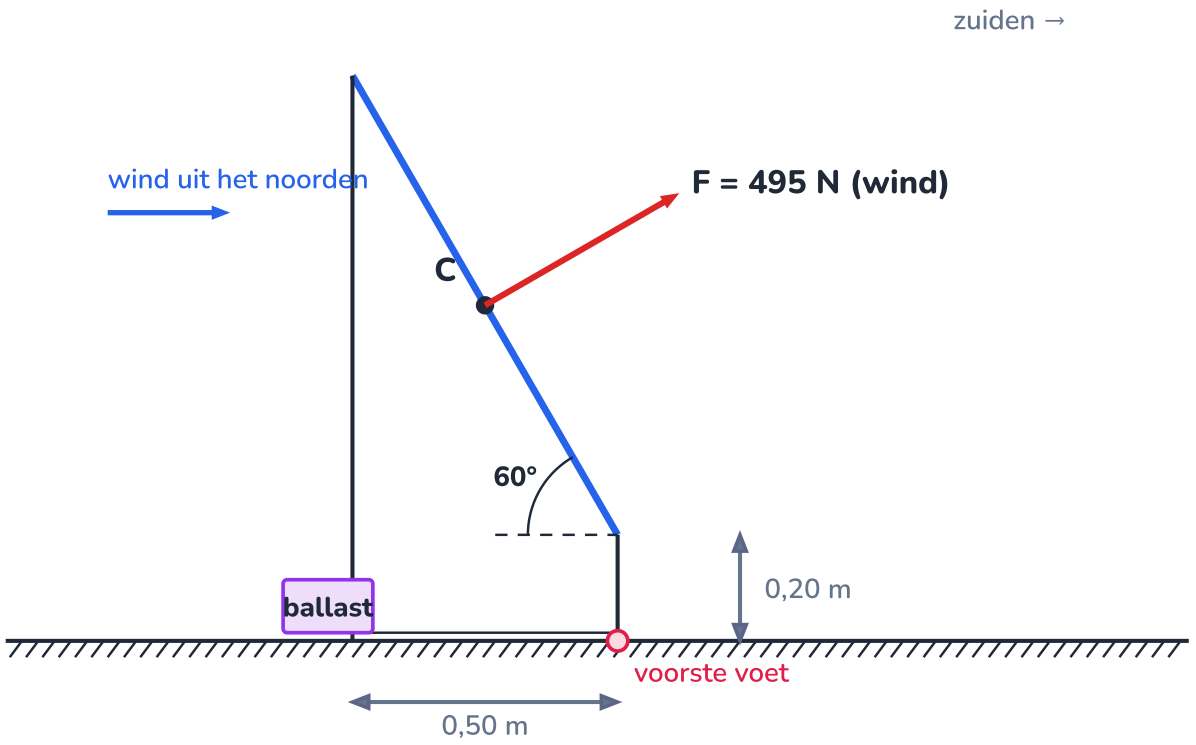
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Uitleg	Zwaartepunt van de stapel erboven moet boven het blok eronder liggen; per niveau correct.
Theorie	Tabel met de som van de reeks voor n = 1 tot 6.
Metingen	Herhaalde metingen, gemiddeld, in cm en in L.
Besluit	Meting onder of op de theorie; afwijkingen verklaard; reeks groeit onbeperkt maar heel traag.

10.18 Ontwerp: ballast voor het zonnepaneel

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

Het zonnepaneel van de klimaatmodule (1,00 m in de hellingsrichting, 1,65 m breed, 60°, hoofdstuk 6) staat op het platte dak op een steun zonder in het dak te boren. De onderrand ligt 0,20 m boven het dak, de voeten staan recht onder de onder- en de bovenrand. Paneel en steun wegen 25 kg, met hun zwaartepunt onder het midden van het paneel. Bij storm uit het noorden duwt de wind met 300 Pa loodrecht op de achterkant van het paneel, naar voor en omhoog. De ballast (betonblokken) komt op de achterste voet.



De wind duwt loodrecht op het paneel, in het midden C; de steun kantelt rond de voorste voet.

a Bereken de windkracht op het paneel en ontbind ze in een horizontale en een verticale component.

b Bereken het kantelmoment om de voorste voet. Gebruik de horizontale en de verticale afstand van C tot die voet.

c Hoeveel kilogram ballast is nodig voor een kantelveiligheid van 1,5?

d De steun kan ook wegschuiven. Rubberen voetjes op het dak geven $\mu_s = 0{,}5$. Is de ballast ook genoeg tegen schuiven?

e Stel twee andere oplossingen voor die minder ballast vragen, en beoordeel ze.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Windkracht	Druk maal oppervlakte, ontbonden onder de juiste hoek.
Momenten	Beide componenten met hun eigen arm om de voorste voet; gewicht en ballast stabiliserend.
Ballast	Kantelveiligheid 1,5 toegepast; schuiven apart gecontroleerd.
Alternatieven	Minstens twee ideeën, met een voor- en een nadeel (bv. lagere hoek, windscherm, verankeren, ballast verder naar achter).

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan het moment van een kracht om een punt berekenen met $M = F \cdot d$, met de loodrechte arm, ook bij een schuine kracht (arm of ontbinden).
- Ik kan de hefboomwet uitleggen als momentenevenwicht en uitbreiden naar meer dan twee krachten.
- Ik kan de twee evenwichtsvoorwaarden $\sum F = 0$ en $\sum M = 0$ opschrijven en uitleggen waarom je ze allebei nodig hebt (koppel).
- Ik kan een vrijlichaamsdiagram van een balk tekenen, steunpunten vervangen door reactiekrachten en die reactiekrachten berekenen.
- Ik kan een verdeelde belasting vervangen door haar resultante.

Ik kan het zwaartepunt van een samengestelde vorm of een samengesteld voorwerp berekenen, ook met een gat, en het zwaartepunt experimenteel bepalen.

Ik kan bepalen of een voorwerp kantelt, de kantelhoek berekenen en de kantelveiligheid van een ontwerp beoordelen.

Ik kan de steunpuntsreacties van een balk met Python berekenen voor veel lastgevallen tegelijk.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 11

Druk en hydraulica

Waarom een punaise prikt, een dam onderaan dikker is en een klein pompje water 1,5 m hoog krijgt

Je begint met druk berekenen en omrekenen, scherpe en brede voorwerpen, de druk op een diepte, overdruk en absolute druk, drijven en communicerende vaten. In de tweede trede reken je aan een hefbrug, een U-buis en een watertoren, meet je de opwaartse kracht en de luchtdruk op de trap, kalibreer je de niveaumeting in Python en denk je na over een hand in een beker water. In de laatste trede reken je het reservoir en de pomp van Habitat door (opdracht 11.14), trek je aan de halve bollen van Maagdenburg, zoek je hoe lang een rietje mag zijn, laat je een weerballon stijgen en ontwerp je een vlotterschakelaar.

6× oefenen | 7× toepassen | 5× uitdagen | ± 434 min

K Krachten, beweging en constructies | M Materie en chemie | W Wiskundig modelleren



Een paar vingerdikke slangen met olie onder hoge druk: zo tilt een graafmachine tonnen.

11.1 Druk berekenen en omrekenen

●○○ Oefenen | 3 | Rekenen | 15 min

Bereken telkens de ontbrekende grootheid en zet om naar de gevraagde eenheid.

a Vul de tabel aan.

situatie	F	A	p
een kist van 50 kg op de vloer		0,25 m²	___ Pa
een naald in stof	2,0 N	0,010 mm²	___ MPa
een zuiger in een cilinder		20 cm²	6,0 bar
een laptop op tafel	20 N		250 Pa

b Zet om: 1013 hPa = _____ Pa = _____ bar; 2,4 bar = _____ kPa; 0,25 MPa = _____ bar.

11.2 Scherp, breed en plat

●○○ Oefenen | 3 | Begrijpen | 10 min

Verklaar elke situatie met $p = F/A$. Zeg telkens of het de bedoeling is de druk groot of klein te maken.

a Een bot mes snijdt slecht, ook als je hard duwt.

b Een graafmachine rijdt op rupsbanden in plaats van op wielen.

c Een rugzak met dunne koordjes doet meer pijn dan een met brede riemen.

d Wie op dun ijs door zakt, gaat beter plat liggen dan rechtop staan.

11.3 Hoe diep?

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Neem $\rho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$ voor zoet water, $1025\,\mathrm{kg/m^3}$ voor zeewater, en $p_0 = 101{,}3\,\mathrm{kPa}$.

a Bereken de overdruk op de bodem van een zwembad van 2,0 m diep.

b Een duiker zwemt op 10 m diepte in zee. Bereken de overdruk en de absolute druk.

c Het voedingsreservoir staat nog maar 10 cm vol. Hoe groot is de overdruk op de bodem?

d De Marianentrog is ongeveer 10 900 m diep. Schat de druk op de bodem in bar. Waarom is het een schatting?

11.4 Overdruk of absolute druk?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Zeg bij elke meting of het een overdruk of een absolute druk is, en geef de andere waarde (neem $p_0 = 1{,}01\ \text{bar}$).

a De bandenspanningsmeter toont 2,3 bar.

b Het weerbericht meldt 1025 hPa.

c De dokter meet een bloeddruk van 120/80 mmHg.

d Een stofzuiger haalt −20 kPa.

e Een volle duikfles staat op 200 bar (manometer).

11.5 Drijft het, en hoe diep?

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een kubus van 10 cm dennenhout (0,60 g/cm³), een ijsblokje (0,917 g/cm³) en een kubus van 10 cm aluminium (2,70 g/cm³).

a Hoe diep zakt de houten kubus in zoet water? En in zeewater (1,025 g/cm³)?

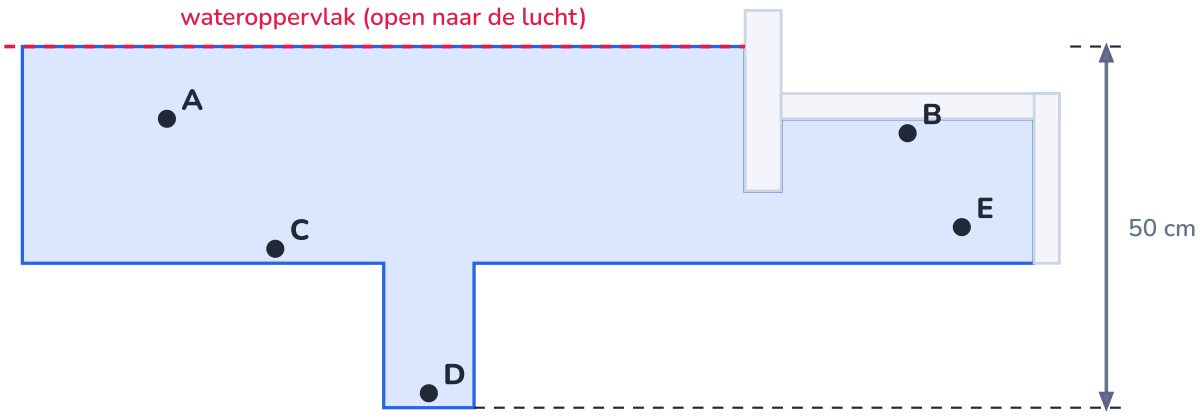
b Welk deel van het ijsblokje steekt boven het water uit?

c Bereken de opwaartse kracht op de aluminium kubus onder water, en de kracht waarmee je hem onder water vasthoudt.

11.6 Vijver met een put

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Een vijver heeft een diepe put en een zijkamer die bovenaan dicht is maar onderaan in open verbinding staat met de vijver. Het water staat stil.



Vijf punten A tot E in hetzelfde water; de stippellijn is het wateroppervlak.

a Rangschik de druk in A, B, C, D en E van klein naar groot. Leg uit.

b Punt E ligt in een kamer die bovenaan dicht is. Verandert dat iets aan de druk in E?

Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

11.7 Een hydraulische hefbrug

Toepassen · 4 · Rekenen · 15 min

In een garage tilt een hefbrug een auto van 1500 kg met een zuiger van 25 cm diameter. De olie wordt met een kleine pompzuiger van 2,5 cm diameter op druk gebracht.

a Welke oliedruk is nodig, in kPa en in bar?

b Welke kracht moet op de kleine zuiger werken?

c De auto moet 1,8 m omhoog. Hoe ver moet de kleine zuiger in totaal bewegen? Waarom werkt een echte hefbrug daarom met een elektrische pomp?

11.8 Labo: Archimedes met een dynamometer

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Voer de proef uit het handboek uit met drie voorwerpen van ongeveer hetzelfde volume maar een andere massa (bijvoorbeeld blokjes van aluminium, messing en kunststof) en met twee vloeistoffen: water en zout water.

a Noteer je metingen.

voorwerp	vloeistof	F lucht (N)	F onder (N)	F_A (N)	V (cm³)

b Hangt de opwaartse kracht af van de massa van het voorwerp? Van de vloeistof? Onderbouw met je metingen.

c Bepaal de dichtheid van elk voorwerp en van het zoute water.

d Zet de weegschaal onder de beker. Toon met een meting dat ze stijgt met F_A / g.

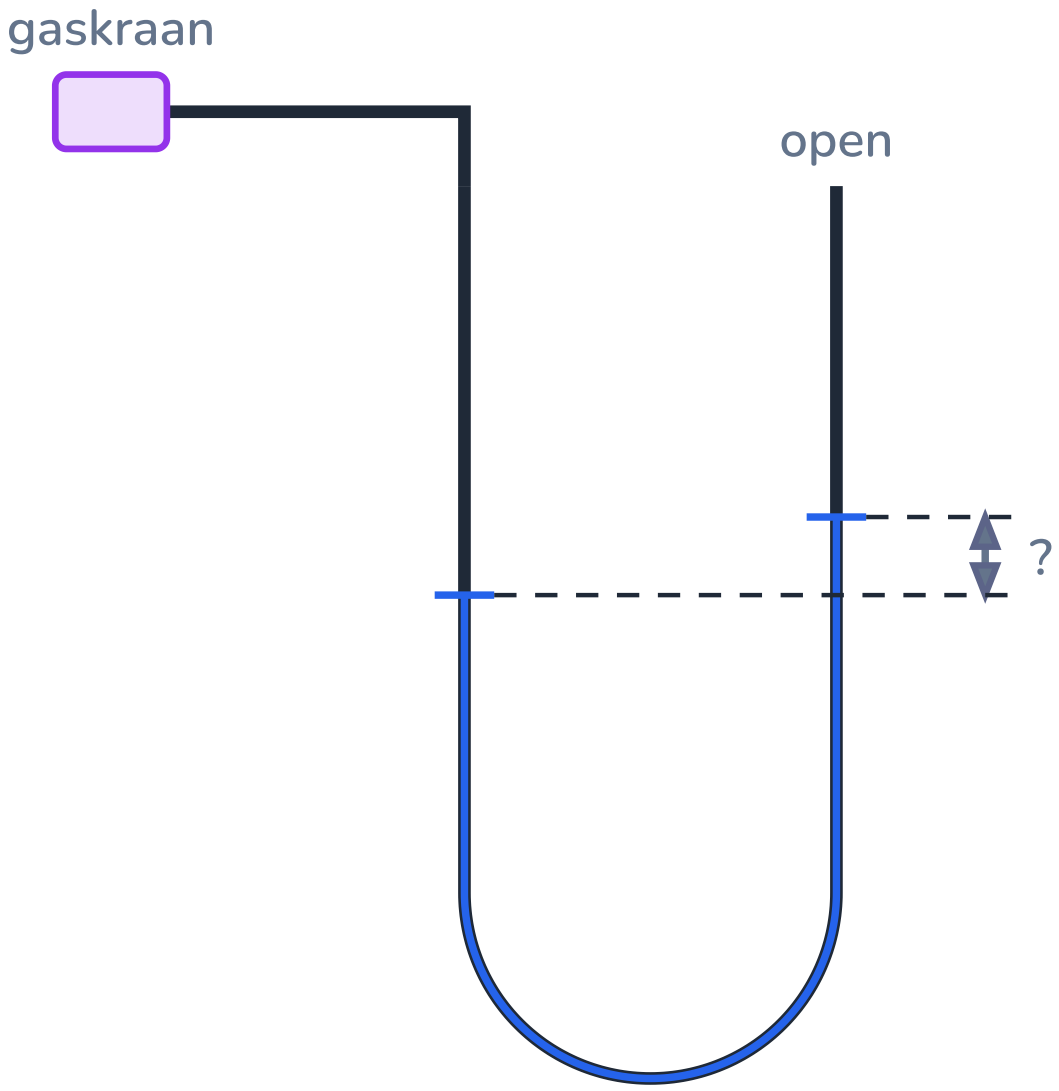
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Drie voorwerpen, twee vloeistoffen, eenheden, voorwerp raakt bodem en wand niet.
Besluit	F_A gelijk voor gelijke volumes, onafhankelijk van de massa; groter in zout water.
Berekening	V = F_A / (ρ g); dichtheid voorwerp; dichtheid zout water uit F_A met een bekend volume.
Derde wet	Stijging van de weegschaal vergeleken met F_A / g.

11.9 Een U-buismanometer aan de gaskraan

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een U-buis met water wordt aangesloten op een gaskraan. Het water staat in het open been 21 cm hoger dan in het been aan de gaskraan.



water in een U-buis

Het gas duwt het water in het linkerbeen omlaag.

a Bereken de overdruk van het gas in Pa en in mbar.

b Hoe groot zou het hoogteverschil zijn met kwik (13 590 kg/m³) in plaats van water? Waarom kiest men hier water?

c Je blaast zo hard als je kan in een U-buis met water: het verschil wordt ongeveer 1 m. Hoe groot is de overdruk in je longen?

11.10 De watertoren

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Het water in een watertoren staat 38 m boven de straat. Een flatgebouw heeft verdiepingen van 3,0 m; de kranen zitten telkens 1,0 m boven de vloer.

a Hoe groot is de overdruk aan een kraan op de tweede verdieping (vloer op 6,0 m)? En op de tiende (vloer op 30 m)?

b Een douche werkt goed vanaf ongeveer 1,5 bar. Vanaf welke verdieping is een drukverhogingspomp nodig?

c Waarom zakt de druk aan de kranen 's ochtends, als veel mensen tegelijk douchen?

11.11 Python: de niveaumeting kalibreren

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Het programma `niveau.py` uit het handboek gebruikt de nominale formule van de sensor. Met een leeg reservoir leest de microcontroller echter niet 41 maar 60. Bij een waterhoogte die je met een lat meet (25,0 cm) leest hij 285.

a Welke waterhoogte en welk volume geeft het ongewijzigde programma bij de aflezing 60? En bij 285?

b Pas de functie aan zodat ze rekent met de gemeten nulwaarde (de offset): een nieuwe constante `RUW_NUL = 60`, en de druk uit het verschil met die nulwaarde.

c Wat geeft je aangepaste programma bij 285? Klopt de gevoeligheid van de sensor, of moet je ook die kalibreren?

11.12 Onderzoek: luchtdruk en hoogte

Toepassen · 5 · Onderzoeken · 50 min

Voer de trapproef uit het handboek zelf uit, en bepaal zo nauwkeurig mogelijk de dichtheid van lucht.

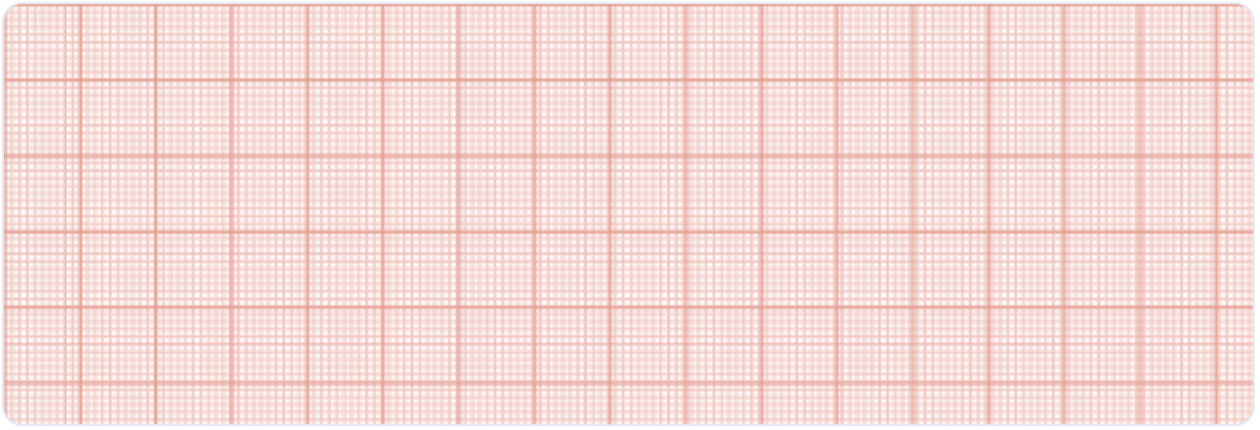
a Formuleer een onderzoeksvraag en een voorspelling (in hPa per verdieping).

b Beschrijf hoe je de invloed van het weer (de druk verandert ook in de tijd) zo klein mogelijk houdt.

c Meet en noteer.

verdieping	hoogte (m)	p heen (hPa)	p terug (hPa)	gemiddelde (hPa)

d Teken de grafiek, bepaal de helling en bereken de dichtheid van lucht. Vergelijk met 1,20 kg/m³.



ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vraag en voorspelling	Toetsbare vraag; voorspelling met ρ g Δh.
Werkwijze	Heen en terug meten en middelen, telkens even lang wachten, zelfde plaats van de telefoon.
Grafiek	Rechte met negatieve helling in hPa/m, correct omgerekend naar Pa/m.
Besluit	ρ met realistische onzekerheid; afwijking verklaard (temperatuur, weer, tocht, resolutie).

11.13 Een hand in de beker

●●○ Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Een beker met water staat op een keukenweegschaal, die 1500 g toont.

a Je steekt je hand in het water, zonder de bodem of de wand te raken. Je hand verplaatst 250 cm³ water. Wat toont de weegschaal? Leg uit met de derde wet.

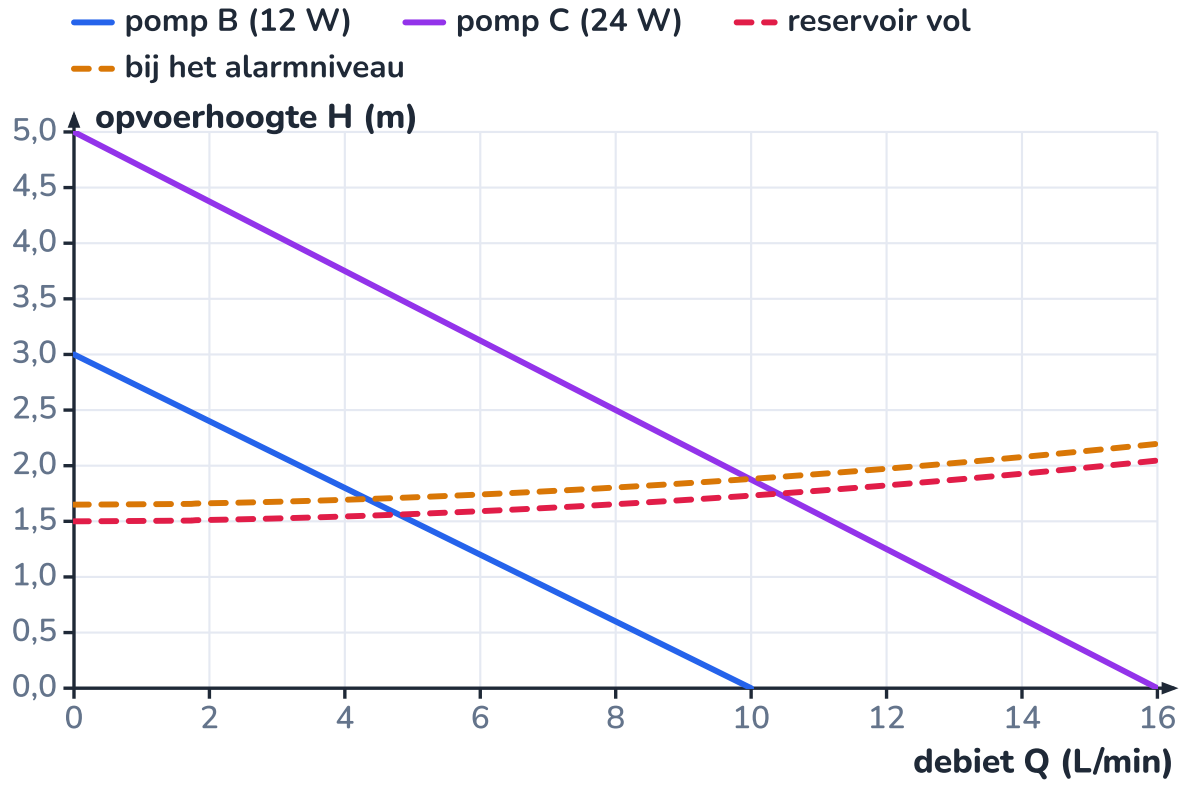
b Je haalt je hand eruit en legt een badeendje van 40 g in het water; het drijft. Wat toont de weegschaal nu?

c Je haalt het eendje eruit en laat een steen van 500 g (189 cm³) aan een touwtje helemaal onder water hangen. Wat toont de weegschaal? Welke kracht voel je in het touwtje?

11.14 Habitat: druk, niveau en pomp van het voedingsreservoir

Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

Het voedingsreservoir (binnenmaten 60 × 40 × 30 cm) is vol bij 25 cm. Bij 10 cm moet het alarm afgaan. De druksensor MPX5010 geeft $U = 5\,\text{V} \cdot (0{,}09\,p + 0{,}04)$ met p in kPa. De pomp moet het water 1,5 m boven het volle wateroppervlak brengen, door een slang van 16 mm. De planten hebben minstens 600 L rondgepompte oplossing per dag nodig; de pomp draait overdag 16 uur lang elk uur 15 minuten (hoofdstuk 9).



Pomp B en C met de leidingkarakteristiek bij een vol reservoir en bij het alarmniveau.

a Bereken de overdruk op de bodem bij 25 cm en bij 10 cm, en het volume bij het alarmniveau.

b Bereken de spanning van de sensor en de ADC-waarde (0 tot 1023, 5 V) bij 25 cm en bij 10 cm. Welke drempel programmeer je voor het alarm?

c Als het niveau van 25 naar 10 cm zakt, verandert de opvoerhoogte. Hoe? Lees het werkpunt van pomp B en van pomp C af voor beide niveaus.

	pomp B	pomp C
vol (25 cm)		
alarm (10 cm)		

d Haalt pomp B de 600 L per dag in het slechtste geval? Hoeveel elektrische energie kosten B en C per dag?

e Schrijf voor je portfolio een advies van vier à vijf regels: sensor, alarmdrempel, pomp en slang.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Hydrostatica	Overdruk met ρ g h bij beide niveaus; volume 24 L.
Sensor	Spanning en ADC-waarde correct; drempel met een verantwoorde marge en de nood aan kalibratie benoemd.
Pomp	Opvoerhoogte stijgt met 15 cm; werkpunten uit de grafiek; debiet getoetst aan 600 L per dag.
Advies	Keuze onderbouwd met getallen, ook met energie; tweede beveiliging (vlotter) vermeld.

11.15 De halve bollen van Maagdenburg

●●● Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

De halve bollen van Otto von Guericke hadden een diameter van ongeveer 42 cm. Neem een luchtdruk van 101 kPa.

a Met welke kracht drukt de lucht de bollen tegen elkaar als ze helemaal leeggepompt zijn? Welke massa heeft dat gewicht?

b Zijn pomp liet nog 10 kPa in de bollen over. Hoe groot is de kracht dan?

c Waarom mag je bij de kracht de oppervlakte van een cirkel met die diameter nemen, en niet die van de bolvormige buitenkant?

d Guericke spande acht paarden aan elke kant. Waarom had hij met acht paarden en een stevige boom evengoed gekund?

11.16 Hoe lang mag een rietje zijn?

Uitdagen · 6 · Analyseren · 20 min

Met je mond kan je een onderdruk van ongeveer 10 kPa maken. Een perfecte pomp haalt een volledig vacuüm.

a Hoe hoog kan je water in een verticaal rietje optrekken?

b Hoe hoog kan een perfecte zuigpomp water optrekken op zeeniveau, en op 3000 m hoogte (70,1 kPa)?

c Een landbouwer wil water oppompen uit een put van 15 m diep, met een pomp aan de oppervlakte. Wat raad je aan?

11.17 Een weerballon

Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

Een weerballon (0,30 kg) met een meetpakket (0,20 kg) wordt met helium gevuld. Bij de grond: lucht 1,20 kg/m³, helium 0,17 kg/m³. Voor een goede stijgsnelheid moet de ballon met

een netto kracht van 5,0 N omhoog trekken.

a Teken het vrijlichaamsdiagram van ballon, helium en meetpakket samen.

b Welk volume helium is nodig? Hoe groot is de diameter van de bol?

c Op 10 km hoogte is de lucht ongeveer drie keer zo dun. Het helium zet uit tot zijn druk gelijk is aan die van de lucht rondom (neem aan dat de temperatuur binnen en buiten gelijk is). Wat gebeurt er met de opwaartse kracht? Leg uit.

d Waarom barst een weerballon uiteindelijk, op 20 à 35 km hoogte?

11.18 Ontwerp: een vlotterschakelaar voor het alarm

●●● Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

Je ontwerpt zelf een vlotter voor een tweede alarm in het reservoir. De vlotter schuift langs een verticale stang. Bij het alarmniveau moet hij op een aanslag rusten en een microschakelaar indrukken die 0,15 N nodig heeft. Beschikbaar: een holle kunststof cilinder van 3,0 cm diameter; de hoogte kies je zelf; wand en deksels wegen 2,0 g per cm hoogte.

a Leg uit hoe de vlotter werkt: wanneer drukt hij de schakelaar in, en wanneer laat hij los? Schets.

b Stel dat de vlotter aan een hefboompje hangt dat de schakelaar indrukt als de vlotter door zijn gewicht naar beneden zakt (het water is weg). Hoe zwaar moet hij minstens zijn? Kies de hoogte.

c Controleer dat de vlotter bij een normaal niveau drijft en de schakelaar loslaat. Hoe diep zakt hij in?

d Welke risico's zie je (aanslag, algen, golven, zout)? Stel een verbetering voor.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Werking	Duidelijke schets met aanslag, schakelaar en de twee toestanden.
Berekening	Gewicht minstens 0,15 N; drijfvermogen gecontroleerd met Archimedes.
Diepgang	Diepgang berekend en kleiner dan de hoogte van de vlotter.
Kritisch	Minstens twee faalwijzen en een maatregel.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan druk berekenen als kracht per oppervlakte en omrekenen tussen Pa, hPa, kPa, bar en MPa.	▢ ▢ ▢
Ik kan de hydrostatische druk berekenen met $p = \rho g h$ en afleiden uit het gewicht van een vloeistofkolom.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen waarom de druk alleen van de diepte afhangt en niet van de vorm van het vat (communicerende vaten).	▢ ▢ ▢
Ik kan de wet van Pascal toepassen op een hydraulische pers, een krik en een remkring, en nagaan dat de arbeid behouden blijft.	▢ ▢ ▢
Ik kan de opwaartse kracht berekenen met de wet van Archimedes en bepalen of en hoe diep een voorwerp drijft.	▢ ▢ ▢
Ik kan de atmosferische druk verklaren, schatten hoe ze met de hoogte afneemt, en overdruk en absolute druk uit elkaar houden.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen wat een pomp doet, waarom zuigen maar tot ongeveer 10 m werkt, en een pomp kiezen met een pompkarakteristiek.	▢ ▢ ▢
Ik kan een druksensor gebruiken om een vloeistofniveau te meten, en de omrekening programmeren.	▢ ▢ ▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 12

Atomen en het periodiek systeem

Wat er in een atoom zit, en waarom 118 elementen in één tabel passen

Je begint met deeltjes tellen, schillen tekenen en elementen terugvinden in het periodiek systeem. In de tweede trede herken je zouten aan hun vlamkleur, lees je een massaspectrum, dateer je met koolstof-14, voorspel je families, verklaar je ionisatie-energieën en programmeer je de gemiddelde atoommassa. In de uitdagingen ontleed je de voedingsoplossing van Habitat (opdracht 12.12), speel je Mendelejev met gallium, bereken je hoe groot een atoom en hoe zwaar kernmaterie is, en debatteer je over de grenzen van het schillenmodel.

5× oefenen | 6× toepassen | 4× uitdagen | ± 337 min

M Materie en chemie



Koper, zwavel, silicium, koolstof, gallium, jood en neon: zeven elementen, zeven soorten atomen.

Oefenen

12.1 Deeltjes tellen

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Gebruik het periodiek systeem voor de atoomnummers.

a Vul de tabel aan.

deeltje	protonen	neutronen	elektronen
$^{14}\mathrm{N}$			
$^{27}\mathrm{Al}$			
$^{39}\mathrm{K}^{+}$			
$^{16}\mathrm{O}^{2-}$			
$^{24}\mathrm{Mg}^{2+}$			
$^{37}\mathrm{Cl}^{-}$			

b Een deeltje heeft 20 protonen, 20 neutronen en 18 elektronen. Schrijf het in de notatie ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ met zijn lading.

c Welke twee deeltjes uit de tabel hebben evenveel elektronen als neon?

12.2 Juist of fout: het atoom

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Zeg of de uitspraak juist of fout is. Verbeter elke foute uitspraak.

a (a) Isotopen van hetzelfde element hebben een verschillend aantal protonen.

b (b) Het grootste deel van het volume van een atoom is lege ruimte.

c (c) Als een atoom een elektron opneemt, wordt het een positief ion.

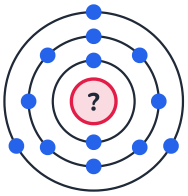
d (d) Deuterium en gewone waterstof vormen allebei water met dezelfde chemische eigenschappen.

e (e) Het massagetal van een atoom is gelijk aan zijn atoommassa in u, tot op drie decimalen.

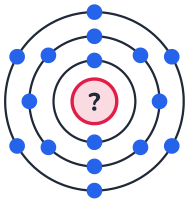
12.3 Schillen en valentie-elektronen

Oefenen · 3 · Tekenen · 15 min

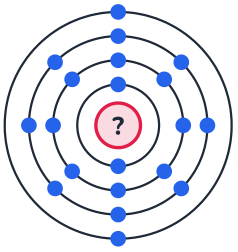
Hieronder zie je drie schillenmodellen waarvan het symbool in de kern weggelaten is.



atoom A



atoom B



atoom C

Tel de elektronen per schil.

a Welk element is A, B en C? Schrijf bij elk de verdeling over de schillen.

b Teken het schillenmodel van stikstof, magnesium en argon.

c Teken het Lewissymbool van de zes atomen (A, B, C, N, Mg, Ar).

12.4 Waar staat het in het periodiek systeem?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Van vier atomen ken je alleen de verdeling van de elektronen over de schillen.

a Vul aan.

verdeling	periode	groep	element	metaal, niet-metaal of edelgas?	io
2, 8, 2					
2, 7					
2, 8, 8					
2, 8, 5					

b Welk element in periode 4 heeft dezelfde chemische eigenschappen als het eerste atoom? Leg uit.

12.5 Isotopen van magnesium

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Natuurlijk magnesium bestaat uit drie isotopen: magnesium-24 (23,985 u; 78,99 %), magnesium-25 (24,986 u; 10,00 %) en magnesium-26 (25,983 u; 11,01 %).

a Hoeveel neutronen heeft elk isotoop?

b Bereken de gemiddelde atoommassa van magnesium. Vergelijk met het periodiek systeem.

c Ligt het gemiddelde dichter bij 24 of bij 26? Leg uit zonder te rekenen.

Toepassen

Toepassen · meerdere stappen, in een context

12.6 Labo: een onbekend zout herkennen

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Je leerkracht geeft je drie potjes met een onbekend wit of blauw zout (A, B en C). Het zijn chloriden of sulfaten van natrium, kalium, calcium, lithium of koper. Gebruik de

vlamkleurenproef uit het handboek. Werk veilig: veiligheidsbril, kleine hoeveelheden, prikker doven in water.

a Voer eerst de vijf bekende zouten uit en noteer de vlamkleur als referentie.

zout	vlamkleur	door kobaltglas

b Test A, B en C. Welk metaal zit in elk? Hoe zeker ben je?

potje	vlamkleur	metaal	zekerheid

c Potje B geeft een gele vlam met, door het kobaltglas, ook wat violet. Wat besluit je?

d Waarom kan je met deze proef niet zeggen of het een chloride of een sulfaat is?

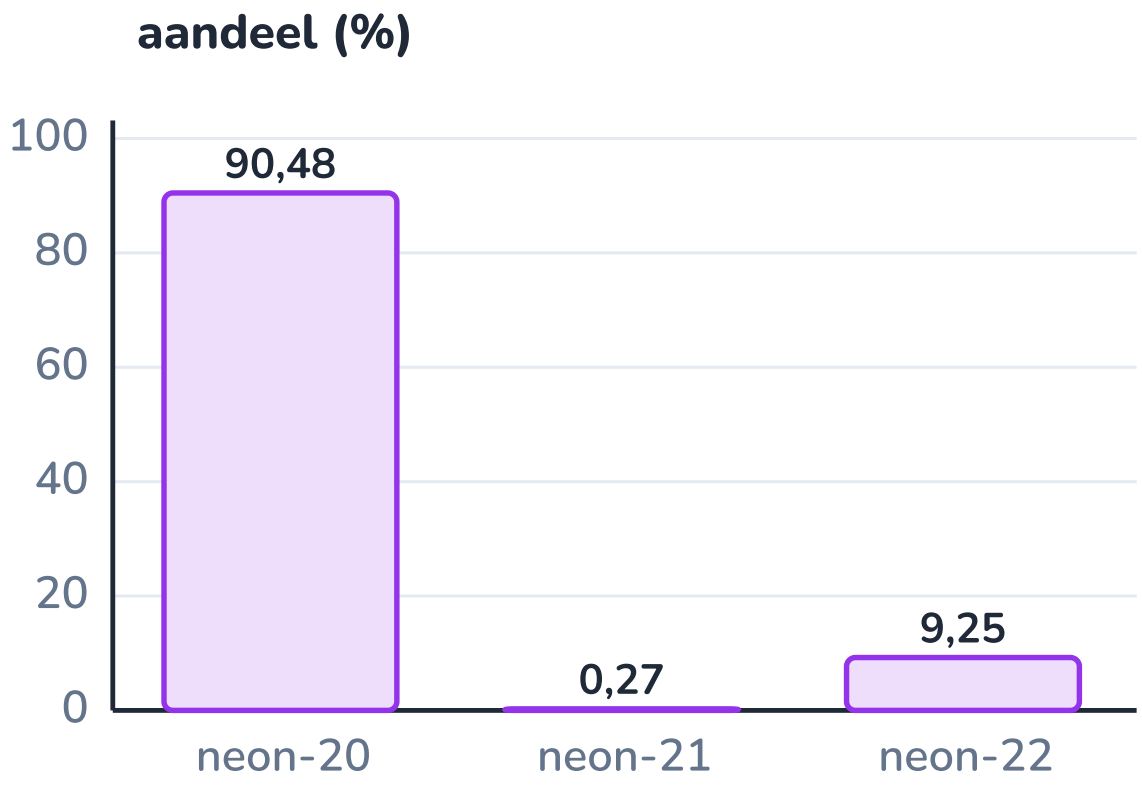
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Veiligheid	Bril, haar vast, kleine hoeveelheden, nieuwe prikker per zout, afval correct (kopersulfaat).
Referentie	Vijf vlamkleuren beschreven; kalium ook door kobaltglas.
Besluit	Metaal per potje met een onderbouwde zekerheid; verontreiniging met natrium herkend.
Verklaring	Kleur hoort bij het metaalion (elektronensprongen), niet bij het negatieve ion.

12.7 Een massaspectrum lezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

In 1913 ontdekte J.J. Thomson met een van de eerste massaspectrometers dat neon uit twee soorten atomen bestaat. Vandaag meet je drie isotopen. Hun massa's zijn 19,992 u, 20,994 u en 21,991 u.



Het aandeel van de atomen van elk isotoop in natuurlijk neon.

a Waarom zag Thomson maar twee isotopen?

b Bereken de gemiddelde atoommassa van neon.

c Een massaspectrum van een ander element toont twee even hoge pieken bij 79 en 81 u. Wat is de gemiddelde atoommassa ongeveer, en welk element is het?

12.8 Koolstof-14

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

De halveringstijd van koolstof-14 is 5730 jaar. In levend weefsel zijn ongeveer 1,2 op 10^{12} koolstofatomen koolstof-14. Na de dood daalt dat aandeel exponentieel (hoofdstuk 5).

a Een stuk houtskool uit een grot bevat nog 12,5 % van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14. Hoe oud is het?

b Een botje bevat nog 20 % koolstof-14. Tussen welke twee veelvouden van 5730 jaar ligt de ouderdom? Bereken hem nauwkeurig met $t = T \cdot \dfrac{\log(1/f)}{\log 2}$.

c Waarom is koolstofdatering onbruikbaar voor een fossiel van een dinosaurus (66 miljoen jaar of ouder)?

d Koolstof-12, -13 en -14 vormen allemaal dezelfde koolstofdioxide. Waarom is dat belangrijk voor deze methode?

12.9 Families voorspellen

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Je kent de elementen van periode 2 en 3. Gebruik het periodiek systeem voor de elementen hieronder.

a Vul aan.

element	groep	valentie-e$^-$	metaal?	ion	lijkt op
rubidium (Rb)					
strontium (Sr)					
seleen (Se)					
broom (Br)					
xenon (Xe)					

b Voorspel: reageert rubidium heftiger of minder heftig met water dan kalium? Leg uit met de schillen.

c Strontium-90 komt vrij bij kernongevallen en hoopt zich op in beenderen. Welk element uit dit hoofdstuk verklaart waarom?

12.10 Ionisatie-energieën verklaren

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Eerste ionisatie-energie (kJ/mol) van de alkalimetalen: lithium 520, natrium 496, kalium 419, rubidium 403, cesium 376. Tweede ionisatie-energie (het volgende elektron): natrium 4562, magnesium 1451. Derde ionisatie-energie van magnesium: 7733.

a Beschrijf en verklaar de trend in de eerste ionisatie-energie van de alkalimetalen.

b Waarom is de tweede ionisatie-energie van natrium bijna tien keer zo groot als de eerste (496)?

c Magnesium: 738, 1451, 7733. Wat zegt die reeks over het ion dat magnesium vormt?

12.11 Python: de gemiddelde atoommassa

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 25 min

Schrijf een functie `gemiddelde_massa(isotopen)` die een lijst van paren (massa in u, aandeel in procent) krijgt en de gemiddelde atoommassa teruggeeft. De aandelen tellen niet altijd precies op tot 100 (afronding): deel daarom door hun som.

a Schrijf de functie.

b Test ze met chloor [(34.969, 75.76), (36.966, 24.24)] en boor [(10.013, 19.9), (11.009, 80.1)]. Wat geeft ze?

c Schrijf een tweede functie `aandeel_licht(m1, m2, gemiddelde)` die bij twee isotopen het aandeel van de lichtste berekent (zoals bij koper in het handboek). Test met koper.

```

```

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

12.12 Habitat: de elementen van de voedingsoplossing

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Voor de hydroponie van de klimaatmodule los je per liter regenwater deze zouten op: 0,59 g calciumnitraat ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$), 0,30 g kaliumnitraat (KNO_3), 0,25 g magnesiumsulfaat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) en 0,14 g kaliumdiwaterstoffosfaat (KH_2PO_4). Daarbij komt een sporenmengsel met ijzerchelaat, mangaansulfaat ($MnSO_4$), zinksulfaat ($ZnSO_4$), kopersulfaat ($CuSO_4$), boorzuur (H_3BO_3) en natriummolybdaat (Na_2MoO_4).

a Maak een lijst van alle elementen in de oplossing. Duid aan: hoofdelement, sporenelement of geen voedingselement.

b Welke onmisbare elementen komen niet uit de oplossing? Waar haalt de plant ze vandaan?

c Welke twee van de zeventien onmisbare elementen ontbreken in de lijst? Is dat een probleem? Denk aan wat er in regenwater of kraanwater zit.

d In welke ionen valt elk van de vier hoofdzouten uiteen in water? Gebruik de tabel in het handboek.

e De bladeren van de jongste slaplanten krijgen bruine randjes. Welk element vermoed je? Welk van de vier zouten zou je nakijken?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Elementen	Alle elementen gevonden en correct ingedeeld (ook Na en de O en H uit water en zouten).
Herkomst	C uit CO_2 in de lucht, H en O uit water; zuurstof ook voor de wortels (beluchten).
Ionen	Correcte ionen met lading voor de vier hoofdzouten.
Toepassing	Randjesbrand gekoppeld aan calcium, met een concrete controle.

12.13 Mendelejev voor één dag: gallium

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

In 1871 zat er een gat onder aluminium. De buren: aluminium erboven (26,98 u; 2,70 g/cm³), indium eronder (114,82 u; 7,31 g/cm³), zink links (65,38 u; 7,14 g/cm³) en germanium rechts (72,63 u; 5,32 g/cm³). (Germanium was toen nog niet bekend, maar we gebruiken het hier toch.)

a Schat de atoommassa en de dichtheid van eka-aluminium met het gemiddelde van de vier buren.

b Gallium heeft een atoommassa van 69,72 u en een dichtheid van 5,91 g/cm³. Hoeveel procent wijken je schattingen af?

c Voorspel de formule van het oxide en het chloride van eka-aluminium, uitgaande van aluminiumoxide Al_2O_3 en aluminiumchloride $AlCl_3$.

d Lecoq de Boisbaudran mat eerst 4,7 g/cm³. Mendelejev schreef dat het ongeveer 5,9 moest zijn. Was het van Mendelejev verstandig om zo zeker te zijn? Wat zegt dit over de rol van een theorie tegenover een meting?

12.14 Hoe groot is een atoom, hoe zwaar is een kern?

Uitdagen · 7 · Rekenen · 30 min

IJzer heeft een dichtheid van 7874 kg/m³ en een atoommassa van 55,845 u ($1\ \mathrm{u} = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$). Een atoomkern met massagetal A is ongeveer een bol met straal $R = 1{,}2 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{m} \cdot A^{1/3}$.

a Bereken de massa van één ijzeratoom in kg.

b Hoeveel volume neemt één ijzeratoom in het metaal in? Stel dat elk atoom een kubusje inneemt: hoe lang is de ribbe, in nm?

c Bereken de straal en het volume van de kern van ijzer-56, en de dichtheid van de kern.

d Hoeveel zou een theelepel (5 mL) vol kernmaterie wegen? Waar in het heelal bestaat zulke materie echt?

12.15 Debat: is het schillenmodel waar?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Stelling: *'Het schillenmodel is fout, dus we zouden het niet meer mogen leren.'* Bereid met je groep argumenten voor en tegen voor, met voorbeelden uit dit hoofdstuk.

a Geef drie waarnemingen die het schillenmodel goed verklaart.

b Geef twee dingen die het schillenmodel niet of fout verklaart.

c Welke andere modellen ken je die 'fout' zijn en toch gebruikt worden? Formuleer je standpunt in twee zinnen.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan de bouw van een atoom beschrijven met protonen, neutronen en elektronen, hun lading, massa en plaats.
- Ik kan uit het atoomnummer en het massagetal het aantal protonen, neutronen en elektronen afleiden, ook voor ionen.
- Ik kan uitleggen wat isotopen zijn en de gemiddelde atoommassa berekenen uit isotoopmassa's en hun aandeel.
- Ik kan de elektronen van de eerste twintig elementen over de schillen verdelen en de grenzen van dat model benoemen.
- Ik kan het aantal valentie-elektronen afleiden en in verband brengen met de groep en de ionlading.
- Ik kan de opbouw van het periodiek systeem uitleggen: perioden, groepen, families, metalen, niet-metalen, metalloïden en edelgassen.

Ik kan met het periodiek systeem eigenschappen van een element voorspellen, zoals Mendelejev deed.

Ik kan de elementen noemen die een plant nodig heeft en ze terugvinden in een voedingsoplossing.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 13

Chemische bindingen en stofeigenschappen

Waarom zout breekt en koper buigt, waarom ijs drijft en olie niet oplost

Je begint met bindingen herkennen, formules opstellen, namen geven, Lewisstructuren tekenen en polariteit voorspellen. In de tweede trede onderzoek je vijf onbekende stoffen in het labo, verklaar je kookpunten, laat je een fles water bevriezen, voorspel je wat waarin oplost, reken je met de EC en programmeer je de regel van de elektronegativiteit. In de uitdagingen ontwerp je de EC-bewaking van Habitat (opdracht 13.12), vergelijk je diamant en grafiet, debatteer je over kunstmest en ontwerp je een eigen EC-meter.

5× oefenen | 6× toepassen | 4× uitdagen | ± 372 min

M Materie en chemie



Kubusvormige zoutkristallen: het ionrooster van natriumchloride, zichtbaar met het blote oog.

Oefenen

13.1 Welke binding?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Zeg voor elke stof welk soort binding de atomen bij elkaar houdt: ionbinding, atoombinding of metaalbinding.

Vul in.

stof	binding	waarom
kaliumbromide KBr		
ammoniak NH_3		
messing (koper + zink)		
calciumoxide CaO		
zwaveldioxide SO_2		
aluminium		
magnesiumsulfaat $MgSO_4$		

13.2 Formules van zouten opstellen

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 15 min

Gebruik de ionladingen uit het periodiek systeem en de tabel met samengestelde ionen.

a Geef de formule van: (a) kaliumsulfide, (b) magnesiumchloride, (c) aluminiumchloride, (d) calciumfosfaat, (e) natriumwaterstofcarbonaat (bakpoeder), (f) ijzer(III)hydroxide, (g) ammoniumfosfaat.

b Een leerling schrijft voor magnesiumoxide Mg_2O_2. Wat is er fout?

13.3 Namen en formules

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Deze stoffen kom je tegen in een tuincentrum, een keuken of een labo.

a Geef de naam.

formule	naam
$CaCO_3$	
NH_4NO_3	
K_2SO_4	
$CuSO_4$	
Fe_2O_3	
N_2O	
SO_3	
CCl_4	

b Geef de formule: kaliumnitraat, calciumnitraat, distikstoftetraoxide, koolstofmonoxide.

13.4 Lewisstructuren tekenen

Oefenen · 4 · Tekenen · 20 min

Volg de vier stappen uit het handboek. Tel telkens eerst alle valentie-elektronen.

a Teken de Lewisstructuur van H_2S, PH_3, CCl_4 en Cl_2.

b Teken de Lewisstructuur van etheen C_2H_4 (de twee C-atomen zitten aan elkaar) en van waterstofcyanide HCN (C in het midden).

c Hoeveel vrije elektronenparen telt elke molecule?

13.5 Polair of apolair?

Oefenen · 4 · Analyseren · 15 min

Gebruik de tabel met elektronegativiteiten. De vorm van de moleculen: CCl_4 en CH_4 zijn regelmatige piramides; NH_3 is een piramide met N bovenaan; H_2S is gebogen; CS_2 is recht.

a Bereken ΔEN en geef het soort binding: C–S, N–H, C–Cl, S–H, Mg–Cl.

b Welke van de moleculen CCl_4, NH_3, H_2S, CS_2, CH_3Cl zijn polair? Leg uit.

Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

13.6 Labo: vijf onbekende stoffen

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Je krijgt vijf genummerde potjes met een witte of grijze vaste stof. Het zijn: kaliumchloride, glucose, stearinezuur (kaarsvet), zinkpoeder (in een stukje zinkplaat) en fijn kwartszand, in een andere volgorde. Gebruik de tests uit de proef in het handboek.

a Maak een testplan: welke tests, in welke volgorde, en wat verwacht je per soort binding?

b Voer de tests uit en noteer.

potje	mechanisch	geleidt vast	in water	in olie	oplossing geleidt

c Welke stof zit in welk potje? Onderbouw elke keuze met minstens twee waarnemingen.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Testplan	Tests gekozen die ionen, moleculen (polair en apolair), metaal en atoomrooster onderscheiden.
Veiligheid	Bril, kleine hoeveelheden, hete plaat en gesmolten stoffen niet aanraken.
Waarnemingen	Volledige tabel, eerlijk genoteerd, ook 'twijfel'.
Besluit	Elk potje toegewezen met twee argumenten die uit de binding volgen.

13.7 Kookpunten verklaren

●●○ Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Kookpunten bij 1013 hPa. Halogenen: F_2 −188,1 °C; Cl_2 −34,0 °C; Br_2 58,8 °C; I_2 184,3 °C. Edelgassen: He −268,9 °C; Ne −246,0 °C; Ar −185,8 °C; Kr −153,4 °C; Xe −108,1 °C. Verder: H_2S −60,3 °C en H_2O 100,0 °C.

a Welke kracht houdt de moleculen (of atomen) van de halogenen en de edelgassen samen in de vloeistof? Verklaar de trend.

b Welke halogenen zijn bij kamertemperatuur (20 °C) een gas, een vloeistof, een vaste stof?

c H_2S is bijna twee keer zo zwaar als H_2O, en toch kookt het 160 °C lager. Verklaar.

d Voorspel met de grafiek in het handboek: bij welke temperatuur zou water koken zonder waterstofbruggen? Leg uit hoe je schat.

13.8 Een fles water in de diepvries

Toepassen · 4 · Rekenen · 12 min

Een glazen fles van 1,50 L wordt gevuld met 1,45 L water van 0 °C (dichtheid 0,99984 g/cm³) en in de diepvries gelegd. IJs heeft een dichtheid van 0,9167 g/cm³.

a Welk volume neemt het ijs in? Past het in de fles?

b Met hoeveel procent zet water uit als het bevriest? Verklaar met de bouw van ijs.

c Waarom barst een waterleiding in een onverwarmde garage vaak niet op de plaats waar het ijs ontstaat?

13.9 Wat lost op waarin?

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Soort zoekt soort. Leg telkens uit met de polariteit of de ionen.

a Jood I_2 lost slecht op in water, maar goed in wasbenzine. Waarom?

b Vitamine C lost op in water, vitamine A in vet. Welke van de twee moleculen heeft veel O–H-groepen?

c Waarom verwijder je nagellak met aceton en niet met water?

d Een emmer water met een laag olie erop: waarom helpt roeren niet, en een scheut afwasmiddel wel?

13.10 EC meten en omrekenen

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een EC-meter zonder temperatuurcompensatie meet in het reservoir van Habitat. Gebruik $\mathrm{EC}_{25} = \mathrm{EC}_T / (1 + 0{,}02\,(T - 25))$ en de ijklijn $\mathrm{EC} = 0{,}05 + 1{,}0 \cdot c$.

a Zet om: 1,35 mS/cm = _____ µS/cm; 850 µS/cm = _____ mS/cm; 1,4 mS/cm = _____ S/m.

b Op een koude ochtend (16 °C) meet je 1,18 mS/cm. Moet je bijsturen?

c De meter heeft plaatjes van 1,0 cm² op 1,0 cm afstand. Hoe groot is de weerstand tussen de plaatjes in de ijkvloeistof van 1,413 mS/cm?

d In een verwaarloosd reservoir van 50 L meet je 2,20 mS/cm (bij 25 °C). Hoeveel regenwater moet je toevoegen om op 1,40 te komen? Past dat in een reservoir van 60 L?

13.11 Python: het soort binding

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Het programma `binding.py` uit het handboek geeft voor twee atomen het soort binding. Breid het uit.

a Voeg broom (2,96) en jood (2,66) toe aan de tabel en test K–Br, H–I en C–Br. Wat geeft het programma?

b Schrijf een functie `molecuul_polair(bindingen_polair, symmetrisch)` die True teruggeeft als een molecule polair is. Test met H_2O, CO_2 en CH_4.

c Het programma zegt dat Al–Cl een polaire atoombinding is. Is dat een fout van het programma, van de regel, of geen fout? Leg uit.

●●● Uitdagen

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

13.12 Habitat: de EC-bewaking van het voedingsreservoir

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

Het reservoir van de klimaatmodule bevat 60 L voedingsoplossing (recept uit hoofdstuk 12, EC-streefwaarde 1,4 mS/cm bij 25 °C). Je plaatst een EC-sonde met temperatuursensor op de microcontroller. De planten verbruiken op een warme dag tot 6 L water. Voor bijvullen is er regenwater (0,05 mS/cm) en kraanwater (0,55 mS/cm); voor bijsturen de stamoplossingen A en B (10 mL A + 10 mL B per liter geeft 1,30 g/L).

a Leg in drie zinnen uit waarom de EC iets zegt over de hoeveelheid voeding, en waarom de sonde met wisselspanning werkt.

b Stel een beslisregel op: bij welke EC (bij 25 °C) doe je niets, voeg je stamoplossing toe, vul je bij met water? Hoeveel mL stamoplossing per 0,1 mS/cm te laag, voor 60 L?

c Waarom vul je bij met regenwater en niet met kraanwater? Reken: welke EC krijgt verse oplossing (volledig recept) als je kraanwater gebruikt?

d Schrijf in pseudocode (of Python) de lus die elk uur meet, compenseert naar 25 °C en een melding geeft. Zorg dat één uitschieter geen melding geeft.

e Welke twee problemen ziet de EC-meting niet? Hoe los je ze op?

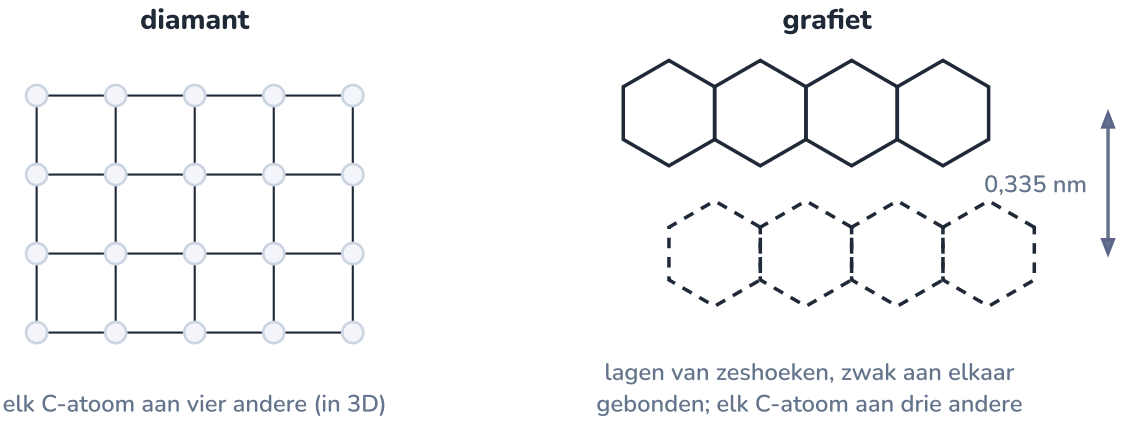
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Principe	Vrije ionen dragen de stroom; EC evenredig met de ionen; wisselspanning tegen ophoping en gasvorming.
Beslisregel	Grenzen 1,2 en 1,8 rond 1,4; dosis berekend met de ijklijn (46 mL per 0,1 mS/cm, verdeeld over A en B).
Water	Kraanwater verhoogt de EC met ionen die de plant niet nodig heeft; berekening 1,85 mS/cm.
Code	Temperatuurcompensatie, gemiddelde of mediaan van meerdere metingen, melding met reden.
Kritisch	EC ziet geen individuele ionen en geen pH; verversen, analyse, pH-meting (hoofdstuk 15).

13.13 Diamant en grafiet

●●● Uitdagen | 6 | Analyseren | 25 min

Diamant en grafiet bestaan allebei uit zuivere koolstof.



Links: in diamant is elk atoom aan vier andere gebonden. Rechts: grafiet bestaat uit lagen.

a Diamant is het hardste natuurlijke materiaal. Verklaar met de figuur.

b Grafiet is zacht (potlood) en toch smelt het niet in een vlam. Hoe kan dat allebei?

c Grafiet geleidt stroom, diamant niet. In grafiet is elk C-atoom maar aan drie andere gebonden. Wat gebeurt er met het vierde valentie-elektron?

d Grafeen is één enkele laag grafiet. Welke eigenschappen verwacht je (sterkte in het vlak, geleiding, dikte)?

13.14 Debat: kunstmest of natuurlijke mest?

●●● Uitdagen | 6 | Argumenteren | 30 min

Stelling: *'Planten groeien gezonder met natuurlijke mest dan met kunstmest, want kunstmest is chemie.'* Gebruik wat je weet over ionen, oplossen en de elementen die een plant nodig heeft (hoofdstuk 12).

a In welke vorm neemt een plant stikstof op, of die nu uit compost of uit kaliumnitraat komt? Wat betekent dat voor de stelling?

b Geef twee echte verschillen tussen natuurlijke mest en kunstmest, voor de bodem of het milieu.

c Waarom werkt Habitat met zouten en niet met compost in het reservoir? Formuleer je standpunt in twee zinnen.

13.15 Ontwerp: een eigen EC-meter

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 50 min

Je bouwt een eenvoudige EC-meter met twee roestvaststalen schroefjes als elektroden, een microcontroller en een vaste weerstand van 1,0 kΩ in serie (een spanningsdeler, hoofdstuk 22). Je hebt ijkvloeistof van 1,413 mS/cm en regenwater.

a Waarom mag je de schroefjes niet gewoon aan 5 V gelijkspanning leggen en de stroom meten? Hoe los je dat op met twee digitale pinnen van de microcontroller?

b Je kent de afstand en de oppervlakte van de schroefjes niet precies. Hoe bepaal je de celconstante toch?

c In de ijkvloeistof meet je een weerstand van 1,24 kΩ tussen de schroefjes. Hoe groot is de celconstante? Welke EC hoort bij 1,10 kΩ?

d Welke andere foutbronnen verwacht je, en hoe test je of je meter goed genoeg is voor Habitat?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Principe	Wisselspanning of korte, omgekeerde pulsen om elektrolyse en polarisatie te vermijden.
Ijking	Celconstante bepaald met een ijkvloeistof; formule EC = K / R correct gebruikt.
Berekening	K = 1,75 cm^{-1}; EC bij 1,10 kΩ = 1,59 mS/cm.
Kritisch	Temperatuur, corrosie, belletjes, afstand die verschuift; test met meerdere oplossingen en herhaling.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan ionbinding, atoombinding en metaalbinding beschrijven en herkennen aan de soorten atomen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan de formule van een zout opstellen uit de ionladingen en eenvoudige stoffen correct benoemen, ook met samengestelde ionen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan Lewisstructuren tekenen van eenvoudige moleculen en structuurformules lezen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan met de elektronegativiteit voorspellen of een binding apolair, polair of ionair is, en of een molecule polair is. ▢ ▢ ▢
- Ik kan van der Waalskrachten en waterstofbruggen gebruiken om kookpunten te vergelijken. ▢ ▢ ▢
- Ik kan uitleggen waarom water bijzonder is: hoog kookpunt, ijs dat drijft, goed oplosmiddel. ▢ ▢ ▢
- Ik kan smeltpunt, geleiding en oplosbaarheid van een stof verklaren uit haar binding. ▢ ▢ ▢
- Ik kan uitleggen waarom een zoutoplossing geleidt, de EC van een voedingsoplossing meten, omrekenen naar 25 °C en gebruiken om bij te sturen. ▢ ▢ ▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 14

Reacties en stoichiometrie

Atomen tellen door te wegen: van de gesloten kolf van Lavoisier tot de CO_2 van een liter benzine

Je begint met vergelijkingen kloppend maken, molaire massa's berekenen en omrekenen tussen gram, mol en deeltjes. In de tweede trede meet je in het labo hoeveel gas bakpoeder geeft, reken je aan een gasfles, een meststoffenetiket, gasvolumes en de uitlaat van een auto, en breid je de molaire-massarekenaar uit. In de uitdagingen ontwerp je de CO_2-voorziening van de kweekruimte (opdracht 14.12), zoek je uit welke stof eerst op is als je kalk oplost, ontwerp je een gistfles als CO_2-bron en ontrafel je wat er gebeurt met een kaars onder een glas.

5× oefenen · 6× toepassen · 4× uitdagen · ± 372 min

M Materie en chemie · W Wiskundig modelleren



Methaan en zuurstof worden koolstofdioxide en water: de druppeltjes op de koude lepel zijn reactieproduct.

14.1 Kloppend maken

●○○ Oefenen | 3 | Rekenen | 15 min

Maak de vergelijkingen kloppend. Controleer telkens door de atomen links en rechts te tellen.

a (a) $\mathrm{H_2 + Cl_2 \longrightarrow HCl}$

b (b) $\mathrm{N_2 + H_2 \longrightarrow NH_3}$ (de productie van ammoniak voor kunstmest)

c (c) $\mathrm{Al + O_2 \longrightarrow Al_2O_3}$

d (d) $\mathrm{C_3H_8 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O}$

e (e) $\mathrm{Fe_2O_3 + C \longrightarrow Fe + CO_2}$ (ijzer maken in een hoogoven)

f (f) $\mathrm{C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O}$ (celademhaling)

14.2 Molaire massa's

●○○ Oefenen | 3 | Rekenen | 15 min

Gebruik de atoommassa's uit het periodiek systeem (hoofdstuk 12). Rond af op twee decimalen.

Bereken de molaire massa.

stof	berekening	M (g/mol)
ammoniak NH_3		
ethanol C_2H_5OH		
calciumcarbonaat $CaCO_3$		
ammoniumsulfaat $(NH_4)_2SO_4$		
kaliumdiwaterstoffosfaat KH_2PO_4		
kopersulfaat-pentahydraat $CuSO_4 \cdot 5H_2O$		

14.3 Gram, mol en deeltjes

Oefenen · 4 · Rekenen · 20 min

Gebruik $n = m/M$, $N = n \cdot N_A$ en $V = n \cdot V_m$ met $V_m = 24{,}1\ \mathrm{L/mol}$ bij 20 °C.

a (a) Hoeveel mol en hoeveel moleculen zitten er in 10,0 g koolstofdioxide? Welk volume neemt dat gas in bij 20 °C?

b (b) Hoeveel gram weegt 0,250 mol glucose?

c (c) Een fles bevat $3{,}01 \cdot 10^{23}$ moleculen ammoniak. Hoeveel mol en hoeveel gram is dat?

d (d) Hoeveel natriumionen zitten er in 5,0 g keukenzout?

14.4 Exotherm of endotherm?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Zeg van elk proces of er energie vrijkomt of opgenomen wordt. Leg kort uit waaraan je het ziet.

a (a) een kaars brandt; (b) een plant maakt glucose in het licht; (c) een handwarmer met ijzerpoeder wordt warm als je het zakje openmaakt; (d) kalk (calciumcarbonaat) wordt in een oven bij 900 °C ontbonden tot calciumoxide en koolstofdioxide; (e) je lichaam verbrandt suiker in je spieren.

b Waarom gaat een lucifer pas branden als je hem langs het strijkvlak haalt, als verbranden toch energie oplevert?

14.5 Massabehoud in de praktijk

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Drie waarnemingen die het behoud van massa lijken tegen te spreken.

a Een kaars van 20 g weegt na een uur branden nog 12 g. Waar is de massa gebleven?

b Een bolletje staalwol op een weegschaal wordt zwaarder terwijl het brandt. Hoe kan dat?

c Een leerling herhaalt de proef met azijn en bakpoeder, maar met een ballon over de flessenhals in plaats van een dop. De ballon zwelt op en de weegschaal toont 0,3 g minder. Is er massa verdwenen? Leg uit.

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

14.6 Labo: hoeveel CO_2 geeft bakpoeder?

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Onderzoek of de massa koolstofdioxide die ontsnapt evenredig is met de massa bakpoeder, en vergelijk met de stoichiometrie. Werk in een open bekerglas met 50 mL azijn op de weegschaal (tot 0,01 g), en voeg telkens een afgewogen hoeveelheid bakpoeder toe: 1,00 g, 2,00 g en 3,00 g, telkens in verse azijn.

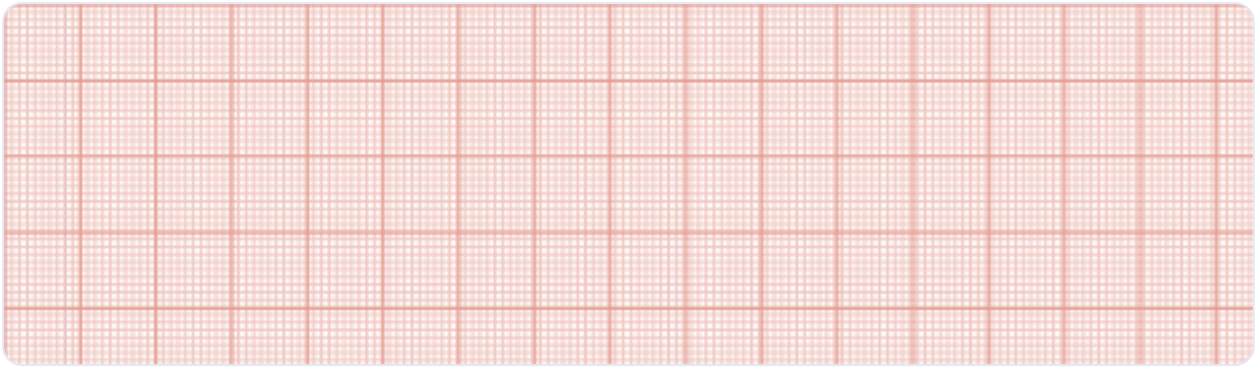
a Voorspel met een berekening hoeveel gram CO_2 er telkens ontstaat. Is 50 mL azijn (5 g azijnzuur per 100 mL) genoeg voor 3,00 g bakpoeder?

b Meet en noteer.

bakpoeder (g)	massa voor (g)	massa na 10 min (g)	CO_2 gemeten (g)	CO_2 bere

c Zet CO_2 gemeten uit tegen de massa bakpoeder. Is het verband recht evenredig?

Waarom is het rendement geen 100 %?



ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Voorspelling	Correcte stoichiometrie (1 : 1), 0,524 g per gram; azijn genoeg tot 3,5 g bakpoeder.
Meting	Nauwkeurig gewogen, verse azijn, lang genoeg gewacht en gewalst.
Analyse	Grafiek met rechte door de oorsprong; rendement berekend.
Discussie	Opgeloste CO_2, CO_2 die in het bekerglas blijft hangen, spatten; verbetering voorgesteld.

14.7 Een gasfles propaan

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een gasfles voor een barbecue bevat 10,5 kg propaan C_3H_8. Ze wordt volledig verbrand.

a Schrijf de kloppende vergelijking.

b Hoeveel kilogram koolstofdioxide en hoeveel kilogram water ontstaan er?

c Hoeveel kubieke meter lucht (21 % zuurstof) is er bij 20 °C nodig?

d Waarom mag je een gasbarbecue nooit binnen of in een tent gebruiken?

14.8 Wat betekent NPK?

●●○ Toepassen | 5 | Habitat | 25 min

Op een meststof staat 'NPK 20-20-20': 20 % stikstof (N), 20 % fosfor uitgedrukt als P_2O_5 en 20 % kalium uitgedrukt als K_2O, in massaprocent. De voedingsoplossing van Habitat bevat per liter 1,28 g zouten met 112 mg N, 32 mg P en 156 mg K (hoofdstuk 12).

a Welk deel van de massa van P_2O_5 is fosfor? En van K_2O kalium?

b Hoeveel gram echt fosfor en echt kalium zit er in 100 g van die NPK 20-20-20?

c Bereken de NPK-waarden van het zoutmengsel van Habitat.

d Controleer met molaire massa's de 112 mg stikstof: 0,59 g $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ en 0,30 g KNO_3 per liter.

14.9 Gassen bij verschillende temperaturen

Toepassen · 4 · Rekenen · 15 min

Het molair volume bij 1013 hPa: 20,8 L/mol bij −20 °C, 22,4 L/mol bij 0 °C, 24,1 L/mol bij 20 °C, 25,7 L/mol bij 40 °C.

a Een ballon bevat bij 20 °C 5,0 L helium. Hoe groot is hij buiten bij −20 °C? En in een auto in de zon, bij 40 °C?

b Bereken de massa van 1,0 L koolstofdioxide en van 1,0 L lucht (gemiddelde molaire massa 28,97 g/mol) bij 20 °C. Waarom hoopt CO_2 zich op in een kelder of een gistkuip?

c Waarom staat er bij een gasvolume altijd een temperatuur, en bij een massa niet?

14.10 Python: massapercentages

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Breid `molmassa.py` uit het handboek uit met een functie `massapercentages(formule)` die voor elk element het massapercentage teruggeeft (bijvoorbeeld voor KNO_3: K 38,7 %, N 13,9 %, O 47,5 %).

a Schrijf de functie. Gebruik `tel_atomen` en `molaire_massa`, en denk aan kristalwater.

b Hoeveel procent stikstof bevatten ureum $CO(NH_2)_2$, ammoniumnitraat NH_4NO_3, kaliumnitraat en calciumnitraat-tetrahydraat? Welke meststof is het 'zuinigst' om te vervoeren?

14.11 De CO_2 van een auto

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een benzineauto verbruikt 5,5 L per 100 km, een dieselauto 4,5 L per 100 km. Gebruik 2,30 kg CO_2 per liter benzine en 2,60 kg per liter diesel.

a Bereken de uitstoot van beide auto's in gram CO_2 per kilometer.

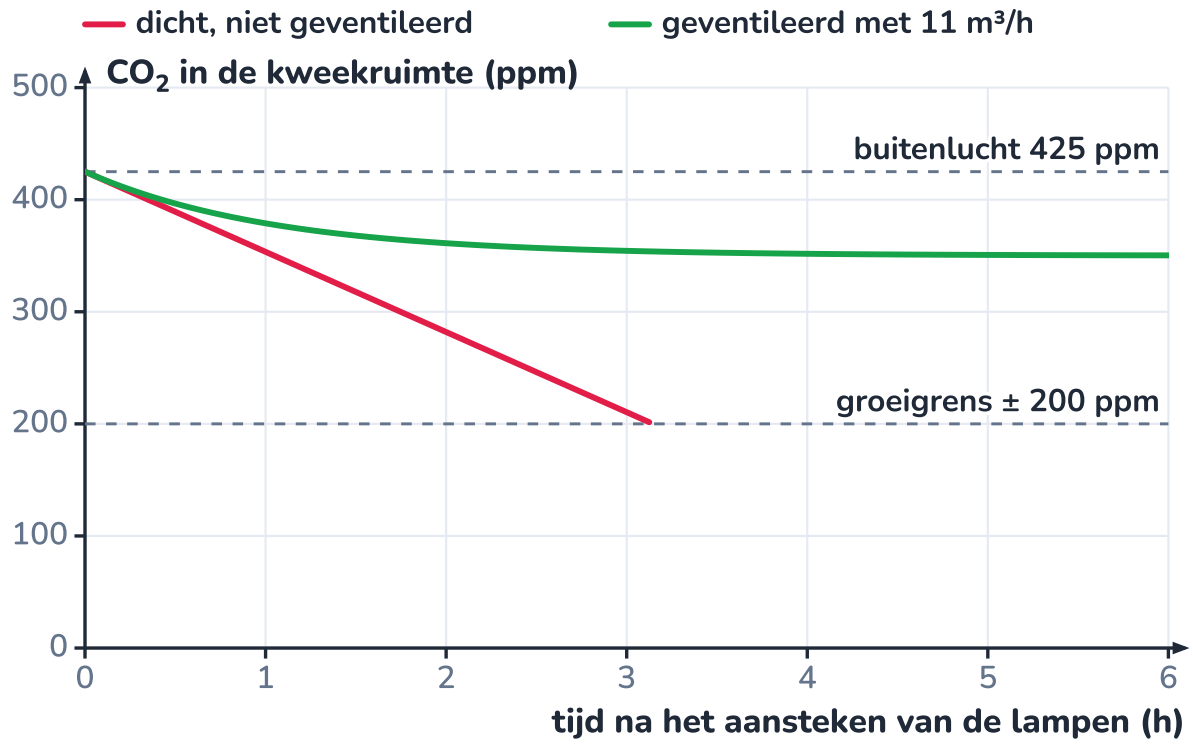
b Hoeveel ton CO_2 stoot de benzineauto uit in een jaar van 15 000 km?

c Per liter geeft diesel meer CO_2. Waarom stoot de dieselauto toch minder uit per kilometer?

14.12 Habitat: CO_2 voor de kweekruimte

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

De kweekruimte (2,40 × 2,00 × 2,40 m) met 48 slaplanten vraagt 1,5 g CO_2 per lichtuur. Buitenlucht: 425 ppm. De teler wil de planten sneller laten groeien bij 800 ppm. Er zijn drie opties: (A) alleen ventileren met buitenlucht; (B) de uitgeademde lucht van de leefruimte (twee bewoners, 's avonds en 's nachts binnen) door de kweekruimte leiden; (C) een fles CO_2 van 2 kg (€ 25 per vulling) met een doseerventiel dat de sensor aanstuurt.



De concentratie in de kweekruimte zonder en met ventilatie (model uit het handboek).

a Hoeveel liter en hoeveel gram CO_2 zit er in de kweekruimte bij 425 ppm en bij 800 ppm? Hoeveel moet je toevoegen om van 425 naar 800 ppm te gaan?

b Kan je met optie A ooit 800 ppm halen? Leg uit.

c Optie B: twee bewoners ademen samen 2 kg CO_2 per dag uit. Welk deel daarvan hebben de planten nodig? Welk probleem zie je met de tijdstippen?

d Optie C: stel dat je de ruimte overdag dicht houdt en alleen het verbruik van de planten bijdoseert (plus 20 % lekverlies). Hoe lang doet een fles van 2 kg mee, en wat kost dat per teelt?

e Schrijf een advies van vijf regels voor je portfolio, met je keuze, de veiligheid (CO_2-sensor, alarm) en een reden om toch te ventileren.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Volumes en massa's met V_m = 24,1 L/mol; 4,3 L (7,9 g) om naar 800 ppm te gaan.
Bronnen	A: nooit boven buitenlucht; B: 40 × genoeg maar op het verkeerde moment; C: berekende looptijd en kost.
Veiligheid	CO_2 is zwaarder dan lucht en boven ± 5000 ppm schadelijk: sensor, alarm, niet in een afgesloten ruimte werken.
Advies	Onderbouwde keuze, met vocht en temperatuur als tweede reden om te ventileren.

14.13 Kalk en azijn: wie is eerst op?

●●● Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Een waterkoker zit vol kalkaanslag (calciumcarbonaat). Je giet er 250 mL azijn in (5 g azijnzuur per 100 mL). De reactie: $\mathrm{CaCO_3 + 2\,CH_3COOH \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2 + H_2O + CO_2}$. Er zit 20 g kalk in de waterkoker.

a Hoeveel mol kalk en hoeveel mol azijnzuur zijn er? Welke stof is beperkend?

b Hoeveel gram kalk lost er op, en hoeveel blijft er liggen?

c Hoeveel liter CO_2 (20 °C) bruist er uit de waterkoker?

d Hoeveel mL azijn heb je minstens nodig om alle kalk op te lossen?

14.14 Ontwerp: een gistfles als CO_2-bron

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

Hobbytelers maken CO_2 met gist en suiker in een fles met een slangetje naar de plantenruimte. Gist zet suiker (sacharose $C_{12}H_{22}O_{11}$) om in ethanol en koolstofdioxide: $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 4\,C_2H_5OH + 4\,CO_2$.

a Hoeveel gram CO_2 geeft 1 g suiker? Hoeveel gram suiker per dag heb je nodig voor de 24 g CO_2 die de 48 slaplanten opnemen?

b Hoeveel ethanol ontstaat er per dag? Waar blijft die?

c Ontwerp de opstelling: fles, slangetje, waterslot, temperatuur. Waarom levert de fles niet netjes elke dag evenveel CO_2?

d Vergelijk met een fles CO_2 (€ 25 voor 2 kg; suiker kost € 1,20 per kg). Welke keuze raad je Habitat aan, en waarom?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Stoichiometrie	0,514 g CO_2 per g suiker; 47 g suiker per dag; 25 g ethanol per dag.
Ontwerp	Waterslot tegen terugstromen, slangetje naar de ruimte, fles warm (20 à 30 °C), makkelijk bij te vullen.
Kritisch	Productie onregelmatig (begint traag, stopt als de suiker op is of de alcohol de gist remt), niet te sturen, ook 's nachts.
Afweging	Kosten en stuurbaarheid vergeleken met een fles CO_2.

14.15 Een kaars onder een glas

●●● Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

Je zet een glas van 1,0 L over een brandend waxinelichtje. Na ongeveer 20 seconden dooft het. Een kaarsvlam dooft als de lucht nog ongeveer 16 % zuurstof bevat (in plaats van 20,95 %). Neem als model voor paraffine $C_{25}H_{52}$ (352,69 g/mol). Een waxinelichtje verbrandt ongeveer 3 g paraffine per uur.

a Schrijf de kloppende vergelijking voor de volledige verbranding van $C_{25}H_{52}$.

b Hoeveel mol zuurstof verbruikt de vlam voor ze dooft (20 °C)? Hoeveel milligram paraffine verbrandt er?

c Hoe lang brandt het lichtje volgens je berekening? Klopt dat met de waarneming?

d Een bekende proef: zet het lichtje in een schaaltje water. Als het glas erover staat, stijgt het water in het glas. Vaak hoor je: 'omdat de zuurstof opgebruikt is'. Toon met je vergelijking aan dat die verklaring niet volstaat. Wat is de belangrijkste oorzaak?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan een reactievergelijking kloppend maken en het verschil tussen coëfficiënt en index uitleggen.	☐ ☐ ☐
Ik kan de wet van behoud van massa toepassen en verklaren met het deeltjesmodel.	☐ ☐ ☐
Ik kan de molaire massa van een stof berekenen, ook met haakjes en kristalwater.	☐ ☐ ☐
Ik kan omrekenen tussen massa, hoeveelheid stof (mol), aantal deeltjes en het volume van een gas.	☐ ☐ ☐
Ik kan met een kloppende vergelijking de massa of het volume van een reactieproduct of een beginstof berekenen.	☐ ☐ ☐
Ik kan berekenen hoeveel koolstofdioxide ontstaat bij het verbranden van een brandstof, en volledige en onvolledige verbranding onderscheiden.	☐ ☐ ☐
Ik kan exotherme en endotherme reacties herkennen en in een energiediagram voorstellen.	☐ ☐ ☐
Ik kan berekenen hoeveel CO2 de planten van de kweekruimte nodig hebben, en bronnen en ventilatie beoordelen.	☐ ☐ ☐

WERKBOEK · HOOFDSTUK 15

Zuren, basen en pH

Van citroensap tot ontstopper: een logaritmische schaal, een kleurstof uit rode kool en een druppel die alles verandert

Je begint met de pH-schaal: indelen, rekenen, verdunnen, een indicator kiezen en neutralisaties schrijven. In de tweede trede titreer je in het labo, reken je aan mengsels, lees en teken je titratiecurves, ijk je een pH-meter, programmeer je, reken je aan de oceaan en aan een maagtablet. In de uitdagingen stel je de pH-bewaking van Habitat op (opdracht 15.14), onderzoek je waar verdunnen ophoudt en ontwerp je een automatische pH-dosering.

5× oefenen · 8× toepassen · 3× uitdagen · ± 384 min

M Materie en chemie · B Leven en systemen · O Onderzoeken en meten



Eén kleurstof uit rode kool, acht kleuren: van zuur (rood) tot sterk basisch (geel).

Oefenen

15.1 Zuur, neutraal of basisch?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Typische pH-waarden: maagsap 1,5; tomatensap 4,2; zwarte koffie 5,0; melk 6,7; bloed 7,4; zeewater 8,1; zeepsop 10; bleekwater 12,5.

a Welke zijn zuur, welke basisch? Welke is het meest zuur, welke het meest basisch?

b Hoeveel keer meer oxoniumionen bevat tomatensap dan melk? En maagsap dan koffie?

c Een leerling zegt: 'Melk is bijna neutraal, dus bevat ze geen H_3O^+.' Klopt dat?

15.2 Van concentratie naar pH en terug

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Alle zuren en basen hier zijn sterk. Gebruik $\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H_3O^+}]$ en pH + pOH = 14 (25 °C).

a Bereken de pH.

oplossing	berekening	pH
zoutzuur 0,10 mol/L		
salpeterzuur 0,0030 mol/L		
zoutzuur $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ mol/L		
natronloog 0,010 mol/L		
kaliloog $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ mol/L		

b Bereken $[H_3O^+]$ en $[OH^-]$ in een oplossing met pH 4,70 en in een oplossing met pH 11,20.

15.3 Tien keer verdunnen

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Je verdunt oplossingen van sterke zuren en basen met water.

a 250 mL zoutzuur met pH 2,00 wordt aangevuld tot 2,5 L. Welke pH krijg je?

b 20 mL salpeterzuur met pH 1,30 wordt aangevuld tot 500 mL. Welke pH?

c Natronloog met pH 12,6 wordt honderd keer verdund. Welke pH?

d Hoeveel keer moet je zoutzuur met pH 1,0 verdunnen om pH 5,0 te krijgen? Hoeveel water is dat voor 1 mL zuur?

15.4 Welke indicator?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Gebruik de tabel met omslaggebieden uit het handboek.



De omslaggebieden van vier indicatoren.

a Welke kleur heeft broomthymolblauw in regenwater (pH 5,6), in bloed (pH 7,4) en in zeepsop (pH 10)?

b Een oplossing is kleurloos met fenolftaleïne en geel met methyloranje. Tussen welke pH-waarden ligt ze?

c Welke indicator gebruik je om te controleren of de voedingsoplossing van Habitat tussen 5,5 en 6,5 ligt? Waarom is een pH-meter toch beter?

15.5 Neutralisaties schrijven

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Schrijf de kloppende reactievergelijking en geef de naam van het zout.

a (a) salpeterzuur + natronloog; (b) zoutzuur + kaliloog; (c) zwavelzuur + natronloog; (d) zoutzuur + calciumhydroxide $Ca(OH)_2$; (e) fosforzuur H_3PO_4 + kaliloog, tot alle drie de protonen weg zijn.

b Schrijf de ionenvergelijking die in alle vijf reacties hetzelfde is. Welke ionen zijn in (a) toeschouwers?

15.6 Labo: hoeveel zuur zit er in ontkalker?

●●○ Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Je bepaalt met een titratie de concentratie van een ontkalker op basis van citroenzuur (drie protonen per molecule, $M = 192{,}12$ g/mol) of van azijn. Je krijgt natronloog van 0,100 mol/L, fenolftaleïne, een buret, een volumepipet van 25 mL en een maatkolf van 100 mL.

a Maak een werkplan: welke verdunning kies je en waarom? Hoeveel mL natronloog verwacht je ongeveer?

b Titreer minstens drie keer en noteer.

titratie	beginstand (mL)	eindstand (mL)	verbruikt (mL)

c Bereken de concentratie in mol/L en in g per 100 mL. Vergelijk met het etiket.

d Noem twee foutbronnen en zeg of ze je resultaat te hoog of te laag maken.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Veiligheid	Bril, pipetteerballon (nooit met de mond), spatten afspoelen, afval geneutraliseerd.
Werkplan	Verdunning gekozen zodat het verbruik tussen 15 en 45 mL ligt; verwachting berekend.
Meting	Buret correct afgelezen tot op 0,05 mL; drie titraties binnen 0,10 mL.
Berekening	Molverhouding juist (1 : 3 bij citroenzuur, 1 : 1 bij azijnzuur), verdunning verrekend, eenheden.
Kritisch	Foutbronnen met hun richting (overtitreren: te hoog; lucht in de buret; verkeerd pipetteren).

15.7 Mengsels van zuur en base

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Bereken de pH na het mengen. Het volume van het mengsel is de som van de volumes.

a (a) 25,0 mL zoutzuur 0,200 mol/L + 25,0 mL natronloog 0,100 mol/L

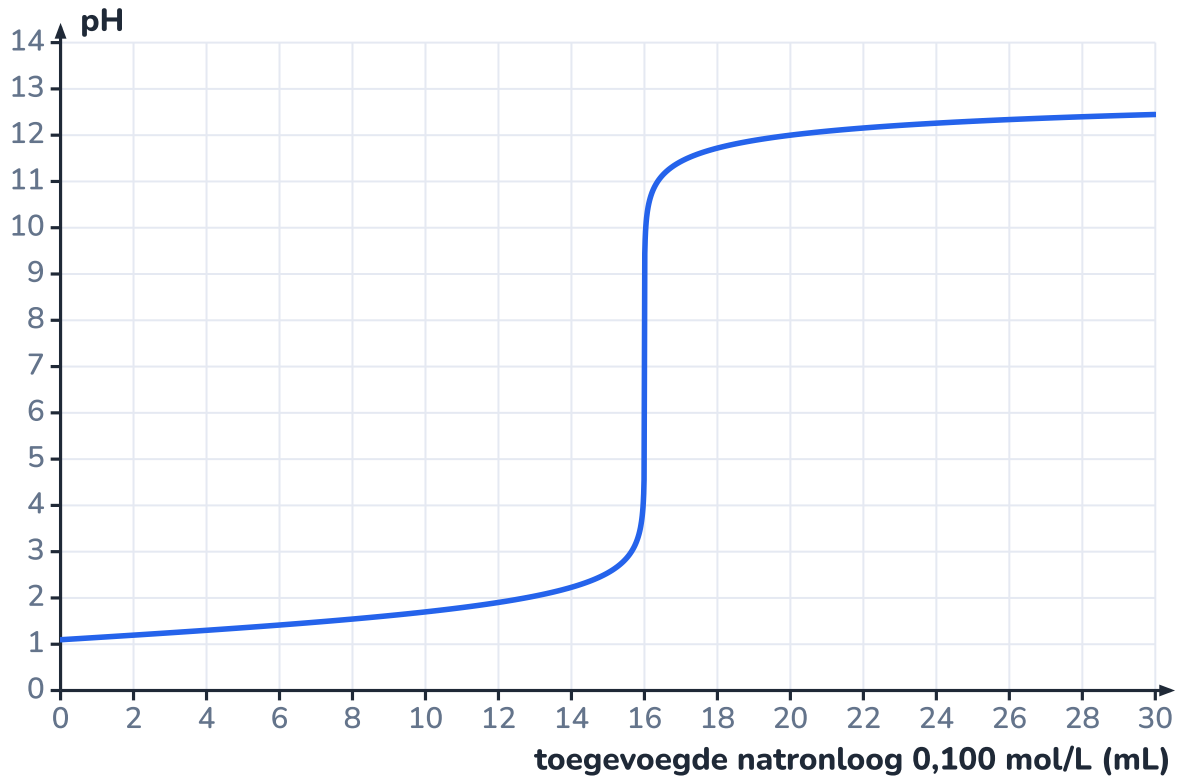
b (b) 40,0 mL zoutzuur 0,0500 mol/L + 20,0 mL natronloog 0,100 mol/L

c (c) 30,0 mL salpeterzuur 0,100 mol/L + 50,0 mL kaliloog 0,0800 mol/L

15.8 Een titratiecurve lezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Een leerling titreert 20,0 mL zoutzuur met onbekende concentratie met natronloog van 0,100 mol/L en meet de pH.



De gemeten titratiecurve (afgevlakt).

a Lees het equivalentievolume af. Bereken de concentratie van het zoutzuur.

b Controleer je antwoord met de begin-pH.

c Welke van de drie indicatoren (methyloranje, broomthymolblauw, fenolftaleïne) zijn hier bruikbaar? Waarom?

15.9 Een titratiecurve tekenen

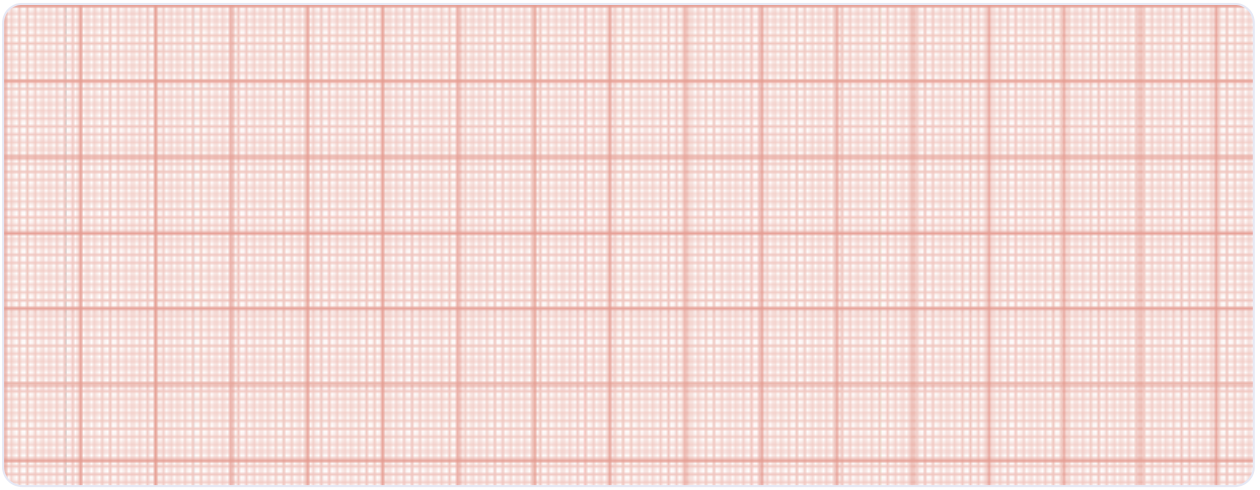
Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Nu omgekeerd: in de erlenmeyer zit 25,0 mL natronloog van 0,100 mol/L, in de buret zoutzuur van 0,100 mol/L.

a Bereken de pH bij 0; 10,0; 20,0; 24,9; 25,0; 25,1; 30,0 en 50,0 mL zoutzuur.

V zoutzuur (mL)	overmaat (mmol)	pH

b Teken de titratiecurve op millimeterpapier. Duid het equivalentiepunt aan.



c Welke kleurverandering zie je bij het eindpunt als je fenolftaleïne gebruikt?

15.10 Een pH-meter ijken

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een labo-pH-meter kan ook de ruwe spanning van de elektrode tonen. Bij 20 °C lees je in buffer pH 7,00 −4 mV en in buffer pH 4,00 +165 mV.

a Bereken de helling in mV per pH-eenheid.

b De ideale helling bij 20 °C is 58,17 mV. Hoeveel procent daarvan haalt de elektrode? Is ze nog bruikbaar?

c Een monster geeft +62 mV, een ander −120 mV. Bereken hun pH.

d Voor welk van de twee monsters vertrouw je de uitkomst het minst? Wat zou je doen?

15.11 Python: hoe breed is de sprong?

●●○ Toepassen · 6 · </> Programmeren · 30 min

Gebruik de functie `ph_mengsel` uit het handboek. De 'sprong' definiëren we als het volumegebied waarin de pH van 4,0 naar 10,0 gaat.

a Schrijf een functie `volume_bij_ph(doel, c_zuur, v_zuur, c_base)` die met kleine stapjes (0,001 mL) zoekt bij welk volume base de pH voor het eerst boven `doel` komt.

b Bereken de breedte van de sprong (pH 4 tot 10) voor 25,0 mL zoutzuur met natronloog van dezelfde concentratie: 0,100 mol/L, 0,0100 mol/L en 0,00100 mol/L.

concentratie (mol/L)	V bij pH 4 (mL)	V bij pH 10 (mL)	breedte (mL)

c Wat betekent dat voor een titratie met heel verdunde oplossingen? Welke indicator kies je dan?

15.12 Oceaanverzuring in cijfers

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Metingen ten noorden van Hawaï gaven in 1988 een oppervlakte-pH van ongeveer 8,11 en rond 2020 ongeveer 8,05. Voor 1850 rekenen we met een geschatte 8,18.

a Bereken $[H_3O^+]$ in nmol/L voor 8,18 en 8,05.

b Met hoeveel procent steeg de concentratie oxoniumionen tussen 1850 en 2020?

c Hoeveel pH-eenheid per tien jaar daalde de pH tussen 1988 en 2020? Welke pH verwacht je in 2100 als dat tempo blijft? Waarom is dat waarschijnlijk te optimistisch bij een hoge uitstoot?

15.13 Een maagtablet

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een maagtablet tegen brandend maagzuur bevat 680 mg calciumcarbonaat en 80 mg magnesiumcarbonaat $MgCO_3$. Maagsap bevat ongeveer 0,1 mol/L zoutzuur.

a Schrijf de kloppende vergelijkingen van beide carbonaten met zoutzuur (er ontstaan een zout, water en koolstofdioxide).

b Hoeveel mmol zoutzuur neutraliseert één tablet? Met hoeveel mL maagsap komt dat overeen?

c Waarom boeren mensen soms na zo'n tablet?

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

15.14 Habitat: de pH-bewaking van het voedingsreservoir

Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

Het reservoir (60 L, recept uit hoofdstuk 12, EC-streefwaarde 1,4 mS/cm) krijgt een pH-module op de microcontroller. Streefwaarde pH 5,8, werkgebied 5,5 tot 6,5. pH-min: salpeterzuur 0,50 mol/L. De pomp zet het reservoir in 12,5 minuten één keer rond. De planten verbruiken tot 6 L water per warme dag.

a Waarom stijgt de pH van deze voedingsoplossing vanzelf? Waarom kan je de nodige hoeveelheid pH-min niet uitrekenen met de pH alleen?

b Stel een onderhoudsplan op: hoe vaak meet je, hoe vaak ijk je, met welke buffers, en hoe bewaar je de sonde?

c Na 4 dagen: 52 L, pH 6,7, EC 1,55 mS/cm. Een proefje op 1,0 L vraagt 1,8 mL pH-min tot pH 5,8. Beschrijf in volgorde wat je doet (bijvullen, pH, EC), met getallen.

d De sensor meet drie dagen na elkaar exact 7,00, terwijl pH-papier 6 geeft. Wat is er vermoedelijk aan de hand? Hoe laat je de microcontroller zo'n fout zelf opmerken?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Chemie	Nitraatopname → wortels geven OH^-/HCO_3^- af; buffer in de oplossing, dus dosis via een proefje.
Onderhoud	Dagelijks meten, om de twee weken ijken met pH 7 en 4, sonde in KCl-bewaarvloeistof, spoelen tussen buffers.
Volgorde	Eerst bijvullen met regenwater, dan pH bijsturen (dosis herschaald naar 60 L, in twee keer), dan EC.
Foutdetectie	Een waarde die niet verandert of buiten een fysisch plausibel bereik ligt, is verdacht; controle met papier of buffer.

15.15 Kan je een zuur basisch verdunnen?

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Een leerling redeneert: 'Zoutzuur van 0,10 mol/L heeft pH 1. Elke keer tien keer verdunnen geeft één eenheid meer. Na acht keer verdunnen heb ik dus pH 9: basisch!'

a Waar zit de denkfout? Leg uit met de waterconstante.

b Bereken de pH van zoutzuur van $1{,}0 \cdot 10^{-8}$ mol/L. Gebruik de ladingsbalans $h - 10^{-14}/h = c$ (met $h = [\mathrm{H_3O^+}]$), of de functie uit het handboek.

c Vanaf welke concentratie mag je de regel 'pH = –log c' niet meer gebruiken, als je een fout van hoogstens 0,01 aanvaardt? Probeer 10^{-5}, 10^{-6} en 10^{-7} mol/L.

15.16 Ontwerp: een automatische pH-dosering

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 60 min

Habitat wil de pH van het reservoir automatisch op 5,8 houden met een kleine peristaltische doseerpomp (1,0 mL per seconde) die pH-min (0,50 mol/L) in de stroming bij de circulatiepomp druppelt. Een verkeerde dosering kan in één keer de hele teelt vernietigen.

a Ontwerp de regellogica: wanneer doseert de pomp, hoeveel per keer, en hoe lang wacht ze voor ze opnieuw meet? Motiveer met de rondpomptijd van 12,5 minuten en met de buffer.

b Bereken: als het proefje 1,6 mL per liter vraagt, hoeveel doseerbeurten van 5 s zijn er dan nodig voor 60 L van 6,6 naar 5,8? Hoe lang duurt de correctie minstens?

c Bedenk minstens drie veiligheden tegen overdosering (bv. een maximum per dag) en wat de installatie doet bij een sensorfout.

d Teken een blokschema: sensor, microcontroller, doseerpomp, reservoir, circulatiepomp, en de terugkoppeling.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Regellogica	Kleine dosissen met een wachttijd van minstens één rondpompbeurt; hysterese (bv. pas doseren boven 6,0).
Berekening	96 mL, 20 beurten van 5 s, met 15 min wachten minstens 5 uur (of grotere eerste stappen, met argument).
Veiligheid	Maximum per beurt en per dag, alarm bij een onveranderlijke of onmogelijke meting, noodstop, handmatige bevestiging bij een grote afwijking.
Blokschema	Gesloten lus met sensor, regelaar, actuator en proces; de circulatie als menging.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan zuren en basen uit het dagelijks leven herkennen, hun eigenschappen noemen en er veilig mee werken. ☐ ☐ ☐
- Ik kan met de theorie van Arrhenius (en kort Brønsted) uitleggen wat een stof zuur of basisch maakt, en het verschil tussen sterk en geconcentreerd. ☐ ☐ ☐
- Ik kan de pH berekenen uit de concentratie van H_3O^+ of OH^- (sterke zuren en basen) en omgekeerd, en uitleggen waarom de schaal logaritmisch is. ☐ ☐ ☐
- Ik kan voorspellen wat verdunnen met de pH doet, en waarom een zuur door verdunnen nooit basisch wordt. ☐ ☐ ☐
- Ik kan een indicator kiezen bij een omslaggebied en de kleur voorspellen. ☐ ☐ ☐
- Ik kan een neutralisatie als reactievergelijking schrijven en uitrekenen welke stof overblijft na mengen. ☐ ☐ ☐
- Ik kan een titratie uitvoeren, een titratiecurve lezen en er de concentratie van een zuur mee bepalen. ☐ ☐ ☐
- Ik kan een pH-meter ijken met bufferoplossingen en uit een ijking de pH van een monster berekenen. ☐ ☐ ☐
- Ik kan uitleggen waarom de pH belangrijk is in de bodem, in de hydroponie en in de oceaan, en de pH van de voedingsoplossing bewaken en bijsturen. ☐ ☐ ☐

WERKBOEK · HOOFDSTUK 16

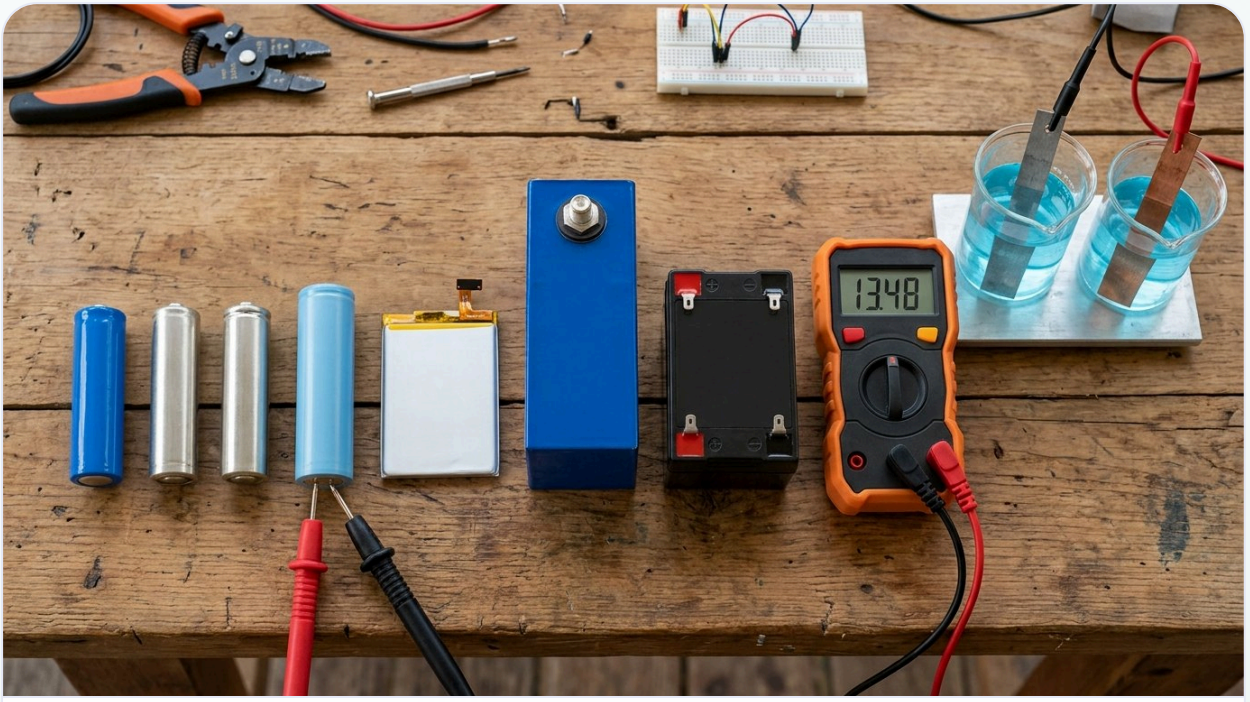
Redox en batterijen

Elektronen die van zink naar koper springen: van de Daniell-cel tot de batterij van de klimaatmodule

Je begint met oxidatie en reductie herkennen, reacties opsplitsen, de spanningsreeks gebruiken, met ampère-uur en wattuur rekenen en de Daniell-cel lezen. In de tweede trede bouw je cellen in het labo, vergelijk je batterijen, lees je een ontlaadtest, reken je met de constante van Faraday, laad je een batterij, speur je naar corrosie in en rond de kas, programmeer je een coulombteller en denk je na over veilig vliegen met een powerbank. In de uitdagingen toets je de batterijkeuze van Habitat (opdracht 16.13), zoek je uit waarom een loodaccu zo zwaar is en ontwerp je een batterij uit citroenen.

5× oefenen | 8× toepassen | 3× uitdagen | ± 365 min

M Materie en chemie | L Elektriciteit en elektronica | E Energie



Van AA tot LiFePO4: dezelfde natuurkunde, een andere chemie.

16.1 Oxidatie of reductie?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Vul de elektronen aan en zeg of het een oxidatie of een reductie is.

a (a) $Mg \rightarrow Mg^{2+} +$ _____ ; (b) $Ag^{+} +$ _____ $\rightarrow Ag$; (c) $Cl_2 +$ _____ $\rightarrow 2\,Cl^{-}$; (d) $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} +$ _____ ; (e) $Al \rightarrow Al^{3+} +$ _____

b Magnesium reageert met koperionen: $Mg + Cu^{2+} \longrightarrow Mg^{2+} + Cu$. Welke stof is de reductor, welke de oxidator?

16.2 Redoxreacties opsplitsen

● ○ ○ Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Schrijf de twee halfreacties en de kloppende totale vergelijking.

a (a) ijzer in een oplossing met koperionen (er ontstaan Fe^{2+}-ionen)

b (b) zink in zoutzuur (er ontstaat waterstofgas)

c (c) koper in een oplossing met zilverionen Ag^+

d (d) aluminium dat met zuurstof een oxidelaagje vormt

16.3 Reageert het?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 10 min

Gebruik de spanningsreeks uit het handboek.

a Voorspel of er een reactie is, en schrijf ze dan op: (a) een koperdraad in zilvernitraat; (b) een koperdraad in zinksulfaat; (c) een zinken dakgoot in zure regen; (d) een zilveren ring in zoutzuur; (e) een magnesiumlint in kopersulfaat.

b Waarom maakt men juwelen van goud en zilver, en geen dakgoten van magnesium?

16.4 Ampère-uur en wattuur

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Reken om en bereken de energie.

a Bereken de energie in Wh.

batterij	gegeven	energie (Wh)
smartphone	3,85 V, 4500 mAh	
oplaadbare AA	1,2 V, 2000 mAh	
e-bike	36 V, 14 Ah	
LiFePO4 Habitat	12,8 V, 120 Ah	

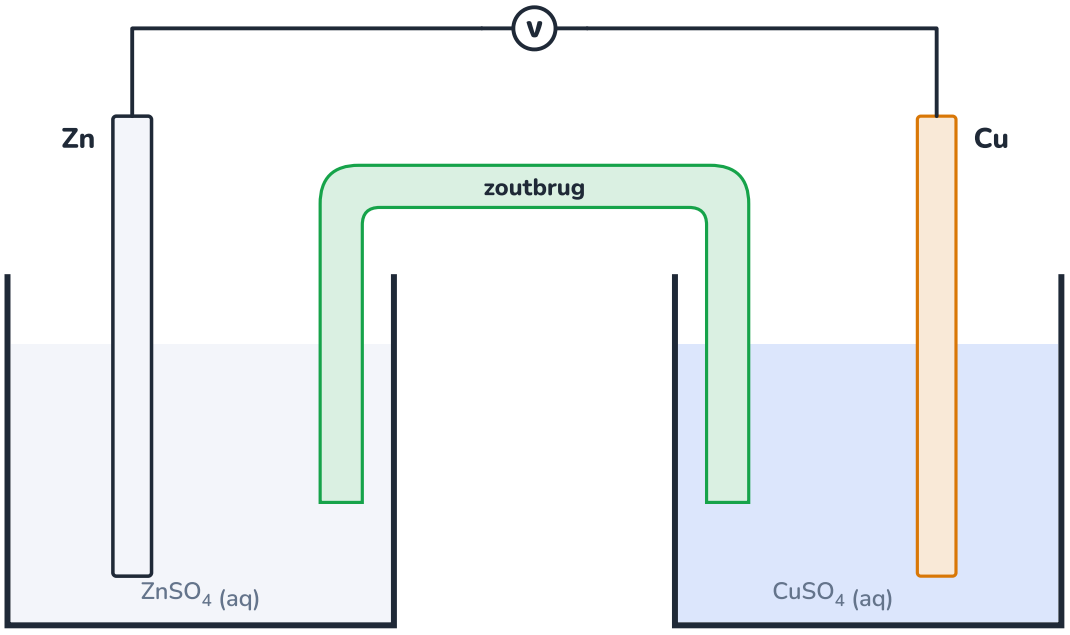
b Hoeveel coulomb is 1 Ah? En 4500 mAh?

c Een powerbank bevat 10 000 mAh bij 3,7 V. Hoeveel mAh kan ze aan de USB-uitgang (5 V) leveren als 85 % van de energie overblijft?

16.5 De Daniell-cel lezen

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Een Daniell-cel, zonder aanduidingen.



Zink in zinksulfaat, koper in kopersulfaat, een zoutbrug en een voltmeter.

a Welke elektrode is de minpool? In welke richting lopen de elektronen door de draad?

b Schrijf de halfreacties aan beide elektroden. Welke is de anode?

c Welke kant op bewegen de kaliumionen en de nitraationen in de zoutbrug? Waarom?

d Wat meet de voltmeter als je de zoutbrug weghaalt? Leg uit.

16.6 Labo: een Daniell-cel en een citroenbatterij

●●○ Toepassen | 5 | Labo | 50 min

Je bouwt een Daniell-cel met bekerglazen, zink- en koperplaatjes, zinksulfaat- en kopersulfaatoplossing (1 mol/L) en een zoutbrug van filterpapier gedrenkt in kaliumnitraatoplossing. Daarna steek je een zink- en een koperplaatje in een citroen.

a Meet de spanning van de Daniell-cel. Vergelijk met 1,10 V.

b Meet de spanning en de kortsluitstroom (multimeter op A, even aanraken) van de Daniell-cel en van de citroen.

cel	spanning (V)	kortsluitstroom (mA)

c Vervang het koperplaatje in de citroen door een ijzeren spijker, en het zink door magnesium (indien beschikbaar). Wat verwacht je met de spanningsreeks, en wat meet je?

d Waarom levert de citroen veel minder stroom dan de Daniell-cel, ook al is de spanning bijna even groot?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Veiligheid	Bril en handschoenen; kopersulfaat in het afvalvat, niet in de gootsteen; citroenen niet opeten.
Metingen	Spanning en stroom correct gemeten (voltmeter parallel, ampèremeter kort in serie); eenheden.
Spanningsreeks	Voorspelling: grotere afstand in de reeks geeft grotere spanning; vergelijking met de meting.
Verklaring	Inwendige weerstand van de citroen; kleine plaatjes, weinig ionen, geen zoutbrug nodig maar trage reactie.

16.7 Batterijen vergelijken

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Gebruik de tabel met batterijtypes uit het handboek (typische waarden per cel).

a Hoeveel weegt een batterij die 100 Wh opslaat, voor elk type (neem 35, 90, 120, 140 en 200 Wh/kg)?

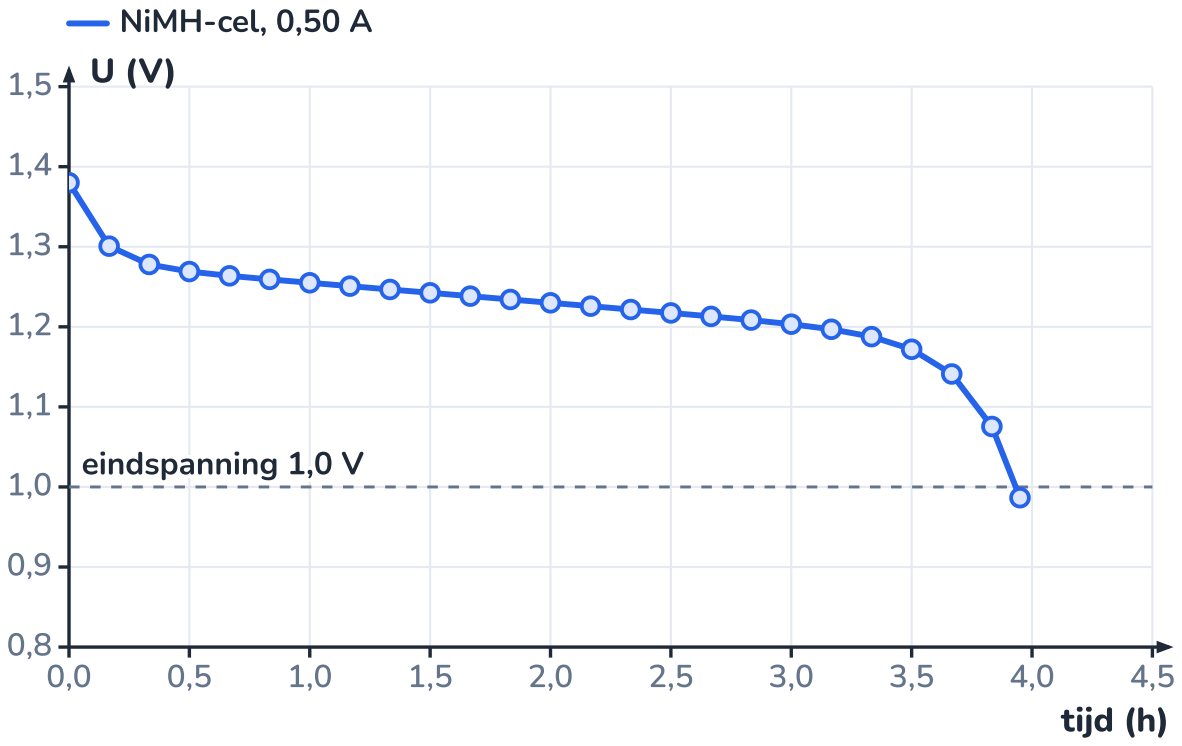
type	Wh/kg	massa voor 100 Wh

b Kies en motiveer een type voor: (a) een rookmelder die tien jaar moet werken; (b) een drone; (c) een startaccu voor een auto; (d) een thuisbatterij bij zonnepanelen; (e) een draadloze computermuis.

16.8 Een ontlaadtest lezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Een NiMH-cel van 2000 mAh wordt ontladen met 0,50 A tot de spanning onder 1,0 V komt.



De spanning van de cel tijdens de ontlaadtest.

a Na hoeveel uur is de eindspanning bereikt? Hoeveel lading leverde de cel? Klopt de opgave van 2000 mAh?

b Schat de gemiddelde spanning uit de grafiek en bereken de geleverde energie.

c Wat verwacht je als je dezelfde test doet met 2,0 A in plaats van 0,50 A? Leg uit.

16.9 Rekenen met Faraday

Toepassen · 6 · Rekenen · 20 min

$F = 96\,485\ \mathrm{C/mol}$ = 26,8 Ah per mol elektronen. Atoommassa's: Zn 65,38; Cu 63,55; Ag 107,87; Li 6,94 g/mol.

a Een zinkplaatje van 5,0 g in een Daniell-cel is voor de helft opgebruikt. Hoeveel Ah heeft de cel geleverd?

b Bij verzilveren wordt zilver neergeslagen uit een oplossing met Ag^+. Hoe lang moet een stroom van 0,20 A lopen om 1,0 g zilver neer te slaan?

c Hoeveel gram lithium moet er minstens heen en weer schuiven om 4500 mAh te leveren (één elektron per lithiumion)? Waarom bevat de echte batterij er meer?

16.10 Een batterij laden

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

De LiFePO4-batterij van Habitat (12,8 V, 120 Ah) staat op 20 %. De laadregelaar laadt met hoogstens 20 A. Rendement van het laden: 95 %.

a Hoeveel Ah en hoeveel Wh moet er in de batterij bij om weer vol te zijn?

b Hoe lang duurt het laden minstens? Welke C-rate is 20 A voor deze batterij?

c Hoeveel energie moet het zonnepaneel daarvoor leveren?

d Waarom duurt het laden in werkelijkheid wat langer dan je berekening?

16.11 Corrosie in en rond de kas

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

In en rond de meetkas vind je: een aluminium frame met RVS-schroeven en kunststof ringen, verzinkte stalen grondankers, een koperen buisje dat met een stalen koppelstuk aan een leiding vastzit, en een kaal stalen haakje waar het sproeiwater op spat.

a Waarom zitten er kunststof ringen tussen de RVS-schroeven en het aluminium? Wat zou er gebeuren zonder?

b Het zinklaagje van een grondanker is beschadigd bij het inslaan. Roest het staal nu op die plek? Leg uit.

c Welk metaal corrodeert bij het koppelstuk van koper en staal? Hoe los je het op?

d Waarom roest het stalen haakje sneller als er voedingsoplossing op spat dan regenwater?

16.12 Python: een dag van de klimaatmodule

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Een datalogger noteert elk uur de gemiddelde stroom van de batterij (positief: ontladen, negatief: laden), in A:

`[4, 4, 4, 4, 4, 4, 2, -5, -15, -20, -20, -20, -20, -18, -12, -6, 1, 3, 5, 5, 5, 5, 4, 4]`.

De batterij (120 Ah) start om middernacht op 60 %. Laden gebeurt met 95 % rendement.

a Schrijf een programma dat per uur de laadtoestand in procent berekent en afdrukt (coulombtellen). Houd rekening met het rendement bij het laden en begrens tussen 0 en 100 %.

b Wat is de laagste en de hoogste laadtoestand van de dag? Komt de batterij onder de 20 %?

c Hoeveel Ah is er netto bij gekomen? Is de energiehuishouding van deze dag in evenwicht?

16.13 Een powerbank op het vliegtuig

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Luchtvaartmaatschappijen laten powerbanks en losse lithiumbatterijen alleen toe in de handbagage, niet in de ruimbagage. Tot 100 Wh mag je ze zonder toestemming meenemen.

a Waarom juist in de handbagage? Denk aan thermal runaway.

b Mag een powerbank van 20 000 mAh bij 3,7 V mee? En een e-bikebatterij van 36 V en 14 Ah?

c Waarom tape je de polen van losse batterijen af?

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

16.14 Habitat: de batterij in een koude week

Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

De klimaatmodule krijgt de LiFePO4-batterij van 12,8 V en 120 Ah (80 % bruikbaar). In een koude, grijze week zet het energiebeheer de groeilampen op spaarstand (ongeveer 4,5 lichturen in plaats van 16; zie hoofdstuk 20): de module verbruikt dan 1,1 kWh per dag, en het paneel levert gemiddeld maar 0,7 kWh per dag. In de technische ruimte zakt de temperatuur 's nachts tot 3 °C als de verwarming uitvalt.

a Hoeveel dagen houdt de batterij het uit als ze vol start (tot de ondergrens van 20 %)? Reken met 95 % laadrendement.

b Zou een loodaccu van 12 V en 200 Ah (50 % bruikbaar, 80 % laadrendement) het langer of korter volhouden? Reken.

c Wat gebeurt er met het laden als de ruimte onder 0 °C zakt? Wat moet het BMS doen? Welke maatregel neem je?

d Schrijf een advies van vijf regels voor je portfolio: type, capaciteit, plaats, bewaking, en wat je in hoofdstuk 20 nog moet uitzoeken.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Energiebalans	Tekort per dag correct (met rendement bij het laden), bruikbare energie gedeeld door het tekort.
Vergelijking	Lood met 50 % ontlaaddiepte en 80 % rendement correct doorgerekend.
Temperatuur	Niet laden onder 0 °C; BMS blokkeert het laden; batterij in de verwarmde ruimte of met verwarmingsmat.
Advies	Onderbouwde keuze met getallen, en de open vraag (dagen autonomie, paneelvermogen) benoemd.

16.15 Waarom is een loodaccu zo zwaar?

Uitdagen · 7 · Rekenen · 30 min

In een loodcel reageert bij het ontladen: $\mathrm{Pb + PbO_2 + 2\,H_2SO_4 \longrightarrow 2\,PbSO_4 + 2\,H_2O}$. Per formule gaan er 2 elektronen van lood naar looddioxide; de celspanning is 2,0 V. Molaire massa's: Pb 207,2; PbO_2 239,2; H_2SO_4 98,08 g/mol.

a Schrijf de twee halfreacties (neem SO_4^{2-} mee: aan beide elektroden ontstaat $PbSO_4$).

b Hoeveel gram beginstoffen is er nodig voor één mol reactie? Hoeveel Ah en Wh levert die?

c Bereken de theoretische energiedichtheid in Wh/kg. Waarom haalt een echte accu maar 30 à 40 Wh/kg?

d Doe dezelfde grove schatting voor lithium in grafiet: LiC_6 levert per mol één elektron bij ongeveer 3,3 V (LiFePO4). Hoeveel Ah levert 1 kg grafiet? Waarom ligt de echte energiedichtheid veel lager?

16.16 Ontwerp: een led op citroenen

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 45 min

Een rode led brandt vanaf ongeveer 1,8 V en is al zichtbaar bij 1 mA. Een citroencel met een zinken en een koperen plaatje geeft ongeveer 0,9 V zonder stroom, en heeft een inwendige weerstand van ongeveer 1 kΩ.

a Hoeveel citroencellen heb je minstens nodig, in serie of parallel? Leg uit met de spanning.

b Schat de stroom door de led als je drie cellen in serie zet (de led neemt 1,8 V). Brandt ze zichtbaar?

c Teken het schakelschema met de cellen en de led, met de polariteit juist.

d Hoe kan je de stroom vergroten zonder meer citroenen? Noem twee ideeën en test ze.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Spanning	Cellen in serie tot boven 1,8 V: minstens drie.
Stroom	Inwendige weerstanden in serie opgeteld; stroom met de wet van Ohm geschat.
Schema	Correcte symbolen, zink = minpool, led in doorlaatrichting (anode aan de pluskant).
Verbetering	Grotere plaatjes, dichter bij elkaar, meer cellen parallel in elke tak; resultaat gemeten.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan oxidatie en reductie omschrijven als elektronen afgeven en opnemen, en een redoxreactie opsplitsen in twee kloppende halfreacties. ▢ ▢ ▢
- Ik kan met de spanningsreeks voorspellen of een metaal met de ionen van een ander metaal reageert, en welk metaal de minpool van een cel wordt. ▢ ▢ ▢
- Ik kan de werking van de Daniell-cel uitleggen: anode, kathode, elektronenstroom, ionen in de oplossingen en de rol van de zoutbrug. ▢ ▢ ▢
- Ik kan rekenen met capaciteit (Ah, mAh), energie (Wh) en lading, en met de constante van Faraday de massa berekenen die bij een elektrode verdwijnt of ontstaat. ▢ ▢ ▢
- Ik kan alkaline-, NiMH-, lood-zuur- en lithium-ionbatterijen vergelijken op spanning, energiedichtheid, levensduur en veiligheid. ▢ ▢ ▢
- Ik kan een ontlaadcurve lezen en uitleggen wat ontlaaddiepte, C-rate en bruikbare capaciteit betekenen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan de gevaren van batterijen (thermal runaway, zuur, waterstofgas) benoemen en veilige maatregelen nemen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan corrosie verklaren als een elektrochemische reactie en uitleggen hoe verf, verzinken en een opofferingsanode beschermen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan onderbouwd een batterijtype kiezen voor de klimaatmodule van Habitat. ▢ ▢ ▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 17

Polymeren en composieten

Kettingen van duizenden schakels: waarom een PLA-print in de kas doorzakt, en een koolstofvezelfiets niet

Je begint met ketens tekenen, polymerisaties en kunststofsoorten herkennen, recyclagecodes lezen en de ketenlengte berekenen. In de tweede trede meet je de glasovergang in het labo, reken je met de mengregel, kies je filamenten, ontmasker je beweringen over bioplastics, programmeer je het temperatuurmodel, kies je een printrichting en maak je plastic uit melk. In de uitdagingen toets je de filamentkeuze van Habitat (opdracht 17.13), reken je aan de CO_2 van verbranden, verklaar je een brekende emmer en debatteer je over bioplastic.

5× oefenen · 7× toepassen · 4× uitdagen · ± 380 min

M Materie en chemie · D Ontwerpen en maken



Een sensorhouder voor de kas, laag per laag. Maar welk filament houdt het uit in de zon?

Oefenen

17.1 Van monomeer naar polymeer

● ○ ○ Oefenen · 3 · Tekenen · 15 min

Propeen is $CH_2=CH–CH_3$, vinylchloride $CH_2=CHCl$, tetrafluoretheen $CF_2=CF_2$.

a Teken voor elk monomeer een stuk van de polymeerketen met drie eenheden. Duid de herhalende eenheid aan.

b Geef de naam van elk polymeer. Welk ken je als antiaanbaklaag van een pan?

17.2 Additie of condensatie?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Deze polymeren kwamen in het handboek voor.

a Zeg van elk of het door additie of door condensatie gemaakt wordt, en welk bijproduct er bij condensatie vrijkomt: PE, PET, nylon, PVC, PLA, PS, bakeliet, PP.

b Waarom kan water de keten van PLA traag afbreken, en die van PE niet?

17.3 Welk soort kunststof?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Thermoplast, thermoharder of elastomeer?

a Deel in: een PET-fles, een bakelieten stopcontact, een autoband, een PLA-print, uitgeharde epoxylijm, een elastiekje, een polycarbonaat kasplaat, een melamine bord.

thermoplast	thermoharder	elastomeer

b Welke van deze voorwerpen kan je recycleren door ze te smelten? Waarom de andere niet?

17.4 Recyclagecodes lezen

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Zoek thuis of in de klas vijf kunststof voorwerpen met een recyclagecode (fles, dop, potje, folie, speelgoed, 3D-print).

a Noteer.

voorwerp	code	kunststof	blauwe zak?

b Een PET-fles (code 1) en haar dop (code 2 of 5) zijn van verschillende kunststof. Is dat een probleem voor de recyclage?

c Waarom hoort een mislukte PLA-print niet in de blauwe zak, ook al is het plastic?

17.5 Ketenlengte berekenen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Atoommassa's: H 1,008; C 12,011; O 15,999; Cl 35,45 g/mol.

a Een PP-molecule heeft een molaire massa van 250 000 g/mol. Hoeveel propeeneenheden C_3H_6 bevat ze?

b Een PVC-molecule van 100 000 g/mol: hoeveel eenheden C_2H_3Cl?

c Een PLA-molecule van 100 000 g/mol bestaat uit eenheden $C_3H_4O_2$. Hoeveel melkzuurmoleculen werden ervoor gekoppeld, en hoeveel water kwam er vrij?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

17.6 Labo: de glasovergang van drie filamenten

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

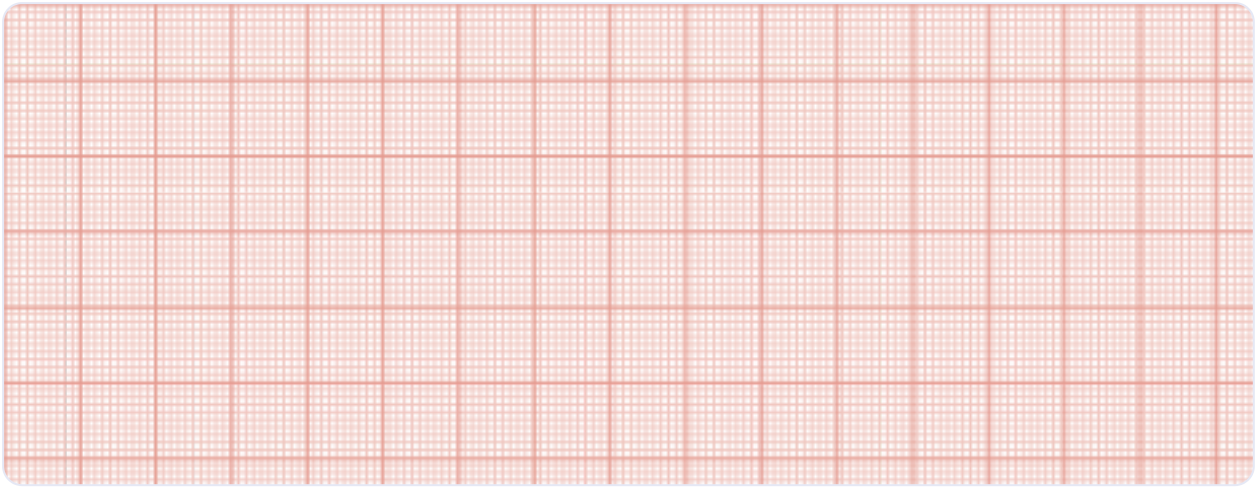
Herhaal de proef uit het handboek, maar maak ze nauwkeuriger: klem een staafje (80 × 10 × 2 mm) aan één kant vast zodat 60 mm uitsteekt, hang er een gewicht van 20 g aan, en dompel het geheel twee minuten in een waterbad. Meet de doorbuiging van het uiteinde met een lat achter het staafje.

a Maak een meetplan: welke temperaturen, hoeveel herhalingen, wat houd je gelijk?

b Meet en noteer.

T (°C)	PLA (mm)	PETG (mm)	ABS/ASA (mm)

c Zet de doorbuiging uit tegen de temperatuur (drie kromme lijnen). Bepaal voor elk materiaal de temperatuur waar de doorbuiging snel begint toe te nemen, en vergelijk met de Tg.



d Waarom zakken de staafjes al een beetje door vóór hun Tg?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Veiligheid	Tang en handschoenen, stabiele opstelling, geen kokend water.
Meetplan	Stappen van 5 à 10 °C rond de verwachte Tg; zelfde tijd, gewicht, uitstekende lengte en printinstellingen.
Grafiek	Assen met eenheden, drie reeksen, knik zichtbaar.
Besluit	Knik bij ongeveer 55-60, 75-80 en 95-100 °C; verschil met de Tg verklaard (overgangsgebied, kruip, meetmethode).

17.7 Rekenen met de mengregel

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Gebruik de mengregel langs de vezels. Epoxy: 3 GPa, 1,20 g/cm³. Glasvezel 72 GPa, 2,55 g/cm³; vlas 55 GPa, 1,45 g/cm³; koolstof 230 GPa, 1,80 g/cm³. Aluminium: 70 GPa, 2,70 g/cm³.

a Hoeveel procent glasvezel heb je nodig om langs de vezels even stijf te zijn als aluminium? Kan dat?

b Een windturbineblad wordt 1,0 % lichter als je het glasvezelcomposiet (55 % vezels) vervangt door vlascomposiet (40 %) met hetzelfde volume. Klopt dat, of wordt het veel meer? Reken met de dichtheden.

c Waarom maakt men de langste windturbinebladen toch met stroken koolstofvezel erin?

17.8 Het juiste filament

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Gebruik de filamenttabel uit het handboek.

a Kies PLA, PETG, ABS of ASA en motiveer met twee eigenschappen: (a) een bekerhouder voor in de auto; (b) een prototype om te zien of een behuizing past; (c) een brievenbusplaatje buiten op het zuiden; (d) een trechter voor voedingsoplossing; (e) een tandwiel in een printer die 60 °C wordt.

b Waarom is ABS moeilijk te printen op een open printer in een koude klas?

17.9 Bioplastics: waar of niet waar?

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Zeg telkens of de bewering waar of niet waar is, en verbeter of verklaar.

(a) Bioplastic breekt altijd af in de natuur. (b) Een PLA-print composteert in een jaar in de compostbak van de tuin. (c) Bio-PE uit suikerriet kan in de blauwe zak, net als gewoon PE. (d) Een plastic uit aardolie kan biologisch afbreekbaar zijn. (e) 'Composteerbaar' volgens EN 13432 betekent: in een industriële installatie binnen enkele maanden bijna volledig omgezet.

17.10 Python: het temperatuurmodel uitbreiden

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Gebruik `filamentkeuze.py` uit het handboek.

a Laat het programma voor elke kleur de temperatuur berekenen bij twee situaties: een aprildag (lucht 32 °C, G = 600 W/m²) en een zomerdag met het dak dicht (lucht 40 °C, G = 700 W/m²).

b Voeg een tweede eis toe: een onderdeel dat in de kas of buiten komt, mag geen PLA zijn (vocht). Pas de lijst met geschikte filamenten aan.

c Welke filamenten blijven er over voor een zwart onderdeel op de zomerdag? Wat leer je daaruit?

17.11 Hoe print je een haak?

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Een geprinte haak moet in de kas een gieter van 5 kg dragen. Je kan hem rechtop printen (de lagen liggen horizontaal, dwars op de haak) of liggend op zijn zijkant (de lagen lopen in de lengte van de haak).

a Teken beide printrichtingen met de lagen erin. In welke richting werkt de trekkracht in de gebogen haak?

b Welke printrichting kies je? Leg uit met de laaghechting.

c Noem twee andere instellingen die de haak sterker maken.

17.12 Maak: plastic uit melk

●●○ Toepassen | 4 | Maken | 45 min

Melk bevat caseïne, een eiwit: een natuurlijk polymeer. Met zuur klontert het samen tot een vormbare massa die uithardt. Rond 1900 maakte men er knopen en sierspelden van. Nodig: 250 mL melk, 4 eetlepels azijn, een pannetje, een zeef, keukenpapier, een vormpje.

a Warm de melk op tot ongeveer 50 °C (niet koken), roer de azijn erdoor en zeef de klonters. Druk ze droog in keukenpapier, kneed en vorm ze. Beschrijf wat je ziet in elke stap.

b Laat je voorwerp twee dagen drogen. Test hardheid, buigzaamheid en wat er gebeurt in warm water. Is caseïneplastic een thermoplast of eerder een thermoharder? Waarom?

c Waarom gebruiken we het niet voor een onderdeel in de kas?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Werkwijze	Melk verwarmd zonder koken, zuur toegevoegd, goed uitgelekt en gedroogd.
Waarneming	Klontering, wei, deeg, uitharden nauwkeurig beschreven.
Verklaring	Zuur doet de caseïne neerslaan; bij het drogen klitten de eiwitketens samen.
Toepassing	Kritisch: gevoelig voor water, schimmel en bacteriën.

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

17.13 Habitat: filament voor de kas, getoetst

●●● Uitdagen · 7 · Habitat · 50 min

Voor de meetkas en de kweekruimte moeten een reeks onderdelen geprint worden: klemmen voor de druppelslang (in de zon, belast), een houder voor de pH-sonde (in de schaduw, nat), een kapje over de lichtsensor (buiten op het dak) en een ondoorzichtige behuizing voor de microcontroller (in de kas). Gebruik het model $T = T_{\text{lucht}} + \alpha G / h$ en de vuistregel.

a Maak een keuzetabel: per onderdeel de hoogste temperatuur (april en zomer), vocht, UV, belasting, en het gekozen filament en de kleur.

onderdeel	T april	T zomer	vocht / UV	filament, kleur

b Ontwerp een meting om het model te controleren: welke sensor, waar, hoe lang, wat vergelijk je?

c Een klasgenoot wil alles in zwart PETG printen 'omdat dat mooi staat'. Wat antwoord je, met getallen?

d Schrijf de keuze voor je portfolio in vijf regels.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Model	Temperaturen per kleur en situatie correct berekend (bv. wit april 42 °C, zwart zomer 84 °C).
Keuze	Per onderdeel een filament en kleur die de vuistregel halen en rekening houden met vocht en UV.
Meting	Temperatuursensor op of in een geprint onderdeel, naast een luchtsensor in de schaduw, over een zonnige dag gelogd.
Argumentatie	Zwart PETG: 70 à 84 °C tegenover Tg 80 °C: te krap of te warm; wit of ASA als alternatief.

17.14 Plastic verbranden: hoeveel CO_2?

Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Afval dat niet gerecycleerd wordt, gaat vaak naar een verbrandingsoven met energiewinning. Herhalende eenheden: PE C_2H_4, PLA $C_3H_4O_2$, PET $C_{10}H_8O_4$.

a Schrijf de kloppende vergelijking voor de volledige verbranding van één eenheid PE en één eenheid PLA.

b Bereken voor PE, PLA en PET hoeveel kg CO_2 er vrijkomt per kg kunststof.

c PLA geeft minder CO_2 per kg, en die koolstof kwam kort geleden uit de lucht (via de maïsplant). Is PLA verbranden dus klimaatneutraal? Geef een argument voor en een tegen.

17.15 Waarom breekt de emmer?

Uitdagen · 6 · Analyseren · 20 min

Een regenton uit polypropeen (PP) staat 's winters buiten. Bij −12 °C valt een ijsklomp erin, en de wand barst. Een ton uit polyetheen (HDPE) naast hem overleeft dezelfde klap.

a Verklaar met de glasovergangstemperaturen van PP en HDPE.

b Waarom zijn PP-tuinstoelen en -bakjes in de zomer wel taai?

c Voor een waterreservoir buiten bij het poolstation (tot −25 °C): welke kunststof kies je? Wat moet er nog meer gebeuren om het reservoir heel te houden?

17.16 Debat: lost bioplastic het plasticprobleem op?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 30 min

Stelling: *'Als alle plastic verpakking uit bioplastic gemaakt wordt, is het plasticprobleem opgelost.'* Gebruik wat je leerde over biogebaseerd, afbreekbaar, recyclage en zwerfvuil.

a Geef twee sterke argumenten vóór de stelling en drie ertegen, telkens met een voorbeeld of een getal.

b Formuleer je eigen standpunt in drie zinnen. Welke maatregel zou volgens jou het meest helpen?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan uitleggen wat monomeren en polymeren zijn, en uit de molaire massa de ketenlengte berekenen. ▢▢▢
- Ik kan additie- en condensatiepolymerisatie onderscheiden en een stuk van de polymeerketen tekenen uit het monomeer. ▢▢▢
- Ik kan thermoplasten, thermoharders en elastomeren herkennen en hun gedrag bij verwarmen verklaren met hun structuur. ▢▢▢
- Ik kan de glasovergangstemperatuur uitleggen en gebruiken om een kunststof te kiezen voor een bepaalde temperatuur. ▢▢▢
- Ik kan PLA, PETG, ABS en ASA vergelijken voor 3D-printen, en uitleggen waarom een print zwakker is tussen de lagen. ▢▢▢
- Ik kan de werking van vezelcomposieten uitleggen en met de mengregel hun stijfheid en dichtheid schatten. ▢▢▢
- Ik kan biogebaseerd en biologisch afbreekbaar uit elkaar houden en uitleggen onder welke voorwaarden PLA composteert. ▢▢▢
- Ik kan recyclagecodes 1 tot 7 lezen en de kunststofkringloop beschrijven, met de grenzen van recyclage. ▢▢▢
- Ik kan met een eenvoudig warmtemodel schatten hoe warm een onderdeel in de kas wordt, en een filament kiezen. ▢▢▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 18

Warmte berekenen

Hoeveel warmte een stof opslaat, waarom ijs smelten zoveel kost, en hoe groot een warmtebuffer moet zijn

Je begint met Q = m · c · ΔT, smelt- en verdampingswarmte en een opwarmcurve. Daarna meng je water en ijs, meet je in het labo de soortelijke warmtecapaciteit van een metaal, corrigeer je zelf een meting voor warmteverlies en breid je een Python-programma uit. In de uitdagingen dimensioneer je de warmtebuffer van de klimaatmodule voor een koude nacht (opdracht 18.12, voor je Habitat-portfolio), reken je vorstberegening door, volg je de warmte van de transpiratie en onderzoek je de methode van Rumford.

5× oefenen | 6× toepassen | 5× uitdagen | ± 390 min

E Energie | W Wiskundig modelleren | M Materie en chemie



Twee vaten water als warmtebuffer: overdag laden ze op, 's nachts geven ze hun warmte terug.

18.1 Vier grootheden, één formule

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Gebruik $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ en de tabel met soortelijke warmtecapaciteiten uit het handboek. Schrijf telkens de omgevormde formule op.

Bereken wat ontbreekt.

	stof	m	c (J/(kg·K))	ΔT	Q	berekening
(a)	water	2,0 kg	4186	van 15 naar 65 °C		
(b)	aluminium	0,50 kg	900		18 kJ	
(c)	olie	0,300 kg		21 K	12,6 kJ	
(d)	koper		385	40 K	7,7 kJ	
(e)	lood, begint op 20 °C	250 g	129		1,29 kJ	eindtemperatuur?

18.2 Zelfde warmte, ander resultaat

●○○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Vier blokjes van elk 1,0 kg, van water (in een zakje), aluminium, koper en lood, krijgen elk 10 kJ warmte.

a Welk blokje wordt het warmst? Rangschik zonder te rekenen, en verklaar met c.

b Bereken de temperatuurstijging van elk blokje.

c Op het strand is het zand 's middags gloeiend heet, het zeewater fris. 's Nachts is het omgekeerd. Verklaar met de soortelijke warmtecapaciteit.

18.3 Smelten en verdampen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik $L_s = 334\,\mathrm{kJ/kg}$ en $L_v = 2257\,\mathrm{kJ/kg}$ (100 °C) voor water.

a Hoeveel warmte is nodig om 2,0 kg ijs van 0 °C te laten smelten?

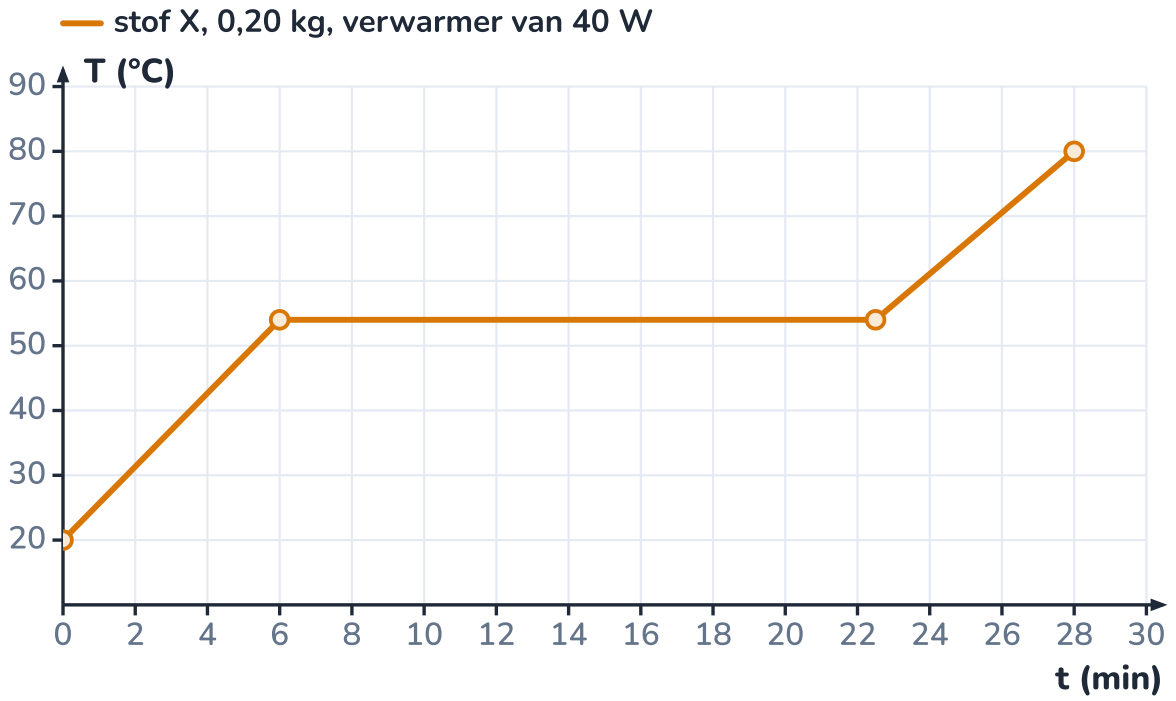
b Hoeveel warmte is nodig om 0,50 L kokend water helemaal te laten verdampen? Hoe lang duurt dat op een kookplaat die 1500 W aan de pan afgeeft?

c Hoeveel warmte vraagt 1,0 kg ijs van 0 °C om water van 100 °C te worden? Vergelijk met het verdampen van diezelfde kilogram.

18.4 Een opwarmcurve lezen

Oefenen · 4 · Analyseren · 20 min

Een vaste stof X van 0,20 kg wordt in een goed geïsoleerd vat verwarmd met een verwarmer van 40 W. Neem aan dat alle warmte in stof X terechtkomt. De grafiek toont de temperatuur.



Temperatuur van stof X tijdens het verwarmen (knikpunten bij 6,0 min, 22,5 min en 28,0 min).

a Wat is het smeltpunt van stof X? Hoe zie je dat?

b Bereken de soortelijke warmtecapaciteit van de vaste stof.

c Bereken de smeltwarmte van stof X.

d Bereken de soortelijke warmtecapaciteit van de vloeistof. Welke stof zou X kunnen zijn? Gebruik de tabellen.

18.5 Het reservoir als warmtebron

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Het voedingsreservoir van de klimaatmodule bevat 60 L oplossing (reken met water).

a Bereken de warmtecapaciteit van het reservoir in kJ/K.

b Het reservoir koelt 's nachts 4,0 °C af. Hoeveel warmte geeft het af, in kJ en in Wh?

c Hoe lang zou een aquariumverwarmer van 50 W erover doen om die warmte weer toe te voeren?

Toepassen

●●○ Toepassen — meerdere stappen, in een context

18.6 Een bad op de juiste temperatuur

●●○ Toepassen · 4 · Rekenen · 15 min

Je wil een bad van 80 L van 38 °C. Uit de warme kraan komt water van 60 °C, uit de koude kraan water van 12 °C.

a Hoeveel liter warm en hoeveel liter koud water heb je nodig?

b Hoeveel energie kostte het om dat warme water van 12 naar 60 °C op te warmen? Geef je antwoord ook in kWh en in euro bij € 0,30 per kWh.

c Waarom wordt het bad in werkelijkheid een beetje kouder dan 38 °C?

18.7 Habitat: het reservoir bijvullen zonder koude voeten

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

In het reservoir staat nog 24 L van 21,0 °C. Er moet 36 L bij tot 60 L. Je hebt regenwater van 9,0 °C en warm water van 50 °C. Doel: 20 °C.

a Welke temperatuur krijg je met alleen regenwater?

b Hoeveel liter warm water heb je nodig? Stel de warmtebalans op.

c Een klasgenoot vult bij met alleen regenwater en zet daarna een verwarmer van 100 W in het reservoir. Hoeveel energie en hoeveel tijd kost dat? Vergelijk met de energie voor het warme water.

d Bedenk een manier om het regenwater op te warmen die geen elektrische energie kost.

18.8 Een glas ijsthee

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

In 0,40 kg thee van 25 °C doe je ijs van −10 °C. Thee is bijna water. $c_{\text{ijs}} = 2100\,\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, $L_s = 334\,\text{kJ}/\text{kg}$.

a Je doet er 150 g ijs in. Smelt al het ijs? Werk met een boekhouding tot 0 °C.

b Hoeveel ijs blijft er over, en wat is de eindtemperatuur?

c Wat is de eindtemperatuur met 80 g ijs?

18.9 Labo: de soortelijke warmtecapaciteit van een metaal

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Bepaal met de mengmethode de soortelijke warmtecapaciteit van een metalen blokje (aluminium, koper of messing). Bepaal eerst de warmtecapaciteit van je calorimeter, zoals in het handboek.

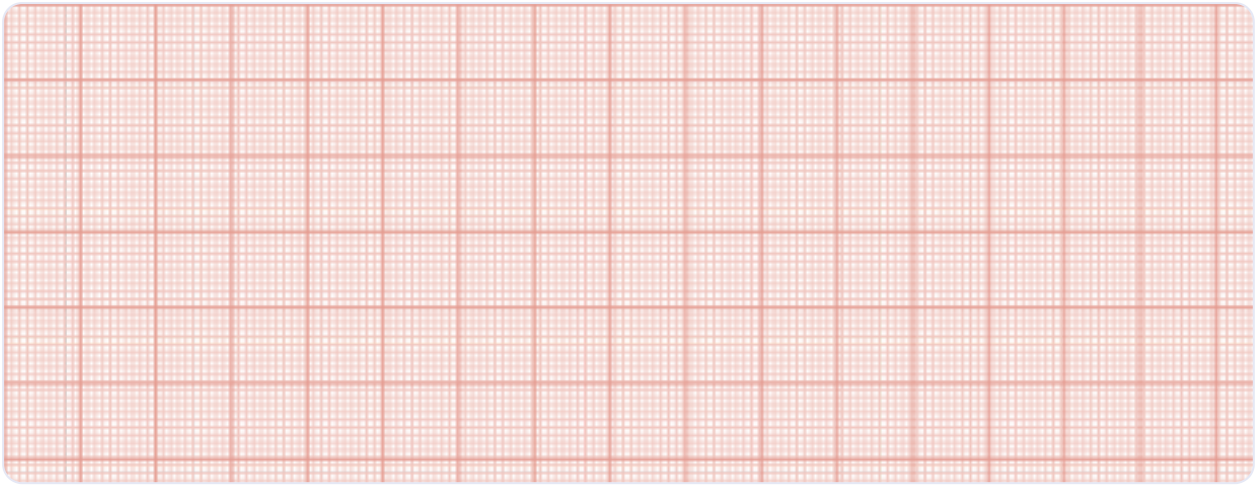
a Bepaal C_{cal} met warm en koud water (drie keer). Noteer je metingen en het gemiddelde.

meting	m koud (g)	T koud (°C)	m warm (g)	T warm (°C)	T eind (°C)	

b Voer de proef met het blokje uit. Meet om de 30 s, van 3 min voor tot 7 min na het mengen.

t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)

c Teken de grafiek, trek de afkoelrechte terug tot het moment van mengen en lees T_e af.



d Bereken c met en zonder correctie. Vergelijk met de tabel en bespreek de belangrijkste foutenbron.

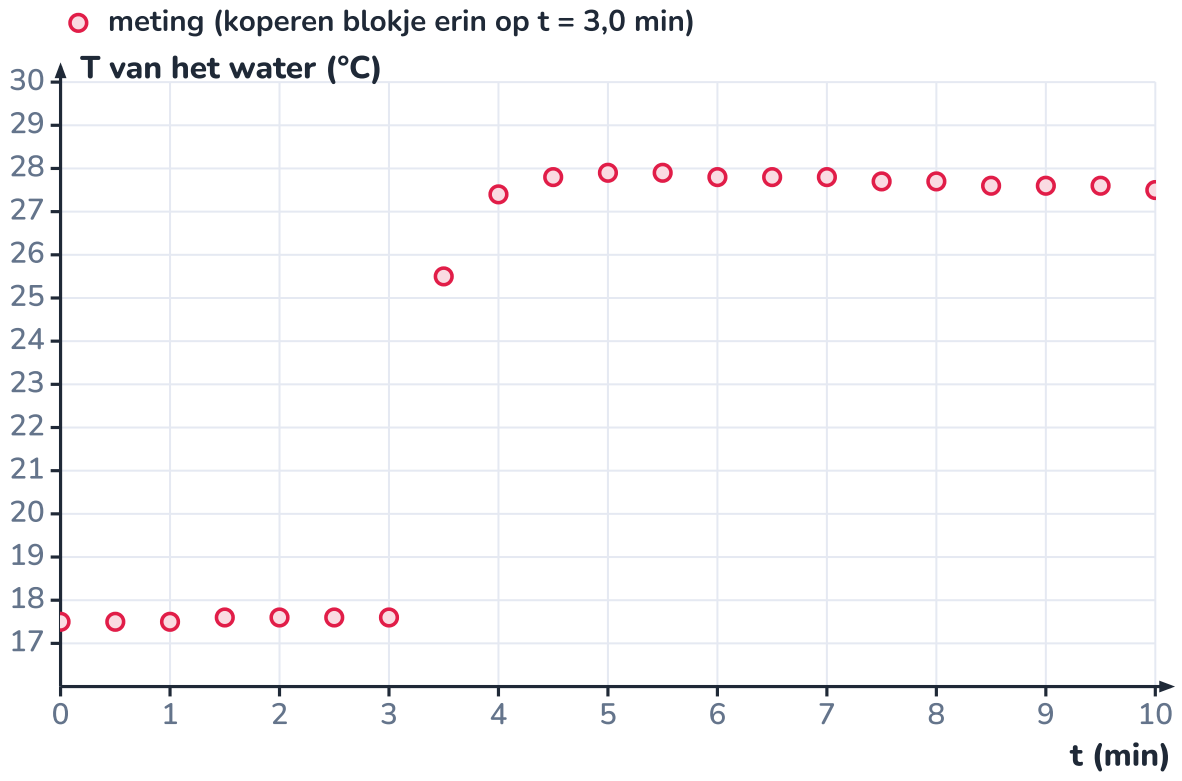
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Calorimeter	Waterwaarde drie keer bepaald, gemiddelde en spreiding vermeld.
Meting	Temperatuur vóór en na het mengen om de 30 s; massa's op de balans; begintemperatuur van het blokje genoteerd.
Grafiek en correctie	Assen met grootheid en eenheid, afkoelrechte correct teruggetrokken tot het moment van mengen.
Besluit	c met eenheid, met en zonder correctie; afwijking van de tabelwaarde in procent; foutenbronnen systematisch en toevallig onderscheiden.

18.10 Zelf corrigeren voor warmteverlies

Toepassen · 5 · Analyseren · 25 min

Een leerling liet op $t = 3{,}0$ min een koperen blokje van 300,0 g en 99,5 °C in 180,0 g water van 17,6 °C zakken, in een calorimeter met $C_{\text{cal}} = 30\,\text{J/K}$. De grafiek toont haar metingen.



Metingen om de 30 s; het blokje ging erin op t = 3,0 min.

a Trek een rechte door de punten vanaf 5 min en verleng ze tot $t = 3{,}0$ min. Welke eindtemperatuur lees je af?

b Bereken c van koper met die gecorrigeerde eindtemperatuur.

c Bereken c ook met de hoogste meting (27,9 °C). Hoeveel procent scheelt het met de tabelwaarde (385)?

d Waarom daalt de temperatuur na het mengen, en waarom trek je de rechte terug tot het moment van mengen en niet tot de piek?

18.11 Python: mengen.py uitbreiden

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Gebruik het programma `mengen.py` van het codeblad.

a Voorspel wat `mengen([(1.0, 4186, 80), (0.5, 897, 20)])` teruggeeft, en controleer door het programma te draaien.

b Schrijf een functie `c_uit_meting(m_m, T_m, m_w, T_w, C_cal, T_e)` die de soortelijke warmtecapaciteit van een metaal berekent. Test ze met de proef van het handboek.

c Vul `met_ijs` aan voor het geval dat er water bevriest (het ijs is zo koud dat het water tot 0 °C afkoelt en daarna deels stolt). Wat geeft 0,10 kg water van 5 °C met 1,0 kg ijs van −30 °C?

18.12 Habitat: een warmtebuffer voor een koude nacht

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Het handboek dimensioneerde de nachtbuffer van de klimaatmodule voor een lentenacht. Nu een nacht in maart: de lampen gaan om 20 uur uit en om 6 uur weer aan (10 uur), buiten is het gemiddeld 1 °C, bij het doven is de module 25 °C, en ze mag niet onder 15 °C zakken. De module verliest 20 W per °C; reservoir en lucht samen hebben een warmtecapaciteit van 265 kJ/K.

a Schat met de gemiddelde temperatuur hoeveel warmte de module die nacht verliest, en hoe groot het extra watervat moet zijn.

b Controleer je keuze met het afkoelmodel: $T(t) = T_b + (T_0 - T_b)\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ met $\tau = C/H$ (C in J/K, $H = 20\ \mathrm{W/K}$). Is het vat groot genoeg na 10 uur? En met een nachtscherm dat het verlies tot 17 W per °C verlaagt?

c Hoeveel elektrische energie zou een verwarming vragen om zonder vat 15 °C te houden? Wat betekent dat voor de batterij van 1,2 kWh?

d Hoeveel kg paraffine (200 kJ/kg, stolt bij 22 °C) vervangt het extra water? Noem twee redenen om toch water te kiezen.

e Schrijf voor je portfolio een advies van vijf regels: grootte, kleur en plaats van het vat, en wat je nog moet meten.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schatting	Warmteverlies met gemiddeld temperatuurverschil, C_nodig, bijdrage van reservoir en lucht afgetrokken, vat in liter.
Controle	Afkoelmodel correct ingevuld (τ in s of h), besluit of het vat volstaat, effect van het nachtscherm.
Vergelijking	Elektrisch verwarmen in kWh vergeleken met de batterij; PCM-massa berekend en afgewogen.
Advies	Concreet (liter, kleur, plaats), met getallen, en met een meetplan (temperatuur van vat en lucht loggen).

18.13 Vorstberegening doorgerekend

●●● Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Een fruitteler beregent een hectare boomgaard met 30 000 L water per uur tijdens een vriesnacht. De verdampingswarmte van water bij 0 °C is 2501 kJ/kg; stollen levert 334 kJ/kg.

a Hoeveel mm water per uur is dat? Hoeveel warmte komt per vierkante meter per uur vrij als al het water bevriest, en welk vermogen per m² is dat?

b Bij wind verdampt een deel x van het water in plaats van te bevriezen. Stel een vergelijking op voor de netto warmte per kg gespoten water.

c Vanaf welk percentage verdamping levert de beregening netto geen warmte meer? Wat betekent dat voor de teler?

d Waarom mag de teler de beregening 's ochtends pas stoppen als het ijs gesmolten is?

18.14 Transpiratie: de sla als airco

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Op een warme, zonnige dag verdampen de slaplanten van de kweekruimte samen 6,0 L water, vooral tijdens de 16 lichturen. Verdampingswarmte bij 20 °C: 2454 kJ/kg. De ventilatie ververst 11 m³ lucht per uur (hoofdstuk 14). Binnenlucht van 20 °C en 70 % relatieve vochtigheid bevat 12,1 g waterdamp per m³, buitenlucht van 5 °C en 80 % bevat 5,4 g per m³.

a Hoeveel warmte neemt het verdampen op, in MJ en in kWh? Welk vermogen is dat gemiddeld tijdens de lichturen?

b Vergelijk met de lampen (190 W, 16 uur). Wat betekent dat voor de temperatuur in de module?

c Hoeveel waterdamp voert de ventilatie per dag af? Waar blijft de rest?

d Waar komt de verdampingswarmte uiteindelijk terecht? Volg de energie.

18.15 Onderzoek: de methode van Rumford

●●● Uitdagen | 7 | Onderzoeken | 40 min

Je meet c van water met een dompelaar: 12,0 V en 2,50 A, in 300 g water in een calorimeter met $C_{\text{cal}} = 30\,\text{J/K}$. De kamer is 20,0 °C. Proef A: van 20,0 tot 30,0 °C duurt 452 s. Proef B: je start met water van 15,0 °C en stopt bij 25,0 °C: dat duurt 429 s.

a Bereken het vermogen van de dompelaar en c van water uit elke proef.

b Welke proef geeft het beste resultaat? Verklaar met de warmte-uitwisseling met de kamer tijdens elke proef.

c Graaf Rumford stelde rond 1800 voor: begin evenveel graden onder de kamertemperatuur als je erboven eindigt. Waarom werkt dat, en waarom mag je niet te ver onder de kamertemperatuur beginnen (denk aan het dauwpunt, hoofdstuk F6)?

d Ontwerp een derde proef om na te gaan hoe groot het warmteverlies van je calorimeter per graad verschil is.

18.16 Debat: warmtebuffer of batterij?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Stelling van een teamgenoot: 'Een vat water is gewoon een goedkope batterij. Laten we overdag de zonnestroom die we over hebben in het vat steken met een verwarmingselement, en 's nachts de lampen er op laten branden.'

a Wat klopt er aan de stelling? Reken: hoeveel warmte slaat 200 L water op bij 10 °C zwaai, in kWh? Vergelijk met de bruikbare batterij (1,2 kWh, ± 14 kg).

b Wat klopt er niet? Gebruik de woorden warmte, elektrische energie en temperatuurverschil.

c Formuleer een betere stelling die je team wel kan gebruiken.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ in alle richtingen gebruiken en uitleggen wat de soortelijke warmtecapaciteit zegt over een stof.

Ik kan de warmtecapaciteit $C = m \cdot c$ van een voorwerp of een systeem berekenen en bepalen welk onderdeel de meeste warmte opslaat.

Ik kan rekenen met smelt- en verdampingswarmte ($Q = m \cdot L$) en een opwarmcurve met plateaus tekenen en verklaren.

- Ik kan een warmtebalans opstellen bij het mengen van stoffen, ook met ijs, en de eindtemperatuur berekenen. ▢▢▢
- Ik kan de soortelijke warmtecapaciteit van een metaal meten met een calorimeter en corrigeren voor de warmtecapaciteit van de calorimeter en voor warmteverlies. ▢▢▢
- Ik kan een warmtebuffer dimensioneren en water vergelijken met andere materialen, met een faseovergang en met elektrisch verwarmen. ▢▢▢
- Ik kan een warmtebalans programmeren in Python en de uitkomst controleren. ▢▢▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 19

Warmtetransport en isolatie

Van lambda naar U: hoeveel warmte door een wand lekt, waar ze ontsnapt, en hoe je ze binnenhoudt

Je begint met lambda, R en U in één stap, en met het elektrische model. Daarna reken je ramen door, teken je het temperatuurverloop in een muur, meet je de U-waarde van een isolatiedoos, beoordeel je condens op het kasdak en pas je de wandrekenaar aan. In de uitdagingen verklein je het warmteverlies van de klimaatmodule (opdracht 19.12, voor je Habitat-portfolio), onderzoek je hoeveel hout een wand verdraagt, debatteer je over driedubbel glas in een serre, ontwerp je een warme kast voor de batterij en reken je een winterweek door.

5× oefenen | 6× toepassen | 5× uitdagen | ± 490 min

E Energie | D Ontwerpen en maken | W Wiskundig modelleren



Door een warmtecamera: het doorzichtige dak lekt het meeste warmte, en zelfs de houten stijlen in de wand zijn te zien.

19.1 Lambda, R en de beste plaat

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Gebruik de tabel met lambda-waarden uit het handboek.

a Bereken de warmteweerstand R van elke laag.

laag	d	λ (W/(m·K))	R (m²·K/W)
EPS	10 cm	0,035	
multiplex	18 mm	0,13	
glas	4 mm	1,0	
beton	20 cm	1,5	
PIR	8 cm	0,022	

b Rangschik de lagen van best tot slechtst isolerend.

c Hoe dik moet een laag minerale wol zijn om dezelfde R te hebben als 8 cm PIR?

19.2 Warmte door een plaat

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Gebruik $P = \lambda \cdot A \cdot \Delta T / d$ (zonder overgangsweerstanden).

a Hoeveel warmte gaat er door 2,0 m² EPS van 5,0 cm dik bij 15 °C verschil?

b Een koelbox van 0,80 m² piepschuim (3,0 cm) staat in de zon: buiten 30 °C, binnen 5 °C. Hoeveel watt stroomt er naar binnen?

c Hoeveel ijs smelt daardoor per uur (hoofdstuk 18: 334 kJ/kg)?

19.3 Van lagen naar U: een plat dak

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een plat dak bestaat van binnen naar buiten uit: gipskarton 12,5 mm ($\lambda = 0{,}25$), een dampscherm (verwaarloosbaar), OSB 18 mm ($\lambda = 0{,}13$), PIR 140 mm ($\lambda = 0{,}022$) en een EPDM-dakbedekking (verwaarloosbaar). Warmte gaat naar boven: $R_{si} = 0{,}10$, $R_{se} = 0{,}04$.

a Bereken R_T en de U-waarde.

b Voldoet het dak aan de EPB-eis van 0,24? Hoeveel PIR zou volstaan?

c Hoeveel warmte verliest een dak van 60 m² bij 20 °C binnen en 0 °C buiten?

19.4 Warmte en elektriciteit: een analogie

Oefenen · 4 · Begrijpen · 10 min

Het elektrische model van een wand helpt om te redeneren.

a Vul aan: temperatuurverschil ↔ _____ ; warmtestroom ↔ _____ ; warmteweerstand ↔ _____ ; lagen na elkaar ↔ weerstanden in _____ ; stijlen naast wol ↔ weerstanden in _____ .

b In een wand van drie lagen heeft de middelste laag de grootste R. Over welke laag valt het grootste temperatuurverschil? Verklaar met het model.

c Waarom maakt een smalle metalen strip door een isolatieplaat de hele plaat merkbaar slechter? Gebruik het woord parallel.

19.5 Waar zit de koudebrug?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 10 min

Kies telkens het juiste antwoord.

a Waar is het binnenoppervlak van een goed geïsoleerde buitenmuur het koudst?

- (A) in het midden van de muur
- (B) in een buitenhoek
- (C) achter een radiator
- (D) overal even koud

b Welke maatregel breekt een koudebrug van stalen balkonplaten het best?

- **A** de balkons zwart schilderen
- **B** een isolerende onderbreking tussen vloerplaat en balkon
- **C** het balkon inglazen
- **D** de binnenmuur behangen

c Waarom zit een dampremmende laag aan de binnenkant van een geïsoleerde wand?

- **A** om de wand stijver te maken
- **B** omdat de warme binnenlucht veel damp bevat die in de koude isolatie zou condenseren
- **C** tegen regen
- **D** om de wand sneller te laten opwarmen

d Een aluminium raamprofiel krijgt een kunststof strip in het midden. Waarom?

- **A** om het lichter te maken
- **B** als thermische onderbreking: aluminium geleidt duizend keer beter dan kunststof
- **C** tegen corrosie
- **D** voor de dichting

●●○ Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

19.6 Ramen vervangen

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een rijhuis heeft 12 m² ramen met gewoon dubbel glas ($U = 2{,}8$), in houten kaders. De eigenaar twijfelt tussen HR-glas ($U = 1{,}1$, € 90 per m²) en driedubbel glas ($U = 0{,}6$, € 150

per m²), telkens in de bestaande kaders. Een stookseizoen komt overeen met 5000 uur bij gemiddeld 10 °C verschil. Warmte kost € 0,10 per kWh.

a Bereken voor elke keuze de besparing in kWh en in euro per jaar tegenover het huidige glas.

b Bereken voor elke keuze de terugverdientijd.

c Het binnenoppervlak van het glas: bereken het voor de drie soorten bij −8 °C buiten. Wat merkt de bewoner?

d Welke keuze raad je aan? Noem ook een argument dat niet in euro uit te drukken is.

19.7 Het temperatuurverloop in een muur

Toepassen · 5 · Tekenen · 25 min

Een gerenoveerde muur bestaat van binnen naar buiten uit: pleister 15 mm ($\lambda = 0{,}5$), snelbouwsteen 140 mm ($\lambda = 0{,}40$), PUR 100 mm ($\lambda = 0{,}025$) en gevelsteen 90 mm ($\lambda = 0{,}9$). Binnen 20 °C, buiten 0 °C. $R_{si} = 0{,}13$, $R_{se} = 0{,}04$.

a Bereken de R-waarde van elke laag, R_T, U en de warmtestroom q per m².

b Bereken de temperatuur op elke grens tussen twee lagen.

grens	temperatuur (°C)
binnenoppervlak	
pleister | snelbouw	
snelbouw | PUR	
PUR | gevelsteen	
buitenoppervlak	

c Teken het temperatuurverloop door de muur (plaats in mm horizontaal, temperatuur verticaal).

19.8 Labo: de U-waarde van een isolatiedoos

Toepassen · 5 · Labo · 150 min

Voer de proef van het handboek uit met een doos van je keuze (EPS, karton met wol, een koelbox). Meet het vermogen met twee multimeters en log de temperatuur binnen en buiten.

a Teken het schakelschema van de verwarming met de twee meters, en een schets van de doos met de maten.

b Noteer je metingen.

t (min)	T binnen (°C)	T buiten (°C)	ΔT (K)

c Bereken H en U uit de meting, en U uit de lagen. Hoeveel procent verschillen ze?

d Noem drie oorzaken van het verschil en een verbetering van de proef.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opstelling	Vermogen correct gemeten (ampèremeter in serie, voltmeter parallel), sensor in het midden van de doos.
Evenwicht	Lang genoeg gemeten tot ΔT niet meer stijgt; opwarmkromme in een grafiek.
Berekening	H = P / ΔT, gemiddelde oppervlakte, U berekend uit de lagen met Rsi = 0,13 aan beide kanten.
Discussie	Randen en hoeken, naden, kabels en ongelijke temperatuur in de doos benoemd; zinvolle verbetering.

19.9 Condens op het kasdak

●●○ Toepassen · 6 · Analyseren · 20 min

In de kweekruimte is het 's nachts 20 °C, met een relatieve vochtigheid van 70 % (dauwpunt 14,4 °C) of, na een warme dag met veel transpiratie, 80 % (dauwpunt 16,4 °C). Het kasdak heeft $U = 2{,}0$ en $R_{si} = 0{,}10$.

a Bereken de binnenoppervlaktetemperatuur van het dak bij 4 °C en bij −8 °C buiten.

b Wanneer condenseert er water tegen het dak? Maak een tabel voor de vier combinaties.

	70 % (14,4 °C)	80 % (16,4 °C)
buiten 4 °C		
buiten −8 °C		

c Bij welke buitentemperatuur begint het condenseren bij 80 %?

d Is condens op het kasdak erg? Geef een nadeel en een voordeel, en een maatregel.

19.10 Python: de wandrekenaar aanpassen

Toepassen · 6 · Programmeren · 25 min

Gebruik `wandrekenaar.py` van het codeblad.

a Vervang het kasdak door polycarbonaat van 16 mm met drie wanden ($U = 2{,}4$). Hoeveel stijgt H?

b Schrijf een lus die de U-waarde van de wand (met houtvezelplaat) print voor houtfracties van 0 tot 30 % in stappen van 5 %.

c Laat het programma zoeken hoe dik de wol moet zijn (zonder houtvezelplaat, met 12 % hout) om $U \leq 0{,}24$ te halen.

19.11 Glas doorgerekend: driedubbel

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Driedubbel glas heeft drie ruiten van 4 mm ($\lambda = 1{,}0$) en twee spouwen met argon en coating, elk met $R \approx 0{,}75$.

a Bereken de U-waarde.

b Hoeveel watt verliest een raam van 2,0 m² bij 25 °C verschil, met enkel, HR- en driedubbel glas?

c Waarom verbetert een derde ruit zonder coating (gewone luchtspouw, $R = 0{,}17$) veel minder? Reken.

19.12 Habitat: het warmteverlies van de klimaatmodule verkleinen

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

De klimaatmodule verliest $H = 20{,}2\ \mathrm{W/K}$ (tabel in het handboek). Het team heeft drie voorstellen: (A) een nachtscherm onder het dak, extra weerstand 0,30 m²·K/W, dicht van 20 tot 8 uur; (B) de wanden 60 mm dikker isoleren (extra houtvezelplaat 60 mm, doorlopend); (C) warmteterugwinning op de ventilatie, die 75 % van de warmte uit de afgevoerde lucht terugwint. Reken met een winternacht van 12 uur bij 0 °C buiten en 20 °C binnen.

a Bereken voor elk voorstel de nieuwe H (tijdens de nacht) en de besparing in Wh per winternacht.

b Welk voorstel levert het meeste op? Verklaar met de verdeling van de verliezen.

c Het nachtscherm houdt ook 's nachts het licht niet tegen, want de lampen branden overdag. Welke nadelen of risico's heeft het toch? Denk aan condens.

d Schrijf een advies voor je portfolio: welke maatregelen, in welke volgorde, met getallen.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Elk voorstel correct doorgerekend: dak met scherm, wand met extra laag (beide wegen), ventilatie × 0,25.
Energie	Besparing per nacht in Wh met ΔT = 20 K en 12 uur.
Afweging	Keuze verklaard met het aandeel van elk deel; nadelen van het scherm (condens erboven, bediening) benoemd.
Advies	Concreet, met volgorde en getallen, en een meetplan om het effect na te gaan.

19.13 Hoeveel hout verdraagt een wand?

●●● Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Gebruik de grafiek 'U-waarde van de modulewand in functie van de houtfractie' uit het handboek en de U-waarden van de twee wegen.

a Lees af en reken na: tot welke houtfractie haalt de wand zonder houtvezelplaat de EPB-eis van 0,24?

b Waarom lopen beide lijnen recht? Wat is hun helling, en wat betekent die?

c Een timmerman zet de stijlen op 40 cm in plaats van 60 cm (stijlen 45 mm breed). Schat de nieuwe houtfractie (reken ook regels en randen: + 4,5 %) en de U-waarde met houtvezelplaat.

19.14 Debat: driedubbel glas in een serre?

●●● Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Een tuincentrum bouwt een nieuwe serre voor planten in de winter. De architect stelt driedubbel glas voor (U = 0,6, lichtdoorlaat ± 70 %), de tuinder wil enkel glas (U = 5,8, ± 90 %) met een nachtscherm, zoals in de glastuinbouw gebruikelijk is.

a Geef twee argumenten voor elk standpunt, met een getal.

b Een plant groeit ongeveer evenredig met het licht dat ze krijgt, zolang er niet te veel is. Waarom weegt 20 % minder licht in de winter zwaar door?

c Welk compromis stel je voor? Denk aan het kasdak van de klimaatmodule.

19.15 Ontwerp: een warme kast voor de batterij

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

De LiFePO4-batterij van de module (± 14 kg, 33 × 17 × 22 cm) mag niet geladen worden onder 0 °C (hoofdstuk 16). Stel dat de verwarming van het station uitvalt en de technische hoek tot −10 °C afkoelt. Een verwarmingsmat van 10 W onder de batterij, gevoed door de batterij zelf, moet ze boven 5 °C houden. Ontwerp een kast van EPS ($\lambda = 0{,}035$) rond de batterij, met 3 cm lucht rondom.

a Hoe groot mag H van de kast hoogstens zijn?

b Schat de oppervlakte van de kast (gemiddelde maat) en bereken de minimale dikte van het EPS, met $R_{si} = R_{se} = 0{,}13$.

c Welke dikte kies je, en waarom meer dan het minimum? Denk aan koudebruggen.

d Hoeveel energie kost de mat per dag, en hoe lang houdt de batterij dat vol (1,2 kWh bruikbaar)?

e Maak een schets van de kast met de maten en de doorvoer van de kabels.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Eis	Maximale H uit het vermogen en het temperatuurverschil.
Berekening	Oppervlakte correct geschat, R_T en dikte met overgangsweerstanden.
Keuze	Veiligheidsmarge verantwoord (randen, kabels, deksel), dikte rond afgerond.
Energie en schets	Dagverbruik tegenover de batterij; schets met maten, doorvoer en deksel.

19.16 Een winterweek in de klimaatmodule

Uitdagen · 7 · Rekenen · 30 min

In een koude week in januari meet de weerstation van het station deze daggemiddelden buiten: −2, 0, 1, −4, −6, −1 en 2 °C. De module blijft 20 °C, verliest 20,2 W/K overdag en 16,3 W/K 's nachts (nachtscherm, 12 uur). De lampen (190 W) branden 16 uur per dag en hun energie komt volledig als warmte in de module terecht.

a Bereken het gemiddelde warmteverlies per dag in kWh (gebruik het weekgemiddelde en het gemiddelde van dag- en nachtverlies).

b Hoeveel warmte leveren de lampen per dag, en hoeveel moet de verwarming van het station bijleveren?

c Het station verwarmt met een warmtepomp met COP 3 (3 kWh warmte per kWh elektriciteit, hoofdstuk E16). Hoeveel elektriciteit kost de module per dag voor warmte? Vergelijk met de batterij van de module.

d Waarom is het slim dat de lampen in de module hangen, en niet in een onverwarmde ruimte?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan warmtegeleiding door een plaat berekenen met $P = \lambda \cdot A \cdot \Delta T / d$ en materialen vergelijken met hun lambda-waarde.
- Ik kan de warmteweerstand $R = d/\lambda$ van lagen berekenen, lagen in serie optellen met de overgangsweerstanden, en er de U-waarde uit halen.
- Ik kan het warmteverlies door een wand, een raam of een dak berekenen met $P = U \cdot A \cdot \Delta T$, en een warmteverliescoëfficiënt H opbouwen uit alle delen, ventilatie inbegrepen.
- Ik kan het temperatuurverloop in een wand tekenen, de binnenoppervlaktetemperatuur berekenen en het risico op condens en schimmel beoordelen.
- Ik kan koudebruggen herkennen, hun effect berekenen met parallelle wegen of met een ψ-waarde, en maatregelen voorstellen.
- Ik kan uitleggen waarom dubbel, HR- en driedubbel glas beter isoleren dan enkel glas, en hun U-waarde berekenen uit de lagen.
- Ik kan de U-waarde van een doos meten en de meting vergelijken met een berekening.
- Ik kan het warmteverlies van een kleine kas en van de klimaatmodule berekenen en verbeteren.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 20

Zonne-energie dimensioneren

Hoeveel zon, hoeveel panelen, hoeveel batterij: de klimaatmodule op eigen zonnestroom

Je begint met instraling, rendement, de invalshoek, wattuur en batterijtaal. Daarna lees je PVGIS, rekent je het temperatuureffect door, meet je een I-U-kromme, dimensioneer je een tuinhuis op zonne-energie, pas je de energiebudget-rekenaar aan en vergelijk je systeemspanningen. In de uitdagingen kies je zelf panelen en batterij voor de klimaatmodule (opdracht 20.13, voor je Habitat-portfolio), reken je uit hoeveel sla een kilowattuur oplevert, ontwerp je een autonome sensorpaal en debatteer je: meer panelen of een grotere batterij?

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 385 min

E Energie | L Elektriciteit en elektronica | W Wiskundig modelleren



Vier panelen onder 60° voor de klimaatmodule: steil, om de lage winterzon zo goed mogelijk te vangen.

Oefenen

20.1 Watt per vierkante meter en volle zonuren

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Gebruik de grafiek met de zonnestraling per uur uit het handboek.

a Buiten de dampkring valt 1361 W/m², aan de grond op een heldere middag ongeveer 1000 W/m². Waar blijft het verschil?

b Op een gemiddelde junidag valt 4,5 kWh per m² op het paneel. Hoeveel volle zonuren is dat? En in december (1,5 kWh/m²)?

c Hoeveel zonlicht (kWh) valt er op een gemiddelde junidag op de vier panelen van de module (samen 6,6 m²)?

20.2 Rendement en wattpiek

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Een modern paneel meet 1,72 m × 1,13 m en heeft een piekvermogen van 425 Wp.

a Bereken het rendement onder standaardtestcondities.

b Welk vermogen levert het bij 600 W/m², als de cel 25 °C blijft?

c Hoeveel m² paneel heb je per kWp nodig met dit paneel, en met het paneel van de klimaatmodule (350 Wp, 1,65 m²)?

20.3 De invalshoek

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik $\theta = |(90° - \beta) - h|$ en $G = G_n \cos\theta$ (middaguur, paneel op het zuiden).

a Vul in voor $G_n = 900\ \mathrm{W/m^2}$ op 21 juni ($h = 62{,}4°$) en $G_n = 600\ \mathrm{W/m^2}$ op 21 december ($h = 15{,}6°$).

β	θ juni	G juni (W/m²)	θ december	G december (W/m²)
0°				
39°				
60°				

b Bij welke hellingshoek vangt het paneel op 21 maart ($h = 39{,}2°$) het meeste direct licht?

20.4 Een verbruik in wattuur

Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Een kleine kweekkast voor zaailingen heeft deze verbruikers.

a Vul de tabel aan en bereken het verbruik per dag.

verbruiker	vermogen	uren per dag	Wh per dag
ledpaneel	40 W	14	
ventilatortje	1,5 W	24	
verwarmingsmat	20 W	6	
microcontroller	0,8 W	24	
totaal			

b Welk deel van het verbruik gaat naar licht? Waar zou je eerst besparen?

20.5 Batterijtaal

Oefenen · 4 · Begrijpen · 10 min

Kies telkens het juiste antwoord.

a Een LiFePO4-batterij van 12,8 V en 100 Ah bij 80 % ontlaaddiepte: hoeveel energie is bruikbaar?

- A 1,28 kWh
- B 1,02 kWh
- C 0,80 kWh
- D 100 Wh

b Wat betekent 'drie dagen autonomie'?

- A de batterij is na drie dagen versleten
- B de batterij voedt de verbruikers drie dagen zonder dat er energie bijkomt
- C de panelen laden de batterij in drie dagen vol
- D de batterij gaat drie jaar mee

c Een batterij van 120 Ah laadt met 60 A. Hoeveel is dat in C?

- (A) 0,5 C
- (B) 2 C
- (C) 60 C
- (D) 7200 C

d Waarom helpt een grotere batterij niet tegen het wintertekort van de module?

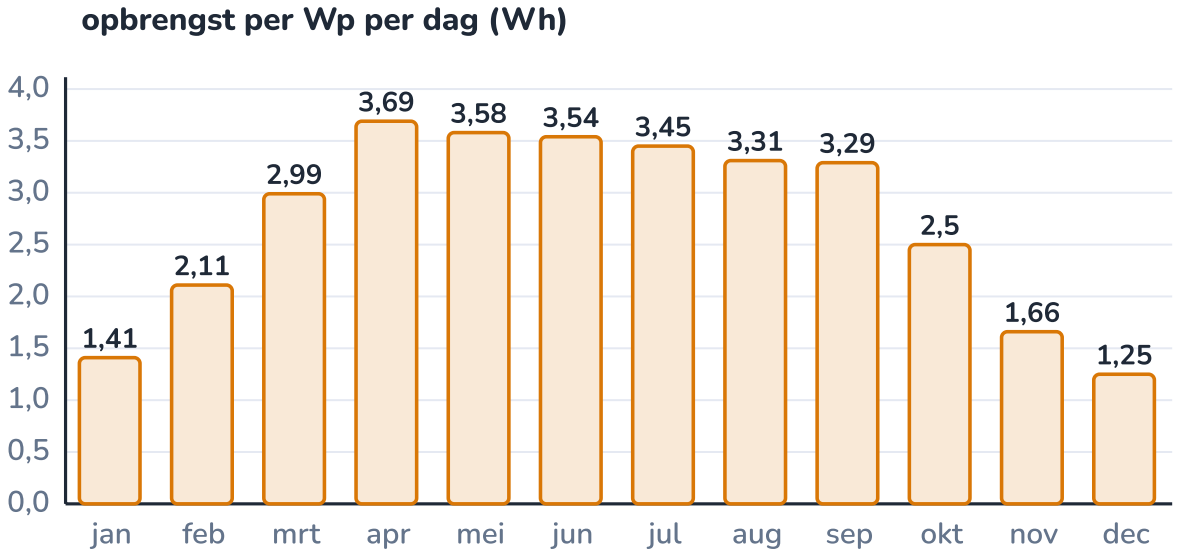
Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

20.6 PVGIS lezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Gebruik het staafdiagram van PVGIS (Brussel, 60° zuid) uit het handboek.



Opbrengst per Wp per dag, per maand.

a Welke maand levert het meest per dag, welke het minst? Hoeveel keer meer?

b Een wegwijzer met een lampje en een sensor verbruikt 20 Wh per dag, het hele jaar. Hoeveel Wp is nodig voor december? En voor juni?

c Waarom is de opbrengst in april hoger dan in juni, terwijl de dagen in juni langer zijn? Gebruik de hellingshoek.

d Schat de jaaropbrengst van een paneel van 10 Wp.

20.7 Een warm paneel levert minder

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een paneel van 350 Wp: NOCT 45 °C, $\gamma = -0{,}35\,\%$ per K. Gebruik de vuistregels van het handboek.

a Bereken de celtemperatuur en het vermogen op een zomermiddag: 900 W/m², lucht 30 °C.

b Bereken hetzelfde op een heldere wintermiddag: 600 W/m², lucht −5 °C.

c Een paneel dat vlak op een dak ligt zonder luchtspleet, heeft een NOCT van 55 °C. Hoeveel levert het op de zomermiddag?

20.8 Labo: de I-U-kromme en het maximale vermogen

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

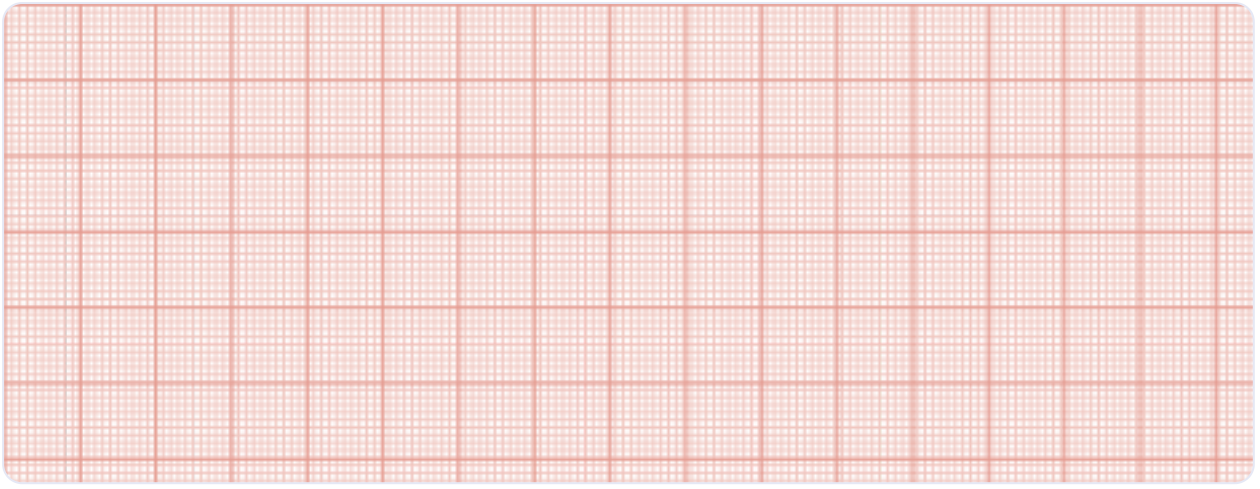
Voer de proef van het handboek uit met een klein paneel, in de zon of onder een krachtige lamp.

a Teken het schakelschema met de ampèremeter, de voltmeter en de potentiometer.

b Meet minstens twaalf punten van kortsluiting tot open klemmen, dichter bij elkaar rond de knik.

U (V)	I (mA)	P (W)

c Teken de I-U- en de P-U-kromme en bepaal het MPP.



d Herhaal twee metingen met het paneel onder 45° van de zon. Wat verandert er het meest: de stroom of de spanning? Verklaar.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schema en meting	Ampèremeter in serie, voltmeter over het paneel; minstens twaalf punten, dichter bij de knik.
Grafieken	Twee krommen met grootheden en eenheden; MPP aangeduid met spanning, stroom en vermogen.
Verklaring	Kortsluitstroom evenredig met het licht (cos θ); spanning verandert weinig; de rol van de MPPT-regelaar.
Rendement	Instraling gemeten of geschat, oppervlakte, rendement met een redelijke onzekerheid.

20.9 Een tuinhuis op zonne-energie

Toepassen · 5 · Rekenen · 25 min

Een tuinhuis zonder netaansluiting wordt van april tot september gebruikt. Verbruikers: ledlampen 12 W (3 h per dag), radio 5 W (2 h), laptop laden 45 W (1,5 h), fonteinpompje 20 W (6 h), router 6 W (24 h). Paneel op het zuiden onder 60°; LiFePO4-batterij van 12,8 V met 80 % ontlaaddiepte.

a Stel het energiebudget op.

verbruiker	W	h	Wh

b Welke maand is kritiek? Hoeveel Wp is nodig, met 10 % marge?

c Hoe groot moet de batterij zijn voor twee dagen autonomie (in Ah)?

d Welke verbruiker maak je afschakelbaar, en welke niet? Waarom?

20.10 Python: de energiebudget-rekenaar als ontwerpgereedschap

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Gebruik `energiebudget.py` van het codeblad.

a Zet `BATTERIJ = 2458` (twee batterijen). Welke maanden krijgen nu 'ok'?

b Probeer 3, 5 en 6 panelen. Welke maanden sluiten telkens met een positief saldo?

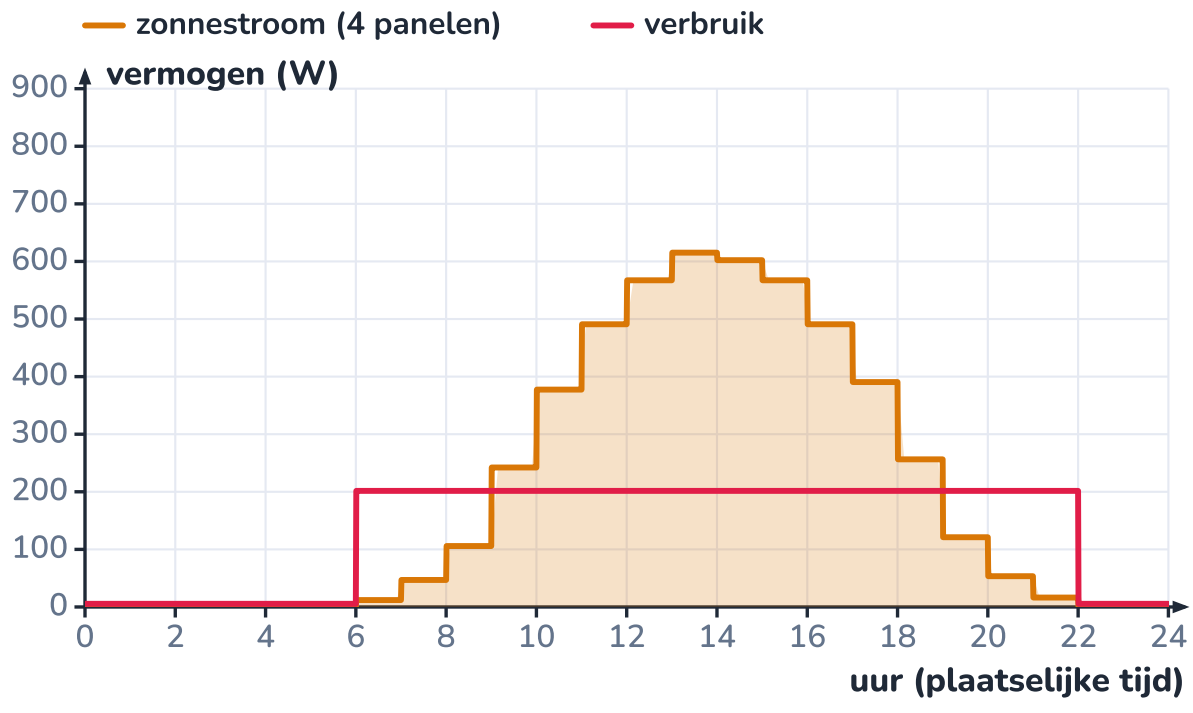
panelen	maanden met positief saldo
3	
5	
6	

c Voeg een functie toe die voor een maand berekent hoeveel lichturen er maximaal mogelijk zijn, als de lampen alleen de energie mogen gebruiken die na het basisverbruik overblijft (met 95 % laadrendement). Hoeveel is dat in december?

20.11 Een dag in juni, uur per uur

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Gebruik de grafiek van een gemiddelde junidag uit het handboek (zonnestroom en verbruik per uur).



Gemiddelde junidag: zonnestroom van vier panelen en verbruik van de module.

a Tussen welke uren laadt de batterij? Wanneer levert ze?

b Hoe lees je in de grafiek af hoeveel energie de batterij levert? Schat het en vergelijk met de rekenaar.

c De lampen branden van 6 tot 22 uur. Welk ander schema zou minder uit de batterij vragen? Waarom maakt het in juni weinig uit, en in maart wel?

20.12 12 V, 24 V of 48 V?

●●○ Toepassen · 6 · Rekenen · 20 min

Op een zonnige middag levert de laadregelaar 1400 W aan de batterij. De kabel van de regelaar naar de batterij is 3 m lang (heen en terug 6 m), koper met een doorsnede van 16 mm² ($\rho = 0{,}0175\,\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$).

a Bereken de weerstand van de kabel (heen en terug).

b Bereken de stroom en het verlies in de kabel ($P = I^2R$) bij een systeem van 14 V, 28 V en 56 V (laadspanning).

systeem	I (A)	verlies (W)	% van 1400 W
12 V (14 V)			
24 V (28 V)			
48 V (56 V)			

c Waarom kiezen grote installaties voor 48 V of meer? Waarom blijft de module toch op 12,8 V?

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

20.13 Habitat: zonnepaneel en batterij van de klimaatmodule

●●● Uitdagen · 7 · Habitat · 60 min

Gebruik het energiebudget, de rekenaar en de maandtabel van het handboek. Het team twijfelt tussen drie ontwerpen. A: 4 panelen, 1 batterij van 120 Ah, lampen afschakelbaar. B: 4 panelen, 2 batterijen van 120 Ah (de keuze van het handboek). C: 6 panelen (twee laadregelaars) en 2 batterijen. Rekenwaarden: paneel € 110, laadregelaar 100 A € 450, batterij 120 Ah € 450 (14 kg).

a Maak voor elk ontwerp een tabel: kWp, kosten, massa van de batterijen, maanden waarin de module op een gemiddelde dag volledig op eigen zon draait.

ontwerp	kWp	kosten (€)	batterij (kg)	maanden 'ok'
A				
B				
C				

b Hoeveel uren licht per dag kan elk ontwerp in december geven zonder hulp van het station?

c Wat gebeurt er in ontwerp A op een grijze dag in juli (de panelen leveren 1,5 kWh)? En in ontwerp B?

d Kies een ontwerp en schrijf een verantwoording van acht à tien regels voor je portfolio, met getallen, en met wat er in de winter gebeurt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vergelijking	Drie ontwerpen correct doorgerekend: kWp, kosten, massa, maanden 'ok' uit de rekenaar.
Winter	Lichturen in december per ontwerp; besef dat geen batterij het wintertekort oplost.
Grijze dag	Energiebeheer in actie: welke verbruikers blijven werken, hoe lang, met welke reserve.
Verantwoording	Keuze met getallen, afweging kosten tegenover teeltmaanden, eerlijk over de zwakke plek.

20.14 Hoeveel sla per kWh?

Uitdagen · 6 · Rekenen · 20 min

In de kweekruimte groeien 48 kroppen sla in 35 dagen tot ± 200 g per krop (hoofdstuk 14). De lampen verbruiken 3,04 kWh per dag, de hele module 3,27 kWh. Stroom kost € 0,30 per kWh (hoofdstuk 4).

a Hoeveel kWh verbruiken de lampen voor één teelt? Hoeveel per krop en per kg sla?

b Hoeveel kost de elektriciteit per krop? Vergelijk met de prijs van een krop in de winkel.

c Onderzoekers vinden voor sla in volledig belichte teeltruimtes 10 à 18 kWh per kg. Ligt de module in dat gebied? Hoe zou je minder kWh per kg halen?

20.15 Ontwerp: een autonome sensorpaal

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

Op 200 m van het station komt een weerpaal met een sensor voor wind, temperatuur en zonlicht en een zendertje. Samen 0,60 W, dag en nacht, het hele jaar. De paal moet vijf grijze decemberdagen na elkaar overbruggen. Er is geen kabel naar het station, en in de winter vriest het er tot −15 °C.

a Bereken het verbruik per dag en het piekvermogen voor december (paneel onder 60°).

b Bereken de batterij voor vijf dagen autonomie, als loodaccu (12 V, 50 % ontlaaddiepte) en als LiFePO4 (12,8 V, 80 %).

c Welk batterijtype kies je, gezien de vorst? Verantwoord met hoofdstuk 16.

d Waarom is een paneel van precies het berekende piekvermogen in de praktijk te klein? Kies een paneel en verantwoord.

e Maak een schets van de paal met paneel, batterijkast en sensoren, met de hoek van het paneel.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Budget en paneel	Verbruik per dag, piekvermogen voor december, marge voor grijze dagen en terugladen.
Batterij	Beide types correct gedimensioneerd in Wh en Ah.
Keuze	Koude correct meegewogen: LiFePO4 niet laden onder 0 °C, lood in de kou minder capaciteit; oplossing verantwoord.
Schets	Paneel onder 60° op het zuiden, geïsoleerde batterijkast, geen schaduw op het paneel.

20.16 Debat: meer panelen of een grotere batterij?

●●● Uitdagen | 6 | Argumenteren | 25 min

Twee teamleden verschillen van mening. Lotte: 'Panelen zijn goedkoop; met acht panelen draait de module het hele jaar op zon.' Sami: 'Panelen helpen niets als de zon niet schijnt; we hebben meer batterij nodig.'

a Waar heeft Lotte gelijk, en waar niet? Gebruik getallen uit het handboek.

b Waar heeft Sami gelijk, en waar niet?

c Formuleer een regel die beide standpunten verbindt: waarvoor dienen panelen, waarvoor een batterij?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan zonnestraling uitdrukken in W/m² en in kWh/m² per dag (volle zonuren), en de standaardtestcondities uitleggen.	▢ ▢ ▢
Ik kan met $G = G_n \cdot \cos\theta$ berekenen hoeveel zonlicht een paneel vangt bij een gegeven zonnehoogte en hellingshoek.	▢ ▢ ▢
Ik kan het rendement en het piekvermogen (Wp) van een paneel berekenen, en het effect van de celtemperatuur inschatten.	▢ ▢ ▢
Ik kan een I-U-kromme meten en er het punt van het grootste vermogen uit halen.	▢ ▢ ▢
Ik kan met PVGIS de opbrengst van een installatie per dag, per maand en per jaar berekenen, en een kritieke maand kiezen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een energiebudget opstellen met vermogen en gebruiksduur per verbruiker, en de grootste posten herkennen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een batterij dimensioneren voor de nacht en voor een aantal dagen autonomie, met ontlaaddiepte en rendement.	▢ ▢ ▢
Ik kan een energiebudget per maand en per uur doorrekenen in Python en de uitkomst beoordelen.	▢ ▢ ▢

Ik kan het zonnepaneel en de batterij van de klimaatmodule kiezen en die keuze met getallen verantwoorden.



WERKBOEK · HOOFDSTUK 21

De wetten van Kirchhoff

Twee wetten die elk netwerk doorrekenen, van een breadboard tot de voeding van een hele module

Je begint met knooppunten en mazen lezen en met de twee wetten in één stap. Daarna los je gemengde schakelingen op, spoor je een foute meting op, meet je zelf en laat je numpy een netwerk oplossen. In de uitdagingen breid je de voeding van de klimaatmodule uit (opdracht 21.13, voor je Habitat-portfolio), reken je een brug door, ontwerp je de massabedrading en ontdek je de gulden snede in een ladder van weerstanden.

5× oefenen · 7× toepassen · 5× uitdagen · ± 412 min

L Elektriciteit en elektronica · W Wiskundig modelleren

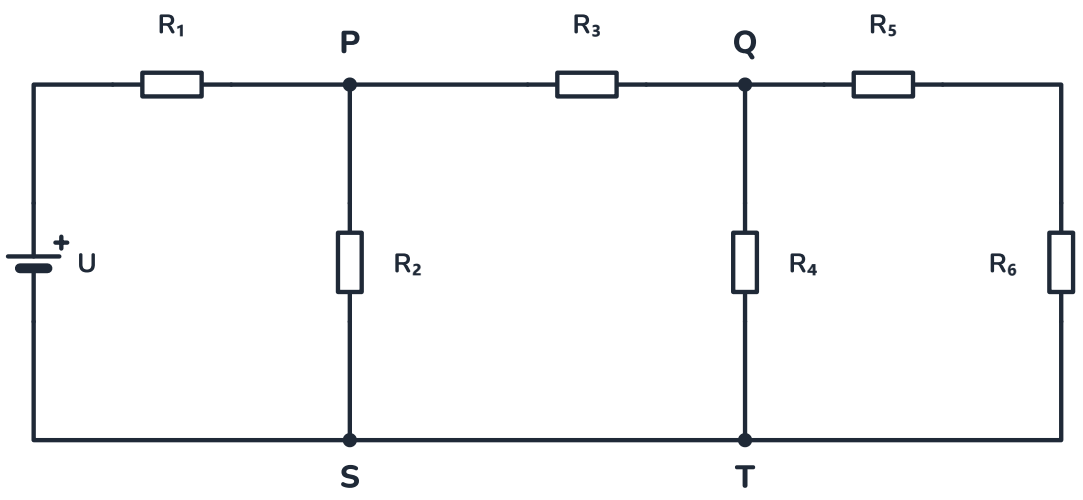


Wie een verdeelkast begrijpt, ziet knooppunten en mazen: waar stromen samenkomen en waar spanningen verdeeld worden.

21.1 Knooppunten, takken en mazen tellen

●○○ Oefenen | 3 | Begrijpen | 10 min

Bekijk het netwerk. De letters P, Q, S en T staan bij de bolletjes.



Een bron en zes weerstanden.

a Hoeveel knooppunten heeft dit netwerk? Let op S en T.

b Noem alle takken (welke onderdelen zitten in elke tak?).

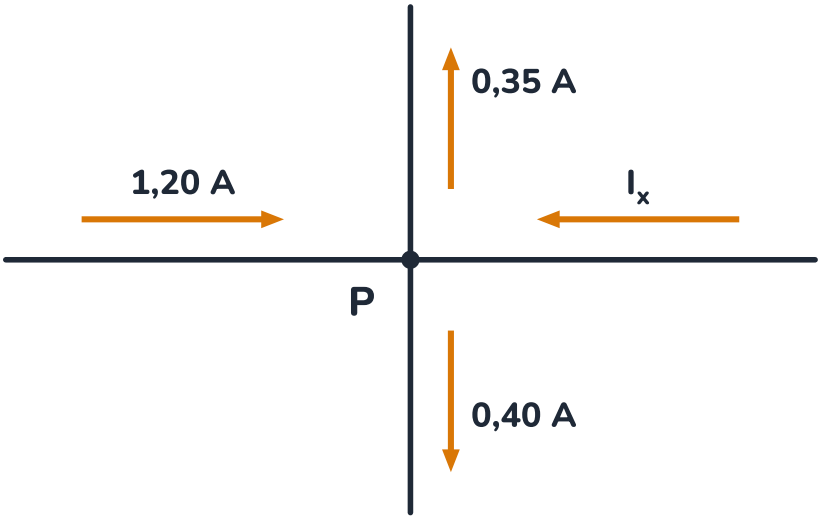
c Hoeveel onafhankelijke maasvergelijkingen heb je nodig? Controleer met $b - k + 1$.

d Welke weerstanden staan in serie? Kan je dit netwerk volledig vereenvoudigen?

21.2 De knooppuntwet toepassen

Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

In knooppunt P komen vier draden samen. De pijl van I_x is gekozen.



Drie bekende stromen en één onbekende.

a Schrijf de knooppuntwet voor P en bereken I_x.

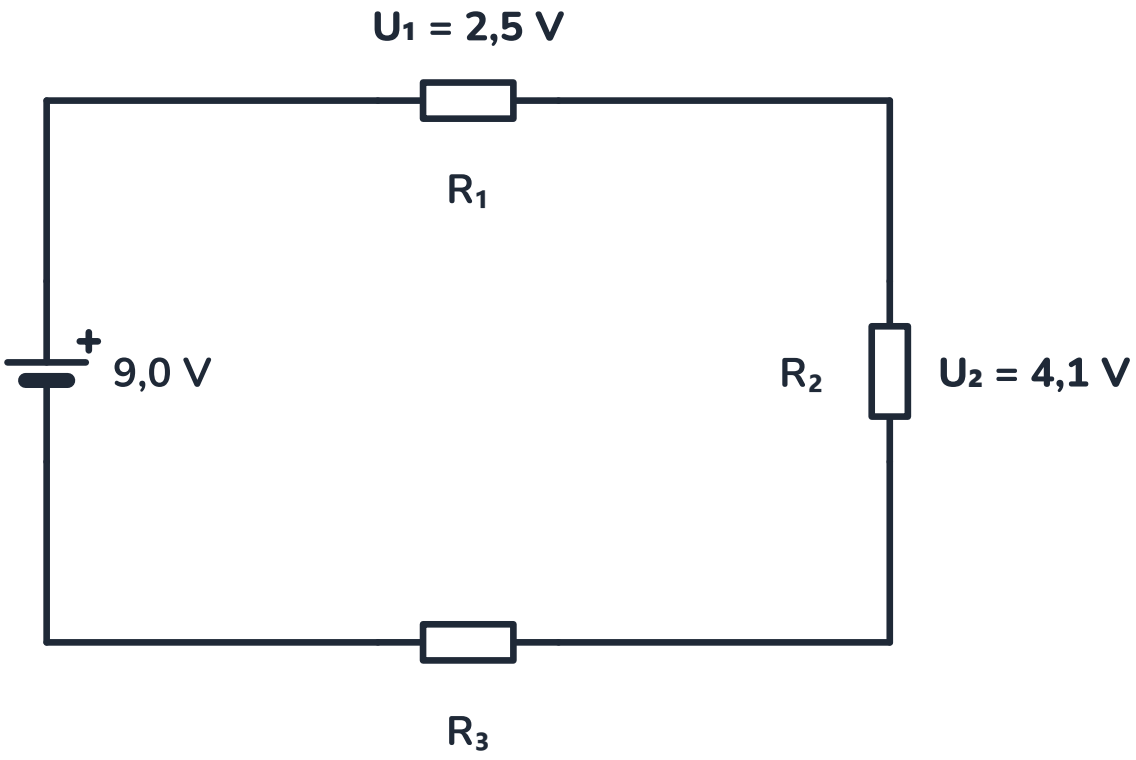
b Loopt I_x in de richting van de pijl? Leg uit.

c De stroom van 0,40 A valt weg (die tak wordt geopend). Wat wordt I_x nu?

21.3 De maaswet toepassen

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

In een maas staan een bron van 9,0 V en drie weerstanden. Twee spanningen zijn gemeten.



U_1 en U_2 zijn gemeten; U_3 niet.

a Schrijf de maaswet met de klok mee (stroom ook met de klok mee) en bereken U_3.

b De stroom is 12 mA. Bereken de drie weerstanden.

c Neem de onderste linkerhoek als massa. Wat is de potentiaal van de vier hoeken?

21.4 Vervangingsweerstand

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Bereken de vervangingsweerstand. Rond af op drie beduidende cijfers.

a Vul in.

schakeling	berekening	R_v
(a) 100 Ω, 220 Ω en 470 Ω in serie		
(b) 100 Ω, 220 Ω en 470 Ω parallel		
(c) 2,2 kΩ parallel met 3,3 kΩ		
(d) drie keer 1,0 kΩ parallel		
(e) 10 Ω parallel met 1,0 MΩ		

b Bij (e): waarom mag je de 1,0 MΩ in de praktijk weglaten? Waar komt dat terug bij het meten?

21.5 Vermogen en de ¼ W-weerstand

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een weerstand van 100 Ω en een van 220 Ω, beide van 0,25 W, worden op een voeding van 12 V gezet: eerst in serie, daarna parallel.

a Bereken in serie de stroom en het vermogen in elke weerstand.

b Bereken parallel het vermogen in elke weerstand.

c In welke gevallen wordt een weerstand overbelast? Welke weerstand zou je dan kiezen?

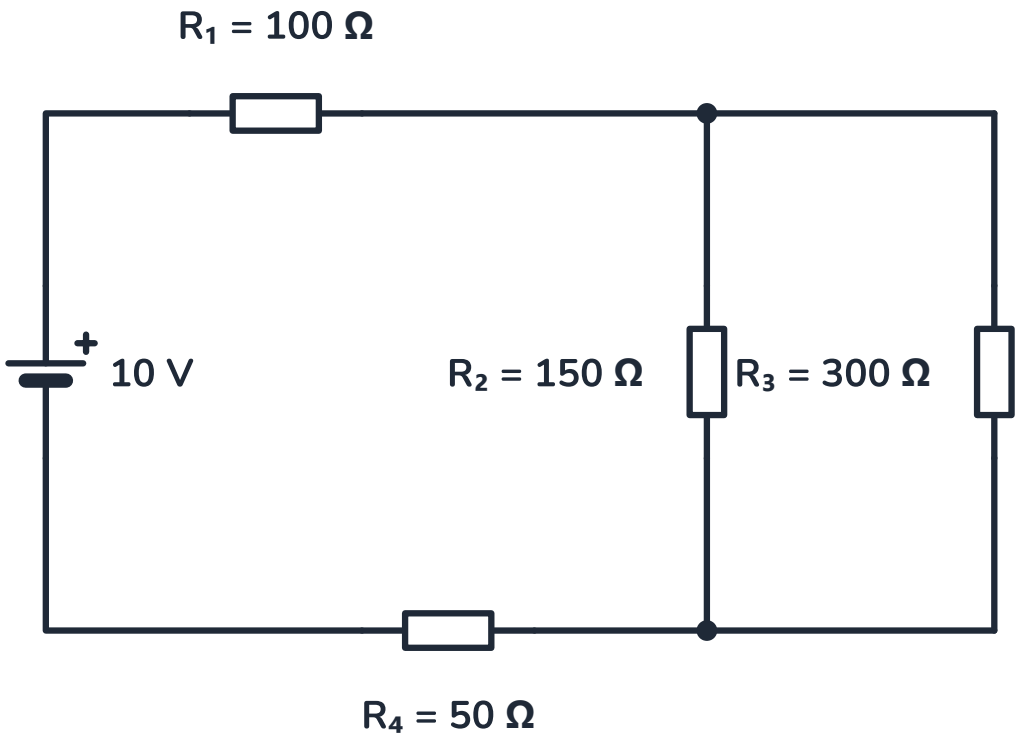
Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

21.6 Een gemengde schakeling oplossen

Toepassen · 5 · Rekenen · 25 min

Los de schakeling volledig op.



R_1 en R_4 in serie met de parallelle groep R_2 en R_3.

a Bereken de vervangingsweerstand en de stroom uit de bron.

b Bereken de spanning over elke weerstand en de stroom door R_2 en R_3.

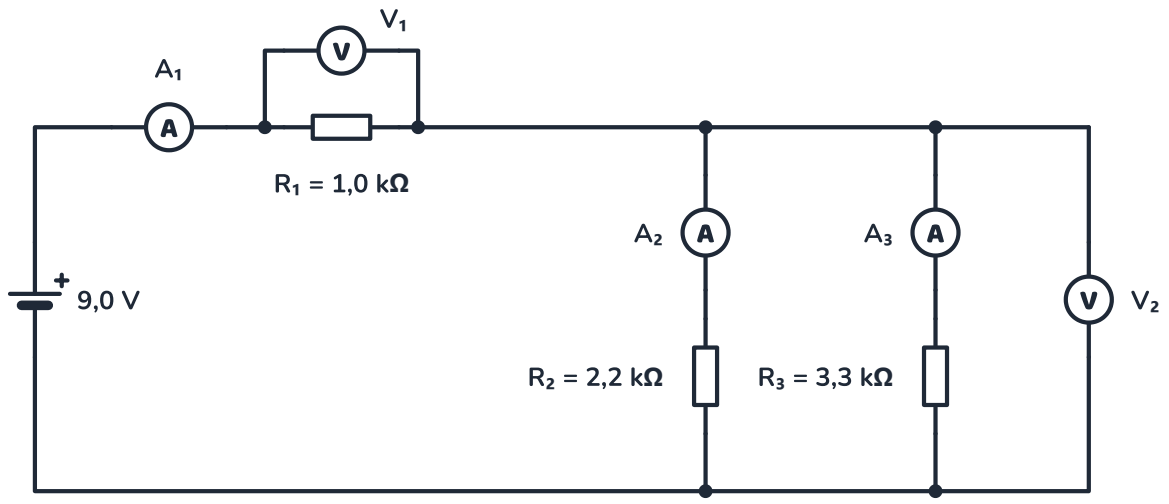
c Bereken het vermogen in elke weerstand en controleer met de vermogensbalans.

d Controleer je antwoorden met de knooppuntwet en met de maaswet.

21.7 Foutenjacht: welke meting klopt niet?

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Een leerling bouwt de proef van het handboek (9,0 V; R_1 = 1,0 kΩ; R_2 = 2,2 kΩ; R_3 = 3,3 kΩ) en noteert: bron 9,00 V; V_1 3,85 V; V_2 5,17 V; A_1 3,89 mA; A_2 2,34 mA; A_3 1,05 mA.



De meetopstelling van het handboek.

a Controleer de maaswet en de knooppuntwet met deze metingen.

b Welke meting is fout? Gebruik de wet van Ohm om het te bewijzen.

c Geef twee mogelijke oorzaken van die foute meting.

21.8 Labo: Kirchhoff in een schakeling met twee bronnen

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Bouw het netwerk van het voorbeeld 'twee batterijen voeden samen de lampen', maar veilig op kleine schaal: bron A is een voeding op 9,0 V, bron B een 9 V-batterij, met in elke tak een weerstand van 100 Ω (die speelt de inwendige weerstand) en als last een weerstand van 220 Ω.

a Teken het schema met de stroompijlen en de twee mazen.

b Meet de bronspanning van de batterij zonder last. Stel het stelsel op en voorspel de drie stromen.

c Meet de drie stromen en de spanning over de last.

grootheid	voorspeld	gemeten
I_A		
I_B		
I_L		
U_L		

d Verklaar de verschillen. Welke bron levert het meest, en waarom?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

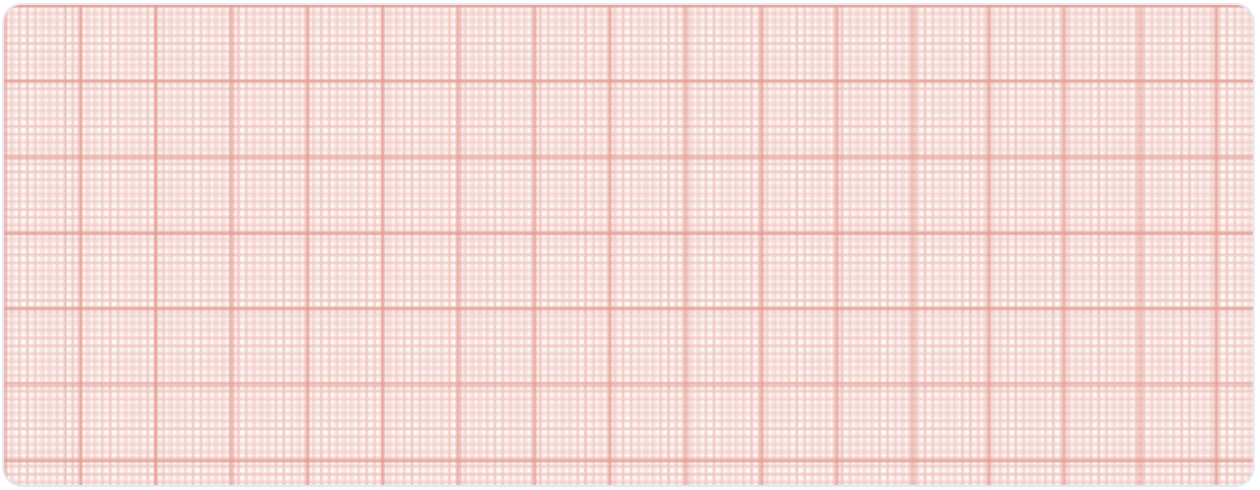
Schema	Correcte symbolen, pijlen in elke tak, twee mazen met omloopzin.
Voorspelling	Knooppunt- en maasvergelijkingen correct; stelsel opgelost; eenheden.
Meting	Ampèremeter telkens in serie in de juiste tak; drie stromen en een spanning genoteerd.
Besluit	Knooppuntwet gecontroleerd met de metingen; verschillen verklaard (echte bronspanning, tolerantie, inwendige weerstand van de batterij).

21.9 De inwendige weerstand van een 9 V-batterij

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Een leerling belast een 9 V-batterij met verschillende weerstanden en meet telkens de stroom en de klemspanning: 0 mA: 9,41 V; 50 mA: 9,31 V; 100 mA: 9,23 V; 150 mA: 9,15 V; 200 mA: 8,96 V.

a Zet de klemspanning uit tegen de stroom en teken de best passende rechte.



b Bepaal de bronspanning U_0 en de inwendige weerstand R_i uit je rechte.

c Hoeveel vermogen gaat er in de batterij zelf verloren bij 200 mA? Hoeveel procent van wat ze levert?

d Welke kortsluitstroom voorspelt het model? Waarom is dat getal in werkelijkheid kleiner?

21.10 Twee AA-cellen parallel: schema en stelsel

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Een zaklamp heeft twee AA-cellen parallel. De ene is nieuw (bronspanning 1,55 V), de andere half leeg (1,45 V). Elke cel heeft een inwendige weerstand van 0,20 Ω. Het lampje stel je voor als 5,0 Ω.

a Teken het schema met de inwendige weerstanden, de stroompijlen en de mazen.

b Stel de drie vergelijkingen op en bereken de stroom door elke cel en door het lampje.

c Wat betekent het teken van de stroom van de lege cel? Waarom is dat voor een alkalinecel een probleem?

21.11 Python: de voeding van de meetkas als stelsel

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

In de winter hangt de meetkas aan de 230 V-adapter én aan haar batterij (HABITAT). Model: adapter 13,6 V met 0,30 Ω; batterij 12,6 V met 0,08 Ω; ledstrip 30 Ω; pompje (als weerstand) 18,5 Ω. Alles parallel op één rail.

a Kies de onbekenden [I_adapter, I_batterij, I_led, I_pomp] en schrijf vier vergelijkingen (één knooppunt, drie mazen).

b Schrijf een Python-programma dat het stelsel oplost met numpy en de railspanning afdrukt.

c Laadt of ontlaadt de batterij? Laat het programma de adapterspanning van 12,6 tot 13,6 V variëren: vanaf welke spanning laadt de batterij?

21.12 De kabel naar de meetkas

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

De 12 V-voeding van de meetkas staat buiten de kas, droog (HABITAT). De kabel naar de verdeling in de kas is 5,0 m lang en heeft twee aders van 0,75 mm² koper. Als alles tegelijk

aanstaat, loopt er 1,20 A.

a Bereken de weerstand van de kabel (heen en terug).

b Welke spanning blijft er over op de verdeling in de kas? Hoeveel vermogen gaat er in de kabel verloren?

c Hoeveel vermogen neemt de ledstrip (30 Ω) dan nog op, tegenover 4,8 W op 12 V?

d Is een kabel van 1,5 mm² de moeite? Reken en besluit.

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

21.13 Habitat: een display en een wifi-module op de 5 V-rail

Uitdagen · 6 · Habitat · 40 min

De 5 V-rail van de klimaatmodule (handboek: gemiddeld 158,9 mA, piek 361,6 mA) krijgt er twee verbruikers bij: een display van 2 × 16 tekens met achtergrondverlichting (±25 mA) en een wifi-module die de data van de datalogger doorstuurt (gemiddeld ±80 mA, pieken tot ±200 mA bij het zenden, orde van grootte). De omvormer heeft een rendement van 83 % en de rail hangt aan 12,8 V.

a Bereken de nieuwe gemiddelde stroom en de piekstroom op de 5 V-rail.

b Bereken het gemiddelde vermogen en de stroom aan de 12 V-kant. Past het nog in het budget van 3,0 W uit hoofdstuk 20?

c Is een omvormer van 1 A nog voldoende? Welke reserve houd je over bij de piek?

d Hoeveel energie per dag kost de 5 V-rail nu? Vergelijk met de 72 Wh van het budget.

e De wifi-module komt in de sensorkast op 3,0 m (aders van 0,14 mm²). Welke spanning krijgen de sensoren daar bij de piek? Wat stel je voor?

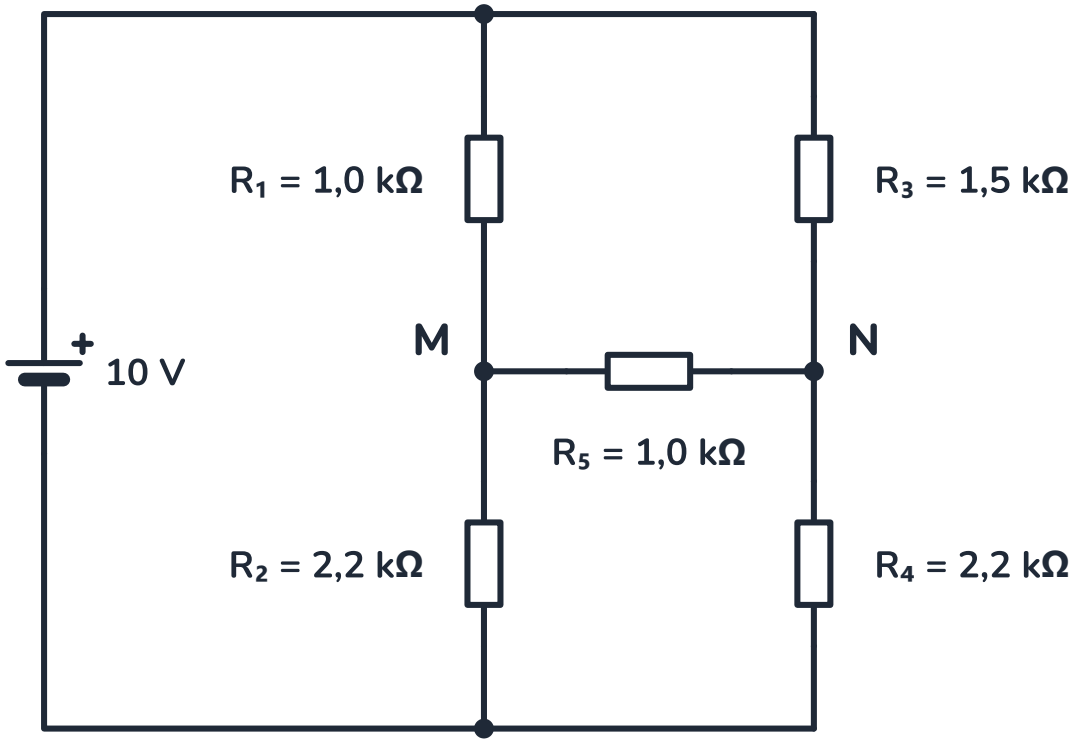
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Knooppuntwet	Stromen correct opgeteld, gemiddelde en piek apart.
Vermogen	Rendement correct gebruikt (P_in = P_uit / η); eenheden; vergelijking met het budget.
Keuze	Omvormer en reserve beoordeeld met de piekstroom.
Kabel	Spanningsval met R = ρL/A en de maaswet; een haalbare oplossing voorgesteld.

21.14 Een brugschakeling

Uitdagen · 7 · Rekenen · 35 min

In deze schakeling zit R_5 als een brug tussen twee takken.



Vijf weerstanden: geen enkel paar staat zuiver in serie of parallel.

a Waarom kan je deze schakeling niet met serie en parallel vereenvoudigen?

b Neem de onderste draad als massa en noem de potentialen van M en N V_M en V_N. Schrijf de knooppuntwet in M en in N, met de stromen uitgedrukt met de wet van Ohm.

c Los het stelsel op (met de hand of met numpy). Hoe groot is de stroom door R_5, en in welke richting?

d Welke waarde moet R_4 hebben opdat er geen stroom door R_5 loopt? Leid de voorwaarde af.

21.15 Bewijs: parallel is kleiner dan de kleinste

Uitdagen · 6 · Analyseren · 20 min

Neem n weerstanden $R_1, R_2, \ldots, R_n$ (allemaal positief) parallel, en noem $R_{\min}$ de kleinste.

a Toon aan dat $R_\text{v} < R_\text{min}$.

b Toon aan dat R_v altijd kleiner wordt als je er een weerstand bij zet, hoe groot ook.

c Wat gebeurt er met R_v als één tak kortgesloten wordt ($R_k \to 0$)? Wat betekent dat voor de andere takken?

21.16 Ontwerp: de massabedrading van de klimaatmodule

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

In de klimaatmodule lopen grote stromen (lampen 14,8 A, pomp 1,0 A, ventilatoren 0,4 A) en hangen gevoelige analoge sensoren: de pH-module (−0,18 V per pH), de druksensor (0,45 V per kPa, hoofdstuk 11) en de NTC (±55 mV per °C bij 25 °C, hoofdstuk 22). Alles zit binnen 3 m van de microcontroller.

a Teken een bedradingsschema met een sterpunt: welke draden gaan waarheen?

b Stel dat iemand de lampen toch via de massadraad van de druksensor laat terugkeren (2,0 m, 1,5 mm²). Welke fout in het waterniveau geeft dat? (1 kPa is 10,2 cm water.)

c Hoe dik kies je de retourdraad van de lampen als hij 2,0 m lang is en je hoogstens 0,2 V spanningsval toelaat? Kies uit 1,5, 2,5, 4 en 6 mm².

d Formuleer drie regels voor de bedrading die je op de deur van de kast zou hangen.

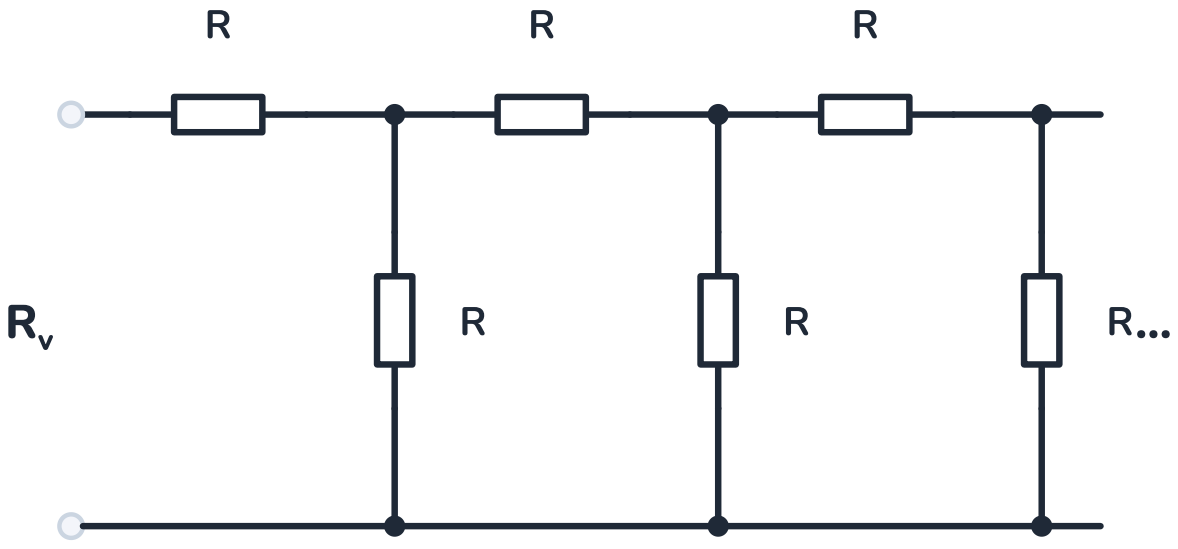
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schema	Eén sterpunt aan de minpool; aparte retourdraden voor lampen, pomp en ventilatoren; sensormassa's apart naar de GND van de microcontroller, die op één plaats aan het sterpunt hangt.
Berekening	R = ρL/A, spanningsval met de maaswet, omgezet naar een fout in de gemeten grootheid.
Keuze	Draaddikte uit de toegelaten spanningsval, met eenheden.
Regels	Concreet en toetsbaar (bv. 'geen verbruikersstroom door een sensormassa').

21.17 Een ladder van gelijke weerstanden

Uitdagen · 7 · Rekenen · 30 min

Een ladder bestaat uit trappen van telkens een weerstand R in de lengte en een weerstand R dwars. Neem $R = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$.



Een ladder van drie trappen; de puntjes: je kan er zoveel bijzetten als je wil.

a Bereken de vervangingsweerstand van een ladder met één, twee en drie trappen (begin achteraan).

b Schrijf de verhoudingen R_v/R als breuk. Herken je de getallen?

c Voor een oneindig lange ladder verandert R_v niet als je er vooraan een trap bijzet. Stel daarmee een vergelijking op en los ze op.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan in een schakeling de knooppunten, takken en mazen aanduiden en het aantal onafhankelijke vergelijkingen bepalen.	☐ ☐ ☐
Ik kan de knooppuntwet en de maaswet opschrijven met een gekozen stroomzin en omloopzin, en een negatieve uitkomst juist interpreteren.	☐ ☐ ☐
Ik kan de vervangingsweerstand berekenen van om het even welke weerstanden in serie en parallel.	☐ ☐ ☐
Ik kan een gemengde schakeling volledig oplossen: alle stromen, spanningen en vermogens.	☐ ☐ ☐
Ik kan het vermogen in elke weerstand berekenen en een vermogensbalans opstellen als controle.	☐ ☐ ☐

Ik kan een netwerk met meer dan één bron oplossen als stelsel van vergelijkingen, met de hand en met numpy.

Ik kan metingen gebruiken om een berekening te controleren, en omgekeerd een foute meting opsporen.

Ik kan de voeding van een groep sensoren narekenen, met de spanningsval in de draden en de gevolgen van een gedeelde massadraad.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 22

De spanningsdeler en sensoren

Hoe een microcontroller licht en temperatuur 'ziet': van weerstand naar spanning naar getal

Je rekent eerst met spanningsdelers en ADC-waarden, en leert voorspellen of een spanning stijgt of daalt. Daarna ontwerp je een lichtsensor, ijk je een LDR, onderzoek je hoe een meter de meting verandert en schrijf je code. In de uitdagingen werk je de lichtsensor van de klimaatmodule af (opdracht 22.13, voor je Habitat-portfolio), reken je de zelfverwarming van een NTC uit en bewijs je de regel voor de beste vaste weerstand.

5× oefenen | 7× toepassen | 5× uitdagen | ± 401 min

L Elektriciteit en elektronica | O Onderzoeken en meten | P Programmeren en computationeel denken



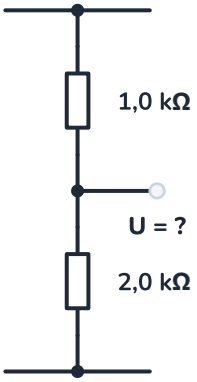
Een lichtsensor onder een melkwit kapje beslist of de groeilampen aan moeten.

22.1 Spanningsdelers rekenen

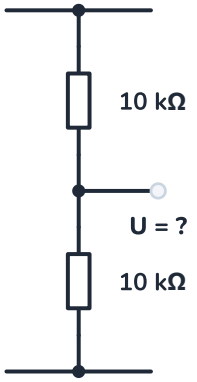
● ○ ○ Oefenen | 3 | Rekenen | 12 min

Bereken telkens de gevraagde spanning ten opzichte van de onderste lijn (0 V). Er hangt niets aan de uitgangen.

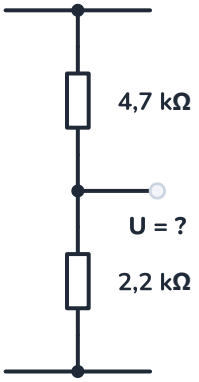
(a) 12 V



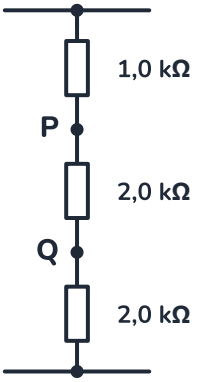
(b) 5 V



(c) 9 V



(d) 5 V



Bij (d) staan drie weerstanden in serie met twee aftakkingen P en Q.

a Bereken de uitgangsspanning bij (a), (b) en (c).

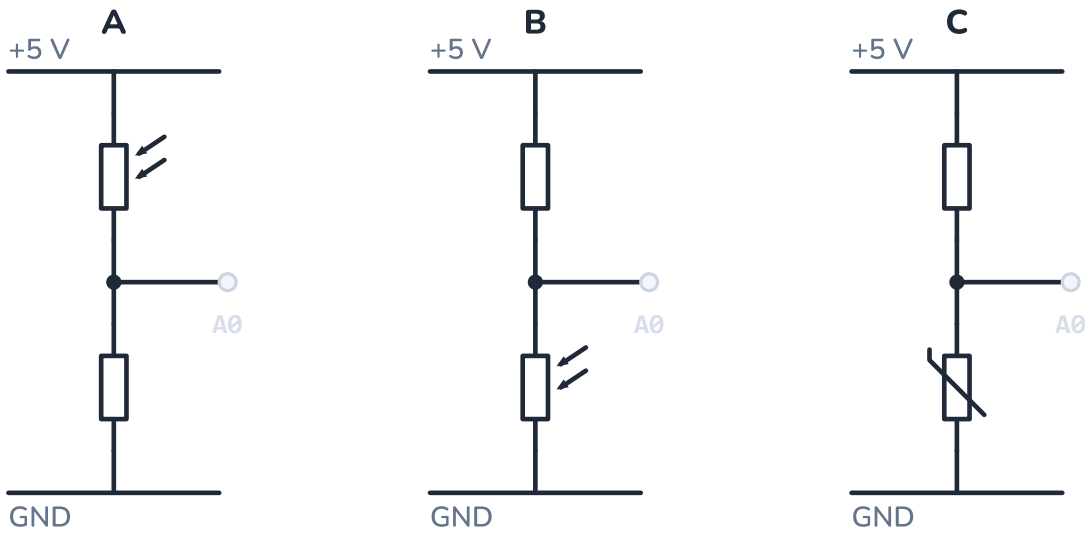
b Bereken bij (d) de spanning in P en in Q, en de stroom door de weerstanden.

c Bij (b) vervang je beide weerstanden door 1,0 MΩ. Wat verandert er aan de uitgang? Wat verandert er wel?

22.2 Stijgt of daalt de spanning?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Drie schakelingen met een LDR of een NTC en een vaste weerstand.



Schakelingen A, B en C.

a Het wordt lichter. Stijgt of daalt de spanning op A0 bij A? En bij B?

- (A) A stijgt, B stijgt
- (B) A stijgt, B daalt
- (C) A daalt, B stijgt
- (D) A daalt, B daalt

b Het wordt warmer. Stijgt of daalt de spanning bij C? Leg uit.

c Je wil een programma dat een groter getal geeft als het warmer wordt. Hoe pas je C aan?

22.3 ADC-waarden omrekenen

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Een Arduino Uno meet met een ADC van 10 bit en een referentie van 5,00 V.

a Welke spanning hoort bij $N = 1$, $N = 512$ en $N = 1023$?

b Welke ADC-waarde geeft een spanning van 1,20 V? En van 3,30 V?

c Een ander bord heeft een ADC van 12 bit met een referentie van 3,3 V. Hoe groot is één stap? Is dat bord altijd beter?

22.4 Rekenen met het B-model

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een NTC heeft $R_{25} = 10{,}0\,\text{k}\Omega$ en $B = 3950\,\text{K}$.

a Bereken de weerstand bij 10 °C en bij 40 °C.

b Bij welke temperatuur is de weerstand 15,0 kΩ? En 5,0 kΩ?

c Hoeveel procent verandert de weerstand tussen 20 en 21 °C?

22.5 De potentiometer

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Een lineaire potentiometer van 10 kΩ hangt met zijn uiteinden aan 5,0 V en GND; de loper gaat naar A2.

a Welke spanning en welke ADC-waarde geeft de loper op 20 %, 50 % en 90 % van onderen?

b Hoeveel stroom loopt er door de potentiometer? Hangt die af van de stand?

c Het programma zet N om naar een lichtdrempel tussen 1000 en 20 000 lux, lineair. Geef de formule en de drempel bij N = 512.

●●○ Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

22.6 Van ADC-waarde naar temperatuur

●●○ Toepassen | 5 | Rekenen | 15 min

De NTC van het reservoir (10 kΩ, B = 3950 K) staat boven een vaste weerstand van 10 kΩ; de microcontroller leest N = 612.

a Bereken de spanning, de weerstand van de NTC en de temperatuur.

b Hoeveel verandert de temperatuur als N één stap hoger is?

c Op een dag leest de microcontroller N = 0. Wat is er waarschijnlijk aan de hand? En bij N = 1023?

22.7 Ontwerp: een schemersensor voor de meetkas

Toepassen · 5 · Ontwerpen · 25 min

De ledstrip van de meetkas (F21) moet aangaan als het schemert. In de kas valt dan tussen 50 en 1000 lux op de sensor (zonder kapje). Je gebruikt een GL5528 ($R_{10} = 15\,\text{k}\Omega$, $\gamma = 0{,}7$) boven en een vaste weerstand onder, op 5 V.

a Bereken de weerstand van de LDR bij 50 lux en bij 1000 lux.

b Kies de vaste weerstand met de regel van de wortel en rond af naar de E12-reeks (1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3 …).

c Bereken de spanning en de ADC-waarde bij 50, 200 en 1000 lux.

E (lx)	R LDR (Ω)	U (V)	N

d De ledstrip moet aan onder 200 lux. Welke ADC-waarde wordt de drempel? Aan welke kant van de drempel is het donker?

22.8 Labo: een LDR ijken met een luxmeter

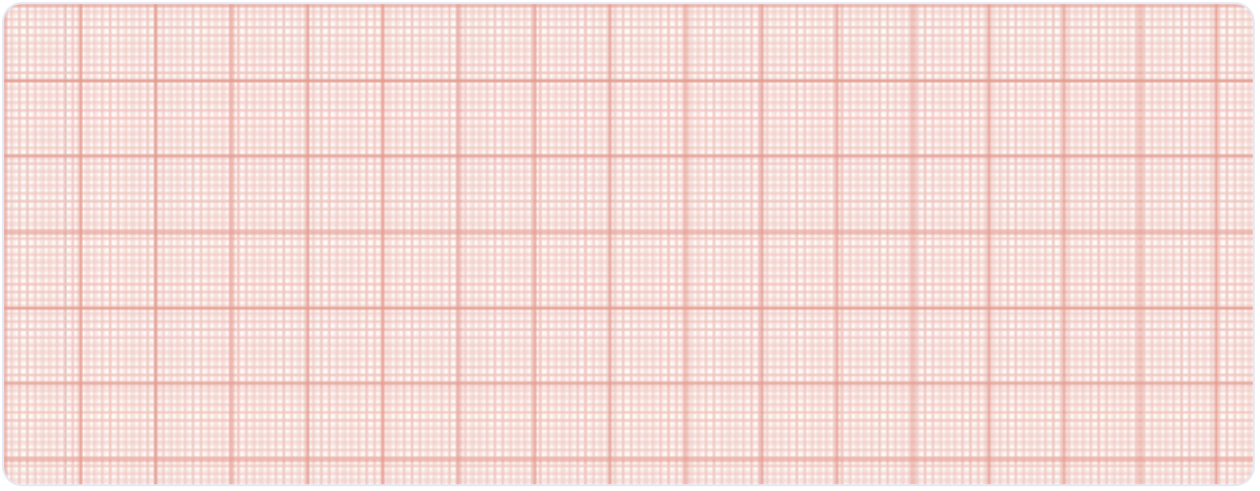
Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Bepaal de constanten R_{10} en γ van jouw LDR. Leg de LDR en de luxmeter naast elkaar onder een lamp waarvan je de afstand kan veranderen (of dim het licht), en meet de weerstand met een ohmmeter. Een voorbeeldmeting: 5 lx: 20,3 kΩ; 20 lx: 7,61 kΩ; 50 lx: 4,21 kΩ; 150 lx: 1,95 kΩ; 400 lx: 1,02 kΩ; 1000 lx: 0,532 kΩ.

a Meet bij minstens zes verlichtingssterkten tussen 5 en 1000 lux. Wacht telkens tot de weerstand stabiel is.

E (lx)	R (kΩ)	log E	log R

b Zet log R uit tegen log E en teken de best passende rechte.



c Bepaal γ uit de helling en R_{10} uit de rechte bij log E = 1. Doe het ook voor de voorbeeldmeting.

d Waarom moet je wachten tot de weerstand stabiel is, vooral als je van licht naar donker gaat?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Meting	Minstens zes punten verspreid over twee decaden; LDR en luxmeter op dezelfde plaats en in dezelfde richting.
Grafiek	log-log correct berekend of op logaritmisch papier; rechte door de punten.
Constanten	γ en R_{10} met eenheid; vergelijking met de datasheet (8-20 kΩ, 0,7).
Kritisch	Traagheid, spectrum van de lamp, nauwkeurigheid van de luxmeter besproken.

22.9 Een voltmeter op een deler

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een deler van twee keer 1,0 MΩ staat op 10,0 V. Je meet de uitgang.

a Welke spanning verwacht je zonder meter? Wat is de uitgangsweerstand van de deler?

b Wat wijst een multimeter van 10 MΩ aan? En een meter van 1,0 MΩ?

c Wat zou een ingang van 100 MΩ aanwijzen? Welke les trek je voor het kiezen van een deler?

22.10 C++: een lichtsensor met twee drempels

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

De lichtsensor van het handboek zit op A1 (1,0 kΩ onder, kapje 10 %). Met één drempel zouden de lampen bij elke wolk aan en uit gaan. Daarom: lampen aan als de ADC-waarde onder 479 zakt (4000 lx), uit als ze boven 552 komt (6000 lx). Daartussen verandert er niets. De lampen hangen via een MOSFET aan pin 9 (hoofdstuk 23).

a Waarom verandert er tussen de twee drempels niets? Wat onthoudt het programma daarvoor?

b Schrijf `setup()` en `loop()`: elke seconde meten (gemiddelde van 16), beslissen, pin 9 zetten en de toestand afdrukken.

c Controleer de drempels: bereken zelf de ADC-waarde bij 4000 en 6000 lux daglicht.

22.11 Het kapje ijken

●●○ Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

De lichtsensor rekent met een kapje dat 10 % doorlaat. Een luxmeter naast de sensor toont 5000 lux daglicht, maar de microcontroller berekent 4200 lux. Aan de LDR en de vaste weerstand ligt het niet: die zijn apart gecontroleerd.

a Hoeveel lux valt er volgens de microcontroller op de LDR? Hoeveel laat het kapje dus echt door?

b Welke constante pas je aan in de code, en naar welke waarde?

c Dit is een eenpuntsijking. Waarom is dat hier genoeg? Wanneer niet meer?

22.12 Hoe goed meet de batterijdeler?

Toepassen · 6 · Rekenen · 20 min

De batterijdeler van het handboek (100 kΩ en 33 kΩ) gebruikt weerstanden met een tolerantie van 1 %. De LiFePO4-batterij (hoofdstuk 16) heeft een erg vlakke spanning: tussen 20 % en 90 % laadtoestand verandert ze maar enkele tienden van een volt.

a Bereken de uitgang bij 14,6 V in het slechtste geval: 101 kΩ met 32,67 kΩ, en 99 kΩ met 33,33 kΩ.

b Welke batterijspanning berekent het programma (dat met 100 en 33 rekent) in die gevallen?

c Kan je met deze deler de laadtoestand van de LiFePO4-batterij bepalen? Hoe doet de klimaatmodule het wel?

Uitdagen

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

22.13 Habitat: de lichtsensor van de klimaatmodule afwerken

Uitdagen · 6 · Habitat · 60 min

Werk de lichtsensor van het handboek af tot hij in de klimaatmodule kan: LDR onder een kapje, vaste weerstand op A1, drempels voor de lampen. Denk aan de plaats, het ijken, fouten en de energie die hij bespaart.

a Waar hang je de sensor, zodat hij het daglicht meet en niet het licht van de groeilampen? Schets.

b Stel een ijkplan op: welke referentie, welke punten, wat pas je aan in de code?

c Welke fouten kan de sensor maken (draad los, kortsluiting, vuil kapje, sneeuw), wat ziet het programma dan, en wat moet het doen?

fout	wat de ADC toont	reactie van het programma

d Schat: als de sensor de lampen op een lentedag 3 uur korter laat branden, hoeveel energie spaart dat (2 × 95 W)? Hoeveel procent van het budget van 3,27 kWh per dag?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Plaats	Boven de lampen of afgeschermd, kijkt naar de hemel, niet in de schaduw van het dak of de panelen.
IJken	Luxmeter als referentie, meerdere punten rond 5000 lx, KAPJE (of R10, γ) aangepast, datum genoteerd.
Fouten	Onmogelijke waarden herkend (N = 0, N = 1023, plots verschil met de klok); veilige reactie: terug naar het tijdschema van hoofdstuk 20.
Energie	Correct: 190 W × 3 h = 0,57 kWh; 17 % van 3,27 kWh.

22.14 Zelfverwarming van de NTC

●●● Uitdagen · 7 · Rekenen · 25 min

Door de NTC loopt stroom, en die maakt hem een beetje warmer dan zijn omgeving. Hoeveel, zegt de dissipatieconstante: het vermogen dat nodig is om de NTC 1 °C op te warmen. Voor een klein NTC-bolletje is dat in stilstaande lucht ongeveer 2 mW/K, in water ongeveer 10 mW/K (orde van grootte).

a Bereken de stroom en het vermogen in de NTC bij 22 °C (NTC boven 10 kΩ, op 5 V).

b Hoeveel te warm meet de NTC daardoor in lucht en in water? Is dat belangrijk tegenover de ADC-stap?

c Bedenk twee oplossingen en reken er één door.

22.15 Bewijs: de beste vaste weerstand

●●● Uitdagen | 7 | Analyseren | 30 min

Een sensor boven een vaste weerstand R_v op spanning U: $U_\text{uit} = U\dfrac{R_\text{v}}{R_\text{v} + R}$. De sensor varieert van R_min tot R_max.

a Schrijf het verschil $\Delta U = U_\text{uit}(R_\text{min}) - U_\text{uit}(R_\text{max})$ als één breuk.

b Toon aan dat ΔU het grootst is als $R_\text{v} = \sqrt{R_\text{min} R_\text{max}}$. (Tip: deel teller en noemer door R_v.)

c Wil je rond één waarde R_0 zo gevoelig mogelijk zijn, dan zoek je de grootste helling $|\mathrm{d}U_\text{uit}/\mathrm{d}R|$ in R_0. Toon aan dat dat bij $R_\text{v} = R_0$ gebeurt (of redeneer met de eerste vraag voor R_min en R_max heel dicht bij R_0).

22.16 Python: B en R25 uit twee ijkpunten

Uitdagen · 7 · Programmeren · 30 min

Met twee ijkpunten (T_1, R_1) en (T_2, R_2) liggen de twee constanten van het B-model vast. Neem de punten bij 0,1 °C (34 329 Ω) en bij 50,1 °C (3745 Ω) uit de proef van het handboek.

a Leid af: $B = \dfrac{\ln(R_1/R_2)}{1/T_1 - 1/T_2}$ en $R_{25} = R_1\,\mathrm{e}^{-B(1/T_1 - 1/T_{25})}$.

b Schrijf een Python-functie `ijk(t1, r1, t2, r2)` die B en R25 teruggeeft, en druk ze af.

c Bereken met die constanten de temperatuur bij 12 857 Ω (de meting bij 20,2 °C). Vergelijk met de fit door zes punten. Wanneer kies je voor twee punten, wanneer voor meer?

22.17 Debat: LDR en NTC, of digitale sensoren?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Een collega stelt voor de LDR te vervangen door een digitale lichtsensor (BH1750: geeft lux via I²C, ongeveer 1 tot 65 000 lux) en de NTC door een digitale temperatuursensor (DS18B20: ±0,5 °C volgens de datasheet, één datadraad). Een ander vindt dat onzin: 'Een LDR en een NTC kosten niets en ik begrijp ze.'

a Geef twee argumenten voor elke kant, telkens concreet (een getal, een eigenschap uit dit hoofdstuk).

b Wat zou jij kiezen voor de lichtsensor van de klimaatmodule, en wat voor de temperatuur van het reservoir? Motiveer.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan de formule van de spanningsdeler afleiden met de wetten van Kirchhoff en ze in beide richtingen gebruiken.	☐ ☐ ☐
Ik kan uitleggen hoe een LDR, een NTC en een potentiometer werken, en hun karakteristiek lezen en tekenen.	☐ ☐ ☐
Ik kan een vaste weerstand kiezen zodat de sensor gevoelig is in het gebied waar het om gaat.	☐ ☐ ☐
Ik kan een ADC-waarde van een microcontroller omrekenen naar spanning, weerstand en de gemeten grootheid (lux, °C).	☐ ☐ ☐
Ik kan berekenen hoeveel een belasting de uitgang van een spanningsdeler verandert, en uitleggen waarom een ingang hoogohmig moet zijn.	☐ ☐ ☐
Ik kan een sensor ijken met een referentie, ook als zijn karakteristiek niet recht is.	☐ ☐ ☐

Ik kan een sensorprogramma in C++ schrijven dat een ADC-waarde omzet in een beslissing.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 23

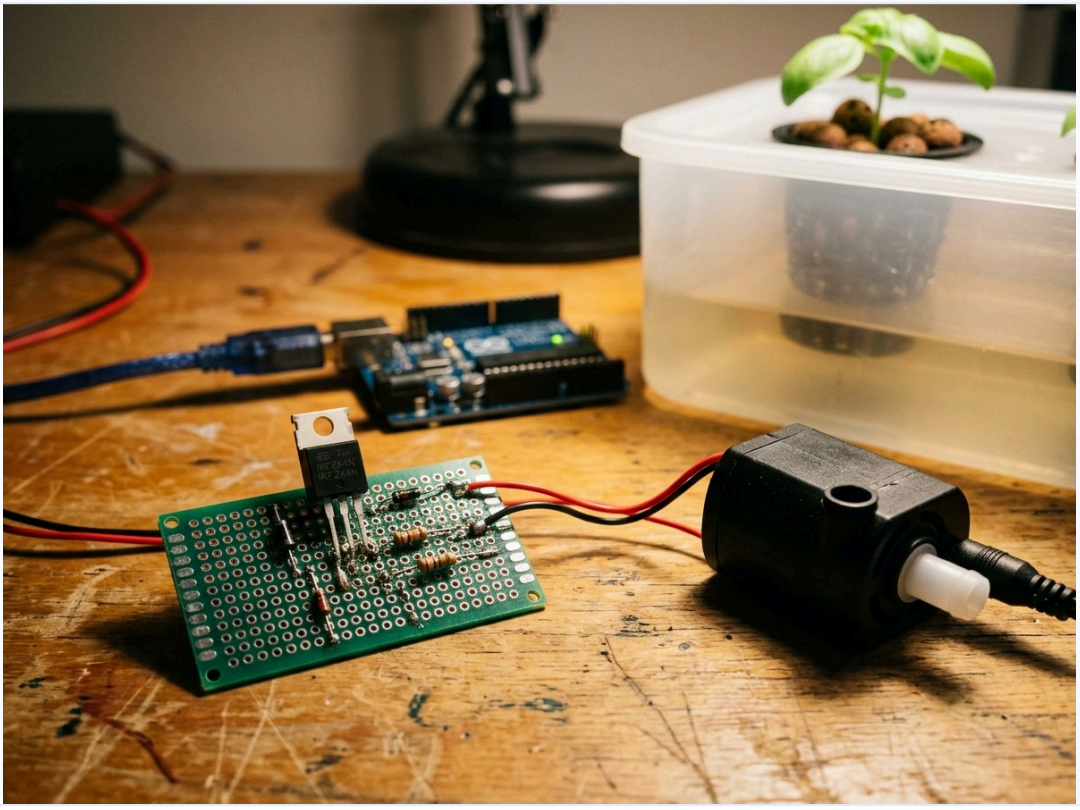
Halfgeleiders: diode, led en transistor

Van een laagje silicium naar een lampje, een gelijkrichter en een schakelaar die een pomp aanstuurt

Je begint met doteren, doorlaat en sper, de kleur van een led en de voorschakelweerstand. Daarna lees en teken je karakteristieken, reken je een gelijkrichter en transistorschakelaars uit, kies je een MOSFET, meet je de constante van Planck met leds en programmeer je de pomp. In de uitdagingen stuur je drie 12 V-verbruikers van de klimaatmodule aan (opdracht 23.13, voor je Habitat-portfolio), reken je een inductieve piek uit en beslis je hoe de groeilampen geschakeld worden.

5× oefenen · 7× toepassen · 5× uitdagen · ± 395 min

L Elektriciteit en elektronica · M Materie en chemie



Drie onderdelen tussen de microcontroller en de pomp: een MOSFET, een diode en twee weerstanden.

23.1 n-type of p-type?

●○○ Oefenen 3 Begrijpen 10 min

Silicium wordt gedoteerd met verschillende elementen. Gebruik het periodiek systeem (hoofdstuk 12).

a Geeft het element n-type of p-type silicium? Fosfor (P), arseen (As), boor (B), gallium (Ga), antimoon (Sb), aluminium (Al).

element	groep	valentie-elektronen	n of p

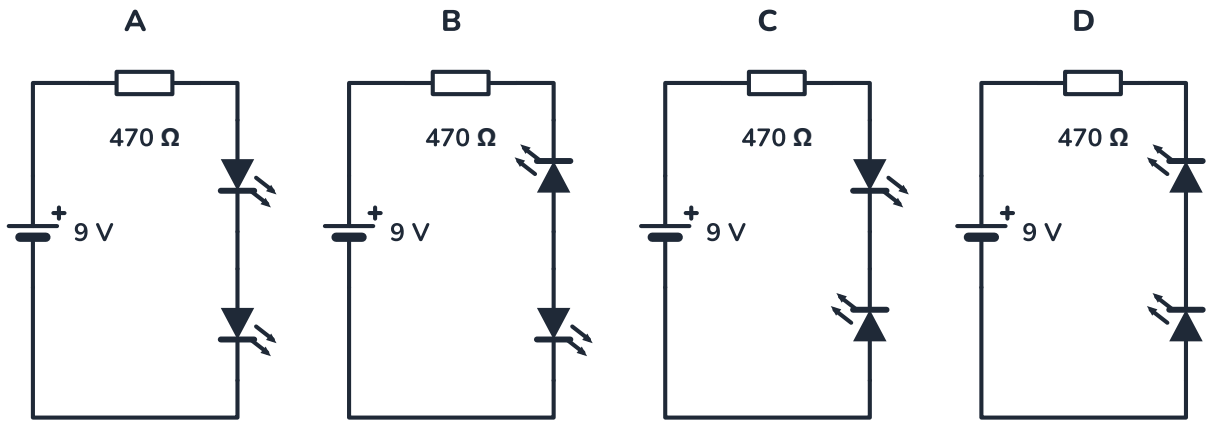
b Waarom is n-type silicium niet negatief geladen?

c Waarom geleidt zuiver silicium beter als het warm wordt, en koper niet?

23.2 Welke leds branden?

●○○ Oefenen 3 Begrijpen 10 min

Vier kringen met een batterij van 9 V, een weerstand van 470 Ω en twee leds in serie. De leds staan telkens anders.



Kringen A tot D; de pluspool van de batterij zit bovenaan.

a In welke kring branden beide leds? In welke geen enkele?

b In kring A: hoe groot is de stroom als elke led 2,0 V nodig heeft?

c In kring B brandt er niets. Hoeveel spanning staat er over de omgekeerde led? Is dat gevaarlijk voor een led?

23.3 Kleur en spanning

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik $E\ (\mathrm{eV}) \approx 1240/\lambda\ (\mathrm{nm})$.

a Bereken de fotonenergie van een infrarode led (940 nm), een oranje (605 nm) en een ultraviolette (395 nm).

b Schat telkens de drempelspanning. Welke van de drie kan je laten branden met één verse AA-cel (1,55 V)?

c Waarom krijg je een witte led nooit aan de praat met twee AA-cellen in serie (3,1 V) en een weerstand van 100 Ω?

23.4 Voorschakelweerstanden

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Kies telkens de E12-waarde die de stroom net niet overschrijdt (... 100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 560, 680, 820, 1000 ...).

a Vul de tabel in.

situatie	berekend R	gekozen R	echte I	P in R
(a) rode led 2,0 V, 5 V, 15 mA				
(b) blauwe led 3,1 V, 5 V, 10 mA				
(c) twee rode leds in serie, 9 V, 20 mA				
(d) groene led 3,0 V, 12 V, 20 mA				

b Bij (d) zie je veel verlies. Hoe kan je hetzelfde licht maken met minder verlies op 12 V?

23.5 Aan of uit?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 10 min

Een npn-transistor en een n-MOSFET schakelen elk een lampje van 12 V; de emitter en de source hangen aan de massa.

a De basis van de npn ligt via 1 kΩ aan 0 V. En aan 5 V. Staat de transistor telkens aan of uit? Waarom?

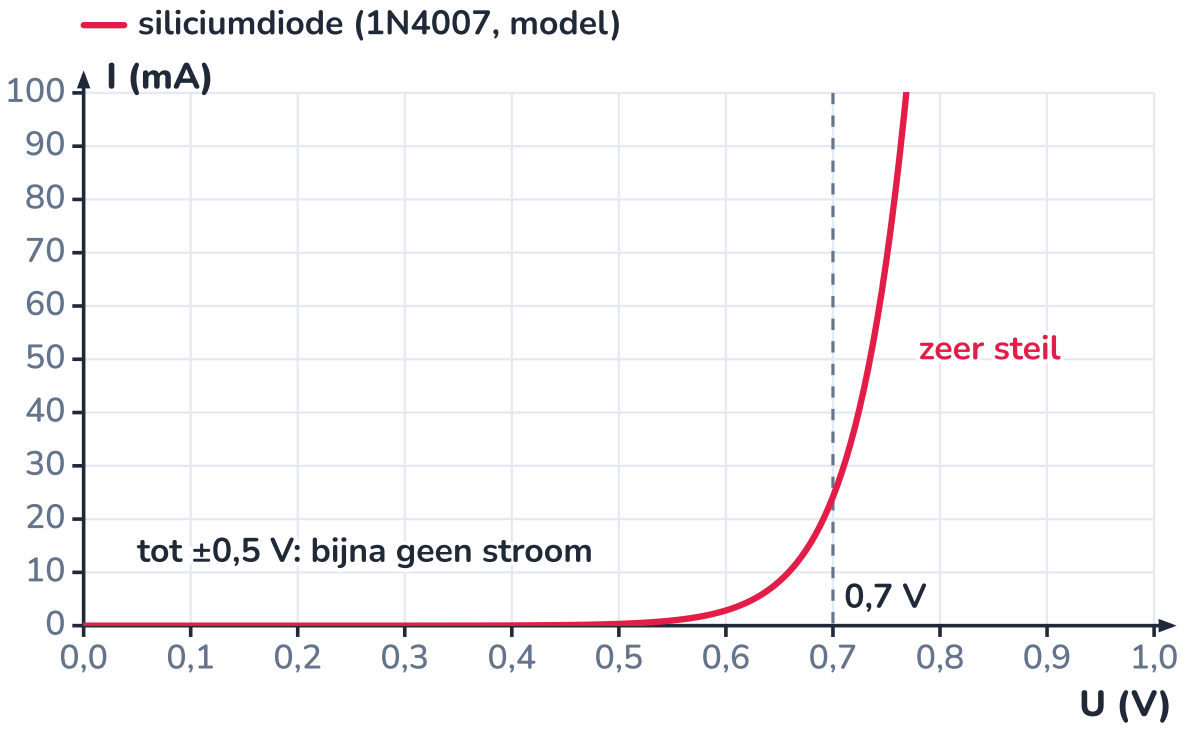
b De gate van de MOSFET krijgt 5 V, daarna 0 V. Wat doet het lampje?

c Iemand vergeet de pull-down en laat de gate los ('zwevend'). Waarom kan het lampje dan toch branden, of half?

23.6 Een karakteristiek aflezen

●●○ Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Gebruik de karakteristiek van de siliciumdiode uit het handboek (lineaire schaal, 0 tot 100 mA).



Karakteristiek van de siliciumdiode.

a Lees de spanning af bij 10 mA en bij 60 mA.

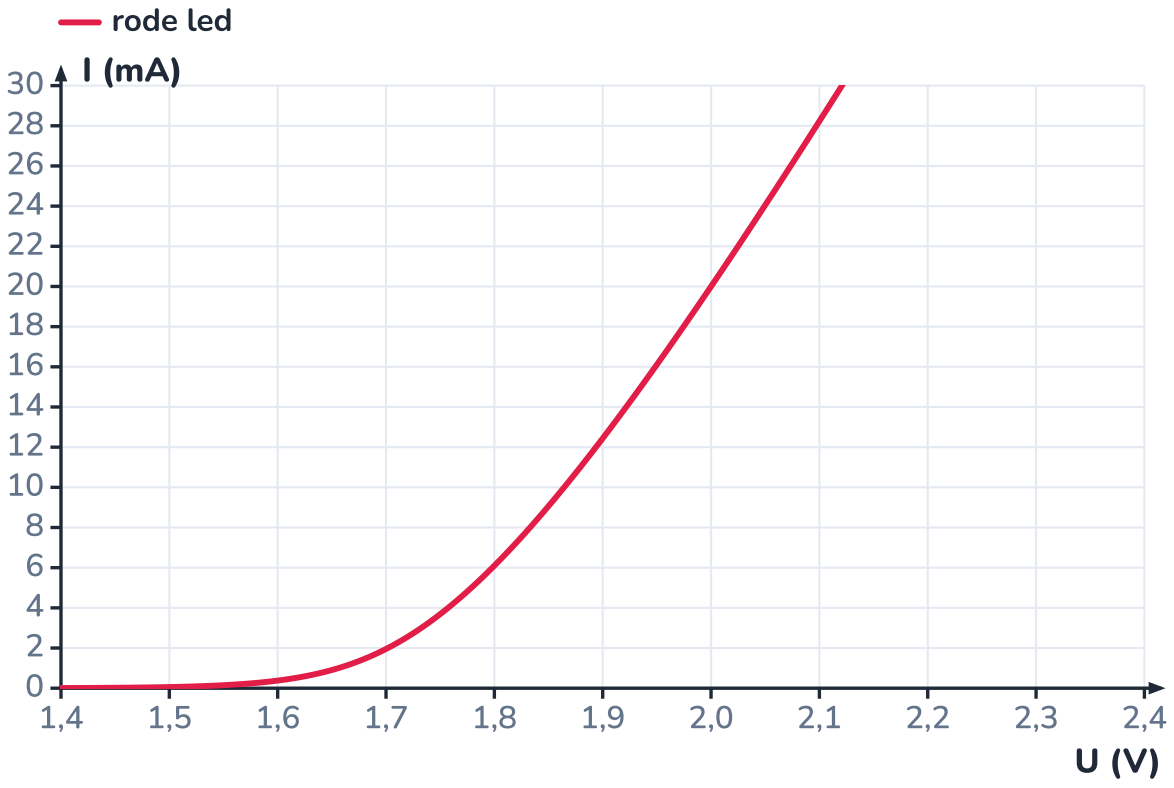
b Bereken telkens U/I. Is een diode een ohmse weerstand?

c Hoeveel verandert de stroom als de spanning van 0,70 naar 0,75 V gaat? Wat zegt dat over een diode (of led) rechtstreeks op een spanningsbron?

23.7 Het werkpunt van een led tekenen

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Een rode led staat in serie met een weerstand van 150 Ω op 5,0 V.



Karakteristiek van een rode led; teken hier de werklijn in.

a Schrijf de maaswet en herschrijf ze als werklijn $I(U)$. Bereken twee punten ervan binnen het getekende gebied.

b Teken de werklijn in de grafiek en lees het werkpunt af.

c Vergelijk met de berekening met $U_F = 2{,}0\ \mathrm{V}$. Wat gebeurt er met het werkpunt als je 220 Ω neemt?

23.8 Een gelijkrichter doorrekenen

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een transformator van 9 V~ (effectieve waarde) voedt via een siliciumdiode een weerstand van 220 Ω.

a Bereken de topwaarde van de ingang. Welke topwaarde krijgt de weerstand (reken met 0,7 V)?

b Welke spanning staat er in sperrichting over de diode? Welke diode kies je?

c In een bruggelijkrichter staan vier diodes, en de stroom gaat telkens door twee ervan. Teken de brug en bereken de topwaarde van de uitgang.

23.9 Een ventilator schakelen met een PN2222A

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een kleine ventilator van 12 V trekt 0,15 A. Je schakelt hem low-side met een PN2222A vanuit een pin van 5 V. Datasheet: $\beta \geq 100$ bij 150 mA; $U_{CE(sat)} \leq 0{,}3\,\text{V}$ en $U_{BE(sat)} \leq 1{,}2\,\text{V}$ bij 150 mA en 15 mA basisstroom.

a Bereken de minimale basisstroom en kies een basisstroom met een overstuurfactor van ongeveer 5.

b Bereken de basisweerstand (reken met $U_{BE} = 0{,}9\,\text{V}$) en kies een E12-waarde.

c Hoeveel vermogen verliest de transistor hoogstens? Wat ontbreekt er nog in de schakeling?

23.10 De juiste MOSFET kiezen

Toepassen · 6 · Analyseren · 20 min

Voor de pomp (12 V, 1,0 A, aan een pin van 5 V) liggen drie MOSFETs in de schuif.

type	U_{DS} max	I_D max	$U_{GS(th)}$	$R_{DS(on)}$ volgens de datasheet
IRLZ44N	55 V	47 A	1,0-2,0 V	≤ 0,025 Ω bij 5 V; ≤ 0,035 Ω bij 4 V
IRF540N	100 V	33 A	2,0-4,0 V	≤ 0,044 Ω bij 10 V (bij 5 V niet gegeven)
2N7000	60 V	0,2 A	0,8-3,0 V	≤ 5,3 Ω bij 4,5 V

a Welke twee vallen af? Geef voor elk de reden met een getal uit de tabel.

b Bereken het verlies en de opwarming van de gekozen MOSFET, bij 5 V en (als de pin zakt) bij 4 V. $R_{\theta JA} = 62\,^\circ\mathrm{C/W}$.

c Waarom is een MOSFET met een veel te grote I_D (47 A voor 1 A) geen verspilling?

23.11 Labo: leds en de constante van Planck

Toepassen · 6 · Labo · 50 min

Bepaal voor leds van verschillende kleuren de spanning waarbij ze net beginnen te branden (in een verduisterd lokaal, met een weerstand van 1 kΩ en een regelbare voeding). Omdat $eU \approx hf$, geeft de helling van U tegen de frequentie $f = c/\lambda$ een schatting van h/e. Een

voorbeeldmeting: 630 nm: 1,76 V; 605 nm: 1,85 V; 590 nm: 1,88 V; 525 nm: 2,15 V; 470 nm: 2,40 V; 395 nm: 2,95 V.

a Meet de drempelspanning van minstens vijf kleuren. Zoek de golflengte op (verpakking of datasheet).

kleur	λ (nm)	f (10^{14} Hz)	U drempel (V)

b Zet U uit tegen f en teken de best passende rechte.

c Bepaal h uit de helling ($h = e \cdot$ helling). Doe het ook met de voorbeeldmeting en vergelijk met $6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$.

d Noem twee redenen waarom deze methode maar een schatting geeft.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Meting	Minstens vijf kleuren, telkens op dezelfde manier 'net zichtbaar' bepaald, verduisterd lokaal.
Verwerking	f correct berekend (c / λ), grafiek met de rechte, helling met eenheid V·s.
Resultaat	h berekend en vergeleken met de echte waarde, afwijking in procent.
Kritisch	Oordeel 'net zichtbaar' is subjectief; leds geven een band van golflengten; InGaN-leds hebben een extra spanningsval.

23.12 C++: een drukknop om de pomp met de hand te laten draaien

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Breid het programma `pomp.ino` uit het handboek uit. Een drukknop tussen pin 4 en de massa (met `INPUT_PULLUP`) moet de pomp 30 seconden laten draaien, los van het uurschema, maar nooit zonder water.

a Welke nieuwe variabele heb je nodig om de 30 seconden bij te houden? Waarom geen `delay(30000)`?

b Schrijf de aanpassingen aan `setup()` en `loop()`.

c Wat gebeurt er als iemand de knop ingedrukt houdt? Is dat een probleem?

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

23.13 Habitat: drie 12 V-verbruikers aansturen

Uitdagen · 7 · Habitat · 60 min

De microcontroller van de klimaatmodule stuurt drie 12 V-verbruikers aan: de pomp (1,0 A), de CO_2-klep (magneetventiel, 6 W) en de ventilatoren (5 W samen). Pinnen 9, 10 en 11 zijn vrij (alle drie geschikt voor PWM, hoofdstuk 25). De rail staat op 12,8 V.

a Teken het volledige schema: rail, zekeringen, verbruikers, diodes, MOSFETs, weerstanden, pinnen, massa en sterpunt.

b Bereken de stroom van elke verbruiker, het verlies in elke MOSFET (IRLZ44N) en kies de zekeringen.

verbruiker	stroom (A)	verlies MOSFET (mW)	zekering	vrijloopdiode?

c Hoeveel stroom leveren de drie pinnen samen als alles aanstaat? En de 5 V-rail extra voor de pull-downs?

d Beschrijf een testplan in vier stappen, zodat een fout (verkeerde diode, losse massa) niets kapotmaakt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schema	Drie keer: zekering, verbruiker met vrijloopdiode (kathode aan de plus), low-side IRLZ44N, 220 Ω naar de pin, 10 kΩ pull-down; gemeenschappelijke massa via het sterpunt.
Berekeningen	Stromen met I = P/U, verliezen R·I², zekeringen net boven de stroom (met aanloop).
Stuurstroom	Inzicht dat een MOSFET in rust geen gatestroom trekt; alleen de pull-downs kosten 0,5 mA per stuk.
Testplan	Eerst zonder last of met een lampje; spanning drain-source meten; diode controleren; massa controleren; pas dan de echte verbruikers.

23.14 De piek van een relaisspoel

Uitdagen · 7 · Rekenen · 25 min

Het relais van het handboek (spoel 70 Ω op 5 V, stroom 69 mA) heeft een zelfinductie van ongeveer 0,1 H (orde van grootte). De PN2222A verdraagt tussen collector en emitter hoogstens 40 V.

a Hoeveel energie zit er in de spoel als het relais aan staat?

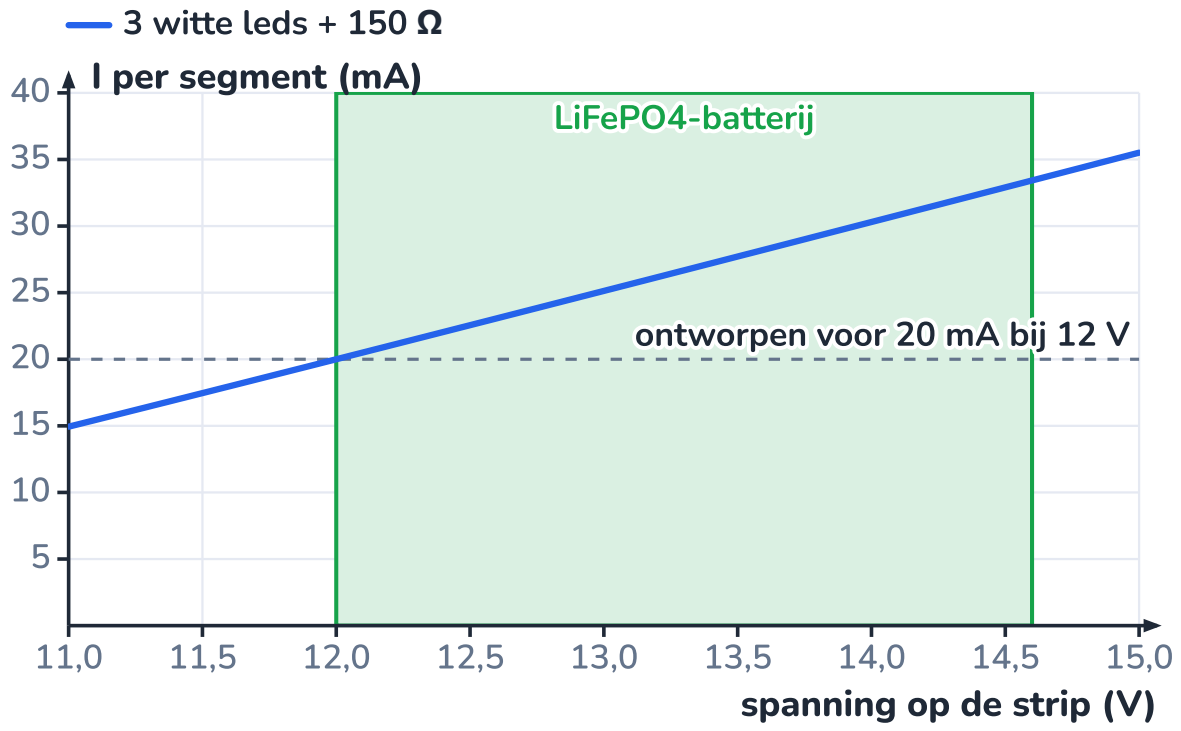
b De transistor schakelt uit in ongeveer 1 µs. Welke spanning zou de spoel dan maken zonder diode? Wat gebeurt er met de transistor?

c Met de diode dooft de stroom uit met een tijdconstante $\tau = L/R$. Bereken τ. Waarom valt het relais daardoor iets later af?

23.15 Een ledstrip op een LiFePO4-batterij

Uitdagen · 6 · Analyseren · 20 min

Gebruik de grafiek van het handboek: stroom per segment (3 witte leds + 150 Ω) in functie van de spanning. De strip van de meetkas heeft 20 segmenten.



Stroom per segment volgens het model.

a Lees de stroom per segment af bij 12,0 V, 13,2 V en 14,4 V. Hoeveel stroom trekt de hele strip bij 14,4 V?

b Bereken het vermogen van de hele strip bij 12,0 V en bij 14,4 V. Wat betekent dat voor de levensduur van de leds?

c Bedenk twee oplossingen, en zeg wat elk kost (in geld, rendement of eenvoud).

23.16 Ontwerp: bescherming tegen ompolen

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 30 min

Wie de 12,8 V-rail van de klimaatmodule per ongeluk omgekeerd aansluit, maakt de elektronica stuk: MOSFETs hebben een ingebouwde diode van source naar drain, en de omvormer verdraagt geen negatieve spanning.

a Een 1N5819 in serie met de voeding van de 5 V-omvormer (piek 0,17 A): hoeveel spanning en vermogen kost dat? Aanvaardbaar?

b Waarom is dezelfde oplossing onbruikbaar voor de hele rail (16,5 A met de lampen)? Reken.

c Een tweede methode: een diode in sperrichting over de ingang, achter de zekering. Leg uit hoe die beschermt. Wat moet er dan zeker in de kring?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Spanningsval en vermogen P = U_F · I correct, met realistische U_F.
Afweging	Verlies tegenover eenvoud; ziet dat een seriediode bij grote stromen niet kan.
Werking	Shuntdiode + zekering: bij ompolen kortsluiting via de diode, de zekering brandt door.

23.17 Debat: de groeilampen schakelen met een relais of met een MOSFET?

●●● Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

De groeilampen van de klimaatmodule trekken samen 14,8 A op 12,8 V (190 W). Een groepje stelt een relais van 30 A voor, een ander een IRLZ44N. De IRLZ44N heeft bij 5 V hoogstens 0,025 Ω, zonder koelplaat 62 °C/W en mag hoogstens 175 °C warm worden; met een koelplaat wordt dat samen ongeveer 7 °C/W.

a Bereken het verlies in de MOSFET en de opwarming zonder en met koelplaat. Wat besluit je?

b Geef twee argumenten voor het relais en twee voor de MOSFET.

c Wat kies je, als je ook weet dat de lampen in hoofdstuk 25 gedimd moeten worden met PWM (honderden keren per seconde aan en uit)?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan met het bindingsmodel van silicium uitleggen wat een halfgeleider is, en wat doteren tot n-type en p-type doet.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen hoe een pn-overgang een sperlaag vormt en waarom een diode de stroom maar in één richting doorlaat.	▢ ▢ ▢
Ik kan de karakteristiek van een diode lezen, meten en met het Shockley-model berekenen, en een werkpunt bepalen.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen hoe een halvegolfgelijkrichter werkt en de uitgangsspanning berekenen.	▢ ▢ ▢
Ik kan het verband tussen de kleur van een led en haar drempelspanning uitleggen en een voorschakelweerstand berekenen en kiezen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een npn-transistor en een n-MOSFET als schakelaar gebruiken en de basisweerstand, de verliezen en de juiste MOSFET kiezen.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen waarom een spoel een spanningspiek geeft bij het uitschakelen en hoe een vrijloopdiode dat oplost.	▢ ▢ ▢
Ik kan een 12 V-pomp veilig aansturen vanuit een microcontroller: schema, onderdelen, berekeningen en code.	▢ ▢ ▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 24

Condensatoren en de RC-tijd

Lading opslaan, tijd maken en een drukknop die maar één keer drukt

Je begint met eenheden, opdrukcodes, $Q = C \cdot U$ en de tijdconstante. In de tweede trede lees je curven af, bereken je vertragingen en rimpel, meet je zelf een RC-curve en zoek je fouten in een knopprogramma. In de uitdagingen ontwerp je de ingangen van het bedieningspaneel (opdracht 24.13, voor je Habitat-portfolio), bewijs je dat bij het laden de helft van de energie verloren gaat, en ontwerp je een supercondensatorbuffer.

6× oefenen · 6× toepassen · 6× uitdagen · ± 434 min

L Elektriciteit en elektronica · W Wiskundig modelleren



Achter de knop 'kasdak' zitten twee weerstanden, een condensator en een chipje: samen maken ze van één druk één signaal.

24.1 Eenheden en opdrukcodes

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

Condensatoren dragen hun waarde in verschillende vormen. Zet om of lees af.

a $0{,}47\ \mu\text{F} =$ _____ nF

b $2200\ \text{pF} =$ _____ nF

c $0{,}1\ \mu\text{F} =$ _____ nF $=$ _____ pF

d Opdruk **473**: _____

e Opdruk **222J**: _____ (met tolerantie)

f $1\ \text{F} =$ _____ µF

24.2 Lading en elektronen

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Op de print van de pompsturing staat een elco van 470 µF, 16 V, over de 12 V-aansluiting.

a Hoeveel lading zit er op de elco bij 12,0 V?

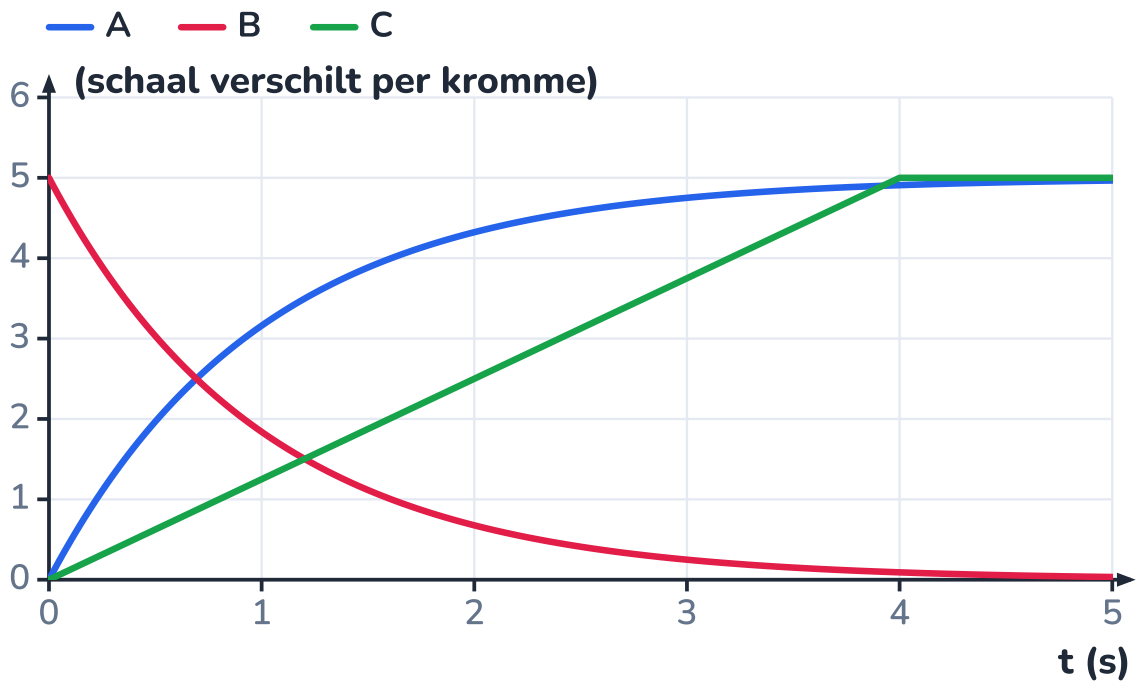
b Hoeveel elektronen zijn er van de ene plaat naar de andere verschoven?

c Een klasgenoot wil dezelfde elco op 24 V gebruiken 'voor dubbel zoveel lading'. Wat zeg je?

24.3 Welke kromme is wat?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een leerling meet in de RC-kring van het handboek (τ = 1,0 s) en tekent drie krommen, zonder erbij te zetten wat ze zijn.



Drie krommen; de verticale schaal verschilt per kromme.

a Welke kromme is de spanning over de condensator tijdens het laden?

- A A
- B B
- C C

b Kromme B kan in de laadkring twee verschillende grootheden voorstellen. Welke?

c Waarom kan kromme C niet de spanning zijn bij het laden via een weerstand?

24.4 Tijdconstanten

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Bereken τ en de tijd tot de condensator praktisch vol is (5τ). Let op de voorvoegsels.

a Vul de tabel in.

	R	C	τ	5τ
(a)	10 kΩ	100 µF		
(b)	4,7 kΩ	220 nF		
(c)	1,0 MΩ	10 µF		
(d) gate van een MOSFET	220 Ω	1700 pF		

b Welke condensator geeft met 10 kΩ een τ van 20 ms? Kies uit 1,0; 2,2; 4,7 en 10 µF, en geef de τ die je dan echt krijgt.

24.5 Een elco juist aansluiten

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

Je wil een elco van 1000 µF over de 12,8 V-rail van de klimaatmodule zetten, vlak bij de H-brug van de dakmotor. Bij het laden van de batterij kan de rail tot 14,6 V stijgen.

a In de schuif liggen elco's van 1000 µF voor 10 V, 16 V, 25 V en 35 V. Welke kies je, en waarom niet de goedkoopste die 'past'?

b Hoe herken je de minkant? Waar komt die aan?

c Wat gebeurt er als je hem omgekeerd aansluit?

d Waarom staat er ook een temperatuur op, en waarom zet je hem liever niet vlak naast de koelplaat van de lamp-MOSFET?

24.6 Elco tegenover supercondensator

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Vergelijk een grote elco van 4700 µF / 25 V (geladen tot 24 V) met een supercondensator van 10 F / 2,7 V (geladen tot 2,7 V).

a Bereken de energie in elk van beide.

b Hoeveel supercondensatoren van 10 F heb je nodig voor 1 Wh (3600 J)?

c Waarom zet je niet gewoon honderd supercondensatoren in serie om 270 V te halen, 'want E groeit met U^{2}'?

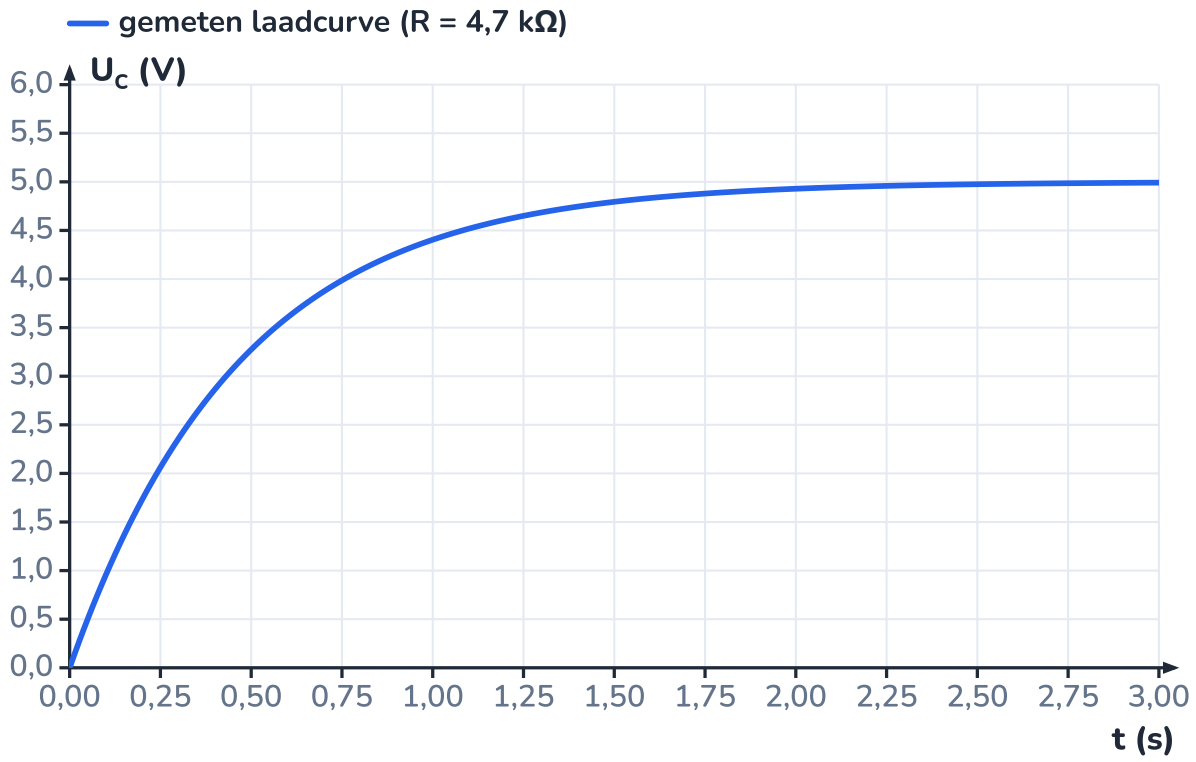
Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

24.7 Een laadcurve aflezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Een condensator laadt via een weerstand van 4,7 kΩ op 5,0 V. Een datalogger tekende de curve.



Gemeten spanning over de condensator.

a Bepaal τ met de 63 %-regel. Toon in de grafiek wat je afleest.

b Controleer met de raaklijn in de oorsprong.

c Bereken de capaciteit. Welke nominale waarde zou erop staan?

d Na hoeveel tijd is de spanning 4,5 V? Reken en controleer in de grafiek.

24.8 Een vertraging met een MOSFET

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Iemand wil dat de ventilatoren nog even nadraaien als het programma ze uitzet, zonder software: een elco van 47 µF tussen gate en source van de MOSFET, en een weerstand van 100 kΩ erover. De pin laadt de gate op 5,0 V (via 220 Ω) en wordt dan een ingang: de elco ontlaadt via 100 kΩ. De IRLZ44N begint te geleiden boven een drempelspanning die volgens de datasheet ergens tussen 1,0 en 2,0 V ligt.

a Bereken τ voor het ontladen.

b Hoe lang na het loslaten gaat de MOSFET uit, in het beste en in het slechtste geval?

c De elco heeft een tolerantie van ±20 %. Hoe groot wordt de spreiding dan?

d Waarom is dit, naast de onnauwkeurigheid, een slecht idee voor een MOSFET die 0,4 A schakelt?

24.9 Labo: een RC-curve meten

Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Bouw de meetopstelling van het handboek (D8, 10 kΩ, elco, A0) met een elco naar keuze tussen 47 en 470 µF. Pas `STAP_MS` en `AANTAL` in rc_meting.ino aan, zodat je ongeveer 5τ

meet in minstens 40 punten.

a Bereken vooraf τ met de nominale waarde, en kies STAP_MS en AANTAL.

b Voer de meting uit en noteer een deel van de waarden.

t (s)	N	U (V)	ln(1 – N/1024)

c Bepaal τ met de 63 %-regel en door te lineariseren (rekenblad of tau.py). Bereken telkens C.

d Vergelijk met de nominale waarde en de tolerantie. Welke methode vertrouw je meer, en waarom?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Voorbereiding	τ vooraf berekend; meettijd ongeveer 5τ, genoeg punten.
Meting	Elco juist gepoold; volledige meetreeks; eenheden in de kop.
Verwerking	τ met twee methoden; punten bij N > 1000 weggelaten bij het lineariseren; C = τ/R.
Besluit	Afwijking in procent vergeleken met de tolerantie (±20 %); kritisch over de methoden.

24.10 Rimpel na een bruggelijkrichter

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een transformator van 9 V~ voedt via een bruggelijkrichter (twee diodes van 0,7 V in de stroomweg) een schakeling die 0,20 A trekt.

a Bereken de topwaarde van de uitgang.

b Schat de rimpel met een elco van 1000 µF.

c Welke capaciteit heb je minstens nodig voor een rimpel van hoogstens 0,5 V? Kies uit 2200, 3300, 4700 µF.

d Welke werkspanning kies je? (Netspanning tot 10 % hoger.)

24.11 C++: waarom telt de knop duizend keer?

Toepassen · 6 · Programmeren · 25 min

Een leerling wil tellen hoe vaak de knop 'kasdak' ingedrukt wordt, en schrijft:

```
const int KNOP = 22;
int teller = 0;

void setup() {
  pinMode(KNOP, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if (digitalRead(KNOP) == LOW) {
    teller++;
    Serial.println(teller);
  }
}
```

a Na één korte druk van 0,3 s staat de teller op een paar duizend. Leg uit waarom (twee redenen).

b Een klasgenoot 'lost het op' door na `teller++` een `delay(300)` te zetten. Wat is daar mis mee in de klimaatmodule?

c Herschrijf `loop()` zodat elke druk precies één keer telt, zonder `delay()`.

24.12 De condensator op de batterijdeler

Toepassen · 6 · Analyseren · 25 min

De batterijspanning komt via 100 kΩ en 33 kΩ op A3 (hoofdstuk 22), met 100 nF tussen A3 en GND. De deler gedraagt zich als een bron met inwendige weerstand $R_1 \parallel R_2$. De ADC laadt bij elke meting een condensatortje van ongeveer 14 pF.

a Bereken de inwendige weerstand van de deler en τ met de 100 nF.

b De pomp slaat aan en de batterijspanning zakt in één keer 0,20 V. Hoeveel verandert de spanning op A3? Hoe lang duurt het tot A3 minder dan één ADC-stap (4,88 mV) van de nieuwe waarde af zit?

c Hoeveel zakt de spanning op A3 als de ADC zijn 14 pF uit de 100 nF laadt? Vergelijk met één stap.

d Waarom zet je er geen 100 µF op, 'voor nog minder ruis'?

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

24.13 Habitat: de ingangen van het bedieningspaneel

●●● Uitdagen · 7 · Habitat · 50 min

Het bedieningspaneel naast de deur krijgt vier knoppen: S1 'kasdak' (D22, handboek), S2 'lampen', S3 'pomp met de hand' en S4 'alarm stil'. De dakmotor krijgt twee eindeloopschakelaars. Alles moet over ongeveer 3 m kabel naar de Mega. Datasheetgegevens 74HC14 bij 5 V (afgeleid uit de tabel bij 4,5 en 6 V): V_{T+} 1,8 tot 3,5 V, V_{T-} 1,0 tot 2,2 V.

a Teken het schema van één ingang (knop, kabel, R1, R2, C, 74HC14, pin) en geef aan hoeveel 74HC14's je nodig hebt voor alle zes de contacten.

b Een fabrikant raadt R1 = R2 = 4,7 kΩ en C = 1 µF aan. Bereken de kortste en langste reactietijd bij indrukken en loslaten. Is dat nog goed tegen 6,2 ms dender?

c Kies drie vrije pinnen voor S2 tot S4 (de eindeloopschakelaars van het dak komen op D23 en D24, hoofdstuk 26). Hoe stel je ze in met pinMode?

d S4 'alarm stil' mag nooit per ongeluk werken. Stel een extra regel voor in software.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schema	Pull-up, knop naar GND, R2 en C juist geplaatst, Schmitt-trigger die omkeert, pin; massa gedeeld.
Berekening	τ voor indrukken (R2 C) en loslaten ((R1 + R2) C), met de uiterste drempels; vergelijking met de dender.
Pinnen	Vrije pinnen gekozen, niet A0-A6, D2, D5-D11, 20/21; pinMode INPUT (geen pull-up achter de 74HC14).
Veiligheid	Voorstel dat een onbedoelde druk op S4 onschadelijk maakt, bv. twee seconden vasthouden.

24.14 De helft van de energie gaat verloren

Uitdagen · 6 · Rekenen · 25 min

Een condensator van 1000 µF wordt via een weerstand R vanaf 0 V geladen op een bron van 12 V.

a Hoeveel lading levert de bron in totaal, en hoeveel energie levert ze daarmee? (Een bron met vaste spanning levert per coulomb U joule.)

b Hoeveel energie zit er op het einde in de condensator? Waar is de rest gebleven?

c Controleer voor $R = 10\,\Omega$: het vermogen in de weerstand is $P = RI^2$ met $I = (U/R)\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$. Tel $P \cdot \Delta t$ op (rekenblad of Python, stappen van 0,1 ms tot 5τ).

d Een klasgenoot zegt: 'Met een kleinere weerstand gaat er minder verloren.' Klopt dat?

24.15 Ontwerp: een supercondensatorbuffer voor de datalogger

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

Werk de buffer van het habitatvoorbeeld uit. De 5 V-rail levert gemiddeld 0,16 A; de Mega moet boven 4,5 V blijven tot het logbestand dicht is (2,0 s is genoeg). De supercondensator is 1,0 F, 5,5 V. De omvormer van 12,8 naar 5 V mag hoogstens 0,5 A extra leveren om hem te laden.

a Hoe lang houdt 1,0 F het vol? Is 0,47 F ook goed?

b Kies een laadweerstand zodat de omvormer nooit meer dan 0,5 A extra levert. Hoe lang duurt het tot de buffer na het inschakelen vol is (5τ)?

c Met die weerstand kan de buffer bij een onderbreking maar traag stroom leveren. Hoe los je dat op met één Schottkydiode? Teken het schema.

d Hoe weet het programma dat de voeding wegviel, zodat het meteen het bestand sluit? Gebruik een ingang die al bestaat.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Δt = CΔU/I correct voor beide waarden; R uit de laadstroom; 5τ.
Schema	Supercondensator via R geladen, diode (anode aan de buffer, kathode aan de rail) voor het terugleveren.
Detectie	Wegvallen gezien via de rail- of batterijspanning (A3) of een eigen ingang, met snelle reactie.
Kritisch	Spanningsval over de diode meegenomen; lekstroom en veroudering van de supercondensator genoemd.

24.16 Python: laden in stappen

Uitdagen · 6 · Programmeren · 30 min

Het handboek toont dat een condensator per tijdstapje een vaste fractie $\Delta t/\tau$ bijkrijgt van wat nog ontbreekt. Een computer kan de laadcurve zo berekenen, zonder de formule met e (in hoofdstuk E4 heet dat de methode van Euler).

a Schrijf een programma dat vanaf $U = 0$ in stappen Δt de regel `U = U + (U0 - U) * dt / tau` toepast tot $t = \tau$, en de spanning afdrukt. Neem $U_0 = 5$ V, $\tau = 1$ s.

b Vul de tabel in voor de stappen 0,5; 0,1 en 0,01 s, en vergelijk met de exacte waarde.

Δt (s)	U na 1 s (V)	exact (V)	fout (%)

c Wat gebeurt er als je Δt = 2 s kiest? Waarom?

24.17 De resetpuls van de Uno

Uitdagen · 7 · Analyseren · 25 min

Op een Uno is de lijn DTR van de USB-chip via 100 nF met de RESET-pin verbonden; RESET heeft een pull-up van 10 kΩ naar 5 V. In rust zijn DTR en RESET allebei 5 V. Opent de computer de seriële poort, dan springt DTR naar 0 V. Stel dat de chip herstart zolang RESET onder 1,0 V blijft.

a Welke spanning staat er over de condensator vlak voor de sprong? En vlak erna? Welke spanning heeft RESET dus vlak na de sprong?

b Hoe verloopt RESET daarna? Hoe lang blijft RESET onder 1,0 V?

c Na enkele seconden springt DTR terug naar 5 V. Welke spanning krijgt RESET dan even, en waarom staat er op de Uno een diode van RESET naar 5 V?

24.18 Debat: ontdenderen in hardware of in software?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

In de meetkas (Uno) hangt de drukknop op D2 met een kort draadje en INPUT_PULLUP, zonder extra onderdelen. In de klimaatmodule krijgt de knop 'kasdak' een RC-filter en een 74HC14. Een klasgenoot vindt dat overdreven: 'software is gratis'.

a Geef twee argumenten voor ontdenderen in software en twee voor hardware.

b Bij welke van deze situaties is hardware bijna onmisbaar: (a) een knop die een interrupt geeft (de chip reageert binnen microseconden, hoofdstuk E37); (b) een knop op 20 cm draad; (c) een knop op 3 m kabel naast een motor?

c Wat kies jij voor het bedieningspaneel, en waarom?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan uitleggen hoe een condensator lading opslaat en rekenen met $Q = C \cdot U$ in F, µF, nF en pF, ook vanuit een opdrukcode.
- Ik kan het laden en ontladen via een weerstand berekenen met $U = U_0(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau})$ en $U = U_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$, met $\tau = R \cdot C$.
- Ik kan de 63 %-regel en de 5τ-regel gebruiken en de tijd tot een drempelspanning berekenen.
- Ik kan de energie in een condensator berekenen met $E = \frac{1}{2}CU^2$ en vergelijken met een batterij.
- Ik kan uitleggen hoe een condensator een gelijkgerichte spanning afvlakt, en de rimpel schatten.
- Ik kan een RC-curve meten met een microcontroller en er τ en C uit bepalen, ook door te lineariseren.
- Ik kan een drukknop ontdenderen met een RC-filter en een Schmitt-trigger of in software, en die keuze verantwoorden.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 25

Van analoog naar digitaal

Van een spanning naar een getal, en van een getal terug naar licht

Je begint met omzetten tussen decimaal, binair en hexadecimaal, ADC-stappen en PWM-signalen aflezen. Daarna reken je met referentiespanningen, kies je bemonsteringsfrequenties, teken je aliasing, meet je PWM door een RC-filter en programmeer je een dimmer. In de uitdagingen ontwerp je de lampsturing van de klimaatmodule (opdracht 25.13, voor je Habitat-portfolio), reken je schakelverliezen uit en weeg je af of meer bits beter meten.

6× oefenen · 6× toepassen · 4× uitdagen · ± 382 min

L Elektriciteit en elektronica · P Programmeren en computationeel denken · W Wiskundig modelleren



Als de zon zakt, gaan de lampen niet plots aan, maar geleidelijk: zoveel als er aan daglicht ontbreekt.

25.1 Analoog of digitaal?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een lijst met signalen en toestellen.

a Zeg telkens of het signaal analoog of digitaal is: (a) de spanning van de TMP36; (b) wat `digitalRead` teruggeeft; (c) de druk onderaan het reservoir; (d) het getal van `analogRead`; (e) een PWM-signaal op pin 9.

b Op welke twee manieren verliest een digitaal signaal informatie?

c Geef één reden waarom je toch digitaal wil werken.

25.2 Binair en decimaal

● ○ ○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Reken om. Toon je werkwijze (gewichten of delen door 2).

a $0000\,1101_2 =$ _____

b $1111\,1111_2 =$ _____

c $1000\,0000\,00_2 =$ _____ (tien bits)

d 57 = _____ (binair, 8 bits)

e 130 = _____ (binair, 8 bits)

f Welk getal volgt binair op 0111 1111? Wat valt je op?

25.3 Hexadecimaal

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

In code en datasheets staan getallen vaak hexadecimaal, met 0x ervoor.

a 0x0F = _____ (decimaal) = _____ (binair)

b 0xA0 = _____ (decimaal) = _____ (binair)

c 200 = 0x _____

d Een kleur op een webpagina is #00FF7F. Hoeveel rood, groen en blauw (elk 0-255)?

25.4 Hoeveel bits heb je nodig?

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een ontwerper wil telkens een aantal verschillende waarden kunnen opslaan.

a Hoeveel bits heb je minstens nodig voor: (a) de 24 uren van een dag; (b) een temperatuur van −20,0 tot +60,0 °C in stappen van 0,1 °C; (c) de 1440 minuten van een dag?

b Een ADC van 12 bit heeft hoeveel niveaus? Hoe groot is de stap bij 3,3 V?

c Waarom gebruikt analogWrite 8 bits en analogRead 10?

25.5 Van spanning naar ADC-waarde

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een ADC van 10 bit met een referentie van 5,00 V.

a Welke ADC-waarde geeft: (a) 1,00 V; (b) 2,50 V; (c) 4,998 V; (d) 5,5 V?

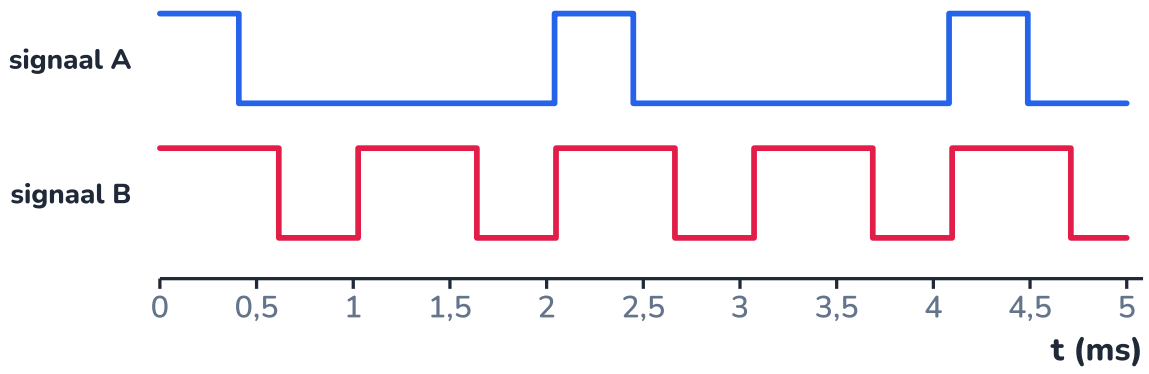
b Een meting geeft N = 614. Tussen welke twee spanningen ligt de echte spanning?

c Een klasgenoot zegt: 'Mijn meter geeft 614, dus de spanning is 2,998 V, tot op de millivolt.' Wat is er mis?

25.6 PWM-signalen aflezen

Oefenen · 4 · Analyseren · 15 min

Een logische analysator toont twee PWM-signalen van 5 V.



Signaal A en B, elk 0 of 5 V.

a Lees voor A en B de periode af, en bereken de frequentie.

b Bepaal de duty cycle van A en B en de gemiddelde spanning.

c Op welke pinnen van een Uno kunnen A en B gemaakt zijn? Welke analogWrite-waarde hoort er ongeveer bij?

●●○ Toepassen Toepassen

meerdere stappen, in een context

25.7 Twee referentiespanningen

●●○ Toepassen ▮▮▮▮▯▯▯ 5 Rekenen 20 min

De pH-module op A2 van de Mega geeft 2,50 V bij pH 7,00 en daalt 0,18 V per pH-eenheid (hoofdstuk 15). De voedingsoplossing moet tussen pH 5,5 en 6,5 blijven.

a Welke spanningen horen bij pH 5,5, 5,8 en 6,5?

b Hoeveel pH is één ADC-stap met de referentie van 5 V?

c Kan je de referentie van 2,56 V (`INTERNAL2V56`) gebruiken? Hoeveel pH per stap wordt het dan?

d De pH-module is maar tot ongeveer 0,1 pH nauwkeurig. Is de fijnere stap dan zinvol?

25.8 Hoe vaak meten?

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Kies voor elk signaal van de klimaatmodule een zinvolle bemonsteringsfrequentie, en verantwoord.

a Vul de tabel in.

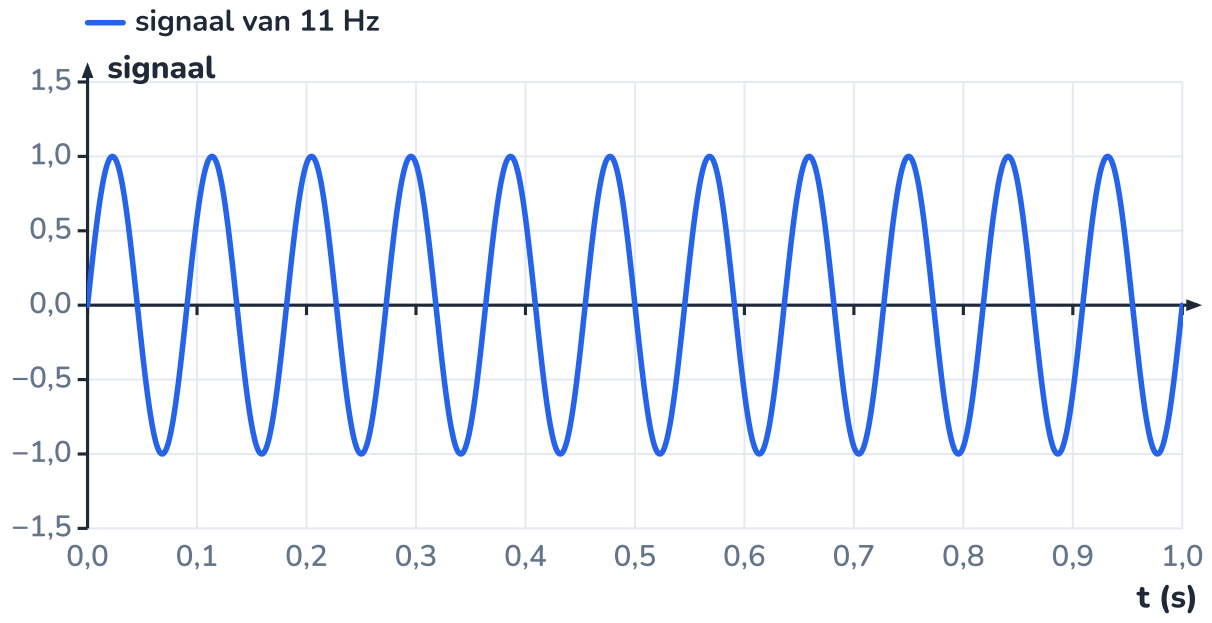
signaal	snelste verandering	bemonstering	waarom
temperatuur voedingsreservoir			
CO_2 in de kweekruimte			
waterniveau in het reservoir (klotst na het aanslaan van de pomp met ±1 Hz)			
batterijstroom met PWM-lampen (490 Hz)			

b Voor het waterniveau wil je alleen het gemiddelde niveau, niet het klotsen. Wat doe je, met de regel van Nyquist in gedachten?

25.9 Aliasing tekenen

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Een signaal van 11 Hz wordt 10 keer per seconde gemeten, te beginnen bij t = 0.



Een signaal van 11 Hz; teken de metingen erop.

a Duid de metingen aan op t = 0; 0,1; 0,2 … 1,0 s.

b Verbind de metingen met een vloeiende kromme. Welke frequentie lijkt het signaal te hebben?

c Vergelijk met het signaal van 9 Hz uit het handboek. Wat is hetzelfde, wat is anders?

d Hoe vaak had je minstens moeten meten?

25.10 Labo: PWM gladstrijken

Toepassen · 6 · Labo · 50 min

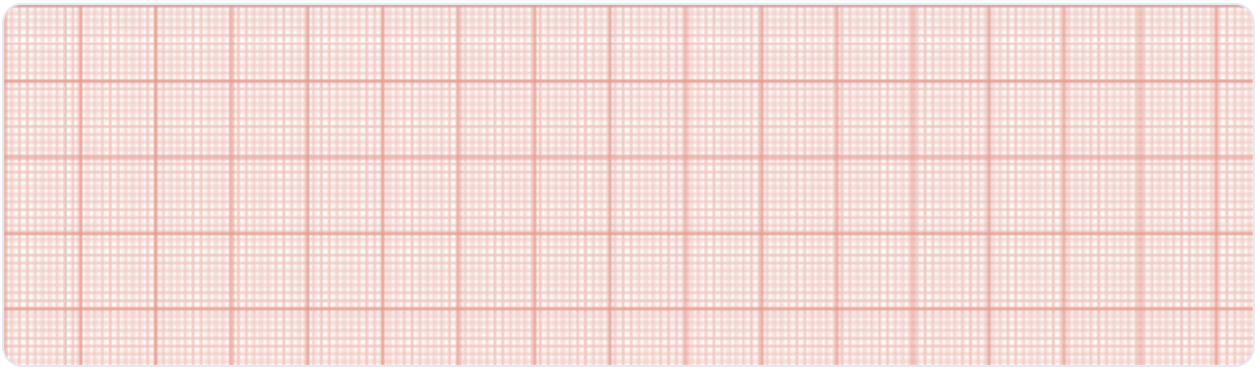
Voer de proef van het handboek uit: pin 9 → 10 kΩ → 10 µF → GND, meet op A0 en met een voltmeter.

a Schrijf het programma: een waarde uit de seriële monitor naar analogWrite, dan 200 metingen van A0 met hun laagste, hoogste en gemiddelde waarde.

b Meet voor minstens vijf waarden.

waarde	D (%)	D · 5 V	voltmeter (V)	A0 min-max	A0 gemiddeld →

c Zet de voltmeterwaarde uit tegen D. Wat verwacht je, en klopt het?



d Vervang 10 µF door 1 µF. Wat verandert er aan de rimpel en aan de insteltijd? Verklaar met τ.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Programma	analogWrite met de ingelezen waarde; 200 metingen met min, max en gemiddelde; geen delay die het meten verstoort.
Meting	Minstens vijf waarden, met eenheden; elco juist gepoold.
Verwerking	Grafiek U tegen D: een rechte door de oorsprong met helling ±5 V.
Verklaring	Rimpel en insteltijd verklaard met τ = RC: kleinere τ, snellere reactie, meer rimpel.

25.11 C++: een dimmer met een potentiometer

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 25 min

Een potentiometer van 10 kΩ tussen 5 V en GND, met de loper op A0. Een led met 220 Ω hangt aan pin 9.

a Schrijf een programma dat de led dimt met de potentiometer.

b Een klasgenoot schrijft `analogWrite(9, analogRead(A0));`. Wat ziet hij als hij aan de knop draait, en waarom?

c Waarom is `analogRead(A0) / 4` hetzelfde als de twee laagste bits weglaten (`>> 2`)?

25.12 Hoeveel data?

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

De datalogger van de klimaatmodule bewaart elke 10 s de zeven analoge waarden (A0-A6), elk in 2 bytes, plus een tijdstempel van 4 bytes.

a Hoeveel bytes per meting, per dag en per jaar?

b Als tekst (CSV) is een regel ongeveer 60 tekens (1 byte per teken). Hoeveel per jaar?

c Hoe lang past dat op een SD-kaart van 8 GB?

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

25.13 Habitat: de lampsturing van de klimaatmodule

Uitdagen · 7 · Habitat · 60 min

Werk de lampsturing uit het handboek verder uit. Het energiebeheer van hoofdstuk 20 zegt: laadtoestand boven 40 %: lampen volgens schema; tussen 20 en 40 %: alleen als de zonnepanelen leveren; onder 20 %: lampen uit. Met PWM kan dat zachter. De laadtoestand is in het programma beschikbaar als `float soc` (0-100).

a Stel een regel voor die de lampen niet in één klap uitschakelt, maar hun maximum geleidelijk verlaagt tussen 40 en 20 %. Schrijf ze als formule en als een stukje C++.

b Bereken de PWM-waarde bij 3000 lux daglicht en een laadtoestand van 30 %, met jouw regel.

c Bereken het verlies in de MOSFET bij die waarde (geleiding en schakelen) en de opwarming op de koelplaat.

d Wat gebeurt er met de stroommeting op A4, en hoe pas je die aan?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Regel	Continu tussen 20 en 40 %, geen sprong; ondergrens en bovengrens juist; in code met constrain of map.
Berekening	Tekort aan daglicht en de begrenzing correct gecombineerd (de kleinste van beide).
Verliezen	Geleiding D · R · I² en schakelen 2 · ½ U I t · f; opwarming met 7 °C/W.
Meten	Aliasing herkend; middelen over een geheel aantal PWM-perioden of filteren.

25.14 Schakelverliezen en de PWM-frequentie

●●● Uitdagen · 7 · Rekenen · 25 min

Elke keer dat de MOSFET van de groeilampen schakelt, staan er even tegelijk spanning en stroom over. Met de gateweerstand van 220 Ω duurt een flank ongeveer 3 µs; reken met $E = \frac{1}{2} \cdot U \cdot I \cdot t$ per flank ($U = 12{,}8\ \mathrm{V}$, $I = 14{,}8\ \mathrm{A}$).

a Bereken de energie per flank en het schakelverlies bij 490 Hz en bij 20 kHz.

b Vergelijk met het geleidingsverlies bij D = 50 %. Wat besluit je?

c De gate is een condensator die per flank ongeveer 50 nC lading nodig heeft. Welke gemiddelde stroom levert de pin bij 20 kHz? En welke piekstroom als de flank 3 µs duurt?

d Waarom gebruikt men voor hoge PWM-frequenties een aparte gatedriver?

25.15 Onderzoek: ziet het oog lineair?

Uitdagen · 6 · Onderzoeken · 40 min

Een led aan pin 9 wordt gedimd met analogWrite. Het licht is evenredig met de duty cycle, maar ons oog lijkt daar anders over te denken.

a Ontwerp een proef: laat proefpersonen kiezen welke waarde 'half zo fel' lijkt als 255. Wat verander je, wat meet je, wat hou je gelijk?

b Voer de proef uit met minstens vijf personen. Noteer hun keuzes.

persoon	'half zo fel' bij waarde	D (%)

c Wat besluit je? Waarom maakt dat voor een lamp voor planten niet uit, en voor een lamp voor mensen wel?

25.16 Debat: een ADC van 16 bit kopen?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Een groepje wil voor de klimaatmodule een externe ADC van 16 bit kopen (via I²C, hoofdstuk 30), 'want dan meten we alles 64 keer nauwkeuriger'. De sensoren: NTC (±0,5 °C na ijking), pH-module (±0,1 pH), druksensor MPX5010 (±5 % van het bereik), LDR (±30 % tussen exemplaren).

a Klopt 'nauwkeuriger'? Gebruik de begrippen resolutie en nauwkeurigheid.

b Voor welke sensor zou 16 bit echt iets opleveren, en voor welke zeker niet?

c Wat raad je het groepje aan?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan het verschil tussen een analoog en een digitaal signaal uitleggen: bemonsteren in de tijd en afronden in niveaus.
- Ik kan getallen omzetten tussen decimaal, binair en hexadecimaal, en uitleggen wat een bit en een byte zijn.
- Ik kan de resolutie en het bereik van een ADC berekenen, een spanning omrekenen naar een ADC-waarde en omgekeerd, en uitleggen hoe een ADC met opvolgende benadering werkt.
- Ik kan een bemonsteringsfrequentie kiezen en herkennen wanneer aliasing optreedt.
- Ik kan een PWM-signaal beschrijven met periode, frequentie en duty cycle, en de gemiddelde spanning en het vermogen berekenen.
- Ik kan met analogWrite een led, een ledstrip of groeilampen dimmen via een MOSFET, en de verliezen schatten.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 26

Motoren en actuatoren

Van een kompasnaald die uitwijkt naar een dak dat zacht dichtschuift

Je begint met de rechterhandregels, velden en krachten, relais, servo's en stappenmotoren. Daarna lees je motorkarakteristieken, reken je overbrengingen, vul je de H-brug in, meet je aan een motortje en programmeer je een servo. In de uitdagingen kies en stuur je de dakmotor van de klimaatmodule (opdracht 26.14, voor je Habitat-portfolio), ontwerp je een doseerpomp met een stappenmotor en beveilig je een motor tegen blokkeren.

6× oefenen · 7× toepassen · 4× uitdagen · ± 416 min

L Elektriciteit en elektronica · K Krachten, beweging en constructies · R Regelen en robotica



Een wormwielmotor, een tandriem en twee eindeloopschakelaars: zo schuift het kasdak open en dicht.

26.1 Richtingen bepalen

●○○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 15 min

Gebruik de rechterhandregels van het handboek. Beschrijf richtingen als: naar rechts, links, boven, onder, het blad in (⊗) of uit (⊙).

a Een verticale draad voert stroom naar boven. Kijk je van bovenaf: draait het veld met of tegen de klok in?

b Een spoel ligt horizontaal; aan de voorkant (naar jou) loopt de stroom in de windingen naar beneden. Waar is de noordpool: links of rechts?

c Een draad voert stroom naar rechts in een veld dat het blad in wijst. Welke kant op is de kracht?

d Wat gebeurt er met die kracht als je zowel de stroom als het veld omkeert?

26.2 Velden rekenen

●○○ Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\mathrm{T \cdot m/A}$.

a De voedingskabel van de groeilampen voert 14,8 A. Hoe groot is het veld op 2,0 cm van de kabel (één ader)? Vergelijk met het aardveld (50 µT).

b Waarom heeft een kabel met een heen- en een terugader (naast elkaar) veel minder veld rond zich?

c Een spoel zonder kern: 800 windingen op 10 cm, 0,25 A. Bereken B binnenin.

26.3 De kracht op een draad

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Een draad van 5,0 cm ligt loodrecht op een veld van 0,20 T.

a Bereken de kracht bij 1,5 A.

b Hoeveel stroom is nodig voor een kracht van 0,10 N?

c Hoe groot is de kracht als de draad evenwijdig met het veld ligt?

26.4 NO of NC?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Een relais met een wisselcontact (COM, NO, NC) schakelt telkens een 12 V-verbruiker. Het relais is bekrachtigd als de microcontroller 'aan' zegt.

a De pomp moet uit zijn als de microcontroller uitvalt of herstart. Aan NO of NC?

b Een ventilator moet juist blijven draaien als de sturing uitvalt (liever te veel verluchten dan te weinig). NO of NC?

c Waarom is een relais geschikt om een verbruiker op 230 V te schakelen vanuit een microcontroller, en een MOSFET (zoals in hoofdstuk 23) niet?

26.5 Stappen tellen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een stappenmotor van 1,8° per stap hangt aan een driver met STEP en DIR.

a Hoeveel stappen per omwenteling? En in halve stappen, en in 1/16 microstappen?

b Hoeveel pulsen per seconde op STEP voor 30 tpm in volle stappen?

c Na 1234 stappen vooruit en 434 achteruit: hoeveel graden staat de as verder dan bij het begin?

d Waarom weet het programma dat niet zeker als de motor tegen een te grote last draaide?

26.6 Servopulsen

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

De Arduino-bibliotheek Servo zet een hoek van 0 tot 180° lineair om in een puls van 544 tot 2400 µs, elke 20 ms.

a Welke puls hoort bij 45° en bij 135°?

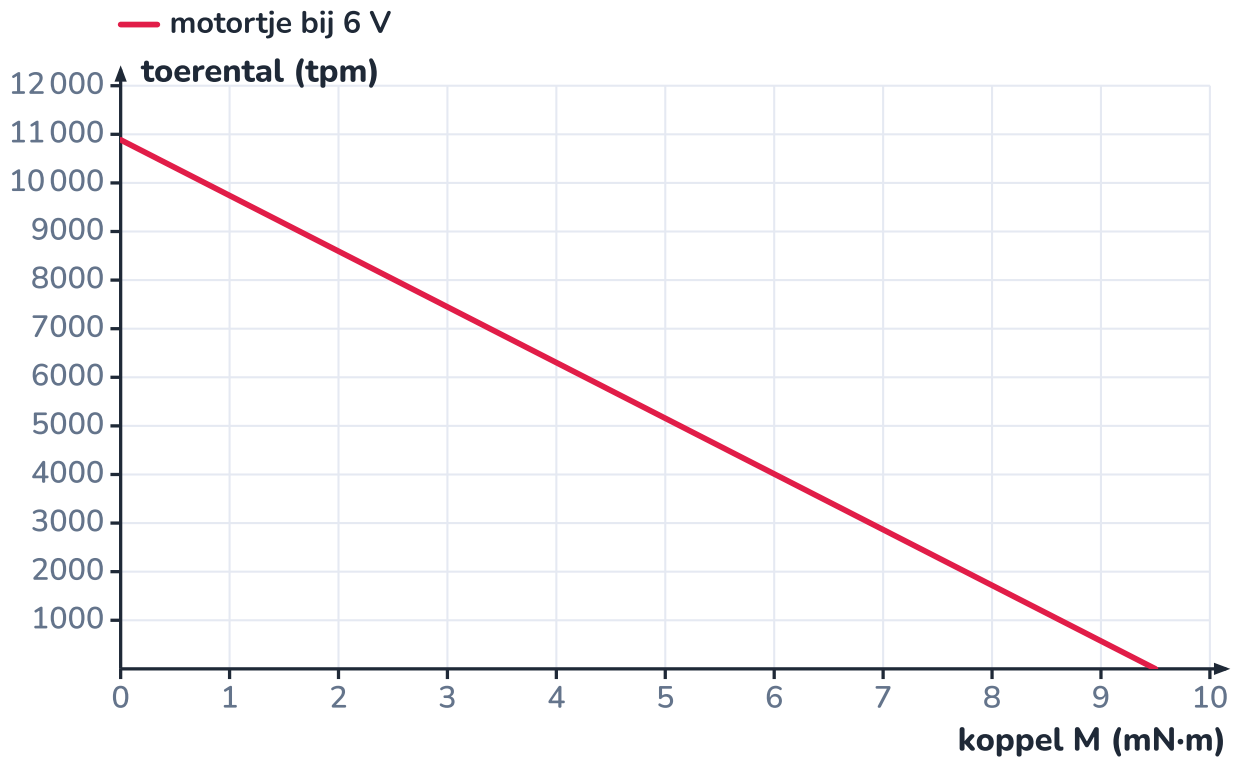
b Welke hoek zet write() als je 1500 µs wil? Waarom is dat niet precies 90°?

c Wat is de duty cycle van een servosignaal van 1,5 ms?

26.7 Een motorkarakteristiek lezen

●●○ Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Een klein motortje van 6 V heeft de karakteristiek hieronder. Het trekt onbelast 0,10 A en geblokkeerd 2,0 A.



Toerental tegen koppel bij 6 V.

a Lees het onbelaste toerental en het blokkeerkoppel af.

b Bij welk koppel levert het motortje het grootste mechanische vermogen? Hoeveel is dat?

c Bereken de weerstand van de wikkeling. Hoe groot is k ongeveer?

d Teken de karakteristiek bij 3 V erbij.

26.8 Overbrenging en toerental

●●○ Toepassen | 5 | Rekenen | 20 min

Een doseerpomp heeft een motortje van 3000 tpm met een tandwielkast 1:100 (rendement 60 %). Het motortje levert bij dat toerental 0,012 N·m.

a Bereken het toerental en het koppel aan de uitgaande as.

b Bereken het mechanisch vermogen vóór en na de tandwielkast. Waar is het verschil gebleven?

c Een klasgenoot zegt: 'Een tandwielkast van 1:100 geeft honderd keer meer vermogen.' Wat antwoord je?

26.9 De H-brug invullen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Een H-brug met vier schakelaars S1 (links boven), S2 (links onder), S3 (rechts boven) en S4 (rechts onder), zoals in het handboek.

a Vul in: wat doet de motor?

S1	S2	S3	S4	gevolg
dicht	open	open	dicht	
open	open	dicht	dicht	
dicht	open	dicht	open	
open	dicht	dicht	open	
open	open	open	dicht	

b De module van de dakmotor heeft per kant één ingang (RPWM, LPWM) die zelf de bovenste of onderste schakelaar kiest. Welke combinatie van ingangen geeft remmen? Kan je met die module de verboden stand maken?

c Bij het omschakelen van vooruit naar achteruit zet een programma meteen de andere richting aan. Wat kan er in de halfbrug gebeuren, en wat voorkomt dat?

26.10 Labo: een motortje meten

Toepassen · 6 · Labo · 50 min

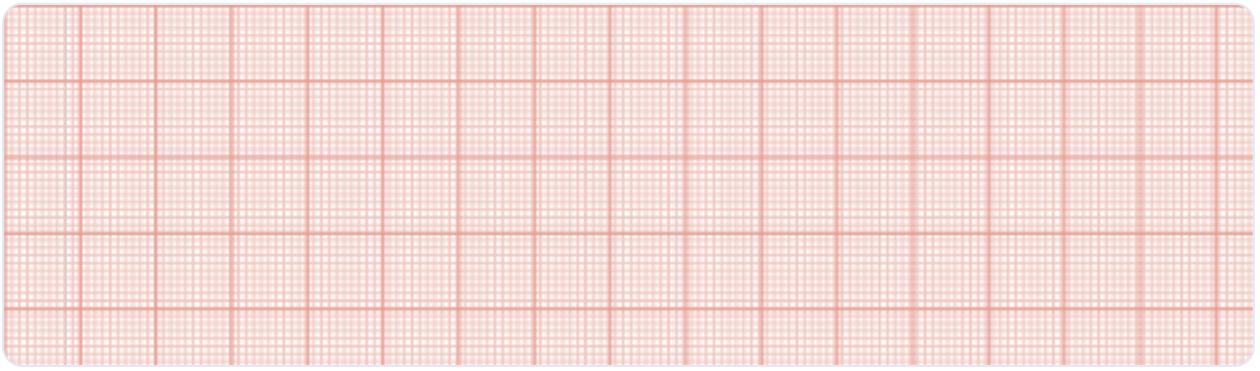
Meet aan een klein motortje (3-6 V) met een voeding, een ampèremeter en een toerenteller (of een smartphone-app die het toerental uit het geluid haalt, of een lichtsluis met een vlagje op de as).

a Meet onbelast het toerental en de stroom bij vijf spanningen.

U (V)	I (A)	n (tpm)

b Meet de weerstand van de wikkeling met de ohmmeter (draai de as een paar keer en neem de kleinste waarde).

c Zet n uit tegen U. Wat verwacht je volgens $U = R\,I + k\,\omega$, en klopt het?



d Bepaal k uit de helling. Rem de as licht met je vingers: wat doet de stroom, wat het toerental?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Meting	Vijf spanningen, stroom en toerental met eenheden; weerstand gemeten.
Grafiek	n tegen U: een rechte, bijna door de oorsprong (kleine offset door $R\,I_0$).
Model	k uit de helling (let op tpm → rad/s); vergelijking met R en I_0.
Belasting	Afremmen: stroom stijgt, toerental zakt; verklaard met het model.

26.11 C++: een servo voor de luchtklep

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Stel dat de ventilatie van de klimaatmodule een klep krijgt die een SG90 opent: 0° dicht, 90° helemaal open. De klep moet evenredig openen tussen 25 °C (dicht) en 30 °C (open). De temperatuur is beschikbaar als `float temp`. De servo hangt aan een vrije digitale pin, bijvoorbeeld D12.

a Schrijf setup() en loop() met de bibliotheek Servo.

b Waarom schrijf je de hoek niet bij elke doorgang van loop(), maar alleen als hij minstens 2° verandert?

c Welke PWM-pinnen van de Mega verliezen hun PWM als je de bibliotheek gebruikt? Heeft dat gevolgen voor Habitat?

26.12 Twee wisselrelais tekenen

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Een ventilator met een gelijkstroommotor moet kunnen blazen én zuigen. Je hebt twee relais met elk een wisselcontact, een voeding van 12 V en een zekering.

a Teken het schema zodat de ventilator in twee richtingen kan draaien en er nooit kortsluiting kan ontstaan.

b Maak een tabel van de vier combinaties van de twee relais.

relais 1	relais 2	ventilator

c Waar komt de vrijloopbeveiliging? (Denk aan de richting die wisselt.)

26.13 Aanloopstroom en zacht aanlopen

Toepassen · 6 · Rekenen · 20 min

Gebruik het model van de dakmotor: R = 1,2 Ω, k = 0,030 N·m/A, I_0 = 0,25 A, worm 1:50 met 40 %, schijf r = 15,9 mm.

a Hoeveel stroom trekt de motor op het eerste moment als je hem rechtstreeks op 12,8 V zet? Hoeveel vermogen gaat er dan in de wikkeling?

b Hoeveel spanning is nodig om het paneel (60 N) net in beweging te houden, bij bijna 0 m/s?

c Met welke PWM-waarde begint het profiel dus bij 12,8 V? Waarom heeft het geen zin om lager te beginnen?

d Welke stroom trekt de motor tijdens het aanlopen met het profiel (verwaarloos de massa)?

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

26.14 Habitat: de dakmotor kiezen en aansturen

●●● Uitdagen | 7 | Habitat | 60 min

In de winter kan er ijs op de rails liggen (hoofdstuk 8: 79 N bij μk = 0,40 en 0,20 m/s² aanlopen). Het dak moet bij regen ook sneller dicht kunnen: 0,15 m/s. Gebruik het model en de tabellen van het handboek.

a Bereken koppel, stroom en toerental van motor B bij 79 N op 12,0 V (de batterij bijna leeg). Haalt het dak 0,15 m/s?

b Welke gemiddelde spanning is nodig voor 0,15 m/s bij 60 N? Kan dat met de 12,8 V-rail?

c Teken het volledige schema van de dakaansturing: rail, zekering, bufferelco, H-brugmodule, motor, pinnen D6/D7/D8, eindeloopschakelaars D23/D24, knop D22 en de massa.

d Beschrijf een testplan in vier stappen, van zonder motor tot een echte sluiting.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	M = F · r; stroom en toerental uit het model; snelheid v = ω r na de worm.
Grenzen	Ziet dat 0,15 m/s meer spanning vraagt dan de rail kan geven, of een andere overbrenging.
Schema	Zekering en elco bij de rail; H-brug met twee PWM-ingangen en enable; eindeloop als verbreekcontact met pull-up; gedeelde massa.
Testplan	Eerst zonder motor (leds of multimeter op de uitgangen), dan motor zonder riem, dan met riem en eindeloop, dan de time-out testen.

26.15 Ontwerp: een doseerpomp met een stappenmotor

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 45 min

Het bijsturen van de pH kost nu een proeftitratie en handwerk (hoofdstuk 15): bijvoorbeeld 90 mL pH-min voor 56 L, in twee helften met 15 minuten rondpompen ertussen. Een peristaltische pomp met een stappenmotor (200 stappen per omwenteling) kan dat automatisch; de pomp verplaatst ongeveer 0,25 mL per omwenteling (te ijken).

a Hoeveel omwentelingen en volle stappen zijn nodig voor één helft (45 mL)? Hoe lang duurt dat bij 60 tpm?

b Waarom is een stappenmotor hier een goede keuze, en een gelijkstroommotor met een timer minder?

c Beschrijf hoe je de pomp ijkt (hoeveel mL per omwenteling echt).

d Welke veiligheidsregels bouw je in de software in? Denk aan wat er mis kan gaan met een zuur.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Omwentelingen, stappen en tijd correct.
Keuze	Positie door te tellen, precieze dosis, geen sensor nodig; last voorspelbaar.
IJking	Meten met een maatcilinder of weegschaal over veel omwentelingen, herhalen.
Veiligheid	Maximale dosis per keer en per dag, wachten en opnieuw meten, alarm bij een onverwachte pH.

26.16 Een geblokkeerde motor herkennen

Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

De module van de dakmotor heeft uitgangen die een spanning geven evenredig met de motorstroom. Stel: de spanning is 0,50 V per ampère, en ze komt op A7. Normaal trekt de motor tot 1,9 A (60 N), met ijs tot 2,5 A.

a Welke ADC-waarden horen bij 1,9 A, 2,5 A en de blokkeerstroom (10 A: let op het bereik)?

b Kies een drempel voor 'geblokkeerd'. Waarom mag je bij het aanlopen niet meteen reageren op één meting?

c De stroom is door de PWM een blokgolf van 490 Hz. Hoe meet je ze betrouwbaar (hoofdstuk 25)?

d Waarom is de time-out van 12 s alleen niet genoeg?

26.17 Debat: stappenmotor of gelijkstroommotor voor het kasdak?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Een groepje stelt voor het kasdak een NEMA 23-stappenmotor voor (houdkoppel ±1,2 N·m) op dezelfde tandriemschijf, zonder eindeloopschakelaars: 'we tellen de stappen, dan weten we altijd waar het paneel is'.

a Geef twee argumenten voor en twee tegen, met getallen waar het kan (koppel, zelfremming, stroom in stilstand).

b Wat gebeurt er met het paneel als de stroom uitvalt, bij elk van beide ontwerpen?

c Welk ontwerp kies jij? Kan een combinatie de beste eigenschappen samenbrengen?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan met de rechterhandregel de richting van het magnetisch veld rond een stroomdraad en in een spoel bepalen.	▢ ▢ ▢
Ik kan de kracht op een stroomdraad in een magnetisch veld berekenen ($F = B \cdot I \cdot l$) en haar richting bepalen.	▢ ▢ ▢
Ik kan uitleggen hoe een relais en een gelijkstroommotor werken, en wat de commutator doet.	▢ ▢ ▢
Ik kan met het model $U = RI + k\omega$ en $M = kI$ uitleggen waarom het toerental met de spanning en het koppel met de stroom samenhangt, en een motorkarakteristiek lezen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een servomotor en een stappenmotor aansturen en uitrekenen welke puls, hoek of stappen daarbij horen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een H-brug tekenen en uitleggen, met de verboden stand, en een motor met PWM in twee richtingen sturen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een motor met overbrenging kiezen voor een gegeven kracht en snelheid, en de aansturing ontwerpen.	▢ ▢ ▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 27

Python: de basis

Van blokken naar tekst: variabelen, rekenen, keuzes, lussen en foutmeldingen die je leert lezen

Je begint met lezen, voorspellen en kleine stukjes code, gaat dan echte keuzes en lussen schrijven en fouten jagen, en eindigt met problemen waarin je zelf een algoritme bedenkt. Werk bij elke opdracht op papier tot de vraag vraagt om het programma te draaien: eerst voorspellen, dan pas controleren. Opdracht 27.14 is een bouwsteen voor de klimaatmodule.

6× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 333 min

P Programmeren en computationeel denken



Dezelfde simulatie twee keer: links in blokken, rechts in Python.

27.1 Van blokken naar Python

● ○ ○ Oefenen | 3 | </> Programmeren | 15 min

Dit aftelscript komt uit F23. De sprite zegt 10, 9, ..., 1 en daarna 'Start!'.



Een teller die aftelt tot 0.

a Schrijf het script in Python. Gebruik `print()` voor 'zeg' en laat de wachttijd weg.

b Het Scratch-blok zegt 'herhaal **tot** tijd = 0'. Welke voorwaarde schrijf je achter `while`? Leg uit waarom ze omgedraaid is.

c Schrijf dezelfde aftelling met `for` en `range()`.

d Wat verander je aan je while-versie zodat ook 0 getoond wordt?

27.2 Welk type, welke waarde?

●○○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Schrijf voor elke uitdrukking op wat Python als uitkomst geeft en van welk type ze is. Controleer daarna in de shell.

a Vul de tabel in.

uitdrukking	type	waarde
7 / 2		
7 // 2		
7 % 2		
2 ** 3		
3.0 * 2		
"7" + "2"		
"7" * 3		
7 > 2		
int("7") + 2		
float(7)		
round(2.567, 1)		
10 / 5		

b Bij welke twee uitdrukkingen is het type anders dan je op het eerste gezicht zou denken? Leg uit.

27.3 Rekenen met // en %

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Schrijf telkens de Python-uitdrukking(en) en de uitkomst.

a De groeilampen branden 1000 minuten. Hoeveel uur en minuten is dat?

b De pomp van de meetkas draait 225 s per dag. Hoeveel minuten en seconden?

c 48 plantplaatsen gaan in goten van 7 plaatsen. Hoeveel goten zijn helemaal vol, en hoeveel plaatsen blijven over?

d De logger bewaart om de 5 minuten een meting, genummerd vanaf 0 om middernacht. Om hoe laat valt meting 170?

e Schrijf een voorwaarde die True is als het getal n even is.

27.4 Voorspel de uitvoer

Oefenen · 4 · Analyseren · 12 min

Voorspel wat dit programma toont, zonder het te draaien. Houd de waarde van elke variabele bij in de kantlijn.

```
a = 5
b = a * 2
a = a + 1
c = b / 4
b = b // 3
print(a, b, c)
print(a + b * 2)
print(f"{c:.1f}")
tekst = "3" * a
print(tekst)
```

a Schrijf de vier regels uitvoer op.

b Welke waarde heeft b op het einde, en waarom is dat geen 3.33?

27.5 Netjes tonen met f-strings

Oefenen · 4 · Programmeren · 15 min

Gegeven: `verbruik = 3269.5` (Wh per dag) en `zon = 1750.0` (Wh per dag in december).

a Schrijf twee print()-regels die precies dit tonen:

```
verbruik: 3,27 kWh per dag
zonnestroom: 1750 Wh (54 % van het verbruik)
```

b Waarom mag je met de variabele die '3,27' bevat niet meer verder rekenen?

27.6 Lees de foutmelding

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Vier leerlingen krijgen een foutmelding (Python 3.13). Zeg telkens welk soort fout het is, op welke regel, wat er fout is, en hoe je het verbetert.

a A

```
print("verbruik per dag)
```

```
  File "budget.py", line 1
    print("verbruik per dag)
          ^
SyntaxError: unterminated string literal (detected at line 1)
```

b B

```
zon = 1400 * 1.25
print("zon:", round(zon, 1)
```

```
  File "budget.py", line 2
    print("zon:", round(zon, 1)
         ^
SyntaxError: '(' was never closed
```

c C

```
maand = int("maart")
```

```
Traceback (most recent call last):
  File "budget.py", line 1, in <module>
    maand = int("maart")
ValueError: invalid literal for int() with base 10: 'maart'
```

d D

```
antwoord = "25"
if antwoord > 20:
    print("warm")
```

```
Traceback (most recent call last):
  File "budget.py", line 2, in <module>
    if antwoord > 20:
       ^^^^^^^^^^^^
TypeError: '>' not supported between instances of 'str' and 'int'
```

Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

27.7 Trace-tabel: algen in het reservoir

Toepassen · 4 · Rekenen · 15 min

In een doorzichtig reservoir verdubbelen de algen elke dag (hoofdstuk 5). Het alarm gaat af boven 500 000 cellen per mL. Het programma zoekt na hoeveel dagen dat gebeurt.

```
algen = 2000            # cellen per mL
dagen = 0
while algen <= 500000:
    algen = algen * 2
    dagen = dagen + 1
print(dagen, algen)
```

a Speel het programma na. Vul een rij in voor elke test van de voorwaarde.

dagen	algen	algen <= 500000?

b Wat toont het programma? Hoeveel keer wordt de voorwaarde getest, en hoeveel keer draait het blok?

c Hoofdstuk 5 rekende met logaritmen 7,97 dagen uit. Waarom geeft de lus 8?

27.8 Van code naar stroomdiagram

Toepassen · 4 · Tekenen · 20 min

Neem het programma kas_simulatie.py uit het handboek (de simulatie van de meetkas).

a Teken het stroomdiagram met de symbolen uit F22. Een stroomdiagram kent geen for: gebruik een teller `uur` en een ruit.

b Waar in je stroomdiagram zit het inspringen van de code?

27.9 De volgorde van elif

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Een leerling schrijft een klimaatwaarschuwing voor de klimaatmodule.

```
temp = 31
if temp > 18:
    print("goed")
elif temp > 26:
    print("warm: ventileren")
elif temp > 30:
    print("te heet: dak open en lampen dimmen")
else:
    print("te koud")
```

a Wat toont het programma voor temp = 31, 22, 27 en 15?

b Waarom verschijnt 'warm' of 'te heet' nooit?

c Herschrijf de keuze zodat elke tak werkt.

27.10 Een EC-meter met advies

Toepassen · 5 · Programmeren · 20 min

De EC van de voedingsoplossing moet tussen 1,2 en 1,8 mS/cm liggen; de streefwaarde is 1,4 (hoofdstuk 13). Een gebruiker typt de gemeten EC, soms met een komma.

a Schrijf een programma dat de invoer omzet (ook met een komma), advies geeft (te laag, te hoog of in orde) en de afwijking van 1,4 in procent toont, met een teken. Zet de invoer voorlopig in een variabele.

b Test met 1,15; 1,2; 1,4 en 1,9. Welke test is een grensgeval, en wat moet daar uitkomen?

27.11 Waar of niet waar?

Toepassen · 5 · Begrijpen · 12 min

In de klimaatmodule gelden op dit moment deze waarden:

```
temp = 27.5
vocht = 82
deur_open = False
nacht = True
```

a Geef de uitkomst (True of False) van elke uitdrukking.

uitdrukking	uitkomst
temp > 26 and vocht > 80	
temp > 30 or vocht > 80	
not deur_open and temp > 26	
nacht and not vocht < 85	
20 <= temp <= 26	
temp > 30 or nacht and vocht > 90	

b Schrijf één voorwaarde voor: de ventilator gaat aan als het warmer is dan 26 °C of vochtiger dan 85 %, maar nooit als de deur openstaat.

27.12 Het dakraam met hysterese

Toepassen · 6 · Programmeren · 25 min

Het dakraam van de meetkas gaat open boven 28 °C en pas weer dicht onder 25 °C (F25). Die twee drempels (hysterese) voorkomen dat het raam bij elke kleine schommeling op en neer gaat. De sensor meet achtereenvolgens: 27; 28,5; 27,9; 28,2; 26; 24,5; 25,5 en 24 °C.

a Schrijf een programma met een variabele `raam_open` (True of False) dat de metingen overloopt, het raam opent of sluit, elke schakeling toont en ze telt. Een for-lus kan over een reeks waarden tussen haakjes lopen.

b Hoeveel keer schakelt het raam? Hoeveel keer zou het schakelen met één drempel van 28 °C (open erboven, dicht eronder)?

c Waarom staat er `and not raam_open` in de voorwaarde om te openen?

27.13 Foutenjacht: vier fouten in één programma

●●○ Toepassen · 6 · Analyseren · 20 min

Dit programma moet het verbruik van de pomp van de klimaatmodule tonen (12 W, 10 minuten per uur). Er zitten vier fouten in.

```
# pomp.py - energie van de pomp van de klimaatmodule
vermogen = 12          # W
minuten = 10           # per uur
energie = vermogen * minuten / 60
if energie > 1
print("de pomp verbruikt meer dan 1 Wh per uur")
print("energie per uur: " + energie + " Wh")
per_dag = energie * 24
print(f"per dag: {per_dg:.0f} Wh")
```

a Python toont je de fouten niet alle vier tegelijk. Geef ze in de volgorde waarin je ze krijgt, met het soort fout en de regel.

b Waarom verschijnt de eerste regel uitvoer al bij de derde fout, maar niet bij de eerste twee?

c Schrijf het verbeterde programma. Wat toont het?

27.14 Habitat: de rekenhulp uitbreiden

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Vertrek van energiebudget.py uit het handboek. De klimaatmodule wil weten wat er in de wintermaanden nodig is om toch 16 lichturen op zonnestroom te halen. PVGIS (Wh per Wp per dag): januari 1,41; februari 2,11; november 1,66; december 1,25. Een paneel van 350 Wp meet 1,65 × 1,00 m.

a Schrijf de twee regels die de maand en de PVGIS-waarde echt met input() vragen, zodat een gebruiker ook '1,25' met een komma kan typen.

b Voeg een while-lus toe die zoekt hoeveel panelen van 350 Wp nodig zijn om het volledige verbruik (3269,5 Wh per dag) op zonnestroom te halen.

c Vul de tabel in met je programma.

maand	panelen nodig	oppervlakte (m²)
januari		
februari		
november		
december		

d Is dat een goed idee? Vergelijk met de vier panelen die er liggen (hoofdstuk 20) en noem een alternatief.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Invoer	input() met omzetting en vervangen van de komma; de maand als tekst of als getal.
Lus	Juiste voorwaarde (stopt bij het eerste aantal dat volstaat), beginwaarde vóór de lus, geen oneindige lus.
Resultaten	Tabel volledig en getest tegen een schatting (verbruik / (350 × PVGIS), naar boven afgerond).
Besluit	Afweging met ruimte op het dak, kosten en de zomer (dan grote overschotten); een alternatief benoemd.

27.15 Het vermoeden van Collatz

●●● Uitdagen · 7 · </> Programmeren · 30 min

Neem een positief geheel getal n. Is het even, deel het door 2; is het oneven, neem 3n + 1. Herhaal. Het vermoeden van Collatz (1937) zegt dat je altijd bij 1 uitkomt. Niemand heeft het ooit bewezen, en niemand heeft een tegenvoorbeeld gevonden. Voorbeeld: 6, 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1 (8 stappen).

a Schrijf een programma dat voor een startwaarde het aantal stappen tot 1 telt en de grootste waarde onderweg bijhoudt. Test het met 6.

b Hoeveel stappen zijn er voor 27, en hoe hoog klimt de reeks?

c Welke startwaarde onder 100 heeft de meeste stappen? Gebruik een lus rond je lus.

d Waarom gebruik je hier while en niet for?

27.16 Onderzoek: kan Python tot 1 tellen?

Uitdagen · 7 · Onderzoeken · 30 min

Tien keer 0,1 optellen is 1. Of niet? Onderzoek hoe Python met kommagetallen omgaat en wat dat betekent voor programma's die metingen vergelijken.

a Voorspel en controleer: wat toont het programma?

```
som = 0
for i in range(10):
    som = som + 0.1
print(som, som == 1)
print(round(som, 9) == 1, abs(som - 1) < 1e-9)
print(0.1 + 0.2 == 0.3, 0.5 + 0.25 == 0.75)
water = 30
for beurt in range(14):
    water = water - 0.24
print(water, round(water, 2))
```

b Zoek twee sommen met kommagetallen die wél exact kloppen en twee die niet kloppen. Welk patroon zie je? (Denk aan het tweetallig stelsel, hoofdstuk 25.)

c Een programma test `if ph == 5.8:` om te weten of de pH precies op de streefwaarde zit. Waarom is dat een slecht idee, en hoe doe je het beter?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Voorspelling	Eerst voorspeld, dan gecontroleerd; afwijkingen benoemd.
Patroon	Breuken met een macht van 2 in de noemer (0,5; 0,25; 0,75) zijn exact, andere niet.
Toepassing	Vergelijken met een marge of afronden, gemotiveerd.

27.17 Debat: blokken of tekst?

●●● Uitdagen · 5 · Argumenteren · 20 min

Een leraar stelt voor om de klimaatmodule in blokken te blijven programmeren (mBlock voor de Arduino), 'want dan maakt niemand typfouten'. Een leerling vindt dat Python en C++ beter zijn.

a Geef twee sterke argumenten voor blokken en twee voor tekst, telkens met een concreet voorbeeld uit dit hoofdstuk.

b Voor welk soort programma of welke gebruiker zou jij blokken kiezen, en voor welk tekst? Motiveer.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan een blokprogramma omzetten in een Python-programma en uitleggen wat de dubbelepunt en het inspringen doen.
- Ik kan variabelen met een zinvolle naam maken en de types int, float, str en bool herkennen en in elkaar omzetten.
- Ik kan rekenen met +, –, *, /, //, % en ** en de volgorde van de bewerkingen toepassen.
- Ik kan resultaten netjes tonen met print() en f-strings, afgerond en met een decimale komma.
- Ik kan uitleggen hoe input() werkt en invoer (ook met een komma) omzetten in een getal.
- Ik kan keuzes programmeren met if, elif en else, met vergelijkingen en met and, or en not.
- Ik kan herhalen met for en range() en met while, en een lus naspelen met een trace-tabel.
- Ik kan een foutmelding lezen, de oorzaak vinden en de fout verbeteren, ook een fout zonder melding.
- Ik kan een Python-rekenhulp schrijven en gebruiken voor het energiebudget van de klimaatmodule.

I INTERMEDIATE · DEEL I7 · PROGRAMMEREN

WERKBOEK · HOOFDSTUK 28

Functies, lijsten en data in Python

Eigen functies, lijsten en woordenboeken, en een week meetdata van de klimaatmodule tot een besluit

Je begint met functies en lijsten op papier en in kleine programma's, gaat dan met het CSV-bestand van de klimaatmodule werken en fouten jagen, en eindigt met een volledige analyse en een eigen ontwerp. Download klimaatmodule_week.csv bij het codeblad in het handboek. Opdracht 28.12 is een bouwsteen voor de klimaatmodule.

5× oefenen | 6× toepassen | 5× uitdagen | ± 346 min

P Programmeren en computationeel denken | A Data en AI | O Onderzoeken en meten



Een week meten levert honderden getallen op; een programma maakt er een besluit van.

28.1 Twee functies schrijven

● ○ ○ Oefenen · 3 · </> Programmeren · 15 min

Voor het energiebudget reken je met € 0,30 per kWh (hoofdstuk 4).

a Schrijf een functie `kosten(wh, prijs=0.30)` met docstring die de kosten in euro geeft van een energie in Wh.

b Wat kost het verbruik van de klimaatmodule (3269,5 Wh per dag) per dag en per jaar, als alles van het net zou komen? Wat per dag bij € 0,25 per kWh?

c Schrijf een functie `kelvin(celsius)` en test ze met 28,6 °C en met het absolute nulpunt.

28.2 print of return?

● ○ ○ Oefenen · 4 · Analyseren · 12 min

Een leerling schrijft een functie voor het gemiddelde en gebruikt ze.

```
def gemiddelde(lijst):
    print(sum(lijst) / len(lijst))
```

```
g = gemiddelde([20, 22, 24])
print(round(g, 1))
```

a Voorspel wat er op het scherm komt. Waarom loopt het programma vast?

b Verbeter de functie met één woord.

28.3 Indexeren en snijden

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

De rekenhulp gaf per maand de lichturen die de zonnestroom kan betalen:

```
lichturen = [9, 14, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 11, 8]
```

a Wat geeft Python voor elke uitdrukking?

uitdrukking	uitkomst
lichturen[0]	
lichturen[11]	
lichturen[-2]	
lichturen[10:]	
lichturen[:3]	
len(lichturen)	
sum(lichturen)	
lichturen.index(8)	
lichturen.count(16)	
sorted(lichturen)[:4]	
lichturen[::3]	
min(lichturen[3:9])	

b Met welke slice krijg je de lichturen van de drie zomermaanden juni, juli en augustus?

28.4 Voorspel: lijsten die veranderen

Oefenen · 4 · Analyseren · 12 min

Voorspel wat dit programma toont. Teken eerst de naamkaartjes en de lijsten.

```
a = [1, 2, 3]
b = a
c = a.copy()
b.append(4)
c[0] = 99
a[1] = a[1] * 10
print(a)
print(b)
print(c)
print(len(a) + len(c))
```

a Schrijf de vier regels uitvoer op.

b Waarom verandert c niet mee met a, en b wel?

28.5 Een woordenboek: de pintabel

Oefenen · 4 · Programmeren · 15 min

De Arduino Mega van de klimaatmodule heeft een vaste pintabel: A0 NTC reservoir, A1 LDR, A2 pH-module, A3 batterijdeler; D2 vlotterschakelaar, D9 pomp (MOSFET).

a Maak een woordenboek `pinnen` met de vier analoge pinnen en toon welk onderdeel op A2 zit.

b Voeg D9 en D2 toe en toon alle pinnen gesorteerd op hun naam.

c Wat gebeurt er bij `pinnen["A7"]`? Hoe vraag je A7 op zonder foutmelding, met 'vrij' als antwoord?

28.6 Trace: het maximum zoeken

●●○ Toepassen · 4 · Rekenen · 12 min

Speel de functie `grootste()` uit het handboek na voor de zonnestroom per dag: `[7465, 5105, 1547, 3077, 6949, 7717, 4676]`.

a Vul de trace-tabel in.

w	w > beste?	beste daarna

b Hoeveel vergelijkingen doet de functie voor een lijst met n waarden? En hoeveel keer verandert beste hier?

c Een leerling begint met `beste = 0` in plaats van de eerste waarde. Voor welke lijsten gaat dat mis?

28.7 Een CSV-bestand lezen zoals Python het doet

●●○ Toepassen · 4 · Analyseren · 15 min

Een stuk uit klimaatmodule_week.csv:

```
tijdstip,temperatuur_C,vocht_pct,verbruik_Wh,zon_Wh
2026-04-22 06:00,19.2,83,595,25
2026-04-22 09:00,19.7,78,525,314
2026-04-22 12:00,,78,454,611
2026-04-22 15:00,21.1,76,483,484
```

a Hoeveel kolommen en hoeveel gegevensrijen staan hier? Welke meting ontbreekt?

b Schrijf het woordenboek dat `csv.DictReader` geeft voor de rij van 12 uur.

c Welk type heeft `rij["zon_Wh"]`? Wat is `rij["zon_Wh"] + rij["zon_Wh"]` voor die rij?

d Een Belgisch rekenblad bewaart CSV vaak met een puntkomma als scheidingsteken en een decimale komma. Hoe zien de kop en de eerste gegevensregel er dan uit? Wat verander je aan je programma?

28.8 Foutenjacht in een CSV-programma

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Dit programma moet het totale verbruik en de gemiddelde temperatuur van de meetweek tonen. Er zitten vier fouten in; drie geven een foutmelding.

```python
# weektotaal.py - totaal verbruik en gemiddelde temperatuur van de week
import csv

verbruik = []
temperaturen = []
with open("klimaatmodule_week.csv", newline="", encoding="utf-8") as bestand:
    for rij in csv.DictReader(bestand):
        verbruik.append(rij["verbruik_Wh"])
        temperaturen.append(float(rij["temperatuur"]))

print("totaal verbruik:", sum(verbruik), "Wh")
print("gemiddelde temperatuur:", sum(temperaturen) / len(verbruik))
```

a Python toont de drie meldingen na elkaar: telkens als je er één verbetert, verschijnt de volgende. Welke fouten zijn het, in volgorde, en hoe verbeter je ze?

b Na die drie verbeteringen toont het programma een gemiddelde van 21,07 °C. Waarom is dat fout, en wat is het juiste gemiddelde?

28.9 Gemiddelde temperatuur per dagdeel

Toepassen · 5 · Programmeren · 20 min

De beheerder wil weten hoe warm het gemiddeld is in de nacht (0-6 uur), de ochtend (6-12), de middag (12-18) en de avond (18-24), over de hele week.

a Schrijf een programma met een woordenboek dat voor elk dagdeel een lijst temperaturen verzamelt uit klimaatmodule_week.csv, en daarna per dagdeel het gemiddelde en het aantal metingen toont.

b Waarom heeft de middag één meting minder dan de andere dagdelen?

28.10 Van blokken naar dagen

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 20 min

Het verbruik staat per blok van drie uur in een lijst van 56 waarden, acht per dag. (De lijst kopieer je uit het bestand, of je leest ze in zoals in inlezen.py.)

a Schrijf een functie `dagtotalen(waarden, per_dag=8)` die telkens acht opeenvolgende waarden optelt en een lijst met zeven dagtotalen teruggeeft. Gebruik slicing.

b Schrijf een functie `naar_kwh(lijst_wh)` die een nieuwe lijst in kWh geeft (2 decimalen), met een lijstomschrijving.

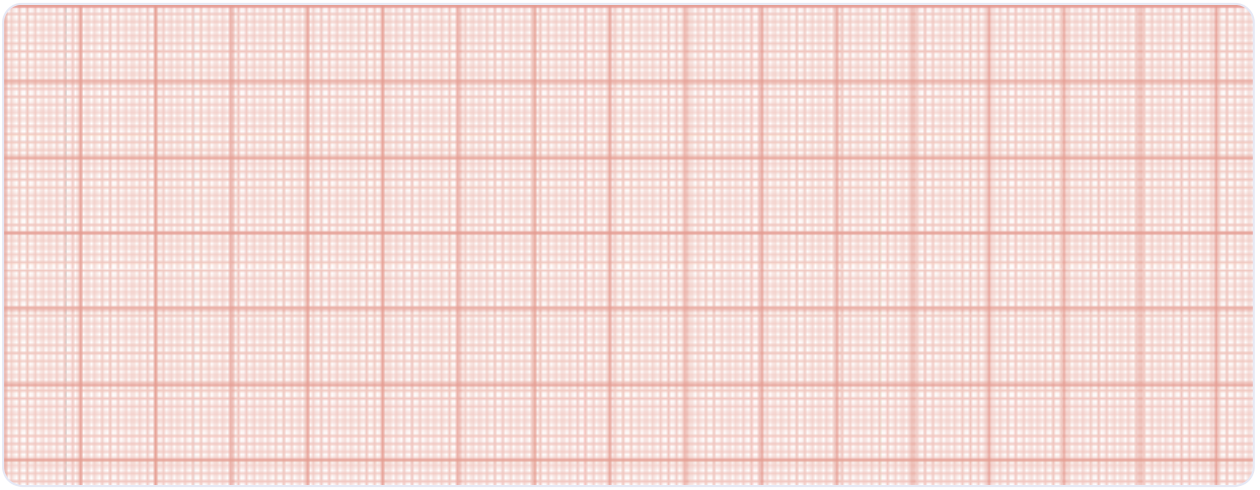
c Controleer je dagtotalen met de tabel van per_dag.py in het handboek.

28.11 De vochtigheid in een grafiek

●●○ Toepassen · 4 · Tekenen · 25 min

De kolom vocht_pct bevat de relatieve luchtvochtigheid. Op woensdag 22 april (de regendag) meet de module: 00 uur: 83 %, 03 uur: 82 %, 06 uur: 83 %, 09 uur: 78 %, 12 uur: 78 %, 15 uur: 76 %, 18 uur: 80 %, 21 uur: 83 %.

a Teken de vochtigheid van woensdag op millimeterpapier, met de tijd (uur) horizontaal. Kies een schaal die het papier goed vult.



b Welke regels van grafiek_week.py verander je om de vochtigheid van de hele week te tekenen? Schrijf ze.

c Vergelijk met de temperatuurgrafiek: wat doet de vochtigheid als het warm wordt? Verklaar met wat je weet over waterdamp in lucht (F6).

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

28.12 Habitat: een week in de klimaatmodule

Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

Je analyseert de meetweek als beheerder van de klimaatmodule. Gebruik je eigen programma's (of die van het handboek) op klimaatmodule_week.csv. De module heeft twee

LiFePO4-batterijen met samen 2457,6 Wh bruikbare energie (hoofdstuk 20).

a Maak de tabel per dag: gemiddelde en hoogste temperatuur, verbruik, zonnestroom en saldo.

dag	T gem	T max	verbruik (Wh)	zon (Wh)	saldo (Wh)

b Op welke dag moet de batterij bijspringen? Welk deel van de bruikbare batterij-energie kost die dag? Wordt het de dag erna weer goedgemaakt?

c Hoeveel uur was het warmer dan 26 °C, en wanneer? Stel twee maatregelen voor, telkens met hun gevolg voor het energiebudget.

d Schrijf voor je portfolio een besluit van vijf zinnen: werkt het energiebeheer in deze week, en wat zou je volgende week meten?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Tabel	Alle zeven dagen, met eenheden; de ontbrekende meting correct behandeld (niet als 0).
Batterij	Tekort berekend en als deel van 2457,6 Wh uitgedrukt; herstel de dag erna nagegaan.
Warmte	Warme blokken correct geteld (per 3 uur); maatregelen concreet, met gevolg voor verbruik.
Besluit	Onderbouwd met getallen uit de analyse; een zinvolle volgende meting (bv. per 5 minuten, of de temperatuur van het reservoir).

28.13 Een voortschrijdend gemiddelde

●●● Uitdagen · 6 · </> Programmeren · 25 min

Metingen schommelen. Een **voortschrijdend gemiddelde** vervangt elke waarde door het gemiddelde van haar en de volgende n – 1 waarden, zodat de lijn gladder wordt. In E21 wordt dat een digitaal filter.

a Schrijf een functie `voortschrijdend(waarden, n=3)` die een nieuwe lijst met de gemiddelden van telkens n opeenvolgende waarden teruggeeft. Gebruik slicing.

b Pas ze toe op de acht temperaturen van maandag. Hoeveel waarden heeft de nieuwe lijst, en waarom?

c Wat gebeurt er met de hoogste waarde? Is dat erg voor de vraag 'hoe lang was het warmer dan 26 °C'?

28.14 Onderzoek: hangt het verbruik af van de zon?

●●● Uitdagen · 7 · Onderzoeken · 40 min

De **correlatiecoëfficiënt** r van Pearson meet hoe goed twee reeksen samen op en neer gaan: $r = 1$ is een perfect stijgend verband, $r = -1$ een perfect dalend, $r = 0$ geen lineair verband.

Met de gemiddelden $\bar{x}$ en $\bar{y}$: $r = \dfrac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}$.

a Schrijf een functie `correlatie(x, y)` volgens de formule, met zip en lijstomschrijvingen.

b Bereken r tussen zonnestroom en verbruik (a) over alle 56 blokken en (b) alleen over de 35 blokken van 6 tot en met 18 uur.

c Verklaar het verschil tussen (a) en (b). Wat leert dit over het vergelijken van groepen die op een andere manier verschillen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Functie	Formule correct, met docstring; getest op een eenvoudig geval (bv. x = y geeft 1).
Berekening	Beide r-waarden correct, de selectie van de blokken gemotiveerd.
Interpretatie	Het verschil verklaard met een derde factor (dag en nacht); correlatie niet als bewijs gebracht.

28.15 Ontwerp: het logbestand van de klimaatmodule

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 30 min

In hoofdstuk 30 bouw je een datalogger die de metingen van de klimaatmodule op een SD-kaart schrijft. Ontwerp nu al het CSV-formaat, zodat je analyseprogramma's er meteen mee werken.

a Welke kolommen neem je op (minstens zes), met welke naam en eenheid? Welke kolom is de sleutel om te groeperen?

b Kies het tijdformaat, het decimaalteken, het scheidingsteken en wat er in een cel staat als een sensor faalt. Motiveer.

c De logger schrijft elke minuut een regel van ongeveer 60 tekens. Hoe groot wordt het bestand na een jaar? Kies: één bestand per dag, per week of per jaar?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Kolommen	Relevante grootheden (temperatuur lucht en reservoir, vocht, licht, pH, EC, CO_2, verbruik, zon, laadtoestand), eenheid in de naam, zonder spaties.
Formaat	ISO-tijd (jjjj-mm-dd uu:mm, met tijdzone of UTC), decimale punt en komma als scheiding, lege cel bij een fout; gemotiveerd.
Omvang	Juiste orde van grootte en een onderbouwde keuze van de bestandsgrootte.

28.16 Debat: rekenblad of Python?

Uitdagen · 5 · Argumenteren · 20 min

Een klasgenoot vindt Python overdreven voor de meetweek: 'In een rekenblad heb ik dat gemiddelde in tien seconden, en ik zie meteen alle getallen.' Denk aan het verhaal van de vijf ontbrekende landen.

a Geef twee sterke argumenten voor een rekenblad en twee voor Python, elk met een voorbeeld uit dit hoofdstuk.

b Voor welke taak kies jij wat? Welke controle doe je in beide gevallen om een fout als die van de vijf landen te vermijden?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan een functie schrijven met parameters, een standaardwaarde, een returnwaarde en een docstring, en ze aanroepen.	▢ ▢ ▢
Ik kan het verschil tussen print en return uitleggen en een functie testen met gekozen invoer.	▢ ▢ ▢
Ik kan lijsten maken, indexeren (ook met een negatieve index), in stukken knippen en aanvullen met append.	▢ ▢ ▢
Ik kan met len, sum, min, max en sorted rekenen op een lijst, en een gemiddelde en een maximum ook zelf programmeren.	▢ ▢ ▢
Ik kan over een lijst lopen om op te hopen, te tellen, te filteren en een nieuwe lijst te maken, ook met zip.	▢ ▢ ▢
Ik kan een woordenboek gebruiken om waarden op te zoeken en om metingen per groep te verzamelen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een CSV-bestand inlezen met de csv-module, de teksten omzetten en ontbrekende waarden opvangen.	▢ ▢ ▢
Ik kan een week meetdata per dag samenvatten en er een onderbouwd besluit uit trekken.	▢ ▢ ▢
Ik kan met matplotlib een lijngrafiek en een staafdiagram maken met asopschriften, eenheden en een legende.	▢ ▢ ▢

I INTERMEDIATE · DEEL I7 · PROGRAMMEREN

WERKBOEK · HOOFDSTUK 29

Microcontrollers programmeren in C++

Van losse schetsen naar één programma dat nooit stilstaat: de sturing van de klimaatmodule

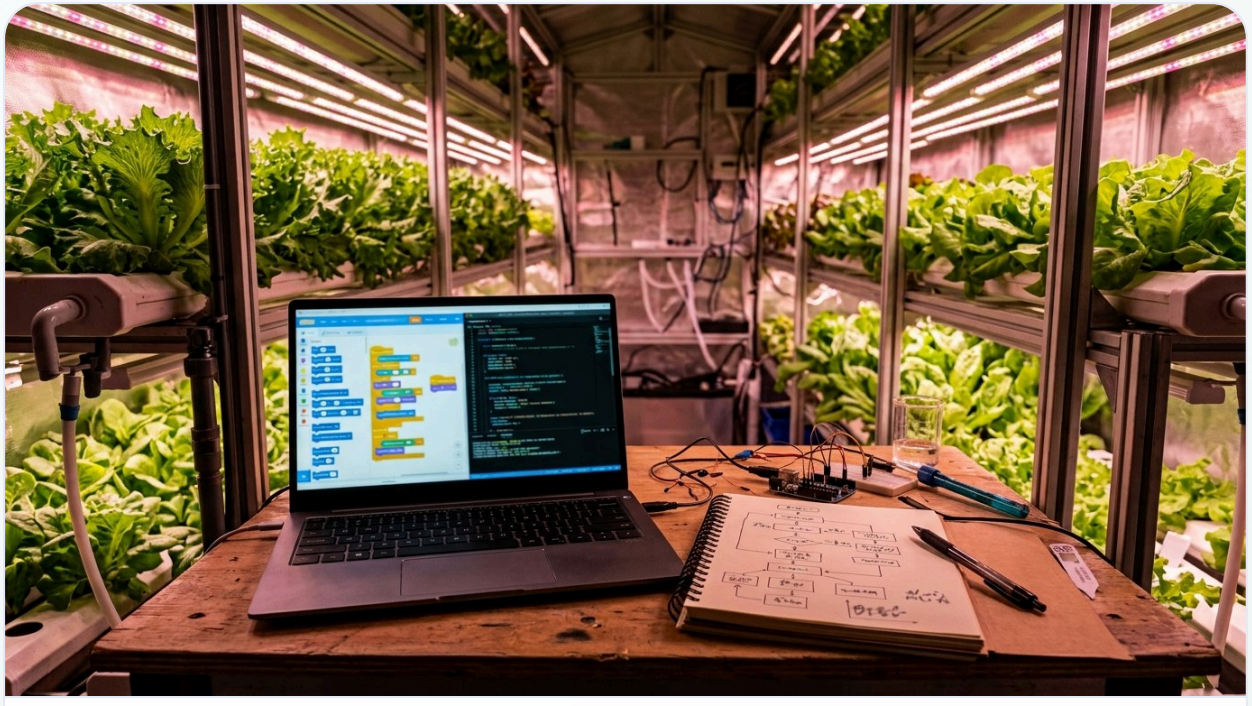
Je begint met types, voorspellen en fouten zoeken, schrijft dan zelf taken met millis() en zoekt fouten met Serial, en eindigt met een eigen bibliotheek, een uitbreiding van klimaat.ino en een tijdbudget. Alle codeoplossingen zijn gecompileerd en getest in een simulatie. Opdracht 29.14 is een bouwsteen voor de klimaatmodule van Habitat: bewaar ze in je portfolio.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 419 min

P Programmeren en computationeel denken

L Elektriciteit en elektronica

R Regelen en robotica



De Mega in de kast van de klimaatmodule: één programma voor sensoren, pomp, lampen en dak.

29.1 Welk type past?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Kies voor elke variabele van de klimaatmodule het kleinste type dat altijd volstaat, en zeg waarom. Gebruik de tabel met types uit het handboek (Mega: int = 16 bit).

a Vul de tabel in.

variabele	type	waarom
(a) de ADC-waarde van de LDR		
(b) het moment van de vorige meting (ms)		
(c) de PWM-waarde van de lampen, 0 tot 255		
(d) staat de pomp aan?		
(e) de batterijspanning, bv. 13,2 V		
(f) het aantal pompbeurten sinds de start (één per uur, 5 jaar lang)		
(g) de som van 100 ADC-waarden		
(h) het I²C-adres 0x44 van de SHT31		

b Een klasgenoot stelt voor om gewoon alles `float` te maken, 'dan past alles'. Geef twee redenen waarom dat geen goed idee is.

29.2 Voorspel de uitvoer

● ○ ○ Oefenen · 3 · </> Programmeren · 12 min

Wat toont de seriële monitor als dit programma op een Arduino Mega draait? Schrijf per `println` één regel, zonder het programma uit te voeren.

```ino
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  int a = 10;
  int b = 4;
  Serial.println(a / b);
  Serial.println(a / (float)b);
  Serial.println(a % b);
  byte x = 200;
  x = x * 2;
  Serial.println(x);
  int t = 30000;
  t = t + t;
  Serial.println(t);
  float c = (5 / 9) * (77 - 32);
  Serial.println(c);
  float d = (5.0 / 9) * (77 - 32);
  Serial.println(d, 1);
}

void loop() {
}
```

a Schrijf de zeven regels die op de monitor verschijnen.

b Welke twee regels zouden op je computer (int = 32 bit) anders zijn? Waarom?

29.3 Welke functie, welke pin?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Vul voor elk onderdeel van de klimaatmodule in hoe je de pin instelt en leest of stuurt. Gebruik de pintabel.

a Vul de tabel in.

onderdeel	pin	pinMode	functie	wat betekent HIGH / welk bereik?
vlotter	D2			
knop S1	D22			
eindeloop dak dicht				
lichtsensor				
groeilampen	D5			
pomp				
statusled				

b Waarom staat de vlotter op INPUT_PULLUP en de knop S1 op INPUT?

29.4 Vind de vijf fouten

Oefenen · 4 · Programmeren · 20 min

Een leerling test de pomp met dit programma: om de 5 s aan of uit, en uit als de vlotter te weinig water meldt. Er zitten vijf fouten in. Drie hoort de compiler, twee niet.

```
// pomp_test.ino - de pomp om de 5 s aan of uit, en de vlotter bewaken (met vijf fouten)
const int POMP = 9;
const int VLOTTER = 2;
bool aan = false;
unsigned long vorige = 0;
```

```
void setup() {
  pinMode(VLOTTER, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  unsigned long nu = millis()
  if (nu - vorige >= 5000) {
    vorige += 5000;
    aan = !aan;
  }
  if (digitalRead(VLOTTER) = HIGH) {
    aan = false;
  }
  digitalwrite(POMP, aan ? HIGH : LOW);
  Serial.println(aan);
}
```

a Zoek de vijf fouten. Welke drie meldt de compiler? Op welke regel verwacht je elke melding?

b Welke twee fouten merk je pas als het programma draait, en wat zie je dan?

c Schrijf de verbeterde versie. Zorg er ook voor dat de monitor niet overspoeld wordt.

29.5 Rekenen met tijd en geheugen

●○○ Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik: int 16 bit met teken, unsigned int 16 bit, unsigned long 32 bit; het EEPROM verslijt na ongeveer 100 000 schrijfbeurten per byte.

a Hoeveel ms zijn 10 minuten, 1 uur en 1 dag? Past elk getal in een int? In een unsigned long?

b Na hoeveel tijd loopt millis() over? En na hoeveel tijd wordt een int waarin je millis() bewaart negatief? Een unsigned int weer 0?

c Hoeveel uurcycli van de pomp passen in één periode van millis()?

d klimaat.ino bewaart de laadtoestand elk uur in het EEPROM. Hoe lang houdt het EEPROM dat vol? En als je het om de 2 s zou doen?

Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

29.6 De seriële plotter: temperatuur en vocht

Toepassen · 4 · Programmeren · 20 min

De SHT31 op I²C-adres 0x44 meet de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de kaslucht. Je wil ze in de seriële plotter zien, samen met een vaste lijn op 26 °C (boven 26 °C wordt het te warm voor sla, hoofdstuk 28).

a Schrijf een programma dat elke seconde, zonder delay(), de drie waarden in het formaat van de plotter stuurt.

b De vochtigheid schommelt tussen 60 en 85 %, de temperatuur tussen 18 en 28 °C. Waarom is het lastig om beide in één plotter te bekijken, en hoe los je dat op?

29.7 Trace-tabel: wanneer meet het programma?

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Twee versies van een meettaak met `INTERVAL = 2000`. Beide beginnen met vorige = 0. Versie A doet na een meting `vorige += INTERVAL;`, versie B `vorige = nu;`. De lus komt langs op deze momenten (ms): 1500, 2150, 3900, 4020, 5990, 6300, 8100.

a Vul de trace-tabel in.

nu	A: nu − vorige	A: meten?	A: vorige na	B: nu − vorige	B: meten?
1500					
2150					
3900					
4020					
5990					
6300					
8100					

b Hoeveel metingen doet elke versie? Wat gebeurt er met versie B op lange termijn?

c Na 8100 blijft de lus hangen tot 15 000 ms, daarna komt ze weer vlot langs (15 000, 15 001, 15 002 …). Wat doen A en B? Welke is beter voor de coulombteller, die bij elke meting 2 s stroom optelt?

29.8 Water geven zonder delay()

Toepassen · 5 · Programmeren · 35 min

In F25 gaf de meetkas water met dit programma (Uno; SENSOR A0, VLOTTER 3, POMP 6, rode led 10, groene led 11; water geven onder 30 %):

```
void loop() {
  int ruw = analogRead(SENSOR);
  int vocht = map(ruw, DROOG, NAT, 0, 100);
  bool water = (digitalRead(VLOTTER) == LOW);
  if (vocht < DREMPEL && water) {
    digitalWrite(ROOD, HIGH);
    digitalWrite(GROEN, LOW);
    digitalWrite(POMP, HIGH);
    delay(30000);                          // 30 s = 240 mL
    digitalWrite(POMP, LOW);
  } else if (vocht < DREMPEL) {
    digitalWrite(ROOD, HIGH);
    digitalWrite(GROEN, LOW);
  } else {
    digitalWrite(ROOD, LOW);
    digitalWrite(GROEN, HIGH);
  }
  delay(900000UL);                         // 15 min: het water moet eerst inzakke
n
}
```

a De grond wordt droog vlak nadat de lus aan `delay(900000UL)` begon. Hoe lang duurt het voor het lampje rood wordt? En wat als de vlotter opengaat terwijl de pomp 30 s draait?

b Herschrijf het programma zonder delay(). Gebruik een variabele `fase` (KLAAR, POMPEN, WACHTEN) en millis(). Het lampje moet meteen reageren en de pomp moet stoppen zodra de vlotter opengaat.

c Waarom is er nog altijd een wachttijd van 15 minuten na een beurt, ook zonder delay()?

29.9 De CO_2-klep als taak

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 30 min

De CO_2-klep op D10 (6 W, hoofdstuk 14 en 20) moet tijdens de lichtperiode (6 tot 22 uur) om het halfuur 30 s opengaan, maar niet als het dak openstaat. klimaat.ino heeft al `secondenVanDeDag(nu)`, `START_UUR` en de globale `dakOpen`.

a Schrijf de functie `void taakCo2(unsigned long nu)` met millis(), en een melding bij elke wissel.

b Waarom mag de klep niet open als het dak openstaat?

c Hoeveel minuten per dag staat de klep open, en hoeveel energie kost dat? Vergelijk met het budget van hoofdstuk 20 (15 minuten, 1,5 Wh).

29.10 Debuggen: altijd 25,00 °C

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Dit programma meet de temperatuur van het reservoir met de NTC op A0 (hoofdstuk 22). De monitor toont `25.00`, `25.00`, `25.00`, en als het water opwarmt ineens `-273.15`.

```
// ntc_fout.ino - de temperatuur van het reservoir: waarom altijd 25.00?
#include "pinnen.h"

float temperatuur() {
  int n = analogRead(NTC);
  long r = 10000L * (1024 - n) / n;              // weerstand van de NTC (ohm)
  float invT = 1.0 / 298.15 + log(r / 10000) / 3950;
  return 1.0 / invT - 273.15;
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  Serial.println(temperatuur());
  delay(2000);
}
```

a Welke tussenresultaten laat je afdrukken om de fout te vinden? Schrijf de extra Serial-regels.

b Wat is de fout? Verklaar zowel de 25.00 als de −273.15.

c Verbeter de functie.

29.11 Labo: hoe snel draait loop()?

Toepassen · 5 · Labo · 45 min

Met dit programma tel je hoeveel keer per seconde `loop()` rondgaat. Je zet telkens één van de regels in commentaar aan.

```
// lusteller.ino - hoeveel keer per seconde loopt loop()?
unsigned long vorige = 0;
unsigned long rondes = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);         // proef (c): 9600
}

void loop() {
  rondes++;
  // hier komt wat je wil testen, bv.:
  // analogRead(A1);            // proef (b)
  // Serial.println(123);       // proef (c) en (d)
  // delay(1);                  // proef (e)
  unsigned long nu = millis();
  if (nu - vorige >= 1000) {
    vorige += 1000;
    Serial.print("rondes per seconde: ");
    Serial.println(rondes);
    rondes = 0;
  }
}
```

a Voorspel eerst het aantal rondes per seconde voor (b) met analogRead (±0,11 ms), (c) met Serial.println(123) op 9600 baud, (d) hetzelfde op 115200 baud, (e) met delay(1). Eén teken kost 10 bits.

b Meet (a) zonder extra regel en (b) tot en met (e).

proef	voorspeld	gemeten
(a) leeg		
(b) analogRead		
(c) println, 9600		
(d) println, 115200		
(e) delay(1)		

c Wat leer je hieruit voor klimaat.ino? Welke regel zou je nooit in elke ronde van loop() zetten?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Voorspelling	Berekend uit de tijd per bewerking, met eenheden; bij Serial het aantal tekens en 10 bits per teken.
Metingen	Vijf metingen, elk een paar seconden stabiel afgelezen; baudrate van de monitor aangepast bij (c).
Vergelijking	Verschil tussen voorspeld en gemeten verklaard (de lus zelf kost ook tijd, de buffer van Serial).
Besluit	Serial in elke ronde en delay() vertragen de hele lus; analogRead is snel genoeg voor tientallen metingen per taak.

29.12 De overloop narekenen

Toepassen · 6 · Analyseren · 25 min

Een unsigned long rekent modulo $2^{32} = 4\,294\,967\,296$: een negatief resultaat krijgt er 2^{32} bij. Het interval is 2000 ms.

a Bereken `nu - vorige` zoals de Mega het doet, en zeg of de taak loopt.

	vorige	nu	nu – vorige	taak loopt?
(a)	4 294 960 000	4 294 962 000		
(b)	4 294 966 000	704		
(c)	4 294 966 000	100		
(d)	4 294 966 000	4 294 967 000		

b Een leerling schrijft `unsigned long volgende = vorige + 2000;` en `if (millis() > volgende)`. Wat gebeurt er in geval (d)?

c Je wil testen of je programma de overloop overleeft, zonder 49,7 dagen te wachten. Hoe pak je dat aan?

●●● Uitdagen — Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

29.13 Debat: mag delay() nog?

●●● Uitdagen · 5 · Argumenteren · 20 min

Een klasgenoot zegt: 'Na dit hoofdstuk mag je delay() nooit meer gebruiken.' Een ander antwoordt: 'Onzin, zelfs de bibliotheek van de SHT31 gebruikt delay(20), en klimaat.ino ook: in batterijstroom() wacht het programma 20,4 ms.'

a Geef twee situaties waarin delay() (of een korte wachtlus) geen probleem is, en twee waarin het wel een probleem is. Gebruik voorbeelden uit de klimaatmodule.

b Formuleer een regel van één zin die beide klasgenoten aanvaarden.

29.14 Een eigen bibliotheek: sensoren.h en sensoren.cpp

Uitdagen · 6 · Programmeren · 40 min

klimaat.ino wordt lang. De sensorfuncties (gemiddeld, daglichtLux, batterijspanning, batterijstroom) horen in een eigen 'bibliotheek' in de schetsmap, samen met een nieuwe functie `reservoirTemperatuur()` voor de NTC op A0 (10 kΩ bij 25 °C, B = 3913 K na ijking, hoofdstuk 22).

a Schrijf `sensoren.h`: de declaraties van de vijf functies, met een include-bewaking.

b Schrijf `sensoren.cpp` met de definities. Welke twee bestanden moet het zelf met #include invoegen, en waarom?

c In pinnen.h staat `const int LDR = A1;`. Wat zou er gebeuren als daar `int LDR = A1;` stond, nu pinnen.h in twee .cpp-bestanden terechtkomt?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

sensoren.h	Alleen declaraties met de juiste types; include-bewaking met een unieke naam.
sensoren.cpp	Definities identiek aan klimaat.ino; Arduino.h, pinnen.h en sensoren.h ingevoegd; reservoirTemperatuur met foutcontrole.
Test	Een testschets die alle vijf functies aanroept en de waarden plausibel toont.
Uitleg	Verschil tussen declaratie en definitie; waarom const in een headerbestand mag.

29.15 Habitat: een niveaualarm voor het reservoir

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

Het voedingsreservoir (60 × 40 cm, vol bij 25 cm) heeft onderaan een druksensor MPX5010 op A5 (hoofdstuk 11): $U = V_S \cdot (0{,}09 \cdot p + 0{,}04)$ met p in kPa en V_S = 5,0 V. Onder 10 cm (24 L) moet de pomp geblokkeerd worden en moet de statusled snel knipperen, met één melding op de monitor. Het alarm gaat pas weg boven 12 cm.

a Bereken de ADC-waarde bij 10 cm en bij 12 cm water, en hoeveel millimeter één ADC-stap is (dichtheid 1000 kg/m³).

b Schrijf `float niveauCm()` en `void taakNiveau(unsigned long nu)` (om de 2 s). Welke twee regels van klimaat.ino pas je aan?

c Waarom twee grenzen (10 en 12 cm) en niet één?

d Hoe test je het alarm zonder het reservoir leeg te laten lopen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Druk, spanning en ADC-waarde juist bij 10 en 12 cm; resolutie in mm per stap.
Code	niveauCm met de formule van de datasheet; taakNiveau met millis(), twee grenzen, één melding per wissel; pomp en statusled aangepast.
Test	Een testplan zonder het reservoir te legen, en controle in de seriële monitor.
Habitat	In het portfolio: de alarmgrens, de nieuwe taak en het testresultaat.

29.16 Het tijdbudget van loop()

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 40 min

De meettaak van klimaat.ino doet elke 2 s: een SHT31-meting (`readBoth`: 20 ms wachten plus ±0,9 ms I²C-verkeer), 100 metingen van de stroom met 204 µs tussen twee metingen, en twee keer 16 gewone ADC-metingen van 0,112 ms. Eens per minuut stuurt taakMelden een regel van ongeveer 110 tekens op 115 200 baud; de zendbuffer van Serial is 64 tekens groot.

a Hoe lang houdt taakMeten de lus bezig? Vergelijk met de 44,8 ms uit de simulatie.

b Hoe lang duurt het versturen van de statusregel, en hoe lang blijft print() daarvan wachten?

c Wat is in het slechtste geval de reactietijd op de knop (ontdenderen 20 ms)? Hoe ver schuift het dak bij 0,10 m/s voor een eindeloopschakelaar gezien wordt? En bij de kruipsnelheid van 30 %?

d Ontwerp een verbetering waardoor de langste ronde onder 25 ms zakt, zonder minder te meten. Beschrijf de nieuwe taakverdeling.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Tijdbudget	Elke bijdrage apart berekend en opgeteld; vergelijking met de simulatie.
Gevolgen	Reactietijd knop en overshoot van het dak juist berekend, met eenheden.
Ontwerp	Een concrete opsplitsing in fasen met millis(), die de werking niet verandert.
Afweging	Voor- en nadelen genoemd (complexere code, gegevens van verschillende momenten).

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan uitleggen wat setup() en loop() doen, wat er bij het compileren en uploaden gebeurt en welk geheugen (flash, SRAM, EEPROM) waarvoor dient.
- Ik kan voor elke grootheid het juiste C++-type kiezen (bool, byte, int, unsigned int, long, unsigned long, float) en weet dat een int op de Mega 16 bit is.
- Ik kan overloop, gehele deling en te kleine types herkennen, voorspellen wat er gebeurt en de code verbeteren (L, UL, 5.0).
- Ik kan functies schrijven met parameters en een returnwaarde, en het verschil uitleggen tussen globale, lokale en static variabelen.
- Ik kan de in- en uitgangen van de klimaatmodule instellen en gebruiken met pinMode, digitalRead, digitalWrite, analogRead en analogWrite.
- Ik kan met Serial.print en de seriële plotter tussenresultaten zichtbaar maken en zo een fout vinden.
- Ik kan meerdere taken tegelijk laten lopen met millis() in plaats van delay(), en uitleggen waarom nu − vorige ≥ interval ook na de overloop van 49,7 dagen werkt.
- Ik kan een bibliotheek installeren en gebruiken, en een eigen .h-bestand maken.
- Ik kan een groter programma in stappen opbouwen en elke stap testen.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 30

Datalogging en communicatie

Een logboek dat zichzelf schrijft: van bits op een draad tot een grafiek in Python

Je begint met bits, bytes en regels lezen, rekent dan aan kabels en sensoren en schrijft Python die met rare regels overweg kan, en eindigt met het ontwerp van het logboek van de module, een protocol om de klok te zetten en een eigen meting. Alle code in de oplossingen is getest. Opdracht 30.13 hoort in je Habitat-portfolio.

5× oefenen · 7× toepassen · 4× uitdagen · ± 441 min

P Programmeren en computationeel denken · O Onderzoeken en meten · A Data en AI

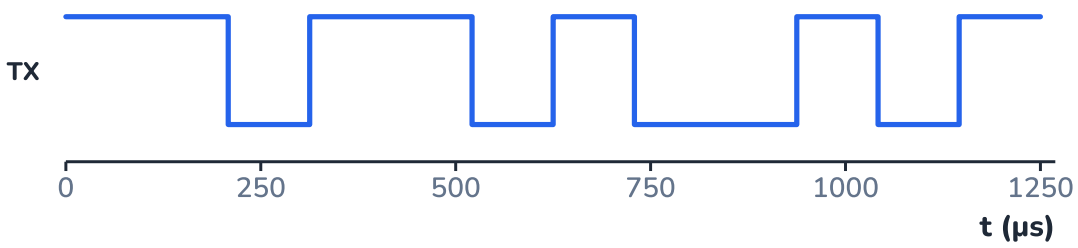


Elke minuut een regel op de kaart: het logboek van de klimaatmodule.

30.1 Een teken van de draad lezen

● ○ ○ Oefenen · 3 · Analyseren · 12 min

Een logicanalysator toont de TX-lijn van de Mega op 9600 baud (8N1). Elke bit duurt 104 µs.



Eén teken: vóór en na het teken is de lijn in rust.

a Waar begint het teken? Schrijf de acht databits in de volgorde waarin ze verstuurd worden.

b Zet ze om naar een byte (b7 … b0), in hexadecimaal en decimaal. Welk teken is het (ASCII)?

c Teken hoe het teken 'A' (65) eruitziet, met startbit en stopbit.

30.2 Tekens per seconde

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Een seriële verbinding gebruikt 8N1: 10 bits per teken.

a Hoeveel tekens per seconde bij 9600, 19 200 en 115 200 baud?

b Het programma serieel_csv.ino stuurt om de 2 s een regel van ongeveer 20 tekens. Welk deel van de tijd is de lijn bezig bij 9600 baud?

c Iemand wil om de 10 ms een regel van 50 tekens sturen. Welke baudrates kunnen dat?

30.3 De scanner lezen

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Drie leerlingen draaien de I²C-scanner op hun opstelling. Ze hebben een SHT31, een DS3231-moduletje en een INA226 aangesloten.

a Leerling A ziet: 0x40, 0x44, 0x57, 0x68. Welke chip is welk adres? Waarom vier adressen voor drie moduletjes?

b Leerling B ziet: 0 apparaten gevonden. Noem drie mogelijke oorzaken.

c Leerling C wil een tweede SHT31 toevoegen (in de meetkas). Kan dat op dezelfde bus? Hoe?

30.4 BCD lezen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

De registers 0x00 tot 0x06 van een DS3231 geven, in hexadecimaal: `07 59 23 07 18 10 26`. Register 0x03 is de dag van de week (RTClib: maandag = 1).

a Welke datum en tijd staan er? Welke dag van de week?

b Schrijf 0x59 binair. Waarom is BCD handig voor een klok, en waarom wat verspillend?

c Welke bytes schrijf je naar de registers 0x00 tot 0x02 voor 14:05:00?

30.5 Wat is er mis met deze regels?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

De kop van een logbestand is `tijdstip,temperatuur_C,vocht_pct,verbruik_Wh,zon_Wh,licht_lx,batterij_V`. Beoordeel deze zes regels.

Welke regel is in orde, en wat is er mis met de andere? Hoe zou je ze voorkomen in de logger?

regel	in orde?	probleem	voorkomen
2026-10-12 08:00,18.0,83.9,1.33,1.31,1742,13.05			
2026-10-12 08:01,18,0,83,8,1.52,1.52,1908,13.05			
12/10/2026 08:02,18.1,83.7,1.73,1.74,2075,13.05			
2026-10-12 08:03,0,0,1.93,1.95,2240,13.04			
2026-10-12 08:04,nan,nan,2.12,2.13,2401,13.04			
2026-10-12 08:05,18.2,83.5,2.3			

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

30.6 Een SHT31 narekenen

Toepassen · 4 · Rekenen · 20 min

De SHT31 stuurt zes bytes. Twee metingen: `64 29 59 9C ED F5` en `64 3C 2B 9C 6A 18`. Gebruik de formules en de CRC uit het handboek.

a Reken beide metingen om naar °C en % (zonder de CRC te controleren).

b Schrijf in Python een functie crc8(data) en test ze met het voorbeeld uit de datasheet (0xBE 0xEF geeft 0x92). Welke meting is beschadigd?

c Waarom gooit de logger een beschadigde meting weg in plaats van ze te gebruiken? Het verschil met de eerste meting is maar 0,05 °C.

30.7 Pull-ups voor een langere kabel

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

De sensorkast moet 5 m van de Mega komen. De kabel heeft 100 pF per meter; de chips en de Mega samen 50 pF. Op de bus zitten de 10 kΩ van de Mega, en het SHT31-bordje heeft zelf ook 10 kΩ. Grenzen: stijgtijd 0,85 · R · C hoogstens 1 µs, R minstens 1,53 kΩ.

a Bereken C en de stijgtijd met de twee pull-ups die er al zijn.

b Tussen welke grenzen moet de totale pull-up liggen? Kies een extra weerstand uit de E12-reeks (1,0 - 1,2 - 1,5 - 1,8 - 2,2 - 2,7 - 3,3 - 3,9 - 4,7 kΩ).

c En bij 10 m kabel?

30.8 Seriële regels die niet kloppen

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Over de seriële poort komen soms rare regels binnen: een half bericht na het openen van de poort, een melding, 'nan', een regel met een decimale komma. lees_serieel.py mag daar niet van crashen.

a Schrijf een functie verwerk(regel, kop) die een woordenboek met getallen teruggeeft (None voor een lege cel of nan), of None als de regel onbruikbaar is.

b Test ze met deze regels: `2,23.50,64.0,477` · `4,23,61,63.8,478` · `# SD-kaart klaar` · `6,nan,63.6,479` · `8,,,480` · `10,23.9` · `12,24.01,63.0,482x` · een lege regel.

30.9 Vind de fouten in de eerste logger

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Een leerling schrijft een eerste logger. Hij compileert zonder klagen en de seriële monitor toont iets, maar na een dag staat er niets op de kaart.

```
// logger_fout.ino - een eerste poging tot datalogger (er zitten vier fouten in)
#include <Wire.h>
#include <SD.h>

File bestand;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();
  SD.begin(53);
  bestand = SD.open("LOG/2026-10-12.CSV", FILE_WRITE);
  bestand.println("tijd_ms,temperatuur_C");
}

void loop() {
  Wire.beginTransmission(0x44);
  Wire.write(0x24);
  Wire.write(0x00);
  Wire.endTransmission();
  delay(20);
  Wire.requestFrom(0x44, 6);
  unsigned int ruw = (Wire.read() << 8) | Wire.read();
  float t = -45 + 175.0 * ruw / 65535;
  char regel[40];
  sprintf(regel, "%lu,%.1f", millis(), t);
  bestand.println(regel);
  Serial.println(regel);
  delay(60000);
}
```

a Waarom staat er niets op de kaart? Er zijn twee redenen in setup().

b Wat is er mis met `(Wire.read() << 8) | Wire.read()`?

c De seriële monitor toont bij de temperatuur een vraagteken. Waarom?

d Noem nog twee zwakke punten van dit programma.

30.10 Van minuten naar blokken van drie uur

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

De programma's van hoofdstuk 28 werken met blokken van drie uur. Maak uit de testweek (logboek.py) een bestand in dat formaat: `tijdstip,temperatuur_C,vocht_pct,verbruik_Wh,zon_Wh`, het tijdstip het begin van het blok, temperatuur met één decimaal, vocht als geheel getal, energie in hele Wh. Een blok krijgt alleen een temperatuur als minstens de helft van de 180 minuten geldig is.

a Schrijf het programma.

b Bekijk de blokken van woensdag. Waarom is het blok van 21 uur maar 22 Wh, terwijl het op heldere dagen rond de 200 Wh ligt?

c Waarom de regel 'minstens de helft geldig'? Wat had je gekregen zonder die regel als de sensor een heel blok los had gezeten?

30.11 Uurgemiddelden van één dag

Toepassen · 5 · Programmeren · 20 min

Gebruik logboek.py. Je wil voor woensdag 14 oktober de gemiddelde temperatuur per uur, met het aantal geldige minuten erbij.

a Schrijf het programma. Toon de uren 10 tot 14.

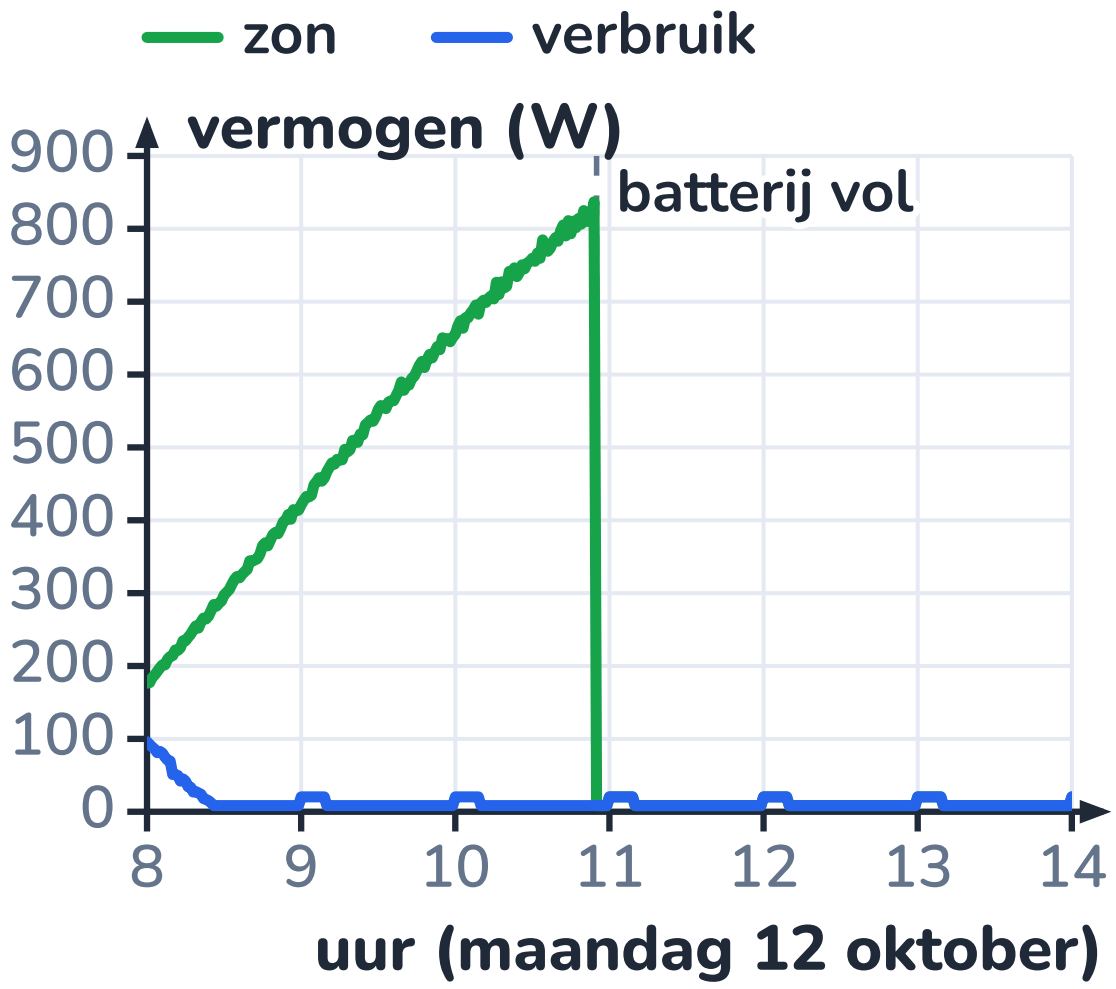
b Het uur van 11 heeft minder geldige minuten. Is het gemiddelde van dat uur daardoor fout?

30.12 Wat zie je in de grafiek?

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Twee grafieken uit de testweek: het vermogen op woensdagavond en de zonnestroom met het verbruik op maandagvoormiddag (zie het handboek). En de dagtabel van per_dag.py:

datum	T gem	T min	T max	geldig	verbruik	zon	saldo (kWh)
2026-10-12	20.0	17.7	24.7	1438	1.50	1.74	+0.23
2026-10-13	19.4	17.6	22.4	1438	1.67	1.71	+0.03
2026-10-14	19.1	17.6	21.0	1428	2.15	1.27	-0.88
2026-10-15	19.2	17.7	21.4	1440	1.46	2.43	+0.98
2026-10-16	19.7	17.7	23.7	1440	1.54	1.69	+0.14
2026-10-17	19.6	17.8	22.9	1440	1.61	1.66	+0.05
2026-10-18	19.2	17.7	21.2	1440	2.02	1.89	-0.13



Maandag 12 oktober, van 8 tot 14 uur.

a Waarom daalt de zonnestroom op maandag om 10:55 plots tot het verbruik, terwijl het de helderste dag van de week is?

b Op welke dag denk je dat de laadtoestand het laagst was? Onderbouw met de tabel.

c Een klasgenoot besluit: 'Op maandag leverde de zon maar 1,74 kWh, dus de panelen zijn te klein.' Wat is er mis met die redenering?

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

30.13 Habitat: het logboek van de klimaatmodule

Uitdagen · 6 · Habitat · 50 min

Je ontwerpt het logboek voor een teeltseizoen van maart tot oktober (245 dagen). De module heeft een Mega met klimaat.ino versie 2, een microSD-kaart van 8 GB, en een 5 V-omvormer met een rendement van 83 %. Gebruik de getallen uit het handboek.

a De beheerder wil elke 10 s een regel in plaats van elke minuut. Hoeveel ruimte kost een seizoen dan, en hoeveel bestanden? Is dat een probleem?

b Schat het eigen verbruik van de logger over een seizoen in Wh, en vergelijk met het basisverbruik van de module (230 Wh per dag).

c Welke drie extra kolommen zou jij toevoegen voor de teelt (hoofdstuk 13, 15, 16)? Waar komen ze in de regel, en waarom daar?

d Stel een plan op: hoe controleer je elke week of de logger nog werkt, en hoe bewaar je de gegevens veilig?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Regellengte, regels per dag, bytes per seizoen en aantal bestanden juist; eenheden.
Energie	Stroom per onderdeel, rendement van de omvormer, Wh per seizoen, vergelijking in procent.
Kolommen	Relevante grootheden met eenheid in de naam, achteraan toegevoegd, met motivatie.
Plan	Concreet en haalbaar: wat, wanneer, door wie; back-up en controle op gaten en lege cellen.

30.14 Ontwerp: de klok zetten vanaf de computer

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 40 min

logger.ino aanvaardt de opdracht `T2026-10-11 20:00:00`. Je wil een Python-programma dat de klok zet op de tijd van de computer, in wintertijd, en controleert of het gelukt is.

a Waarom de tijd van de computer in wintertijd omzetten, en niet gewoon de tijd tonen die op je scherm staat?

b Schrijf klok_zetten.py met pyserial en datetime. Denk aan de herstart van de Mega bij het openen van de poort.

c Wat gebeurt er in logger.ino met de minuut die bezig was toen de klok verzet werd? Waarom is dat een goede keuze?

d Stel twee uitbreidingen van het protocol voor (bv. om de tijd op te vragen) en zeg hoe de Mega moet antwoorden.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Tijd	Tijdzone expliciet (UTC+1), onafhankelijk van zomertijd op de computer.
Programma	Poort openen, 2 s wachten, opdracht met regelovergang als bytes, antwoord lezen en tonen, poort sluiten.
Robuustheid	Het antwoord van de Mega wordt gecontroleerd; andere regels (logregels) storen niet.
Protocol	Uitbreidingen met een vaste vorm, een antwoord dat met # begint, en wat er bij een fout gebeurt.

30.15 Labo: log het klaslokaal

Uitdagen · 6 · Labo · 90 min

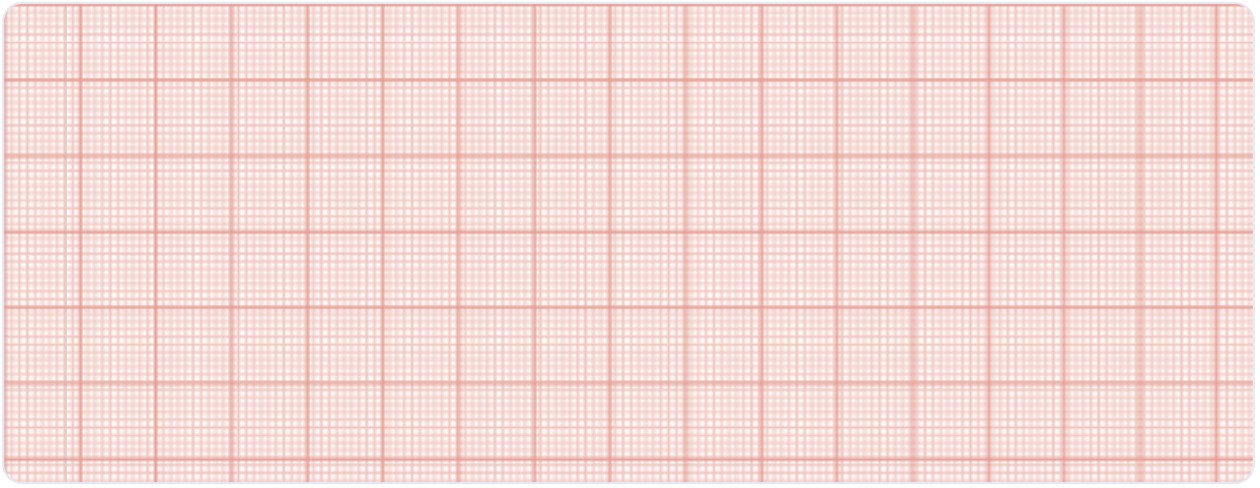
Bouw de datalogger uit de proef van het handboek en laat hem een schooldag loggen. Analyseer daarna met Python.

a Teken het aansluitschema (I²C met pull-ups, SPI, voeding) en noteer de adressen die de scanner vond.

b Noteer tijdens de dag de gebeurtenissen (lesbegin, pauzes, ramen open en dicht).

tijd	gebeurtenis

c Maak een grafiek van temperatuur en vochtigheid en zet de gebeurtenissen erbij. Wat zie je?



d Controleer je gegevens: hoeveel regels, lege cellen, gaten? Hoe groot is het bestand, en klopt dat met je verwachting?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opstelling	Correct schema; scanner vindt alle chips; klok gezet in wintertijd.
Metingen	Een volledige dag, een logboek van gebeurtenissen met tijden.
Analyse	Grafiek met assen en eenheden, gebeurtenissen aangeduid, verbanden beschreven.
Kwaliteit	Aantal regels, lege cellen en gaten gecontroleerd en verklaard; bestandsgrootte berekend.

30.16 Het meetbereik van de stroommeting

Uitdagen · 7 · Analyseren · 35 min

In hoofdstuk 16 telt de Mega de laadtoestand met een ACS712-20A op A4: 2,50 V bij 0 A en 0,100 V per ampère; de uitgang kan niet boven ±5 V gaan. De logger gebruikt twee INA226 met een shunt van 100 A / 75 mV. Op een heldere middag leveren de panelen tot 1000 W; de rail staat dan op 13,3 V en de module verbruikt 20 W.

a Hoe groot is de laadstroom van de batterij dan? Wat geeft de ACS712 bij die stroom, en wat doet de ADC ermee?

b De coulombteller telt elke 2 s de gemeten stroom op. Een helder uur lang laadt de batterij met de stroom uit (a). Hoeveel procent laadtoestand mist de teller dan (240 Ah)?

c Hoeveel stappen van de INA226 is die stroom, en hoeveel warmte ontwikkelt de shunt?

d Stel een verbetering voor de laadtoestand voor, met de chips die de module nu heeft.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan uitleggen hoe een teken over een seriële verbinding gaat (startbit, databits, stopbit) en rekenen met de baudrate.
- Ik kan een eenvoudig protocol ontwerpen (één CSV-regel per meting, commentaarregels, een kop) en de regels in Python inlezen met pyserial.
- Ik kan I²C-sensoren aansluiten en uitlezen: adressen, SDA en SCL, pull-ups, en je kan de stijgtijd bij een lange kabel narekenen.
- Ik kan de bytes van een sensor omrekenen met de datasheet en controleren met een CRC.
- Ik kan uitleggen waarom millis() geen klok is, en een RTC (DS3231) lezen en zetten.
- Ik kan metingen met een tijdstempel op een SD-kaart bewaren, weet waarom flush() of close() nodig is, en kan uitrekenen hoe lang een kaart volstaat.
- Ik kan logbestanden in Python inlezen, opschonen (lege cellen, onmogelijke waarden, ontbrekende minuten), samenvatten per dag en in een grafiek zetten.
- Ik kan het geheugengebruik en het eigen verbruik van een datalogger schatten.

I INTERMEDIATE · DEEL I8 · REGELEN EN ROBOTICA

WERKBOEK · HOOFDSTUK 31

Regelsystemen

Meten, vergelijken, bijsturen: de verwarming en de ventilatie van de klimaatmodule met hysterese

Je begint met het herkennen en tekenen van regelkringen, rekent daarna aan- en uittijden uit, leest zaagtanden en logboeken, bouwt een thermostaat in een doos, en ontwerpt tot slot de klimaatregeling van de module. Voor opdrachten 31.12 en 31.14 heb je Python nodig.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 406 min

R Regelen en robotica | B Leven en systemen



Buiten vriest het, binnen houdt een regeling de sla tussen 16 en 17 °C.

31.1 Open of gesloten?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Duid aan of het systeem een open of een gesloten lus is, en schrijf erbij wat er gemeten wordt (of 'niets').

a Een koelkast met thermostaat.

- A open lus
- B gesloten lus

b Een broodrooster met een draaiknop voor de bruining.

- A open lus
- B gesloten lus

c Een tuinsproeier die elke ochtend om 7 uur 10 minuten sproeit.

- A open lus
- B gesloten lus

d Een buitenlamp met een bewegingsmelder.

- A open lus
- B gesloten lus

e De servomotor van hoofdstuk 26.

- **A** open lus
- **B** gesloten lus

f Een fietser die op een rechte lijn probeert te blijven.

- **A** open lus
- **B** gesloten lus

31.2 Het blokschema van een toiletreservoir

Oefenen · 3 · Tekenen · 12 min

In een toiletreservoir drijft een vlotter op een arm. Zakt het water na het doorspoelen, dan zakt de vlotter en opent de arm een klep: er stroomt water in. Stijgt het water, dan duwt de vlotter de klep weer dicht. Met een schroefje stel je de hoogte van de vlotter op de arm in.

a Teken het blokschema. Zet bij elk blok wat het in het reservoir is, en bij elke pijl welk signaal het is.

b Wat is hier de gewenste waarde, en hoe stel je ze in?

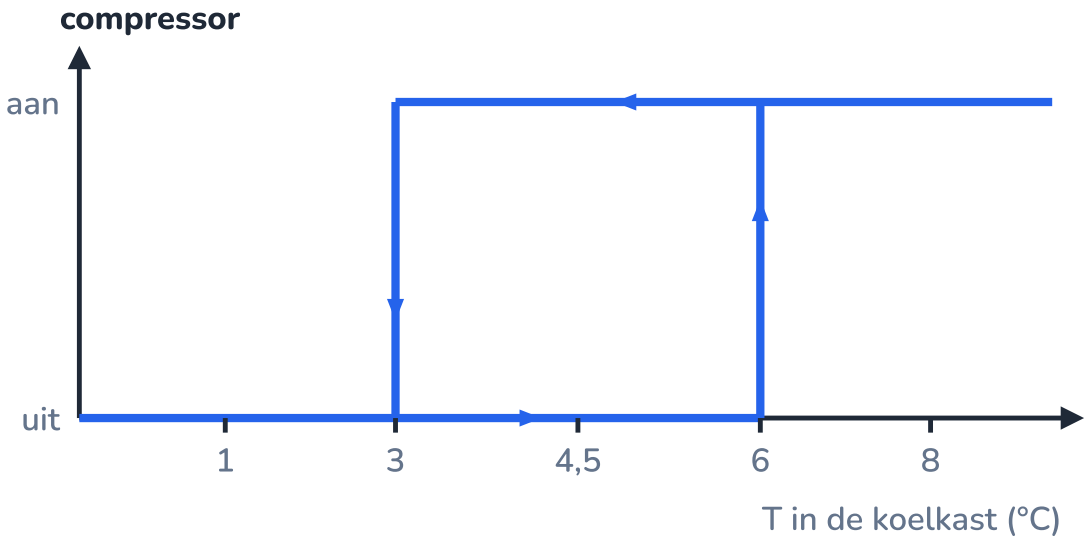
c Wat is de storing?

d Is dit een aan/uit-regelaar of een evenredige regelaar? Leg uit.

31.3 De thermostaat van een koelkast

Oefenen · 4 · Begrijpen · 12 min

De figuur toont de regelaar van een koelkast. Volg de pijlen.



Wanneer de compressor van een koelkast aan staat, in functie van de temperatuur binnen.

a Bij welke temperatuur gaat de compressor aan, en bij welke weer uit?

b Het is 4,5 °C in de koelkast. Staat de compressor aan of uit? Kan je dat zeker zeggen?

c Bij de verwarming van de module loopt de lus in de andere richting. Waarom?

d Een koelkast heeft een band van 3 K, de module maar 1 K. Geef een reden.

31.4 Aan- en uittijd met een nachtscherm

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

's Nachts schuift er een nachtscherm onder het kasdak: de module verliest dan 16,3 W/K in plaats van 20,2 (hoofdstuk 19). Het is −5 °C buiten, de band is 16,0 tot 17,0 °C, $C_L = 80\,\mathrm{kJ/K}$, de verwarming geeft 800 W. Neem aan dat de sensor zonder vertraging meet en dat de buffer niets uitwisselt.

a Bereken het verlies bij 16,5 °C.

b Bereken de aantijd, de uittijd en hoe vaak de verwarming per uur aangaat.

c Hoeveel warmte kost een nacht van 8 uur, met en zonder scherm? Hoeveel spaart het scherm?

31.5 Voorspel het effect

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

De verwarming van de module schakelt met een band van 1,0 K. Voorspel voor elke verandering of het aantal keer aan per uur, de schommeling van de lucht en de energie per nacht groter, kleiner of ongeveer gelijk worden. Verander telkens maar één ding.

a De band wordt 2,0 K.

keer aan per uur	schommeling	energie

b De sensor komt in een dichte doos (tijdconstante 180 s in plaats van 60 s).

keer aan per uur	schommeling	energie

c Het is –8 °C in plaats van 0 °C buiten.

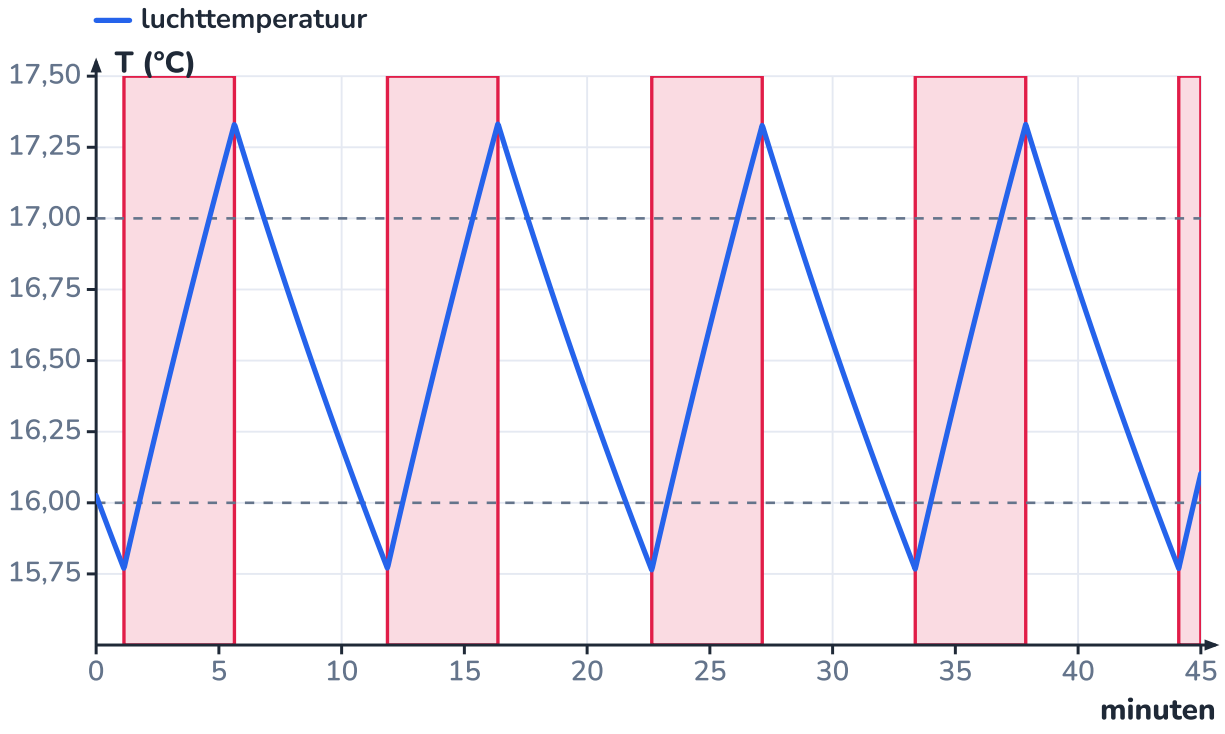
keer aan per uur	schommeling	energie

d Een convector van 1600 W in plaats van 800 W. Leg bij deze ook uit waarom.

31.6 Een zaagtand aflezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Lees de grafiek zo nauwkeurig mogelijk af. De rode stroken tonen wanneer de verwarming (800 W) aan staat.



Gemeten luchttemperatuur in de module, buiten 0 °C, band 16,0 tot 17,0 °C.

a Hoe lang staat de verwarming telkens aan, en hoe lang uit? Hoe vaak gaat ze per uur aan?

b Bereken de inschakelduur en de warmte die de verwarming per uur geeft.

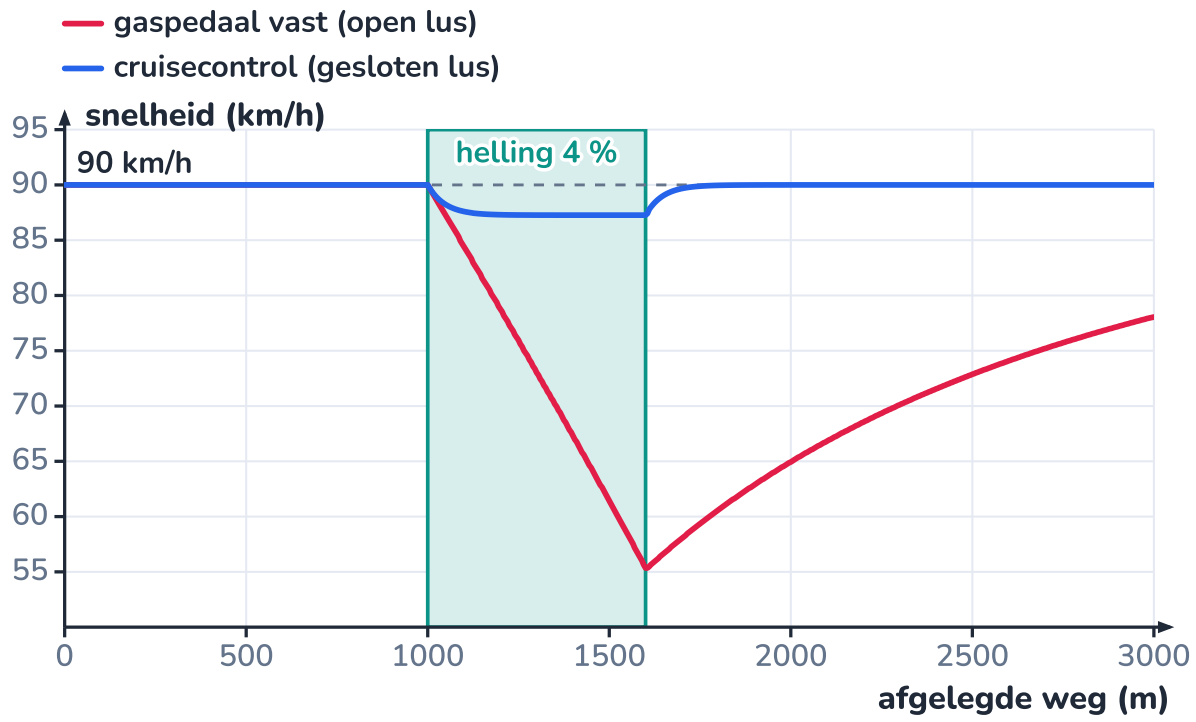
c Tussen welke temperaturen schommelt de lucht? Vergelijk met de band.

d Het rekenvoorbeeld van het handboek voorspelde 171 s aan en 240 s uit. Waarom zijn de tijden hier langer?

31.7 Cruisecontrol op de helling

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Een auto rijdt met cruisecontrol op 90 km/h. De grafiek toont de simulatie uit het handboek.



Simulatie van een auto van 1200 kg op een helling van 4 %.

a Teken het blokschema van de cruisecontrol. Benoem alle blokken, de signalen en twee storingen.

b Lees af: de laagste snelheid met en zonder cruisecontrol. Hoeveel km/h scheelt het?

c Waarom daalt de snelheid met cruisecontrol toch een beetje, en waarom blijft ze lager tot het einde van de helling?

d Een leerling stelt een aan/uit-cruisecontrol voor: vol gas onder 89 km/h, gas los boven 91 km/h. Geef twee bezwaren.

31.8 Vind de fouten in de regeling

●●○ Toepassen · 5 · </> Programmeren · 20 min

Een leerling schreef deze regeling voor de verwarming (band 16,5 tot 17,5 °C). Ze compileert, maar werkt niet goed.

```
const int LAAG = 16.5, HOOG = 17.5;
bool verwarmen;
```

```
void regelen(float t) {
  if (t < LAAG) verwarmen = true;
  if (t > LAAG) verwarmen = false;
  digitalWrite(VERWARMING, verwarmen);
}
```

a Welke waarde krijgen LAAG en HOOG echt? Wat is het gevolg?

b Beschrijf wat de verwarming doet rond 16 °C. Welke fout zit in de vergelijkingen?

c De SHT31 geeft nan als hij niet antwoordt. Wat doet deze code dan?

d Schrijf de verbeterde functie.

31.9 Kengetallen uit een logboek

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Twintig minuten uit het logboek van een januarinacht, één regel per minuut (T = gemeten temperatuur, verwarming 1 = aan). Band: 16,0 tot 17,0 °C.

tijd	T (°C)	verwarming		tijd	T (°C)	verwarming
00:00	16,0	0		00:10	16,4	0
00:01	16,0	1		00:11	16,3	0
00:02	16,3	1		00:12	16,2	0
00:03	16,6	1		00:13	16,1	1
00:04	17,1	0		00:14	16,1	1
00:05	17,2	0		00:15	16,4	1
00:06	17,1	0		00:16	16,8	1
00:07	17,0	0		00:17	17,1	0
00:08	16,9	0		00:18	17,2	0
00:09	16,6	0		00:19	17,0	0

a Hoe vaak gaat de verwarming aan in deze 20 minuten? Hoeveel keer per uur is dat?

b Bereken de inschakelduur en de warmte die de verwarming in deze 20 minuten gaf.

c Bereken de gemiddelde afwijking van 16,5 °C.

d Is één regel per minuut genoeg om een aan/uit-regeling te beoordelen? Wanneer niet?

31.10 Je lichaam koelen

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Een bewoner werkt een uur hard in de warme module. Zijn lichaam maakt dan ongeveer 500 W warmte, in rust ongeveer 100 W. De verdampingswarmte van zweet is ongeveer 2,4 MJ per kg.

a Hoeveel zweet moet er per uur verdampen om 400 W extra af te voeren?

b Zweet dat van de huid druppelt, koelt nauwelijks. Waarom? Wat betekent dat voor de vochtige lucht van de module?

c Het lichaam gebruikt eerst de bloedvaten van de huid en pas daarna zweet. Welke regeling in de module is op dezelfde manier getrapt?

31.11 Labo: een thermostaat in een doos

●●○ Toepassen · 5 · Labo · 60 min

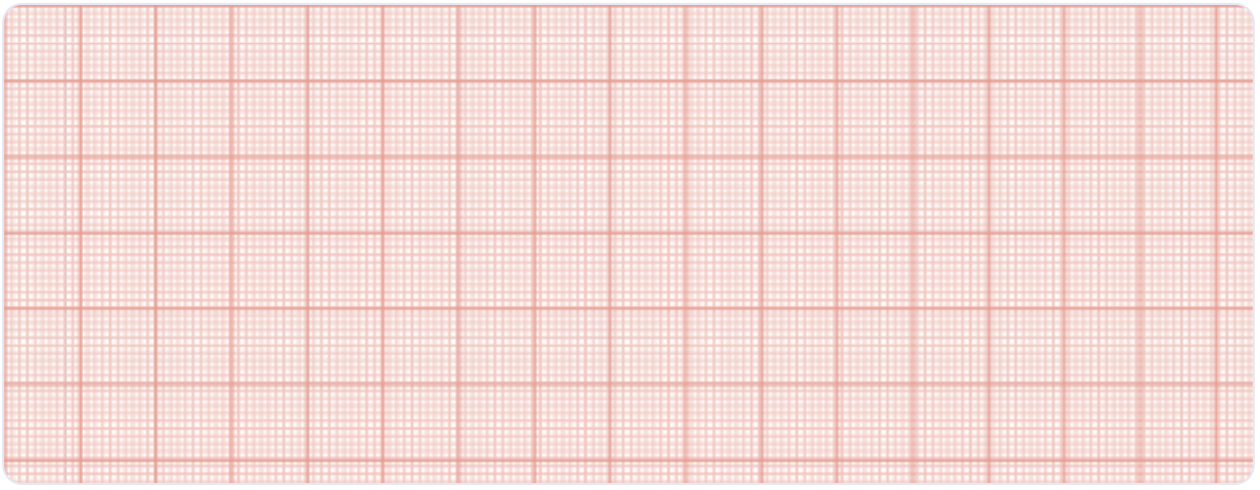
Voer de proef uit het handboek zelf uit, met drie breedtes van de band en twee plaatsen voor de sensor.

a Noteer je opstelling: vermogen van de verwarming, sensor, afstand tot de verwarming, band.

b Meettabel: per instelling het aantal keer aan in 20 minuten, de laagste en de hoogste temperatuur.

band (K)	sensor op	keer aan in 20 min	laagste (°C)	hoogste (°C)

c Zet het aantal keer aan per uur uit tegen de breedte van de band. Welk verband zie je?



d Hoe ver schiet de temperatuur voorbij de grenzen? Verklaar met de plaats van de sensor.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opstelling	Veilig (afstand tot het karton, 12 V), sensor op een vaste plaats, stabiele beginsituatie.
Metingen	Na het opwarmen gemeten, telkens even lang, alle instellingen, eenheden.
Verwerking	Grafiek met assen en eenheden; verband benoemd (ongeveer omgekeerd evenredig).
Verklaring	Doorschot verklaard met vertraging en naverwarming; invloed van de sensorplaats juist.

31.12 Een minimale uittijd

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Een smalle band (0,2 K) houdt de lucht mooi rond 16,5 °C, maar de klep schakelt te vaak. Een oplossing uit warmtepompen en koelkasten: de verwarming mag pas weer aan als ze minstens een vaste tijd uit geweest is (een antipendeltijd).

a Pas de functie nacht() uit het handboek aan met een parameter min_uit (in s).

b Simuleer de band 16,4 tot 16,6 °C met min_uit = 0, 120, 300 en 600 s. Noteer het aantal keer aan per uur en de schommeling.

min_uit (s)	keer aan per uur	lucht (°C)

c Is een smalle band met een lange antipendeltijd beter dan gewoon een bredere band? Motiveer.

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

31.13 Habitat: de klimaatregeling van de module ontwerpen

●●● Uitdagen · 7 · Habitat · 75 min

Je team ontwerpt de volledige temperatuurregeling van de klimaatmodule. Gegeven: convector 800 W (D12), ventilatoren zacht of vol (D11), kasdak (hoofdstuk 26), SHT31 in de sensorkast (60 s vertraging), het warmtemodel van het handboek. Sla groeit het best tussen 18 en 22 °C overdag, 's nachts mag het niet onder 15,5 °C, en boven 30 °C loopt ze schade op. De klep gaat 200 000 schakelingen mee.

a Kies de grenzen voor de verwarming (dag en nacht), de ventilatoren en het dak. Zet ze in een tabel en controleer dat er geen overlap is.

actuator	aan / vol / open	uit / zacht / dicht	waarom

b Teken het blokschema van de volledige regeling: één sensor, drie actuatoren, storingen.

c Schat met de formules van het handboek hoe vaak de verwarming per uur aangaat in een januarinacht, en hoeveel stookseizoenen de klep meegaat.

d Wat doet je regeling als de sensor uitvalt, 's nachts in januari en overdag in juni? Waarom is 'alles uit' geen goede veilige stand?

e Beschrijf een test van één week waarmee je bewijst dat de regeling aan je eisen voldoet: wat log je, welke kengetallen, wanneer is ze goed?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Grenzen	Alle grenzen binnen de eisen van de sla, met hysterese, zonder overlap, met een dode zone tussen verwarmen en koelen.
Blokschema	Eén sensor, drie actuatoren, storingen (buiten, zon, lampen, deur), meting en terugkoppeling correct.
Berekening	Aantijd, uittijd en schakelingen per uur met de effectieve band; levensduur van de klep juist.
Veiligheid	Sensorfout gedetecteerd (nan), een veilige stand die past bij het seizoen, alarm.
Test	Meetbare criteria (bv. nooit onder 15,5 °C, gemiddelde afwijking < 0,5 K, < 8 keer aan per uur) en een logboek dat ze kan tonen.

31.14 Waar hang je de sensor?

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

De simulatie van het handboek met een sensor die steeds trager is (band 16,0 tot 17,0 °C, buiten 0 °C):

tijdconstante sensor	keer aan per uur	boven 17,0 (K)	onder 16,0 (K)	gem. afwijking (K)
0 s	9,1	0,04	0,02	0,24
60 s	5,7	0,36	0,25	0,38
180 s	3,6	0,87	0,64	0,61
300 s	2,9	1,25	0,96	0,78

a Verklaar waarom de lucht met een tragere sensor verder doorschiet, maar de verwarming minder vaak aangaat.

b Controleer de vuistregel voor de effectieve band bij 60 s en bij 300 s. Waar werkt ze, waar niet?

c Drie plaatsen voor de sensor: (A) in de luchtstroom van de convector, (B) in een dichte kunststof doos tegen de wand, (C) midden in de ruimte in een kastje met een ventilatortje. Beoordeel elke plaats.

31.15 Debat: open of gesloten lus voor de groeilampen?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 20 min

De groeilampen worden nu gedimd met het daglicht (hoofdstuk 25): een LDR onder een kapje meet de hemel en de Mega rekent uit hoeveel lamplicht er nog nodig is. Een collega wil een PAR-sensor op het kweekbed, onder de lampen, die het totale licht op de planten meet.

a Is de huidige lampregeling een open of een gesloten lus? En het voorstel van je collega?

b Geef twee argumenten voor elk systeem, telkens met een concrete situatie.

c Welke combinatie zou jij kiezen? Motiveer.

31.16 Ontwerp: de CO_2-klep met hysterese

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 35 min

Overdag voegt de CO_2-klep (D10) CO_2 toe aan de kweekruimte (11,5 m³): sla groeit sneller bij 800 tot 1000 ppm dan bij 425 ppm. Met de klep open stijgt het gehalte 170 ppm per minuut; met de klep dicht daalt het ongeveer 80 ppm per uur (planten en lekken). De CO_2-sensor meet om de 2 s met een ruis van ±30 ppm, en de CO_2 moet zich eerst mengen: de meting loopt ongeveer 2 minuten achter. Vanaf 1000 ppm geldt voor mensen een waarschuwing (hoofdstuk 14).

a Een leerling kiest: klep open onder 800 ppm, dicht boven 1000 ppm. Schat hoe hoog het CO_2-gehalte echt komt. Is dat een probleem?

b Stel een betere regeling voor. Tip: in plaats van de klep open te laten tot de meting 1000 ppm haalt, kan je de klep kort openen en dan wachten.

c Wanneer moet de klep altijd dicht blijven, ook als het CO_2-gehalte laag is? Noem er drie.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Doorschot	Doorschot geschat met snelheid × vertraging, gevolg voor mensen benoemd.
Voorstel	Regeling die de doorschot vermijdt (vroeger sluiten of dosis per keer), met getallen.
Veiligheid	Klep dicht bij dak open of ventilatoren vol, 's nachts, bij onderhoud, bij een alarm of een sensorfout.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan het verschil tussen een open en een gesloten lus uitleggen en systemen uit techniek en natuur indelen.

- Ik kan een regelkring tekenen als blokschema met setpoint, fout, regelaar, actuator, proces, sensor, meting en storing.
- Ik kan uitleggen hoe een aan/uit-regeling met hysterese werkt en ze programmeren in C++.
- Ik kan met een eenvoudig warmtemodel de aan- en uittijd, het aantal schakelingen per uur en de inschakelduur berekenen.
- Ik kan verklaren hoe de breedte van de hysterese en de vertraging van de sensor de schommeling en het schakelen beïnvloeden.
- Ik kan een regeling beoordelen met kengetallen uit een meting: gemiddelde afwijking, schommeling, schakelingen per uur, energie.
- Ik kan grenzen kiezen en verantwoorden voor de verwarming en de ventilatie van de klimaatmodule.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 32

Toestandsmachines

Een programma dat onthoudt waar het is: van verkeerslicht tot de modi van de klimaatmodule

Je leert eerst toestanden en gebeurtenissen herkennen en diagrammen lezen, tekent en programmeert daarna je eigen machines, zoekt fouten, en ontwerpt tot slot een uitbreiding van de modi van de klimaatmodule. Voor opdracht 32.6 heb je een Arduino met leds nodig, voor 32.12 Python.

5× oefenen · 7× toepassen · 4× uitdagen · ± 427 min

R Regelen en robotica · P Programmeren en computationeel denken



Een knop, een paar lampen en een klok: het klassieke voorbeeld van een toestandsmachine.

32.1 Toestand, gebeurtenis of actie?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Het gaat telkens over het kasdak of het voetgangerslicht.

a OPENEN

- A toestand
- B gebeurtenis
- C actie

b De eindeloopschakelaar 'open' wordt ingedrukt.

- A toestand
- B gebeurtenis
- C actie

c De motor stilzetten.

- A toestand
- B gebeurtenis
- C actie

d 12 s voorbij zonder eindpunt.

- A toestand
- B gebeurtenis
- C actie

e Wachten tot de voetgangers overgestoken zijn (alles rood).

- A toestand
- B gebeurtenis
- C actie

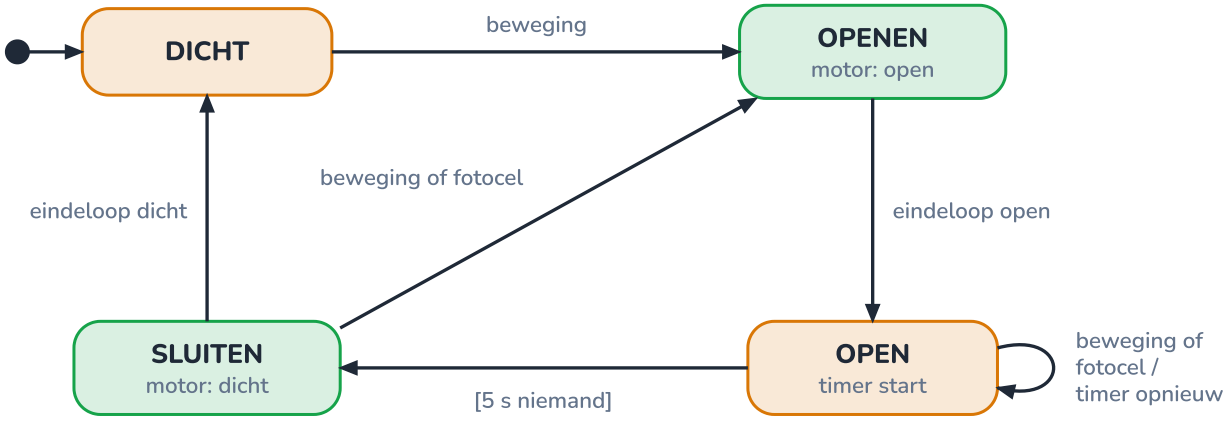
f Het lampje 'wacht' aanzetten.

- A toestand
- B gebeurtenis
- C actie

32.2 Een diagram volgen

Oefenen · 3 · Analyseren · 12 min

De deur staat DICHT. Dit gebeurt na elkaar: beweging, eindeloop open, 5 s niemand, fotocel, eindeloop open, beweging, 5 s niemand, eindeloop dicht.



De automatische deur uit het handboek.

a Vul de tabel in: na elke gebeurtenis de nieuwe toestand en de actie.

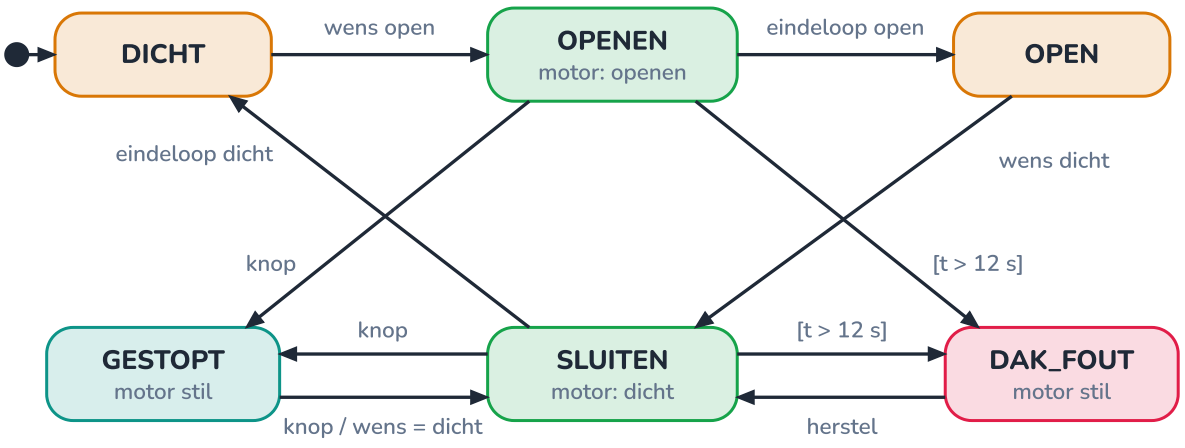
gebeurtenis	nieuwe toestand	actie

b Waarom is de overgang na 'fotocel' belangrijk?

32.3 Van diagram naar tabel

Oefenen · 4 · Tekenen · 20 min

Maak zelf de toestandstabel van het dak, zonder in het handboek te kijken.



Het kasdak als toestandsmachine.

a Vul de tabel in. Schrijf in elk vakje de nieuwe toestand, of een streepje.

toestand	knop	wens open	wens dicht	eindeloop open	eindeloop dicht

b In DICHT staat bij 'knop' geen overgang in het diagram. Wat doet een knopdruk dan toch (kijk in dak.cpp)?

c Welk vakje zou je veranderen als het dak in DAK_FOUT elke minuut opnieuw moet proberen? Is dat een goed idee?

32.4 Voorspel de uitvoer

Oefenen · 4 · Programmeren · 15 min

Een kleine toestandsmachine in C++. De functie stap() krijgt na elkaar de tekens k, x, k, x, x, k, k, x, x.

```
enum T { ROOD, GROEN, ORANJE };
T t = ROOD;
int teller = 0;

void stap(char g) {              // g: 'k' = knop, 'x' = tijd voorbij
  switch (t) {
    case ROOD:   if (g == 'k') { t = GROEN; teller++; } break;
```

```
    case GROEN:  if (g == 'x') t = ORANJE; break;
    case ORANJE: if (g == 'x') t = ROOD; else if (g == 'k') teller += 10;
break;
  }
}
```

a Volg de machine stap voor stap. In welke toestand eindigt ze, en wat is teller?

teken	toestand na de stap	teller

b Wat verandert er als de break na de case ROOD ontbreekt? Geef een teken waarbij het verschil zichtbaar wordt.

32.5 De waterkoker

Oefenen · 4 · Tekenen · 15 min

Een waterkoker heeft een schakelaar die je naar beneden duwt, een bimetaal dat hem terug omhoog laat springen als het water kookt, en een beveiliging die hem uitschakelt als hij zonder water staat (de bodem wordt dan veel heter dan 100 °C).

a Teken het toestandsdiagram met toestanden, gebeurtenissen, acties en een beginpunt.

b Welke toestand is de veilige toestand? Is de droogkookbeveiliging fail-safe?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

32.6 Maak: het voetgangerslicht met een nachtstand

Toepassen · 5 · Maken · 60 min

Bouw het voetgangerslicht uit het handboek op een breadboard (vijf leds met 220 Ω, een lampje 'wacht', een knop naar GND). Voeg daarna een nachtstand toe: van 23 tot 6 uur knippert het oranje licht voor de auto's (1 s aan, 1 s uit), de voetgangerslichten zijn uit en de knop doet niets. Om 6 uur gaat het licht eerst 5 s alles rood, dan AUTO_GROEN. Neem aan dat er een functie `uur()` bestaat (voor een test kan ze de minuten van `millis()` teruggeven).

a Teken de uitbreiding in het toestandsdiagram: nieuwe toestand, overgangen, acties.

b Schrijf de nieuwe case en de aanpassingen in naar() en in de knop.

c Uit welke toestand(en) mag de nachtstand beginnen? Waarom niet uit elke toestand?

d Test je programma en beschrijf je scenario: wat heb je gedaan om elke nieuwe overgang te zien gebeuren?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schakeling	Alle leds werken met een weerstand, knop naar GND met INPUT_PULLUP.
Diagram	NACHT_KNIPPER met overgangen [uur ≥ 23] uit AUTO_GROEN en [uur = 6] naar ALLES_ROOD_2, acties benoemd.
Code	Eén nieuwe waarde in de enum, een case met break, knipperen met millis() zonder delay(), knop genegeerd.
Test	Elke nieuwe overgang aantoonbaar getest (bv. met een versnelde klok).

32.7 Vind de fouten: de CO_2-klep

Toepassen · 5 · Programmeren · 20 min

Een leerling programmeerde de CO_2-klep als toestandsmachine: onder 800 ppm de klep 30 s open, dan 5 minuten wachten zodat de CO_2 zich mengt.

```
enum Klep { DICHT, OPEN, WACHTEN };
Klep klep = DICHT;
unsigned long sinds = 0;

void taakCo2(unsigned long nu, float co2) {
  switch (klep) {
    case DICHT:
      if (co2 < 800) { klep = OPEN; sinds = nu; digitalWrite(CO2_KLEP,
HIGH); }
    case OPEN:
      if (nu - sinds >= 30000) { klep = WACHTEN; digitalWrite(CO2_KLEP,
```

```
LOW); }
      break;
    case WACHTEN:
      if (nu - sinds >= 300000) klep = DICHT;
      break;
  }
}
```

a Er ontbreekt een break. Wat gebeurt er daardoor als de klep DICHT is en het CO_2-gehalte 900 ppm is?

b Hoe lang wacht de machine echt in WACHTEN? Waarom?

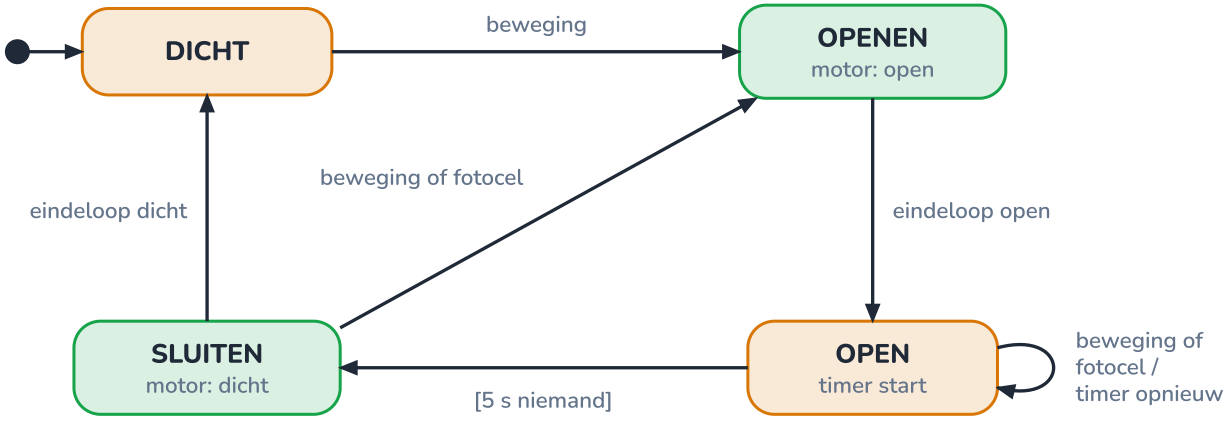
c Welke veiligheidsvoorwaarde ontbreekt (denk aan de modi en het dak)?

d Schrijf de verbeterde versie.

32.8 De automatische deur veiliger

Toepassen · 5 · Ontwerpen · 25 min

De deur zit in de gang tussen de woonmodule en de rest van het station. Het is ook een vluchtweg bij brand.



De deur uit het handboek.

a Voeg een toestand FOUT toe. Welke gebeurtenissen en time-outs leiden ernaartoe?

b In welke toestand start de deur na een stroomuitval? Hoe weet het programma dat?

c Wat moet de deur doen als de stroom wegvalt, en hoe doe je dat zonder elektronica?

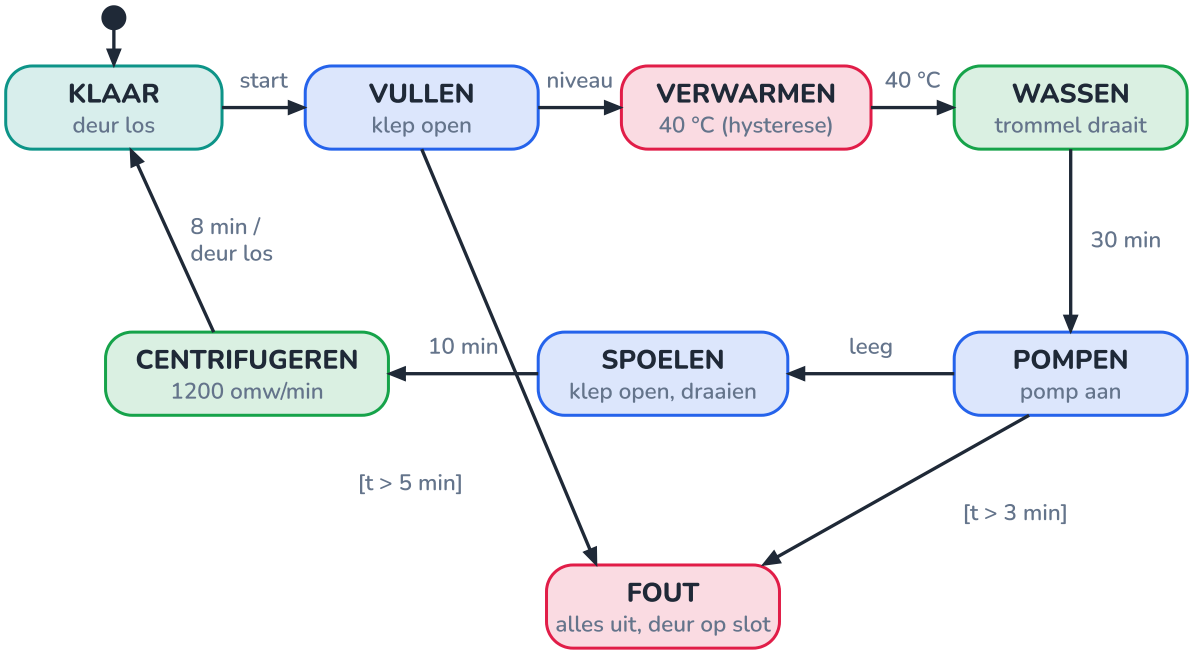
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Fouten	Onmogelijke combinaties en time-outs (bv. OPENEN langer dan 8 s) leiden naar FOUT; FOUT zet de motor stil en geeft alarm.
Start	De eindeloopschakelaars bepalen de begintoestand; onbekende stand: een veilige keuze met uitleg.
Fail-safe	Een vluchtdeur gaat open of is met de hand te openen zonder stroom (veer, vrijloop).

32.9 De wasmachine uitbreiden

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Pas het diagram aan.



De wasmachine uit het handboek.

a De machine moet twee keer spoelen. Voeg een teller toe en pas de overgangen aan, zonder toestanden te kopiëren.

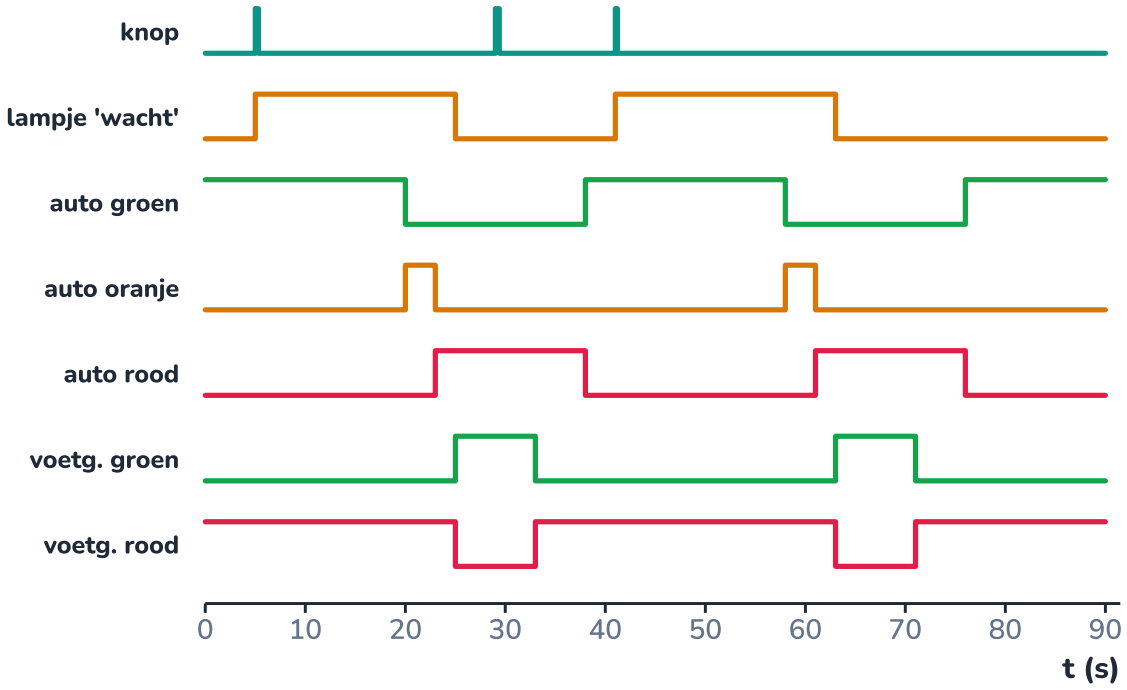
b In FOUT blijft de deur op slot zolang er water in de trommel staat. Hoe komt het water eruit? Voeg toe wat nodig is.

c Het water moet ook tijdens WASSEN op 40 °C blijven. Waar hoort de regeling met hysterese thuis?

32.10 Een tijdsdiagram lezen

●●○ Toepassen | 5 | Analyseren | 15 min

Lees de antwoorden af in het tijdsdiagram.



De test van het voetgangerslicht.

a Op welke tijdstippen wordt de knop ingedrukt? Welke druk heeft geen effect, en waarom?

b Hoe lang wacht de voetganger die op 41 s drukt tot hij groen krijgt?

c Waarom gaat het lampje 'wacht' aan op 5 s en uit op 25 s?

d In welke toestand is de machine op 60 s? En op 35 s?

32.11 Fail-safe of niet?

●●○ Toepassen · 6 · Begrijpen · 20 min

Beoordeel telkens: wat gebeurt er als de draad breekt of de stroom wegvalt? Is dat de veilige toestand?

a De vlotter op D2 met INPUT_PULLUP: contact dicht (LOW) = genoeg water.

b Een CO_2-klep die open staat zonder stroom (normaal open), gestuurd met een MOSFET.

c De MOSFET van de verwarming met 10 kΩ pull-down: als de Mega uitvalt, is de verwarming uit. Is dat in januari veilig?

d Een eindeloopschakelaar als maakcontact: ingedrukt = LOW.

32.12 De deur als tabel in Python

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Maak van de toestandstabel van de automatische deur een Python-programma, zoals de wasmachine in het handboek.

a Schrijf het woordenboek OVERGANGEN en de functie verwerk().

b Voeg een verzameling ONMOGELIJK toe: combinaties die op een sensorfout wijzen en naar FOUT leiden.

c Test met: beweging, eindeloop open, beweging, 5 s niemand, fotocel, eindeloop dicht, eindeloop open. Wat is de uitvoer?

Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

32.13 Habitat: een zuinige modus

Uitdagen · 7 · Habitat · 75 min

Het energiebeheer van hoofdstuk 20 zegt: boven 40 % laadtoestand mogen de lampen volgens schema branden, tussen 20 en 40 % alleen op het zonne-overschot, onder 20 % niet. Onder 20 % moet de module ook de pomp terugschroeven (5 in plaats van 10 minuten per uur) en de ventilatoren zacht laten draaien. Ontwerp hoe de modi hiermee omgaan.

a Een collega wil een zesde modus ZUINIG naast DAG en NACHT. Een ander wil een aparte, kleine toestandsmachine voor de energie. Vergelijk beide: hoeveel toestanden krijg je, en wat gebeurt er als het 's nachts zuinig moet?

b Teken de toestandsmachine voor de energie met drie toestanden (VOL, ZON, ZUINIG) en hysterese op de grenzen (bv. terug naar boven pas 5 procentpunt hoger).

c Vul de actietabel aan: wat doen lampen, pomp en ventilatoren in elke combinatie van modus en energietoestand?

modus	energie	lampen	pomp	ventilatoren

d Schrijf de switch van de energiemachine in C++ (de laadtoestand staat in de variabele soc).

e Beschrijf een testscenario dat elke overgang van de energiemachine laat zien, ook samen met ALARM en ONDERHOUD.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Keuze	Het nadeel van één grote machine (verdubbeling van toestanden) is gezien; twee machines naast elkaar, elk met één aspect.
Diagram	Drie toestanden, overgangen met hysterese (bv. 20/25 % en 40/45 %), begin volgens de laadtoestand.
Actietabel	Elke combinatie ingevuld; ONDERHOUD en ALARM behouden hun veiligheidsregels ook als het zuinig moet.
Code	enum, switch met break, overgangen alleen bij de grenzen, geen delay().
Test	Scenario met dalende en stijgende laadtoestand, rond de grenzen heen en weer, en een alarm tijdens ZUINIG.

32.14 Een logboek van de module lezen

Uitdagen · 6 · Analyseren · 30 min

Dit is de seriële monitor van de test uit het handboek (klimaat.ino versie 4).

```
# 05:50:00 klimaatmodule v4 (hoofdstuk 32)
# 05:50:00 modus OPSTART
# 05:50:00 dak: DICHT
# 05:50:05 modus NACHT
# 06:00:00 modus DAG
# 09:30:03 modus ONDERHOUD
# 09:52:03 modus DAG
# 10:40:28 oorzaak: geen temperatuur
# 10:40:28 modus ALARM
# 10:45:00 dak: OPENEN
# 10:45:07 dak: OPEN
# 10:50:00 modus DAG
# 10:51:38 dak: SLUITEN
# 10:51:45 dak: DICHT
# 11:06:10 dak: OPENEN
# 11:06:17 dak: OPEN
# 11:12:24 dak: SLUITEN
# 11:12:31 dak: DICHT
```

```
# 11:21:52 dak: OPENEN
# 11:21:59 dak: OPEN
# 11:30:14 dak: SLUITEN
# 11:30:21 dak: DICHT
# 11:37:30 dak: OPENEN
# 11:37:37 dak: OPEN
# 11:50:54 dak: SLUITEN
# 11:51:01 dak: DICHT
# 11:56:44 dak: OPENEN
# 11:56:51 dak: OPEN
# 15:39:34 dak: SLUITEN
# 15:39:46 dak: DAK_FOUT
# 15:39:48 oorzaak: dak haalt zijn eindpunt niet
# 15:39:48 modus ALARM
# 16:45:00 dak: SLUITEN
# 16:45:00 modus DAG
# 16:45:03 dak: DICHT
# 22:00:00 modus NACHT
# 23:10:08 oorzaak: vlotter droog
# 23:10:08 modus ALARM
# 23:40:00 modus NACHT
```

a Wat gebeurde er tussen 9:30 en 9:52? Waarom kon het dak toen niet bewegen?

b Het stekkertje van de SHT31 ging om 10:40:00 los. Waarom begint het alarm pas om 10:40:28?

c Het dak ging om 10:45 open terwijl de module in ALARM was. Is dat een fout?

d Tussen 11 en 12 uur ging het dak vier keer open. Geef twee manieren om dat pendelen te verminderen.

e Wat gebeurde er om 15:39 en om 16:45? Hoe lang was de module in totaal in ALARM?

32.15 Debat: mag de software de noodstop zijn?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 20 min

In de modi-code stopt een korte druk op S1 een bewegend dak: de knop werkt via de Mega. Een collega zegt: 'Dat is geen echte noodstop. Die moet de motor rechtstreeks spanningsloos maken, ook als het programma hangt.'

a Geef twee argumenten voor een noodstop in software en twee voor een noodstop in hardware.

b Hoe zou je een hardwarenoodstop voor het dak aansluiten (tip: DAK_ENABLE en de voeding van de H-brug)?

32.16 Ontwerp: een lift met twee verdiepingen

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 40 min

Het station krijgt een goederenlift tussen de kelder (batterijen) en het gelijkvloers. Er is een knop op elke verdieping en in de lift, een sensor per verdieping, een deur met een schakelaar 'deur dicht', een lichtsluis in de deuropening en een motor met rem.

a Maak een lijst van toestanden en gebeurtenissen.

b Teken het toestandsdiagram, met time-outs en een toestand FOUT.

c Welke regels mogen nooit geschonden worden? Hoe zorg je dat de lift ze ook bij een fout in de software niet schendt?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Toestanden	Stilstaan beneden/boven met deur open of dicht, rijden omhoog/omlaag, FOUT; logisch benoemd.
Overgangen	Knoppen, deur dicht, verdiepingssensor, lichtsluis, time-out tijdens het rijden.
Veiligheid	Nooit rijden met de deur open; bij een fout stilstaan met de rem erop; rem fail-safe (Otis).

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan in een systeem toestanden, gebeurtenissen, overgangen en acties herkennen en benoemen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan een toestandsdiagram lezen en tekenen met de notatie gebeurtenis [voorwaarde] / actie. ▢ ▢ ▢
- Ik kan een toestandsdiagram omzetten in een toestandstabel en ermee controleren of elke combinatie bedacht is. ▢ ▢ ▢
- Ik kan een toestandsmachine programmeren met enum en switch-case, zonder delay(), met de tijd in een toestand. ▢ ▢ ▢
- Ik kan fouten opsporen met time-outs en onmogelijke combinaties, en per fout een veilige toestand kiezen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan uitleggen wat fail-safe betekent en wat een waakhond doet. ▢ ▢ ▢
- Ik kan de modi van de klimaatmodule ontwerpen, programmeren en met een testscenario controleren. ▢ ▢ ▢

WERKBOEK · HOOFDSTUK 33

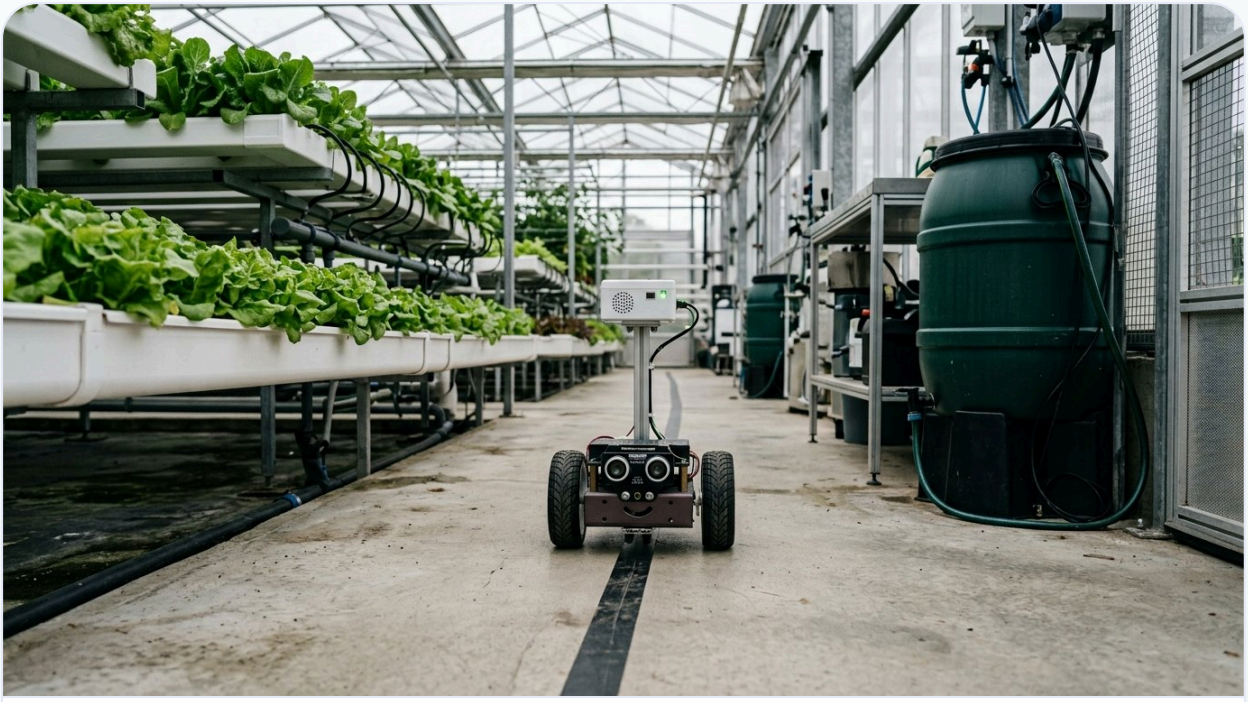
Een mobiele robot

Twee wielen, drie lichtsensoren en een oor: een inspectierobotje voor de gang van de klimaatmodule

Je rekent eerst met wielsnelheden, overbrengingen en echo's, tekent paden, leest sensoren en code, en ontwerpt tot slot de inspectieronde en een uitwijkmanoeuvre. Voor 33.10 en 33.15 heb je Python nodig, voor 33.11 het robotje of een motor met wiel.

5× oefenen · 7× toepassen · 4× uitdagen · ± 418 min

R Regelen en robotica · K Krachten, beweging en constructies · P Programmeren en computationeel denken · L Elektriciteit en elektronica



Het inspectierobotje meet waar de vaste sensorkast niet komt: laag, langs het hele kweekbed.

33.1 Snelheid, hoeksnelheid en draaistraal

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Het robotje heeft $b = 0{,}14\,\text{m}$. Bereken telkens v, ω en R, en zeg welke kant het op draait.

a $v_L = 0{,}12\,\text{m/s}$, $v_R = 0{,}18\,\text{m/s}$.

b $v_L = 0{,}20\,\text{m/s}$, $v_R = 0{,}10\,\text{m/s}$.

c $v_L = -0{,}15\,\text{m/s}$, $v_R = 0{,}15\,\text{m/s}$. Hoe lang duurt een volledige draai?

33.2 Een andere tandwielkast

●○○ Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een ander motortje draait onbelast 12 000 omw/min en heeft een tandwielkast 1:120; het wiel is 42 mm.

a Hoe snel draait het wiel, en hoe snel rijdt de robot onbelast?

b Ons robotje (motor 9000 omw/min, wiel 65 mm) moet hoogstens 0,25 m/s rijden. Welke overbrengingsverhouding past daarbij?

c Wat verandert er aan het koppel op het wiel als je die kast kiest in plaats van 1:48?

33.3 Van echo naar afstand

Oefenen · 3 · Rekenen · 10 min

De HC-SR04 meet bij 20 °C (343,4 m/s).

a Bereken de afstand bij een echo van 5,83 ms en van 1,17 ms.

b Hoe lang duurt de echo van een wand op 2,50 m?

c pulseln() geeft 0 terug na de time-out van 25 ms. Wat betekent dat voor het robotje?

33.4 Welke kant op?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 8 min

Het robotje rijdt vooruit. Wat doet het bij deze wielsnelheden?

a $v_L = 0{,}20$ en $v_R = 0{,}10\,\mathrm{m/s}$

- A bocht naar links
- B bocht naar rechts
- C op de plaats draaien
- D rechtdoor achteruit

b $v_L = -0{,}10$ en $v_R = 0{,}10\,\mathrm{m/s}$

- A bocht naar links
- B bocht naar rechts
- C op de plaats tegen de klok in
- D op de plaats met de klok mee

c $v_L = v_R = -0{,}10\,\mathrm{m/s}$

- A bocht naar links
- B stilstaan
- C rechtdoor achteruit
- D op de plaats draaien

d $v_L = 0$ en $v_R = 0{,}15\,\mathrm{m/s}$: rond welk punt draait het robotje?

33.5 Wat zien de sensoren?

Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

IJking: wit 100, zwart 850. De drie sensoren lezen links 850, midden 475, rechts 100.

a Bereken w voor elke sensor. Waar ligt de lijn ongeveer?

b Bereken p met het gewogen gemiddelde, en ω met K = 0,25 rad/s per mm.

c Welke wielsnelheden stuurt de regelaar bij v0 = 0,20 m/s? Wat zou aan/uit doen?

●●○ Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

33.6 Omkeren in de gang

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Het robotje is 200 × 160 mm; de as zit 110 mm achter de neus en 90 mm voor de achterkant. Op strook A (y = 0,55 m) is er 0,25 m tot de rand van het kweekbed en 0,55 m tot de buitenwand.

a Hoe groot is de cirkel die de verste hoek beschrijft bij een draai op de plaats? Kan het robotje op strook A omkeren?

b Een klein wagentje met een stuur heeft een kleinste draaistraal van 0,50 m (aan de buitenkant). Kan het in de gang van 0,80 m omkeren zonder te manoeuvreren?

c In een bocht met R = 0,05 m aan 0,20 m/s: wat doet het binnenste wiel? Waarom is dat een probleem met de dode zone?

33.7 Hoe erg is de temperatuur?

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

De module is 's winters soms 5 °C, 's zomers 35 °C. De code rekent altijd met 343,4 m/s. De HC-SR04 meet een echo van 1,75 ms.

a Bereken de echte afstand bij 5 °C en bij 35 °C, en wat de code telkens denkt.

b Het robotje stopt als de code 25 cm berekent. Op welke echte afstand stopt het bij 5 °C en bij 35 °C?

c Is de temperatuurcorrectie hier nodig? Wanneer wel?

33.8 Een pad tekenen

Toepassen · 5 · Tekenen · 20 min

Het robotje ($b = 0{,}14\,\mathrm{m}$) staat in de oorsprong en kijkt naar de positieve x-as. Het krijgt na elkaar: (1) $v_L = v_R = 0{,}20\,\mathrm{m/s}$ gedurende 2,0 s; (2) $v_L = -0{,}10$, $v_R = 0{,}10\,\mathrm{m/s}$ gedurende 1,1 s; (3) $v_L = v_R = 0{,}20\,\mathrm{m/s}$ gedurende 1,0 s; (4) $v_L = 0{,}20$, $v_R = 0{,}10\,\mathrm{m/s}$ gedurende 2,2 s.

a Bereken na elke stap de plaats en de richting.

stap	x (m)	y (m)	richting

b Teken het pad op schaal (1 hokje = 5 cm).

33.9 Code: de afstand meten

Toepassen · 5 · Programmeren · 20 min

Schrijf een functie die met de HC-SR04 de afstand in cm teruggeeft, gecorrigeerd voor de temperatuur luchtT.

a Schrijf de functie meetAfstand(). Gebruik pulseIn met een time-out.

b Waarom zet je TRIG eerst 2 µs laag voor de puls van 10 µs?

c Waarom meet het robotje niet in elke ronde van loop(), maar om de 60 ms?

33.10 Hoe snel mag het robotje?

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Gebruik lijnvolger.py uit het handboek.

a Laat rij() lopen met v0 = 0,30 en 0,40 m/s (T = 2,0/v0) voor K = 0,1 en K = 0,25. Wat stel je vast?

b Voeg een kengetal toe: de grootste afwijking in de bocht (x ≥ 1,40 m). Schrijf de regel code.

c Waarom heeft de regelaar bij een hogere snelheid meer versterking nodig?

33.11 Labo: snelheid en dode zone

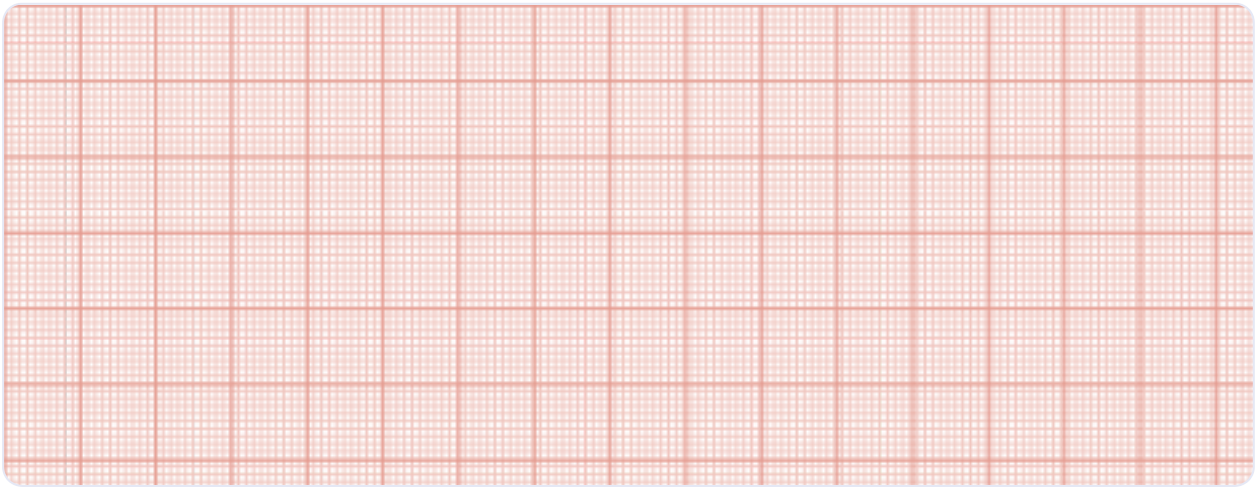
Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Voer de proef uit het handboek uit met je eigen robotje of een motor met wiel.

a Meettabel: PWM-waarde, drie tijden over 1,0 m, gemiddelde snelheid.

PWM	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	v (m/s)

b Zet v uit tegen de PWM-waarde. Bepaal de dode zone en de helling van de rechte.



c Schrijf het model van je motor als v = a · (PWM − PWM0). Welke PWM-waarde geeft 0,20 m/s?

d Rijdt je robotje rechtdoor als beide motoren dezelfde PWM-waarde krijgen? Hoe los je een verschil op?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Metingen	Na een aanloop gemeten, drie keer per waarde, ook rond de dode zone fijner gemeten.
Grafiek	Assen met eenheden, rechte door de punten boven de dode zone, snijpunt afgelezen.
Model	a en PWM0 met eenheden; de PWM-waarde voor 0,20 m/s berekend.
Kritiek	Verschil tussen de motoren benoemd; oplossing met een correctiefactor per motor of met de lijnvolger.

33.12 Vind de fouten in de robotcode

Toepassen · 6 · Programmeren · 20 min

Een eerste versie van drie cases uit robot.ino. Het robotje doet vreemde dingen.

```
case VOLGEN:
  if (afstand < STOP_CM) naar(WACHTEN, nu);
  else if (streep) { punten++; naar(METEN, nu); }
  else volg(pos, V_RIJ);
  break;
case WACHTEN:
  if (afstand > STOP_CM) naar(VOLGEN, nu);
  break;
case KEREN:
  if (wit01(REFL_M) > 0.6) naar(TERUG, nu);
  break;
```

a Op een meetpunt blijft het robotje eindeloos meten: na METEN gaat het naar VOLGEN en meteen weer naar METEN. Waarom?

b Voor een emmer op ongeveer 25 cm schokt het robotje: stoppen, vertrekken, stoppen. Waarom? En wat als de emmer blijft staan?

c KEREN draait niet: het robotje gaat meteen naar TERUG. Waarom?

d Schrijf de verbeterde cases.

●●● Uitdagen Uitdagen

transfer, open problemen, leerlijnen combineren

33.13 Habitat: de inspectieronde

●●● Uitdagen | 7 | Habitat | 75 min

Het team wil dat het robotje overdag (6 tot 22 uur) elk uur een ronde rijdt, en 's nachts twee keer. Bij elke ronde meet het op drie punten temperatuur, luchtvochtigheid en lekken. In de module werken soms mensen, en in de modus ONDERHOUD mag het robotje niet rijden (hoofdstuk 32).

a Bereken de tijd en de energie per ronde en per dag. Neem 1,0 W voor de elektronica terwijl het robotje wakker is, en 1,9 W extra voor de motoren tijdens het rijden.

b Hoe weet het robotje dat de module in ONDERHOUD is? Stel een oplossing voor (hardware of draadloos) en pas het toestandsdiagram aan.

c Een meting op meetpunt 2 geeft 'NAT'. Wat moet er gebeuren, bij het robotje en in de module?

d Wat kan het robotje meten dat de vaste sensorkast niet kan? Stel twee extra metingen voor en zeg waar op de route.

e Maak een testplan: welke situaties test je, en hoe weet je dat het robotje goed reageert?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Energie	Rijtijd uit de lengte van de lus en de snelheden, meettijd, wachttijd; energie per ronde en per dag; vergelijking met de batterij.
Koppeling met de module	ONDERHOUD en ALARM bereiken het robotje (bv. een draadloos bericht of een contact in het laadstation) en houden het op het station.
Lek	Robot meldt en stopt niet voor niets; de module sluit de pomp af (alarm A_WATER of een nieuwe oorzaak) en waarschuwt.
Metingen	Zinvolle extra metingen (bv. licht onder de goten, temperatuur op twee hoogtes, een foto van de planten) met plaats en reden.
Testplan	Obstakel even en blijvend, plas, lijn onderbroken, laadstation bezet, onderhoud tijdens een ronde; verwacht gedrag per test.

33.14 Ontwerp: omrijden of omkeren?

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 35 min

Het robotje keert nu om als de gang 20 s geblokkeerd is. Een collega wil dat het rond een obstakel rijdt: van de lijn af, erlangs, en terug op de lijn. Een emmer heeft een diameter van 0,30 m en staat midden op strook A (y = 0,55 m).

a Is er naast de emmer genoeg ruimte? Reken met de breedte van het robotje en een veiligheidsmarge van 5 cm.

b Ontwerp de toestanden en overgangen voor omrijden. Welke sensoren gebruikt het robotje als het geen lijn ziet?

c Geef twee argumenten voor en twee tegen omrijden in de gang van de module. Wat kies jij?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Ruimte	Correcte berekening van de vrije ruimte aan beide kanten, met marge.
Toestanden	Van de lijn af, erlangs (met odometrie of afstand tot de wand), terugzoeken van de lijn, time-out en FOUT.
Afweging	Veiligheid, planten, eenvoud en betrouwbaarheid tegen snelheid en volledigheid van de ronde.

33.15 Onderzoek: de beste versterking

●●● Uitdagen · 7 · Onderzoeken · 45 min

Onderzoek met lijnvolger.py hoe de versterking K en de snelheid v0 samen de nauwkeurigheid in de bocht bepalen.

a Laat de simulatie lopen voor alle combinaties van v0 (0,10 tot 0,40 m/s) en K (0,1 tot 1,0). Noteer de grootste afwijking in de bocht.

v0 (m/s)	K = 0,1	K = 0,25	K = 0,5	K = 1,0

b Welke K werkt bij alle snelheden? Waar verliest het robotje de lijn, en waarom?

c Bij 0,20 m/s is K = 0,1 in de bocht het nauwkeurigst, terwijl ze bij 0,30 m/s faalt. Verklaar met de plaats van de sensoren (60 mm voor de as).

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rooster	Alle combinaties systematisch doorgerekend, met hetzelfde kengetal.
Conclusie	Een K gekozen die bij alle gevraagde snelheden werkt, met een getal onderbouwd.
Verklaring	Rol van de sensorplaats en van het nodige draaien (ω = v/R) juist uitgelegd.

33.16 Plaats bijhouden met de wielen

Uitdagen · 7 · Analyseren · 25 min

Elk wiel krijgt een encoder: een schijfje met 20 gleuven en een lichtsluis, dus 20 pulsen per omwenteling. Na een stuk rijden telt het robotje 180 pulsen links en 200 pulsen rechts.

a Hoeveel mm is één puls? Hoeveel heeft elk wiel afgelegd?

b Bereken de afgelegde weg van het midden en de draaihoek.

c Het linkerwiel is 1 % groter dan het rechter, maar de code weet dat niet. Hoe scheef staat het robotje na 10 m rechtdoor? Wat leer je daaruit?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan met $v = (v_L + v_R)/2$ en $\omega = (v_R - v_L)/b$ de snelheid, de hoeksnelheid en de draaistraal van een robot met twee wielen berekenen.
- Ik kan uit de motordata, de overbrengingsverhouding en de wieldiameter de snelheid van een robot berekenen, en de PWM-waarde kiezen.
- Ik kan uitleggen hoe een reflectiesensor werkt, hem ijken, en een lijnvolger maken met aan/uit en met een P-regelaar.
- Ik kan met $s = v \cdot t / 2$ een afstand berekenen uit een echo, en de invloed van de temperatuur op de geluidssnelheid inschatten.

Ik kan het gedrag van een robot ontwerpen als toestandsmachine, met obstakels, meetpunten, time-outs en een veilige toestand.

Ik kan een simulatie van een robotpad lezen en gebruiken om een versterking of een snelheid te kiezen.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 34

Enzymen en stofwisseling

Waarom een cel niet ontploft en niet stilvalt: katalysatoren met een optimum, en de weg van licht naar ATP

Je begint met de begrippen, een energiediagram, reactievergelijkingen en rekenen met Q10. In de tweede trede meet je zelf met katalase (temperatuur en pH), haal je Vmax en Km uit metingen, reken je met ATP en pas je het enzymmodel in Python aan. In de uitdagingen stel je de temperatuurstrategie van de kweekruimte op (opdracht 34.13), onderzoek je wat de bewoner verbrandt, ontwerp je een proef met wasmiddelenzymen, debatteer je over wassen op 30 °C, en ontdek je dat denaturatie tijd vraagt.

5× oefenen | 7× toepassen | 5× uitdagen | ± 449 min

B Leven en systemen | M Materie en chemie



Een schijfje aardappel in waterstofperoxide: het enzym katalase maakt in seconden wat anders maanden duurt.

Oefenen

34.1 Wie doet wat?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Enzymen, substraten en de begrippen errond.

a Vul aan: een enzym is een _____ dat een reactie versnelt door de _____ te verlagen. Het substraat bindt in het _____. Na de reactie is het enzym _____.

b Welk enzym hoort bij welk substraat? Katalase, amylase, lactase, pepsine; zetmeel, eiwit, waterstofperoxide, melksuiker.

c Waarom breekt amylase geen cellulose af, al bestaan zetmeel en cellulose allebei uit glucose-eenheden?

d Een leerling zegt: 'Na de proef is het katalase in de aardappel op.' Klopt dat? Hoe zou je het testen?

34.2 Een energiediagram tekenen

● ○ ○ Oefenen · 3 · Tekenen · 12 min

Amylase breekt zetmeel af tot maltose. De reactie geeft een beetje energie af.

a Teken het energiediagram van de reactie zonder en met amylase. Duid aan: beginstoffen, producten, activeringsenergie (twee keer), vrijgekomen energie.

b Welke van deze grootheden verandert door het enzym, en welke niet?

34.3 Vergelijkingen van het leven

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Maak kloppend en zeg telkens of er zuurstof nodig is.

a (a) $CO_2 + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2$

b (b) $C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$

c (c) $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_2H_5OH + CO_2$

d (d) $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6$ (sacharose wordt door invertase gesplitst in glucose en fructose, die dezelfde formule hebben)

e (e) Hoeveel gram koolstofdioxide maakt een gistcel uit 1,00 g glucose bij gisting, en hoeveel bij celademhaling?

34.4 Rekenen met Q10

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik $v_2 = v_1 \cdot Q_{10}^{(T_2 - T_1)/10}$, zolang je onder het optimum blijft.

a Een enzymreactie verloopt bij 25 °C met 8,0 µmol/min; Q10 = 2,0. Hoe snel bij 35 °C, bij 15 °C en bij 5 °C?

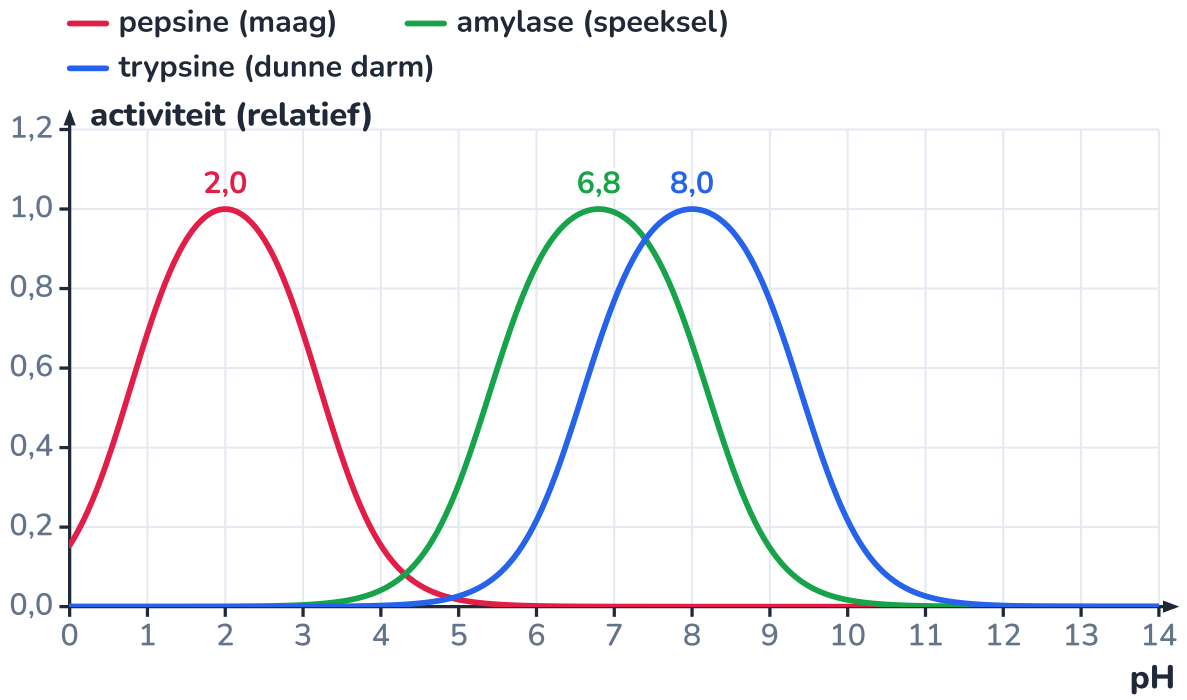
b Een gesneden appel kleurt bij 20 °C in 20 minuten bruin (een enzym, polyfenoloxidase). Hoe lang duurt dat in de koelkast bij 4 °C als Q10 = 2,0?

c Een meting: bij 10 °C 3,0 µmol/min, bij 30 °C 13,5 µmol/min. Bereken Q10.

34.5 pH-grafieken lezen

Oefenen · 4 · Analyseren · 12 min

Gebruik de grafiek.



Model van de pH-afhankelijkheid van drie spijsverteringsenzymen.

a Bij welke pH werkt elk enzym het best? Welk enzym werkt nog voor meer dan de helft bij pH 7,5?

b Je slikt een hap brood: amylase uit je speeksel knipt zetmeel. Wat gebeurt er met die werking als het brood in je maag (pH ongeveer 2) komt? Is dat blijvend?

c Waarom zou het geen zin hebben een pepsinepil te slikken bij een tekort aan trypsine?

34.6 Labo: katalase en temperatuur

●●○ Toepassen · 5 · Labo · 50 min

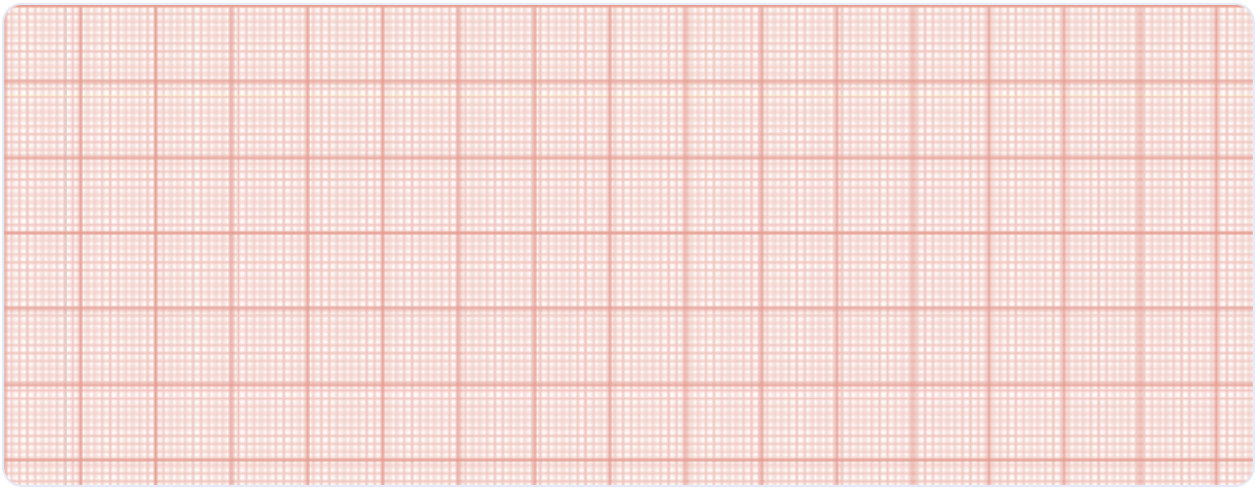
Voer de proef van het handboek uit met aardappel (of lever) en waterstofperoxide 3 %, bij minstens zes temperaturen tussen 0 en 70 °C. Werk met drie herhalingen per temperatuur.

a Welke veranderlijke verander je, welke meet je, en welke hou je gelijk (minstens vier)?

b Meet en noteer.

T (°C)	meting 1 (mm)	meting 2 (mm)	meting 3 (mm)	gemiddelde (mm)

c Teken de grafiek (temperatuur horizontaal) met foutbalken van de spreiding. Waar ligt het optimum?



d Bereken Q10 tussen 10 en 30 °C. Verklaar het verloop onder en boven het optimum met de twee effecten.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Eerlijke proef	Zelfde massa en oppervlak aardappel, zelfde volume en concentratie, zelfde wachttijd, zelfde afleesmoment.
Metingen	Drie herhalingen, gemiddelde en spreiding, eenheden in de kop.
Grafiek	Assen met grootheid en eenheid, foutbalken, vloeiende lijn met een top.
Verklaring	Botsingen onder het optimum (Q10 ± 2), denaturatie erboven; invloed van de voorverwarmtijd vermeld.

34.7 Onderzoek: drijvende schijfjes en de pH

●●○ Toepassen · 5 · Onderzoeken · 50 min

Een rondje filtreerpapier gedrenkt in aardappelsap zinkt in waterstofperoxide. Het zuurstofgas dat het katalase maakt, blijft aan het papier hangen tot het schijfje boven komt

drijven. Hoe sneller het enzym, hoe korter de tijd. De snelheid is dus evenredig met 1 / tijd. Onderzoek de invloed van de pH: meng de waterstofperoxide met azijn, kraanwater of een oplossing van natriumwaterstofcarbonaat (of met buffers van pH 4, 5, 6, 7, 8, 9).

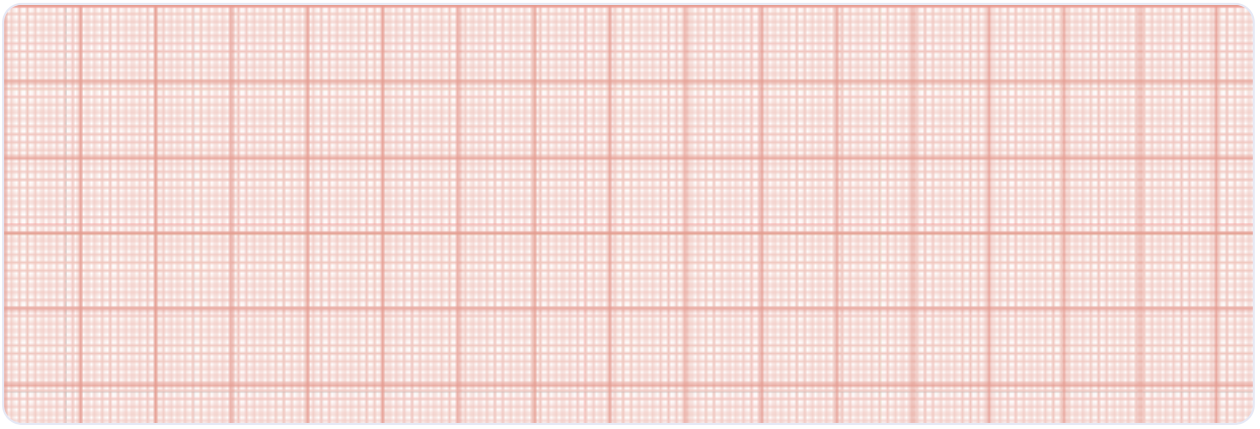
a Formuleer een onderzoeksvraag en een hypothese met een verklaring.

b Beschrijf je werkwijze in stappen, met de veiligheidsmaatregelen.

c Meet en bereken de snelheid 1 / t (in 1/s).

pH	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	gemiddelde t (s)	1 / t (1/s)

d Zet 1 / t uit tegen de pH en trek een besluit. Wat is het pH-optimum van aardappelkatalase?



ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vraag en hypothese	Toetsbaar, met een verwachte vorm (optimum rond pH 7) en een verklaring (ladingen, vorm).
Werkwijze	Zelfde schijfjes en sap, zelfde volume, pH gemeten met een pH-meter of papier, drie herhalingen.
Verwerking	Snelheid als 1 / t, gemiddelde, grafiek met een optimum.
Kritisch	Grenzen: pH verandert door het sap, bubbels die loslaten, schijfjes die aan de wand kleven.

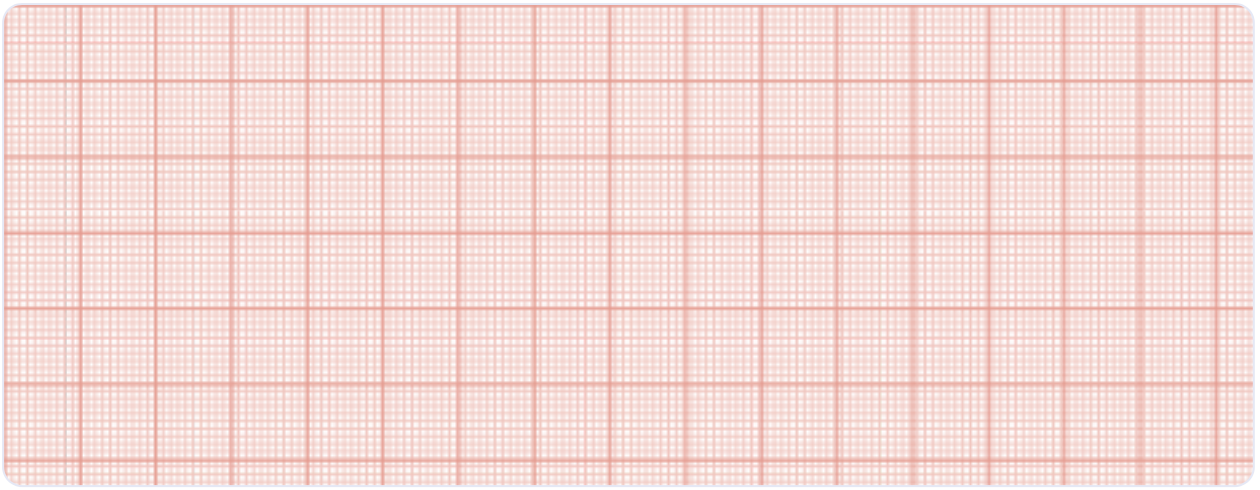
34.8 Vmax en Km uit metingen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Een groep meet de snelheid van invertase (splitst sacharose) bij verschillende sacharoseconcentraties, telkens met dezelfde hoeveelheid enzym:

[S] (mmol/L)	2	5	10	20	40	80	160
v (µmol/min)	1,7	3,4	5,1	6,8	8,1	8,8	9,5

a Zet de metingen in een grafiek. Schat Vmax en Km.



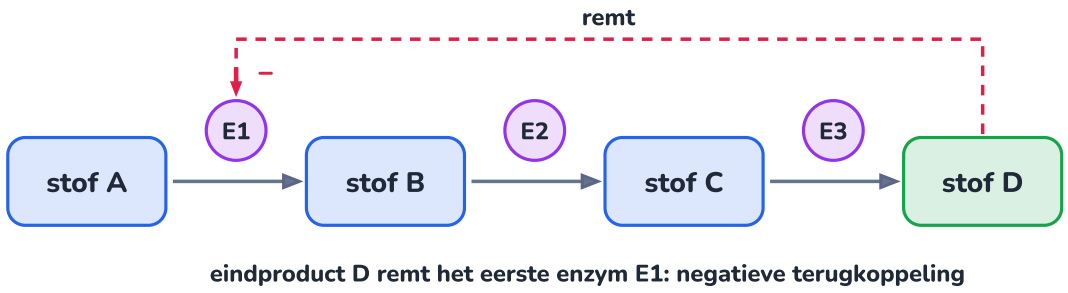
b Controleer je schatting: bereken met je Vmax en Km de snelheid bij 20 mmol/L en vergelijk met de meting.

c De groep herhaalt de reeks met de helft van de hoeveelheid enzym. Wat verwacht je voor Vmax en voor Km? Schets de nieuwe kromme.

34.9 Een enzymketen met een rem

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Een bacterie maakt het aminozuur D uit A, in drie stappen.



Een keten van drie enzymen; het eindproduct D remt E1.

a Wat gebeurt er met de hoeveelheid B, C en D als de bacterie in een voedingsbodem terechtkomt die veel D bevat? Waarom is dat zuinig?

b Waarom remt D het eerste enzym, en niet het laatste?

c Teken dit als een blokschema van een regelkring (hoofdstuk 31): wat is de sensor, de regelaar, de actuator, het proces?

34.10 ATP: van glucose tot spier

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Gebruik: 30 ATP per glucose bij celademhaling, 2 bij gisting of melkzuurvorming; 30,5 kJ per mol ATP; 2803 kJ per mol glucose.

a Hoeveel gram glucose heeft een cel nodig voor 1,0 mol ATP met celademhaling? En zonder zuurstof?

b Welk deel van de energie van glucose komt in ATP terecht bij celademhaling en bij melkzuurvorming?

c Een gistcel in een afgesloten fles zonder zuurstof: waarom breekt ze veel meer suiker af dan in een fles met lucht, en wat merk je daarvan?

34.11 Koorts, koelkast en blancheren

Toepassen · 5 · Begrijpen · 15 min

Drie situaties uit het dagelijks leven, met enzymen in de hoofdrol.

a Waarom is koorts van 39 °C meestal niet erg, maar 42 °C levensgevaarlijk? Gebruik de grafiek van het menselijke enzym.

b Waarom bederft vers vlees in de koelkast pas na enkele dagen, maar bij 30 °C al na enkele uren?

c Groenten blancheer je 2 à 3 minuten in kokend water voor je ze invriest. Waarom helpt dat, en waarom helpt invriezen alleen niet voor altijd?

34.12 Python: het enzymmodel aanpassen

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Neem `enzymmodel.py` uit het handboek.

a Voeg een parameter `Ea` toe aan `snelheid` en bereken het optimum van het menselijke enzym (Tm = 45) met Ea = 30 000, 50 000 en 80 000 J/mol. Wat verandert er?

b Bereken voor Ea = 50 000 J/mol de factor tussen 20 en 30 °C. Hoe groot is Q10 in het model?

c Voorspel eerst en controleer dan: verschuift het optimum als dH groter wordt (het enzym ontvouwt 'plotser')?

●●● Uitdagen

Uitdagen

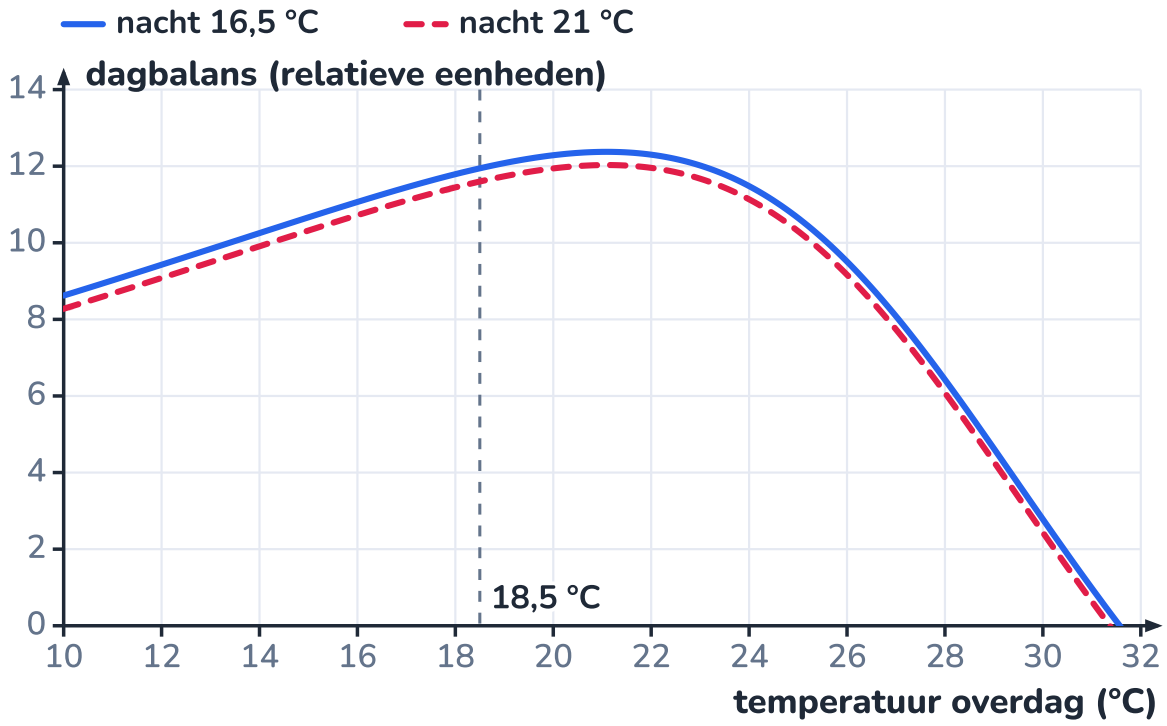
transfer, open problemen, leerlijnen combineren

34.13 Habitat: de temperatuurstrategie van de kweekruimte

●●● Uitdagen · 7 · Habitat · 60 min

De kweekruimte van de klimaatmodule: 48 kroppen sla bij 200 µmol/(m²·s), 16 uur licht. De regeling van hoofdstuk 31 houdt nu 18/19 °C overdag en 16/17 °C 's nachts. Een teamlid stelt voor overdag naar 24 °C te gaan ('enzymen werken sneller'), een ander wil 's nachts

naar 14 °C ('scheelt stookkosten'). Gebruik het model van het handboek en de gegevens: warmteverlies van de module 20,2 W/K (hoofdstuk 19); de lampen geven overdag 190 W warmte af; voedingsoplossing 60 L, NTC op A0.



Model uit het handboek: dagbalans van de sla bij twee nachttemperaturen.

a Lees uit de grafiek hoeveel procent van de optimale dagbalans de sla haalt bij 18,5 °C en bij 24 °C overdag (nacht 16,5 °C). Wat vind je van het voorstel van 24 °C?

b Bereken met de formule voor de ademhaling hoeveel minder de sla 's nachts ademt bij 14 °C dan bij 16,5 °C, en hoeveel warmte de module per nacht bespaart (8 h).

c Noem twee risico's van 14 °C 's nachts die het model niet toont.

d De voedingsoplossing warmt op een zomerdag op tot 26 °C. Waarom is dat een probleem? Stel twee maatregelen voor en een alarmregel voor de microcontroller.

e Schrijf je advies (vijf regels) met de grenzen voor dag, nacht en reservoir, en hoe je na een teelt controleert of het goed was.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Model gebruikt	Waarden correct uit de grafiek en de formule; eenheden; het verschil tussen bruto, netto en dagbalans begrepen.
Energie	Besparing met 20,2 W/K × ΔT × 8 h correct; vergeleken met het dagbudget.
Grenzen van het model	Schieten en randjes boven ± 24 °C, koude en condens onder ± 15 °C, trage groei; zuurstof en wortelrot in het reservoir.
Advies	Concrete grenzen met hysterese, een alarmregel, en een meetbare controle (versgewicht per krop, logboek).

34.14 Wat verbrandt de bewoner?

Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

Het ademhalingsquotiënt verandert met wat je eet en doet. Een onderzoeker meet bij een bewoner in rust 0,30 L zuurstof per minuut en 0,24 L koolstofdioxide per minuut, en na een koolhydraatrijke maaltijd 0,30 L zuurstof en 0,29 L koolstofdioxide per minuut. Gassen bij dezelfde temperatuur en druk: gelijke volumes bevatten evenveel mol (hoofdstuk 14).

a Bereken RQ in beide situaties. Waarom mag je hier met liters rekenen in plaats van met mol?

b Wat verbrandt de bewoner vooral in rust, en na de maaltijd?

c Hoeveel energie verbruikt de bewoner per dag in rust, als de verbranding ongeveer 20 kJ per liter zuurstof oplevert? Vergelijk met de 10 MJ uit F29.

d Het station regelt de CO_2 met een filter en de O_2 met een zuurstofgenerator. Waarom moeten ingenieurs het RQ van de bewoners kennen?

34.15 Ontwerp: een proef met wasmiddelenzymen

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 45 min

Een fabrikant beweert dat zijn wasmiddel 'op 20 °C even goed wast als op 40 °C' dankzij enzymen. Je hebt: het wasmiddel, een gewoon wasmiddel zonder enzymen, eiwitvlekken (eigeel of melk op katoenen lapjes), bekers, waterbaden en een smartphone om de lapjes te fotograferen.

a Formuleer een onderzoeksvraag en een toetsbare hypothese.

b Ontwerp de proef: welke groepen, welke veranderlijke, wat hou je gelijk, hoeveel herhalingen, welke controlegroep?

c Hoe meet je 'hoe schoon' objectief (niet 'op het zicht')?

d Welk resultaat zou de bewering van de fabrikant tegenspreken?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vraag	Toetsbaar, met één veranderlijke per vergelijking.
Ontwerp	Vier groepen (met/zonder enzymen × 20/40 °C), zelfde lapjes en vlekken, zelfde tijd en dosis, minstens drie herhalingen, blanco lapje.
Meten	Objectieve maat: foto onder dezelfde belichting, grijswaarde of kleur van de vlek met een app of Python, vóór en na.
Besluit	Duidelijk wat de bewering bevestigt of tegenspreekt, met de grenzen van de proef.

34.16 Debat: wassen op 30 °C

●●● Uitdagen · 6 · Argumenteren · 30 min

Stelling: 'Alle wasmachines zouden standaard op 30 °C moeten wassen.' Gegevens (orde van grootte): een wasbeurt op 60 °C kost ongeveer 1,0 kWh, op 30 °C ongeveer 0,4 kWh; een gezin wast ongeveer 200 keer per jaar; enzymen werken tot ongeveer 40 °C en zijn gemaakt met micro-organismen (hoofdstuk 35); sommige ziekteverwekkers overleven 30 °C.

a Bereken de besparing per gezin per jaar in kWh en in euro (€ 0,30 per kWh).

b Geef twee argumenten voor en twee tegen de stelling. Gebruik wat je over enzymen weet.

c Formuleer een genuanceerd standpunt in drie zinnen.

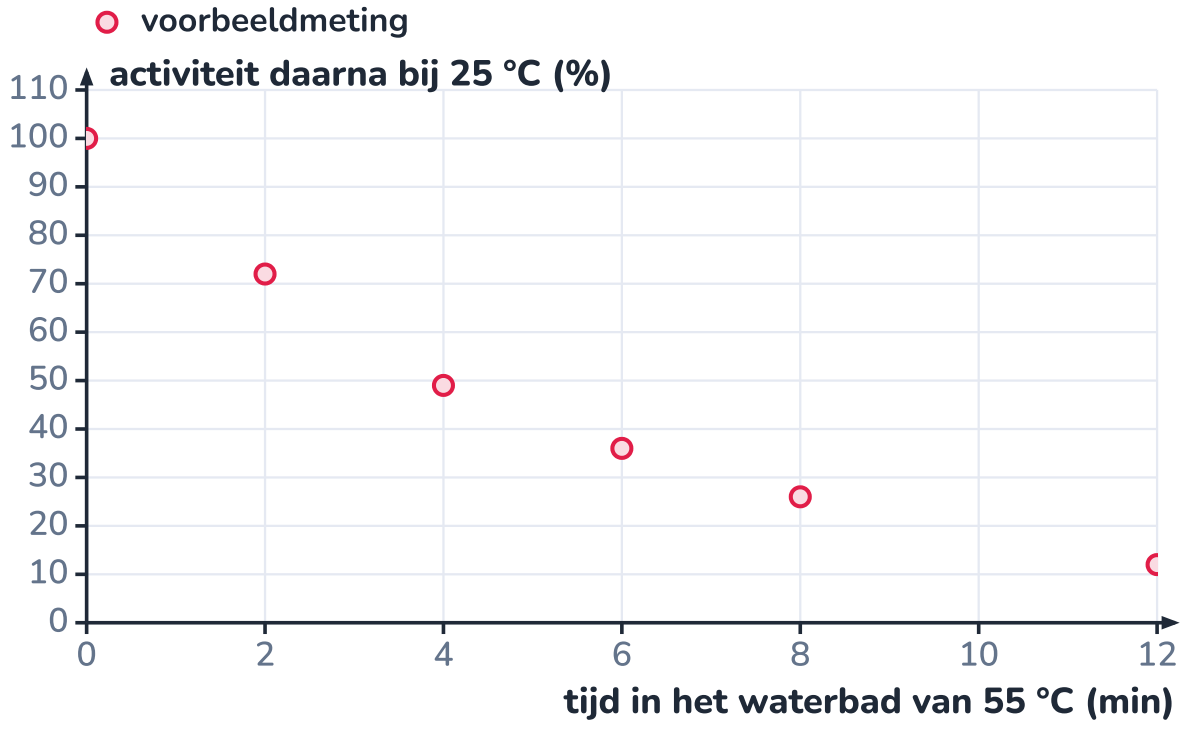
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	120 kWh en € 36 per jaar, met eenheden.
Argumenten	Wetenschappelijk juist (enzymoptimum, hygiëne), voor en tegen.
Standpunt	Genuanceerd: standaard 30 °C, uitzonderingen benoemd.

34.17 Denaturatie vraagt tijd

●●● Uitdagen · 7 · Analyseren · 30 min

Een groep laat aardappelschijfjes een tijd in een bad van 55 °C liggen en meet daarna de activiteit bij 25 °C (in procent van niet-verwarmde schijfjes). Bij 45 °C valt de activiteit ook, maar veel trager: na 20 minuten is er de helft over.



Voorbeeldmeting: katalase dat een tijd bij 55 °C stond, gemeten bij 25 °C.

a Toon aan dat de activiteit exponentieel daalt (hoofdstuk 5). Bepaal de halveringstijd bij 55 °C.

b In de proef van het handboek lagen de schijfjes 5 minuten in het bad. Hoeveel procent van het enzym was bij 55 °C al kapot vóór de meting begon?

c Een tweede groep laat de schijfjes 30 minuten voorverwarmen. Verschuift hun optimum naar hoger of naar lager? Leg uit.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan uitleggen wat een katalysator doet met de activeringsenergie, en waarom een enzym niet opgebruikt wordt.
- Ik kan de werking van een enzym beschrijven met het actieve centrum, het enzym-substraatcomplex en de specificiteit.
- Ik kan het temperatuuroptimum van een enzym verklaren met twee effecten, en rekenen met de vuistregel Q10 ≈ 2.
- Ik kan uitleggen waarom een enzym een pH-optimum heeft, en pH-grafieken van enzymen lezen.
- Ik kan de betekenis van Vmax en Km uitleggen en ze uit een grafiek van de snelheid tegenover de substraatconcentratie halen.

- Ik kan fotosynthese, celademhaling en gisting als kloppende reactievergelijking schrijven en vergelijken.
- Ik kan de energieketen van licht tot ATP beschrijven en uitleggen waarom ATP een energiedrager is.
- Ik kan een enzymproef opzetten met één veranderlijke, en de resultaten verklaren.
- Ik kan met een model uitleggen waarom de sla in de klimaatmodule een temperatuuroptimum heeft en 's nachts koeler mag.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 35

Micro-organismen en biotechnologie

Onzichtbare helpers en belagers: van gist in je brood tot insuline uit een bacterie, en een compostvat voor Habitat

Je begint met herkennen, schalen, verdubbelen en reactievergelijkingen. In de tweede trede doe je drie labo's (gist en suiker, yoghurt, kiemen op agar), tel je bacteriën en bepaal je generatietijden, en pas je het groeimodel aan in Python. In de uitdagingen ontwerp je het compostvat (35.13) en het hygiëneplan (35.14) van Habitat, reken je uit of biogas loont en debatteer je over antibiotica.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 499 min

B Leven en systemen | O Onderzoeken en meten | W Wiskundig modelleren



Elk stipje is een kolonie van miljoenen cellen, gegroeid uit één enkele bacterie of spore.

Oefenen

één stap, direct toepassen

35.1 Bacterie, gist, schimmel of virus?

●○○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Welke groep past bij elke uitspraak? Er kunnen meer antwoorden goed zijn.

a (a) heeft geen celkern maar wel een celwand; (b) vermeerdert door knopvorming; (c) kan zich niet zonder gastheercel vermenigvuldigen; (d) groeit met hyfen en verspreidt zich met sporen; (e) wordt niet geremd door antibiotica; (f) is kleiner dan het oplossend vermogen van een lichtmicroscoop.

b Waarom noemt men een gist een schimmel, al heeft ze geen draden?

35.2 Van nanometer tot millimeter

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Gebruik 1 mm = 1000 µm en 1 µm = 1000 nm.

a Hoeveel bacteriën van 2 µm liggen er achter elkaar op een lijn van 1 cm? Hoeveel griepvirussen van 100 nm?

b Een bacterie is ongeveer een cilinder van 2 µm lang en 1 µm dik. Bereken haar volume in µm³. Hoeveel bacteriën passen er in 1 mm³ (dicht op elkaar)?

c Een mens bevat ongeveer $4 \cdot 10^{13}$ bacteriën, vooral in de darmen. Hoeveel is dat, als ze allemaal 1,5 µm³ groot zijn, in cm³?

35.3 Delen en verdubbelen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Eén bacterie komt op een stukje vlees bij 30 °C; ze verdubbelt elke 30 minuten.

a Hoeveel bacteriën zijn er na 3 uur, en na 10 uur, als niets de groei remt?

b Na hoeveel uur zijn er een miljoen? Gebruik logaritmen (hoofdstuk 5).

c In de koelkast (4 °C) verdubbelt deze bacterie niet meer. Een andere soort, Listeria, verdubbelt er elke 30 uur. Hoeveel keer is ze na een week vermeerderd?

35.4 Fermentaties kloppend maken

Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Maak kloppend en zeg welk micro-organisme het doet en waar je het tegenkomt.

a (a) $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_2H_5OH + CO_2$

b (b) $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow C_3H_6O_3$ (lactose tot melkzuur)

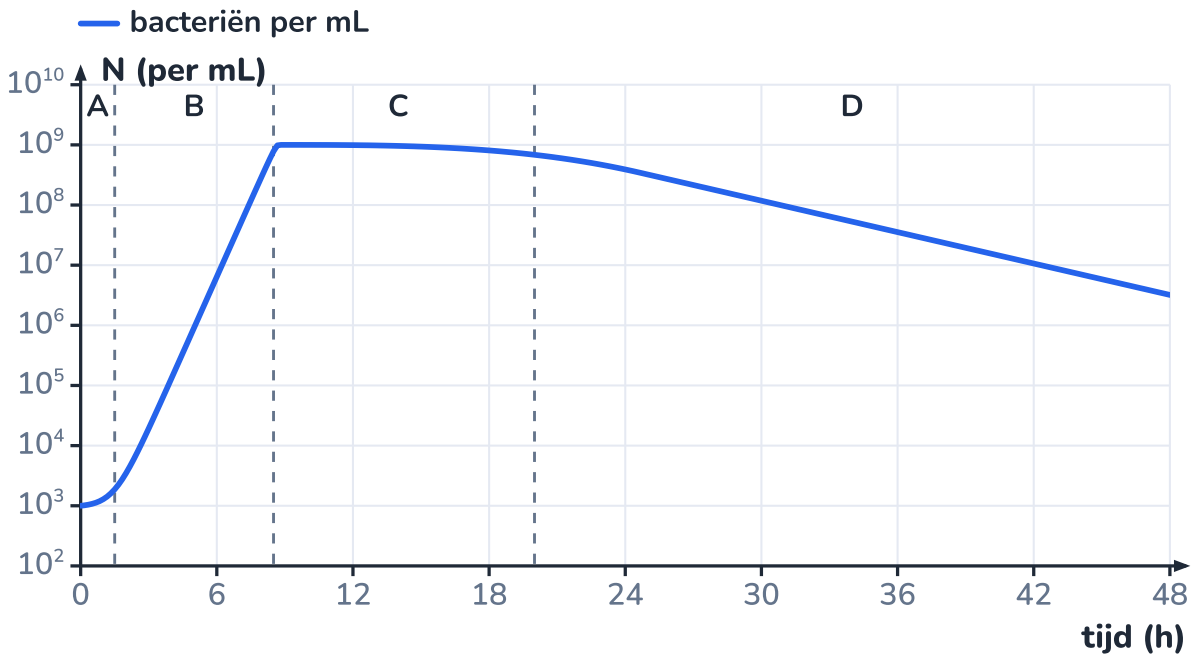
c (c) $C_2H_5OH + O_2 \longrightarrow CH_3COOH + H_2O$

d (d) $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_4 + CO_2$

35.5 Vier fasen herkennen

Oefenen · 4 · Analyseren · 15 min

De grafiek toont een groeicurve met vier fasen A, B, C en D.



De groeicurve van het handboek op een logaritmische as, zonder namen.

a Geef elke fase haar naam en zeg in één zin wat de bacteriën er doen.

b Waarom is fase B een rechte op deze as? Hoe zou ze eruitzien op een gewone as?

c Lees af: hoeveel bacteriën per mL zijn er na 6 uur en na 30 uur (orde van grootte)?

35.6 Labo: gist en suiker in een ballon

●●○ Toepassen | 5 | Labo | 60 min

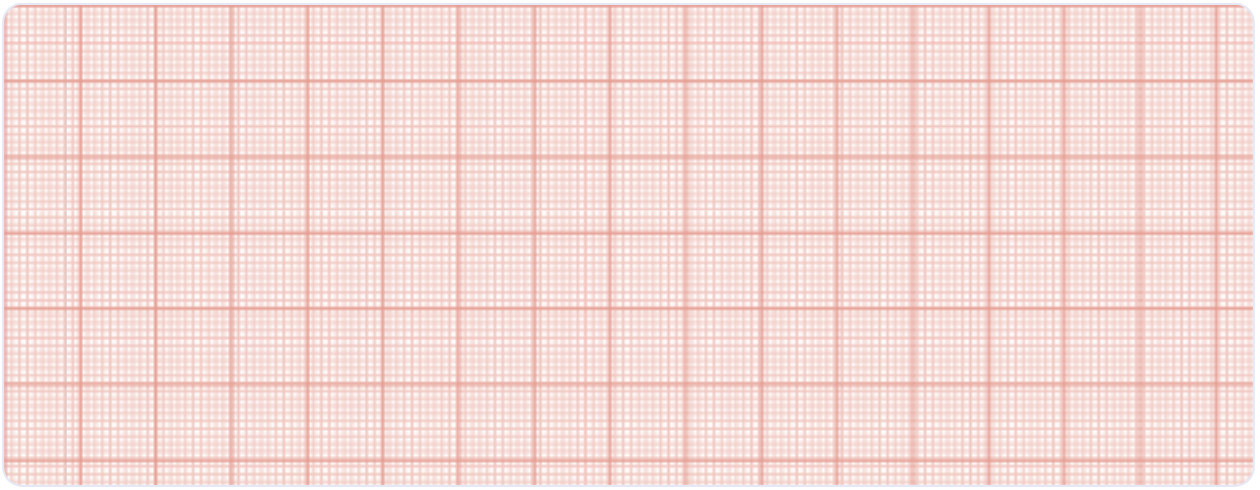
Onderzoek met de opstelling van het handboek één veranderlijke: de temperatuur (15, 25, 35, 45 °C), de hoeveelheid glucose (1, 2,5, 5 en 10 g) of de soort suiker (glucose, sacharose, lactose, zetmeel).

a Kies je veranderlijke, formuleer een hypothese en noem wat je gelijk houdt.

b Meet de omtrek om de 10 minuten en bereken het volume.

t (min)	C (cm)	V (mL)	C (cm)	V (mL)	C (cm)	V (mL)

c Teken de grafieken. Bepaal de snelheid (mL per minuut) in het steilste stuk.



d Verklaar je resultaat met enzymen (hoofdstuk 34) of met stoichiometrie. Welke fout heeft je meting?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opzet	Eén veranderlijke, de rest gelijk (volume, gist, temperatuur of suiker), een controle zonder gist of zonder suiker.
Metingen	Omtrek regelmatig gemeten, volume correct berekend met $V = C^3/(6\pi^2)$.
Analyse	Grafiek, snelheid uit de helling, vergelijking met het maximum uit de stoichiometrie.
Verklaring	Temperatuuroptimum en denaturatie, of evenredigheid met de suiker; lactose en zetmeel: gist heeft er geen (of weinig) enzymen voor.

35.7 Labo: yoghurt maken

●●○ Toepassen · 5 · Labo · 60 min

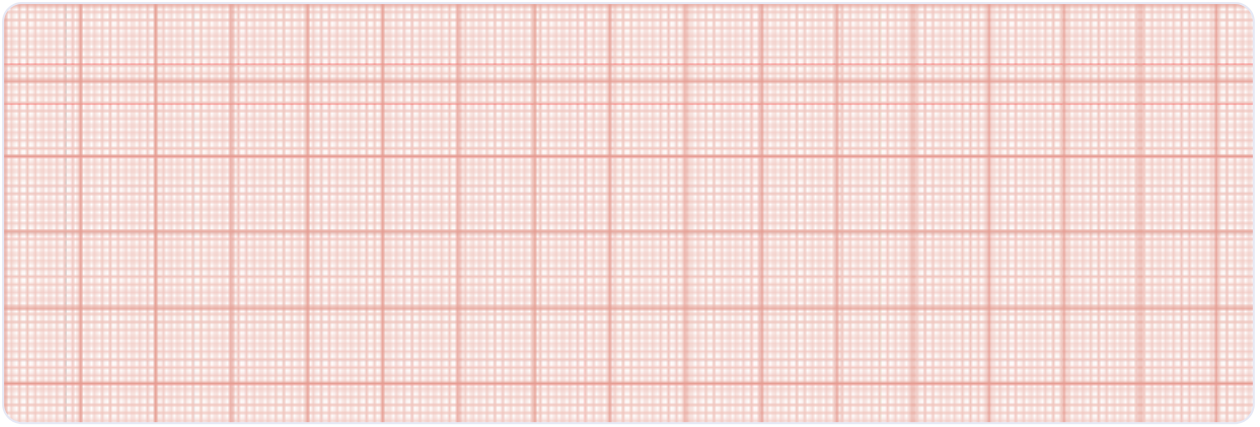
Voer de proef van het handboek uit met een pH-meter of pH-papier. Werk voedselveilig.

a Waarom verwarm je de melk eerst tot net onder de kook? Waarom mag de yoghurt pas bij 43 °C erbij?

b Meet de pH elk uur in de drie potjes.

t (h)	A: 43 °C	B: 20 °C	C: zonder

c Teken de drie curven. Wanneer wordt A dik, en bij welke pH?



d Verklaar de vorm van curve A met de groeicurve van de bacteriën.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Voedselveilig	Schone potjes, geen labomateriaal, proeven alleen als het mag.
Metingen	pH-meter geijkt of pH-papier consequent afgelezen; elk uur gemeten.
Grafiek	Drie curven, assen met eenheid, het moment van stremmen aangeduid.
Verklaring	Aanloop, exponentiële groei, afremming door het zuur; stremmen bij pH ± 4,6 (caseïne).

35.8 Labo: kiemen op agar, veilig

●●○ Toepassen · 5 · Labo · 50 min

Kies zelf een onderzoeksvraag voor de agarproef, bijvoorbeeld: 'Helpt handgel even goed als handen wassen met zeep?' of 'Hoeveel bacteriën zitten er op een smartphone na een dag?' Werk volgens de veiligheidsregels van het handboek.

a Onderzoeksvraag, hypothese, en welke platen je nodig hebt (met blanco).

b Noteer de veiligheidsregels die je volgt, van het werkblad tot het vernietigen van de platen.

c Tel de kolonies door het deksel en beschrijf hun uitzicht.

plaat	wat	aantal kolonies	uitzicht

d Trek een besluit. Wat zou je veranderen om het betrouwbaarder te maken?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Veiligheid	Werkblad ontsmet, beschrift op de bodem, 2-4 stroken plakband, 20-25 °C, nooit geopend, vernietigd door de leerkracht.
Opzet	Blanco, één veranderlijke, vergelijkbare werkwijze per plaat.
Waarneming	Kolonies geteld, soorten onderscheiden naar kleur en vorm.
Besluit	Voorzichtig: één plaat per situatie is weinig; voorstel voor herhalingen.

35.9 Tellen met een verdunningsreeks

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Om de kwaliteit van het water in het reservoir van Habitat te controleren, maakt een bewoner een verdunningsreeks van tien keer per stap en strijkt telkens 0,1 mL uit. Resultaten na 3 dagen: onverdund: te veel; 10^{-1}: 312; 10^{-2}: 34; 10^{-3}: 2.

a Welke plaat gebruik je voor de berekening? Waarom niet de andere?

b Bereken het aantal KVE per mL in het reservoir.

c Hoeveel KVE zitten er dan in het hele reservoir van 60 L?

d Waarom zegt dit getal alleen niet of het water gevaarlijk is?

35.10 Generatietijd bij twee temperaturen

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Twee culturen van dezelfde bacterie, bij 20 °C en bij 37 °C. Metingen in de exponentiële fase: 20 °C: $1{,}2 \cdot 10^4$ per mL om 2 h en $3{,}1 \cdot 10^5$ per mL om 10 h; 37 °C: $2{,}0 \cdot 10^4$ per mL om 1 h en $1{,}3 \cdot 10^7$ per mL om 4 h.

a Bereken bij elke temperatuur het aantal verdubbelingen en de generatietijd.

b Bereken Q10 voor de groei tussen 20 en 37 °C (per 10 °C). Vergelijk met de vuistregel voor enzymen (hoofdstuk 34).

35.11 Hoe lang mag de sla buiten de koelkast?

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Gebruik de generatietijden uit het temperatuurmodel van het handboek: *Listeria* 30 h bij 4 °C, 13 h bij 7 °C, 2,0 h bij 20 °C; *E. coli* groeit niet onder 7 °C, verdubbelt om de 1,6 h bij 20 °C en om de 32 min bij 30 °C. De Europese regels laten in kant-en-klaar voedsel hoogstens 100 KVE *Listeria* per gram toe tot de houdbaarheidsdatum.

a Verse sla bevat 10 KVE Listeria per gram. Hoeveel na 5 dagen bij 4 °C, en bij 7 °C? Wordt de grens van 100 per gram overschreden?

b Een slaatje met 100 E. coli per gram blijft 4 uur in een warme auto (30 °C). Hoeveel zijn er daarna?

c Formuleer twee regels voor de bewoners van Habitat voor de oogst en de opslag van sla.

35.12 Python: het groeimodel aanpassen

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Neem `groei.py` uit het handboek.

a Start met 10 keer meer bacteriën (n0 = 1e4). Hoeveel sneller wordt het plafond bereikt? Verklaar met de generatietijd.

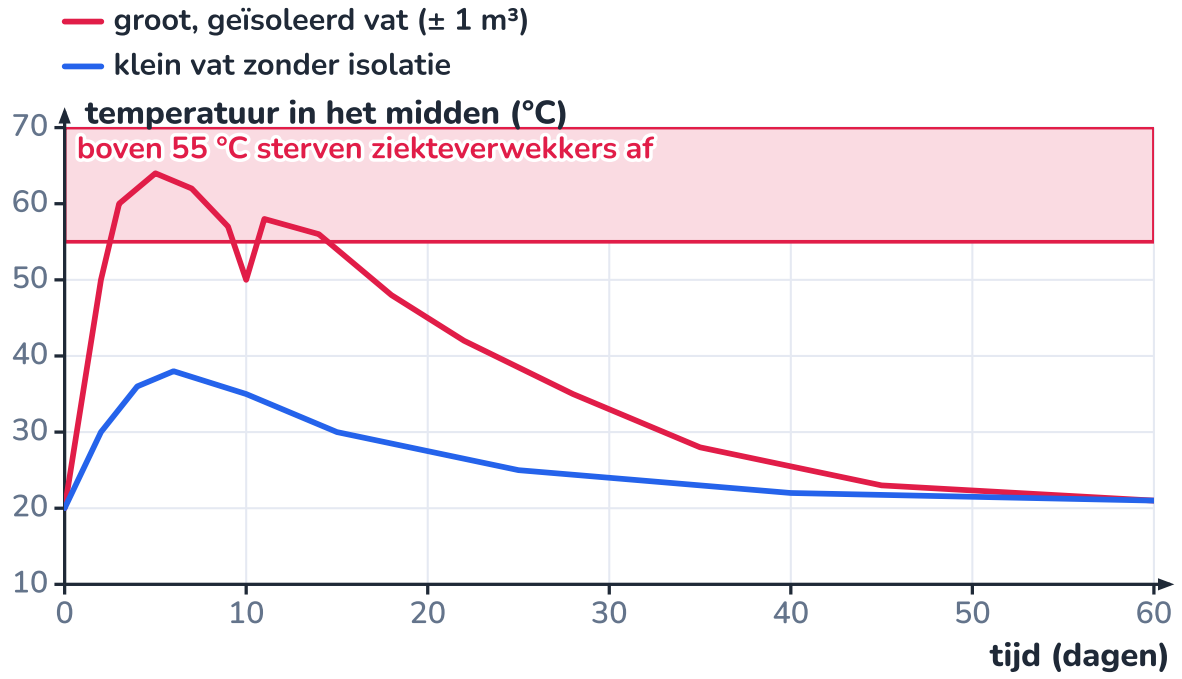
b Maak de generatietijd 60 minuten in plaats van 20 (koeler). Hoe lang duurt het nu tot het plafond?

c Voeg een functie `verdubbelingstijd(curve, t1, t2)` toe die uit twee punten van de curve de generatietijd berekent. Test ze tussen 3 en 6 uur.

35.13 Habitat: het compostvat ontwerpen

Uitdagen · 7 · Habitat · 75 min

Habitat wil de plantenresten (2,4 kg per teelt van 35 dagen) en het keukenafval (± 0,25 kg per dag voor twee bewoners) composteren, met karton van de bevoorrading erbij. Rekenwaarden: slaresten 5 % droge stof (40 % C, 4,0 % N); keukenafval 20 % droge stof (45 % C, 2,5 % N); karton 90 % droge stof (42 % C, 0,14 % N). Goede compost: C/N 25 tot 35, vocht 50 tot 65 %, zuurstof, en enkele dagen boven 55 °C om ziekteverwekkers te doden.



Voorbeeldverloop van de temperatuur in een groot en een klein compostvat.

a Hoeveel slaresten en keukenafval komen er per week binnen? Bereken hun samen C/N en het vochtgehalte.

b Hoeveel karton per week brengt de C/N op 28? Wat wordt het vochtgehalte? Hoeveel karton heb je nodig voor 65 % vocht, en wat is dan de C/N?

c Kies een mengsel en verdedig je keuze. Wat doe je met het teveel aan vocht?

d Waarom haalt een klein vat moeilijk 55 °C (grafiek)? Wat doe je eraan, en welke regel volgt daaruit voor het gebruik van de compost?

e Teken het compostvat met de plaats in het station, de beluchting, de afvoer van vocht en een temperatuursensor, en schrijf de logregel die de microcontroller elke dag bijhoudt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Massa's per week, C- en N-balans, C/N en vocht correct, met eenheden.
Afweging	Ziet dat C/N en vocht niet tegelijk ideaal zijn met deze stoffen; kiest een verdedigbaar compromis of een extra maatregel.
Hygiëne	Temperatuur boven 55 °C of, als dat niet lukt, geen compost bij voedselgewassen; vat buiten de kweekruimte; handen wassen.
Ontwerp	Beluchting, vochtafvoer, isolatie, sensor en logregel; plaats en geur doordacht.

35.14 Habitat: een hygiëneplan voor de kweekruimte

●●● Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Werk de acht hygiëneregels van het handboek uit tot een plan voor de kweekruimte, met een risicotabel zoals in F5. Houd rekening met het rondpompen (60 L in 12,5 minuten), de temperatuur van het reservoir (18-22 °C), de bewoners (twee), en de bevoorrading om de dertig dagen.

a Maak een risicotabel met minstens vijf gevaren.

gevaar	kans	gevolg	maatregel	wie, wanneer

b Wat doe je als de sla op één plaats slap wordt en de wortels bruin zijn? Beschrijf de stappen.

c Welke metingen neem je op in het logboek (hoofdstuk 30) om een besmetting vroeg te zien?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Risico's	Minstens vijf realistische gevaren (Pythium, Botrytis, Salmonella via handen, norovirus, Legionella, algen), met kans en gevolg.
Maatregelen	Concreet, uitvoerbaar in een station, met verantwoordelijke en frequentie.
Noodplan	Snel isoleren en verwijderen, reservoir ontsmetten, oorzaak zoeken (temperatuur), opnieuw starten.
Metingen	Temperatuur reservoir, EC en pH, luchtvochtigheid, visuele controle, eventueel plaattellingen.

35.15 Biogas uit het afval van het station: loont het?

●●● Uitdagen · 6 · Rekenen · 30 min

Een kleine vergister zou het organisch afval van het station kunnen omzetten in biogas. Neem als model dat 80 % van de droge stof als suiker CH_2O afbreekt: per 2 mol CH_2O ontstaat 1 mol CH_4. Methaan levert 890 kJ per mol. Neem voor het elektriciteitsverbruik van het hele station 10 kWh per dag (rekenwaarde).

a Hoeveel mol methaan en hoeveel energie leveren de slaresten van één teelt (0,12 kg droge stof)?

b Het keukenafval brengt 0,35 kg droge stof per week. Hoeveel energie per dag leveren beide samen, in Wh?

c Een motor met generator maakt er 30 % elektriciteit van. Welk deel van het elektriciteitsverbruik dekt dat?

d Loont een vergister voor Habitat? Geef ook een argument dat niet over energie gaat.

35.16 Debat: antibiotica in de veeteelt

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 30 min

Stelling: 'Antibiotica mogen alleen nog gebruikt worden om zieke dieren te genezen, nooit om ziekte te voorkomen of groei te versnellen.' In de EU is antibiotica voor groeibevordering verboden sinds 2006, en ook preventief gebruik bij groepen dieren is sinds 2022 sterk beperkt. Resistente bacteriën kunnen via vlees, mest en water bij mensen komen.

a Leg uit hoe een bacteriepopulatie resistent wordt door veel antibioticagebruik. Gebruik de groeicurve en het plasmide.

b Geef twee argumenten voor en twee tegen de stelling.

c Wat betekent resistentie voor een station, ver van een ziekenhuis?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Biologie	Selectie: gevoelige bacteriën sterven, de enkele resistente overleeft en groeit exponentieel; plasmiden geven resistentie door.
Argumenten	Voor en tegen, met gezondheid van mens en dier, economie, dierenwelzijn.
Toepassing	Zinvolle link met Habitat: beperkte medicatie, infecties voorkomen door hygiëne.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan bacteriën, gisten, schimmels en virussen onderscheiden naar bouw, grootte en manier van vermeerderen.

- [ ] Ik kan uitleggen hoe je steriel werkt, en een kweekproef veilig opzetten en afronden.
- [ ] Ik kan de vier fasen van een groeicurve benoemen en verklaren, op een lineaire en op een logaritmische as.
- [ ] Ik kan met een verdunningsreeks het aantal bacteriën per mL berekenen, en een generatietijd bepalen uit metingen.
- [ ] Ik kan uitleggen hoe temperatuur de groei van bacteriën beïnvloedt, en waarom koelen, pasteuriseren en steriliseren werken.
- [ ] Ik kan fermentaties (alcohol, melkzuur, azijn, methaan) als reactievergelijking schrijven en er mee rekenen.
- [ ] Ik kan uitleggen hoe bacteriën menselijke insuline maken.
- [ ] Ik kan een compostvat en hygiëneregels voor de kweekruimte van Habitat onderbouwen.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 36

Hydroponie en voedselproductie

Sla zonder aarde onder ledlampen: hoeveel per vierkante meter, per kWh en per liter, en wat dat betekent voor het voedsel van een station

Je begint met de voedingsoplossing, fotonen, systemen en de stikstofkringloop. In de tweede trede voer je een Kratky-proef uit, lees je een logboek van het reservoir, kies je lampen, reken je aan de goten en aan aquaponie, pas je het opbrengstmodel aan en maak je een teeltschema. In de uitdagingen stel je het voedselplan van Habitat op (36.13), maak je de fiche van het hydroponiesysteem (36.14), onderzoek je welk gewas het meest oplevert per kWh en debatteer je over verticale landbouw.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 442 min

B Leven en systemen | M Materie en chemie | E Energie



Het kweekbed van de klimaatmodule: vier goten, 48 kroppen, twee lampen.

36.1 Wat zit er in de voedingsoplossing?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

De voedingsoplossing van Habitat: N 112, P 32, K 156, Ca 100, Mg 25, S 33 mg/L, plus sporenelementen.

a Welke drie elementen haalt een plant niet uit de voedingsoplossing, en waar komen ze vandaan?

b Waarom maak je twee stamoplossingen A en B, en waarom mag je ze nooit onverdund samengieten?

c In welke vorm neemt de sla stikstof op? Waarom stijgt de pH daardoor?

36.2 Fotonen en daglichtsom

● ○ ○ Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Gebruik $\mathrm{DLI} = \mathrm{PPFD} \cdot t$ en $E = N_A hc/\lambda$.

a Een kweekkamer geeft 250 µmol/(m²·s) gedurende 18 uur. Bereken de daglichtsom.

b Hoeveel uur moeten de lampen van Habitat (200 µmol/(m²·s)) branden voor een daglichtsom van 14 mol/(m²·dag)?

c Bereken de energie van een mol fotonen van 550 nm (groen). Hoeveel joule licht is 200 µmol/s groen licht?

36.3 Welk systeem is het?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Vijf beschrijvingen van hydroponiesystemen.

a (a) Een bak met potten loopt vier keer per dag vol en weer leeg. (b) Een pot zonder pomp, met een luchtlaag die groeit. (c) Wortels hangen in een bak water met een luchtsteen. (d) Een dunne film stroomt door hellende goten. (e) Elke plant heeft een slangetje met een druppelaar.

b Welk systeem kies je voor tomaten die 3 m hoog worden? Waarom niet NFT?

c Waarom is een gesloten systeem riskanter bij een ziekte dan een open systeem?

36.4 De stikstofkringloop invullen

Oefenen · 4 · Tekenen · 15 min

Stoffen: N_2, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, eiwit in planten, eiwit in vissen. Processen: stikstofbinding, nitrificatie (twee stappen), opname, eten, uitscheiding, denitrificatie.

a Teken de kringloop met pijlen en zet bij elke pijl het proces en (waar het past) de bacterie.

b Welke processen hebben zuurstof nodig, en welk proces gebeurt juist zonder zuurstof?

c Waar zou de stikstof in een aquaponiesysteem 'verdwijnen' als het filter op sommige plaatsen zuurstofloos wordt?

36.5 Opbrengst omrekenen

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

Een verticale boerderij oogst op één laag van 40 m² elke 30 dagen 720 kroppen sla van 150 g. De lampen van die laag verbruiken 8,0 kW, 18 uur per dag.

a Bereken de opbrengst in kg per m² per jaar.

b Bereken de lampenergie in kWh per kg sla. Vergelijk met Habitat.

c Hoeveel kroppen per m² staan er? En bij Habitat?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

36.6 Labo: sla in Kratky-potten

Toepassen · 5 · Labo · 60 min

Voer de proef van het handboek uit (vier potten, vier sterktes) of kies een andere veranderlijke: pH (5,0, 5,8, 7,0), licht (vensterbank tegenover lamp) of gewas (sla, basilicum, radijs). Werk drie weken.

a Onderzoeksvraag, hypothese, veranderlijke, en wat je gelijk houdt.

b Meet om de drie dagen EC, pH en volume in minstens één pot.

dag	EC (mS/cm)	pH	volume (L)	opmerking

c Teken EC en pH in één grafiek (twee y-assen) en zet de eindmassa's in een staafdiagram.

d Bereken met EC en volume hoeveel gram zouten de plant opnam. Verklaar je resultaten.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Opzet	Eén veranderlijke, gelijke plantjes en licht, etiketten, geijkte meters.
Metingen	Regelmatig, volledig, met eenheden en opmerkingen (kleur blad, wortels).
Verwerking	Grafiek met twee assen, staafdiagram, zoutbalans met de ijklijn van hoofdstuk 13.
Verklaring	EC en volume samen gelezen, pH-stijging door nitraatopname, optimum van de sterkte verklaard.

36.7 Het logboek van het reservoir lezen

●●○ Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Het logboek van het reservoir van de module, telkens om 8 uur:

dag	1	2	3	4	5	6	7
niveau (L)	60	55	51	60	55	50	60
EC (mS/cm)	1,40	1,48	1,55	1,33	1,40	1,47	1,40
pH	5,8	5,9	6,1	6,1	6,2	6,4	5,8
actie			bijgevuld met regenwater			bijgevuld + A en B, pH-min	

a Waarom stijgt de EC van dag 1 tot 3, en waarom daalt ze op dag 4?

b Bereken de zouten in het reservoir (EC – 0,05) × V op dag 1, 3 en 4. Wat besluit je?

c Hoeveel water nemen de planten per dag op? Past dat bij het rekenmodel van het handboek?

d Waarom werd op dag 6 ook pH-min toegevoegd?

36.8 Lampen kiezen

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Drie lampen voor het kweekbed (2,88 m²), elk dimbaar. Ga ervan uit dat 90 % van het licht op het bed valt. A: 2,5 µmol/J, € 180; B: 2,9 µmol/J, € 260; C: 3,3 µmol/J, € 420 (per lamp, je hebt er twee nodig). Doel: 200 µmol/(m²·s), 16 h per dag, 365 dagen; € 0,30 per kWh.

a Welk elektrisch vermogen heeft elke lamp nodig voor het doel?

b Bereken per lamp de stroomkost per jaar.

c Na hoeveel jaar is de duurdere lamp terugverdiend tegenover A? Welke kies je voor Habitat, waar de stroom van zonnepanelen komt?

36.9 Debiet in de NFT-goten

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

De pomp levert 4,8 L/min, 10 minuten per uur, en verdeelt over vier goten. Het reservoir bevat 60 L.

a Hoeveel liter stroomt er per pompbeurt door elke goot?

b Hoe vaak gaat de hele inhoud van het reservoir per dag door de goten?

c Na een stroomonderbreking staat de pomp 3 uur stil. Waarom is dat bij 18 °C minder erg dan bij 28 °C? Wat stel je voor?

36.10 Aquaponie voor de module?

Toepassen · 6 · Rekenen · 25 min

Een teamlid stelt voor de voedingsoplossing te vervangen door aquaponie met tilapia. FAO-vuistregels: 40-50 g visvoer per m² per dag voor bladgroenten; vissen eten 1-2 % van hun gewicht per dag; hoogstens 20 kg vis per 1000 L; voer met 32 % eiwit. Een tilapia groeit met 1,5 kg voer per kg vis.

a Hoeveel voer per dag, hoeveel kg vis en hoeveel liter viswater heeft het kweekbed van 2,88 m² nodig?

b Hoeveel kg vis groeit er per jaar bij? Hoeveel voer moet er per jaar aangevoerd worden?

c Geef twee voordelen en drie nadelen voor een station.

36.11 Python: opbrengst.py aanpassen

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Neem `opbrengst.py` uit het handboek.

a Bij 250 µmol/(m²·s) zou de teelt 30 dagen duren in plaats van 35, maar de lampen verbruiken 25 % meer. Bereken kg per jaar en kWh per kg. Loont het?

b Voeg een parameter toe voor het aantal plantplaatsen en bereken wat 60 plaatsen (dichter planten, kroppen van 170 g) opleveren.

c Schrijf een functie `m2_voor(kj_per_dag)` die berekent hoeveel m² sla nodig is voor een gegeven voedingsenergie per dag.

36.12 Een teeltschema voor basilicum en sla

●●○ Toepassen · 5 · Ontwerpen · 25 min

De bewoners willen naast sla ook basilicum. Basilicum kiemt 2 weken en wordt na 4 weken voor het eerst geoogst; daarna kan je 6 weken lang om de week toppen plukken. Eén van de vier goten wordt basilicum.

a Teken een teeltschema over 16 weken voor drie goten sla en één goot basilicum, met kiemen, groeien en oogsten.

b Hoeveel sla oogsten de bewoners nu gemiddeld per dag? Hoeveel minder dan met vier goten?

c Waarom zou je basilicum niet in dezelfde goot met sla zetten?

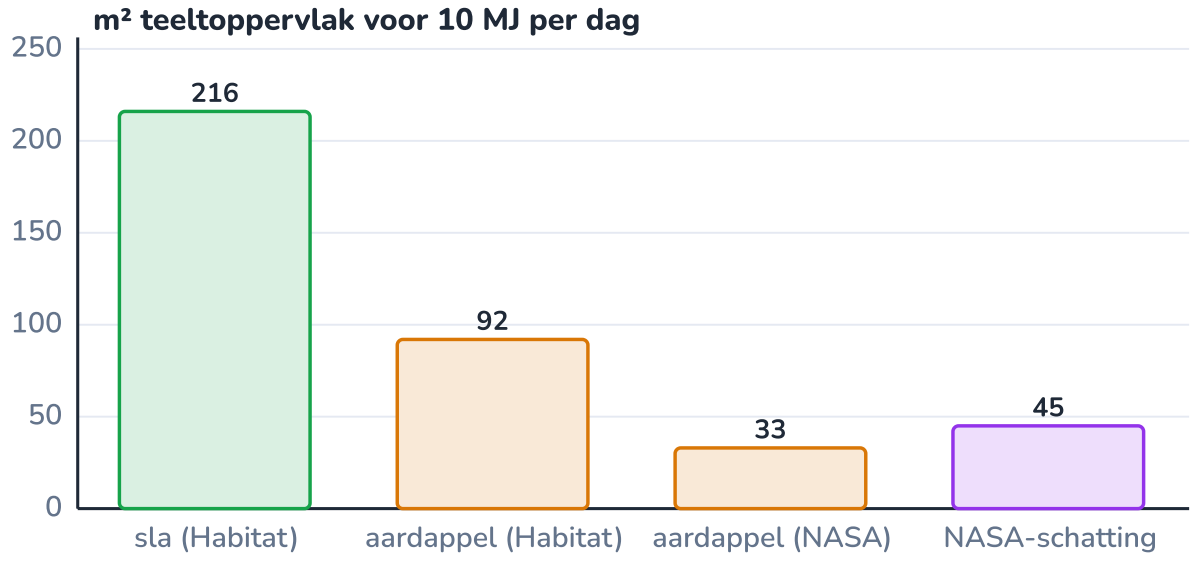
ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Schema	Kiemen, groeien en oogsten per goot, verspringend, over 16 weken.
Rekenwerk	Opbrengst met drie goten correct.
Afweging	Verschillende teeltduur, hoogte en licht van basilicum benoemd.

36.13 Habitat: een voedselplan voor twee bewoners

●●● Uitdagen | 7 | Habitat | 60 min

Het station heeft twee bewoners met elk 10 MJ per dag, bevoorrading om de 30 dagen (39 kg voedsel per bewoner, F29). De module levert 133 kJ per dag uit sla. Kropsla bevat per 100 g ongeveer 102 µg vitamine K (dagbehoefte volwassene ± 70-120 µg) en 166 µg vitamine A (dagbehoefte ± 700-900 µg). Energie voor lampen: ± 10 kWh per MJ voedsel (handboek).



Teeltoppervlak voor 10 MJ per dag, uit het handboek.

a Welk deel van de voedingsenergie van de twee bewoners levert de module? Hoeveel kg voedsel spaart dat per 30 dagen uit (1,3 kg voedsel per 10 MJ)?

b Welk deel van de dagbehoefte aan vitamine K en A levert de sla per bewoner (247 g eetbare sla per dag, gedeeld door twee)?

c Een teamlid wil 20 % van de voedingsenergie van beide bewoners zelf kweken, met aardappelen onder lampen. Hoeveel m² en hoeveel kWh per dag? Kan de module dat?

d Stel een voedselplan op in vijf regels: wat komt met de bevoorrading, wat uit de module, wat zou een uitbreiding (daglichtserre, ander gewas) kunnen opleveren, en wat is de rol van de sla?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Deel van de energie, kg bespaard, vitaminen en oppervlak met eenheden en correcte verhoudingen.
Eerlijk	Erkent dat de module geen voedselautonomie geeft, en zegt waarom (licht kost energie).
Alternatieven	Daglicht, gewassen met meer energie per m², bevoorrading; met orde van grootte.
Plan	Duidelijke rolverdeling tussen bevoorrading, module en eventuele uitbreiding; de waarde van verse groenten benoemd.

36.14 Habitat: de fiche van het hydroponiesysteem

Uitdagen · 6 · Habitat · 45 min

Maak voor het integratieproject (hoofdstuk 40) een fiche van één bladzijde over het hydroponiesysteem van de klimaatmodule, met alle waarden uit hoofdstuk 11-36: maten, pomp, reservoir, oplossing, sensoren, lampen, teeltschema, opbrengst, hygiëne, en een checklist voor de bewoners.

a Vul de technische tabel in (minstens tien regels, met eenheid en het hoofdstuk waar de waarde vandaan komt).

onderdeel	waarde	hoofdstuk

b Schrijf een checklist: wat doen de bewoners dagelijks, wekelijks, per oogst en per vijf weken?

c Welke drie alarmen stuurt de microcontroller, met welke grens?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Volledig	Kweekbed, reservoir, pomp, oplossing (EC, pH), temperatuur, licht, teeltschema, opbrengst, hygiëne.
Juist	Waarden en eenheden kloppen met de hoofdstukken (60 L, 4,8 L/min, EC 1,4, pH 5,8, 200 µmol, 16 h, 18-22 °C, …).
Bruikbaar	Checklist concreet en in de juiste volgorde (pH voor EC); alarmen met grens en hysterese.

36.15 Onderzoek: welk gewas levert het meest per kWh?

Uitdagen · 6 · Onderzoeken · 45 min

Een klas vergelijkt drie gewassen onder dezelfde lamp (60 W, 12 h per dag) op 0,25 m² elk, gedurende 28 dagen: sla (oogst 420 g vers), radijs (310 g knolletjes, 240 g blad) en tuinkers (650 g). Energie per 100 g: sla 54 kJ, radijs 67 kJ, tuinkers 134 kJ.

a Bereken per gewas de eetbare opbrengst in g per kWh en in kJ voedsel per kWh (de lamp belicht de drie vakken samen; verdeel de energie gelijk).

gewas	eetbaar (g)	kWh	g per kWh	kJ per kWh

b Welk gewas wint op gewicht, welk op energie? Welke andere maat zou je nog willen kennen?

c Ontwerp een betere proef: wat verbeter je aan deze opzet?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Energie per vak 6,72 kWh, g/kWh en kJ/kWh correct.
Interpretatie	Onderscheid gewicht en energie; voedingswaarde (vitaminen, eiwit) als extra maat.
Proefontwerp	Herhalingen, willekeurige plaats onder de lamp, zelfde oppervlak, meten van droge stof.

36.16 Debat: verticale boerderijen in de stad

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 30 min

Stelling: 'Steden moeten hun groenten telen in verticale boerderijen: meerdere lagen onder ledlampen, dicht bij de consument.' Gebruik de cijfers van het handboek: 10 à 40 kWh per kg sla onder lampen, 250 L water per kg in het veld tegenover 20 L of minder in hydroponie, 3,9 tegenover 35 à 41 kg per m² per jaar per laag. Een Belgisch gezin verbruikt ongeveer 3500 kWh elektriciteit per jaar.

a Hoeveel elektriciteit kost de sla van één persoon (± 10 kg per jaar) uit een verticale boerderij, bij 20 kWh per kg? Welk deel van het verbruik van een gezin is dat per persoon?

b Geef twee argumenten voor en twee tegen, met cijfers.

c Voor welke gewassen en welke plaatsen is het wel een goed idee? Formuleer een genuanceerd standpunt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Cijfers	200 kWh per persoon per jaar, vergeleken met ± 3500 kWh per gezin.
Argumenten	Water, ruimte, transport en vers tegenover energie, investering en CO2 van de stroom.
Standpunt	Genuanceerd: snelle bladgewassen en kruiden, plaatsen zonder grond of met extreem klimaat, met hernieuwbare stroom.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan uitleggen wat een voedingsoplossing bevat, waarom er twee stamoplossingen zijn, en wat de sla per teelt opneemt. ▢ ▢ ▢
- Ik kan EC, pH en volume van een voedingsoplossing samen interpreteren en een proef met metingen uitvoeren. ▢ ▢ ▢
- Ik kan licht voor planten beschrijven met PAR, µmol/(m²·s) en de daglichtsom, en de energie van een foton berekenen. ▢ ▢ ▢
- Ik kan groeiledlampen vergelijken op hun spectrum en hun rendement in µmol per joule. ▢ ▢ ▢

- [ ] Ik kan de systemen NFT, eb en vloed, druppel, diepwater en Kratky vergelijken en het NFT-rek van Habitat uitleggen.
- [ ] Ik kan de stikstofkringloop tekenen en uitleggen hoe aquaponie vissen en planten verbindt.
- [ ] Ik kan de opbrengst van een teeltsysteem berekenen per m², per kWh en per liter water, en vergelijken met andere systemen.
- [ ] Ik kan een teeltschema en een onderbouwd voedselplan voor Habitat opstellen, met de grenzen van wat de module kan.

I INTERMEDIATE · DEEL I10 · ONTWERPEN EN DATA

WERKBOEK · HOOFDSTUK 37

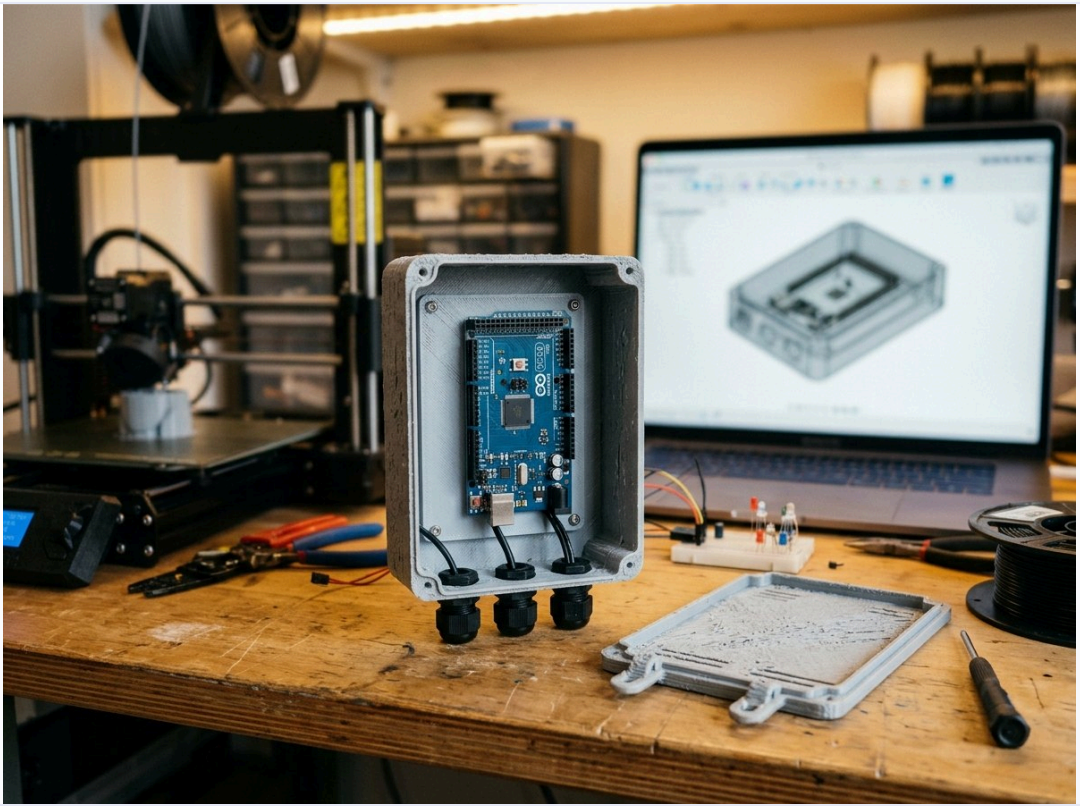
Parametrisch ontwerpen

Een ontwerp als functie: verander één maat en de rest volgt

Je begint met parameters herkennen, vrijheidsgraden tellen en passingen kiezen, rekent daarna echte kasten, klikvingers en draaideelen door en programmeert het model verder, en eindigt met een eigen parametrisch onderdeel in OpenSCAD, een maakopdracht en de sensorkast van de klimaatmodule. Voor 37.9 en 37.13 heb je behuizing.py uit het handboek nodig (downloaden bij het codeblad). Opdracht 37.15 is een bouwsteen voor Habitat.

5× oefenen | 7× toepassen | 4× uitdagen | ± 502 min

D Ontwerpen en maken | W Wiskundig modelleren



De regelkast van de klimaatmodule: één model, en elke maat volgt uit een paar invoermaten.

37.1 Invoermaat of afgeleide maat?

● ○ ○ Oefenen | 3 | Begrijpen | 10 min

Hieronder staan maten van de regelkast RK-1. Het model heeft als invoer: plaat_l, plaat_b, plaat_d, comp_h, bus_h, speling, boven, wand en deksel_d.

a Zet elke maat in de juiste kolom: plaat_l, buiten_l, wand, binnen_h, bus_h, bak_h, totaal_h, binnen_b.

invoermaat	afgeleide maat

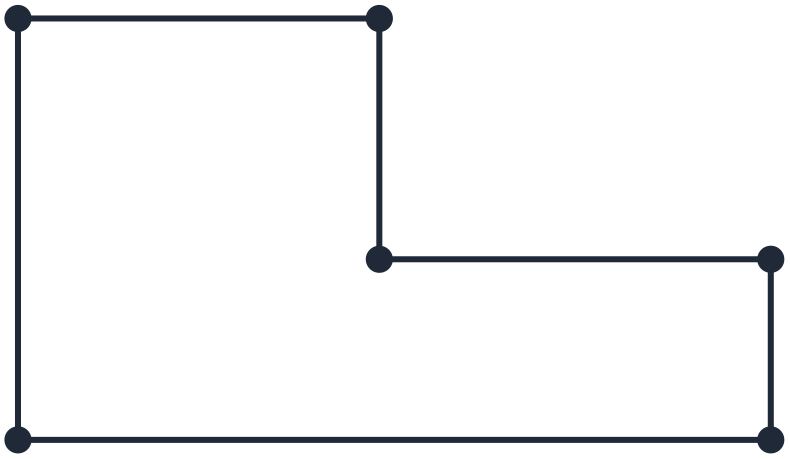
b Schrijf voor elke afgeleide maat de formule met de invoermaten.

c Een klasgenoot typt in zijn CAD-model de buitenlengte 146 in. Wat gaat er mis als de montageplaat 150 mm wordt?

37.2 Vrijheidsgraden tellen

Oefenen · 3 · Rekenen · 15 min

Een punt heeft 2 vrijheidsgraden. Gebruik de tabel met beperkingen uit het handboek.



zes punten, zes lijnen

Een L-vormige plaat: zes hoekpunten, alle randen horizontaal of verticaal.

a Hoeveel vrijheidsgraden heeft een driehoek van drie losse punten?

b Hoeveel vrijheidsgraden heeft de L-vorm zonder beperkingen? Hoeveel na drie horizontale en drie verticale beperkingen?

c Welke maten en welke andere beperkingen heb je nog nodig voor een volledig bepaalde schets? Tel na.

d Je zet er nog een maat bij: de afstand tussen de twee uiterste hoeken (de diagonaal). Wat meldt het programma?

37.3 Welke bewerking?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Welke bewerking(en) gebruik je om deze onderdelen te maken? Kies uit extruderen, uitsparen, draaien, afronden, afschuinen, uithollen, patroon, spiegelen.

(a) een netpotje voor het NFT-rek (rond, taps, met sleuven rondom); (b) de bak van RK-1; (c) een kabeltule; (d) de rand van een kast die op het printbed ligt; (e) de twee klikvingers van het deksel.

37.4 Gaten voor jouw printer

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Gebruik de passingstabel van de schoolprinter uit het handboek (pers: d + 0,2; glij: d + 0,4; ruim: d + 0,6) en de regel dat de printer gaten 0,2 mm kleiner maakt.

a Welke diameter teken je voor (a) een stalen pen Ø 3,0 die vast moet zitten; (b) een as Ø 5,0 die moet draaien; (c) een schroef M3 die vrij door het deksel moet?

b De fabrikant van een inzetmoer M3 schrijft een gat van Ø 4,0 mm voor. Welke diameter teken je, en waarom?

c Waarom geldt de tabel niet zomaar voor een geprinte pen in een geprint gat?

37.5 De kast van de meetkas

Oefenen · 4 · Rekenen · 15 min

De Uno van de meetkas (68,6 × 53,4 mm) krijgt dezelfde soort kast: hoogste onderdeel 15 mm, twee wartels, en verder de standaardwaarden van behuizing.py (wand 2,0, speling 1,0, bus_h 6, plaat_d 3, boven 12, deksel 2).

a Bereken de binnenmaten, de buitenmaten, bak_h en totaal_h.

b Controleer de twee wartelregels: past het gat in de wandhoogte, en passen twee wartels naast elkaar in de korte zijde?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

37.6 Hoeveel speling heeft het deksel nodig?

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een andere printer maakt holtes gemiddeld 0,15 mm kleiner, en elke maat wijkt toevallig tot 0,15 mm af. Buitenmaten komen gemiddeld juist uit. De binnenmaat van de bak is getekend op 92,0 mm.

a Bereken de kleinste en grootste speling (samen, beide kanten) voor een lip met 0,2 en met 0,3 mm speling per kant.

b Welke speling per kant is de kleinste die in het slechtste geval nog 0,1 mm (samen) overhoudt?

c Waarom is 'het slechtste geval' hier een goede keuze, en wanneer zou je minder streng rekenen?

37.7 Een klikvinger voor een sensorkapje

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een kapje over de lichtsensor krijgt klikvingers van 1,2 mm dik met een haak van 0,6 mm. Toegelaten rek 2 %. Gebruik $\varepsilon = 1{,}5\,t\,y/L^2$.

a Bereken de kleinste lengte van de vinger.

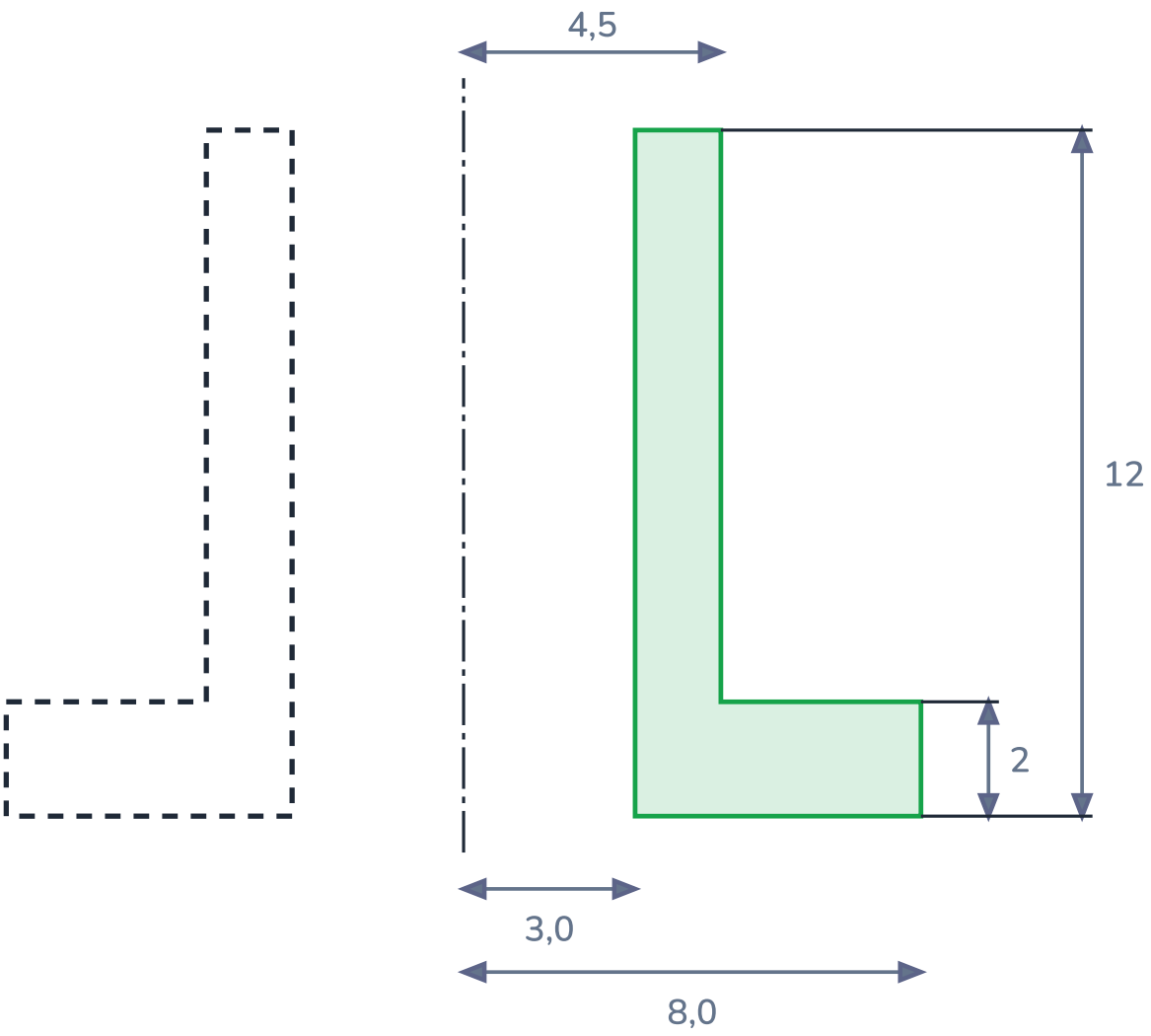
b Je kiest 8 mm. Hoe groot is de rek?

c Een klasgenoot maakt de vinger 2,0 mm dik 'omdat hij dan sterker is', met dezelfde lengte en haak. Reken de rek uit en beoordeel.

37.8 Het volume van een kabeltule

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Een kabeltule is een draaideel. Het profiel staat in de figuur (maten in mm, stralen gemeten vanaf de as).



Buisje van r = 3,0 tot 4,5 mm, 12 mm hoog, met een kraag tot r = 8,0 mm, 2 mm dik.

a Verdeel het profiel in twee rechthoeken. Bereken voor elk de oppervlakte en de afstand van het zwaartepunt tot de as.

b Bereken het volume met de regel van Pappus.

c Controleer met twee holle cilinders, en bereken de massa in PETG.

37.9 Python: een sensorkast met sleuven

Toepassen · 6 · Programmeren · 35 min

De SHT31 hangt in een sensorkast: een klein doosje dat lucht moet doorlaten. Schrijf met behuizing.py een functie `sensorkast()` met sleuven in de twee lange wanden. Het plaatje met de sensor is 30 × 25 mm, het hoogste onderdeel 5 mm; één wartel; wand 1,6 mm, bus_h 4, plaat_d 2.

a Schrijf de functie: parameters voor het aantal sleuven, hun lengte en breedte; ze haalt het open oppervlak af van het volume van de bak en berekent de massa opnieuw.

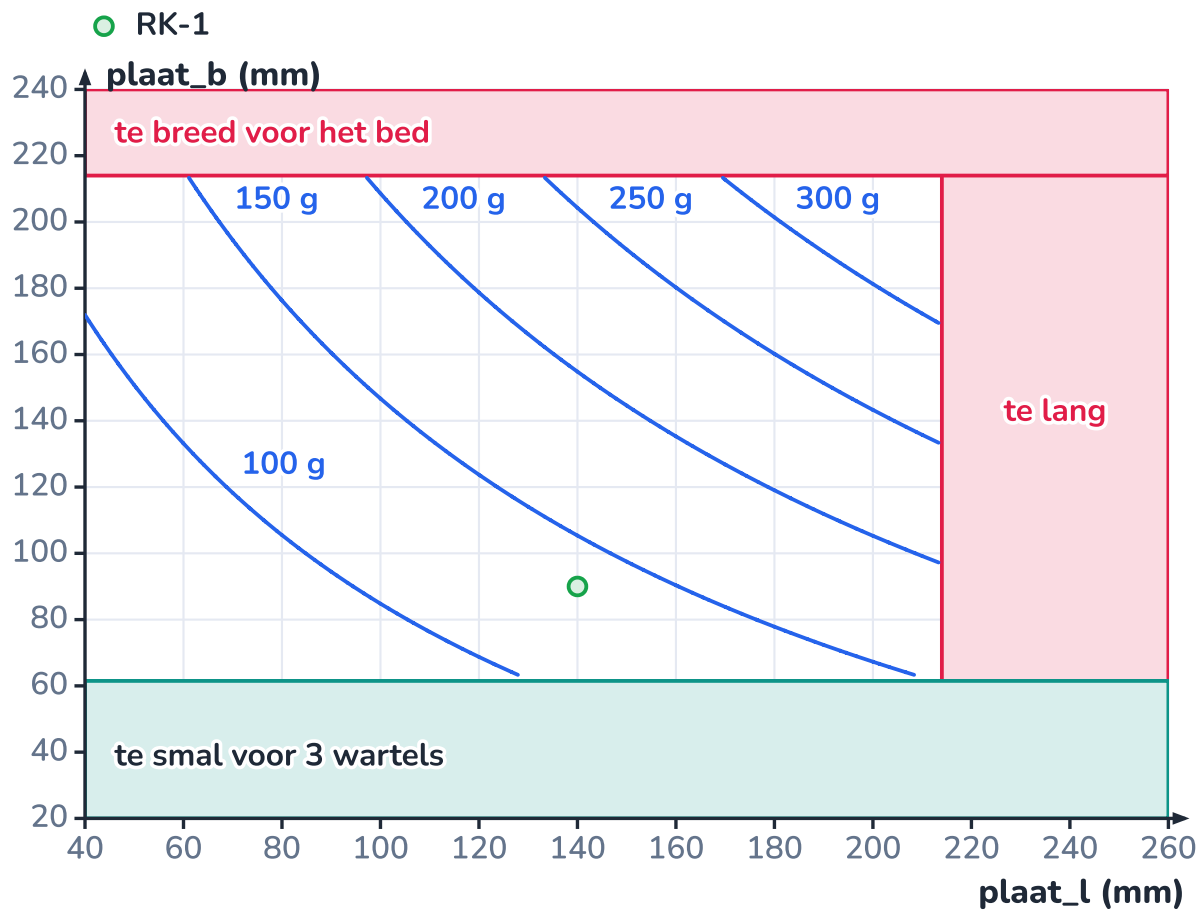
b Voeg twee regels toe: de sleuven moeten naast elkaar passen in de lange wand (2 mm tussen twee sleuven, 5 mm aan de rand), en een sleuf moet minstens 3 mm onder de rand blijven en 3 mm boven de bodem.

c Reken de kast door met boven = 8 mm en met boven = 10 mm. Wat merk je?

37.10 De ontwerpruimte lezen

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Gebruik de figuur met de hoogtelijnen van de massa (comp_h = 28 mm, drie wartels, wand 2 mm).



Ontwerpruimte van de regelkast: hoogtelijnen van de massa en de verboden stroken.

a Schat de massa van een kast voor een montageplaat van 200 × 150 mm. Is die kast toegelaten?

b Een montageplaat van 120 mm lang: hoe breed mag ze hoogstens zijn om onder 150 g te blijven?

c Waarom loopt de onderste verboden strook tot 61,5 mm? Wat verandert er met twee wartels?

37.11 Werktekening van het deksel

Toepassen · 5 · Tekenen · 35 min

Het deksel van RK-1: plaat 146 × 96 × 2 mm met afgeronde hoeken R4; eronder een lip van 1,6 mm breed en 5 mm hoog, 0,3 mm speling per kant in de bak (binnenmaat 142 × 92 mm); in het midden van de korte zijden een klikvinger van 12 mm lang, 8 mm breed en 1,6 mm dik met een haak van 0,8 mm naar buiten.

a Bereken de buitenmaten van de lip.

b Teken het deksel in vooraanzicht en in onderaanzicht op schaal 1:1 (of 1:2), met de functionele maten.

c Welke maten laat je bewust weg, en waarom?

37.12 Waar breekt het model?

Toepassen · 6 · Analyseren · 20 min

Een groep maakte de regelkast in FreeCAD. Hun bewerkingsboom: (1) schets rechthoek 146 × 96 met de linkerhoek op de oorsprong; (2) extrusie 51; (3) afronding R4 op de vier verticale ribben; (4) uithollen 2 mm; (5) schets met vier cirkels Ø 7 op (8, 8), (138, 8), (8, 88), (138, 88) en extrusie 6; (6) drie wartelgaten op 24, 48 en 72 mm van de hoek; (7) afronding R2 van 'Edge12' en 'Edge14' binnenin. De maten staan als getallen in de schetsen. Nu wordt de montageplaat 120 × 70 mm.

a Welke maten moet de groep met de hand veranderen? Welke vergeten ze gemakkelijk?

b Welke bewerking kan na de wijziging foutlopen zonder dat iemand iets verkeerd typt? Waarom?

c Beschrijf hoe je het model herbouwt zodat de wijziging één cel in de spreadsheet is.

Uitdagen **Uitdagen** transfer, open problemen, leerlijnen combineren

37.13 OpenSCAD: een parametrische kabelclip

Uitdagen · 6 · Programmeren · 45 min

Langs het NFT-rek moeten kabels en een slang netjes vastgemaakt worden: sensorkabels van Ø 4 mm, de voedingskabel van Ø 7 mm, de slang van 16 mm. Eén parametrische clip moet ze allemaal aankunnen: een open ring waarin de kabel klikt, op een voetje met twee schroefgaten.

a Kies de parameters (kabeldiameter, wand, breedte, opening, lipjes, schroefgat) en schrijf de afgeleide maten als formules.

b Schrijf het OpenSCAD-programma. Tip: teken het profiel in 2D en trek het op met linear_extrude.

c In welke richting print je de clip, en waarom?

d Welke regel moet het model controleren opdat de kabel erin klikt en er niet uit valt?

37.14 Maak: twee varianten uit één model

Uitdagen · 6 · Maken · 120 min

Kies een klein onderdeel voor de klimaatmodule of de meetkas (een clip, een kapje, een houder, een kleine kast). Ontwerp het parametrisch in OpenSCAD of FreeCAD, print twee varianten met een andere hoofdmaat, en test de passing.

a Maak een parametertabel: naam, waarde, eenheid, invoer of afgeleid, en de regel die erbij hoort.

parameter	waarde	invoer / afgeleid	regel

b Print eerst een testje met drie spelingen (0,2 / 0,3 / 0,4 mm per kant) en kies er één.

c Print twee varianten en meet de belangrijkste maten na. Vergelijk met het model.

maat	model	variant 1	variant 2

d Wat moest je aan het model veranderen na de eerste print? Was dat een parameter of een fout in de ontwerpintentie?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Parametrisch	Hoofdmaten zijn invoer; afgeleide maten zijn formules; de tweede variant vraagt alleen andere invoer.
Ontwerpregels	Wanddikte, speling, overhang en printrichting verantwoord; minstens één regel wordt in het model gecontroleerd.
Test	Testprint voor de speling, metingen van beide varianten, verschil met het model verklaard.
Documentatie	Parametertabel, foto's of schetsen, besluit over wat er in het model veranderde.

37.15 Habitat: de sensorkast SK-1 vastleggen

Uitdagen · 7 · Habitat · 90 min

De SHT31 van de klimaatmodule hangt in een sensorkast op 3 m van de Mega (hoofdstuk 30). De kast moet de sensor beschermen tegen druppels van het rek en direct licht, maar de lucht vrij doorlaten: de sensor moet binnen ongeveer een minuut de luchttemperatuur volgen (tijdconstante 60 s, hoofdstuk 31). Het plaatje met de sensor is 30 × 25 mm, het hoogste onderdeel 5 mm; één vieraderige kabel komt binnen.

a Stel het programma van eisen op (minstens zes eisen, met moet/wens en een toets).

b Kies de parameters (met behuizing.py en je sensorkast() uit 37.9) en noteer ze in een tabel. Waar hangen de sleuven, en waar de wartel?

parameter	waarde	waarom

c Reken minstens twee varianten door en kies er één. Welke regel besliste?

d Maak een werktekening van de gekozen variant (aanzichten, functionele maten, titelblok HAB-I37-02).

e Noteer in je portfolio de parameters en de gekozen variant, zodat het integratieproject (hoofdstuk 40) ze kan gebruiken.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Eisen	Meetbare eisen over bescherming, luchtdoorlaat, montage, kabel, materiaal en printbaarheid.
Parametrisch model	Parameters en afgeleide maten gescheiden; regels in het model; varianten doorgerekend.
Keuze	Variant gekozen met argumenten (regel, massa, luchtdoorlaat); de beslissende regel benoemd.
Tekening	Correcte aanzichten, functionele maten uit het model, titelblok en stuklijst.
Habitat	Parameters en variant in het portfolio, klaar voor hoofdstuk 40.

37.16 Debat: loont parametrisch ontwerpen altijd?

Uitdagen · 5 · Argumenteren · 20 min

Een klasgenoot: 'Parametrisch ontwerpen kost dubbel zoveel tijd. Voor een onderdeel dat ik één keer print, teken ik het gewoon, en klaar.'

a Geef twee argumenten voor en twee tegen, telkens met een voorbeeld uit de klimaatmodule.

b Formuleer een vuistregel: wanneer ontwerp je parametrisch, wanneer niet?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan invoermaten en afgeleide maten onderscheiden en hun afhankelijkheden als formules schrijven.
- Ik kan een schets volledig bepalen met geometrische beperkingen en maten, en de vrijheidsgraden tellen.
- Ik kan extruderen, uitsparen, draaien, afronden, afschuinen, uithollen en patronen gebruiken, en met de regel van Pappus het volume van een draaideel berekenen.
- Ik kan speling-, overgangs- en perspassing uitleggen, gaten maatvoeren voor je eigen printer en een tolerantiestapeling in het slechtste geval doorrekenen.

- [ ] Ik kan een schroef-, klik- of persverbinding kiezen en een klikvinger dimensioneren met de toegelaten rek.
- [ ] Ik kan een parametrisch model in Python of OpenSCAD schrijven dat maten, massa, printtijd en prijs berekent en ontwerpregels controleert.
- [ ] Ik kan een ontwerpruimte verkennen, varianten vergelijken en een werktekening afleiden uit dezelfde parameters.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 38

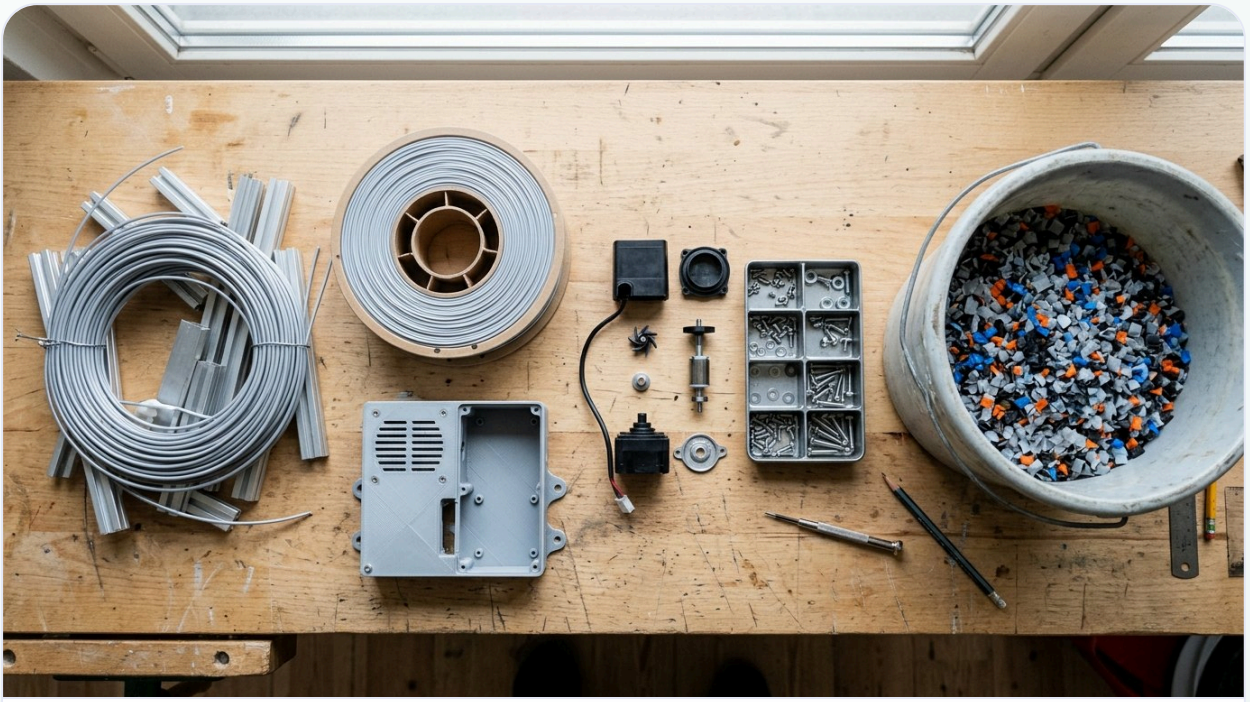
Duurzaam ontwerpen

Van grondstof tot afval en terug: rekenen aan de voetafdruk van wat je maakt

Je begint met de fasen, CO_2-equivalenten en de R-ladder, rekent daarna echte LCA's en een materiaalkeuzematrix voor onderdelen van Habitat, en eindigt met een demontageonderzoek, een herontwerp en een beslissing over de klimaatmodule. Gebruik de rekenwaarden van het naslagblad. Voor 38.9 heb je lca.py uit het handboek nodig. Opdracht 38.15 is een bouwsteen voor Habitat.

5× oefenen | 6× toepassen | 5× uitdagen | ± 504 min

D Ontwerpen en maken | E Energie | M Materie en chemie



Grondstof, onderdeel, herstel en een nieuw begin: elke fase van een product telt mee.

38.1 De levensloop van een groeilamp

●○○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een groeilamp van 95 W voor de klimaatmodule.

a Zet elk proces in de juiste fase (grondstof, materiaal, product maken, transport, gebruik, einde): bauxiet delven; ledchips maken; de armatuur monteren; per schip naar Antwerpen; 16 uur per dag branden; het stof van de lens vegen; de printplaat naar een recyclagebedrijf; het aluminium koellichaam omsmelten.

b In welke fase verwacht je de grootste uitstoot? Leg uit met een getal.

38.2 Omrekenen naar CO_2-equivalent

●○○ Oefenen · 3 · Rekenen · 12 min

Gebruik de GWP-waarden van het handboek (CH_4 niet-fossiel 27, fossiel 29,8, N_2O 273, HFK-134a 1530).

a Een koe stoot ongeveer 100 kg methaan per jaar uit. Hoeveel CO_2-eq?

b Bij een aardgasleiding lekt 2 kg methaan. Hoeveel CO_2-eq? Waarom een ander GWP dan bij de koe?

c Een akker krijgt kunstmest en stoot daardoor 1,5 kg lachgas per hectare per jaar uit. Hoeveel CO_2-eq per hectare?

d Welke is meer: 1 kg HFK-134a of 1 ton CO_2?

38.3 Welke functionele eenheid?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Een eerlijke vergelijking begint met de dienst die het product levert.

a Kies een eerlijke functionele eenheid voor: (a) ledlamp tegenover gloeilamp; (b) een katoenen tegenover een papieren tas; (c) LiFePO4 tegenover lood-zuur voor de module; (d) sla uit de module tegenover sla van het veld.

b Waarom is 'per kg product' voor (a) en (c) een slechte keuze?

38.4 Welke trede van de R-ladder?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

Plaats elke actie op de R-ladder (R0 weigeren tot R9 terugwinnen).

(a) Een kapotte pomp krijgt een nieuwe waaier. (b) Oude PETG-prints worden gemalen tot nieuw filament. (c) Het kweekrek wordt ontworpen met 20 % minder profiel. (d) De oude lampen van de module gaan naar de meetkas. (e) Plantenresten gaan naar een vergister. (f) Je beslist dat de regelkast geen display nodig heeft. (g) Een batterijpakket krijgt nieuwe cellen. (h) Een oude laadkar wordt een kweekbak.

38.5 Hoeveel aardes?

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

De aarde heeft ±1,5 gha per mens. Het aantal aardes = voetafdruk per persoon / 1,5 gha.

a Bereken het aantal aardes bij een voetafdruk van 2,6 gha (wereld), 6,0 gha (België) en 1,2 gha.

b Ongeveer 60 % van de voetafdruk is koolstof. Hoeveel aardes blijven er over voor een Belg als die koolstof helemaal wegvalt?

c Waarom daalt de voetafdruk van een land als het meer bos plant, ook al verandert de levensstijl niet?

Toepassen

Toepassen — meerdere stappen, in een context

38.6 LCA van de sensorhouder

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

De sensorhouder SH-1 van de meetkas (F32): 3,4 cm³, 19 minuten printen. Vergelijk PLA en PETG over 10 jaar buiten op het terras, waar PLA na ongeveer 2 jaar vervangen moet worden en PETG 10 jaar meegaat.

a Bereken per materiaal: aantal stuks, kg CO_2-eq voor materiaal en printen (gebruik de rekenwaarden; laat het einde weg).

b Hoeveel sensorhouders in PETG kan je printen voor de CO_2 die de lampen van de module in één dag kosten (3,04 kWh, 0,15 kg per kWh)?

c Wat is hier de belangrijkste les voor een ontwerper?

38.7 Lamp A of lamp B?

Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

In hoofdstuk 4 vergeleek je lamp A (150 W, € 45) en lamp B (95 W, € 120), met dezelfde lichtopbrengst, op kosten. Nu op CO_2. Beide armaturen: ±50 kg CO_2-eq om te maken, 8 jaar levensduur. 16 uur per dag; stroom 0,15 kg CO_2-eq per kWh.



Opgeteld CO_2 van één lamp over de jaren; na 8 jaar komt er een nieuwe armatuur bij.

a Bereken de stroom per jaar en de CO_2 per jaar van elke lamp.

b Je hebt lamp A al en hij werkt nog. Na hoeveel dagen heeft een nieuwe lamp B de 50 kg van haar productie terugverdiend? Welke situatie toont de grafiek?

c Stel dat de module haar lampen volledig op eigen zonnestroom laat branden. Is de CO_2-winst van lamp B dan nul? Leg uit.

38.8 Een matrix voor het reservoir

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Het reservoir van 60 L kan uit PE (gespoten bak), roestvrij staal of glasvezelversterkt polyester. Criteria en gewichten: CO_2 over 15 jaar 30 %, voedselveilig en lichtdicht 30 %, herstelbaar 15 %, einde (recycleerbaar) 15 %, kost 10 %. Scores (1 tot 5): PE 4, 4, 2, 4, 5; RVS 2, 5, 4, 5, 2; polyester 3, 3, 3, 1, 3.

a Bereken de gewogen scores. Welke optie wint?

	PE	RVS	polyester

b Vanaf welk gewicht voor 'herstelbaar' (in plaats van 15 %, de andere schalen mee) wint RVS? Probeer 25 % en 35 %.

c Welke score zou je willen onderbouwen met een meting of een bron, en hoe?

38.9 Python: transport erbij

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Het station ligt later op een afgelegen plek (F1). Batterijen komen per vrachtwagen (800 km, 0,10 kg CO_2-eq per ton·km) en per schip (12 000 km, 0,015 kg CO_2-eq per ton·km); wat op is, gaat dezelfde weg terug. Breid `batterij()` uit lca.py uit met transport.

a Schrijf een functie `transport(massa_kg, km_weg, km_schip)` die kg CO_2-eq geeft voor heen en terug, en tel ze op bij de batterijen.

b Hoeveel CO_2 kost het transport van alle pakketten over 15 jaar voor LiFePO4 en voor lood-zuur? Verandert de conclusie?

38.10 De demontage van de ventilator

Toepassen · 5 · Analyseren · 20 min

Om de ventilator van de klimaatmodule (D11) te vervangen, zijn nu deze stappen nodig: (1) zekering uit; (2) vier schroeven van het rooster (torx T10); (3) rooster eraf, maar het zit vast met siliconenkit; (4) de ventilator zit met vier blindklinknagels in de wand; (5) de draden zijn aan de ventilator gesoldeerd, met krimpkous; (6) de nieuwe ventilator vastklinken, solderen, kit aanbrengen, 24 uur laten drogen.

a Welke stappen maken herstel moeilijk? Waarom?

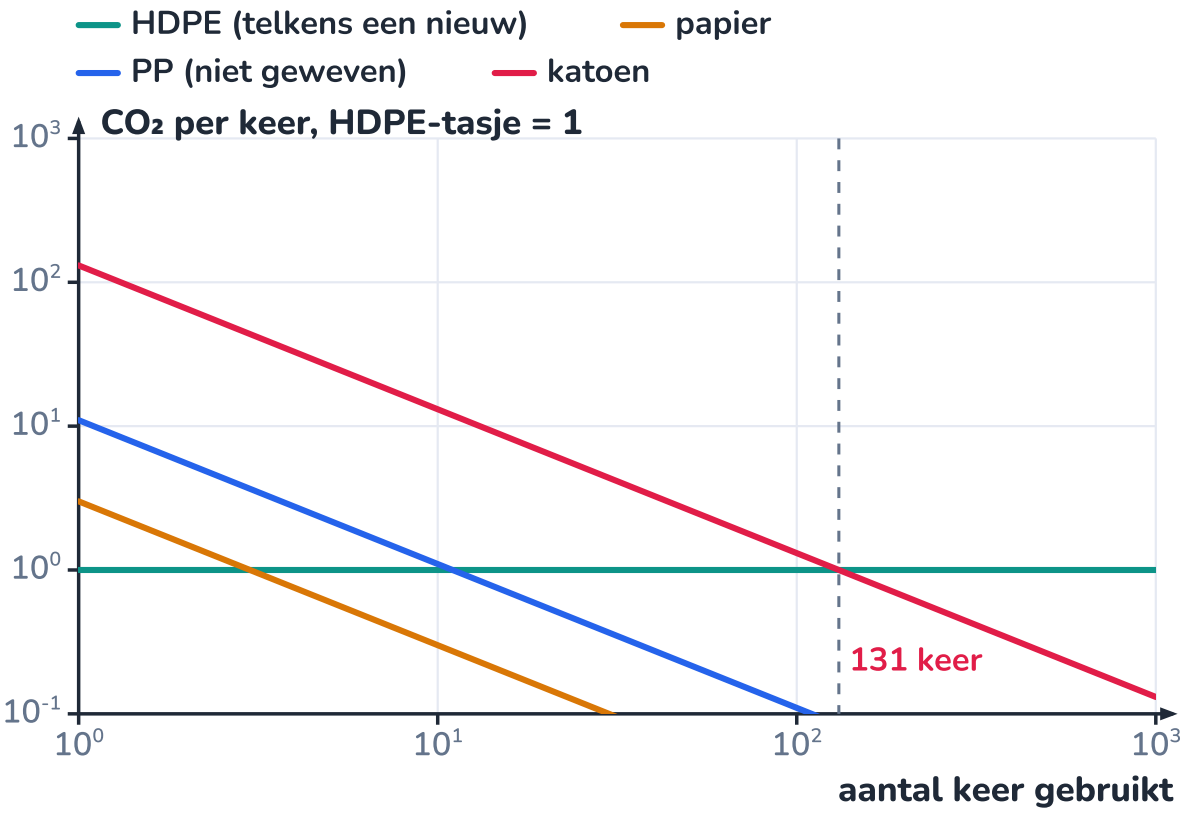
b Herontwerp de bevestiging zodat het vervangen in hoogstens vier stappen en zonder speciaal gereedschap kan. Schets.

c Blijft de module even dicht (tocht, vocht) na je herontwerp? Hoe los je dat op?

38.11 Tasjes vergelijken met een grafiek

Toepassen · 5 · Analyseren · 15 min

Gebruik de grafiek met de draagtasjes uit het handboek (logaritmische assen).



CO_2 per keer boodschappen, relatief tegenover een HDPE-tasje dat één keer gebruikt wordt.

a Hoeveel keer zoveel CO_2 kost het maken van een katoenen tas als een HDPE-tasje? Lees af bij 1 keer gebruik.

b Een katoenen tas gaat 3 jaar mee, en je doet elke week boodschappen. Is ze dan beter dan telkens een nieuw HDPE-tasje?

c Waarom zijn de lijnen van papier, PP en katoen recht op deze grafiek, terwijl de CO_2 per keer eigenlijk een hyperbool is?

38.12 Greenwashing ontmaskeren

●●● Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Drie claims op producten in een webwinkel: (A) een rol filament: 'Eco-filament, 100 % biologisch afbreekbaar, goed voor de planeet'; (B) een tuinlamp op zonne-energie: 'CO_2-neutraal: we planten een boom voor elke verkochte lamp'; (C) een draagtas: 'gemaakt van 70 % gerecycleerd PET, recycleerbaar'.

a Bespreek elke claim met de vijf vragen van het handboek. Wat is vaag, wat ontbreekt, wat is misleidend?

b Herschrijf één claim zo dat ze eerlijk en controleerbaar wordt.

c Welke claims zijn sinds 27 september 2026 in de EU niet meer toegelaten, en waarom?

38.13 Onderzoek: de herstelbaarheid van twee toestellen

Uitdagen · 6 · Onderzoeken · 100 min

Voer de demontageproef van het handboek uit op twee toestellen met dezelfde functie (bv. twee oude handmixers, twee muizen, twee speelgoedauto's van verschillende merken).

a Formuleer een onderzoeksvraag en een hypothese.

b Noteer per toestel de stappen tot het slijtdeel.

stap	wat	verbinding	gereedschap	tijd (s)

c Geef beide toestellen een score op de vijf criteria en sorteer de materialen (massa per groep).

criterium	toestel 1 (0-2)	toestel 2 (0-2)

d Besluit: welk toestel is beter herstelbaar, en welke twee ontwerpkeuzes maakten het verschil?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Methode	Slijtdeel vooraf gekozen, elke stap genoteerd met verbinding, gereedschap en tijd, foto's.
Veiligheid	Toestellen vooraf gecontroleerd (geen batterij, geen condensatoren, geen stekker).
Analyse	Scores onderbouwd met de genoteerde stappen; materialen gewogen en herkend.
Besluit	Antwoord op de vraag, met concrete ontwerpkeuzes en een verbetervoorstel.

38.14 Ontwerp: de pompunit voor herstel

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 90 min

Ontwerp de pompunit van de klimaatmodule (pomp 12 V, 1,0 A, slang 16 mm, vlotter op D2) zo dat een bewoner de pomp in minder dan 5 minuten vervangt, zonder gereedschap, en dat alle kunststof delen aan het einde gescheiden en gerecycleerd kunnen worden.

a Stel een klein programma van eisen op (minstens vijf eisen, meetbaar).

b Schets je ontwerp (explosietekening of doorsnede) met de verbindingen.

c Schrijf de demontagestappen en tel ze. Welke materialen gebruik je en hoe herken je ze later?

d Vergelijk met versie 1 van het handboek: wat kost je ontwerp extra (materiaal, prijs), en wat levert het op?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Eisen	Meetbaar (tijd, gereedschap, stappen, materialen), gekoppeld aan de module.
Ontwerp	Losneembare verbindingen, slijtdeel vooraan, waterdicht waar het moet.
Circulair	Materialen gekozen en gemarkeerd; geen lijm tussen verschillende materialen.
Afweging	Extra kost of materiaal eerlijk vergeleken met de winst in herstel.

38.15 Habitat: een duurzaamheidsbeslissing voor de klimaatmodule

Uitdagen · 7 · Habitat · 90 min

Met de doorlichting van het handboek (±164 kg CO_2-eq per jaar) kiest de groep twee maatregelen. Kandidaten (rekenwaarden): (M1) de lampen nu vervangen door lampen C van 3,3 µmol/J in plaats van 3,0: zelfde licht met 9 % minder stroom; nieuwe armaturen 2 × 50 kg CO_2-eq en 2 × € 420; (M2) dezelfde lampen C, maar pas als de huidige na 8 jaar op zijn; (M3) een nachtscherm: het warmteverlies daalt van 20,2 naar 16,3 W/K, gemiddeld 10 °C verschil, 12 uur per nacht, 180 nachten, warmte via een warmtepomp met COP 3, € 60 en ±5 kg CO_2-eq; (M4) het kweekrek in hout in plaats van aluminium (zie handboek); (M5) alle geprinte delen (±1 kg PETG) in gerecycleerd PETG.

a Bereken voor elke maatregel de CO_2-winst per jaar (en het eenmalige CO_2 van het maken).

maatregel	kWh per jaar	kg CO_2-eq per jaar	eenmalig	kost

b Maak een kleine keuzematrix (criteria en gewichten mag je zelf kiezen, minstens CO_2, kost en risico).

c Neem een beslissing: welke twee maatregelen, en waarom niet de andere? Denk aan de R-ladder.

d Noteer de beslissing in je portfolio, met de rekenwaarden en hun onzekerheid.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Berekening	Winst per jaar en eenmalig CO_2 correct, eenheden en rekenwaarden vermeld.
Afweging	Matrix met gewichten vooraf, scores onderbouwd, gevoeligheid besproken.
Circulair denken	Rekening gehouden met de R-ladder: niet vervangen wat nog werkt, levensduur, einde.
Beslissing	Twee maatregelen gekozen met een duidelijk argument; onzekerheid en systeemgrens benoemd.

38.16 Debat: is recycleren de oplossing?

Uitdagen · 5 · Argumenteren · 20 min

Stelling: 'Zolang we alles recycleren, mogen we zoveel producten maken als we willen.'

a Geef twee argumenten voor en drie tegen, met een voorbeeld of getal uit dit hoofdstuk of hoofdstuk 17.

b Herschrijf de stelling zo dat je ze kan verdedigen.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

Ik kan de fasen van de levenscyclus van een product benoemen en de systeemgrens van een vergelijking aangeven.	☐ ☐ ☐
Ik kan uitstoot van verschillende broeikasgassen omrekenen naar CO_2-equivalent en de ecologische voetafdruk uitleggen.	☐ ☐ ☐
Ik kan een eenvoudige LCA opstellen met een functionele eenheid, rekenwaarden en fasen, en de uitkomst interpreteren.	☐ ☐ ☐
Ik kan cradle to cradle en de R-ladder gebruiken om een product circulair te maken.	☐ ☐ ☐
Ik kan een product beoordelen en herontwerpen op demontage en herstel.	☐ ☐ ☐

Ik kan een materiaalkeuzematrix met gewichten opstellen en nagaan hoe gevoelig de keuze is voor de gewichten.

Ik kan een eerlijke vergelijking van een oneerlijke onderscheiden en een milieuclaim kritisch lezen.

WERKBOEK · HOOFDSTUK 39

Data visualiseren en eerste stappen in AI

Van logboek naar grafiek naar een model dat zelf zijn regels leert, en wat het niet kan

Je begint met grafieken kiezen en lezen, correlaties duiden en een boom volgen, rekent daarna met liegfactoren, splitsingen en verwarringsmatrices en programmeert in Python, en eindigt met bias, een eigen lerend onderzoek, de beslisboom voor de klimaatmodule en een debat. Download week_uur.csv, slap.csv en de programma's bij de codebladen. Opdracht 39.14 is een bouwsteen voor Habitat.

5× oefenen | 6× toepassen | 5× uitdagen | ± 497 min

A Data en AI | O Onderzoeken en meten | P Programmeren en computationeel denken



Van logboek naar grafiek naar beslissing: data zijn pas nuttig als je ze eerlijk toont en toetst.

Oefenen

één stap, direct toepassen

39.1 Welke grafiek?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Begrijpen · 10 min

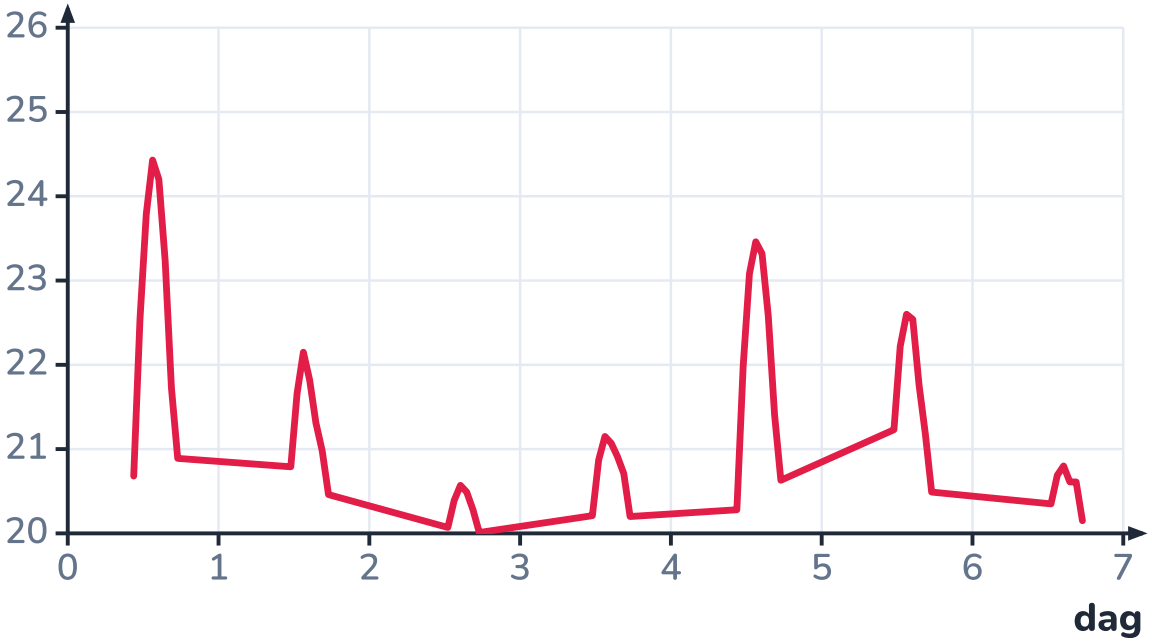
Kies bij elke vraag een grafiektype en zeg wat er op de assen komt.

(a) Hoe veranderde de pH van de voedingsoplossing tijdens een maand? (b) Welke van de vier goten gaf de zwaarste kroppen? (c) Hangt de EC samen met de hoeveelheid water die de planten opnemen? (d) Hoe verdeeld zijn de massa's van 48 kroppen? (e) Welk deel van het energieverbruik gaat naar lampen, pomp en elektronica?

39.2 Wat is er mis met deze grafiek?

● ○ ○ Oefenen · 3 · Analyseren · 10 min

Deze grafiek stond in het verslag van een groep over de testweek van de klimaatmodule.



De grafiek zoals ze in het verslag stond.

a Noem minstens vier dingen die ontbreken of misleiden.

b Hoe maak je ze eerlijk en volledig?

39.3 Correlatie of oorzaak?

Oefenen · 3 · Begrijpen · 12 min

Welke van de vier verklaringen (oorzaak, gemeenschappelijke oorzaak, omgekeerde richting, toeval of selectie) past het best?

(a) Op dagen dat er meer ijsjes verkocht worden, verdrinken er meer mensen. (b) In de module stijgt de EC als de planten meer water opnemen. (c) Leerlingen die meer bijles volgen, halen lagere punten. (d) In 5 van de 6 weken met een nieuwe filterpomp was het reservoir helderder. (e) Hoe hoger de batterijspanning, hoe warmer de module.

39.4 De boom volgen

Oefenen · 3 · Begrijpen · 8 min

Gebruik de beslisboom uit het handboek: daglicht ≤ 29,5 klx? dan niet slap; anders: vocht ≤ 60,5 %? dan slap, anders niet slap.

a Wat voorspelt de boom voor: (a) 28 °C, 45 %, 52 klx; (b) 31 °C, 40 %, 12 klx; (c) 24 °C, 70 %, 38 klx; (d) 22 °C, 55 %, 30 klx?

b Bij (b) is het 31 °C en de lucht erg droog. Vind je de voorspelling logisch? Wat zegt dat over het model?

39.5 Juistheid en basislijn

Oefenen · 4 · Rekenen · 12 min

Een model voor 'moet het reservoir bijgevuld worden?' gaf op 100 testdagen: 12 keer juist 'ja', 5 keer gemist, 8 keer vals alarm, 75 keer juist 'nee'.

a Zet de getallen in een verwarringsmatrix en bereken de juistheid.

b Hoe juist is de basislijn 'altijd nee'? Is het model nuttig?

c Welk deel van de dagen dat bijvullen nodig was, vond het model?

Toepassen

Toepassen · meerdere stappen, in een context

39.6 De liegfactor van een batterijpictogram

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

Een folder vergelijkt de energie per kilogram van lood-zuur (35 Wh/kg) en LiFePO4 (110 Wh/kg) met twee batterijtekeningen. De tekening van LiFePO4 is in hoogte én breedte 3,1 keer zo groot.

a Bereken het effect in de data en het effect in de tekening (oppervlakte).

b Bereken de liegfactor. Hoe groot moest de tekening zijn voor een liegfactor 1?

c En als de tekening een driedimensionale batterij is die in alle drie de richtingen 3,1 keer groeit?

39.7 De beste splitsing met de hand

●●○ Toepassen · 5 · Rekenen · 20 min

Twaalf inspecties uit de zomerdata, met alleen de luchtvochtigheid en het label: 61 % (slap), 71 % (niet), 64 % (niet), 51 % (slap), 59 % (niet), 75 % (niet), 71 % (niet), 80 % (niet), 58 % (slap), 48 % (slap), 58 % (slap), 76 % (niet).

a Sorteer op vochtigheid en bereken voor elke grens het aantal fouten (in elke groep het meest voorkomende label voorspellen).

grens (%)	links: n, slap	rechts: n, slap	fouten

b Welke grens is de beste? Schrijf de regel als een if-vraag.

c Waarom ligt 'slap' bij een lage vochtigheid, en past dat bij de boom van het handboek?

39.8 Onzuiverheid berekenen

Toepassen · 5 · Rekenen · 15 min

De onzuiverheid van een groep is $2p(1-p)$; van een splitsing het gewogen gemiddelde van beide groepen.

a Bereken de onzuiverheid van groepen met 10 slap / 0 niet, 5 / 5, 9 / 1 en 2 / 6.

b Een groep van 20 (8 slap, 12 niet) kan gesplitst worden in (A) 7/2 en 1/10 of (B) 8/6 en 0/6. Bereken de onzuiverheid en het aantal fouten van beide. Welke kiest de computer?

c Teken de grafiek van $2p(1-p)$ voor p van 0 tot 1. Welke soort functie is het, en waar ligt de top?

39.9 Python: een grafiek eerlijk maken

Toepassen · 5 · Programmeren · 25 min

Een klasgenoot schreef dit programma voor de energie per dag. Het werkt, maar de grafiek misleidt.

```
import matplotlib.pyplot as plt

dagen = ["ma", "di", "wo", "do", "vr", "za", "zo"]
verbruik = [1.50, 1.67, 2.15, 1.46, 1.54, 1.61, 2.02]
zon = [1.74, 1.71, 1.27, 2.43, 1.69, 1.66, 1.89]

plt.plot(dagen, verbruik)
plt.plot(dagen, zon)
plt.ylim(1.2, 2.5)
plt.title("De zon doet het veel beter!")
plt.show()
```

a Noem vier problemen met deze grafiek.

b Herschrijf het programma zodat de grafiek eerlijk en volledig is.

39.10 Python: de verwarringsmatrix

Toepassen · 6 · Programmeren · 30 min

Gebruik beslisboom.py uit het handboek (importeer bouw, voorspel, train en test).

a Schrijf een functie `matrix(boom, rijen)` die de vier getallen (juist slap, gemist, vals alarm, juist niet slap) teruggeeft.

b Bereken de matrix op augustus voor de bomen van diepte 1, 2 en 4. Wat verandert er aan de soorten fouten?

39.11 De testweek in groepen

Toepassen · 6 · Analyseren · 20 min

Uit correlatie.py: overdag is r tussen temperatuur en verbruik −0,40; binnen groepen met gelijk daglicht: donker (onder 5 klx): 0,28; half (5 tot 15 klx): −0,08; licht (boven 15 klx): 0,00.

a Leg met een schets (spreidingsdiagram met drie groepen) uit hoe het verband samen kan dalen terwijl het binnen elke groep bijna vlak is.

b Een bewoner stelt voor: 'Warm de module 's middags op, dan verbruikt ze minder.' Weerleg met deze getallen.

c Welke proef zou echt aantonen of temperatuur het verbruik beïnvloedt?

39.12 Bias opsporen

●●● Uitdagen · 6 · Analyseren · 25 min

De inspectierobot (hoofdstuk 33) krijgt een camera. Een groep traint een model dat uit foto's herkent of een krop ziek is. Ze gebruiken 400 foto's: 350 van gezonde kroppen uit de klimaatmodule, 50 van zieke kroppen van het internet. Het model is 96 % juist op een test met 50 foto's uit dezelfde verzameling.

a Noem minstens drie vormen van bias in deze data.

b Waarom zegt 96 % hier weinig? Denk aan de basislijn en aan wat het model misschien écht leerde.

c Stel een betere manier voor om data te verzamelen en te toetsen.

39.13 Onderzoek: een beslisboom voor het klaslokaal

Uitdagen · 6 · Onderzoeken · 120 min

Voer de proef van het handboek uit: kan een beslisboom uit de metingen van de logger afleiden of er een raam openstaat?

a Formuleer een onderzoeksvraag, de kenmerken die je gebruikt, en hoe je de labels verzamelt.

b Verzamel twee dagen data. Maak de kenmerken in Python en toon ze in een geschikte grafiek.

c Train op dag 1 en toets op dag 2: de boom, de juistheid, de basislijn en de verwarringsmatrix.

	voorspeld open	voorspeld dicht

d Bespreek: wanneer werkt het model niet, en welke bias zit er in je data?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Data	Labels systematisch genoteerd (tijdstip, wie); ontbrekende metingen gemeld; kenmerken zinvol gekozen.
Grafiek	Passend type, assen met grootheid en eenheid, open-perioden zichtbaar.
Model	Train- en testdag gescheiden; boom, juistheid, basislijn en matrix correct.
Kritiek	Grenzen van het model en bias concreet benoemd, met een verbetervoorstel.

39.14 Habitat: de beslisboom voor extra pompbeurten

Uitdagen · 7 · Habitat · 90 min

De klimaatmodule krijgt een extra pompbeurt van 5 minuten om het halve uur als de boom slappe sla verwacht. Een vals alarm kost 1 Wh (5 minuten van 12 W); een gemiste slappe sla betekent stress voor de planten en misschien randjesbrand (hoofdstuk 12). Op de inspecties van augustus:

regel: slap als licht > grens en vocht ≤ 60,5 %	gemist	vals alarm	juist
grens 20,0 klx	6	8	81 %
grens 25,0 klx	6	7	82 %
grens 29,5 klx	8	5	82 %
grens 35,0 klx	10	3	82 %
grens 40,0 klx	12	1	82 %

a Welke lichtgrens kies je? Motiveer met de fouten en hun kost.

b Schat hoeveel energie de extra pompbeurten in een zomer kosten (92 dagen, overdag 16 halve uren; neem aan dat de regel in ongeveer een derde van die momenten waar is).

c Schrijf de functie in C++ met jouw grens, en de voorwaarde die ervoor zorgt dat de extra beurt nooit start als de vlotter droog meldt of de module in ALARM of ONDERHOUD staat (hoofdstuk 32).

d Welke bias en welke grenzen van het model noteer je in je portfolio bij deze beslissing?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Keuze	Grens gekozen met de tabel, gemist en vals alarm tegen elkaar afgewogen met de kosten.
Energie	Schatting met eenheden en redelijke aannames; vergeleken met het budget van de module.
Code	Correcte C++, grens als constante, veiligheid (vlotter, modus) gaat altijd voor.
Kritisch	Bias (bewoners, uren, seizoen) en wat het model niet kan (pompstoring) in het portfolio.

39.15 Debat: mag de klimaatmodule zelf beslissen?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 25 min

Stelling: 'Een model dat 82 % juist is, is te onbetrouwbaar om de pomp te laten sturen. Een bewoner moet elke extra pompbeurt goedkeuren.'

a Geef twee argumenten voor en twee tegen, met de vier vragen uit het handboek (fout, mens, data, verantwoordelijk).

b Geef een voorbeeld van een beslissing in het station die een model nooit alleen zou mogen nemen, en waarom.

39.16 Ontwerp: een dashboard voor de bewoners

Uitdagen · 6 · Ontwerpen · 60 min

De bewoners willen één scherm dat in tien seconden toont hoe het met de klimaatmodule gaat: temperatuur, vocht, energie (zon, verbruik, batterij), het reservoir en de voorspelling van de beslisboom.

a Maak een lijst van de vragen die een bewoner zich stelt, en kies bij elke vraag een grafiek of een getal.

b Schets het dashboard, met assen, eenheden en kleuren.

c Welke misleidingen vermijd je bewust? Hoe toon je dat de voorspelling van de boom onzeker is?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Vragen	Concrete vragen van gebruikers, elk met een passend grafiektype of getal.
Eerlijk	Assen, eenheden en periodes; geen afgeknotte staven of twee y-assen; ontbrekende data zichtbaar.
Leesbaar	In tien seconden te lezen: weinig kleuren, belangrijkste bovenaan, grenswaarden aangeduid.
Model	De voorspelling als advies getoond, met haar foutkans en de datum van het laatste trainen.

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan bij een vraag de passende grafiek kiezen en een grafiek maken met correcte assen, eenheden en bron.
- Ik kan misleidende grafieken herkennen, de liegfactor berekenen en een grafiek eerlijk maken.
- Ik kan uitleggen waarom correlatie geen oorzakelijk verband bewijst, en een gemeenschappelijke oorzaak opsporen door in groepen te kijken.
- Ik kan uitleggen wat machine learning is en niet is, en de begrippen kenmerk, label, model, trainen en testen gebruiken.
- Ik kan met de hand de beste splitsing van een beslisboom zoeken en een boom volgen om een voorspelling te maken.
- Ik kan een beslisboom trainen en toetsen in Python, een verwarringsmatrix lezen en overfitting herkennen.

Ik kan bias in data herkennen en de grenzen van een model benoemen voor je het laat beslissen.



WERKBOEK · HOOFDSTUK 40

Integratieproject: de klimaatmodule

Ontwerpen, dimensioneren, programmeren, testen en verdedigen: je team brengt 39 hoofdstukken samen in de tweede laag van Habitat

Dit is jullie projectmap. De opdrachten volgen de fasen van het project. **Oefenen** zijn korte voorbereidingen, alleen of met twee: waarden terugvinden, eisen meetbaar maken, een meetketen narekenen, versie 5 naspelen, logregels lezen. **Toepassen** zijn de echte projectopdrachten van het team, elk met een rubric: van het programma van eisen over de dimensionering, de labo's en de code tot het testplan, de analyse, het rapport, de verdediging en de peer-evaluatie. **Uitdagen** vraagt transfer: een fout vinden in logbestanden, ontwerpen tegen grijze dagen, een debat, een onderzoek, een beter energiebeheer, versie 2 en de eindevaluatie. Alles is Habitat-werk: bewaar het in het portfolio.

8× oefenen | 13× toepassen | 7× uitdagen | ± 1135 min

D Ontwerpen en maken | E Energie | L Elektriciteit en elektronica | R Regelen en robotica | B Leven en systemen | O Onderzoeken en meten



De klimaat- en energiemodule af: vier goten sla, eigen zonnestroom, en een logger die alles bijhoudt.

Oefenen

één stap, direct toepassen

40.1 Welk hoofdstuk, welke waarde?

●○○ Oefenen · 4 · Begrijpen · 15 min

Elk getal van de module werd in een ander hoofdstuk berekend of beslist. Gebruik het ontleedblad en de kerngetallen in het handboek.

a Vul de tabel aan.

onderdeel	waarde met eenheid	hoofdstuk
warmteverlies van de module		
bruikbare energie van de twee batterijen		
debiet per goot		
lichtdoel op het kweekbed		
streefwaarde en band van de pH		
drempels van het kasdak		
I²C-adres van de SHT31		
laadtoestand waaronder de lampen alleen zonnestroom krijgen		
stroom van de twee groeilampen		
aantal plantplaatsen		

b Kies één waarde uit de tabel. Wat verandert er in het project als ze 20 % groter blijkt? Geef minstens één getal.

40.2 Habitat: eisen meetbaar maken

Oefenen · 4 · Habitat · 20 min

Een ander team schreef deze eisen voor zijn module. Maak ze meetbaar: een grootheid, een grens met eenheid, een toets, en het hoofdstuk waar de grens vandaan komt.

a Herschrijf elke eis.

vage eis	meetbare eis en criterium	toets	hoofdstuk
De module moet warm genoeg blijven.			
De batterijen moeten lang genoeg meegaan.			
De pomp moet genoeg water geven.			
De data moeten bewaard worden.			
De pH moet goed blijven.			

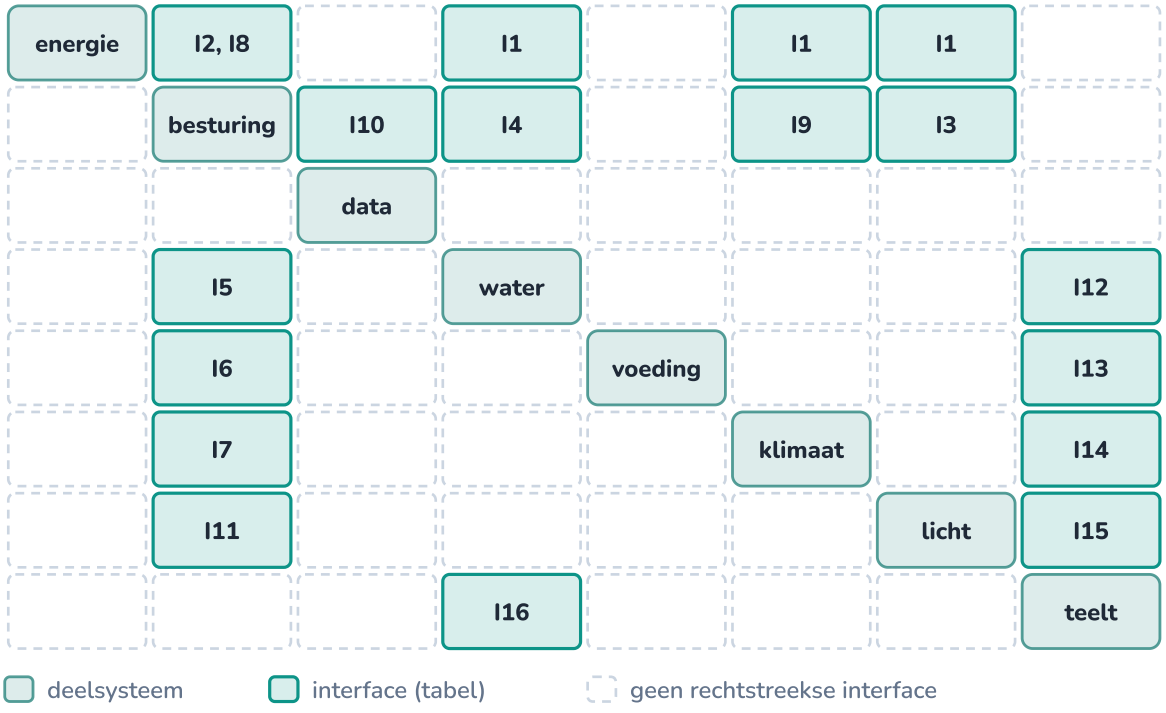
b Welke van jouw eisen kan je niet in één testweek toetsen? Wat schrijf je dan in het testrapport?

40.3 Habitat: het N²-diagram lezen

Oefenen · 5 · Habitat · 20 min

Gebruik het N²-diagram en de interfacetabel uit het handboek (rij = wat een deelsysteem levert, kolom = wat het krijgt).

rij: wat een deelsysteem levert
kolom: wat een deelsysteem krijgt



Het N²-diagram van het voorbeeldteam.

a Welke interfaces ontvangt de besturing, en welke geeft ze?

b De rij van data is leeg. Wat betekent dat? Blijft dat zo in Expert?

c De lampen geven tot 190 W warmte aan de lucht. In welk vakje hoort die interface? Moet ze in de tabel?

d Welke interface lag aan de basis van het probleem met de ACS712? Waarom vond je het pas door twee documenten naast elkaar te leggen?

40.4 Energie: een grijze dag doorgerekend

Oefenen · 5 · Rekenen · 25 min

Dinsdag 9 maart was grijs. Tussen 6 en 22 uur gaf het daglicht op het bed gemiddeld 52 µmol/(m²·s), nooit meer dan 120. De panelen leverden die dag 1,05 kWh. Om 6 uur stond de laadtoestand op 37 %. Het basisverbruik zonder lampen is 230 Wh per dag; de convector (12 W) stond 4,3 uur aan. De batterijen hebben samen 3072 Wh (2 × 120 Ah × 12,8 V).

a Hoeveel lampenergie was nodig om van 6 tot 22 uur 200 µmol/(m²·s) te halen? (Volle lampen: 190 W geeft 200 µmol.)

b Hoeveel zou de module die dag dan in totaal verbruiken?

c Hoeveel energie zat er om 6 uur in de batterijen boven de 20 %?

d De lampen kregen die dag maar 0,80 kWh en de lichtsom was 6,0 mol. Leg uit waarom, en noem de eisen die botsen.

40.5 Habitat: hoe lang zonder bijvullen?

Oefenen · 4 · Habitat · 15 min

Het reservoir is binnen 60 × 40 cm en vol bij 25 cm; onder 10 cm volgt een alarm. Als de pomp draait, staat er ±3,9 L water in de slang en de goten.

a Hoeveel liter per cm? Hoeveel liter is bruikbaar tussen 25 en 10 cm?

b Na hoeveel dagen volgt het alarm op warme dagen (6 L per dag)? En bij het gemiddelde van de testweek (4,3 L per dag)?

c Hoeveel lager meet de druksensor terwijl de pomp draait? Wat zou er gebeuren bij een reservoir op 11 cm als versie 5 het niveau altijd zou meten?

d Zondagavond staat het reservoir op 14,6 cm. Hoeveel regenwater en stamoplossing voeg je toe om terug op 25 cm te komen?

40.6 Van spanning naar pH en EC

Oefenen · 5 · Rekenen · 20 min

pH-module: $U = 2{,}50 - 0{,}18 \cdot (\mathrm{pH} - 7)$ in volt. EC-module: 0,50 V per mS/cm. ADC van de Mega: 10 bit, 5 V, $U = \mathrm{ruw} \cdot 5/1024$ (hoofdstuk 22). Omrekenen naar 25 °C: $\mathrm{EC}_{25} = \mathrm{EC}/(1 + 0{,}02 \cdot (T - 25))$ (hoofdstuk 13).

a Welke ruwe ADC-waarde hoort bij pH 5,8? En bij pH 6,5?

b De Mega leest 548 op de pH-ingang. Welke pH is dat? Komt er een waarschuwing?

c Hoeveel pH is één stap van de ADC? Is dat fijn genoeg?

d De EC-module geeft 0,600 V; de oplossing is 18,0 °C. Wat is de EC bij 25 °C? Valt ze in de band van 1,2 tot 1,8? Wat als je niet omrekent?

40.7 Wat doet versie 5? Naspelen

Oefenen · 5 · Programmeren · 25 min

Speel versie 5 na (het handboek, blad 'klimaat.ino versie 5'). Bij elke meting (om de 2 s) lopen meten(), acties() en loggen(), daarna taakModus(), taakDak() en taakLampen(). Wat gebeurt er bij de eerstvolgende meting?

Vul de tabel aan.

situatie	toestand vooraf	wat versie 5 doet
di 11:04:10	DAG; verwarmen = nee; luchtT 17,8 °C	
wo 13:30:00	DAG; warm = nee; dak DICHT; luchtT 27,3 °C; lux 30 000; RV 55 %	
za 02:15:00	NACHT; de pomp stopte om 02:10; de druksensor meet nu 9,6 cm	
di 09:20:00	DAG; laadtoestand 32 %, de batterijen laden; grens 100; lampstand 100; daglicht 5400 lx	
do 14:02:30	DAG; de SHT31 antwoordt al 30 s niet	
wo 10:29:00	ONDERHOUD sinds 10:12; S1 wordt 3 s ingedrukt	

40.8 Habitat: logregels lezen

Oefenen · 4 · Habitat · 15 min

Vier regels van woensdag en drie van zondag uit de testweek (kolommen: blad 'Het logformaat van versie 5'):

```
tijdstip,temperatuur_C,vocht_pct,verbruik_Wh,zon_Wh,licht_lx,batterij_V,soc_pct,lampen_pwm,verw_pct,dak,water_C,pH,EC_mScm,niveau_cm,modus,alarm
2021-03-10 10:11,24.0,70.2,0.14,10.36,26643,13.90,58.9,0,0,0,18.4,6.02,1.39,18.9,1,0
2021-03-10 10:12,24.1,64.8,0.88,10.42,26786,13.86,59.2,49,0,0,18.4,6.02,1.39,18.6,4,0
2021-03-10 10:20,22.9,67.0,1.04,10.86,27933,13.88,61.5,60,0,0,18.5,6.05,1.38,24.3,4,0
2021-03-10 10:21,22.8,67.2,1.04,10.92,28076,13.89,61.8,60,0,0,18.5,6.05,1.38,24.3,4,0
2021-03-14 10:11,23.5,71.3,0.14,6.69,17189,13.63,49.1,0,0,0,18.3,6.48,1.33,16.6,1,0
2021-03-14 10:12,23.6,71.2,0.14,6.72,17281,13.63,49.3,0,0,0,18.3,6.50,1.33,16.3,1,0
2021-03-14 10:13,23.6,71.0,0.14,6.76,17374,13.63,49.5,0,0,0,18.3,6.51,1.34,16.4,1,0
```

a Wat gebeurde er woensdag om 10:12? Welke kolommen tonen het?

b Het niveau springt tussen 10:12 en 10:20. Hoeveel liter kwam erbij? Klopt dat met de 13 L die het team bijvulde?

c Waarom zakt de luchtvochtigheid om 10:12 van 70 naar 65 %?

d Zondag: de pH gaat van 6,48 naar 6,51. Om 10:12 staat er een waarschuwing in de meldingen. Waarom niet eerder, en waarom niet in de kolom alarm?

●●○ Toepassen

Toepassen

meerdere stappen, in een context

40.9 Fase 1: het programma van eisen van jullie module

●●○ Toepassen · 5 · Habitat · 60 min

Vertrek van het programma van eisen van het voorbeeldteam (handboek, fase 1). Pas het aan aan jullie spoor en jullie keuzes. Elke eis krijgt een criterium dat vastligt voor je test.

a Werk minstens twaalf eisen uit, uit minstens zes groepen (de rest op een extra blad).

code	eis	moet / wens	criterium	toets	hoofdstuk

b Welke eisen van het voorbeeldteam passen niet bij jullie spoor? Wat doen jullie ermee?

c Zoek twee eisen die met elkaar kunnen botsen. Welke gaat voor, en waarom?

d Hoeveel eisen telt jullie programma, en hoeveel daarvan zijn moet-eisen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Meetbaar	Elke eis heeft een grootheid, een grens met eenheid en een toets; geen 'goed' of 'genoeg'.
Vooraf	Het criterium ligt vast en is niet afgestemd op een resultaat dat al bekend is.
Herkomst	Bij elke eis staat het hoofdstuk van de berekening of beslissing.
Botsingen	Minstens één botsing herkend en beslist, met een reden.

40.10 Fase 1: planning, eigenaars en interface-afspraken

Toepassen · 5 · Habitat · 45 min

Twaalf weken van drie lestijden (pas aan aan jullie school: vakanties, toetsen). Maak jullie planning, verdeel de eigenaars en leg de interfaces tussen jullie deelsystemen vast.

a De planning: kleur per fase de weken in en zet een ruitje bij elke mijlpaal.

fase	1	2	3	4	5	6
0 · start: teams en rollen						
1 · programma van eisen						
1 · interfaces vastleggen						
2 · dimensioneren						
3 · 12,8 V-net en regelkast						
3 · hydroponie opstarten, ijken						
3 · klimaat.ino v5 samenvoegen						
4 · integreren, storingstests						
4 · testweek						
5 · analyse en technisch rapport						
5 · verdediging						
logboek en portfolio						

b De eigenaars.

rol	naam	tweede verantwoordelijke	eerste taak
energie			
water en voeding			
klimaat en licht			
besturing en data			
integrator			

c Kies vier interfaces die jouw deelsysteem met een ander verbinden. Schrijf de afspraak zo precies dat iemand anders ze kan testen.

code	van → naar	afspraak (waarde, eenheid, pin of adres)	test

d Wat ligt op het kritieke pad? Waar plannen jullie een buffer?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Planning	Alle fasen, in een logische volgorde, parallel waar het kan; de testweek na de integratietests.
Eigenaars	Elk deelsysteem heeft een eigenaar en een tweede; de integrator is benoemd.
Interfaces	Vier afspraken met waarde, eenheid en pin of adres, en een test die een ander kan uitvoeren.
Kritiek pad	De keten keuring → besturing in de module → integratietest → testweek benoemd, met een buffer.

40.11 Fase 2: energie voor jullie maand

●●○ Toepassen · 6 · Habitat · 60 min

Kies een maand (het voorbeeld hieronder is november). Gebruik de tabel per maand in het handboek (fase 2, energie) en: PVGIS geeft in november 1,66 Wh per Wp per dag; basisverbruik zonder lampen 230 Wh; lampen gedimd in november gemiddeld 1672 Wh per dag; de convector (12 W) staat in november ±3 uur per dag aan; twee batterijen, samen 2,46 kWh bruikbaar.

a Hoeveel zonnestroom leveren de panelen op een gemiddelde dag van jullie maand?

b Hoeveel verbruikt de module op die dag, met gedimde lampen en de convector?

c Hoeveel lichturen met volle lampen zou de zonnestroom toelaten zonder te dimmen?

d Uit de batterijen komt 's nachts 1640 Wh (tabel). Volstaat één batterij? En twee?

e Wat stellen jullie voor die maand voor? Onderbouw met getallen.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Gegevens	Juiste waarden voor de gekozen maand, met herkomst (PVGIS, hoofdstuk 20, handboek).
Rekenwerk	Energie in Wh of kWh, vermogen in W; tussenstappen zichtbaar.
Nacht	De nacht apart bekeken: wat de batterijen moeten leveren, tegenover wat bruikbaar is.
Voorstel	Een voorstel dat uit de getallen volgt, met de eis die erdoor gehaald of geraakt wordt.

40.12 Fase 2: pomp en goten meten en bijstellen

Toepassen · 6 · Labo · 50 min

De pomp (pomp B, hoofdstuk 11) haalt 4,8 L/min bij 1,56 m met de slang van 16 mm. Een verdeler bovenaan het rek voedt de vier goten, elk met een kraantje. Laat de pomp draaien met een testprogramma dat alleen D9 hoog zet, en vang het water aan het einde van elke goot één minuut op in een maatbeker.

a Meet het debiet van elke goot, voor en na het bijstellen.

goot	hoogte (van boven)	voor bijstellen (L/min)	na bijstellen (L/min)
1	hoogste		
2			
3			
4	laagste		
samen			

b Vergelijk de som met het werkpunt. Waarom krijgt de laagste goot het meest?

c Meet het niveau in het reservoir vlak voor de pompbeurt, in minuut 5 en 3 minuten na de pompbeurt. Vergelijk met de 1,6 cm uit het handboek.

moment	niveau (cm)
voor	
minuut 5	
3 min na	

d Bereken het hydraulische vermogen en het rendement van de pomp.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Meetmethode	Eén minuut per goot, maatbeker afgelezen tot op 10 mL, pomp in een vaste stand.
Bijstellen	Alle goten na bijstellen binnen 1,2 ± 0,05 L/min; opnieuw gemeten.
Niveau	Drie momenten gemeten; verschil vergeleken met de berekening, afwijking verklaard.
Besluit	Eis W1 getoetst, en de meting in het logboek en het testrapport.

40.13 Fase 2: de warmte narekenen

Toepassen · 6 · Habitat · 45 min

H = 20,2 W/K, met nachtscherm 16,3 W/K (hoofdstuk 19); convector 800 W; buffer 200 L + 60 L water (4186 J/(kg·K)); verwarmen onder 18 °C overdag en 16 °C 's nachts; ventilatoren vol +40 W/K, dak open +60 W/K.

a Hoeveel warmte verliest de module bij −8 °C buiten, overdag en 's nachts? Hoeveel reserve heeft de convector?

b Hoeveel warmte spaart een nachtscherm in een nacht van 8 uur bij 2 °C buiten en 16,5 °C binnen?

c De buffer levert een nacht lang (8 h) gemiddeld 150 W aan de lucht. Hoeveel graden koelt ze af?

d Een zonnige lentemiddag: 1,4 kW zon, 14 °C buiten. Welke H is nodig om onder 27 °C te blijven? Volstaan de ventilatoren alleen? Het dak alleen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Formules	P = H · ΔT en Q = m · c · ΔT juist gebruikt, met eenheden.
Rekenwerk	Tussenstappen zichtbaar; W en Wh, J en MJ niet door elkaar.
Interpretatie	Elk resultaat vergeleken met een grens: de 800 W, de 27 °C, de nacht.
Verband	Verwijzing naar de testweek of naar hoofdstuk 18, 19 of 31.

40.14 Fase 2: EC en pH ijken en bijsturen

●●○ Toepassen · 6 · Labo · 50 min

Volg de werkwijze van de proef in het handboek (fase 2, voedingsoplossing). Draag een bril en handschoenen bij het werken met pH-min.

a Tweepuntsijking van de pH-module.

buffer	spanning (V)	stabiel na (s)
pH 7,00		
pH 4,00		

b Bereken de helling in V per pH en de spanning bij pH 5,8. Is de sonde in orde (−0,18 V per pH ± 10 %)?

c Het reservoir staat op 15,2 cm. Hoeveel regenwater en stamoplossing voeg je toe om terug op 25 cm te komen?

d Na het bijvullen is de pH 6,6 in 60 L. Een proeftitratie op 1 L vraagt 1,6 mL pH-min. Hoeveel geef je, en hoe?

e Welke veiligheidsregels volg je, en waarom giet je stamoplossing A en B nooit samen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

IJking	Twee buffers, sonde gespoeld, stabiele waarden, helling en nulpunt berekend.
Bijsturen	Juiste hoeveelheden met eenheden; dosis in twee helften met rondpompen.
Veiligheid	Bril, handschoenen, zuur in water, gelabelde fles; A en B apart.
Logboek	Tijd, niveau, EC en pH voor en na, dosis genoteerd.

40.15 Fase 3: een minimum aan- en uittijd voor de verwarming

Toepassen · 6 · Programmeren · 45 min

De klep van de convector gaat een beperkt aantal schakelingen mee (hoofdstuk 31). In het foutzoekvoorbeeld schakelde ze 14 keer per uur. Voeg aan acties() van versie 5 een minimum aantijd en uittijd van 2 minuten toe, als extra bescherming. Het noodprogramma zonder temperatuur laat je zoals het is.

a Welke variabele heb je extra nodig, en welke constante?

b Schrijf de nieuwe regels die de twee regels voor verwarmen in acties() vervangen.

c Speel na: overdag, grenzen 18 en 19 °C, start met verwarmen = nee en de laatste wissel lang geleden.

tijd (s)	luchtT (°C)	verwarmen na deze meting
0	17,9	
60	19,2	
120	19,4	
150	17,8	
240	17,7	

d Wat is het nadeel? Welke eis kan erdoor in gevaar komen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Code	Compileert, gebruikt millis() via nu, geen delay(); alleen de verwarming verandert.
Test	Naspeeltabel juist ingevuld, ook de gevallen waar de minimumtijd ingrijpt.
Afweging	Nadeel benoemd (doorschot, K1) en tegen het voordeel (klep, K6) afgewogen.
Plaats	De wijziging staat op één plaats; het noodprogramma blijft werken.

40.16 Fase 3: de pomp als toestandsdiagram

Toepassen · 5 · Tekenen · 30 min

In versie 5 staat de pomp in één regel: pomp = (DAG, NACHT of ALARM) en (minuut < 10 of extraBeurt) en geen water- of niveau-alarm. Teken dezelfde logica als toestandsdiagram met vier toestanden: UIT, BEURT, EXTRA en GEBLOKKEERD (hoofdstuk 32: begin, toestanden, overgangen 'gebeurtenis [voorwaarde] / actie').

a Teken het toestandsdiagram.

b Vul de overgangen in.

van	naar	gebeurtenis [voorwaarde]

c Waarom koos het team in de code toch voor één regel, en voor het dak wel voor een toestandsmachine?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Diagram	Vier toestanden, een begin, elke overgang met gebeurtenis en voorwaarde.
Volledig	Ook de overgangen naar en uit GEBLOKKEERD en de extra beurt.
Juist	Het diagram doet hetzelfde als de regel in de code.
Uitleg	Het verschil tussen een uitgang die alleen van de invoer afhangt en een die geheugen nodig heeft.

40.17 Fase 4: het testplan met storingstests

Toepassen · 6 · Habitat · 45 min

Stel het testplan op vóór de integratietests. Voor elke storingstest schrijf je vooraf op wat er moet gebeuren.

a Werk acht tests uit, waarvan minstens vier storingstests.

eis	test (wat je doet)	criterium (vooraf)	wanneer	wie

b Welke test is gevaarlijk voor mensen of planten? Hoe maak je hem veilig?

c Welke eisen toets je in de testweek, welke apart, en welke alleen met een berekening?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Volledig	Acht tests, elk bij een eis, met criterium vooraf, moment en verantwoordelijke.
Storingen	Minstens vier storingstests met de verwachte reactie van de module.
Veiligheid	Gevaarlijke tests herkend en veilig gemaakt.
Planning	Testweek, deeltests en berekeningen logisch verdeeld.

40.18 Fase 4: de testweek analyseren

Toepassen · 6 · Analyseren · 50 min

Het dagrapport van het script testweek.py (handboek) voor de testweek, en wat de panelen per dag hadden kunnen geven (kWh): ma 1,47, di 1,05, wo 6,49, do 6,91, vr 2,93, za 0,84, zo 4,19.

dag	regels	T overdag	nacht	zon	verbr	SoC	licht	verw	starts	dak	pH	EC	niveau
ma	1440	18.0-21.4	16.0	1.47	1.94	39	10.6	2.8	48	0	5.94	1.38	20.0
di	1440	18.0-20.2	16.0	1.05	1.08	36	6.0	4.3	70	0	6.00	1.38	19.0
wo	1440	17.9-27.0	16.0	2.54	1.09	35	21.4	3.0	43	10	6.16	1.37	18.6
do	1437	18.0-27.1	16.0	1.46	1.36	67	23.6	1.7	30	14	6.29	1.35	20.1
vr	1440	18.0-25.0	16.0	1.56	1.58	65	13.4	0.8	16	0	6.40	1.34	18.0
za	1440	18.0-20.1	16.0	0.84	2.05	38	9.2	2.3	41	0	6.48	1.33	16.6
zo	1440	18.0-25.2	16.0	2.50	1.13	35	15.1	2.6	40	0	6.59	1.31	14.6

a Welke dagen halen eis L1 (lichtsom ≥ 11,0 mol) niet? Leg per dag uit waarom, met de kolommen zon en SoC.

b Bereken per dag welk deel van de mogelijke zonnestroom echt werd afgenomen. Wat valt op?

dag	ma	di	wo	do	vr	za
afgenomen (%)						

c Schrijf een functie starts_per_uur(rijen) die een woordenboek {uur: aantal keer dat de verwarming aanslaat} teruggeeft.

d Welke vraag over de module kan je met deze logbestanden niet beantwoorden? Welke kolom of meting zou je toevoegen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Lezen	L1 per dag verklaard met zon en laadtoestand, niet alleen vastgesteld.
Rekenen	Verhoudingen juist; het afknijpen op zonnige dagen herkend.
Code	De functie werkt op de rijen van het script (verw_pct, tijdstip) en telt een start als 0 → meer dan 0.
Kritisch	Een echte grens van de logbestanden, met een concrete aanvulling.

40.19 Fase 5: het technisch rapport

Toepassen · 6 · Habitat · 120 min

Schrijf het rapport volgens de opbouw in het handboek. Elke eigenaar schrijft het hoofdstuk van zijn deelsysteem; de integrator schrijft de samenvatting, de integratie en het testrapport.

a De samenvatting: hoogstens 150 woorden, minstens vijf getallen met eenheid.

b De inhoudstafel.

c De drie belangrijkste getallen uit jouw hoofdstuk, met eenheid, herkomst en de eis die ze toetsen.

getal met eenheid	herkomst (berekening, meting, simulatie)	eis

d De bronnenlijst: minstens vier bronnen, zo dat een ander ze terugvindt.

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Structuur	Alle onderdelen in de juiste volgorde; de samenvatting kan alleen gelezen worden.
Getallen	Elke bewering met getal, eenheid en criterium; herkomst vermeld.
Figuren	Elke figuur genummerd, met titel, en in de tekst uitgelegd.
Eerlijk	Wat niet lukte staat erin, met oorzaak en voorstel; bronnen volledig.

40.20 Fase 5: de verdediging voorbereiden

●●○ Toepassen · 5 · Habitat · 60 min

Tien minuten presenteren, tien minuten vragen. Gebruik het storyboard en de jurytabel uit het handboek.

a Het storyboard.

dia	tijd	boodschap als titel	figuur	wie

b Zes vragen die de jury jullie kan stellen, en jullie antwoord met een getal.

vraag	antwoord (met getal)

c De demo: wat toon je, wat moet er gebeuren, en wat is plan B?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Storyboard	Eén boodschap per dia, als titel; tijden tellen op tot 10 minuten; iedereen spreekt.
Vragen	De moeilijke vragen voorzien (niet-gehaalde eisen, simulatie), antwoorden met getallen.
Demo	Concreet, met verwachte reactie en een plan B.
Afwerking	Figuren leesbaar van achteraan in de klas.

40.21 Peer- en zelfevaluatie

Toepassen · 5 · Habitat · 25 min

Beoordeel jezelf en je teamgenoten met de criteria uit het handboek, van 1 (zelden) tot 4 (altijd). Geef iedereen één top en één tip.

a Scores.

criterium	ikzelf	teamlid 2	teamlid 3	teamlid 4
komt afspraken en deadlines na				
kwaliteit in het eigen deelsysteem				
bewaakt de eigen interfaces				
helpt anderen				
houdt het logboek mee bij				

b Top en tip.

teamlid	top: wat ging goed?	tip: wat kan beter?

c Vergelijk je zelfevaluatie met wat de anderen over jou schreven. Wat valt je op?

Uitdagen **Uitdagen** transfer, open problemen, leerlijnen combineren

40.22 Foutzoeken: halve lampen in het donker

Uitdagen · 7 · Analyseren · 35 min

Bij een ander team verplaatste een teamlid in de testweek de LDR met haar kapje naar een steun boven het rek, 'omdat ze daar beter bereikbaar is'. Vrijdagavond valt het op dat het verbruik lager is dan anders, en niemand klaagt. Hun logbestand van vrijdag 12 maart, eerst 12:00, dan 21:00 tot 21:04:

```
tijdstip,temperatuur_C,vocht_pct,verbruik_Wh,zon_Wh,licht_lx,batterij_V,soc
_pct,lampen_pwm,verw_pct,dak,water_C,pH,EC_mScm,niveau_cm,modus,alarm
2021-03-12
12:00,24.3,69.4,0.38,6.56,16864,13.77,91.3,0,0,0,20.2,6.32,1.36,19.7,1,0
2021-03-12
21:00,20.6,77.8,2.01,0.00,5240,13.09,83.4,131,0,0,21.9,6.40,1.34,18.5,1,0
2021-03-12
21:01,20.6,77.9,1.97,0.00,5240,13.09,83.2,131,0,0,21.9,6.40,1.34,18.5,1,0
2021-03-12
21:02,20.6,77.9,1.97,0.00,5240,13.09,83.1,131,0,0,21.9,6.40,1.34,18.5,1,0
2021-03-12
21:03,20.6,77.9,1.97,0.00,5240,13.09,83.0,131,0,0,21.9,6.40,1.34,18.5,1,0
2021-03-12
21:04,20.6,77.9,1.97,0.00,5240,13.09,82.9,131,0,0,21.9,6.40,1.34,18.5,1,0
```

a Wat is er vreemd aan de avondregels? Vergelijk de kolommen licht_lx en lampen_pwm met wat je verwacht.

b Geef twee mogelijke verklaringen en een test die ze uit elkaar houdt, telkens met één verandering.

c Stel dat de LDR k lux ziet per PWM-stap van de lampen. Bereken k uit het logbestand, en toon dat de lampen dan tot rust komen rond de stand in het logbestand.

d Welke eis en welke interface zijn geraakt? Hoeveel lichtsom verliest het bed op zo'n avond (18 tot 22 uur)? Hoe los je het op?

40.23 Grijze dagen: vier manieren om de lichtsom te halen

Uitdagen · 7 · Ontwerpen · 50 min

Eis L1 werd op drie grijze dagen niet gehaald. Op dinsdag was ±2,53 kWh nodig en ±1,57 kWh beschikbaar (zon plus batterij tot 20 %); dezelfde week bleef op zonnige dagen 12,4 kWh zonnestroom ongebruikt. Vier voorstellen:

- **A**: een derde LiFePO4 van 120 Ah (+1,23 kWh bruikbaar; ±100 kg CO_2-eq per kWh capaciteit, hoofdstuk 38);
- **B**: twee extra panelen van 350 Wp (+0,70 kWp; ±600 kg CO_2-eq per kWp, hoofdstuk 38);
- **C**: stroom van het 48 V-net van het station via een omzetter naar 12,8 V (Expert, E24);
- **D**: op grijze dagen het lichtdoel verlagen tot 160 µmol/(m²·s) (lichtsom 9,2 mol).

a Reken per voorstel wat het op een dag zoals dinsdag oplevert. Haalt de module dan eis L1?

b Vergelijk met een criteriatabel (minstens vier criteria, met gewichten).

criterium	gewicht	A	B	C	D

c Welke keuze maken jullie? Welke eisen veranderen in versie 2 van het programma van eisen?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Per voorstel het effect op dinsdag, met eenheden; de rol van de laadtoestand bij A begrepen.
Criteria	Minstens vier criteria (effect, CO_2, afhankelijkheid, eenvoud) met gewichten en onderbouwde scores.
Keuze	Volgt uit de tabel; nadelen eerlijk vermeld.
Eisen	De gevolgen voor het programma van eisen (L1, E3, E8, O1) uitgeschreven.

40.24 Debat: mag de module zelf pH-min doseren?

Uitdagen · 6 · Argumenteren · 30 min

Eis H2 faalde omdat niemand de waarschuwing zag. Voorstel: een doseerpompje met pH-min, gestuurd door versie 5: geef 20 mL als de pH boven 6,3 komt, hoogstens drie keer per dag. Stelling: *'De module moet de pH zelf bijsturen.'*

a Zoek twee argumenten voor en twee tegen.

voor	tegen

b Wat gebeurt er als de pH-sonde defect raakt en 7,5 aangeeft terwijl de pH 5,8 is? Welke beveiligingen zou je inbouwen?

c Hoe beslist het team? Welke eis komt erbij in het programma van eisen?

40.25 Onderzoek: wat kost een graad 's nachts?

Uitdagen · 7 · Onderzoeken · 45 min

's Nachts verwarmt de module onder 16 °C en stopt boven 17 °C. Een lagere nacht spaart warmte van het station, maar de sla groeit bij een lagere nachttemperatuur ook anders (hoofdstuk 34: bij 16,5 °C 27 % minder nachtademhaling dan bij het dagoptimum). H = 20,2 W/K, met nachtscherm 16,3 W/K; een nacht duurt 8 uur.

a Hoeveel extra warmte vraagt 1 °C hoger per nacht? En per winter van 150 nachten? En met een nachtscherm?

b Waarom zou je de nacht toch niet op 12 °C zetten? Noem twee redenen (plant en gebouw).

c Ontwerp een proef om het effect van de nachttemperatuur op de oogst te meten. Welk probleem heb je met maar één module?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Rekenwerk	Warmte per nacht en per winter juist, met en zonder scherm.
Redenen	Een plantreden (groei, ademhaling) en een gebouwreden (condens, schimmel) met herkomst.
Proefopzet	Eén variabele, herhalingen, loting; het probleem van pseudoreplicatie of van seizoen benoemd.
Afweging	Een besluit dat de warmte en de oogst tegen elkaar afweegt.

40.26 Code: een grens die meeschuift met de laadtoestand

●●● Uitdagen · 7 · </> Programmeren · 45 min

Tussen 20 en 40 % laat versie 5 de grens van de lampen 5 stappen per meting op- of afschuiven, naargelang de batterijen laden of leveren. Een teamlid stelt iets eenvoudigers voor: de grens evenredig met de laadtoestand, 0 bij 20 % en 255 bij 40 %.

a Schrijf de regel die het schuiven vervangt.

b Vul in.

laadtoestand (%)	20	25	30	35	40
grens					

c Dinsdag om 8 uur (laadtoestand 36 %, geen zon) en om 12 uur (38 %, de panelen laden). Wat doen de lampen bij elke regel?

d Welke regel beschermt de batterijen beter, welke geeft meer licht? Hoe zou je het testen voor je het in de module zet?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Code	Juiste formule, geheel getal, alleen tussen 20 en 40 %; de andere twee gevallen blijven.
Tabel	Juist ingevuld, met de afronding van (int).
Vergelijken	Het verschil tussen reageren op de laadstroom en op de laadtoestand uitgelegd.
Test	Een testplan in de simulatie: lichtsom en laagste laadtoestand van een grijze week naast elkaar.

40.27 Habitat: versie 2 van de module

●●● Uitdagen · 7 · Habitat · 50 min

De ontwerpcyclus stopt niet bij de testweek. Gebruik jullie testrapport, logboek en foutzoektabel.

a Drie verbeteringen, de belangrijkste eerst.

probleem (test of logboek)	eis	verbetering	kost (€, CO_2 of tijd)	effect

b Werk één verbetering uit: een berekening, een schema of een stuk code.

c Welke verbetering kan je pas maken met wat je in Expert leert? Welk hoofdstuk?

ZO WORDT DIT BEOORDEELD

Onderbouwd	Elke verbetering komt uit een test, een meting of het logboek, en hoort bij een eis.
Afweging	Kost en effect geschat; de belangrijkste eerst.
Uitwerking	Klopt, en een ander kan ze uitvoeren.
Vooruitblik	Concreet: welk hoofdstuk van Expert, en wat het oplost.

40.28 Habitat: eindevaluatie en op weg naar Expert

Uitdagen · 6 · Habitat · 40 min

Beoordeel jullie project met de eindrubric uit het handboek. De leraar doet hetzelfde; daarna vergelijken jullie.

a Zelfevaluatie van het project.

criterium	gewicht	niveau (1-4)	bewijs (berekening, logbestand, logboek)
programma van eisen en interfaces	10 %		
dimensionering	15 %		
bouw en veiligheid	10 %		
besturing en code	15 %		
testen en data-analyse	20 %		
technisch rapport	15 %		
verdediging	10 %		
samenwerking en logboek	5 %		

b Bereken jullie score: de som van niveau × gewicht, gedeeld door 4.

c Reflectie: wat was het moeilijkste aan het samenvoegen? Wat zou je een volgend team aanraden?

d Welke drie dingen uit dit project neem je mee naar het brein van het station in Expert?

Zelfevaluatie

Kleur per doel: lukt al / bijna / nog niet

- Ik kan een project van twaalf weken plannen met een team, met vaste eigenaars per deelsysteem, mijlpalen, een logboek en een integrator.
- Ik kan een programma van eisen voor een samengesteld systeem opstellen: meetbaar, met een vooraf vastgelegd criterium en een toets per eis, en met verwijzing naar de berekening waar de eis vandaan komt.
- Ik kan de interfaces tussen deelsystemen benoemen en vastleggen (N^2-diagram, interfacetabel) en integratieproblemen opsporen door budget, schema en code naast elkaar te leggen.
- Ik kan de energie-, water- en warmtebalans van de module narekenen met de waarden uit de vorige hoofdstukken, per dag, per maand en per jaar.
- Ik kan meetketens van sensor tot getal narekenen, sensoren in twee punten ijken en de voedingsoplossing bijsturen.
- Ik kan een programma van meer dan 500 regels lezen dat modi, regelingen, energiebeheer en een logger samenbrengt, en het uitbreiden en testen met een naspeeltabel.
- Ik kan een testplan opstellen met deeltests, storingstests en een testweek, en de logbestanden in Python toetsen aan het programma van eisen.
- Ik kan systematisch foutzoeken met de logbestanden en meldingen: van symptoom naar oorzaak, met een test die telkens één ding controleert.
- Ik kan een technisch rapport schrijven en je ontwerp verdedigen voor een jury, en je eigen werk en dat van je teamgenoten eerlijk beoordelen.