**Woordenboek ‘Leren onderzoeken’**

**Tips en aanwijzingen voor het uitvoeren van natuurwetenschappelijk onderzoek en het maken van verslagen**

**Het Assink Lyceum**

**2009-2010**

**Inleiding**

Het ‘Woordenboek *Leren onderzoeken*’is tot stand gekomen in het kader van het project 3×O van het opleidingsinstituut ELAN in samenwerking met de faculteit Technische Natuurwetenschappen (TNW) van de Universiteit Twente en is aangepast voor leerlingen van het Assink Lyceum.

Wat is onderzoeken? Als je iets gaat onderzoeken, dan wil je van datgene iets weten wat je op dat moment nog niet (zeker) weet; je wilt antwoord vinden op bepaalde vragen. Een onderzoek kan twee doelen hebben: **1**) ***nieuwe***feiten en/of principes ***ontdekken***, of **2**) ***bekende***feiten en/of principes ***vaststellen*** of ‘controleren’.

Je hebt zelf al regelmatig onderzoek gedaan in de vorm van ***practica****.* Hierbij is vaak van A tot Z omschreven wat je moest doen – zelfs de vraag waar je een antwoord op moest vinden stond in de omschrijving. Bij het maken van je ***profielwerkstuk*** moet je echter zelf een onderzoek opzetten en invullen. Dat kan op allerlei manieren, maar de ***manier*** ***waarop*** je antwoorden hebt gevonden op bepaalde vragen bepaalt of andere mensen je antwoorden ook willen aannemen: heb je **gestructureerd** en **zorgvuldig** gewerkt, of maak je een potje van? Bij ***natuurwetenschappelijk onderzoek*** zul je, om de kans op acceptatie te vergroten, een aantal basisbegrippen en –afspraken rondom onderzoeken in de gaten moeten houden.

De module ‘Onderzoeksvaardigheden’ laat je kennismaken met een groot aantal van deze begrippen en afspraken. Deze komen in de opdrachten in de les aan bod, en worden in dit ‘woordenboek’ uitgebreider toegelicht. Ook omvat dit woordenboek een aantal nuttige overzichten en schema’s, zoals een opzet voor een verslag. Het is de bedoeling dat je deze begrippen, afspraken en schema’s ook toe gaat passen in verslagen, met name in het profielwerkstuk. Het doel van deze module is dus:

**‘Het stapsgewijs voorbereiden van leerlingen op het zelfstandig opzeten en uivoeren van onderzoek, en het verwerken van daaruit voortkomende resultaten’**

Op de momenten dat je bepaalde zaken even kwijt bent, kun je terugvallen op dit boekje (vanwege de omslag ook wel ‘het groene boekje’ genoemd).

Termen:

[Wat moet er in een verslag? 5](#_Toc261806640)

[Absolute fout 6](#_Toc261806641)

[Afhankelijke variabele 7](#_Toc261806642)

[Afronden 7](#_Toc261806643)

[Analyseren 8](#_Toc261806644)

[Betrouwbaarheid 8](#_Toc261806645)

[Bron 9](#_Toc261806646)

[Bronvermelding 9](#_Toc261806647)

[Conclusie 11](#_Toc261806648)

[Controlevariabele 12](#_Toc261806649)

[Decimaal 12](#_Toc261806650)

[Discussie 13](#_Toc261806651)

[Eenheid 14](#_Toc261806652)

[Gidsexperiment 14](#_Toc261806653)

[Grootheid 15](#_Toc261806654)

[Grafiek 15](#_Toc261806655)

[Hypothese 17](#_Toc261806656)

[IJken en ijkgrafiek 18](#_Toc261806657)

[Inleiding 19](#_Toc261806658)

[Kwalitatief en kwantitatief 19](#_Toc261806659)

[Literatuur en literatuuronderzoek 20](#_Toc261806660)

[Meetfout 20](#_Toc261806661)

[Model en modelleren 21](#_Toc261806662)

[Nauwkeurigheid 22](#_Toc261806663)

[Onafhankelijke variabele 22](#_Toc261806664)

[Onderzoeksvraag 23](#_Toc261806665)

[Onzekerheid 24](#_Toc261806666)

[Precisie 24](#_Toc261806667)

[Procentuele fout 25](#_Toc261806668)

[Regressie 25](#_Toc261806669)

[Rekenen met meetfouten 27](#_Toc261806670)

[Relatieve fout 28](#_Toc261806671)

[Resultaat 28](#_Toc261806672)

[Significantie en significante cijfers 29](#_Toc261806673)

[Spreiding 30](#_Toc261806674)

[Systematische fout 33](#_Toc261806675)

[Theorie 33](#_Toc261806676)

[Titelblad 34](#_Toc261806677)

[Toetsen van een hypothese met behulp van statistiek 34](#_Toc261806678)

[Toevallige fout 36](#_Toc261806679)

[Uitvoering 36](#_Toc261806680)

[Validiteit 37](#_Toc261806681)

[Verband 37](#_Toc261806682)

[Waarneming 38](#_Toc261806683)

[Waarnemingsverslag 38](#_Toc261806684)

[Werkplan 39](#_Toc261806685)

[Wetenschappelijke notatie 40](#_Toc261806686)

[VOLG VAST MOTIEF 40](#_Toc261806687)

# Wat moet er in een verslag?

Een goed verslag bevat de volgende onderdelen (zie de lijst met termen voor verdere uitleg):

* Titelblad
	+ eventueel een korte samenvatting
* Inhoudsopgave
* Inleiding (motivatie en doel)
	+ eventueel apart: literatuur
	+ eventueel apart: theorie
* Onderzoeksvraag en hypothese
* Werkplan (methodes en materialen)
* Uitvoering
* Resultaten
* Conclusie
* Discussie
* Bronvermelding
	+ eventuele bijlagen

**LET OP:** niet elk onderdeel zal/kan bij elke proef even uitgebreid zijn; vraag eventueel je docent om advies.

Een natuurwetenschappelijk onderzoek is opgebouwd rondom onderstaand schema:

**observatie/idee/nieuwsgierigheid/probleem**

***hypothese aanpassen/nieuwe hypothese***

**hypothese verworpen**

**hypothese aangenomen**

**conclusie**

**resultaten**

**hypothese**

**probleemstelling/onderzoeksvraag**

**experiment**

# Absolute fout

**De foutenmarge in de ‘plusminus-notatie’, gegeven in dezelfde eenheid als de meetwaarde**

In elke meting – hoe goed je hem ook uitvoert – zit een meetfout (zie ook: **Meetfout**), of beter: meetonnauwkeurigheid. De ***absolute*** fout (of ‘***marge***’) is een maat voor deze onnauwkeurigheid, en is het verschil tussen een gemeten waarde (een benadering van de werkelijkheid) en de exacte waarde (de juiste waarde). De absolute fout geeft aan binnen welke grenzen de gemeten waarde ligt – met andere woorden: hoeveel de gemeten waarde hoger of lager kan zijn

***AFSPRAKEN:***

* **De absolute fout heeft dezelfde eenheid (**zie ook: **Eenheid) als de gemeten waarde**
* **De absolute fout heeft één significant cijfer (**zie ook: **Significantie**)
* **De absolute fout kan ook negatief zijn**

Voor het toekennen van een waarde aan de absolute fout bestaan geen concrete afspraken. Het advies is: wees ruim en aan de veilige kant met je schattingen, maar blijf wel realistisch. Een voorbeeld van een **niet**-realistische foutenschatting: het aantal Chinezen op de wereld is 1 ± 1 miljard – dit betekent namelijk dat er ook 0 Chinezen zouden kunnen zijn, en je weet dat dat in elk geval niet zo is. Aan de andere kant zul je ook niet voor 1 × 109 ± 1, want dan zou je er maar één Chinees naast mogen zitten…

Een veilige benadering bij metingen is het uitgaan van een fout in het meest rechtse cijfer van je meetwaarde. Dit is immers meestal een afgerond getal - denk aan de vaak verspringende laatste decimaal (zie ook **Decimaal**) op een balans of het afronden (zie ook: **Afronden**) van lengtes op millimeters. Het vaststellen van de absolute fout gaat dan als volgt:

* Zet achter de meetwaarde een (extra) decimaal met als waarde 5: dit is de bovengrens
* Haal het verschil tussen de meetwaarde en de bovengrens van de meetwaarde af: dit is de ondergrens

Een voorbeeld:

* Meetwaarde 171 mm
* Decimaal toevoegen met waarde 5: bovengrens is 171,5 mm
* Verschil tussen meetwaarde en bovengrens is 0,5 mm – dit van meetwaarde afhalen: ondergrens is 170,5 mm
* **Meetwaarde 171 ± 0,5 mm; absolute fout is ±0,5 mm**

Je mag de absolute fout best ‘oprekken’: wanneer het vaststellen van de meetwaarde moeilijkheden oplevert, maak je gemakkelijker meetfouten, en is het dus veiliger om een grotere marge aan te houden. Ook bij ***telwaarden*** (1, 2, 3, enz.) heeft de ‘extra decimaal-methode’ geen zin: bij het tellen van bijvoorbeeld jaarringen in een boomstam, harstlagen of mensen in een zaal bestaan er geen halve jaarringen, hartslagen of personen!

# Afhankelijke variabele

**De variabele waarvan je de waarde bepaalt in je experimenten: de meetresultaten**

Veranderingen in de waarde van de afhankelijke variabele (zie ook **Variabele**) zijn gekoppeld aan (‘**hangen af van**’) veranderingen in de waarde van de onafhankelijke variabele (zie ook **Onafhankelijke variabele**).

In een experiment komt dit op het volgende neer:

* jij zorgt dat een *onafhankelijke* variabele in waarde verandert
* hierdoor verandert ook de *afhankelijke* variabele in waarde
* deze verandering kun je meten/bepalen

De waarden van je afhankelijke variabele vormen dus je ***meetresultaten***.

**LET OP**: een bepaalde variabele kan in het ene experiment de *afhankelijke* variabele zijn, maar in een ander experiment weer de *onafhankelijke* variabele. **Een voorbeeld**: Door het variëren van de temperatuur (*onafhankelijk*) varieert ook de reactiesnelheid(*afhankelijk*) van een reactie; door het variëren van de hoeveelheid binnenvallend zonlicht (*onafhankelijk*) verandert ook de temperatuur (*afhankelijk*) in een kamer.

# Afronden

**Verminderen van het aantal significante cijfers**

Met ‘afronden’ geven we in feite aan dat we een getal niet nauwkeuriger kunnen/mogen opschrijven dan een bepaald aantal (***significante***) cijfers (zie ook **Significante Cijfers**). **Een voorbeeld**: het heeft geen zin om iemands lengte op te schrijven als 1,7844736647 meter, want dit is (tenminste met de meetinstrumenten die we normaal gebruiken) helemaal niet vast te stellen. De meeste meetinstrumenten die wij gebruiken voor het vaststellen van iemands lengte hebben als kleinste verdeling een millimeterverdeling: we ***ronden*** de lengte dus ***af*** op millimeters: 1784 mm, oftewel 1,784 meter.

Bij afronden gelden de volgende regels:

* Bepaal welk cijfer/welke decimaal het meest rechtse cijfer van je meetwaarde moet worden (dit hangt af van het aantal significante cijfers dat je mag gebruiken)
* Bekijk het eerstvolgende cijfer rechts hiervan
* Is dit een 5 of hoger, dan wordt het eindcijfer van je meetwaarde met 1 verhoogd
* Is dit een 4 of lager, dan wordt het eindcijfer van je meetwaarde NIET verhoogd

Een voorbeeld:

* 1,76876 afronden op 4 significante cijfers 🡪 meest rechtse cijfer: 1,76**8**76
* Eerstvolgende cijfer is hoger dan 5: 1,768**7**6 🡪 verhogen met 1
* Afgeronde waarde wordt 1,76**9**

# Analyseren

**Je meetgegevens organiseren, bestuderen en beoordelen**

Als je je experimenten hebt uitgevoerd, heb je een hoeveelheid meetgegevens verzameld. Met deze meetgegevens probeer je antwoord te vinden op dat wat je graag wilde weten toen je aan het onderzoek begon; op de vragen die je je aan het begin van het onderzoek gesteld hebt (zie ook: **Onderzoeksvraag**). Afhankelijk van de opzet van je onderzoek, kan de stapel gegevens groot of klein zijn, maar je zult de gegevens in elk geval moeten ordenen (wat hoort waarbij) en voor jezelf overzichtelijk maken. Het weergeven van waarden in ***grafieken, diagrammen*** of ***tabellen*** kan daarbij heel handig zijn. Vervolgens moet je je meetgegevens bestuderen en beoordelen:

* Wat vertellen de meetresultaten je?
* Zie je patronen of trends (zie ook **Verband**)?
* Kun je met deze gegevens daadwerkelijk je vragen beantwoorden?

Deze verwerking van je gegevens noem je ***analyseren***.

# Betrouwbaarheid

**De mate waarin er verschil zit tussen de waarden van een meerdere keren uitgevoerde meting**

Bij een meting kan er altijd iets misgaan. Soms komt dat door het meetinstrument, maar vaker door degene die meet: een vergeten handeling, een verkeerde handeling, een slordig uitgevoerde meting, enz. Daarom is het ***altijd goed*** – wanneer de middelen en de tijd dat tenminste toelaten – om een meting meer dan één keer uit te voeren. Hoe vaker een meting (bij benadering) dezelfde meetwaarde oplevert, des te ***betrouwbaarder*** zijn de metingen/de gevonden meetwaarden. Liggen de meetwaarden juist helemaal niet bij elkaar in de buurt, dan is de meting onbetrouwbaar, en is er duidelijk ergens iets misgegaan.

***AFSPRAAK***

* **Tenzij onmogelijk, doe je elke meting minstens twee keer (in *duplo*), en het liefst drie keer (in *triplo*) of vaker**

**LET OP:** Een hoge betrouwbaarheid zegt nog niet meteen iets over een hoge ***nauwkeurigheid***(zie ook: **Nauwkeurigheid**): als een meetinstrument een grote afwijking heeft, meet je misschien wel steeds ongeveer dezelfde waarden in een bepaald experiment (en is het dus in principe ***betrouwbaar***), maar deze wijken dan wel af van de exacte waarde en zijn dus ***onnauwkeurig****.*

# Bron

**Informatiedrager (boek, artikel, webpagina, ….)**

In het wetenschappelijk onderzoek verstaan we onder een ‘bron’ een informatiedrager die je gebruikt bij je onderzoek. Je kunt om verschillende redenen bronnen raadplegen:

* Om ideeën op te doen (bijv. eerder gedane onderzoeken)
* Om resultaten te vergelijken
* Om bepaalde gegevens die je nodig hebt bij je onderzoek te verzamelen (denk aan BINAS)
* ….

Wanneer je gegevens uit een bron gebruikt – zeker als je letterlijk zaken overneemt – ***moet*** je dat in je verslag vermelden (zie ook: **Bronvermelding**). Denk daarbij ook aan verwijzingen **in de tekst zelf**, en niet alleen aan een lijstje achter in je verslag!

**LET OP:** let bij het gebruik van bronnen op hun herkomst, zodat je een idee hebt of de informatie die je er in vindt ‘waar’ is. Bij boeken zit dat meestal wel goed, maar veel leerlingen gebruiken bijna alleen nog internet, en daar is ook veel ‘onzin’ te vinden. Gebruikt bij voorkeur webpagina’s die verbonden zijn aan officiële, betrouwbare instanties, zoals scholen, universiteiten, onderzoeksinstituten en de overheid.

# Bronvermelding

**De manier waarop je in je verslag vermeldt waar je bepaalde informatie vandaan hebt**

Voor het vermelden van informatie uit andermans werk bestaan bepaalde regels. Onderstaande is afkomstig van een webpagina van de LWSVO.

 (LWSVO (2005). Richtlijnen Bronvermelding. Geraadpleegd op 21 augustus 2009, <http://www.nvbonline.nl/1791/Richtlijnen_bronvermelding.html>)

*“Je mag teksten en ideeën van anderen niet samenvatten of wijzigen en het vervolgens presenteren als je eigen werk. Dat noemen we* ***plagiaat****. Als je voor een werkstuk literatuur en andere bronnen hebt bestudeerd, kun je daar tóch delen uit overnemen. Door een duidelijke* ***bronvermelding*** *maak je duidelijk welke delen van je werkstuk zijn overgenomen uit het werk van een ander. Met deze bronvermelding kan je docent (of een andere lezer) nagaan:*

*• welke bronnen je hebt gebruikt (betrouwbaarheid)*

*• of je een variatie aan bronnen hebt gebruikt*

*• of de bron correct is gebruikt, en*

*• of belangrijke bronnen ontbreken.*

*Dit overnemen van delen van andermans werk kan op twee manieren:*

*• door te parafraseren (in je eigen woorden weergeven)*

*• door te citeren (een stukje van de tekst letterlijk overnemen). Een citaat plaats je altijd tussen aanhalingstekens.*

*Achterin je werkstuk neem je een lijst op van alle bronnen die je hebt geraadpleegd: de bronnenlijst. De verwijzingen in deze bronnenlijst zet je in alfabetische volgorde van (eerstgenoemde) auteur.*

***VERWIJZEN NAAR INTERNETBRONNEN***

*Achternaam auteur, voorletter(s) (Publicatiejaar of update). Titel van het document of de website. Geraadpleegd op dag maand jaar, adres website.*

*Voorbeelden:*

*Meijden, B. van der (1998). Schiphol als thema voor een geschiedenis-, internet- en/of profielwerkstuk. Geraadpleegd op 7 juli 2005, http://www.histopia.nl/schiphol.htm*

*Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (z.d.). WAO: Informatievoor werknemers over de kabinetsplannen. Geraadpleegd op 3 augustus 2004, http://home.szw.nl/navigatie/rubriek/dsp\_rubriek.cfm?rubriek\_id=991&subrubriek\_id=995&link\_id=30945*

*De geschiedenis van het internet. (z.d.). Geraadpleegd op 7 juli 2005,*

*http://www.be-wired.nl/info/geschiedenis.htm*

***VERWIJZEN NAAR BOEKEN***

*Achternaam auteur, voorletter(s) (Jaar van uitgave). Titel: Eventuele subtitel. Plaats uitgever: uitgever.*

*Voorbeeld:*

*Dijk, P. van, & Jansen, F. (2003). Wereldgids: Reisgids door de literatuur. Amsterdam: Prometheus.*

***VERWIJZEN NAAR KRANTEN- EN TIJDSCHRIFTARTIKELEN***

*Achternaam auteur, voorletter(s) (Publicatiedatum). Titel artikel: Eventuele subtitel. Naam van tijdschrift of krant, evt. nummer, paginanummer(s).*

*Voorbeeld:*

*Ouwerkerk, D. van, & Grinten, J. van der (2004). De kracht van zacht: Wat mannen over vrouwelijke vergaderstijlen kunnen leren. Interne Communicatie, 4, p. 11-13.*

*Voorbeeld:*

*Dongen, M. van (7 juli 2005). Bestuur hoofdstad is niet effectief. Volkskrant, p. 12.*

***OPMERKINGEN***

* *Staat er bij een bron geen publicatiedatum vermeld? Noteer dan z.d. (zonder datum, zie internetbronnen voorbeeld 2 en 3).*
* *Is de auteur van een bron niet bekend? Vermeld dan de verantwoordelijke organisatie, zie internetbronnen voorbeeld 2. Is die ook niet bekend? Zet dan de titel vooraan en het publicatiejaar erachter, gevolgd door de rest van de bronvermelding (zie internetbronnen voorbeeld 3). In de bronnenlijst vermeld je deze bron dan bij de eerste letter van de titel.*
* *Het adres van een website begint met http:// en is geheel onderstreept.*
* *Soms is een publicatie geschreven door meerdere auteurs. Vermeld er hooguit drie. Zijn het er meer, dan vermeld je alleen de eerste drie, met de toevoeging et al of e.a. (= en anderen).*

***VERWIJZINGEN IN DE TEKST VAN JE WERKSTUK***

*Als je in de tekst van je werkstuk een bron letterlijk citeert of in je eigen woorden weergeeft, kun je ook op die plaats de bron vermelden. Die bron staat al uitgebreid beschreven in je bronnenlijst, daarom kun je hier volstaan met een verwijzing tussen haakjes, direct achter het citaat of de parafrase.*

*Die verwijzing ziet er als volgt uit: (auteur, publicatiejaar, paginanummer(s)). Een voorbeeld: Er vielen veel slachtoffers onder de mariniers in Vietnam. Drie procent van de mariniers in Vietnam sneuvelde, en zo’n 17 procent raakte gewond. (Pietersen, 2006, p. 97)”*

Verwijzen IN de tekst is handig, omdat iemand die wil weten waar een bepaald stukje informatie uit je verslag vandaan komt, niet al je bronnen wil doornemen, maar in één keer de goede bron wil raadplegen. Maak daarom in je tekst verwijzingen. Dat kan zoals hierboven genoemd, maar ook via nummering van je bronnen en gebruik van deze nummers als superscript. Een voorbeeld: “In de literatuur staat beschreven dat de reactiesnelheid wordt beïnvloedt door de temperatuur3” – hierbij verwijst de 3 naar bron nr. 3 uit je bronnenlijst. Deze nummering kan ook andere vormen hebben, bijv. [3], [3], (3), etc.

# Conclusie

**Het aannemen dan wel verwerpen van je hypothese op basis van je resultaten**

Bij het doen van onderzoek wil je iets te weten komen, of bevestigd zien: je begint dus altijd vanuit een vraag, een stelling (zie ook: **Onderzoeksvraag** en **Hypothese**). Na het doen van je experiment(en), heb je – als het goed is – een aantal gegevens verzameld waarmee je meer duidelijkheid hebt omtrent die vraag. Je kunt je stelling bewijzen, of juist aantonen dat die niet klopt. Een belangrijk ‘conclusie-woord’ is **DUS**: je gegevens zijn zus en zo, **DUS** je stelling is waar of niet waar.

**LET OP:** Leerlingen zijn vaak geneigd bij een conclusie met een ‘positieve uitslag’ te willen komen: een stelling ***moet*** hoe dan ook waar zijn. Als de meetresultaten het tegendeel bewijzen, worden deze soms zó omgebogen of verandert dat de stelling toch weer waar wordt. Soms ook concluderen ze dat er ‘…iets helemaal fout is gegaan.’ Dat kan, maar het kan ook best zijn dat de oorspronkelijke stelling niet klopt! Wees dus niet bang om dit te concluderen!

**LET OP:** Verlies tijdens het onderzoek niet de oorspronkelijke vraag uit het oog. Zeker wanneer je veel meetresultaten hebt verzameld bestaat het gevaar dat je allerlei zaken gaan concluderen die misschien wel waar zijn, maar *niet* over de vraag gaan. **Een voorbeeld**: Vraag: *Is de groei van pekelkreeftjes afhankelijk van temperatuur?* Een fout antwoord zou kunnen zijn: *Pekelkreeftjes gedijen het beste in water van 32 °C en een zoutconcentratie van 0,02 g·L-1.* Ongetwijfeld goed uitgezocht, maar het beantwoordt niet de vraag! Het antwoord zou moeten zijn: *Ja, de groei van pekelkreeftjes hangt af van de temperatuur (en is optimaal bij 32 °C*). Als je je focust op je *stelling* (hypothese) die al dan niet waar is, is dit gevaar minder aanwezig.

***AFSPRAAK:***

**In de conclusie kom je terug op je oorspronkelijke vraag; door te focussen op je stelling voorkom je afdwalen in de conclusie.**

# Controlevariabele

**Variabele die constant wordt gehouden (moet worden gehouden) tijdens een experiment**

Vaak zijn in een experiment meerdere variabelen onlosmakelijk met elkaar verbonden, en kan het zo zijn dat de variabele die jij wilt meten (zie ook: **Afhankelijke variabele**) van meer dan één variabele afhangt. Hier moet je goed op letten, want het is niet handig om in een onderzoek twee (of meer) invloeden tegelijkertijd te bekijken. **Een voorbeeld**: als je hoofdpijn hebt, kun je naar bed gaan om te rusten, of je neemt een aspirientje. Als je nu een aspirientje neemt én naar bed gaat, kun je niet meer zeggen welke aanpak nu gewerkt heeft als de hoofdpijn over gaat.

Daarnaast leidt het veranderen van variabele A – afhankelijk van hoe je het bekijkt - soms niet alleen tot verandering van variabele B, maar ook van variabele C, D, ….enz. Je moet van tevoren goed voor jezelf vaststellen *welke* variabele jij wilt meten, en welke variabele een ‘controlevariabele’ wordt. **Een voorbeeld**: Als de snelheid van een auto verandert (*onafhankelijk*), dan verandert ook de afgelegde afstand (*afhankelijk*) bij een gegeven tijd (*‘controle’*). Je kunt het echter ook anders bekijken: de benodigde tijd (*afhankelijk*) verandert voor een gegeven afstand (*‘controle’*).

Bovendien moet je oppassen dat zo’n extra variabele je meetwaarden niet gaat beïnvloeden. **Een voorbeeld**: Variatie in zonlicht (*onafhankelijk*) zorgt voor variatie in lengtegroei van een plant (*afhankelijk*), maar ook in temperatuur (*afhankelijk*). Deze temperatuursverandering kan echter *zelf* ook weer van invloed zijn op de lengtegroei van een plant! Het lijkt dan alsof je met twee onafhankelijke variabelen werkt, en dat was nu juist niet de bedoeling.

***AFSPRAAK***

* **Bij ieder experiment kies je één variabele om te variëren en één variabele om te meten. De rest van de variabelen moet je proberen zo constant mogelijk te houden (dit is soms best lastig, maar besteedt hier in je verslagen wel aandacht aan!)**

# Decimaal

**Getal achter de komma**

‘Decimaal’ slaat op ‘tientallig’, en geeft de manier aan waarop vrijwel alle getallen waar wij mee werken op te bouwen zijn, namelijk uit de tien cijfers 0 t/m 9. In het dagelijkse spraakgebruik bedoelen we met een ‘decimaal’ een cijfer achter de komma. Een getalnotatie met een komma noemen we een ***decimaal getal****,* bijvoorbeeld 2,31 of 0,0043. Het eerste voorbeeld heeft twee decimalen (3 en 1), het tweede voorbeeld 4 (0, 0, 4 en 3).

**LET OP**: een nul achter de komma is ***altijd*** een decimaal, maar ***niet altijd*** een significant cijfer (zie ook **Significant cijfer**).

# Discussie

**Het bespreken, beoordelen en tegen de theorie afzetten van je onderzoeksresultaten**

In de discussie bespreek je je eigen meetresultaten. Hierbij kan een bepaalde theorie (uit een boek, van het internet, uit eerdere onderzoeken, etc.) de basis vormen. Het kan ook zijn dat je iets vindt dat juist helemaal niet klopt met die theorie, en dat moet je proberen hiervoor een reden te geven. Vragen hierbij zijn:

* Hoe kijk je tegen je meetwaarden aan? Passen deze bij de theorie?
* Hoe kom je tot je conclusie?
* Waarom volgt juist die conclusie uit de meetresultaten?

Wanneer mogelijk probeer je je resultaten te vergelijken met anderen die hetzelfde (of een vergelijkbaar) onderzoek hebben gedaan. Mogelijke vragen zijn:

* Heb je vergelijkbare resultaten gevonden? Waarom wel/niet?
* Komen die anderen tot dezelfde conclusie? Waarom wel/niet?
* Ben je het met hen eens? Waarom wel/niet?

Ook is het gebruikelijk om aan het eind van een onderzoek de sterke en zwakke punten van je onderzoek aan te geven. Vragen die hier aan de orde komen zijn:

* Heb je antwoord kunnen geven op de onderzoeksvraag (zie ook: **Onderzoeksvraag**)?
* Heb je het onderzoek uit kunnen voeren zoals gepland (zie ook: **Werkplan**)?
* Hoe zit het met de nauwkeurigheid (zie ook: **Nauwkeurigheid**)?
* Hoe zit het met de geschiktheid van de gebruikte methode?
* Welke aannames heb je gemaakt voor het trekken van je conclusie?
* Onder welke voorwaarden of binnen welke grenzen is je conclusie geldig?
* Welke verbeteringen stel je voor?
* Welk vervolgonderzoek stel je voor?

# Eenheid

**Maataanduiding behorende bij een grootheid(zie ook: Grootheid), oftewel een in getalswaarden uit te drukken eigenschap**

Wanneer je een bepaalde eigenschap van een voorwerp, een stof, een persoon, enz. wilt uitdrukken in een getalswaarde, dan moet je ook aangeven om welke eigenschap het gaat. Dit kun je doen door elke eigenschap zijn eigen ***maat*** of ***schaal*** of ***eenheid*** te geven. Zo drukken we lengtes uit in meters (**m**), massa’s in grammen (**g**) en temperaturen in (bijv.) graden Celcius (**°C**). Zoals je in de voorbeelden kunt zien, is een eenheid vrijwel altijd een afkorting.

**LET OP:** Een **km** is geen andere eenheid dan een **cm**! Binnen een bepaalde eenheid zijn verschillende stapgroottes mogelijk: je kent ongetwijfeld het rijtje *kilo – hecto – deca- … - deci – centi – milli*, waarbij de grootte van links naar rechts gaand steeds met een factor 10 afneemt. In BINAS 2 vindt je nog meer van deze vermenigvuldigingsfactoren.

**LET OP:** Voor bepaalde grootheden zijn meerdere eenheden in gebruik – denk aan °C en K voor temperatuur en dm3 en L voor volume. Het zogenaamde ***SI-stelsel*** (BINAS 3 en 4) geeft de internationaal gebruikte eenheden voor verschillende grootheden aan. Het is de bedoeling dat je altijd ***deze*** eenheden gebruikt!

# Gidsexperiment

**Een snel ‘oefenexperiment’ om te checken of een bepaalde methode, aanpak, etc. geschikt is om te gebruiken**

Bij het opstellen van het werkplan (zie ook **Werkplan**) besteed je ruim aandacht aan het opzetten van de verschillende ***experimenten***waarmee je je onderzoeksvraag (zie ook **Onderzoeksvraag**) wilt beantwoorden en je hypothese (zie ook **Hypothese**) wilt toetsen. De opzet voor deze experimenten kun je soms uit de literatuur (zie ook **Literatuur**) of uit je schoolboeken halen, maar misschien kom je ook zelf – in overleg met je begeleider of na overleg met anderen – tot een eigen ontwerp. In theorie is er dan vaak een heleboel mogelijk, maar voordat je veel tijd en aandacht stopt in het verzamelen van meetgegevens, moet je natuurlijk wel een idee hebben of de experimenten zullen gaan werken. Werkt alles zoals het in de literatuur beschreven staat? Werkt een experiment met de materialen die op school voorhanden zijn? Heb je genoeg praktische vaardigheden om het experiment goed uit te voeren? Om hier achter te komen, kun je wat kleine, zogenaamde ***gidsexperimenten***doen: een soort ‘proefexperiment’, waarbij ‘proef’ moet worden opgevat als ‘uitproberen’. Mochten deze experimenten op niets uitdraaien, dan kun je je werkplan en eventueel zelfs je onderzoeksvraag nog aanpassen, in plaats van tijd verknoeien met de ‘echte’ experimenten, die dan uiteindelijk ongeschikt blijken te zijn om je onderzoeksvraag mee te beantwoorden.

# Grootheid

**In een getal uit te drukken (en dus te meten) eigenschap**

Elke eigenschap van een voorwerp, een stof, een persoon, etc. die in een getalswaarde uitgedrukt – en dus gemeten ofwel ***gekwantificeerd*** – kan worden, noemen we een ***grootheid*.** Hierbij moet de meetwaarde zonder beïnvloeding door de menselijke geest – lees: met een instrument – vastgesteld kunnen worden. Een tegenvoorbeeld: je zou de eigenschap ‘vriendelijkheid’ van een bepaalde leraar natuurlijk kunnen proberen uit te drukken in een soort ‘rapportcijfer’ door leerlingen te interviewen, maar omdat dit nooit objectief te meten is, noemen we ‘vriendelijkheid’ is geen grootheid.1

Bekende voorbeelden van grootheden zijn: lengte, massa, volume, tijd, temperatuur. Sommige grootheden zijn samenstellingen van andere grootheden. Een voorbeeld: de grootheid snelheid wordt berekend op basis van de grootheden afstand en tijd.

*1Voor de filosofen onder jullie: in feite is er helemaal niets objectief te meten, want al bij de keuze van je meetinstrument beïnvloed je (weliswaar vaak onbewust) zaken als nauwkeurigheid, betrouwbaarheid, enz.*

# Grafiek

**Grafische weergave (‘tekening’) van meetresultaten**

In plaats van resultaten te beschrijven, is het vaak handig om ze te presenteren in een grafiek. Een grafiek geeft vaak een snelle en overzichtelijke indruk van de verkregen resultaten. Bovendien kan een grafiek gebruikt worden om uitspraken te doen over deze resultaten: is er sprake van een bepaald verband (zie ook **Verband**), of hebben de meetgegevens niets met elkaar te maken? Ook kun je met een grafiek – mits er sprake is van zo’n verband – uitspraken doen over de waarde van de afhankelijke variabele bij een door jou ***niet***gemeten waarde van de onafhankelijke variabele, door te interpoleren (‘aflezen tussen meetpunten in’) en extrapoleren (‘uitbreiden buiten het meetgebied’).

***Hoe maak je een goede grafiek?***

Voor een verslag maak je je grafiek meestal met een programma als ‘Graphical Analysis’ of ‘Excel’; soms ook moet je het met pen en papier doen. Welke manier je ook kiest, er zijn bepaalde zaken waar je in beide gevallen op moet letten. Al worden veel zaken die hieronder staan weergegeven door een computerprogramma al vergemakkelijkt, loop toch het onderstaande lijstje even door.

Voorbereiding

* Verzamel de gegevens, zet ze op volgorde in een tabel.
* Geef in de tabel duidelijk aan welke grootheden en eenheden gebruikt worden.
* Zet de oorzaak (onafhankelijke variabele) in de eerste kolom of in de bovenste rij, daarnaast of daaronder komt het gevolg (de afhankelijke variabele) (zie ook het voorbeeld bij **IJken en ijkgrafiek**).

Uitvoering

* Als je zelf tekent: teken een assenstelsel altijd met behulp van een liniaal.
* *Teken* altijd met potlood en nooit met pen; gebruik voor de bijschriften wel een pen.
* Zet de oorzaak (onafhankelijke variabele) op de horizontale as (X-as) en het gevolg (de afhankelijke variabele) op de verticale as (Y-as).
* Noteer naast de assen de betreffende grootheden en eenheden, bijvoorbeeld “lengte (in m)” of “lengte (m)”.
* Kies voor beide assen, afhankelijk van de gegevens, een geschikte schaalverdeling. Wanneer de as niet in nul begint, geef dit dan duidelijk weer m.b.v. het onderbrekingsteken.
* Teken de gegevens als duidelijke punten in het assenstelsel. Bij **natuurkunde** teken je ook de foutengrens, indien deze voor de meetpunten bekend zijn.
* Teken de grafiek zo nauwkeurig mogelijk; hiervoor gelden de volgende regels:
	+ Als je op grond van een model verwacht dat de punten op een rechte lijn liggen, bereken je met behulp van de grafische rekenmachine wat de formule van de best passende lijn is (zie ook **Lineaire regressie**). Zet deze lijn uit in de grafiek; let er hierbij op dat de **oorspronkelijke meetpunten** herkenbaar blijven (bijv. door ze een klein beetje dikker te maken).
	+ Als je op grond van een model een andere curve verwacht bijvoorbeeld een parabool of een exponentiële curve dan teken je deze curve. Het programma ‘Graphical Analysis’ heeft de mogelijkheid om voor ieder model de best passende curve tekenen; ook met ‘Excel’ is dit tot op zekere hoogte mogelijk.
	+ Als je geen model hebt of verwacht, en geen patroon herkent in de meetpunten, teken dan ook geen lijn in de grafiek en verbind de punten niet met elkaar! Een getekende lijn suggereert namelijk wel een bepaalde trend of verband.
	+ Bij **biologie** gelden (vanuit de examennormen) enigszins andere regels: als de punten 0p een curve (vloeiende lijn) lijken te liggen, teken dan uit de vrije hand een zo mooi mogelijke curve. Als de punten NIET precies op een lijn liggen probeer dan de lijn zo te trekken dat er evenveel punten aan beide zijden van de lijn komen (hoewel dit laatste ook vaak uit lineaire regressie zal volgen).
* Zet een titel boven of onder de grafiek.
* Wanneer er meerdere grafieken in het verslag staan, geef de grafieken dan ook een nummer.
* Verwijs bij een grafiek naar de tabel die de betreffende gegevens bevat.

# Hypothese

**Een stelling die je op waarheid gaat onderzoeken**

Ook al weet je de uitkomst van je onderzoek nog niet zeker: je hebt hier op basis van eerder opgedane ervaringen en kennis of een bepaalde theorie vaak wel een bepaalde voorstelling van. Deze kun je in de vorm van een ***stelling***of ***hypothese*** gieten: een mogelijk antwoord op de vraag die je door je onderzoek beantwoord wil zien. Uit je meetresultaten leidt je vervolgens af of je hypothese klopt (de hypothese wordt *aangenomen*) of juist niet (de hypothese wordt *verworpen*).

**LET OP:** Een hypothese is ***geen wilde gok****,* maar een beredeneerde uitspraak, gebaseerd op dingen die je al weet: op kennis en ervaring, en het liefst op één of meer bestaande theorieën.

***AFSPRAAK***

**Je stelt een hypothese op *voordat* je met een onderzoek begint. Let er hierbij op dat je dit zodanig doet, dat je de hypothese kunt toetsen met één of meerdere experimenten.**

Een handig hulpmiddel is de ***‘Als….dan-formulering’***: als ik de ***onafhankelijke variabele*** met ….. verander, dan verandert mijn ***afhankelijke variabele*** met ….

***AFSPRAAK:***

**Een hypothese bevat bij voorkeur de onafhankelijke en de afhankelijke variabele, en doet een uitspraak over wat er met de tweede gebeurt als je de eerste verandert.**

**LET OP:** Bij sommige categorieën vragen is het lastig, zo niet onmogelijk om een zinnige hypothese op te stellen. Een voorbeeld zijn vragen waarop het antwoord een meetwaarde is (bijvoorbeeld: *hoelang brandt een waxinelichtje van de HEMA?*), want dit kun je moeilijk beredeneren. Omdat gokken niet mocht, heeft het niet zo veel zin hier een hypothese op te stellen.

**LET OP:** Een ***uitgebreid*** onderzoek – zoals je profielwerkstuk – kan best meerdere hypothesen bevatten, die elk afzonderlijk getoetst moeten worden!

Zie ook ‘**VOLG VAST MOTIEF**’ (achterin dit Woordenboek) voor verdere aanwijzingen voor het opstellen van een hypothese.

Kijk voor een wiskundige toetsing van een hypothese onder **Toetsen van een hypothese met behulp van statistiek.**

# IJken en ijkgrafiek

**Het controleren van de nauwkeurigheid van een meetinstrument door vergelijk met zeer exact bekende standaards**

Wanneer je een bepaald meetinstrument gebruikt, ga je er van uit dat het meetinstrument goed werkt en nauwkeurige gegevens oplevert. Maar mag dat? Eigenlijk moet je een apparaat eens in de zoveel tijd ***ijken***.Hierbij neem je een meetobject (bijvoorbeeld een gewicht) waarvan je waarde van een bepaalde eigenschap zeer nauwkeurig weet (bijvoorbeeld 1 kilogram), en kijk je of het meetinstrument (bijvoorbeeld een balans) die waarde ook geeft. Blijkt uit het ijken een ***afwijking****,* dan kun je daarvoor corrigeren bij je verzamelde meetgegevens.

Bij bepaalde metingen is het ook handig om een **ijkgrafiek** te maken. Dit houdt in dat je voor ***bekende*** waarden van een ***onafhankelijke*** variabele (zie ook: **Onafhankelijke variabele**) de waarde van de ***afhankelijke*** variabele bepaalt en deze uitzet in een grafiek. Door vervolgens van iets onbekends de waarde van de *afhankelijke* variabele te bepalen, kun je met behulp van de grafiek terugrekenen wat de waarde van de *onafhankelijke* variabele moet zijn.

**Een voorbeeld:** concentraties van zoutoplossing zijn niet rechtstreeks te meten, maar je kunt het wel indirect bepalen door de stroomgeleidingte meten. Omdat stroomgeleiding niet voor elk zout op dezelfde manier afhangt van de concentratie, moet je hiervoor een ***ijkgrafiek*** maken. Dit werkt als volgt:

* Je maakt een aantal oplossingen met een bekende concentratie – zorg hierbij voor een logische schaalverdeling, dus bijv. 2-4-6-8-10 (lineair) of 10-100-1000 (logaritmisch)
* Je meet de stroomgeleiding van deze oplossingen
* Je zet de waarden uit in een grafiek (zie ook **Grafiek**)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **concentratie**  | **geleiding**  |

|  |
| --- |
|  |

 |  |  |  |  |  |
| **(g/L)** | **(Ω-1)** |  |  |  |  |  |  |
| 2,00 | 0,484 |  |  |  |  |  |  |
| 4,00 | 0,968 |  |  |  |  |  |  |
| 6,00 | 1,452 |  |  |  |  |  |  |
| 8,00 | 1,936 |  |  |  |  |  |  |
| 10,00 | 2,420 |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Als je de ijkgrafiek eenmaal hebt, kun je een willekeurige oplossing – uiteraard van ***hetzelfde zout* –**  meten, en uit de geleiding en de grafiek de concentratie bepalen.

**LET OP:** Deze methode werkt het beste wanneer je van de bekende meetwaarden een grafiek met een rechte lijn kunt maken. Andere vormen bemoeilijken het aflezen, of geven aan dat er geen duidelijk ***verband*** (zie ook: **Verband**) bestaat tussen de onafhankelijke en afhankelijke variabele.

# Inleiding

Zonder hier verder in te gaan op de ***betekenis*** van het woord ‘inleiding’ – dat moge hopelijk duidelijk zijn – hieronder wel een aantal aanwijzingen voor wat er ***wel*** en ***niet*** in een inleiding hoort:

* Een inleiding moet gaan over de ***inhoud*** van het verslag, en ***niet*** over je persoonlijke ervaringen of verwachtingen (zoals “…we vonden het leuk om te doen…” of “…we hopen dat u het met plezier zult lezen…”); als je deze wilt vermelden, doe je dat in een voor- of nawoord.
* Je geeft aan hoe je aan de onderzoeksvraag (zie ook: **Onderzoeksvraag**) bent gekomen; je noemt de reden waarom je het onderzoek doet en wat het nut is van je onderzoek.

**LET OP:** opmerkingen als “…omdat het van mijn leraar moet…” zijn geen geldige redenen!

* Je schetst **kort**hoeje het onderzoek hebt aangepakt. Dit doe je door **samen te vatten**; het is **NIET** de bedoeling datje je hele werkplan en uitvoering (zie ook: **Werkplan** en **Uitvoering**) hier beschrijft!
* In de inleiding kun je ook wat achtergrondinformatie verwerken, bijvoorbeeld iets uit de literatuur, of een stukje theorie uit een lesboek. Bij grotere verslagen en werkstukken (zoals je profielwerkstuk) kan dit beter een apart onderdeel vormen!

# Kwalitatief en kwantitatief

**Een uitspraak/waardeoordeel, in woorden (kwalitatief) of in cijfers (kwantitatief) uitgedrukt**

In je onderzoek probeer je antwoorden te geven op de vragen waarmee je het onderzoek gestart bent: je wilt dus uiteindelijk bepaalde uitspraken doen over iets. Die uitspraken kun je uitdrukken in woorden, maar in natuurwetenschappelijk onderzoek moet je eigenlijk steeds proberen hier een getalswaarde aan te koppelen. Een waardeoordeel (over een bepaalde eigenschap) in woorden noem je ***kwalitatief***; is het uitgedrukt in een getal, dan noem je het ***kwantitatief****.* **Een voorbeeld:** je kunt zeggen: “Voorwerp A is warmer dan voorwerp B” (kwalitatief), maar het is – in termen van natuurwetenschappelijk onderzoek – beter om te zeggen: “Voorwerp A is 10 graden warmer dan voorwerp B” (kwantitatief).

# Literatuur en literatuuronderzoek

**(Het raadplegen van ) informatiebronnen zoals boeken, tijdschriften en het internet**

Je begint bij een onderzoek zelden of nooit vanuit ‘niets’, maar je idee is geïnspireerd op iets wat je hebt gezien, gehoord of gelezen. Je kunt hierbij ***literatuur***als uitgangspunt gebruiken. Daarnaast wordt literatuur ook veel gebruikt om bepaalde zaken op te zoeken, te controleren, te vergelijken. Onder ‘literatuur’ verstaan we binnen natuurwetenschappelijk onderzoek geschreven teksten die ook over onderzoek en/of over de resultaten daaruit gaan. Niet elke geschreven tekst geldt als literatuur: zo zul je een *Donald Duck* niet gauw gebruiken voor je onderzoek, en dit noem je eerder ***lectuur***. Een wetenschappelijk (getint) tijdschrift zoals *Quest* kan echter een prima bron van inspiratie (en informatie) zijn.

De zoektocht naar inspiratie en informatie om een experiment te kunnen ontwerpen en opstarten wordt vaak ***literatuuronderzoek*** genoemd. Bij een wat uitgebreider verslag zoals je profielwerkstuk is het doen van literatuuronderzoek erg nuttig, om antwoordt te vinden op vragen als:

* Wat is er in de literatuur al bekend over mijn onderwerp?
* Welke theorieën kan ik gebruiken bij mijn onderzoek?
* Is er ooit al iets uitgezocht over de onderzoeksvraag waarmee ik aan de slag wil?
* Kan ik die gegevens gebruiken als vergelijkingsmateriaal?

**LET OP:** let bij de zoektocht op de betrouwbaarheid van je bronnen (zie ook: **Bron**)!

# Meetfout

**De afwijking tussen de gevonden meetwaarde en de exacte waarde**

Waar gewerkt wordt, worden fouten gemaakt – en dus geldt ook: waar gemeten wordt, worden fouten gemaakt: je vergeet een onderdeel, je verwisseld twee stappen, etc. Met de term ***meetfout*** worden echter niet alleen *deze* ‘blunders’ bedoeld – hoewel het natuurlijk nog steeds fouten bij het meten zijn (zie ook: **Toevallige fout**).

Ook als je probeert om de onnauwkeurigheid in je metingen zo klein mogelijk te houden door je zo goed mogelijk aan alle meetvoorschriften te houden, zal het je ***nooit***lukken om geen meetfouten te maken. Enerzijds komt dat door de beperkingen van je meetinstrumenten. **Een voorbeeld**: met een meetlint met millimeterverdeling kun je nu eenmaal geen micrometers meten. Een voorwerp van 176479 micrometer kan dan niet anders gemeten worden dan 1765 millimeter – een afwijking van de ‘exacte’ waarde van 21 micrometer. Anderzijds geldt dat sommige variabelen continu – dus ook tijdens je meting – aan verandering onderhevig zijn, en kun je eigenlijk nooit spreken over een ‘exacte’ waarde. **Een voorbeeld** is het meten van het temperatuursverloop bij het verwarmen van water tot het kookpunt: een fractie van een seconde na het moment dat jij een bepaalde waarde hebt afgelezen, is de temperatuur al weer veranderd. Als die verandering heel snel gaat, zit je er bij het aflezen vaak naast.

Met behulp van een ***meetfout***kun je aangeven dat dit soort afwijkingen in je meting zit. Hoewel het woordje ‘fout’ suggereert dat je het niet goed hebt gedaan, is het helemaal niet erg om meetfouten te vermelden. Sterker nog: een ander krijgt zo een beeld van de nauwkeurigheid (zie ook: **Nauwkeurigheid**) waarmee je gemeten hebt! Er geldt namelijk wel: hoe *kleiner* de meetfout, hoe *hoger* de nauwkeurigheid. Meetfouten kun je op meerdere manieren uitdrukken: als ***getal*** (zie ook: **Absolute fout**), als ***verhouding*** (zie ook: **Relatieve fout**) of als ***percentage*** (zie ook: **Procentuele fout**).

# Model en modelleren

**Nabootsing (vereenvoudiging) van de werkelijkheid, gebruikt om mee te rekenen en te voorspellen**

Vaak zijn verschijnselen om ons heen complexer dan ze op het eerste oog lijken, en variabelen zijn op allerlei verschillende manieren van elkaar afhankelijk. Gesteld dat je überhaupt al weet hoe alle variabelen elkaar beïnvloeden, dan nog is het meestal onmogelijk om met veranderingen van alle variabelen tegelijk rekening te houden. Niet voor niets wijs je bij experimenten maar één ***onafhankelijke*** en één ***afhankelijke***variabele aan. De overige variabelen houd je zo veel mogelijk constant, of je doet bepaalde aannames. Je bent dus eigenlijk aan het ***versimpelen***.

In natuurwetenschappelijk onderzoek wordt zo’n versimpelde weergave van de werkelijkheid een ***model*** genoemd. Vaak is een model een (verzameling van) formule(s), waarmee je berekeningen kunt uitvoeren. Bij je onderzoek kun je gebruik maken van bestaande modellen (bijvoorbeeld de vastgestelde relatie tussen tijd, afstand en snelheid), of zelf proberen de verschillende variabelen met elkaar in verband te brengen (***modelleren***, het maken van een model). Een model moet je altijd ***toetsen****,*dat wil zeggen: kijken of het model klopt. Hiervoor voer je gegevens in je model in (meestal: de waarden van je onafhankelijke variabele). Deze worden door de bewerkingen (meestal: berekeningen) die in het model worden beschreven omgezet in voorspelde resultaten, die je kunt vergelijken met de werkelijke meetresultaten (de waarden van je afhankelijke variabele). Komen deze overeen, dan is je model een goede beschrijving van de werkelijkheid, en kun je er ook voorspellingen mee doen, zonder dat je dit hoeft te controleren in een experiment. Een goed voorbeeld is een ijkgrafiek (zie ook: **IJken en ijkgrafiek**).

**LET OP:** omdat een model een ***versimpeling***is van de werkelijkheid, is het alleen geldig binnen bepaalde grenzen en onder bepaalde voorwaarden. Het ***vermelden*** van deze randvoorwaarden bij het beschrijven van een model is heel belangrijk!

# Nauwkeurigheid

**De mate waarin de meetwaarde overeenkomt met de exacte waarde**

Hoe goed je ook probeert te meten, je meetwaarde zal vrijwel altijd een benadering vormen van de exacte waarde. Immers, je meetinstrument geeft maar een beperkt aantal cijfers van dit antwoord, en de rest moet worden afgerond. Een voorbeeld: de exacte lengte van een voorwerp is 176479 micrometer, maar met een meetlint met millimeterverdeling kun je hooguit de waarde 1765 millimeter vinden – gesteld dat je verder geen fouten maakt (zie ook: **Toevallige fout**). Hoe beter een meting de exacte waarde weet te benaderen, des te ***nauwkeuriger*** is de meting.

Als plaatje: stel dat de roos de exacte waarde is, dan zijn de zwarte punten behoorlijk nauwkeurige metingen, en de witte punten minder nauwkeurige metingen.



# Onafhankelijke variabele

**De variabele die tijdens een experiment door de onderzoeker wordt gevarieerd (de onderzoeker kiest de waarde)**

Bij alle verschijnselen om ons heen is er sprake van een samenspel van factoren. Soms spelen maar twee factoren een rol, maar veel vaker zijn er meerdere invloeden aan te wijzen. Door een bepaalde factor in waarde te laten ***variëren*** en goed te observeren wat de gevolgen hiervan zijn*,* kun je de invloed van deze factor onderzoeken. Deze factor maak je daarmee tot ***variabele*** (zie ook: **Variabele**). Omdat de waarde ervan door ***jou*** als onderzoeker wordt ingesteld, hangt deze op dat moment dus niet af van de rest van de factoren: ze is ***onafhankelijk***.

**LET OP**: bij heel veel verschijnselen kun je meerdere factoren als ***onafhankelijke variabele***aanwijzen. Met het kiezen van één van die factoren zijn de andere niet ineens onbelangrijk geworden: je moet deze zo ***constant mogelijk*** zien te houden (zie ook **Controlevariabele**).

# Onderzoeksvraag

**De (hoofd)vraag waar het onderzoek om draait en waar antwoord op gevonden moet worden**

Je doet onderzoek niet zomaar, maar omdat je iets wilt weten dat je op dat moment nog niet wist, of iets wilt controleren dat door jou of anderen wordt beweerd. Je zit dus met een ***vraag***, waar je met behulp van onderzoek een antwoord op wilt krijgen. Een beetje onderzoek gaat al snel niet meer over één vraag, maar is opgebouwd uit ***deelvragen*** – dit is omdat je vraag anders te gecompliceerd wordt, en je er geen toetsbare ***hypothese*** (zie ook: **Hypothese**) meer bij kunt verzinnen.

Bij het opstellen van een ***onderzoeksvraag*** (en een hypothese) moet je allereerst:

* het onderzoeksterrein verkennen
* het onderzoeksterrein afbakenen
* de conceptvraag formuleren (een ‘eerste versie’)
* de conceptvraag toetsen aan een aantal eisen

Hierbij moet je onderzoeksvraag (en dus je hypothese):

* niet te algemeen zijn
* niet te uitgebreid zijn, maar zich beperken tot één probleem of verschijnsel
* geen (of in elk geval niet teveel) details bevatten
* geen dubbelzinnigheden bevatten – je moet het maar op één manier op kunnen vatten
* duidelijk geformuleerd zijn – iedereen moet kunnen zien waar het over gaat

***AFSPRAAK:***

**Beter tien kleinere vragen goed beantwoorden, dan met één grote, gecombineerde vraag aan het werk te gaan en vervolgens het overzicht kwijtraken. Als stelregel geldt dan ook: maak geen gecombineerde vragen!**

**Een voorbeeld:** “Wat zijn de resultaten van de doping EPO en hoe zijn die te verklaren?” Hier moet je op twee vragen antwoord geven, dus zijn ook twee hypothesen nodig!

Je kunt ook kijken naar het ezelsbruggetje ‘**VOLG VAST MOTIEF**’, dat verderop in dit woordenboek wordt uitgelegd.

# Onzekerheid

**De beperktheid en tijdelijkheid van een meting, waardoor meetfouten ontstaan**

Bij natuurwetenschappelijk onderzoek wordt met ***onzekerheid*** bedoeld dat elke ***gemeten*** waarde een afronding is, waar ***dus*** een meetfout in zit. Deze kan groot of klein zijn, maar hij is er altijd! Je weet je antwoord dus nooit helemaal zeker – dat wil zeggen: tot op *tig* cijfers achter de komma. De onzekerheid in meetwaarden komt naar voren in het toevoegen van een ***fout***(zie ook: **Absolute fout**, **Relatieve fout** en **Procentuele fout**). Bovendien zijn sommige metingen ***momentopnames***, die in de tijd veranderen, waardoor het vaak niet makkelijk is om nauwkeurig te meten. Wat is bijvoorbeeld precies je gewicht (beter: je massa)? Je gewicht kan op een dag bijvoorbeeld wel een paar honderd gram tot zelfs een paar kilo veranderen. Nauwkeurigheid en standaardisatie helpen, maar nemen nooit alle onzekerheid weg.

# Precisie

**De mate waarin een meting herhaald kan worden met dezelfde resultaten**

Bij elke meting maak je fouten. Sommige fouten zijn niet te vermijden (zie ook: **Systematische fout**), maar andere fouten zijn toevalligheden, die de ene keer een waarde hoger laten uitvallen, en een andere keer juist lager (zie ook: **Toevallige fout**). Hieronder kun je ook de ‘blunders’ - zoals het een onjuist gebruik van een meetinstrument of een niet goed opgevolgd meetvoorschrift – rekenen. Deze fouten vallen waarschijnlijk niet op als je de meting slechts één keer doet. Als je de meting vaker herhaalt, heb je kans dat ‘uitschieters’ (door blunders) aan het licht komen. Als je het goed doet, hebben je meetwaarden een hoge ***precisie***, dat wil zeggen: de meetwaarden liggen steeds rond een bepaalde waarde. Anders gezegd: elke meetwaarde afzonderlijk wijkt weinig af van het gemiddelde van de waarden. Hoe groter de precisie, des te kleiner de ***toevallige fout***.

**LET OP**: Een hoge precisie is niet hetzelfde als een hoge nauwkeurigheid! Zie het onderstaande plaatje, waarbij de roos de exacte waarde voorstelt. Metingen kunnen wel dicht bij elkaar liggen, maar nog steeds ver van de exacte waarde (bijvoorbeeld omdat je een meetinstrument steeds opnieuw verkeerd gebruikt). Een hoge precisie garandeert dus NIET dat je afwijking klein is. Het is dus misschien beter om te zeggen: hoe groter de precisie, des te ***constanter*** is de toevallige fout.



# Procentuele fout

**(absolute fout/meetwaarde) × 100%**

Soms is het handig de meetfout uit te drukken in procenten. Hiervoor deel je de absolute fout door de meetwaarde, en vermenigvuldig je met 100%. **Een rekenvoorbeeld:**

Meetwaarde: 125,0

Absolute fout: ±0,5

Procentuele fout: (0,5/125,0) × 100% = 0,4%

# Regressie

**(Het proberen vast te stellen van) specifieke samenhang tussen variabelen die te vertalen is in een wiskundige formule**

Bij een experiment probeer je vaak te achterhalen of de onafhankelijke en de afhankelijke variabele (zie ook: **Onafhankelijke variabele** en **Afhankelijke variabele**) op een ***wetmatige*** manier van elkaar afhangen. **Een voorbeeld**: wordt de één twee keer zo groot als de ander twee keer zo groot wordt? Anders gezegd: je probeert de afhankelijkheid van de variabelen in een ***formule*** te beschrijven. Vooral bij natuurkunde kom je zulke relaties of ***verbanden*** (zie ook: **Verband**) veelvuldig tegen. Hoe kun je nu uit je meetresultaten afleiden of er een wiskundige wetmatigheid bestaat? Dit doe je door middel van ***regressie***.

Om het niet te ingewikkeld te maken, zullen we alleen kijken naar ***lineaire regressie***. Je gaat er hierbij van uit dat er een rechtlijnig verband bestaat tussen je variabelen. In wiskundetermen uitgedrukt: Y = aX + b. Dit betekent dat, als je je meetwaarden (de ***afhankelijke variabele***) op de Y-as uitzet tegen de waarden van je ***onafhankelijke variabele*** op de X-as, je een rechte lijn door de punten moet kunnen trekken. Maar mogen meetpunten dan helemaal niet afwijken? En aan welke eisen moet de ‘best passende lijn’ voldoen? Hiervoor geeft de wiskunde de antwoorden.

Bij de zogenaamde ‘kleinste kwadratenmethode’ van Gauss moet de som van de kwadraten van het verschil tussen de Y-waarde van het meetpunt en de Y-waarde van het punt op de ‘best passende rechte lijn’ zo klein mogelijk worden. De rechte lijn, die hoort bij de kleinste som van kwadraten van de verschillen, is de beste schatting voor het verband tussen in dit geval het gewicht en de uitrekking. Deze lijn heet de regressielijn.

Klinkt erg ingewikkeld allemaal… maar gelukkig kunnen computers en grafische rekenmachines deze regressielijn voor je maken. Na invoering van de waarden van de onafhankelijke en afhankelijke variabelen berekenen deze of er een rechte lijn door de punten getrokken kan worden op een wijze dat de afwijking tussen elk meetpunt en het punt op de lijn steeds zo klein mogelijk is, en ***ten minste*** kleiner is dan de meetfout in het meetpunt. Op de computer kun je dit ook oefenen met het programma ***Graphical Analysis***; de procedure voor de rekenmachine staat hieronder beschreven.

Op je grafische rekenmachine voer je de waarden van de onafhankelijke variabele in lijst L2 en de waarden van de afhankelijke variabele in lijst L3. Nu reken je de regressielijn uit met de functie LINREG(aX+b), die je vindt na het indrukken van de toets ‘STAT’ en het kiezen van optie 4 uit het menu ‘CALC’.

Er verschijnt op je scherm: LINREG(ax+b). Je toets vervolgens ‘2nd STAT’ en kiest ‘L2’ , je toets dan ‘,’ en toets tenslotte ‘2nd STAT’ en kiest L3. Er staat nu op je scherm: LINREG(ax+b) L2,L3. Nu toets je ‘ENTER’ en als het goed is komt er op het scherm te staan:

LINREG

Y = aX + b

a = 0.0509003859

b = 0.0022637757

r2= 0.9978414909



Met ‘r’ wordt de ***correlatiecoëfficiënt*** bedoeld. Hoe dichter deze waarde in de buurt van één ligt, des te duidelijker is het ***lineaire*** verband tussen de afhankelijke en onafhankelijke variabele. In termen van de grafiek: de meeste punten liggen helemaal of zeer dicht op de ‘beste rechte lijn’. Ligt deze waarde juist dicht bij nul, dan mag je niet zeggen dat er sprake is van een lineair verband. In termen van de grafiek: de punten liggen totaal niet op één lijn.



# Rekenen met meetfouten

Als in je meetwaarden een meetfout zit, zal die meetfout ook invloed hebben op de berekeningen die je met je meetwaarde uitvoert. Het is daarom wel zo eerlijk om ook de meetfouten te verwerken in je antwoorden. Voor het rekenen met meetfouten gelden de volgende regels.

**Optellen of aftrekken van meetwaarden**

* Neem van elke meetwaarde de ***absolute fout*** (zie ook **Absolute fout**).
* Bereken van elke fout het kwadraat en tel deze bij elkaar op.
* Bereken de wortel van dit getal; dit is de ***absolute fout*** die hoort bij de uitkomst van de berekening.

**Een rekenvoorbeeld:**

Je wilt de fout in de omtrek van een rechthoekige tafel berekenen.

Meetwaarde 1: lengte = 1,05 ± 0,05 m 🡪 absolute fout = 0,05 m

Meetwaarde 2: breedte = 2,07 ± 0,07 m 🡪 absolute fout = 0,07 m

Omtrek = 2 × ( l + b) = **6,24** m

Absolute meetfout in de omtrek = 2 ×  = 0,172 m

De afspraak was: de fout wordt opgegeven met één significant cijfer, dus:

Omtrek = 6,24 ± 0,2 m

**Vermenigvuldigen of delen van meetwaarden**

* Bereken van elke meetwaarde de ***procentuele fout*** (zie ook **Procentuele fout**).
* Bereken van elke fout het kwadraat en tel deze bij elkaar op.
* Bereken de wortel van dit getal; dit is de ***procentuele fout*** die hoort bij de uitkomst van de berekening.

**Een rekenvoorbeeld:**

Je wilt de fout in de oppervlakte van een rechthoekige tafel berekenen

Meetwaarde 1: lengte = 1,05 ± 0,05 m 🡪 procentuele fout = (0,05/1,05) × 100% = 5% (4,76….)

Meetwaarde 2: breedte = 2,07 ± 0,07 m 🡪 procentuele fout = (0,07/2,07) × 100% = 3% (3,38….)

Oppervlakte = l × b = 2,17 m2

Procentuele meetfout in oppervlakte =  = 5,84%.

Dit komt overeen met 0,13 m2, dus de oppervlakte = 2,17 ± 0,1 m2.

**LET OP***:* procentuele fouten niet tussentijds afronden!

**LET OP:** zoals je ziet is de nieuwe procentuele fout groter dan beide oorspronkelijke fouten. Dit is ook wel logisch: als je berekeningen gaat doen met twee waardes waarin allebei een onzekerheid in zit, stapel je ‘fout op fout’. Elke vervolgberekening levert weer een extra verruiming van je marge op.

Als een grootheid alleen ***binnen bepaalde grenzen*** bekend is (zoals bijvoorbeeld het aantal inwoners van China) gelden iets eenvoudiger regels voor het doorrekenen met foutenmarges, waarbij het kwadrateren achterwege wordt gelaten. Bij optellen en aftrekken worden gewoon de absolute fouten opgeteld tot de nieuwe absolute fout. Bij vermenigvuldigen of delen worden de procentuele fouten opgeteld tot een nieuwe procentuele fout.

Stel x1 ligt tussen x1 ± a1 en x2 ± a2 dan hebben x1+x2 en x1-x2 als foutenmarge ±(a1+a2) en x1/x2 als foutenmarge ± ([a1/x1]× 100%+ [a2/x2]× 100%).

**Een rekenvoobeeld voor optellen**: als de marge in het aantal Chinezen ±10 miljoen is en de marge in het aantal Indiërs ±20 miljoen, dan is de marge in de som van het aantal Indiërs en Chinezen ±30 miljoen.

**Een rekenvoorbeeld voor delen:** als in China 1,3 miljard mensen met een marge van 2% wonen en er zijn 15 miljoen auto’s met een marge van 5%, dan is het aantal auto’s per 1000 Chinezen 11,5 met een marge van 2 + 5 = 7%. Berekenen van 7% van 11,5 geeft 0,8, dus het aantal auto’s per 1000 Chinezen 11,5±0,8. Je zou hier nog kunnen beweren dat halve auto’s niet bestaan, dus je zou dit kunnen afronden op 12 ± 1 – al maak je hierbij natuurlijk wel weer een grovere benadering.

# Relatieve fout

**absolute fout/meetwaarde**

Een relatieve fout drukt de absolute fout uit als deel van het geheel. **Een rekenvoorbeeld**: meetwaarde 1,25 ± 0,05; relatieve fout = 0,05/1,25 = 0,04.

# Resultaat

**De uitkomst van/waarneming bij een meting/experiment/observatie**

Bij het uitvoeren van een experiment gaat het erom meetwaarden te verzamelen; bij een enquête wil je antwoorden op vragen hebben; bij een observatie wil je veel waarnemingen kunnen noteren. Met andere woorden: je wilt ***resultaten***zien. Deze resultaten vormen de basis voor je discussie en conclusie, waarin je je hypothese verwerpt of niet.

**LET OP**: een beroemde vergissing van leerlingen (maar ook voor meer ervaren onderzoekers) is het claimen dat ze ‘geen resultaat’ hebben voor een bepaald experiment. Dit geldt echter ***alleen*** als je het experiment nooit daadwerkelijk hebt uitgevoerd! Wat de meeste leerlingen bedoelen is dat ze niet het resultaat hebben gevonden dat ze ***verwacht*** c.q. ***voorspeld*** hadden (en dan soms onterecht denken dat ze iets fout hebben gedaan). Dit is echter vaak net zo goed het vermelden waard, en levert juist hele mooie discussies op: waarom is er niet uitgekomen wat je verwachtte?

# Significantie en significante cijfers

**Cijfers van betekenis**

Als je een getal opschrijft, denk je misschien niet na over hoeveel cijfers je gebruikt, en je interpreteert 0,5 kg en 0,5000 kg als ‘hetzelfde’. Dit mag je bij natuurwetenschappelijk onderzoek echter niet zomaar doen! Met 0,5 kg kan ook 0,4581 kg bedoeld worden: afgerond op één decimaal is dat namelijk ook 0,5 kg! Schrijf je echter 0,5000 kg, dan valt 0,4581 kg af als mogelijke waarde: de werkelijke waarde ***moet*** dan tussen 0,4999 en 0,5001 kg liggen om afgerond op 0,5000 kg uit te komen.

Vóórdat je een cijfer opschrijft, moet je het wel **bepaald** of **gemeten** kunnen hebben. Het opschrijven van een cijfer betekent dat je dat cijfer hebt kunnen aflezen. Het noteren van ***teveel*** cijfers is niet juist, omdat je daarmee een te hoge nauwkeurigheid suggereert. **Een voorbeeld**: met een meetlat met centimeterverdeling kunnen geen millimeters worden opgemeten, dus je kunt dan niet schrijven: “Het gemeten voorwerp **A** heeft een lengte van 0,4000 m”. Immers, de derde decimaal gaat immers over millimeters, en die heb je niet kunnen bepalen – laat staan dat je een vierde decimaal opschrijft! Je kunt hier dus hooguit zeggen: “Voorwerp **A** heeft een lengte van 0,40 m”. Het noteren van ***te weinig*** cijfers is echter ook onjuist, omdat dat juist te veel ruimte laat. **Een voorbeeld**: een lat met “ een lengte van 1 m” mag ook 0,85 of 1,22 meter zijn. Immers, afgerond op 1 decimaal zijn deze lengtes ook 1 m. Wil je een betere benadering van één meter, dan zul je moeten schrijven: “een lengte van 1,00 m”. Op die manier moet de lengte van de lat tussen de 0,99 en 1,01 m liggen.

In het dagelijks gebruik wordt hier niet zo moeilijk over gedaan: een timmerman die leest dat een lat 1 meter moet zijn, zal heus geen stuk van 0,85 m afzagen. Toch is het binnen natuurwetenschappelijk onderzoek wel van belang met deze regels rekening te houden. Een cijfer dat wordt opgeschreven, krijgt daarmee betekenis of ***significantie***. Hieronder staat uitgelegd wanneer cijfers ***significant*** worden genoemd.

***AFSPRAKEN:***

* **Van een gegeven getal zijn alle cijfers die geen nul zijn significant.**
* **Bij de wetenschappelijke notatie zijn alleen de cijfers vóór de ∙10n (of de × 10n) significant.**
* **Bij het omschrijven mag je GEEN significante cijfers weglaten: 4000 wordt dus 4,ooo∙103.**
* **Nullen zijn alleen significant als er ergens in het complete getal een ander cijfer dan nul voorstaat – bekijk de onderstaande voorbeelden:**

**wel significant wel significant**

**0,0012000 = 5 significante cijfers 0,0000907380 = 6 significante cijfers**

 **niet significant (‘voorloper-nullen’) niet significant (‘voorloper-nullen’)**

Bij het rekenen met getallen gelden er ook regels voor het aantal significante cijfers dat een uitkomst mag hebben. Deze staan hieronder met enkele voorbeelden weergegeven:

* **Bij optellen en aftrekken geldt: het kleinste aantal DECIMALEN (dec.) in de beginwaarden bepaalt het aantal decimalen in het antwoord.**
* **Bij vermenigvuldigen en delen geldt: het kleinste aantal SIGNIFICANTE CIJFERS in de beginwaarden bepaalt het aantal significante cijfers in het antwoord.**
* **LET OP: gebruik aanvankelijk ALLE significante cijfers in je berekeningen en rond niet tussentijds af: pas bij een EINDANTWOORD rond je af op het toegestane aantal significante cijfers .**

Enkele voorbeelden:

* + 2,35 (2 dec.) + 4,354 (3 dec.) = 6.704 = 6,70 (2 dec.)
	+ 0,098 (3 dec.) – 0,0102 (4 dec.) =0,0878 = 0,088 (3 dec.)
	+ 4,25 (3 s.c.) × 2,1 (2 s.c.) = 8,925 = 8,9 (2 s.c.)
	+ 6071 (4 s.c.) : 3,0 (2 s.c.) = 2023,3333….. = 2,0∙103 (2 s.c.)

# Spreiding

**Verdeling van meetwaarden (spreiding) en meetfout behorende bij een gemiddelde van een aantal metingen (standaarddeviatie)**

Voor bepaalde gemeten grootheden, zoals de lengte van ‘de Nederlandse man’, de massa van een pak koffie of de brandduur van een lamp, kun je geen exacte waarde (of zelfs maar een benadering daarvan) geven: zoiets bestaat immers niet, omdat er te veel variatie in voor kan komen. We spreken dan van een ***spreiding*** in meetwaarden. Soms wil je echter toch spreken over DE lengte van de Nederlandse man, omdat je bijvoorbeeld wilt onderzoeken of de lengte van mannen in Nederland toeneemt in de tijd. Omdat je weet dat de lengte van mensen verschilt, zul je moeten werken met gemiddelde waardes. De spreiding in de waarde van deze grootheden is vaak – zoals ze dat noemen - **normaal verdeeld**. Als je een flink aantal metingen van eenzelfde eigenschap bij ***verschillende*** meetobjecten (of verschillende, elkaar relatief snel opvolgende metingen van één object dat verder niet aan verandering onderhevig is)uitzet in een (staaf)diagram, zul je meestal zien dat bepaalde waarden vaker voorkomen dan andere. De grafiek heeft vaak een ‘(kerst)klokvorm’ (zie plaatje). We zeggen dan dat de spreidingvan de gemeten eigenschap ‘normaal verdeeld’ is, en de bijbehorende grafiek heet een ***normaalverdeling***. Een dergelijke spreiding komt wordt veroorzaakt door allerlei toevalligheden, die zorgen dat alle waarden in een bepaald spectrum voorkomen, maar tegelijkertijd een bepaald gemiddelde laten zien.

Normaal gespreide grootheden worden gekenmerkt door een gemiddelde waarde en een standaarddeviatie. **Een voorbeeld**: de lengte van de Nederlandse volwassen man is nu 181 ± 7 cm. Dit moet worden gelezen als: de *gemiddelde* lengte van de volwassen man is 181 cm, met een standaarddeviatie van 7 cm.

Wat houdt die ***standaarddeviatie*** nu in? Als je iets meet, maak je een fout, en deze fout zal ‘normaal verdeeld’ zijn rond een gemiddelde en tevens meest voorkomende waarde. Deze gemiddelde waarde is daarmee de beste schatting en wordt vaak als de ‘echte’ waarde gezien – al is dat voor bepaalde gevallen (zoals het voorbeeld van DE lichaamslengte van de Nederlandse man) eigenlijk een beetje onzinnig. De waarden in een normaalverdeling kunnen – afhankelijk van wat je meet - erg gepiekt (smal) of juist uitgesmeerd (breed) zijn rondom de gemiddelde waarde. De breedte van de normaalverdeling wordt weergegeven door een maat die de ***standaarddeviatie*** of ***standaardafwijking*** wordt genoemd. Deze is *zo* gekozen dat ~68% van alle metingen tussen de gemiddelde waarde (μ) plus één keer de standaardafwijking (1σ) en de gemiddelde waarde minus één keer de standaardafwijking (-1σ; zie het blauwe gebied in de onderstaande figuur) ligt. Binnen ± 2σ ligt 91,4% van de alle waarden, en binnen ± 3σ 95,6%.

Bij een ***gemiddelde waarde*** die gebaseerd is op een flink aantal metingenkun je als ‘meetfout’ de standaarddeviatie opgeven. Zonder hier verder op in te gaan zullen we aannemen dat ***alle*** spreidingen in meetwaarden met een toevallige fout ‘normaal verdeeld’ zijn. Wanneer de meeste metingen dicht bij het gemiddelde liggen – en de fout met de gemiddelde waarde dus klein is – is de normaalverdeling erg smal, en de standaarddeviatie klein. Is de afwijking van de gemiddelde waarde juist groot en de normaalverdeling dus breed, dan is de standaarddeviatie hoger. De standaarddeviatie is daarmee ook een maat voor de grootte van de meetfout.



Niet alle grootheden zijn normaal verdeeld, bijvoorbeeld omdat je er eigenlijk steeds eenzelfde object of groep objecten meet, en er geen sprake kan zijn van een gemiddelde. **Een voorbeeld** is aantal inwoners van China: er is nu eenmaal maar één China. Dat dit aantal niet precies bekend is, komt enerzijds omdat het aantal voortdurend verandert en anderzijds omdat tellingen niet 100% betrouwbaar zijn en dus een ‘spreiding’ laten zien. Deze spreiding houdt zich echter niet aan de normaalverdeling: het is immers niet waarschijnlijk dat de tellingen dusdanig uiteenlopen dan een bovenstaande grafiek ontstaat.

Voor een klein aantal metingen (twee of drie) heeft het berekenen van de standaarddeviatie niet zoveel zin, aangezien de meetwaarden altijd de uitersten van de grafiek zullen vormen. Bij meerdere metingen kun je echter goed de computer of je grafische rekenmachine gebruiken. Voor de grafische rekenmachine staat hieronder een handleiding:

1. Maak lijsten aan voor de meetwaarden en de meetfouten:
* Druk op ‘STAT’
* Kies ‘EDIT’ – er verschijnt een tabel zoals hieronder

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| L1 | L2 | L3 |
| ---- | ---- | ---- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
| L1(1) = |  |  |

* Links onderin zie je een letter/cijfer-combinatie die weergeeft op welke plaats in de tabel je staat. In de tabel is dit donker gemarkeerd. In het voorbeeld sta je dus op de eerste rij van kolom L1: L1(1). Met de pijltoetsen kun je door de tabel ‘reizen’
* Vul de meetwaarden in bij L1. Komt een meetwaarde meerdere keren voor, dan kun je in L2 het aantal (de ***frequentie***) zetten, maar **LET OP**: als je dit voor één waarde uit L1 doet, moet je het voor alle waarden doen!
* Druk op ‘QUIT’(via ‘2nd’+ ‘MODE’)
1. Bereken de standaarddeviatie
* Druk op ‘STAT’
* Kies ‘CALC’
* Kies ‘1 VAR STATS’ en druk op ‘ENTER’- op je scherm staat nu ‘1 VAR STATS’
* Kies ‘LIST’ en selecteer L1; druk op ‘ENTER’ – op je scherm staan ‘1 VAR STATS L1’
* ***Als je alle waarden in één lijst hebt gezet***, kun je hierna op ‘ENTER’ drukken. Op je scherm verschijnt een hele lijst aan statistische waarden m.b.t. je lijst L1, waaronder de standaarddeviatie Sx. ***Heb je ook de kolom L2 gebruikt, dan moet je eerst de volgende stappen uitvoeren!***
* Druk eerst op de komma-knop (let op: NIET de punt!)
* Kies weer ‘LIST’ en selecteer L2; druk op enter – op je scherm staat ‘1 VAR STATS L1, L2’
* Druk op ‘ENTER’: de lijst met statistische gegevens verschijnt

# Systematische fout

**Afwijking van de meetwaarde ten opzichte van de exacte waarde, die gekoppeld is aan de meetmethode**

Bij het doen van metingen maakt iedereen – de één weliswaar wat meer dan de ander – onvermijdelijk fouten. Aan sommige fouten kun je zelf iets doen (zie ook: **Toevallige fout**), maar andere fouten (of beter: afwijkingen) zijn een gevolg van de – beperktheid van de – meetmethode. In tegenstelling tot toevallige fouten zijn deze ***systematische fouten***niet te vermijden, en helpt het niet om de meting vaker te doen en resultaten te middelen. Uiteraard kun je wel proberen de methode dusdanig te verbeteren, dat de systematische fout zo klein mogelijk is. Een voorbeeld: een keukenweegschaal kan een ‘ingebouwde afwijking’ vertonen – analoge weegschalen hebben daarom een wieltje waarmee je zelf het nulpunt kon instellen (een vorm van ijken – zie ook: **IJken**). Als je dit nulpunt niet corrigeert, krijg je bij elke weging een even grote afwijking van de exacte waarde.

# Theorie

**Model ter verklaring van waarnemingen in de werkelijkheid**

Als je onderzoek doet, maak je eigenlijk altijd gebruik van bestaande kennis, afkomstig uit boeken en/of eigen ervaring. Wanneer deze kennis een samenhangend geheel van denkbeelden, stellingen en verklaringen vormt, die in onderlinge samenhang kan worden beschreven, praat je over een ***theorie***. In de natuurwetenschappen is een theorie een model (zie ook: **Model**) ter verklaring van waarnemingen in de werkelijkheid (‘….het gaat zus en zo, omdat…’). Over theorieën wordt vaak gezegd dat ze geldig zijn tot het tegendeel bewezen is. Sommige mensen beweren dat je nooit kunt bewijzen (***verifiëren***) dat een theorie 100% klopt: je kunt immers nooit uit alle tijden alle situaties waarin de theorie zou moeten gelden onderzoeken. Zij beweren daarom dat je juist moet proberen om een theorie te ***falsifiëren***, dat wil zeggen: laten zien dat zij ***niet*** klopt. Zolang dat niet lukt, blijft de theorie overeind.

In een verslag of werkstuk kun je de paragraaf *Theorie* opvatten als beschrijving van alle achtergrondinformatie en kennis die bij het opzetten van je onderzoek van belang is geweest, met name voor het formuleren van de onderzoeksvraag en de hypothese (zie ook: **Onderzoeksvraag** en **Hypothese**).

# Titelblad

De term spreekt voor zich, maar wat moet er op een titelblad staan?

***AFSPRAAK:***

**Een titelblad bevat naast de titel:**

* **de datum waarom het onderzoek is uitgevoerd**
* **de namen van de onderzoekers**
* **de klas**
* **de naam van de docent**

**LET OP:** Een afbeelding is leuk, maar kies dan wel een bij het onderzoek passend plaatje!

# Toetsen van een hypothese met behulp van statistiek

Bij veel onderzoeken moet je waarden voor een bepaalde variabele die je hebt verzameld voor verschillende ‘meetobjecten’ – bijvoorbeeld proefpersonen – met elkaar vergelijken. Wil je dit op een wiskundig nette manier verwerken, dan kun je gebruik maken van statistiek. Hieronder staat een voorbeeld nader uitgewerkt.

Als je wilt onderzoeken of vrouwen van 40 jaar oud zwaarder zijn dan vrouwen van 30 jaar oud, dan doe je dat normaal door een groep vrouwen van 30 en een groep van vrouwen van 40 jaar oud te wegen. Stel je hebt 10 vrouwen van 30 jaar en 15 vrouwen van 40 jaar gewogen; de resultaten hiervan zijn gegeven in de onderstaande tabel. De vraag is: mag je concluderen dat de vrouwen van 40 zwaarder zijn?

**Tabel: Gewichten van vrouwen van 30 jaar en 40 jaar vergeleken**

|  |  |
| --- | --- |
| Gewicht vrouwen 30 jaar in kg 77 | Gewicht vrouwen van 40 jaar in kg102 |
| 65 | 73 |
| 73 | 56 |
| 58 | 55 |
| 63 | 83 |
| 49 | 72 |
| 51 | 88 |
| 82 | 70 |
| 103 | 81 |
| 69 | 85 |
|  | 44 |
|  | 71 |
|  | 62 |
|  | 78 |
|  | 75 |

Je kunt in eerste instantie kijken naar het gemiddelde gewicht (natuurkundig is het beter om van ‘massa’ te spreken, maar dat laten we hier even voor wat het is). Voor de vrouwen van 30 jaar blijkt dat 69 kg en voor de vrouwen van 40 jaar 73 kg te zijn. Op het eerste gezicht zou je dus zeggen: “Ja, vrouwen van 40 jaar zijn zwaarder”. Maar: je hebt wel *meer* vrouwen van 40 jaar gemeten, dus dat kan het beeld vertekenen. Bovendien: als we er van uitgaan dat het gewicht ‘normaal’ (zie ook **Standaarddeviatie**) verdeeld is, kan het zijn dat we toevallig wat zwaardere vrouwen van 40 jaar – zeg maar: uit de ‘rechterhelft’ van de normaalverdeling – hebben gewogen, en dat het verschil in gewicht dus ook gewoon toevallig is. Het is nu de vraag of het geconstateerde verschil groot genoeg is om een conclusie te mogen trekken met betrekking tot de onderzoeksvraag. Er zijn verschillende statistische tests ontwikkeld, die een uitspraak doen in hoeverre een gevonden verschil toevallig is of niet. De meest bekende test is de ***t-toets****.*

We willen nu niet ingaan op de achtergrond van statistische toetsen, maar alleen kort laten zien hoe Excel je kan helpen:

* Voer de gewichten van de 30-jarigen uit de tabel in in A1 t/m A10 en de gewichten van de 40 jarigen in B1 t/m 15.
* Ga nu met de cursor staan op C1 en voer op de formulebalk in: =T.TOETS(A1:A10;B1:B15;1;3).

Het resultaat is 0,267037. Dit resultaat is de zogenaamde ***p-waarde***. De p-waarde is grofweg gezegd de kans dat de gevonden verschillen aan toeval te wijten zijn. De waarde van 0,267037 (ofwel zo’n 27%) is nog vrij groot, en geeft aan dat het verschil in de gemeten gewichten te klein om te kunnen concluderen dat 40-jarigen gemiddeld zwaarder zijn. Over het algemeen is een verschil pas significant (van voldoende betekenis) en niet meer toevallig als de p-waarde kleiner is dan 0,05. Om in het voorbeeldonderzoek de p-waarde te verkleinen, moet je wellicht meer vrouwen wegen. Doe je dit niet, dan kun je hier geen conclusie trekken – dat wil zeggen: je conclusie kan geen antwoord zijn op je onderzoeksvraag (“Zijn vrouwen van 40 jaar zwaarder dan vrouwen van 30 jaar?”), maar hooguit luiden dat je met de door jou gevonden waarden hier geen uitspraak over kunt doen.

Het is voor verslagen zoals een profielwerkstuk beter om statistische toetsen te vermijden. Dit kun je doen door je hypothese anders te formuleren en je te richten op verschillen met een voldoende groot effect. Als het toch noodzakelijk is een statistische test uit te voeren, vraag dan je (wiskunde)docent om advies. Je kunt ook kijken bij [nl.wikipedia.org/wiki/T-toets](http://nl.wikipedia.org/wiki/T-toets), maar realiseer je dat deze niet altijd zonder meer toegepast mag worden, en dat er ook andere (meer geschikte) testen voorhanden zijn.

# Toevallige fout

**Afwijking van de meetwaarde ten opzichte van de exacte waarde, die wordt veroorzaakt door handelingen van degene die meet**

Zoals gezegd maakt iedereen bij het doen van metingen onvermijdelijk fouten. Soms vallen deze fouten meteen op als ‘blunders’: je bent bijvoorbeeld een belangrijke handeling vergeten, of je hebt je niet het meetvoorschrift gehouden. Als je je dit nadien nog weer kunt herinneren, kun j je de meting bestempelen als ‘ongeldig’. Ook als je bewust slordig werkt, weet je dat je afwijkingen van de exacte waarde kunt verwachten.

Veel vaker zijn deze afwijkingen echter ‘toevalligheden’, die onbewust en willekeurig tot stand komen, en niet direct opvallen. In een serie van dezelfde metingen kunnen ze bovendien van meting tot meting verschillen. Een voorbeeld: de ene keer dat je een thermometer afleest, kijk je net iets van boven op het streepje, en de andere keer kijk je van onderen – dit terwijl loodrecht aflezen de bedoeling is. Het verschil ten opzichte van de exacte waarde zal weliswaar niet groot zijn, maar is wel een ***toevallige fout****.*

Het voorbeeld laat zien dat het belangrijk is om ***goede afspraken*** te maken over ***hoe*** je bepaalde meetinstrumenten moet gebruiken en aflezen, en dat je je hier ook aan moet houden. Het voorbeeld laat ook zien dat een toevallige fout de ene keer naar boven kan uitvallen (***overschatting*** van de exacte waarde) en de andere keer naar onderen (***onderschatting*** van de exacte waarde). Toevallige fouten kunnen daarom altijd verkleind worden door een meting meerdere keren te doen en de resultaten te middelen.

***AFSPRAKEN:***

* **Zoek van tevoren goed uit hoe een bepaald meetinstrument correct gebruikt moet worden, en maak hierover goede afspraken met je eventuele groepsgenoten**
* **Tenzij onmogelijk, doe je elke meting minstens twee keer (in *duplo*), en het liefst drie keer (in *triplo*) of vaker**

# Uitvoering

**De wijze waarop je een meting/experiment/test daadwerkelijk hebt gedaan**

De manier waarop je een meting of test uitvoert, kan om allerlei redenen afwijken van je oorspronkelijke ideeën, die je hebt beschreven in je werkplan (zie ook: **Werkplan**): er zijn bepaalde materialen niet voorhanden, je komt al doende tot andere inzichten, je hebt een vergissing gemaakt en moest een ‘noodgreep’ doen om deze te herstellen, etc. Hoe het ook zij: deze veranderingen moet je ***nooit*** verzwijgen, maar beschrijven en beargumenteren onder het kopje ***Uitvoering***. Waarom dan niet het werkplan achteraf (d.w.z. in je verslag) aanpassen, zodat het lijkt alsof je alles ‘in één keer goed’ hebt gedaan? Het antwoord is simpel: een werkplan maak je ***vooraf***, nooit achteraf.

Je moet je hierbij realiseren dat het afwijken van je werkplan niet altijd ‘falen’ is, maar juist kan getuigen van een goede onderzoekshouding: het laat zien dat je tijdens het onderzoeken lerende bent, en in staat bent om zaken naar omstandigheden aan te passen. Je docent wil dit proces graag terugzien in je verslag. Bovendien zal je docent het werkplan vaak vooraf al hebben gezien: het valt op als je dit ineens sterk gaat veranderen.

# Validiteit

**De mate waarin een test/methode meet wat deze geacht wordt te meten**

Je probeert antwoord te krijgen op je onderzoeksvraag door middel van experimenten en tests. Maar het ene experiment is het andere niet, en dat geldt ook voor meetinstrumenten. Met een keukenweegschaal kun je geen personen wegen; met een geodriehoek ga je geen lichaamslengtes bepalen, met een meetopstelling voor het meten aan gassen kun je geen vloeistofmetingen doen, kortom: je moet de geschikte ***materialen, instrumenten*** en ***methodes*** gebruiken, wil je meting ***valide***of geldig zijn. Je kunt bij hoge of lage validiteit eigenlijk niet spreken van grote of kleine meetfouten. Je kunt een meetinstrument namelijk wel perfect en volgens voorschrift hanteren en dus theoretisch een kleine meetfout maken: als je het niet gebruikt waarvoor het bedoeld is, stelt de waarde die je vindt eigenlijk niets voor.

# Verband

**Een (meestal wiskundig geformuleerde) relatie tussen twee of meerdere variabelen**

Wanneer door het (actief) veranderen van de ene variabele een andere variabele ook verandert, is dat soms toeval, en de volgende keer dat je eenzelfde verandering aanbrengt, gebeurt er niets, of in elk geval niet hetzelfde. Het kan echter ook zijn dat de door jou gestuurde verandering van een bepaalde variabele keer op keer hetzelfde effect heeft wat betreft de waarde van een andere variabele. Dat wijst er op dat die variabelen aan elkaar gekoppeld zijn: je kunt ze niet afzonderlijk van elkaar veranderen, en als de een gaat, moet de ander mee. Je kunt het een beetje vergelijken met je eigen lichaam: als je benen naar voren lopen, kan je hoofd niet achterblijven.

Het vinden van keer op keer hetzelfde effect kan wijzen op een bepaalde ***wetmatigheid*** voor die variabelen: blijkbaar gaat het – mits uitgevoerd onder vergelijkbare meetcondities – altijd zo. In de natuurwetenschappen noemen we dit soort wetmatigheden ***verbanden***, wat je ook zou kunnen interpreteren als ‘**hangt af van**’. **Een bekend voorbeeld**: de afstand die een voorwerp in een bepaalde tijd kan afleggen hangt af van zijn snelheid – snelheid, tijd en afstand staan dus met elkaar ***in verband****.* Een verband kan meerdere vormen hebben – denk aan de verschillende wiskundige formules die je kent. Het meest simpele verband is het ***lineair verband****:* Y = aX + B – als je X met een bepaalde factor vergroot, dan vergroot Y met diezelfde factor maal a. Maar er zijn ook andere verbanden denkbaar, zoals kwadratische verbanden (bijv. tussen de straal en het oppervlak van een cirkel), logaritmische verbanden (bijv. tussen de concentratie waterstofionen en de zuurgraad) en exponentiële verbanden.

# Waarneming

**Zintuigelijke prikkel: zien, horen, ruiken, voelen, proeven**

Bij een waarneming worden één of meerdere van onze zintuigen geprikkeld: we zien, horen, ruiken, voelen of proeven iets. Bij het gros van de experimenten zullen zien en horen de belangrijkste waarnemingen zijn. Het is van het ***grootste*** belang dat je – in elk geval tijdens het ***uitvoeren*** van je experimenten ***alle*** waarnemingen noteert, hoe onbelangrijk deze in eerste instantie ook mogen lijken. Het zijn namelijk deze waarnemingen die je straks moeten helpen om tot een conlusie (zie ook: **Conclusie**) te komen, en het is erg vervelend om tijdens het schrijven van het verslag of een gesprek met een docent te moeten constateren dat je niet meer precies weet hoe de meting verlopen is, omdat je te weinig aantekeningen hebt gemaakt. Een tip is dus: ***schrijven, schrijven, schrijven!*** Bij het uiteindelijke verslag maak je pas de schifting tussen waarnemingen die er toe doen voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag en ‘nutteloze informatie’.

# Waarnemingsverslag

Hoewel elk verslag van een experiment in principe waarnemingen bevat, wordt de term ***waarnemingsverslag*** gebruikt voor een relatief beknopt verslag dat vrijwel alleen waarnemingen bevat – dit in tegenstelling tot een ***onderzoeksverslag***, waarin ook zaken als een onderzoeksvraag, hypothese, discussie en conclusie zijn opgenomen. Waarnemingsverslagen worden veel gebruikt in de **biologie**, bijvoorbeeld bij het bestuderen van een organisme (of een deel ervan) door er zeer nauwkeurig en zorgvuldig naar te kijken (te ruiken, te luisteren, enz.).

Een waarnemingsverslag bestaat uit één of meerdere tekeningen, voorzien van de onderstaande informatie:

* Je naam en de datum waarop de het waarnemingsverslag is gemaakt.
* Een titel (hierbij vermeld je de naam van het getekende organisme en of het om een doorsnede gaat); wees hierbij volledig.
* De vergrotingsfactor die je gebruikt - bijvoorbeeld 40×, 100×, of 400× (microscoop) maar ***ook*** 1× (tekening op ware grootte).
* Namen van de getekende onderdelen.
* Eventueel andere opvallende zaken of bijzonderheden in tekstvorm (bijv. kleuren van bepaalde onderdelen).

De eerste drie punten (naam en datum, titel, vergrotingsfactor) schrijf je linksboven op je blad. Gebruik verder als stelregel dat de tekening ongeveer drie vierde van de breedte van het papier inneemt. De namen van de onderdelen en eventuele andere bijzonderheden schrijf je dan rechts naast de tekening op het resterende kwart.

 Let verder op het volgende:

* Een tekening maak je met een tekenpotlood en is dus ‘zwart-wit’, tenzij uitdrukkelijk wordt aangegeven dat er van je verlangt wordt dat je kleurpotloden gebruikt.
* Teken wat je ziet! Ga niet fantaseren of tekenen op geheugen.
* Ga na of je er een overzichtstekening, of een detailtekening verlangd wordt.
* Een scherpe lijn in je beeld teken je ononderbroken op je papier: ga dus niet ‘schetsen’, maar maak duidelijke vormen .

. 

Overzichtstekening Detailtekening (gebied B)

# Werkplan

**Beschrijving van alle benodigdheden en handelingen voor een bepaald experiment**

Wanneer je een onderzoeksvraag en een hypothese hebt geformuleerd, moet je je gaan afvragen hoe je hier passende antwoorden op kunt vinden. Vaak heb je dit al een beetje in je hoofd zitten, maar moet het nog wel op papier. Je moet een toets of ***experiment*** ontwerpen, waaruit resultanten komen, die antwoord geven op jouw vraag. Bij zo’n experiment moet je precies opschrijven welke stappen je allemaal moet uitvoeren: je schrijft een soort recept of voorschrift, ook wel ***werkplan*** genoemd.

Hoe schrijf je nu een goed werkplan? Een belangrijke aanwijzing is: **schrijf je werkplan niet voor jezelf, maar voor een ander**. Doe alsof niet *jij* degene bent die de proef gaat doen, maar een medeleerling. Stel je daarbij voor dat hij jou (nadat hij je werkplan heeft gekregen) niets meer mag vragen. Hoe zorgvuldiger jij de zaken opschrijft, des te groter is de kans dat je medeleerling het door jou bedachte experiment goed uit kan voeren.

Een goed uitgangspunt is dan ook: “Beter te veel dan te weinig”. Schrijf in eerste instantie alles op wat in jouw ogen voor het experiment van belang is. Op deze manier heb je de minste kans dat je belangrijke details over het hoofd ziet. In de uiteindelijke versie voor het verslag kun je altijd weer zaken weglaten.

Zie ook: ‘VOLG VAST MOTIEF’ voor verdere aanwijzingen voor het schrijven van een werkplan.

# Wetenschappelijke notatie

**Een getal genoteerd in machten van 10, met slechts één cijfer voor de komma**

Bij de wetenschappelijke (of ‘drijvende komma’) notatie wordt een getal geschreven als machten van tien, met slechts één cijfer voor de komma. Er zijn meerdere varianten van de wetenschappelijke notatie, namelijk:

* die waarbij het cijfer VOOR de komma altijd een 0 of een 1 is
* die waarbij het cijfer VOOR de komma tussen de 1 en de 9 ligt

Het getal 234,4 wordt dus in deze notaties:

* 0,2344 × 103
* 2,344 × 102

Binnen Het Assink Lyceum hanteren we de ***tweede***  variant. Het voordeel van deze notatie wordt vooral duidelijk bij heel kleine getallen: het scheelt namelijk nogal wat nullen. Zo wordt 0,000000000000345 in de tweede variant geschreven als 3,45 × 10-13.

**LET OP**:Ook grote getallen zouden korter geschreven kunnen worden (bijv. 2 × 107 in plaats van 20.000.000), maar het is **NIET** de bedoeling dat je zomaar ***significante*** cijfers weglaat (in het voorbeeld zijn dit ***zowel*** de 2 als alle nullen)! Je moet hier dus schrijven: 2,0000000 × 107.

**LET OP**: Soms ***moet*** je juist vanwege de regels voor de significantie een antwoord in de wetenschappelijke notatie schrijven, omdat je maar een beperkt aantal significante cijfers mag gebruiken (zie ook: **Significantie en significante cijfers**). Zo is de uitkomst van 10,0 × 1,5 natuurlijk 150, maar omdat je slechts twee significante cijfers mag gebruiken, moet je dit noteren als 1,5 × 102.

# VOLG VAST MOTIEF

Het woord **VOLG** staat voor

* **V**olledigheid
* **O**nderzoekbaarheid
* **L**ogica
* **G**renzen van het onderzoek.

**Volledigheid**

Je onderzoeksvraag en je hypothese moeten zo geformuleerd zijn, dat alles wat jij wilt weten er ook in zit – je hypothese moet zo **volledig** mogelijk zijn. In een goede hypothese komen zowel de **onafhankelijke** als de **afhankelijke** variabele naar voren.

*Een voorbeeld: stel, je wilt weten het speelgedrag van chimpansees wordt beïnvloed door het feit of ze ’s morgens, ’s middags of ’s avonds gevoerd worden. Als hypothese neem je: “Het speelgedrag van chimpansees wordt beïnvloed door het voeren.” Hiermee vergeet je echter een deel van wat je wilt weten, namelijk: of het tijdstip (de* ***onafhankelijke*** *variabele!) van het voeren van invloed is. Een meer volledige hypothese is dus: “Het speelgedrag van chimpansees wordt beïnvloed door het tijdstip van het voeren.”*

**Let op: ‘volledig’ betekent NIET hetzelfde als ‘uitgebreid’ – je onderzoeksvraag moet juist NIET te uitgebreid zijn in de zin dat je (te)veel tegelijk wilt onderzoeken**

**Onderzoekbaarheid**

Het heeft geen zin onderzoeksvragen en hypothesen te formuleren die je **niet kunt** **onderzoeken** – bijvoorbeeld omdat de meetapparatuur er niet voor is. Ook de **tijd** die een onderzoek kost is erg belangrijk. De onderzoeksvraag en de hypothese mogen dan verder logisch in elkaar zitten, maar als *jij* ze niet kunt onderzoeken, zijn ze toch niet goed.

*Een voorbeeld: je wilt weten wat het effect van een bepaald medicijn voor suikerziektepatiënten is op de groeisnelheid van kinderen met deze ziekte. Dit kun je natuurlijk niet in een paar weken bepalen! Voor een PWS is dit dus een ongeschikte onderzoeksvraag.*

**Logica**

Je moet er voor zorgen dat je onderzoeksvraag en je hypothese zo opstelt, dat je **ZELF** kunt **uitleggen** hoe je tot het antwoord van de hypothese komt – je moet de **logica** snappen! Zorg daarom ook dat je bij het doen van onderzoek altijd **ZELF** je onderzoeksvraag en hypothese formuleert, en neem ze niet van een ander over!

*Een voorbeeld: stel je ‘googlet’ een beetje op het web en komt de volgende zin tegen: “Een Higgs-boson zou verantwoordelijk zijn voor de massa van elementaire deeltjes.” Even los van het feit of dit op school te onderzoeken is: weet jij wat een boson is? Waarschijnlijk niet, dus dit is* ***voor jou*** *geen goede hypothese.*

**Grenzen aan het onderzoek** (“Onderzoeksterrein afbakenen”)

Bij het opstellen van een onderzoeksvraag en een hypothese is het belangrijk dat je voor jezelf de grenzen van het onderzoek vaststelt: **wat hoort erbij en wat niet**? **TIJD** is hier een belangrijke factor: het onderzoek mag niet te uitgebreid worden, anders kom je tijd tekort. Soms ontstaan tijdens het onderzoek nieuwe vragen: benoem ze **altijd (**in je ***discussie***)**,** maar ga niet op alles in: daar heb je immers geen tijd voor!

*Een voorbeeld: je hebt als hypothese: “Alle jongens drinken bier”. Even los van de discussie of deze hypothese het onderzoeken waard is, is het sowieso een ongeschikte hypothese als het gaat om de grenzen. Hoe wil jij immers alle jongens ter wereld gaan bevragen? Je moet jezelf inperken door te zeggen: “Alle Nederlandse jongens drinken bier.” Maar ook met deze formulering is het nog gigantisch veel werk om de hypothese te toetsen. Een verbeterde hypothese is dan: “Alle jongens uit Haakbergen in de leeftijdscategorie 14-16 jaar drinken in de weekenden van de maand augustus meerdere biertjes.”*

Het woordje **VAST** staat voor:

* **V**ariabelen
* **A**annames
* **S**amenhang
* **T**oetsing

**Variabelen**

Vaak spelen meerdere factoren een rol in je onderzoek. Het is goed om van te voren vast te stellen welke factoren of **variabelen** dat kunnen zijn. Voorbeelden zijn tijd, temperatuur, druk, concentratie, kracht, lichtsterkte, enzovoort. Je moet kiezen welke variabele JIJ wilt veranderen tijdens een experiment (de **onafhankelijke variabele**), en bestudeerd één variabele die mee verandert (de **afhankelijke variabele**). Als richtlijn kun je aanhouden dat je onderzoeksvraag en hypothese zowel de **afhankelijke** als de **onafhankelijke** variabele moet bevatten.

*Een voorbeeld:Als de CO2-concentratie toeneemt (****onafhankelijke variabele****), dan wordt de lengtegroei van grassprieten (****afhankelijke variabele****) gestimuleerd.*

**Aannames***.*

Soms is het nodig om bij een onderzoek bepaalde dingen aan te nemen, omdat je nu een keer niet alles tegelijk kunt onderzoeken. Ook neem je soms van sommige variabelen aan dat ze constant zijn, zonder dat controleert of dit ook echt zo is. Dit kan zijn omdat je uit ervaring weet dat de variabele nauwelijks verandert, of in ieder geval nauwelijks invloed heeft. Het kan ook zijn dat je de variabele zelf of een verandering daarin gewoon niet kunt meten, omdat je de goede apparatuur niet hebt. Deze **aannames** worden soms wel en soms niet in de onderzoeksvraag en/of de hypothese verwerkt, maar ze moet **altijd genoemd** worden in een begeleidende tekst. Immers, iemand die jouw onderzoek later nog eens na leest en misschien wel na wil doen, moet ook weten wat jij aangenomen hebt. Je kunt de aannames vermelden door zinnen als:”Aangenomen dat….” of “Uitgaande van….” of “Er wordt verondersteld dat….”

*Een voorbeeld: je wilt het verband bekijken tussen spanning (****onafhankelijke variabele****) en stroomsterkte (****afhankelijke variabele****), en gebruikt daarvoor een lampje als weerstand. Er zou een lineair verband moeten zijn (want V = I x R), maar bij sommige materialen blijkt de weerstand ZELF juist afhankelijk te zijn van de spanning. Dit beïnvloedt natuurlijk je proef. Als aanname zou je hier daarom moeten noemen dat je er vanuit gaat dat “…het lampje zich als Ohmse weerstand gedraagt.”*

Het heeft natuurlijk alleen zin om aannames te vermelden voor variabelen die iets met het experiment te maken hebben. In het voorbeeld is het dus niet nodig om aannames op te schrijven over factoren als lichtsterkte, luchtdruk, golflengte, enzovoort.

**Samenhang**

Bij het opstellen van de onderzoeksvraag en de hypothese is het van belang dat je een idee hebt van de **samenhang** tussen de verschillende variabelen. Welke variabele(n) beïnvloedt (beïnvloeden) variabele X en welke niet? Hoe wordt variabele X door variabele Y beïnvloed (denk je?)? Wordt variabele Y op haar beurt nog weer beïnvloed door andere variabelen? Je kunt de “S” in “VAST” ook opvatten als de “S” van **S**chema’s: maak eens een overzicht van alle variabelen en geef met pijlen aan hoe ze elkaar zouden kunnen beïnvloeden. Je ziet zo soms ook beter welke variabelen je constant moet houden, of waarvoor je een aanname kunt doen. Ook zie je dat er voor een bepaald systeem soms meerdere onderzoeksvragen mogelijk zijn. Deze samenhangen komen eventueel later weer terug als formules (de ‘F’ van **MOTIEF**).

**Toetsing**

Bij het puntje “onderzoekbaarheid” heb je je al af moeten vragen **of** je de door jouw bedachte hypothese wel kunt toetsen. Daarbij speelt natuurlijk ook een rol **hoe** je haar wilt toetsen. Hoe moet het experiment er uit zien? Zijn er meerdere experimenten denkbaar? Welk experiment is het beste? En waarom? Een hypothese waar je geen goede toets voor weet te verzinnen, is geen goede hypothese.

Het woordje **MOTIEF** staat voor:

* **M**aterialen
* **O**pstelling en **O**mschrijving
* **T**ijds**I**ndeling
* **E**igenschappen
* **F**ormules

**Materialen**

Voor elk experiment moet je sowieso weten welke materialen je nodig bent: welke meetapparatuur, welk glaswerk, maar ook – bij een scheikundig experiment – welke chemicaliën en in welke hoeveelheden. In je werkplan moet dus **altijd** een **opsomming** komen van dat **wat je nodig hebt**. Wees hierbij zorgvuldig en volledig: bij ‘lamp’ hoort ook altijd een voedingskastje (‘stroom’), bij ‘brander’ horen ook altijd lucifers, bij ‘computer’ hoort ook altijd het gebruikte software-programma, enz.

**Opstelling en Omschrijving**

Maak een duidelijke **tekening** van de meetopstelling en geef er ook een duidelijke **beschrijving** bij. Benoem de onderdelen en – als dat niet meteen duidelijk is – beschrijf kort waar je ze voor gebruikt. Als dit **niet algemeen bekend** is (of in een andere handleiding te vinden is), **omschrijf** dan ook **hoe** je bepaalde dingen gaat gebruiken c.q. wilt uitvoeren.

**TijdsIndeling**

Het is belangrijk om in je werkplan een **indeling** van de **tijd** te hebben – niet alleen om te weten hoeveel tijd een experiment (ongeveer) gaat kosten, maar ook om te kunnen zien **wanneer** en **in welke volgorde** bepaalde stappen uitgevoerd moeten worden. Als voorbeeld: bij scheikunde is de volgorde van het aan elkaar toevoegen van stoffen soms ontzettend belangrijk, en kunnen er gevaarlijke reacties ontstaan als de volgorde wordt omgewisseld. Een tweede voorbeeld: stel dat je een voorwerp wilt meten *voor* en *na* het onderwerpen aan een natuurkundige kracht – als je het meten *voor* het experiment vergeet, heb je ook niets aan de meting na die tijd. **Beschrijf** dus alle stappen en in de **juiste volgorde**. Maak voor jezelf een soort ‘afvinklijst’, waarachter je een ‘vinkje’ kunt zetten als je de stap hebt uitgevoerd. Houd deze lijst ook altijd paraat bij het uitvoeren van de proef, om de kans dat je iets vergeet te verkleinen.

**Eigenschappen**

Bij het uitvoeren van een experiment moet je ook altijd stil staan bij het veiligheidsaspect: wat zijn de mogelijke gevaren van de materialen die je gebruikt, en op welke manier ontstaat dat gevaar? Het is daarom goed te kijken naar de **eigenschappen** van de materialen – dit geldt zeker voor chemicaliën, maar ook voor de gebruikte apparatuur (zeker met elektriciteit). In het verlengde hiervan: weet je ook wat je moet doen als het misgaat (**E**.H.B.O), en wat doe je bijvoorbeeld met het afval?

**Formules**

Vaak is het handig om in je werkplan al stil te staan bij de eventuele berekeningen die je later met je meetgegevens wilt uitvoeren, zodat je in het experiment ook daadwerkelijk de gegevens verzamelt die je nodig hebt. Het helpt dus om alvast een overzicht te hebben van de benodigde **formules**, daarbij ook lettend op de juiste **grootheden** en **eenheden**. Een voorbeeld: als je een onderzoek gaat doen waarbij je lenzen gebruikt, dan is het handig om alvast een aantal formules te noteren, bijv:

Lenzenformule:  Lenssterkte: 

**LET OP: HET WOORD ‘MOTIEF’ IS EEN EZELSBRUGGETJE, GEEN ABSOLUTE WET!**