

MOHAMED AYADIM
ELLEN DECAESTECKER

SLAGEN VOOR HET TOELATINGSEXAMEN VAN ARTS EN TANDARTS

Theorie & oefeningen

**FYSICA
CHEMIE
WISKUNDE
BIOLOGIE**

Slagen voor het toelatingsexamen
van arts en tandarts

Slagen voor het toelatingsexamen van arts en tandarts

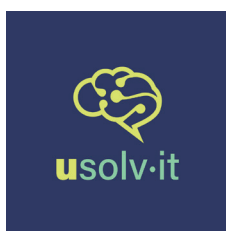
**Theorie & oefeningen:
fysica, chemie, wiskunde, biologie**

Mohamed Ayadim & Ellen Decaestecker

**Met bijdragen van
Lutgarde Arckens, Mieke De Cock,
Bert De Groef en Mario Smet**

**Met medewerking van
Paul Igodt voor usolv-it Athena**

Online oefenmodule usolv-it Athena



Met de code op de binnenzijde van de cover krijg je toegang tot de online oefenmodule **usolv-it Athena**. Ter voorbereiding op je eigen deelname aan het toelatingsexamen kan je hier een heel jaar lang oefenen met o.a. alle vragen van de vorige jaren. Jouw online score toont hoe goed je het doet ten opzichte van je leeftijdsgenoten en welke vooruitgang je maakt. Alle juiste antwoorden worden ook duidelijk uitgelegd.

Scan onderstaande QR-code om toegang te krijgen tot de oefenmodule of tik de hyperlink in:



www.lup.be/athena

Athena is een module van de usolv-it-gebruikersgroep waaraan meegewerkt wordt door alle Vlaamse universiteiten, de Vlaamse Olympiades voor Natuurwetenschappen en de Vlaamse Wiskunde Olympiade. Usolv-it wordt mee ondersteund door de Vlaamse Overheid.

Geautoriseerde vertaling en bewerking van: Mohamed Ayadim, Elisabeth Le Glass, *Réussir l'examen d'entrée en médecine* © De Boeck Supérieur s.a. 2019, 2e édition.

© 2020 Universitaire Pers Leuven / Leuven University Press / Presses Universitaires de Louvain.
Minderbroedersstraat 4, B-3000 Leuven

Alle rechten voorbehouden. Behoudens de uitdrukkelijk bij wet bepaalde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, op welke wijze ook, zonder de uitdrukkelijke voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgevers.


ISBN 978 94 6270 232 5
D / 2020 / 1869 / 50
NUR: 910

Coördinatie en boekverzorging: Hilde Rosseel
Ontwerp omslag: Frederik Danko
Illustratie omslag: ongmembre/Shutterstock.com

Voorwoord

In dit zelfstudieboek vind je de vier disciplines (fysica, chemie, wiskunde en biologie) die je moet beheersen voor het toelatingsexamen van arts en tandarts. Elke discipline wordt behandeld in hoofdstukken en die bevatten telkens een theorie- en synthesegedeelte gevolgd door een oefeningen- en oplossingsgedeelte.

De focus van dit boek ligt op het maken van oefeningen. Van alle oefeningen wordt ook de oplossing gegeven. De juist/onjuist-vragen zijn een ideale, snelle test om te zien of je de theorie beheerst. Daarnaast zijn er ook meerkeuzevragen. Je zal merken dat op sommige vragen meerdere antwoorden juist kunnen zijn. Op die manier willen we vermijden dat je kan gokken.

Soms zijn grafische voorstellingen vergezeld van het icoontje . Dat geeft aan dat je de weergegeven figuur ook online kan bekijken op www.lup.be/arts-tandarts en daar het beeld kan uitvergroten.

Verder geeft het handboek je ook toegang tot de online oefenmodule Athena op het platform usolvit (www.usolvit.be). Daar kan je verder oefenen met alle vragen van de toelatingsexamens van de voorbije jaren en kan je bovendien ook zien hoe goed je het doet ten opzichte van je leeftijdsgenoten.

Als auteursgroep wensen we tot slot het team van Universitaire Pers Leuven te bedanken voor de aangename samenwerking en de nooit aflatende ondersteuning.

Lut Arckens (KU Leuven)
Mohamed Ayadim (UCLouvain)
Mieke De Cock (KU Leuven)
Bert De Groef (KU Leuven)
Ellen Decaestecker (KU Leuven)
Mario Smet (KU Leuven)

Inhoud

F Y S I C A

Hoofdstuk 1: Kinematica in één en twee dimensies	11
Hoofdstuk 2: Dynamica	33
Hoofdstuk 3: De universele gravitatiewet	47
Hoofdstuk 4: Arbeid, energie en vermogen	55
Hoofdstuk 5: Trillingen en golven	67
Hoofdstuk 6: Wetten van terugkaatsing en breking	81
Hoofdstuk 7: Lenzen en optische systemen	95
Hoofdstuk 8: Elektrostatica	111
Hoofdstuk 9: Elektrodynamica	131
Hoofdstuk 10: Elektromagnetisme	151
Hoofdstuk 11: Geluid	177

C H E M I E

Hoofdstuk 1: Beduidende cijfers	207
Hoofdstuk 2: Belangrijkste nomenclatuurregels anorganische chemie	211
Hoofdstuk 3: Atoomstructuur en periodiek systeem	221
Hoofdstuk 4: Molaire massa, mol, massaconcentratie, molariteit	229
Hoofdstuk 5: Massabalans	239
Hoofdstuk 6: Chemische bindingen en Lewisstructuren	245
Hoofdstuk 7: Gaswetten	259
Hoofdstuk 8: Thermodynamica en chemisch evenwicht	267
Hoofdstuk 9: Oplosbaarheid en oplosbaarheidsproduct	281
Hoofdstuk 10: Zuren en basen	287
Hoofdstuk 11: Redoxreacties en elektrochemie	301
Hoofdstuk 12: Koolstofchemie	319
Hoofdstuk 13: Chemische kinetiek	329

W I S K U N D E

Hoofdstuk 1: Herhaling: wiskundige technieken en basisbegrippen uit de algebra ..	341
Hoofdstuk 2: Rekenen met vectoren	357
Hoofdstuk 3: Goniometrie	367
Hoofdstuk 4: Functies	387
Hoofdstuk 5: Afgeleiden	413
Hoofdstuk 6: Limieten	429
Hoofdstuk 7: Integraal van een continue functie	447
Hoofdstuk 8: Statistiek en kansrekening	463

B I O L O G I E

Hoofdstuk 1: De eukaryote cel: bouw en functie van de celorganellen	475
Hoofdstuk 2: Metabolisme	485
Hoofdstuk 3: Erfelijke informatie	501
Hoofdstuk 4: Celvermeerdering	511
Hoofdstuk 5: Erfelijkheid	521
Hoofdstuk 6: Evolutie	537
Hoofdstuk 7: Voortplanting	549
Hoofdstuk 8: Skelet en bewegingsstelsel van de mens	563
Hoofdstuk 9: Het zenuwstelsel	573
Hoofdstuk 10: Het hormonale stelsel	581

Fysica

● Hoofdstuk 1:	Kinematica in één en twee dimensies	11
● Hoofdstuk 2:	Dynamica	33
● Hoofdstuk 3:	De universele gravitatiewet	47
● Hoofdstuk 4:	Arbeid, energie en vermogen	55
● Hoofdstuk 5:	Trillingen en golven	67
● Hoofdstuk 6:	Wetten van terugkaatsing en breking	81
● Hoofdstuk 7:	Lenzen en optische systemen	95
● Hoofdstuk 8:	Elektrostatica	111
● Hoofdstuk 9:	Elektrodynamica	131
● Hoofdstuk 10:	Elektromagnetisme	151
● Hoofdstuk 11:	Geluid	177

Kinematica in één en twee dimensies

DEFINITIES

■ Mechanica

De mechanica is de wetenschap die de bewegingen van materiële lichamen bestudeert. Men onderscheidt drie deelgebieden binnen de mechanica:

1. De **kinematica** beschrijft de beweging van voorwerpen in functie van de tijd, zonder verder in te gaan op de oorzaken en gevolgen ervan.
2. De **dynamica** bestudeert de krachten die de bewegingen veroorzaken en legt een verband tussen die krachten en de bewegingen die eruit voortvloeien.
3. De **statica** bestudeert de krachten die worden uitgeoefend op een voorwerp in evenwicht of in rust (bv. de studie van hefboomen).

■ Kinematica

De positie van een voorwerp wordt bepaald t.o.v. een referentiestelsel. Dit bestaat uit een tijdsas en een plaatsas.

Het geheel van opeenvolgende posities die een voorwerp in functie van de tijd inneemt, noemt men de "baan" van het voorwerp.

1 Snelheid

In dit handboek wordt, tenzij anders aangegeven, de snelheid van een bewegend voorwerp altijd bepaald ten opzichte van het aardoppervlak (t.o.v. vast punt op aarde).

1.1. Gemiddelde snelheid in 1 dimensie

Als een bewegend voorwerp in een tijdsinterval $\Delta t = t_2 - t_1$ een afstand $\Delta x = x_2 - x_1$ aflegt, dan is zijn gemiddelde snelheid gelijk aan

$$v_g = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(x_2 - x_1)}{(t_2 - t_1)} \text{ (in m/s).}$$

Er zijn dus twee punten (posities) nodig en twee tijdstippen om de gemiddelde snelheid te bepalen.

Als we een positie-as kiezen is de gemiddelde snelheid positief als de verplaatsing volgens de as gebeurt en negatief als het voorwerp beweegt in tegenovergestelde zin.

OPMERKING

Voor een verplaatsing met verschillende snelheden, berekenen we de gemiddelde snelheid door de totale afstand die je hebt afgelegd te delen door de totale tijdsduur.

1.2. Ogenblikkelijke snelheid in 1 dimensie

De ogenblikkelijke snelheid, d.w.z. de snelheid van een bewegend voorwerp op elk tijdstip, wordt berekend door de plaatscoördinaat x (m) af te leiden naar de tijd t (s) :

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \text{ (m/s)} \Leftrightarrow dx = v(t)dt.$$

Uit deze formule kan de bewegingsvergelijking worden afgeleid. Het volstaat om de integraal van volgende vergelijking uit te rekenen :

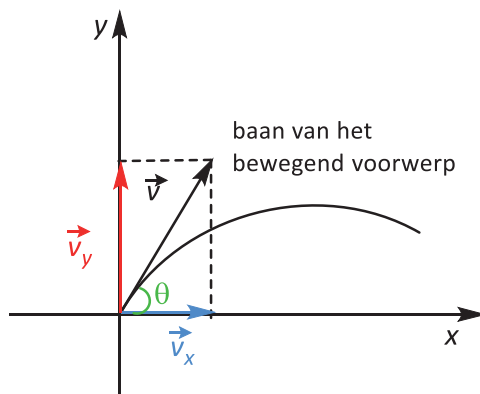
$$\int_{t_0}^t dx = \int_{t_0}^t v(t)dt \Rightarrow x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t v(t)dt \quad (I)$$

Als $x(t_0) = 0$ m en $t_0 = 0$ s, dan is $x(t) = \int_0^t v(t)dt$

1.3. Snelheid in meerdere dimensies : vectoriële grootheden

De snelheid waarmee een voorwerp beweegt, kan beschreven worden met een vector. De snelheid heeft immers niet alleen een grootte, maar ook een richting en een zin.

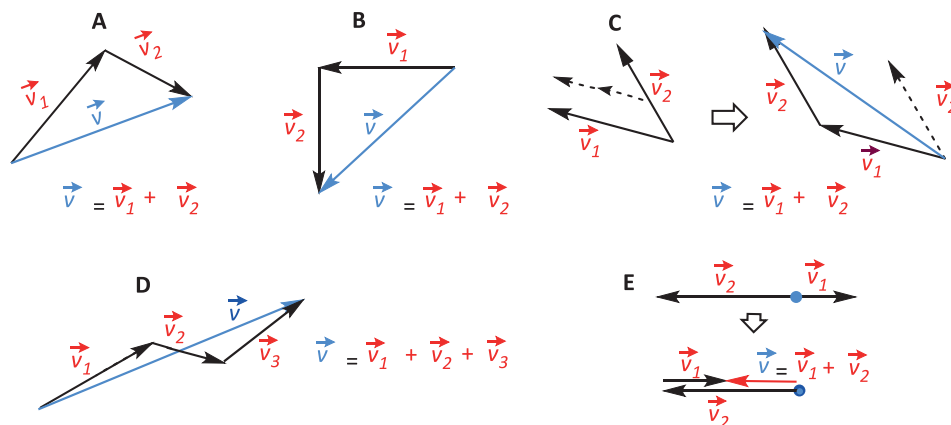
Wanneer een voorwerp niet op een rechte lijn beweegt, ontbinden we de snelheidsvector vaak in twee loodrecht op elkaar staande vectoren: een vector \vec{v}_x volgens de x -richting en een vector \vec{v}_y volgens de y -richting. De vector volgens de x -richting is de orthogonale projectie van de snelheidsvector op de x -as, die volgens de y -richting is de projectie op de y -as.



$$\left. \begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}_x + \vec{v}_y \\ v_x &= v \cdot \cos \theta \\ v_y &= v \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} v^2 = v_x^2 + v_y^2$$

Ter opfrissing : de optelling van snelheidsvectoren is de toepassing van de *formule van Chasles-Möbius* ($\vec{AB} + \vec{BC} = \vec{AC}$).

Deze formule wordt enkel toegepast als de twee vectoren een gemeenschappelijk punt hebben, nl. als het eindpunt van de ene vector samenvalt met het beginpunt van de andere vector. Zo hebben we in situatie C vector \vec{v}_2 moeten verschuiven om de formule van Chasles-Möbius te kunnen toepassen¹ :



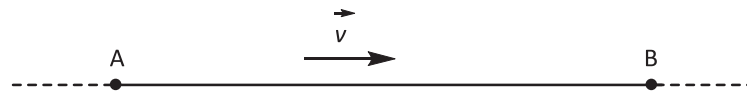
Situatie A kan gezien worden als een concreet voorbeeld dat de snelheid van een vliegtuig tijdens het opstijgen weergeeft :

- \vec{v}_1 is de snelheid van het vliegtuig t.o.v. de omringende luchtmassa
- \vec{v}_2 is de snelheid van het vliegtuig t.o.v. het aardoppervlak, de grondsnelheid
- $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ is de resultante van die twee vectoren en geeft ons de snelheid van het vliegtuig bij opstijgen t.o.v. het aardoppervlak.

¹ In het deel wiskunde vindt u een hoofdstuk over rekenen met vectoren.

1.4. Snelheid en snelheidsvector

De snelheidsvector \vec{v} (vectoriële grootheid) beschrijft tegelijkertijd de grootte, de richting en de zin van de snelheid. Als een wagen aan een constante snelheid van 90 km/h op een AB-as beweegt (eenparige rechtlijnige beweging) dan is



- de (bewegings)richting AB,
- de zin van de beweging A naar B,
- de grootte van de snelheid gelijk 90 km/h (= 25 m/s).

In dit handboek betekent constante snelheid dat de grootte (scalaire grootheid) constant is. Let op, constante snelheidsvector betekent dat zowel richting, zin als grootte van de vector constant zijn. Dit is bv. het geval bij een eenparige rechtlijnige beweging (ERB).

De snelheidsvector van een wagen die aan een constante snelheid van 90km/h rijdt van **A** naar **B** volgens een eenparige rechtlijnige beweging is verschillend van de snelheidsvector van een andere wagen die volgens een eenparige rechtlijnige beweging aan dezelfde constante snelheid van **B** naar **A** rijdt.

2 Versnelling

Tenzij anders aangegeven, wordt de versnelling van bewegende voorwerpen altijd berekend ten opzichte van het aardoppervlak (ten opzichte van een vast punt op aarde).

2.1. Gemiddelde versnelling in 1 dimensie

Als de snelheid van een voorwerp in een tijdsinterval $\Delta t = t_2 - t_1$ een snelheidsverandering $\Delta v = v_2 - v_1$ ondergaat, dan is zijn gemiddelde versnelling gelijk aan

$$a_g = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(v_2 - v_1)}{(t_2 - t_1)}.$$

Als we op een rechte lijn (zelfde richting) een bewegingsrichting kiezen en

- als $a_g > 0$ versnelt het systeem volgens de bewegingsrichting.
- als $a_g < 0$ vertraagt het systeem in de tegengestelde zin van de bewegingsrichting.

2.2. Ogenblikkelijke versnelling in 1 dimensie

De ogenblikkelijke versnelling, d.w.z. de versnelling van een bewegend voorwerp op een tijdstip t is de ogenblikkelijke verandering van de snelheid in de tijd en wordt berekend door de snelheid $v(t)$ af te leiden naar de tijd t :

$$a(t) = \frac{dv}{dt} \text{ (m/s}^2\text{)} \Leftrightarrow dv = a(t)dt.$$

Men vindt de snelheid door volgende integraal uit te rekenen :

$$\int_{t_0}^t dv = \int_{t_0}^t a(t)dt \Rightarrow v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t)dt \quad \text{(II)}$$

2.3. Versnelling in meerdere dimensies



OPMERKING

Vermits de snelheid een vectoriële grootheid is, definiëren we de versnellingsvector van een voorwerp als de verandering van de snelheidsvector per tijdseenheid:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Let op! Bij constante snelheid (grootte) kan de snelheidsvector veranderen. Dat is bijvoorbeeld het geval bij cirkelvormige bewegingen. Een voorwerp dat een eenparige cirkelvormige beweging uitvoert, heeft een versnelling zelfs als de grootte van de snelheid constant blijft. De reden is dat de richting van de snelheidsvector op elk ogenblik verandert.

Chemie

● Hoofdstuk 1:	Beduidende cijfers	207
● Hoofdstuk 2:	Belangrijkste nomenclatuurregels anorganische chemie	211
● Hoofdstuk 3:	Atoomstructuur en periodiek systeem	221
● Hoofdstuk 4:	Molaire massa, mol, massaconcentratie, molariteit, ...	229
● Hoofdstuk 5:	Massabalans	239
● Hoofdstuk 6:	Chemische bindingen en Lewisstructuren	245
● Hoofdstuk 7:	Gaswetten	259
● Hoofdstuk 8:	Thermodynamica en chemisch evenwicht	267
● Hoofdstuk 9:	Oplosbaarheid en oplosbaarheidsproduct	281
● Hoofdstuk 10:	Zuren en basen	287
● Hoofdstuk 11:	Redoxreacties en elektrochemie	301
● Hoofdstuk 12:	Koolstofchemie	319
● Hoofdstuk 13:	Chemische kinetiek	329

Beduidende cijfers

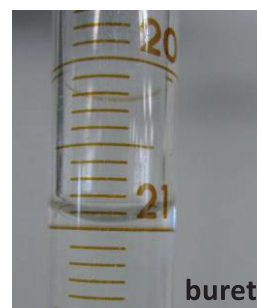
Getallen en meetresultaten

Als je het volume van de vloeistof meet in de buret met gradueringen op 1 mL (hiernaast) zie je dat de vloeistofmeniscus zich ergens tussen 20,9 mL en 21 mL bevindt. Daarom is dit meetresultaat onnauwkeurig.

Met het blote oog schat je het volume op 20,96 mL.

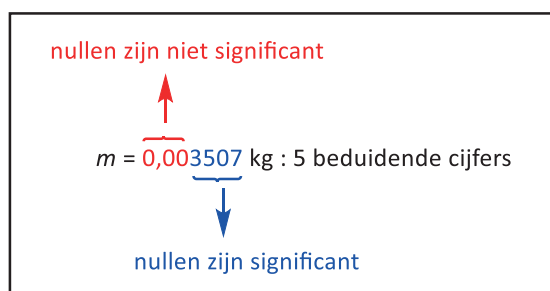
Omdat er geen gradueringen op 0,1 mL zijn, zijn enkel de cijfers 2, 0 en 9 zeker en is het laatste cijfer 6 onzeker.

Hoe groter het aantal beduidende cijfers, hoe nauwkeuriger een meetresultaat is. In het volume $V = 20,96$ mL heeft men 4 beduidende cijfers. In een meetresultaat zijn alle cijfers verschillend van nul beduidende cijfers.



Een komma verplaatsen heeft geen invloed op de nauwkeurigheid van het getal. Of we nu 20,96 mL dan wel 0,02096 L schrijven, het aantal beduidende cijfers blijft vier. Opgelet, nullen links van een cijfer zijn nooit significant. In het getal 0,02096 zijn de twee nullen links van het cijfers 2 niet significant. In wetenschappelijke notering schrijft men $2,096 \cdot 10^{-2}$ L. Nullen na de komma, of tussen twee cijfers verschillend van nul, zijn wel significant.

Een ander voorbeeld :



Laboratoriummetingen worden meestal uitgevoerd met drie of vier beduidende cijfers. Een meetresultaat met **vier beduidende cijfers** van eenzelfde meting, uitgevoerd op verschillende manieren, zou er als volgt kunnen uitzien :

$$13,02 \text{ g of } 1,302 \cdot 10^{-4} \text{ mg of } 0,01302 \text{ kg of } 0,00001302 \text{ ton of } 1,302 \cdot 10^{-5} \text{ ton}$$

Bij conventie noteert men het resultaat als $13,02 \pm 0,01$ g.

Hetzelfde meetresultaat met drie beduidende cijfers geeft :

$$13,0 \text{ g of } 1,30 \cdot 10^{-4} \text{ mg of } 0,0130 \text{ kg of } 0,0000130 \text{ ton of } 1,30 \cdot 10^{-5} \text{ ton}$$

Beduidende cijfers

1 Om het volume van een kubus te berekenen verheft men de ribbe van de kubus tot de derde macht. Als de ribbe van de kubus 2,5 cm lang is, dan is het volume : $2,5 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 15,625 \text{ cm}^3$. Schrijf dit resultaat met 4 BC.

- A. $15,625 \text{ cm}^3$
- B. $15,65 \text{ cm}^3$
- C. $15,63 \text{ cm}^3$
- D. $15,6 \text{ cm}^3$
- E. $16,00 \text{ cm}^3$

2 Een massa weegt 15,020 g. Uit hoeveel beduidende cijfers bestaat dit meetresultaat ?

- A. 2
- B. 3
- C. 4
- D. 5
- E. 6

3 Een activiteit duurt 0,0100 uur. Uit hoeveel beduidende cijfers bestaat dit meetresultaat?

- A. 1
- B. 2
- C. 3
- D. 4
- E. 5

4 Een chemicus kan de luchtkwaliteit analyseren door de hoeveelheid stikstofdioxide, een precursor van "zure regen" en fotochemische smog in de lucht te bepalen. Men meet $0,0361 \text{ mg NO}_2$ in een staal lucht van 12,0 L. Schrijf de concentratie NO_2 in wetenschappelijke notering met het juiste aantal BC. Gegevens :

$$\frac{0,0361}{12} = 0,00300833 \text{ en } 0,0361 \cdot 12 = 0,4332$$

- A. $3,01 \cdot 10^{-3} \text{ g m}^{-3}$
- B. $3,01 \cdot 10^{-3} \text{ mg m}^{-3}$
- C. $3,01 \cdot 10^{-3} \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$
- D. $3,01 \cdot 10^3 \text{ g m}^{-3}$
- E. $4,33 \cdot 10^{-1} \text{ g m}^{-3}$

5 Bij het verbranden van 1 gram benzine in een verbrandingsmotor wordt $4,307 \cdot 10^4 \text{ J}$ energie vrijgesteld. Druk deze energiewaarde uit in Joule per kilogram en met 3 BC.

- A. $43,07 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$
- B. $43,10 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$
- C. $4,307 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}$
- D. $4,31 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}$
- E. $4,3 \cdot 10^7 \text{ J kg}^{-1}$

6 Als je weet dat je bij $25 \text{ }^\circ\text{C}$ maximaal 36,0 gram natriumchloride kan oplossen in 100 gram water, hoeveel kan je dan oplossen in 92,233 gram water bij dezelfde temperatuur ? Antwoord met 4 BC.

- A. 33,56 g
- B. $3,3539 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$
- C. $3,3 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$
- D. $3,356 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$
- E. $3,3564 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$

Beduidende cijfers

1 Antwoord C.

2 Antwoord D.

3 Antwoord C.

4 Antwoord A.

De concentratie van gasvormige verbindingen in lucht wordt vaak uitgedrukt in g per m³.

In ons geval :

$$\begin{aligned} [\text{NO}_2] &= \frac{0,0361 \text{ mg}}{12 \text{ L}} = \frac{0,0361 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \\ &= 0,00300833 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \\ &= 3,00833 \cdot 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Resultaat afgerond op 3 BC :

$$[\text{NO}_2] = 3,01 \cdot 10^{-3} \text{ g m}^{-3}$$

(Antwoord A).

5 Antwoord D.

$$1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg.}$$

Hieruit volgt :

$$\begin{aligned} 4,307 \cdot 10^4 \frac{\text{J}}{\text{g}} &= 4,307 \cdot 10^4 \frac{\text{J}}{10^{-3} \text{ kg}} \\ &= 4,307 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Resultaat afgerond op 3 BC : de vrijgestelde energie bedraagt $4,31 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

(Antwoord D).

6 Antwoord D.

$$36 \text{ g NaCl} \rightarrow 100 \text{ g water}$$

$$x \text{ g NaCl} \rightarrow 92,233 \text{ g water}$$

Toepassing van de regel van drie levert als resultaat :

$$x = \frac{36 \cdot 92,233}{100} = \frac{3356,388}{100} = 33,56388 \text{ g}$$

Resultaat in kg en afgerond op 4 BC :

$$x = 0,03356 \text{ kg} = 3,356 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

Wiskunde

- Hoofdstuk 1: **Herhaling: wiskundige technieken en basisbegrippen uit de algebra** 341
- Hoofdstuk 2: **Rekenen met vectoren** 357
- Hoofdstuk 3: **Goniometrie** 367
- Hoofdstuk 4: **Functies** 387
- Hoofdstuk 5: **Afgeleiden** 413
- Hoofdstuk 6: **Limieten** 429
- Hoofdstuk 7: **Integraal van een continue functie** 447
- Hoofdstuk 8: **Statistiek en kansrekening** 463

Herhaling: wiskundige technieken en basisbegrippen uit de algebra

1 Machten

Stel $a, b \in \mathbb{R}_0, m \in \mathbb{Z}_0, n \in \mathbb{N}_0$ en c een strikt positief reëel getal.

- $a^0 = 1; -a^0 = -1; -(-2)^2 = -2^2$
- $-(-2)^{2n} = -2^{2n}$
- $-(-2)^{2n+1} = 2^{2n+1}$

$$a^n \cdot a^m = a^{n+m}; a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n; ((b^n)^m = b^{mn}$$

- $\sqrt[n]{c} = c^{\frac{1}{n}}; a^0 = 1; \frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}; \frac{1}{a^n} = a^{-n}$
- $a^{-3} = \frac{1}{a^3}$

$$- a^{-m} \cdot b^m = (ba^{-1})^m = \left(\frac{b}{a}\right)^m$$

$$- \sqrt[n]{\sqrt[n]{c^{2n^2}}} = \left[(c^{2n^2})^{\frac{1}{n}} \right]^{\frac{1}{n}} = (c^{2n^2})^{\frac{1}{n^2}} = (c)^{\frac{2n^2}{n^2}} = c^2$$

- Als $a > 1$ is de functie $f : x \mapsto a^x$ strikt stijgend over \mathbb{R} (bv. $f(x) = 2^x$)

$$\text{Als } a^{x_1} > a^{x_2} \text{ en } a > 1, \text{ dan } x_1 > x_2$$

- Als $0 < a < 1$ is de functie $f : x \mapsto a^x$ strikt dalend over \mathbb{R} (bv. $f(x) = (1/2)^x$)

$$\text{Als } a^{x_1} > a^{x_2} \text{ en } a < 1, \text{ dan } x_1 < x_2$$

$$\text{Als } a^{x_1} = a^{x_2}, \text{ dan } x_1 = x_2$$

Voorbeelden :

- $2^{2x+1} = 2^x \Leftrightarrow 2x + 1 = x \Leftrightarrow x = -1, V = \{-1\}$
- $2^{2x+1} = 2^{-x} \Leftrightarrow 2x + 1 = -x \Leftrightarrow x = -1/3, V = \{-1/3\}$
- $\left(\frac{2^{2x+1}}{2^x}\right)^3 = 1 \Leftrightarrow \frac{2^{6x+3}}{2^{3x}} = 1 \left(\text{of } \left(\frac{2^{2x+1}}{2^x}\right) = 1\right) \Leftrightarrow 2^{6x+3} = 2^{3x} \Leftrightarrow 6x + 3 = 3x, V = \{-1\}$

2 Logarithmen

$$\forall x, y \in \mathbb{R}_0^+ \text{ en } \forall a \in \mathbb{R}_0^+ \setminus \{1\}$$

$$\log_a (x \cdot y) = \log_a x + \log_a y ; \log_a \frac{x}{y} = \log_a x - \log_a y$$

$$\log_a x^n = n \log_a x \text{ en } n \in \mathbb{Z}_0$$

$$\log x \geq \log y \Leftrightarrow x \geq y ; \log_a x = y \Leftrightarrow x = a^y ; \log_a x = \frac{\log_n x}{\log_n a} = \frac{\log_{10} x}{\log_{10} a}$$

$$\log_a 1 = 0 \Leftrightarrow 1 = a^0 ; \log_a a = 1 ; \log_{a^n} x = \frac{\log x}{\log a^n} = \frac{1}{n} \cdot \log_a x$$

Voorbeelden :

- $\log_a \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log_a x$ en $n \in \mathbb{N}_0$
- $\log_a \frac{1}{x} = -\log_a x$
- Als $a = 10$, schrijft men $\log x = \log_{10} x$ (tiendelige of Briggse logarithmen)
- Als $a = e$, schrijft men $\ln x = \log_e x$ (natuurlijke of Neperiaanse logarithmen)
- $\log_{10} x = \frac{\log x}{\log 10} = \frac{\ln x}{\ln 10}$; $\log_a 1 = 0$ en $\log_a a = 1$
- $\ln 10 = 2,30$
- $\ln 0,1 = \ln \frac{1}{10} = -\ln 10 = -2,30$
- $\log_{10} 10 = 1$
- $\log_{10} 10^{2a} = 2a$
- $\ln^n a \cdot \ln^m a^2 = \ln^n a \cdot (\ln a^2)^m = \ln^n a \cdot (2 \cdot \ln a)^m = 2^m \cdot \ln^n a \cdot \ln^m a$
 $= 2^m \cdot \ln^{n+m} a$ of $2^m \cdot (\ln a)^{n+m}$, voor $n, m \in \mathbb{N}_0$
- $\ln 1 = 0$
- $\ln e = 1$
- $\ln e^2 = 2 \ln e = 2$
- $(\ln e^{2 \ln 3}) = \ln e^{\ln 3^2} = \ln 3^2 = 2 \ln 3$
- $e^{2x} = 10 \Leftrightarrow \ln e^{2x} = \ln 10 \Leftrightarrow 2x \cdot \ln e = \ln 10 \Leftrightarrow 2x = \ln 10 ; V = \left\{ \frac{\ln 10}{2} \right\}$
- $2 \cdot 10^{5x} = 5 \Leftrightarrow 10^{5x} = \frac{5}{2} \Leftrightarrow \log 10^{5x} = \log \frac{5}{2} \Leftrightarrow 5x = \log \frac{5}{2} \Leftrightarrow x = \frac{1}{5} \log \frac{5}{2}$;
 $V = \left\{ \frac{1}{5} (\log 5 - \log 2) \right\}$
- $\ln(x-1) \geq \ln 2$, dom $f =]1, +\infty[$, $\forall x \in \text{dom } f, x-1 \geq 2 \Leftrightarrow x \geq 3 ; V = [3, +\infty[$

3 Voorbeelden ontbinden in factoren en oplossen van vergelijkingen

3.1. Gemeenschappelijke factoren afzonderen

Voorbeelden :

- $2x^2 - 3x = x(2x - 3)$
- $5 \cdot 2^{2x} - 3a \cdot 2^{2x+1} = 5 \cdot 2^{2x} - 3a \cdot 2^{2x} \cdot 2 = 2^{2x} \cdot (5 - 3a \cdot 2) = 2^{2x} \cdot (5 - 6a)$
- $(x-1) \cdot (2x+3) - (x-1)^2 = (x-1) \cdot (2x+3-x+1) = (x-1) \cdot (x+4)$

3.2. Merkwaardige producten

$$a^2 - b^2 = (a - b) \cdot (a + b)$$

$$a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2$$

$$a^2 - 2ab + b^2 = (a - b)^2$$

$$ax^2 + bx + c = a(x - x_1) \cdot (x - x_2),$$

$$\text{met } x_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \neq x_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \text{ en } \Delta = b^2 - 4ac > 0$$

Voorbeelden :

- $ax^2 + bx + c = a(x - x_1)^2$, als $\Delta = 0$ (want $x_1 = x_2 = -b/2a$)
- $5x^2 - 9 = (\sqrt{5}x)^2 - 3^2 = (\sqrt{5}x - 3) \cdot (\sqrt{5}x + 3)$
- $3x^2 - 2\sqrt{3}x + 1 = (\sqrt{3}x)^2 - 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1 \cdot x + 1^2 = (\sqrt{3}x - 1)^2$
- $x^2 + 6x + 9 = x^2 + 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot x + 3^2 = (x + 3)^2$
- $2x^3 + 12x^2 + 18x = 2x(x^2 + 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot x + 3^2) = 2x(x + 3)^2$
- $e^{2x} + 2e^x + 1 = (e^x)^2 + 2 \cdot 1 \cdot e^x + 1^2 = (e^x + 1)^2$
- $e^{4x} - 1 = (e^{2x})^2 - 1^2 = (e^{2x} - 1)(e^{2x} + 1) = (e^x - 1)(e^x + 1)(e^{2x} + 1)$
- $\ln^2 x^2 - 3 = (\ln x^2 - \sqrt{3}) \cdot (\ln x^2 + \sqrt{3}) = (2 \ln x - \sqrt{3}) \cdot (2 \ln x + \sqrt{3})$, voor $x > 0$

3.3. Een veelterm ontbinden in factoren

Een veelterm $V(x)$ is deelbaar door $(x - a)$ als en slechts als $V(a) = 0$.

We schrijven $V(x) = (x - a) \cdot Q(x)$.

Bovendien, als $Q(x)$ deelbaar is door $(x - b)$, hebben we opnieuw $Q(x) = (x - b) \cdot Q'(x)$.

Hieruit leiden we af dat $V(x) = (x - a) \cdot (x - b) \cdot Q'(x)$.

De regel van **HORNER** is een praktische manier om deze quotiënten te berekenen.

Voorbeeld :

Ontbind $V(x) = x^3 - x^2 + 2x - 2$ in factoren

$V(x) = 1x^3 - 1x^2 + 2x - 2$ $V(1) = 0$

	1	-1	+2	-2	
	(1)	(3)	(5)	(7)	
a = 1	1	0	+2	+2	
• (2)	1	0	+2	0	
	1	0	+2	0	

$Q(x) = (1x^2 + 0x + 2)$

$V(x) = (x - 1) \cdot (x^2 + 2)$

\downarrow \downarrow
 $(x - a)$ $Q(x)$

Biologie

- Hoofdstuk 1: **De eukaryote cel: bouw en functie van de celorganellen** 475
- Hoofdstuk 2: **Metabolisme** 485
- Hoofdstuk 3: **Erfelijke informatie** 501
- Hoofdstuk 4: **Celvermeerdering** 511
- Hoofdstuk 5: **Erfelijkheid** 521
- Hoofdstuk 6: **Evolutie** 537
- Hoofdstuk 7: **Voortplanting** 549
- Hoofdstuk 8: **Skelet en bewegingsstelsel van de mens** 563
- Hoofdstuk 9: **Het zenuwstelsel** 573
- Hoofdstuk 10: **Het hormonale stelsel** 581

De eukaryote cel : bouw en functie van de celorganellen

1 Lichtmicroscopische bouw van dierlijke en plantaardige cellen

Alle levende wezens (**organismen**) bestaan uit cellen. De meeste organismen zijn **ééncellig** of unicellulair (d.w.z. het organisme bestaat uit één enkele, geïsoleerde cel); sommige organismen (o.m. planten en dieren) zijn **meercellig** of multicellulair.

Er bestaan twee soorten cellen: eukaryote cellen (bij schimmels, dieren, planten en een aantal andere groepen) en prokaryote cellen (bij bacteriën en archaea).

- **Eukaryote cellen** zijn gewoonlijk tussen 10 en 100 μm groot. Een eukaryote cel bestaat uit een **celmembraan**, waarbinnen zich een celkern en het cytoplasma bevinden. De **celkern** (nucleus) is opgebouwd uit een kernmembraan die het kernplasma en één of meerdere kernlichaampjes (nucleoli, *enk.* nucleolus) omgeeft. In het kernplasma zit chromatine, dat bestaat uit DNA en eiwitten en bevat dus het genetische materiaal. Het **cytoplasma** is de overige inhoud van de cel. Het cytoplasma bestaat uit een waterige oplossing, het **cytosol**, met daarin verschillende **celorganellen** en andere celstructuren.
 - **Plantencellen** zijn, in tegenstelling tot dierlijke cellen, omgeven door een stevige **celwand** die bestaat uit cellulose, hemicellulose en pectine. De celwand omgeeft de celmembraan. In het cytoplasma van een plantencel vinden we vaak ook een **centrale vacuole** en **plastiden**. De bekendste plastiden zijn bladgroenkorrels of **chloroplasten**, organellen die chlorofyl (bladgroen) bevatten. Chlorofyl is het pigment dat verantwoordelijk is voor de groene kleur van planten en is essentieel voor de fotosynthese. Andere plastiden zijn leucoplasten (met zetmeel, kleurloos) en chromoplasten (met pigmenten, veelal geel, oranje, rood).
 - **Dierlijke cellen** hebben geen celwand. In het cytoplasma van dierlijke cellen komen geen plastiden voor. Dierlijke cellen hebben zelden een centrale vacuole; wel kunnen verschillende kleinere vacuolen in het cytoplasma voorkomen.
- **Prokaryote cellen** bezitten in tegenstelling tot eukaryote cellen geen duidelijke intracellulaire compartimentering: ze hebben geen celorganellen die met een membraan zijn afgegrensd (zoals mitochondriën, plastiden, enz.) en ze hebben ook geen celkern: hun genetische materiaal ligt vrij in het cytoplasma en bestaat grotendeels uit een enkel, cirkelvormig DNA-molecule. De meeste bacteriële cellen zijn tussen 0,5 en 10 μm groot en zijn omgeven door een celwand.

N.B. **Virussen** (0,02–0,4 μm) worden doorgaans niet als levende wezens beschouwd. Ze bestaan niet uit cellen, maar uit genetisch materiaal (DNA of RNA) omgeven door een eiwitmantel, waarrond eventueel nog een enveloppe van vetten en eiwitten kan voorkomen. Virussen kunnen zich niet zelfstandig vermenigvuldigen, maar zijn daarvoor afhankelijk van cellen van de gastheer.

2 Elektronenmicroscopische bouw van dier- en plantencellen

De **celmembraan** (ook plasmamembraan genoemd) vormt de afscheiding van de cel (intracellulair) met de buitenwereld (extracellulair). De celmembraan bepaalt welke stoffen in en uit de cel kunnen en fungeert dus als een soort chemische barrière. Daarnaast speelt ze ook een rol bij inter- en extracellulaire signalisatie en celadhesie. Cellulaire membranen bestaan uit een dubbele laag fosfolipiden van ongeveer 8 nm dik waarin proteïnen (incl. glycoproteïnen) zijn verankerd. Die structuur wordt de eenheidsmembraan genoemd (zie verder).

Bij eukaryoten bevindt het grootste deel van het genetische materiaal (DNA) zich in een aparte structuur (2–10 μm), die het genoom beschermt: de **celkern** (nucleus). De celkern is afgelijnd door een dubbele

eenheidsmembraan, ook **nucleaire enveloppe** genoemd, met **kernporiën**. Doorheen de kernporiën kunnen substanties, waaronder RNA, uitgewisseld worden met het cytoplasma. Het kernplasma bevat **chromatine**, dat opgebouwd is uit eiwitten en DNA. In de meeste cellen wordt chromatine pas in de vorm van duidelijk afgeleide **chromosomen** waargenomen wanneer de cellen delen. Bij de mens bevat de celkern 46 chromatinedraden (of chromosomen). Het kernlichaampje of **nucleolus** bestaat uit DNA, ribosomaal RNA en proteïnen; hier worden de onderdelen van de ribosomen aangemaakt en tijdelijk opgeslagen. De nucleolus is niet door een membraan afgescheiden van de rest van de celkern.

De **ribosomen** zijn structuren die een belangrijke rol vervullen in de eiwitsynthese. Ze zijn samengesteld uit ribosomaal RNA (rRNA) en eiwitten. Ribosomen komen vrij voor in het cytoplasma of zitten op de membranen van het ruw endoplasmatisch reticulum (RER). Mitochondriën en plastiden bevatten hun eigen ribosomen. Ribosomen zijn niet omgeven door een membraan. In ribosomen worden aminozuren in een keten aan elkaar verbonden in een volgorde die wordt bepaald door het messenger-RNA (mRNA), een proces dat translatie genoemd wordt. Ribosomen bestaan uit twee delen: een klein ribosoomdeel dat het mRNA afleest, en een groot ribosoomdeel, waarin de aminozuurketen wordt gevormd. Het kleine ribosoomdeel bevat bij prokaryoten een 16S rRNA-keten, bij eukaryoten een 18S rRNA-keten.

De **mitochondriën** zijn celorganellen (0,5–10 µm) in het cytoplasma, die afgeleide zijn met een dubbele eenheidsmembraan. De buitenste membraan is effen, terwijl de binnenste membraan talrijke instulpingen vertoont, **cristae** genoemd. Tussen de twee membranen bevindt zich de intermembranaire ruimte. De **matrix** is de ruimte omsloten door de binnenste membraan en bezit eigen ribosomen, enzymen en erfelijk materiaal in de vorm van een kleine, cirkelvormige DNA-molecule. De voornaamste functie van de mitochondriën is energievoorziening: hier gebeurt de oxidatieve fosforylering van adenosinedifosfaat (ADP) tot adenosinetrifosfaat (ATP) als onderdeel van de cellulaire ademhaling. Cellen die veel energie nodig hebben, zoals spier- en kliercellen, bevatten veel mitochondriën, soms tot 1000 per cel.

De **plastiden**, die in planten- maar niet in dierlijke cellen voorkomen, zijn samen met de celkern en de mitochondriën de enige organellen die door een dubbele eenheidsmembraan zijn afgeleide. De bekendste plastiden zijn de **chloroplasten**. Zij zijn afgeleide met twee eenheidsmembranen, gescheiden door een dunne intermembranaire ruimte. De binnenste membraan omgeeft het **stroma** dat DNA, ribosomen, enzymen en **thylakoïden** bevat. Thylakoïden zijn ruimten gevormd door membranen die afgesnoerd zijn van de binnenste membraan. Op sommige plaatsen zijn thylakoïden gestapeld tot **grana** en dan worden ze granathylakoïden genoemd; de grana zijn onderling verbonden door stromathylakoïden. De chlorofylmoleculen bevinden zich in de thylakoïdmembranen en zorgen voor de absorptie van lichtenergie bij de fotosynthese.

Enkel in eukaryote cellen is een complex netwerk van intracellulaire membranen aanwezig. Dat netwerk bestaat uit verschillende intracellulaire compartimenten gevormd door een enkele eenheidsmembraan. Die compartimenten communiceren met elkaar en het extracellulaire milieu via uitwisseling van **vesikels** (blaasjes). Tot het netwerk behoren:

- Het **ruw endoplasmatisch reticulum (RER 'Rough Endoplasmatic Reticulum')**. Het RER is een netwerk van afgeplatte buisjes en zakjes, **cisternen**, van eenheidsmembranen die aan de cytoplasmatische zijde bezet zijn met ribosomen en daardoor op een elektronenmicroscopisch beeld een korrelig (ruw) uitzicht hebben. Het RER loopt over in de buitenste kernmembraan. De voornaamste functie van het RER is de synthese van membraanproteïnen en van eiwitten bestemd voor secretie.
- Het **glad endoplasmatisch reticulum (SER 'Smooth Endoplasmatic Reticulum')**, is niet bezet met ribosomen, maar loopt wel over in het RER. Het SER komt onder meer tussen in de synthese en het metabolisme van lipiden (vetten) en de detoxificatie van geneesmiddelen.
- Het **Golgi-apparaat** bevindt zich dicht bij de kern en bestaat uit verschillende stapeltjes van afgeplatte membraanzakjes, de **cisternen**. Een stapeltje cisternen noemt men een dictyosoom. Het Golgi-apparaat heeft vele functies: transport van stoffen van binnen de cel naar buiten, wijziging van suikerketens op eiwitten, synthese van lipiden, sortering van eiwitten. Het Golgi-apparaat werkt als een 'verdeelcentrum' voor proteïnen. Aan de ene kant van het Golgi-apparaat komen vesikels toe met proteïnen die in het RER gemaakt werden. Binnenin het Golgi-apparaat worden de proteïnen biochemisch gewijzigd en gesorteerd om naar hun volgende bestemming getransporteerd te worden. Proteïnen die bestemd zijn voor secretie

worden verpakt in secretievesikels die ofwel meteen met de celmembraan versmelten en hun inhoud vrijgeven buiten de cel (exocytose), ofwel opgeslagen worden in het cytoplasma voor latere secretie.

- De **lysosomen** zijn afgelijnd met een eenheidsmembraan en bevatten een reeks hydrolytische enzymen die instaan voor de afbraak van het celegeen en/of celvreemd materiaal. De afbraakenzymen werken optimaal in een zuur milieu, bij pH 4,5–5.
- De **peroxisomen** zijn zeer kleine, ronde organellen, omgeven door een eenheidsmembraan. Ze bevatten veel enzymen, o.a. voor de afbraak van lange vetzuurketens, het enzym voor de vorming van waterstofperoxide en katalase voor de neutralisatie van waterstofperoxide en oxidatie van andere substanties zoals alcohol. Ze zijn dus belangrijk voor detoxificatie van de cel.

Het **cytoskelet** is een complex en dynamisch netwerk van eiwitbuisjes en -filamenten die de cel vorm geven en celorganellen verankeren, maar daarnaast ook nog bij een reeks andere functies betrokken zijn, zoals celdeling, celmigratie en intracellulair transport. Structuren zoals cilia (trilharen) en flagella (zweepharen), die instaan voor de beweging van de cel of voor het creëren van stroming in het omringende vocht, worden ook door het cytoskelet gevormd. Het cytoskelet bestaat uit proteïnen die georganiseerd zijn in microfilamenten, intermediaire filamenten en microtubuli. Microfilamenten bestaan gewoonlijk uit actine. Microtubuli zijn holle buisjes gevormd door tubuline.

In de cellen van dieren komt een **centrosoom** voor, dat bestaat uit twee **centriolen** die loodrecht op elkaar staan en omgeven zijn door een amorfe massa van proteïnen. Elk centriool is een buis waarvan de wand is opgebouwd door 9 tripletten van microtubuli. Het centrosoom is de verankerplaats voor de microtubuli van het cytoskelet. Daarnaast speelt het ook een belangrijke rol in de celdeling, waarbij het een spoelfiguur vormt.

Naast plastiden vinden we bij plantencellen nog twee bijkomende structuren die ontbreken in dierlijke cellen: de celwand en een grote, centrale vacuole. Plantencellen zijn omgeven door een **celwand** die bestaat uit de polysachariden cellulose, hemicellulose en pectine. Andere polymeren, zoals houtstof (lignine), kurkstof (suberine) en cutine, kunnen ook in (secundaire) celwanden ingebouwd worden. De celwanden verlenen de cellen en de plant een zekere stevigheid. De celwanden hechten de verschillende cellen aan elkaar vast en geven ze vorm. Ze zijn verder ook betrokken bij het behoud van water, intercellulaire communicatie en interactie met microben.

In plantencellen treffen we een centrale **vacuole** aan. De vacuole is in essentie een grote, met een waterige oplossing gevulde zak, gevormd door een eenheidsmembraan die de **tonoplast** genoemd wordt. De tonoplast regelt welke stoffen in en uit de vacuole kunnen. In de waterige inhoud van de vacuole zijn tal van anorganische en organische stoffen (incl. enzymen, pigmenten en suikers) opgelost. De vacuole staat in voor de opslag van afval- en andere stoffen, bv. stoffen die schadelijk zijn voor de cel. Een andere belangrijke rol van de vacuole is het bewerkstelligen van de **turgordruk**, de hydrostatische druk van de celinhoud tegen de celwand. Die turgordruk draagt bij aan de stevigheid van de plant.

Biologische membranen, zoals de celmembraan en de membranen die celorganellen aflijnen, hebben alle een gelijkaardige structuur. De membranen bestaan uit een dubbellaag van **fosfolipiden**. Elk fosfolipide-molecule bestaat uit een hydrofiel (polair) 'kopje' met twee hydrofobe (apolaire) 'staarten'. De fosfolipiden in een biomembraan schikken zich met de polaire kopjes naar buiten (intra- en extracellulaire zijde) en met de staarten naar het binnenste van de membraan. In de dubbellaag van fosfolipiden drijven eiwitten. Sommige eiwitten steken dwars doorheen de fosfolipidedubbellaag en spelen vaak een rol bij het transport van substanties doorheen de membraan. Andere eiwitten zitten aan één bepaalde zijde van de membraan (intra- of extracellulair) en spelen bv. een rol bij signalisatie. In de celmembraan van dierlijke cellen, tussen de fosfolipiden, komt ook **cholesterol** voor. Cholesterol beïnvloedt de vloeibaarheid van de membraan. Bij dierlijke cellen is de extracellulaire oppervlakte van de celmembraan bedekt met de **glycocalyx**, een laag van suikers die vastgehecht zitten aan glycoproteïnen en glycolipiden in de membraan. De glycocalyx is belangrijk voor celadhesie, cel-cel-herkenning en cellulaire communicatie.