HOOFDSTUK

1 Algemene principes

Ga naar www.pearsonmylab.nl voor studiemateriaal en toetsen om je begrip en kennis van dit hoofdstuk uit te breiden en te oefenen. Ook vind je daar video-uitwerkingen bij verschillende opgaven uit dit hoofdstuk.

Doelstellingen van dit hoofdstuk

- Een inleiding geven in de basisgrootheden en idealiseringen van de mechanica.
- Een uiteenzetting geven van Newtons bewegings- en gravitatiewetten.
- Een overzicht geven van de principes voor de toepassing van het Internationale Eenhedenstelsel.
- Een algemene leidraad presenteren voor het oplossen van vraagstukken.

1.1 Mechanica

Mechanica kan worden gedefinieerd als 'dat onderdeel van de natuurkunde dat zich bezighoudt met de toestand van rust of beweging van lichamen die onderhevig zijn aan de werking van krachten'. Dit onderwerp wordt over het algemeen onderverdeeld in drie delen: *de mechanica van starre lichamen*, *de mechanica van vervormbare lichamen* en *de vloeistofmechanica*. In dit boek bestuderen we de mechanica van starre lichamen omdat dit een basisvereiste is voor de studie van de mechanica van vervormbare lichamen en de vloeistofmechanica. Verder is de mechanica van starre lichamen essentieel voor het ontwerp en de analyse van veel types constructie-elementen, mechanische componenten en elektrische apparatuur die een rol spelen in de techniek.

De mechanica van starre lichamen is onderverdeeld in twee gebieden: statica en dynamica. Statica heeft betrekking op het evenwicht van lichamen, dat wil zeggen: het evenwicht van lichamen die in rust zijn of met constante snelheid bewegen, terwijl dynamica betrekking heeft op de versnelde beweging van lichamen. We kunnen statica beschouwen als een bijzonder geval van dynamica, waarbij de versnelling nul is; statica verdient echter een afzonderlijke behandeling in het hoger technisch en universitair onderwijs, aangezien veel voorwerpen worden ontworpen met de bedoeling dat ze in evenwicht blijven.

1.1.1 Historische ontwikkeling

Statica werd al zeer vroeg in de geschiedenis ontwikkeld, omdat de principes ervan eenvoudig geformuleerd konden worden op basis van meetkundige berekeningen en krachtberekeningen. In de geschriften van Archimedes (287-212 v.Chr.) wordt bijvoorbeeld al het principe van de hefboom behandeld. In oude geschriften vinden we ook studies van de katrol, het hellend vlak en de moersleutel, in een periode waarin de technische vereisten zich voornamelijk beperkten tot bouwkundige constructies.

Aangezien de principes van de dynamica afhankelijk zijn van een nauwkeurige tijdmeting, is dit deel van de mechanica pas veel later ontwikkeld. Galileo Galileï (1564-1642) was een van de eersten die belangrijke bijdragen heeft geleverd op dit gebied. Zijn werk bestond uit experimenten met slingers en vallende lichamen. De belangrijkste bijdragen aan de dynamica werden echter geleverd door Isaac Newton (1642-1727), die beroemd is geworden omdat hij de drie fundamentele bewegingswetten en de algemene zwaartekrachtwet formuleerde. Korte tijd nadat deze wetten waren gepostuleerd, werden belangrijke technieken voor hun toepassing ontwikkeld door beroemdheden als Euler, D'Alembert, Lagrange en anderen.

1.2 Basisbegrippen

Voordat we beginnen aan de studie van de mechanica, is het belangrijk om de betekenis van bepaalde basisbegrippen en basisprincipes te kennen.

1.2.1 Basisgrootheden

De volgende vier grootheden worden in de mechanica gebruikt.

Lengte *Lengte* wordt gebruikt om de positie van een punt in de ruimte te bepalen en daarmee de grootte van een fysisch systeem te beschrijven. Als men de standaardeenheid van lengte eenmaal heeft bepaald, kan men deze gebruiken voor het definiëren van de afstanden en meetkundige eigenschappen van een lichaam als veelvouden van deze eenheid.

Tijd *Tijd* wordt opgevat als een opeenvolging van gebeurtenissen. De principes van statica zijn onafhankelijk van de tijd. Deze grootheid speelt wel een belangrijke rol in de dynamica.

Massa *Massa* is een maat voor de hoeveelheid materie waarmee we de werking van het ene lichaam kunnen vergelijken met die van een ander lichaam. Deze eigenschap manifesteert zich als gravitationele aantrekking tussen twee lichamen en biedt een maat voor de weerstand van materie tegen een verandering in snelheid.

Kracht *Kracht* wordt over het algemeen beschouwd als de 'afstoting' of 'aantrekking' die een lichaam op een ander lichaam uitoefent. Deze interactie kan zich voordoen als er direct contact is tussen de lichamen, zoals bij een persoon die tegen een muur duwt, maar ook als er afstand tussen zit en twee lichamen fysisch van elkaar gescheiden zijn. Voorbeelden van het laatste type zijn gravitationele, elektrische en magnetische krachten. In elk geval geldt dat een kracht volledig wordt gekenmerkt door zijn grootte, richting en aangrijpingspunt.

1.2.2 Idealiseringen

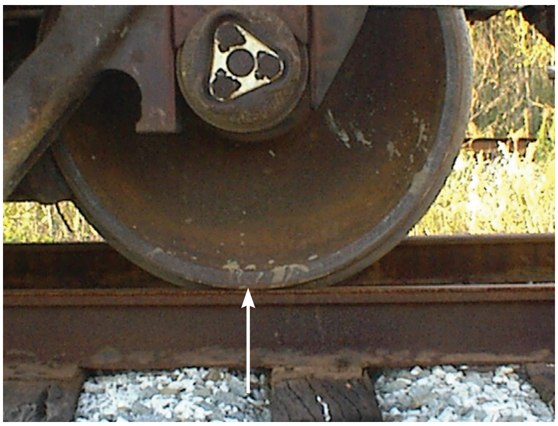
Modellen of idealiseringen worden in de mechanica gebruikt om de toepassing van de theorie te vereenvoudigen. We bespreken hier drie belangrijke idealiseringen.

Puntmassa Een *puntmassa* heeft wel massa, maar een omvang die verwaarloosd kan worden. De omvang van de aarde bijvoorbeeld, is onbetekenend als deze wordt vergeleken met de grootte van haar baan om de zon en daarom kan de aarde als een puntmassa worden beschouwd als haar baan om de zon wordt bestudeerd. Wanneer een lichaam wordt geïdealiseerd en als puntmassa wordt beschreven, worden de principes van de mechanica teruggebracht tot een enigszins vereenvoudigde vorm, omdat de afmetingen van het lichaam dan geen rol spelen bij de analyse van het vraagstuk.

Star lichaam Een *star lichaam* kan worden beschouwd als een grote verzameling puntmassa's, waarbij alle puntmassa's op een vaste afstand van elkaar blijven, zowel vóór als ná belasting van het lichaam. Dit model is belangrijk, omdat de vorm van het voorwerp niet verandert wanneer er een belasting op wordt uitgeoefend. Daardoor hoeven we geen rekening te houden met het materiaal waarvan het voorwerp is gemaakt. In de meeste gevallen zijn de feitelijke vervormingen in constructies, machines, mechanismen en dergelijke, relatief klein en kan er bij de analyse van uit worden gegaan dat het een star lichaam betreft.

Puntkracht Een *puntkracht* staat voor het effect van een belasting waarvan wordt verondersteld dat deze op een punt van een lichaam werkt. We kunnen een belasting voorstellen als een puntkracht als het gebied waarop de belasting wordt uitgeoefend heel klein is in vergelijking tot de totale omvang van het lichaam. Een voorbeeld is het contactoppervlak van een wiel en de grond.

Drie krachten werken op de ring. Omdat deze krachten bij elkaar komen in een punt kunnen we voor elke analyse van krachten, de ring beschouwen als een puntmassa.

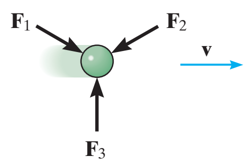


Staal is een veelgebruikt bouwmateriaal dat weinig vervormt onder belasting. We kunnen daarom dit treinwiel beschouwen als een star lichaam waarop de kracht in één punt van de rail werkt.

1.2.3 De drie bewegingswetten van Newton

Technische mechanica is geformuleerd op basis van de drie bewegingswetten van Newton, waarvan de juistheid is gebaseerd op observaties bij experimenten. Deze wetten zijn van toepassing op de beweging van een puntmassa zoals gemeten vanuit een *niet-versneld bewegend* referentiekader. Ze kunnen in het kort als volgt worden omschreven.

Eerste wet Een puntmassa die aanvankelijk in rust is, of in een rechte lijn beweegt met een constante snelheid, blijft in deze toestand als op de puntmassa geen nettokracht uitgeoefend wordt, fig. 1.1a.



Evenwicht

(a)

Fig. 1.1

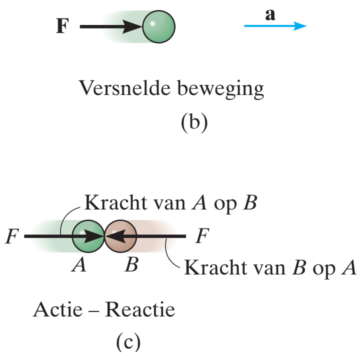


Fig. 1.1 (vervolg)

Tweede wet Een puntmassa waarop een *krachtsresultante** **F** wordt uitgeoefend, ondervindt een versnelling **a** met dezelfde richting als deze kracht en een grootte die direct evenredig is met deze kracht, fig. 1.1*b*.** Als **F** wordt uitgeoefend op een puntmassa met een massa m, dan kan deze wet wiskundig worden weergegeven als:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \tag{1.1}$$

Derde wet De wederzijdse krachten van actie en reactie tussen twee puntmassa's zijn even groot, tegengesteld en collineair (hebben dezelfde werklijn of drager), fig. 1.1*c*.

1.2.4 De gravitatiewet van Newton

Kort nadat hij zijn drie bewegingswetten had geformuleerd, postuleerde Newton een wet voor de gravitationele aantrekking tussen twee willekeurige puntmassa's. Wiskundig uitgedrukt:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \tag{1.2}$$

waarin:
F = aantrekkingskracht tussen de twee puntmassa's
G = gravitatieconstante, bepaald uit experimenten, $G = 66{,}73\ (10^{-12})\ \mathrm{m^3/kg \cdot s^2}$
m_1, m_2 = de massa's van de twee puntmassa's
r = de afstand tussen de twee puntmassa's

1.2.5 Gewicht


Het gewicht van de astronaut is kleiner geworden, omdat ze ver verwijderd is van het zwaartekrachtveld van de aarde.

Volgens vgl. 1.2 oefenen twee puntmassa's of lichamen een wederzijdse aantrekkingskracht (zwaartekracht) op elkaar uit. Maar wanneer een puntmassa zich op of vlakbij het aardoppervlak bevindt, is de aantrekkingskracht van de aarde op de puntmassa de enige kracht met een relevante grootte. Daarom zal deze kracht, die het *gewicht* wordt genoemd, de enige aantrekkingskracht zijn die in dit boek wordt behandeld.

Met behulp van vgl. 1.2 kunnen we een benaderende vergelijking ontwikkelen om het gewicht W te vinden van een puntmassa met massa $m_1 = m$. Als we ervan uitgaan dat de aarde een niet-roterende bol is met een constante dichtheid en met een massa $m_2 = M_a$ en r de afstand is tussen het middelpunt van de aarde en de puntmassa, dan geldt:

$$W = G\frac{mM_a}{r^2}$$

Met $g = GM_a/r^2$ levert dit het volgende op:

$$W = mg \tag{1.3}$$

* Krachten stellen zich samen als vectoren. Indien in een punt meerdere krachten inwerken, dan is het punt aan de resultante van deze krachten onderworpen. (parallellogramregel van Simon Stevin, 1586)

** Met andere woorden: de kracht die op de puntmassa werkt, is evenredig met de snelheid waarmee de impuls van de puntmassa verandert.

Als we dit vergelijken met $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, dan zien we dat de term g wordt gebruikt om de versnelling ten gevolge van de gravitatie aan te duiden. Aangezien deze afhankelijk is van r, volgt hieruit dat het gewicht van een lichaam *geen* absolute grootheid is, omdat de grootte van het gewicht afhankelijk is van de plaats waar de meting wordt uitgevoerd. Voor de meeste technische berekeningen wordt g bepaald op zeeniveau en 45° breedte, wat als de 'standaardlocatie' wordt beschouwd.

1.3 Maateenheden

De vier basisgrootheden – lengte, tijd, massa en kracht – zijn niet allemaal onafhankelijk van elkaar; ze zijn in feite met elkaar *verbonden* door de tweede bewegingswet van Newton, $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Daarom kunnen de *eenheden* die gebruikt worden om deze grootheden te meten niet *allemaal* willekeurig worden gekozen. De formule $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ geldt alleen als drie van de vier eenheden, die *basiseenheden* worden genoemd, *bepaald* zijn en de vierde eenheid vervolgens wordt *afgeleid* uit deze vergelijking.

1.3.1 SI-eenheden

Het Internationale Eenhedenstelsel, afgekort SI, naar het Franse 'Système International d'Unités', is een moderne versie van het metrieke stelsel en is wereldwijd geaccepteerd. Zoals te zien is in tabel 1.1, wordt in het SI-stelsel lengte gedefinieerd in meter (m), tijd in seconde (s) en massa in kilogram (kg). De eenheid van kracht, een newton (N) genaamd, wordt *afgeleid* uit $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. 1 newton is dus gelijk aan de kracht die nodig is om een massa van 1 kilogram een versnelling van 1 m/s^2 ($N = kg \cdot m/s^2$) te geven.

Als het gewicht van een lichaam dat zich op de 'standaardlocatie' bevindt in newton moet worden uitgedrukt, dan moet vgl. 1.3 worden toegepast. Hier geven de metingen $g = 9{,}806\,65$ m/s^2, maar voor berekeningen zal de waarde 9,81 m/s^2 worden gebruikt. We krijgen dan:

$$W = mg \quad (g = 9{,}81 \text{ m/s}^2) \tag{1.4}$$

En hieruit volgt dat een lichaam met een massa van 1 kg een gewicht heeft van 9,81 N, dat een lichaam van 2 kg 19,62 N weegt enz., zie fig. 1.2.

Tabel 1.1 Internationaal eenhedenstelsel (SI)

Lengte	Tijd	Massa	Kracht
meter (m)	seconde (s)	kilogram (kg)	newton* (N) $\left(\frac{kg \cdot m}{s^2}\right)$

* Afgeleide eenheid.

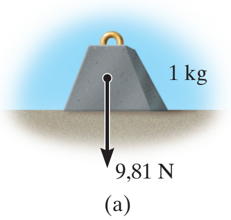


Fig. 1.2

1.4 Gebruik van het Internationale Eenhedenstelsel

In dit boek wordt het Internationale Eenhedenstelsel gebruikt, omdat het de bedoeling is dat dit stelsel de mondiale standaard wordt voor metingen. Daarom volgen hieronder de regels voor het gebruik ervan en een deel van de bijbehorende terminologie die relevant is voor de mechanica.

1.4.1 Voorvoegsels

Wanneer een numerieke hoeveelheid erg groot of erg klein is, kunnen de eenheden die gebruikt worden om haar grootte uit te drukken, worden gewijzigd door een voorvoegsel te gebruiken. Enkele voorvoegsels die in het SI-stelsel worden gebruikt, zijn te zien in tabel 1.2. Elk voorvoegsel is een veelvoud of een factor van een eenheid die, bij herhaalde toepassing, de decimaal van een numerieke hoeveelheid steeds met drie plaatsen opschuift.* Bijvoorbeeld: 4 000 000 N = 4 000 kN (kilonewton) = 4 MN (meganewton), of 0,005 m = 5 mm (millimeter). Merk op dat in het SI-stelsel het veelvoud deca (10) en de factor centi (0,01) die tot het metrieke stelsel behoren, niet zijn opgenomen. Behalve bij enkele inhouds- en oppervlaktemetingen dienen deze voorvoegsels in de wetenschap en de techniek te worden vermeden.

Tabel 1.2 Voorvoegsels

	Exponentionele vorm	Voorvoegsel	SI-symbool
Veelvoud			
1 000 000 000	10^9	giga	G
1 000 000	10^6	mega	M
1 000	10^3	kilo	k
Factor			
0,001	10^{-3}	milli	m
0,000 001	10^{-6}	micro	μ
0,000 000 001	10^{-9}	nano	n

1.4.2 Regels voor het gebruik

Enkele belangrijke regels voor het juiste gebruik van de verschillende SI-symbolen:

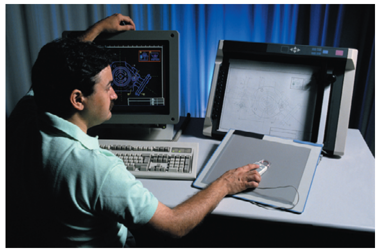
- Grootheden die worden uitgedrukt door meerdere eenheden die veelvouden van elkaar zijn, worden gescheiden door een *punt* om verwarring te voorkomen met de voorvoegselnotatie, zoals bij $N = kg \cdot m/s^2 = kg \cdot m \cdot s^{-2}$. Zo ook m · s (meterseconde), ter onderscheiding van ms (milliseconde).
- De exponent bij een eenheid met een voorvoegsel heeft betrekking op de eenheid *en* zijn voorvoegsel. Bijvoorbeeld: $\mu N^2 = (\mu N)^2 = \mu N \cdot \mu N$. Zo is mm^2 gelijk aan $(mm)^2 = mm \cdot mm$.
- Een symbool wordt *nooit* met een meervouds-s geschreven aangezien die s verward zou kunnen worden met de s van seconde.
- Met uitzondering van de basiseenheid kilogram, dient over het algemeen een voorvoegsel te worden vermeden in de noemer van samengestelde eenheden. Schrijf bijvoorbeeld niet N/mm, maar kN/m; en m/mg als Mm/kg.

* De kilogram is de enige basiseenheid met een voorvoegsel.

- Geef bij berekeningen de getallen weer in termen van hun *basiseenheden of afgeleide eenheden* door alle voorvoegsels om te zetten in machten van 10. Het uiteindelijke resultaat zou dan moeten worden uitgedrukt met een *enkel voorvoegsel.* Ook na de berekening is het het beste om de numerieke waarden tussen de 0,1 en 1000 te houden; anders moet een geschikt voorvoegsel worden gekozen. Bijvoorbeeld:

$$\begin{aligned}(50\ \text{kN})(60\ \text{nm}) &= [50(10^{3})\text{N}][60(10^{-9})\text{m}]\\ &= 3000(10^{-6})\ \text{N}\cdot\text{m} = 3(10^{-3})\ \text{N}\cdot\text{m} = 3\ \text{mN}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

1.5 Numerieke berekeningen



In de techniek worden vaak computers gebruikt voor geavanceerde ontwerpen en analyses.

In de praktijk worden numerieke berekeningen vaak op een zakrekenmachine of een computer uitgevoerd. Het is echter belangrijk om de antwoorden van een vraagstuk met een rechtvaardigbare nauwkeurigheid te noteren, met het juiste aantal significante cijfers. In deze paragraaf zullen we deze onderwerpen bespreken, evenals andere belangrijke aspecten die een rol spelen bij technische berekeningen.

1.5.1 Dimensionele homogeniteit

De termen van alle vergelijkingen die gebruikt worden om een natuurkundig proces te beschrijven, moeten *dimensioneel homogeen* zijn; dat wil zeggen dat elke term in dezelfde eenheden moet worden uitgedrukt. Als dit het geval is, kunnen alle termen van een vergelijking worden gecombineerd als de variabelen worden vervangen door numerieke waarden. Neem bijvoorbeeld de vergelijking $s = vt + ½at^2$, waarbij, in SI-eenheden, s de positie in meter (m), t de tijd in seconde (s), v de snelheid in m/s en a de versnelling in m/s^2 is. De vergelijking behoudt zijn dimensionele homogeniteit, ongeacht de wijze waarop deze wordt uitgewerkt. In bovenstaande vorm worden alle drie de termen uitgedrukt in meter [m,$(\text{m}/\cancel{\text{s}})\,\cancel{\text{s}}$, $(\text{m}/\cancel{\text{s}^2})\,\cancel{\text{s}^2}$,], of als a moet worden berekend uit $a = 2s/t^2 - 2v/t$, worden alle termen uitgedrukt in m/s^2 [m/s^2, m/s^2, (m/s)/s].

Onthoud dat bij mechanicavraagstukken altijd vergelijkingen met gelijke dimensies moeten worden opgelost; dit kan worden gebruikt als een gedeeltelijke controle voor algebraïsche bewerkingen op een vergelijking.

1.5.2 Significante cijfers

Het aantal significante cijfers in een getal bepaalt de nauwkeurigheid van het getal. Zo bevat bijvoorbeeld het getal 4981 vier significante cijfers. Als er echter achteraan een geheel getal nullen staan, kan het onduidelijk zijn hoeveel significante cijfers het getal bevat. Zo kan bijvoorbeeld 23.400 drie (234), vier (2340) of vijf (23.400) significante cijfers hebben. Om deze verschillen in uitleg te vermijden, gebruiken we voor het vermelden van de resultaten de *wetenschappelijke notatie*. Hierbij worden getallen afgerond tot op het juiste aantal significante cijfers en vervolgens uitgedrukt in meervouden van (10^3), zoals (10^3), (10^6) of (10^{-9}). Een voorbeeld: als 23.400 vijf significante cijfers heeft, wordt het geschreven als $23{,}400(10^3)$, maar als het slechts drie significante cijfers heeft, wordt het geschreven als $23{,}4(10^3)$.

Als er in een getal kleiner dan één vooraan nullen voorkomen, dan zijn deze niet significant. Zo heeft bijvoorbeeld 0,00821 drie significante cijfers. In de wetenschappelijke notatie wordt dit getal uitgedrukt als $8{,}21(10^{-3})$. Evenzo kan 0,000582 worden uitgedrukt als $0{,}582(10^{-3})$ of $582(10^{-6})$.

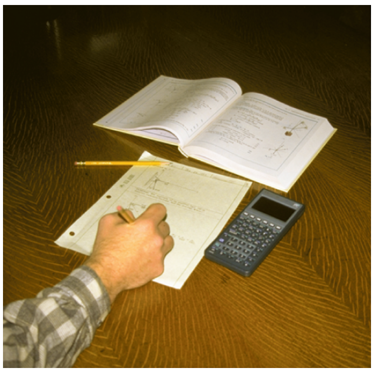
1.5.3 Getallen afronden

Het afronden van getallen is nodig om ervoor te zorgen dat de nauwkeurigheid van het resultaat overeenkomt met die van de gegevens van het vraagstuk. De algemene regel is dat een willekeurig getal dat eindigt op een cijfer hoger dan vijf naar boven wordt afgerond en een cijfer lager dan vijf niet. De regels voor het afronden zijn het gemakkelijkst uit te leggen aan de hand van voorbeelden. Stel dat het getal 3,5587 moet worden afgerond op *drie* significante cijfers. Omdat het vierde cijfer (8) *groter is dan* 5, wordt het derde cijfer afgerond naar 6 en het getal zelf naar 3,56. Getallen die eindigen op het cijfer 5 vormen een speciaal geval. Als regel wordt wanneer het cijfer voor de 5 *even* is, dit cijfer *niet* naar boven afgerond. Als het cijfer voor de 5 *oneven* is, wordt het wel naar boven afgerond. Zo wordt 75,25 afgerond op drie significante cijfers gelijk aan 75,2, 0,1275 gelijk aan 0,128 en 0,2555 gelijk aan 0,256.

1.5.4 Berekeningen

Wanneer een aantal berekeningen achter elkaar worden uitgevoerd, is het aan te raden de tussenresultaten op te slaan in een rekenmachine. Met andere woorden: rond de berekeningen niet af voordat je het eindresultaat gaat weergeven. Op die manier behoud je tijdens de reeks tussenstappen de nauwkeurigheid tot aan de eindoplossing. In dit boek zullen we als regel de antwoorden afronden tot op drie significante cijfers, omdat het merendeel van de gegevens in de technische mechanica, zoals maten en belastingen, op een betrouwbare manier met deze nauwkeurigheid kunnen worden gemeten.

1.6 Algemene analyseprocedure



Probeer bij het oplossen van vraagstukken zo netjes mogelijk te werken. Ordelijk werken stimuleert ordelijk denken en vice versa.

Lessen volgen, dit boek en de voorbeeldvraagstukken bestuderen helpt, maar de meest effectieve manier om de principes van de mechanica onder de knie te krijgen is *het oplossen van vraagstukken*. Om dit met succes te kunnen doen, is het van belang dat het werk altijd op een logische en ordelijke manier wordt gepresenteerd, zoals in de volgende reeks stappen wordt aangegeven:

1. Lees het vraagstuk aandachtig door en probeer een verband te vinden tussen de feitelijke fysische situatie en de bestudeerde theorie.
2. Noteer de gegevens van het vraagstuk op een overzichtelijke manier en *teken op een grote schaal* alle noodzakelijke diagrammen.
3. Pas de relevante principes toe, over het algemeen in wiskundige vorm. Zorg er bij het opstellen van al je vergelijkingen voor dat ze dimensioneel kloppen.
4. Los de noodzakelijke vergelijkingen op en geef het antwoord in niet meer dan drie significante cijfers.
5. Bestudeer het antwoord met technisch inzicht en gezond verstand om te bepalen of het aanvaardbaar lijkt of niet.

Om te onthouden!

- Statica is de studie van lichamen die in rust zijn of met een constante snelheid bewegen.
- Een puntmassa heeft een massa, maar een omvang die verwaarloosd mag worden.
- Een star lichaam vervormt niet bij belasting.
- Puntkrachten worden verondersteld op een punt van een lichaam te werken.
- De drie bewegingswetten van Newton moet je uit je hoofd leren.
- Massa is de maat voor een hoeveelheid materie die onafhankelijk is van de locatie.
- Gewicht heeft betrekking op de gravitationele aantrekking van de aarde op een lichaam of een hoeveelheid massa. De grootte ervan hangt af van de plaats waar het lichaam zich bevindt.
- De eenheid van kracht in het SI-stelsel, de newton, is een afgeleide eenheid. De meter, seconde en kilogram zijn basiseenheden.
- De voorvoegsels G, M, k, m, μ, n worden gebruikt om grote en kleine numerieke hoeveelheden aan te duiden. Hun exponentiële groottes dienen bekend te zijn, evenals de regels voor het gebruik van de SI-eenheden.
- Voer numerieke berekeningen uit met verschillende significante cijfers en rond vervolgens de eindoplossing op drie significante cijfers af.
- Algebraïsche bewerkingen van een vergelijking kunnen gedeeltelijk worden gecontroleerd door te verifiëren dat de vergelijking dimensioneel homogeen blijft.
- Ken de regels voor het afronden van getallen.

Voorbeeld 1.1

Reken 2 km/h om naar m/s.

OPLOSSING

Omdat 1 km = 1000 m en 1 h = 3600 s, kunnen de conversiefactoren op de volgende manier worden gerangschikt, zodat de eenheden tegen elkaar wegvallen:

$$2 \text{ km/h} = \frac{2 \cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}}\left(\frac{1000 \text{ m}}{\cancel{\text{km}}}\right)\left(\frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}}\right)$$

$$= \frac{2000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 0{,}556 \text{ m/s} \qquad \textit{Antw.}$$

OPMERKING: Denk eraan om het eindantwoord tot op drie significante cijfers af te ronden.

Voorbeeld 1.2

Druk (a), (b) en (c) uit in SI-eenheden met het juiste voorvoegsel: (a) (50 mN)(6 GN), (b) (400 mm)$(0{,}6\text{ MN})^2$, (c) 45 MN^3/900 Gg.

OPLOSSING

Herleid eerst elk getal tot basiseenheden, voer de aangegeven bewerkingen uit, en kies vervolgens het juiste voorvoegsel.

Deel (a)

$$
\begin{aligned}
(50\text{ mN})(6\text{ GN}) &= [50(10^{-3})\text{ N}][6(10^{9})\text{ N}] \\
&= 300(10^{6})\text{ N}^2 \\
&= 300(10^{6})\ \cancel{\text{N}^2}\left(\frac{1\text{ kN}}{10^3\ \cancel{\text{N}}}\right)\left(\frac{1\text{ kN}}{10^3\ \cancel{\text{N}}}\right) \\
&= 300\text{ kN}^2 \qquad \textit{Antw.}
\end{aligned}
$$

OPMERKING: Let goed op de conventie $\text{kN}^2 = (\text{kN})^2 = 10^6\text{ N}^2$.

Deel (b)

$$
\begin{aligned}
(400\text{ mm})(0{,}6\text{ MN})^2 &= [400(10^{-3})\text{ m}][0{,}6(10^{6})\text{ N}]^2 \\
&= [400(10^{-3})\text{ m}][0{,}36(10^{12})\text{ N}^2] \\
&= 144(10^{9})\text{ m}\cdot\text{N}^2 \\
&= 144\text{ Gm}\cdot\text{N}^2 \qquad \textit{Antw.}
\end{aligned}
$$

We kunnen ook schrijven:

$$
\begin{aligned}
144(10^{9})\text{ m}\cdot\text{N}^2 &= 144(10^{9})\text{ m}\cdot\cancel{\text{N}^2}\left(\frac{1\text{ MN}}{10^6\ \cancel{\text{N}}}\right)\left(\frac{1\text{ MN}}{10^6\ \cancel{\text{N}}}\right) \\
&= 0{,}144\text{ m}\cdot\text{MN}^2 \qquad \textit{Antw.}
\end{aligned}
$$

Deel (c)

$$
\begin{aligned}
\frac{45\text{ MN}^3}{900\text{ Gg}} &= \frac{45(10^6\text{ N})^3}{900(10^6)\text{ kg}} \\
&= 50(10^{9})\text{ N}^3/\text{kg} \\
&= 50(10^{9})\ \cancel{\text{N}^3}\left(\frac{1\text{ kN}}{10^3\ \cancel{\text{N}}}\right)^3\frac{1}{\text{kg}} \\
&= 50\text{ kN}^3/\text{kg} \qquad \textit{Antw.}
\end{aligned}
$$