Natuurkunde samenvatting 2.1 t/m 3.5

***Hoofdstuk 2: Beweging***

* **Afstand, tijd- diagram**
1. Horizontale grafiek: voorwerp staat stil
2. Recht stijgende grafiek: constante snelheid voortbewegen. Elke seconde wordt er een even grote afstand afgelegd. Hoe steiler de grafiek, hoe groter de snelheid.
3. Steeds vlakkere grafiek: een vertraging. De snelheid neemt af.
4. Steeds steilere grafiek: een versnelling. De snelheid neem toe.

* **Snelheid, tijd-diagram**
1. Horizonale grafiek: voorwerp gaat vooruit met constante snelheid
2. Horizontale grafiek op de x-as: voorwerp staat stil
3. Horizontale grafiek onder de x-as: voorwerp gaat achteruit met constante snelheid.

* Een rechte stijgende grafiek geeft in deze diagrammen een versnelling of een vertraging weer. In de grafiek hiernaast zien we eerst een vertraging, want de snelheid neemt af. Na 6 seconde staat het voorwerp even helemaal stil (de snelheid is dan nul) en daarna gaat het voorwerp weer versnellen, maar in de tegengestelde richting (onder de tijd-as).

* De gemiddelde snelheid bereken je met:

gemiddelde snelheid = verplaatsing/benodigde tijd

in formulevorm: = = s/t

voor de verplaatsing geldt dan:

v = snelheid

s = verplaatsing

t = de tijd

* Een *eenparige rechtlijnige beweging* = een beweging in een rechte lijn met constante snelheid.

Als x(0)= 0 m is de (plaats,tijd)-grafiek of (x,t)-grafiek een schuin oplopende rechte lijn die in de oorsprong begint. De steilheid van deze lijn geeft de snelheid. Het functievoorschrift ervan is:

> v = de snelheid (m/s)

> x = de plaats (m)

> t = de tijd (s)

* Bij een *eenparige rechtlijnige beweging* is de (snelheid,tijd)-grafiek of (v,t)-grafiek een rechte lijn evenwijdig aan de tijdas. De oppervlakte onder de (v,t)-grafiek is gelijk aan de verplaatsing

s(m) v(m/s)

 oppervlakte = s

 t(s) t(s)

* De versnelling,tijd-diagram
* Versnelling(a): toename van snelheid in een seconde, eenheid: m/s/s = m/s2
* Horizontale lijn boven de x-as: constante versnelling
* Horizontale as onder de x-as: vertraging
* Horizontale as gelijk aan de x-as: constante snelheid.
* Een versnelling,tijd-diagram (ook wel een a,t-diagram genoemd) is een diagram met op de x-as de tijd en op de y-as de versnelling.

* **Oppervlakte onder de grafiek**
* Als je van een v,t-diagram een s,t-diagram wilt maken, dan moet je de **oppervlakte onder de grafiek** bepalen.
* Deze oppervlakte is gelijk aan de afstand die het voorwerp in dat stukje tijd heeft afgelegd. Bestudeer het volgende voorbeeld:

* **Helling van de grafiek**
* Als je terug wil van een s,t-diagram naar een v,t-diagram, dan moet je gebruik maken van de **helling van de grafiek**. De helling bereken we met de volgende formule:
* **Δs / Δt = v**
* Bestudeer het volgende voorbeeld:

Om tussen v,t-diagrammen en a,t-diagrammen te switchen gebruik je dezelfde methoden. Voor de helling gebruiken we dan de volgende formule:

**Δv / Δt = a**

**Raaklijn aan de grafiek**

Een gebogen lijn in een s,t-diagram heeft op elk punt een andere snelheid. De snelheid op een punt is te berekenen door een raaklijn te tekenen op dat punt en van deze lijn de helling te bepalen. Dit doen we door een driehoek te tekenen zoals in het onderstaande voorbeeld en weer de formule **Δs / Δt = v** toe te passen. Let op dat als de raaklijn naar beneden loopt de snelheid negatief wordt.

**Gemiddelde snelheid**

In de volgende afbeeldingen kunnen we zien hoe we de gemiddelde snelheid uitrekenen met behulp van een s,t-diagram. Dit doen we door een rechte lijn te trekken van het begin- naar het startpunt en van deze lijn de helling te bepalen met **Δs / Δt = v**.

We kunnen de gemiddelde snelheid ook uitrekenen met de volgende formule: 𝐯𝐠𝐞𝐦= 𝐯𝐞𝐢𝐧𝐝 + 𝐯𝐛𝐞𝐠𝐢𝐧𝟐

De gemiddelde snelheid is goed te gebruiken in een som als deze:

Een auto rijdt **500 meter** en versnelt gedurende de rit van **10 m/s** naar **90 m/s**. Om de tijd uit te rekenen waarin de auto deze afstand heeft afgelegd kunnen we niet de formule **s / t =v** gebruiken, omdat de snelheid niet constant is. Wat we wel kunnen doen is eerst de gemiddelde snelheid uit rekenen. We vinden **(90 + 10) / 2 = 50 m/s**. Nu we het gemiddelde hebben kunnen we de formule **s / v = t** wel gebruiken. We vinden **500 : 50 = 10 s**.

*

dus bijvoorbeeld:

* De *raaklijnmethode*: de snelheid op een tijdstip kun je bepalen door (op de juiste plaats) een raaklijn te trekken aan de (x,t)-grafiek en van de raaklijn de steilheid te bepalen.
* De *oppervlaktemethode*: de verplaatsing tussen twee tijdstippen kun je bepalen door tussen deze tijdstippen de oppervlakte onder de (v,t)-grafiek te bepalen.
* Een *eenparig versnelde(vertraagde) rechtlijnige beweging* is een beweging langs een rechte lijn met een constante versnelling.
* De versnelling geeft aan met welke bedrag de snelheid iedere seconde toeneemt.

De versnelling is te berekenen met de formule:

> a = de versnelling in m/s²

> = de snelheidsverandering; in m/s

> = de daarvoor benodigde tijd; in s

Voor de versnelling a wordt de eenheid m/s² gebruikt, daarom moet je voor de snelheid v de eenheid m/s en voor de tijd t de eenheid s gebruiken.

* Voor de snelheid bij een eenparige versnelde beweging vanuit stilstand geldt:

**Voor een eenparige versnelde beweging vanuit stilstand en x(0) = 0 m geldt het volgende.**

* De formules die je kunt gebruiken zijn:





> v = de snelheid in m/s

> a = de versnelling in m/s²

> x = de plaats in m

> t = de tijd in s

* De (x,t)-grafiek is een parabolische kromme. De snelheid v op een tijdstip kun je bepalen door (op de juiste plaats) een raaklijn te trekken aan de (x,t)-grafiek en de raaklijn de steilheid te bepalen.
* De (v,t)-grafiek is een schuin oplopende rechte die in de oorsprong begint. De oppervlakte onder de (v,t)-grafiek is gelijk aan de verplaatsing .

* De steilheid van de (v,t)-grafiek is gelijk aan de versnelling a.

**Gemiddelde snelheid bij eenparig versnelde en vertraagde bewegingen.**

* Bij een eenparige versnelde of vertraagde beweging is de gemiddelde snelheid in een tijdsinterval gelijk aan de snelheid in het midden van het tijdsinterval. De gemiddelde snelheid kun je daarom berekenen met:

> V begin = de snelheid aan het begin van het tijdsinterval

> V eind = de snelheid aan het eind van het tijdsinterval

Let op!! Het op deze manier bepalen van de gemiddelde snelheid mag alleen bij een eenparig versnelde of eenparig vertraagde beweging.

* Voor de verplaatsing in het tijdsinterval waarover de gemiddelde snelheid is bepaald geldt:

**Vrijeval**

* De vrije val is een valbeweging waarbij de invloed van de luchtweerstand is te verwaarlozen.
* De vrije val verloopt voor alle voorwerpen (ongeacht hun zwaarte, vorm en afmetingen) op dezelfde manier.
* Voor de valbeweging zonder luchtweerstand, de vrije val, geldt:

* Met v(0) = 0 m/s en met y(t) gerekend vanaf het startpunt geldt dan:

 &

> g = de valversnelling, in Nederland geldt: g = 9,81 m/s²

**Eenparige cirkelbeweging**

Bij een eenparige cirkelbeweging zijn de volgende begrippen van belang:

* Omlooptijd (symbool: T) = de tijdsduur waarin de gehele cirkelbaan één keer wordt doorlopen.
* Toerental = het aantal omlopen per tijdseenheid.
* (Baan)snelheid (symbool: v) = de afgelegde cirkelweg gedeeld door de benodigde tijd.

De baansnelheid is alleen constant wat grootte betreft, maar niet wat betreft de richting.

De Belangrijkste formule voor de eenparige cirkelbeweging is:

***Hoofdstuk 3: Krachten***

* De pijl begint altijd in het punt waar de kracht wordt uitgeoefend: en dat noemen we de aangrijpingspunt.
* De pijl is getekend in de richting van de kracht
* De pijl heeft een lengte die evenredig is met de grootte van de kracht.
* Krachtenschaal = waarbij je bijvoorbeeld 1 cm op de tekening overeenkomt met 10 N

We noteren dit dan als 1 cm 10 N

* De (denkbeeldige) lijn waarlangs de kracht werkt noemen we de werklijn van de kracht.
* **Spierkracht:** dit is de kracht die je met je spieren uit kunt oefenen op een voorwerp.
* **Magnetische kracht**: een magnetische kracht is de kracht tussen twee magneten. Een magneet bestaat altijd uit twee polen, met aan de ene kant van de magneet een noordpool en aan de andere kant een zuidpool. De magnetische kracht kan aantrekkelijk zijn of afstotend.
* **Elektrische kracht**: voor de kracht tussen twee elektrische ladingen geldt hetzelfde als voor magnetische krachten. De elektrische kracht werkt op afstand en neemt af bij grotere afstand tussen de twee ladingen. Ook ladingen kunnen elkaar aantrekken en afstoten.
* **Spankracht**: de spankracht is een soort veerkracht in een touw of koord. Als je via een touw een trekkracht uitoefent op een voorwerp, dan is de spankracht in het touw gelijk aan de trekkracht.
* **Zwaartekracht**: ieder deeltje bijvoorbeeld een baksteen of een blok hout, of van welk voorwerp in de buurt van de aarde dan ook, wordt door de aarde aangetrokken.

In Nederland geldt tot op ongeveer 1,6 km hoogte:

> = zwaartekracht in Newton (N)

> m = de massa m in kg

* **Veerkracht**: Als je aan een veer een voorwerp hangt, dan wordt de veer uitgerekt en ontstaat er in de veer een zogenaamde veerkracht. Voor die veerkracht F veer geldt:

> = veerkracht in Newton (N)

> C = de zogenaamde veerconstante, uitgedrukt in N/m

> u = de uitrekking van de veer in meter

De veerconstante geeft aan hoe sterk de veer is.

**Rekenen met krachten**

* Krachten in dezelfde richting mag je bij elkaar optellen:

* Tegengesteld gerichte krachten kun je van elkaar aftrekken:

* De somkracht van twee (of meer) willekeurig gerichte krachten is te vinden met de *parallellogrammethode* of met de *kop-staartmethode*. Door meting kan de grootte van de resulterende kracht worden bepaald.
* Als twee krachten loodrecht op elkaar staan dan kun je de resultante met behulp van de stelling van Pythagoras berekenen:

* Door een kracht te ontbinden langs twee assen, ontstaan de componenten van die kracht langs de assen.
* Kies bij het ontbinden van krachten, indien mogelijk, assen die loodrecht op elkaar staan.
* Als een kracht wordt ontbonden langs twee ondeling loodrechte assen dan geldt voor de componenten:





>

sos =>



cas =>



toa =>

**De eerste wet van Newton: Krachten in evenwicht**

* Als bij het touwtrekken beide partijen even sterk zijn, heffen de twee trekkrachten elkaar op. Je zegt dan dat de krachten *in evenwicht* zijn. In dit geval is de som van alle krachten gelijk aan nul. Je noteert dit als:

> het symbool ∑ is de hoofdletter S van het Griekse alfabet. Je leest dit teken hier als 'de som van....'

* Vectornotatie = dat de som van de krachten in alle richtingen gelijk aan nul moet zijn.
* De som van de krachten = de resulterende kracht of de resultante:

Dat geeft dus in vectornotatie:

> = een (kracht)vector met lengte 0

Dus als de som van de krachten die op een voorwerp werken nul is, dan is dat voorwerp in rust of het beweegt met constante snelheid (eenparig) voort.

Omgekeerd geldt ook: Als een voorwerp eenparig voortbeweegt of in rut is, dan is de som van de krachten nul.

**De tweede wet van Newton**

* Als er op een voorwerp een resulterende kracht (een netto-kracht) werkt die ongelijk is aan 0, dan ondervindt het voorwerp een versnelling waarvoor geldt: ofwel

> = resulterende kracht in Newton (N)

> m = massa in kg

> a = versnelling in m/s²

De versnelling heeft dus dezelfde richting als de resulterende kracht.

 Kracht

**Vectorpijlen**

Een zevental krachten zijn van groot belang in ons dagelijks leven. Voorbeelden zijn de **spierkracht**, de **motorkracht** en de **zwaartekracht**. De zwaartekracht werkt natuurlijk altijd naar beneden, naar het centrum van de aarde. In afbeeldingen geven we krachten weer met zogenaamde **vectorpijlen**. Hiernaast zien we vectorpijlen die de **spankracht** beschrijven. Dit is de kracht waarmee een touw aan een voorwerp trekt. In de derde afbeelding zien we een voorbeeld van de **veerkracht**. Als we een veer uit elkaar proberen te trekken voelen we dat de veer een tegenkracht uitoefent waarmee hoe terug in zijn originele vorm probeert te komen. Een andere kracht is de **normaalkracht**. Dit is de kracht die er voor zorgt dat je door sommige voorwerpen niet heen zakt. Een persoon zakt bijvoorbeeld niet door de grond. Dit komt omdat de grond een normaalkracht omhoog uitoefent. De normaalkracht werkt altijd **loodrecht op het voorwerp waarop de kracht wordt uitgeoefend**. De **wrijvingskracht** ontstaat als twee voorwerpen langs elkaar schuren. Dit gebeurd bijvoorbeeld als een auto op de weg rijdt. Het is deze kracht die er voor zorgt dat de auto vertraagt als je het gas niet meer intrapt. Omdat deze kracht dus vertraagt is het begrijpelijk dat de kracht tegen **de beweegrichting van de auto in** werkt. Ook de lucht zorgt voor wrijving. Bij een parachute is de luchtwrijving zelfs zo groot dat een persoon heel langzaam naar beneden valt.

**Twee krachten**

Krachten kunnen elkaar versterken en verzwakken. Het netto effect van twee of meerdere krachten noemen we de **resulterende kracht**. In de eerstvolgende afbeelding zien we twee personen die een kracht uitoefenen in dezelfde richting. De resulterende kracht is in dit geval een optelling van deze twee krachten. In de tweede afbeelding zien we twee personen die tegen elkaar in duwen. In dit geval is de resulterende kracht **nul**. Als krachten onder een bepaalde hoek met elkaar staan tekenen we een **parallellogram** om precies te achterhalen hoe groot de resulterende kracht is. Een parallel heeft de vorm van een schuin getrokken rechthoek.

Als twee kracht loodrecht op elkaar staan bestaat het parallellogram uit twee rechthoekige driehoeken. Het voordeel van een rechthoekige driehoek is dat we de **stelling van Pythagoras** erop toe kunnen passen. De stelling luidt **A2 + B2 = C2**, waarbij de A, B en C staan voor de lengtes in de rechter afbeelding. Merk op dat de lengte B gelijk is aan de verticaal getekende kracht. Ook kunnen we bij de rechthoekige driehoek gebruik maken van de **sinus**, **cosinus** en **tangens**. Voor de hoek α in de rechter afbeelding geldt:

**Sin (α) = overstaande zijde / schuine zijde (SOS) Cos(α) = aanliggende zijde / schuine zijde (CAS) Tan(α) = overstaande zijde / aanliggende zijde (TAO)**

**Een steen gooien**

In de rechter afbeelding zien we twee fragmenten van een persoon die een steen gooit. In het eerste fragment werken er twee krachten op de steen: de zwaartekracht en de spierkracht. In het tweede fragment werkt de spierkracht niet meer. Wel werkt de zwaartekracht en de wrijvingskracht van de lucht. Dit betekent dat in het tweede fragment de resulterende kracht naar linksonder wijst, terwijl de steen naar rechts zal gaan. Dit kan omdat de steen een grote snelheid heeft meegekregen van de spierkracht in het eerste fragment. De zwaartekracht zorgt er dan voor dat de steen weer terug op aarde komt.

**De eerste wet van Newton**

Als we een voorwerp met een constante kracht over de grond duwen, dan gaat dit voorwerp met een constante snelheid voortbewegen. Men dacht daarom altijd dat een constante kracht een constante snelheid opleverde. Newton kwam erachter dat dit helemaal niet het geval was. Als we bijvoorbeeld een steentje op een spiegelgladde ijsbaan een kort tikje geven, dan blijft het steentje voor een lange tijd met een (bijna) constante snelheid voortbewegen. In dit geval heeft het steentje dus helemaal geen constante kracht nodig om met een constante snelheid te bewegen. Een klein tikje aan het begin was voldoende en daarna ging het steentje uit zichzelf verder – zonder dat er een kracht nodig is! Newton ontdekte dat er ook geen resulterende kracht was als we een voorwerp over de grond duwen. Zoals in de volgende tekening te zien is, is namelijk de spierkracht tijdens het duwen in dat geval even groot als de wrijvingskracht van de grond. De resulterende kracht is dus ook **nul**.

Newton vond dus dat als er **geen resulterende kracht** op een voorwerp uitgeoefend wordt, dit voorwerp of **stil staat** of **met een constante snelheid voorbeweegt**!

**Kracht is versnellen of vertragen**

Als we het steentje op het ijs niet één tikje hadden gegeven, maar continu bleven aanduwen, dan zou het steentje gaan versnellen. Als een voorwerp een resulterende kracht heeft versnelt het dus. Anders gezegd: **als een voorwerp van snelheid verandert werkt er een resulterende kracht**. Laten we dit principe bekijken aan de hand van een voorbeeld. Een fietsen staat stil en wil een stukje gaan fietsen. Eerst wil hij van de **0 m/s** versnellen tot een snelheid die hij prettig vindt. Tijdens dit versnellen moet de spierkracht van de fietser daarom groter zijn dan de wrijvingskracht. Als de fietser eenmaal op snelheid is krijgt hij het gemakkelijker. De kracht die hij moet leveren hoeft nu slechts even groot te zijn als de wrijvingskracht. Dit zorgt ervoor dat de resulterende kracht nul is en het voorwerp dus met een constante snelheid voortbeweegt. Als hij wil stoppen trapt hij op de rem. De wrijvingskracht wordt hierdoor erg groot. Er is dus weer een resulterende kracht aanwezig en daardoor remt de fiets af.

Hetzelfde merk je in de bus. Als de bus versnelt, dan voel je een resulterende kracht waarmee je in je stoel wordt gedrukt. Als de bus eenmaal op snelheid is wordt de resulterende kracht nul en voelt alles weer normaal.

**Krachten ontbinden**

Soms wil je krachten niet samenvoegen, maar wil je ze juist ontbinden. Denk bijvoorbeeld eens aan een blok dat iemand met een touw vooruit trekt (zie de rechter afbeelding). We nemen voor het gemak even aan dat er geen wrijvingskracht werkt. De spankracht in het touw werkt naar rechtsboven, maar slechts een deel van deze kracht wordt gebruikt om het blok naar rechts te trekken. Zoals in de tweede afbeelding te zien is ontbinden we de spankracht daarom op in een horizontale en een verticale component. De horizontale component is de kracht waarmee het blok naar rechts wordt getrokken. De verticale component gaat verloren aan het optillen van het blok.

**Gebruik maken van een krachtenevenwicht**

Als een blokje stil aan een veer hangt weten we dat de zwaartekracht in evenwicht moet zijn met de veerkracht, zodat de resulterende kracht op het blokje nul is. . De zwaartekracht naar beneden (**Fz = mg**) en de veerkracht omhoog (**Fveer = Cu**) zijn dus gelijk aan elkaar. Er geldt daarom: **mg = Cu**.

In de rechter afbeelding werken drie krachten. Dit zijn de zwaartekracht en twee spankrachten. Omdat het blokje stil hangt weten we dat de resulterende kracht nul moet zijn. We weten daarom dat de zwaartekracht moet worden

tegengewerkt door een even grote naar boven gerichte kracht. Dit is in de tweede afbeelding weergegeven. Deze kracht moet geleverd worden door de twee spankrachten. In de derde afbeelding is de kracht ontbonden in de twee spankrachten met behulp van een parallellogram.

In de eerste van deze drie afbeeldingen is een hoek D weergegeven. In de tweede afbeelding is te zien dat deze hoek even groot is als de hoek tussen de resulterende spankracht en het rechter touw. Met deze hoek kunnen weer krachten berekend worden met behulp van sinus, cosinus en tangens.

**Hellend vlak**

In de rechter afbeelding zien we een blok dat van een hellend vlak schuift. In dit voorbeeld verwaarlozen we de wrijvingskracht. Er zijn twee krachten die op het blok werken. Dit zijn de zwaartekracht (naar beneden) en de normaalkracht (loodrecht op het oppervlak). De zwaartekracht zorgt ervoor dat het blok naar beneden zal versnellen.

Hoewel er dus een resulterende kracht werkt op dit blok, is er toch een krachtenevenwicht te vinden. Het blok blijft namelijk gedurende de hele beweging netjes op het vlak liggen. Anders gezegd: er is geen beweging in de richting loodrecht op het oppervlak. Dit betekent dus dat de normaalkracht in evenwicht moet zijn met een andere kracht. In dit geval is dat een component van de zwaartekracht (zie afbeelding).

Merk in deze tekening ook op dat er weer een hoek α is gegeven. Deze hoek is in dit geval de helling van het vlak en is even groot als de hoek tussen de zwaartekracht en de loodrechte component van de zwaartekracht.

In de derde tekening is ook de tweede component van de zwaartekracht getekend. Deze kracht loopt parallel aan het hellende vlak. Dit is de kracht waarmee het blok naar beneden versnelt. In de laatste tekening is de wrijvingskracht niet verwaarloosd en kan er nog een krachtenevenwicht ontstaan. Als je weet dat het blok met een constante snelheid naar beneden schuift, dan weet je dat de resulterende kracht in die richting nul moet zijn. In dit geval moet de wrijvingskracht daarom even groot zijn als de parallelle component van de zwaartekracht.

Energie

Het voordeel van het rekenen met energie in plaats van kracht is dat energie geen richting heeft en er dus geen pijlen nodig zijn. We maken onderscheid tussen de **kinetische energie** (**Ekin =½mv2**), de **zwaarte-energie** (**Ez = mgh**) en de **wrijvingsenergie**. Om met energie te rekenen maken we gebruik van het behoud van energie. Dit betekent dat de totale hoeveelheid energie altijd constant blijft, maar energie wel van de ene vorm in de andere vorm kan veranderen.

In de rechter afbeelding gooit iemand een steen vanaf een toren. Voor het gemak verwaarlozen we de luchtwrijving. Op het moment dat de persoon de steen weggooit heeft de steen een snelheid (en dus kinetische energie) en een hoogte (en dus zwaarte-energie). Deze twee energieën samen vormen de totale energie van de steen. Net voordat de steen de grond raakt is hij al zijn zwaarte-energie kwijt geraakt en heeft hij alleen nog kinetische energie. De totale energie moet echter volgens het behoud van energie gelijk zijn gebleven. Daarom weten we dat de zwaarte-energie is omgezet in extra kinetische energie. De snelheid van de steen is dus toegenomen. Het behoud van energie werken we voor deze situatie als volgt met formules uit:

**Etotaal,begin = Etotaal,eind Ekin,begin + Ez = Ekin,eind ½ m vbegin2 + m g h = ½ m veind2**

In veel vraagstukken wordt de massa **m** met opzet niet gegeven. Elke term in de laatste vergelijking bevat namelijk een **m** en daarom kunnen we elke term door **m** delen. De vergelijking wordt dan:

**½ vbegin2 + g h = ½ veind2**

Uit deze vergelijking kan je zien dat als je de beginsnelheid en de hoogte weet, je de eindsnelheid van de steen kan uitrekenen!

Als we de wrijving niet hadden verwaarloosd, dan had de steen tijdens het vallen energie verloren aan de omgeving in de vorm van warmte. De totale energie **van de steen** neemt hierdoor af.

In een ander voorbeeld wordt een steen op een heuvel gerold. We willen weten wat de minimale energie is waarmee dit mogelijk is. Wederom verwaarlozen we de wrijving. Aan het begin is er kinetische energie, maar geen zwaarte-energie. Aan het eind is er wel zwaarte-energie, maar juist geen kinetische energie meer. Als we namelijk de minimale energie willen uitrekenen, dan moet de steen net genoeg kinetische energie meekrijgen om de top van de heuvel te bereiken en niet meer. Dankzij het behoud van energie weten we dat de kinetische energie aan het begin gelijk moet zijn aan de zwaarte-energie aan het eind.