

Meten is weten

-

**een praktisch voorbeeldenboek
voor pupillen, meesters en kurieuzeneuzen**

Koen Van de moortel

www.lerenisplezant.be

ISBN 9789080409927

D/2021/Koen Van de moortel, uitgever

NUR: 120

Eerste druk 4 nov. 2021

© Koen Van de moortel

Niets uit deze uitgave mag gekopieerd worden zonder toestemming van de auteur.
Suggesties? Errata? Bedenkingen? Stuur ze naar info@lerenisplezant.be

Inhoud

Beste lezer...	5
'Simpel' meetbare grootheden	6
Ruimte, tijd en massa	6
Basiseenheden	6
Dichtheid van een vloeistof en beduidende cijfers	8
Intermezzo: standaardafwijking	10
Hoeveel weegt een muntstuk?	11
Hoe hoog is de boom?	16
Oppervlakte van een onregelmatige figuur	21
Hoe ver is de maan?	23
Waar is de foto genomen?	26
Rechtstreeks meten van de valversnelling	35
Uw eigen versnelling meten	40
Hoe zwaar is de aarde?	43
Dichtheid, Archimedes en veertjes...	44
Elektriciteit	49
Basiseenheden	49
Elektrische weerstand	51
Inwendige weerstand van een batterij	55
Kapaciteit van een condensator	58
Meten van kleine capaciteiten	65
Wind meten met een ventilator	67
Temperatuur en warmte	71
Meetprincipes	71
Het absolute nulpunt bepalen met een mayonaissepot	74
De temperatuur van een kaars meten met een fototoestel?	78
Het meten van afkoeling en isolatie	81
Hoeveel verbruikt een mens?	84
Meten in het verleden	87
Licht	92
Basiseenheden	92
Belichting meten met een fototoestel	92
De brekingsindex van een stof bepalen	94
Koncentraties meten met... uw telefoon	98
Opsporen van periodieke verschijnselen	104
Simpel klimaatmodel	105
Getijdenstromen	107
De valversnelling meten met een slinger	113
Uw stem ontleden	116
Vogels herkennen	118
Kwantificeren	122
'Moeilijke' grootheden	122
Kwantificering in de aardrijkskunde	123
Hardheid	125
Kwantificeren in de menswetenschappen - algemeen	128
Kognitieve vaardigheden	130
'Angst' meten	132
Hoe normaal ben ik?	135

Maakt geld gelukkig?	136
Een getal plakken op overgewicht	138
De 'ergheid' van een epidemie	143
Intermezzo: Een schrijnend voorbeeld van de onbetrouwbaarheid van de media als informatiebron	158
To boldly go where no man has gone before.....	159
De Lüscher-kleurentest	160
Helderziendheid	162
Mercurius en kommunikatie	165
Regressie	169
Modelfuncties en hun optimale parameters	169
Gewogen regressie	171
Niet-lineaire modellen - te vermijden gevoel	172
Multidirektionele regressie	176
Schatting van de verwachte fout op de parameters	178
Hoe goed past het model?	179
De zoektocht naar een minimum	185
Dankwoord	187
Index	188

Beste lezer...

Het menselijk brein is krachtig, maar het wordt ook gemakkelijk om de tuin geleid. Daarover ging mijn vorig boek 'Laat u niets wijsmaken! - Patroonherkenning en het spoelen van uw hersenen', zie: www.lerenisplezant.be/patroonherkenning.htm. Deze keer wil ik u graag informeren over de meer technische en wiskundige kant van het herkennen van patronen. Hoe belangrijk intuïtie ook is bij het ontdekken van verbanden... wiskunde is dat ook. Of u nu leerling aan een middelbare school bent of student of leerkracht, ik hoop dat u inspiratie zal vinden in mijn verhaal.

Dit is geen 'volledig bedoeld naslagwerk'. Mijn bedoeling is om u wat goede gewoonten te doen aankweken:

- * Leren zien waarom een bepaalde methode betere resultaten oplevert dan andere.
- * Creatief leren omgaan met de beschikbare middelen.
- * Leren letten op gebreken in meetinstrumenten en zelfs in veelgebruikte statistische methodes.
- * Waakzaam worden voor foute redeneringen.
- * Enkele wiskundige technieken aanleren aan de hand van voorbeelden uit allerlei takken van de wetenschap en huis-tuin-en-keukenproefjes die u ook zelf kunt uitvoeren. Een veelgebruikte techniek om patronen te herkennen of dus 'modellen' te maken, is regressie-analyse. Bij veel experimenten zult u daar voorbeelden van zien die u hopelijk zal kunnen begrijpen zonder de details van de techniek te hoeven kennen. Die hou ik voor op het einde.
- * Maar, tegelijk ook het gezond verstand laten primeren op 'regeltjes', en de geldigheid van wiskundige modellen niet zomaar klakkeloos aanvaarden.
- * Niet te naïef zijn: wetenschap wordt gedaan door mensen, en die hebben soms grote ego's die vooruitgang in de weg staan, en belangenvermenging en ideologische vooringenomenheid zijn meestal ook niet bevorderlijk voor de betrouwbaarheid van resultaten.
- * Open blijven om alle mogelijke fenomenen met een frisse wetenschappelijke blik te bekijken.
- * En vooral: u goesting doen krijgen om zelf op onderzoek te gaan!

O ja, u hebt het misschien al in de mot... Het is niet zo dat mijn spellingskorrektor kapot is.

Ik kan het gewoon niet over mijn hart krijgen een totaal inkonsequente spelling te gebruiken die door enkele wispelturige 'geleerden' opgesteld is die menen dat we 'muzikant' met een 'k' moeten schrijven, en 'musicoloog' met een 'c', of 'klas' en 'classificeren', 'lokaal' en 'locatie', of 'kwestie' maar ook 'quiz' enz. Er is bij mijn weten slechts één taal ter wereld waar de spelling zo slordig is opgesteld. Ik hanteer dus uit principe de spelling die tot in 1996 'progressief' werd genoemd.

Meer uitleg, zie www.astrovdm.com/toest_nl.htm.

Veel plezier!

$$a = \left(\frac{39}{56}\right)^{\frac{1}{16}} \approx 0.9776419$$

We zouden dit zo een aantal keren kunnen doen en daar dan het gemiddelde van nemen, maar een **regressie**-algoritme zoals dat van de TI-84, van GeoGebra, Excel, Quattro, zal ons gemakkelijker de beste waarden voor a en b geven.

Opgelet: het algoritme in alle genoemde software verdraagt geen y-waarden die 0 zijn (kan immers theoretisch niet, hoewel we ze wel gemeten hebben met onze onprecieze thermometer), dus de laatste 2 meetpunten moeten weggelaten worden. Met FittingKVdm is dit geen probleem (zie verder).

Steken we de 2 kolommen respectievelijk in L1 en L2 van de TI-84, en laten we hem dan rekenen (Stat, Calc, ExpReg), dan komen we aan:

$$a=0.9834804646$$

$$b=67.01196684$$

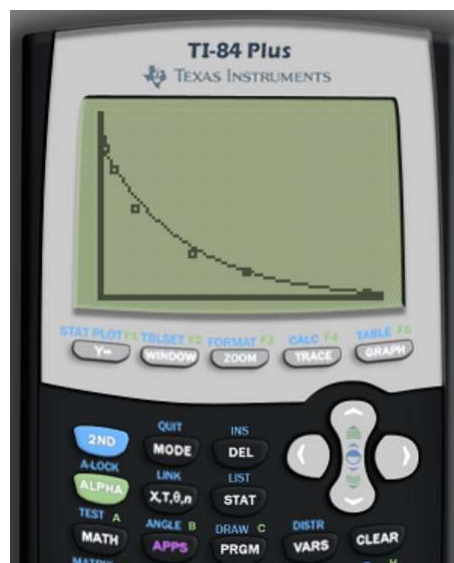
(Pas op: bij de TI-84 zijn a en b omgewisseld!)

Opm. de TI-84 geeft geen aanwijzing tot op hoeveel beduidende cijfers deze getallen eigenlijk betrouwbaar zijn.

We kunnen het temperatuursverloop van onze waterkoker dus beschrijven met:

$$\theta \approx 67.011 \cdot 0.98348^t + 24$$

Dat wil zeggen dat de overtemperatuur elke minuut zakte met $1 - 98.348/100 = 1.652\%$.



De berekende kromme loopt niet perfect door de meetpunten, maar toch ongeveer. Een rechte lijn zou er alleszins slechter door gepast hebben!

De berekende b is wat kleiner dan verwacht... Misschien was de thermostaat iets te vroeg uitgeslagen terwijl nog niet al het water aan het koken was? Of zijn we iets te laat begonnen met chronometreran (T zakt zeer snel in 't begin!)? De thermometer was niet echt nauwkeurig, dat kan ook een fout veroorzaakt hebben.

We kunnen nu vragen beantwoorden als:

* Met hoeveel % zakt de overtemperatuur per uur?

De groei per uur is: $a^{60} \approx 0.36808$, dus er gaat 63.192% af per uur.

(Pas op: neem voor a alle bekende cijfers na de komma, want als je een getal tot een grote macht verheft, wordt elke afwijking serieus uitvergroot; door a af te ronden op 0.98 zou je bv. 0.29755 krijgen i.p.v. 0.36808!)

Als we de tijd in uren uitdrukken, wordt het verloop dus zo beschreven:

$$\theta \approx 67.011 \cdot 0.36808^t + 24.$$

* Hoeveel zou de temperatuur moeten zijn na 20min?

$$\theta \approx 67.011 \cdot 0.98348^{20} + 24 \approx 67.011 \cdot 0.36808^{(1/3)} + 24 \approx 48.024^\circ\text{C}$$

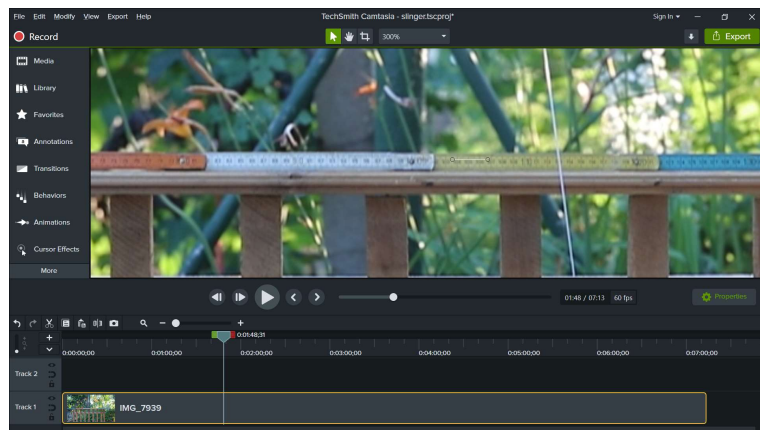
(20min is immers 1/3 uur.)

* Na hoeveel tijd zakt de temperatuur tot 30° (of de overtemperatuur tot 6° dus)?

op een statief of een stabiele positie netjes loodrecht voor de meetlat. We gebruikten een fotoestel op de laagste resolutie (om schijfruimte te sparen) maar wel op de hoogste snelheid.

Het ding in beweging brengen, is minder eenvoudig dan het lijkt. We begonnen daarom met een vrij grote uitwijking, en lieten de slinger rustig uitwiebelen tot we nog een nette harmonische beweging overhielden met een maximale uitwijking van ca. 12°.

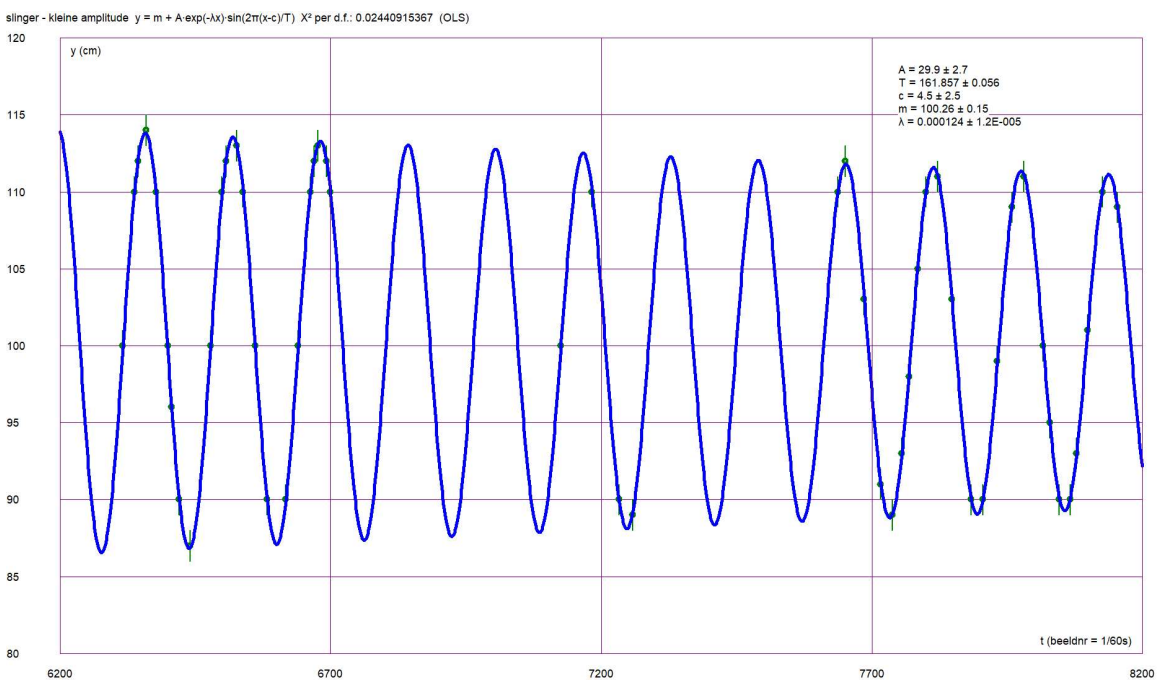
Dan heb je nog een programma nodig waarmee je het filmpje beeld per beeld kunt bekijken! Camtasia 2020 (Techsmith Corporation) voldeed hier prima.



Figuur 118: Het beeld-voor-beeld bekijken van de opname met Camtasia

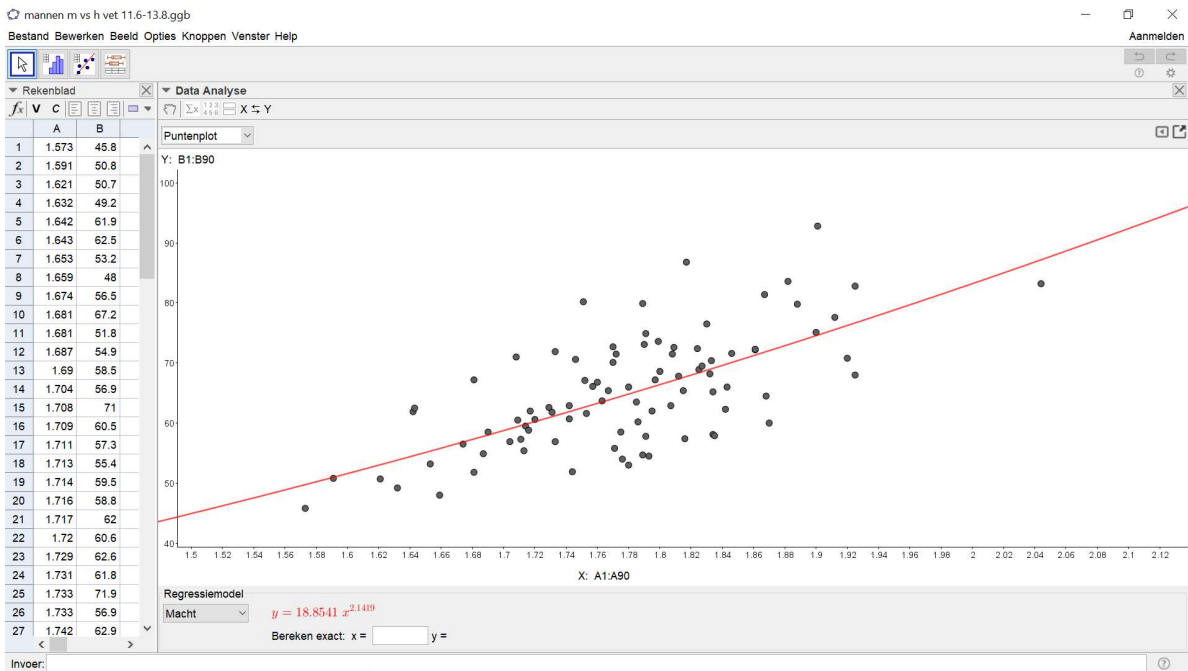
Regressie-analyse:

Een 51-tal tijdstippen en horizontale posities werden ingevoerd in FittingKVdm, om er dan de best passende gedempte sinusgolf door te zoeken.



Figuur 119: Horizontale koordpositie gemeten op een vouwmeter ongeveer halverwege de slinger (in cm), versus de tijd (beeldnummer)

Om het programma juist te laten convergeren met de iet of wat onregelmatige gegevens, is het hier wel nodig om een goede *schatting van T* als startwaarde op



Figuur 141: Massa versus hoogte bij 'ideale' mannen (gegevens NHANES), en gefitte machtsfunctie met GeoGebra.

Als de exponent wordt vastgehouden op 2, krijgen we: $m = 20.5918 \cdot h^2$. Die 20.59 wordt beschouwd als een prima BMI.

Bij een iets diepgravendere studie kwam ik echter tot de vaststelling dat er iets serieus scheelde met de klassieke techniek van 'best passende kromme' zoeken. Door die te verbeteren tot wat ik doopte '**multidirektionele regressie**', kwam ik tot een heel ander resultaat, namelijk $m = 10.482 \cdot h^{3.1581}$! De details leg ik verder uit in het hoofdstuk 'Regressie'. Dit is al heel wat dichterbij wat volgens de fysische schaalwetten te verwachten was, en het toont aan dat we de klassieke BMI-definitie mogen vergeten en de exponent van h gerust 3 mogen maken, of misschien zelfs meer. Tussen haakjes: die alternatieve 'BMI' zouden we 'BMI3' kunnen noemen, maar hij bestond eigenlijk al sinds 1921 onder de naam '**Corpulence Index**' (CI) of '**Ponderal Index**' (PI).

Hoe moeten we deze maatstaf m/h^3 dan interpreteren; welke CI is goed of slecht? Wel, als we een verband tussen CI en lichaamsvetpercentage kunnen vinden, zou ons dat al een goed idee kunnen geven, zeker? We selekteerden in de NHANES-gegevens dus een aantal mensen (16 en ouder) en deelden ze op in klassen volgens vetpercentage: $[10, 12[$, $[12, 14[$, enz. en berekenden telkens de best passende parameter a in het verband $m = a \cdot h^3$. (Je hebt daarvoor dus wel een programma nodig dat de exponent gefixeerd kan houden, zoals GraphPad Prism of FittingKVdm.) Die a is dus telkens de gemiddelde CI van elke groep. Ter vergelijking deden we hetzelfde met exponent 2, dan is a gelijk aan de BMI. Ziehier de resultaten:

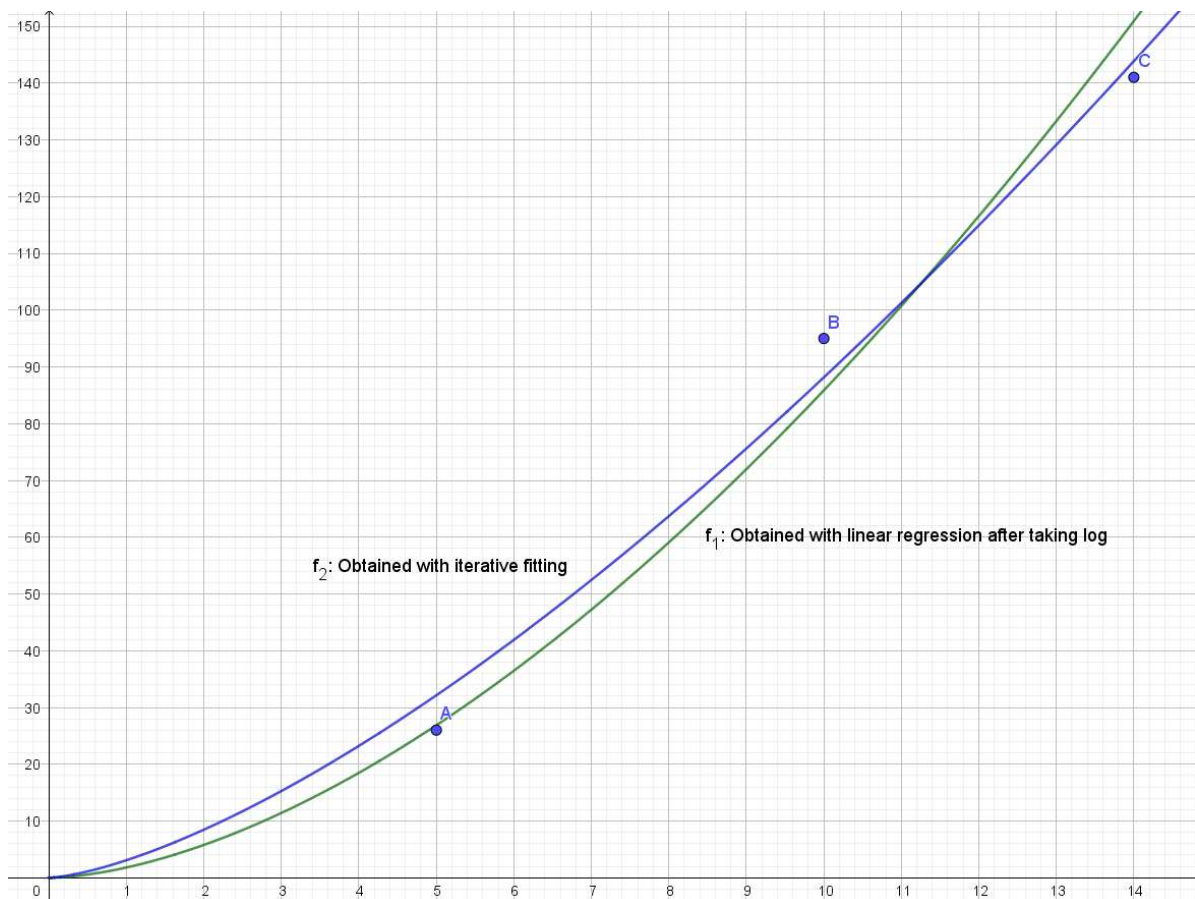
steken. Op het eerste zicht lijkt deze werkwijze dik in orde te zijn; in veel software gebeurt het op deze manier: in de TI-84-rekenmachines, GeoGebra, Graphmatica, Wolfram,... Op het tweede zicht echter niet. Wat is het probleem?

Probleem nummer 1 is: **de gewichten veranderen**. Voorbeeld, stel: $y_1 = 1000 \pm 10$ en $y_2 = 100 \pm 10$, dan is $\log(y_1) = 3 \pm 0.0043$ en $\log(y_2) = 2 \pm 0.044$. De tweede meetwaarde wordt daardoor plots zagezegd 'tien maal zo precies' en krijgt dus ten onrechte veel meer belang in de schatting van de parameters!

Om te zien welk effect dit heeft, laat ons eens de volgende meetwaarden aan de algoritmen voederen: meetpunt A: (5, 26), B: (10, 95), C: (14, 141). Om het simpel te houden, nemen we als meetfout gewoon 1.

Als we opgeven als verwacht verband: $y = a \cdot x^b$, dan geven de TI-84 en GeoGebra beiden: $a = 1.8106$ en $b = 1.6760$.

Programma's die iteratief werken, zoals mijn eigen 'FittingKVdm' en GraphPad Prism bv., geven: $a = 3.0896$ en $b = 1.4553$. Dat is niet bepaald een verwaarloosbaar verschil, en het is goed te zien in de grafiek hieronder.



Met de eerste methode (f_1) heeft het punt A duidelijk meer in de pap te brokken gehad, het ligt praktisch op de curve, maar B en C liggen er relatief ver af, en $\chi^2 = 13.509$. Met de tweede methode (f_2) gaat de kromme netjes tussen alle punten, en $\chi^2 = 9.632$, dus past ze écht wel beter.

Probleem nummer 2 is: **nullen**.

Stel dat je de thermische isolatie van een recipiënt wil testen. Je giet er wat heet water in en je meet het temperatuursverschil met de omgeving (stel $y = T - T_{\text{omg}}$, in °C) op verschillende tijdstippen (t in minuten) (zie eerder experiment).

Index

χ^2 per vrijheidsgraad	172	Bulgarije	151	exponentiële daling	81, 99
A Body Shape Index	142	Caltech	121	exponentiële functie	81
aardbevingsalarm	42	Cambier, Rudy	162	exposure value	92
aardrijkskunde	123	Camtasia	114	extrapolatie	182
absolute fout	9	candela	92	F-stop	93
absolute nulpunt	74	Cavendish, Henri	43	farad	58
absorptie	100	Celsius, Anders	71	Faraday, Michael	58
Accelerometer Analyzer	41	Centraal Bureau voor de Statistiek	150	farma-industrie	155
ADRReports	153	Chemnitz University of Technology	118	fasehoek	104
afgeleide	95	Chetty, Shankara	144	Fast Fourier Transform	117
afkoeling	81	chi kwadraat	110	Faststone Image Viewer	21
Aitken, Alexander	171	chi-kwadraat	135	Ferguson, Neil	149
aliasing	109	chi-kwadraat-test	163	filmen	39
Amontons, Guillaume	74	chronometer	81	FittingKVdm	133, 140, 177
ampère		CircuitLab.com	58	gedempte sinusmodel	114
definitie	49	cirkel	30	flitser	36
Ampère, André-Marie	49	Climate Intelligence (CLINTEL)	91	Foster	
ampèremeter	51	CO2	85, 87	Carey -	53
amplitude	104	confidence interval	9	foto-elektrisch effect	92
analoog-digitaal-omzetting	50	constantaan	53	fotocel	103
anemometer	67	Cornell Lab of Ornithology	118	fotograferen	36, 98
angst	132	coronakrisis	143	fotografie	92
Anscombe, Francis	171	Corpulence Index	140	fototoestel	26, 78
anthropometrische index	142	Correlation (tijdschrift)	165	Fourier, wet van -	85
antibiotika	154	coulomb	58	Fourier-analyse	116
Apollo 11	25	definitie	49	Frankrijk	
Archimedes	44	Covid-19-epidemie	90, 143	covid-19	150
Astrazeneca	153	Crok, Marcel	91	frekwentie	104, 116
astrologie	160, 165	curve fitting	170	Galilei, Galileo	35
Astronomische Eenheid	25	Data Master 2003	120	Galton, Francis	170
astronomische lengtepositie	106	datering	87	galvanometer	49, 51
atmosfeer		dcode.fr	22	Gates, Bill	156
lichtbreking	24	De Morgen	128	Gauquelin, Michel & Françoise	165
Atwater, Wilbur	85	Dean, Geoffrey	165	Gausskurve	131
Baai van Fundy	108	decibel	116	Gay-Lussac, Louis	74
badkuip	108	dendroklimatologie	87	geheugeneffect	12
balans	53	Desmet, Mattias	156	geluid	116
balg	29	deuterium	86	gemiddelde	130
ballon		diafragma	36, 93, 98	gemoedstoestand	160
- en windmeting	67	dichtheid		geneeskundig onderzoek	129
Barnum-effekt	160	- van een vloeistof	8	GeoGebra	30, 62
barometer	74	diëlektrikum	58	regressie	101
batterij		Digital Photo Professional	78, 99	geïode	107
inwendige weerstand -	55	diode	51	geopunt.be	33
ontlading	60	Dispersie	97	getijden	107
beduidende cijfers	8	Double Labeled Water	86	getijdenstromen	107
belang van een stad	123	Downar, Artur	41	gewicht	
Berkhout, Guus	91	driehoeksmmeetkunde	23	- bij regressie	133
Bernouilli, wet van -	67	druksensor	64	bij regressie	171, 173
betrouwbaarheidsinterval	9	dynamische druk	67	Global Monitoring Laboratory	91
Bezos, Jeff	156	dynamometer	48	Goebbels, Joseph	155
BirdNET	118	edelsteen	97, 126	Google Earth	123
bloedklonters	154	Einstein, Albert	7	Google Maps	32
blokgolfgenerator	65	elastiek	45	goud	44
BMR-vaksijn	154	elektrische grootheden	49	gradenboog	17, 40
Body Roundness Index	142	elektron	49	grafologie	160, 161
boldriehoeksmmeetkunde	32, 124	elementaire lading	49	Graphmatica	12, 46, 105, 108
Boltzmann, Ludwig Eduard Boltzmann		epidemie	143	GraphPad Prism	140
	72	Erathostenes	43	grijskaart	78, 93
boomringen	87	ergheid van een epidemie	143	Groenland	87
boventonen	117	examens	130	grondtoon	117
brekingsindex	94	Excel	119	gsm	26
Brinell, Johan August Brinell	127	excentriciteit		halfgeleider	51
Brokken, Sam	155	van aardbaan	87	Hamer, Ryke Geerd	159

handelswaarde	122	krasbestendigheid	125	moor (waterkoker)	81
hardheid	125	Krasnodar	105	mRNA	154
harmonischen	117	kruiskorrelatie	118	MS-Paint	28, 37
helderziendheid	162	kulminatie	107	Mullis, Kary	143
Hertz	116	kulturele wereldkaart	129	multidirektionele regressie	140
histogram	21	kunstmatige intelligentie	118	multimeter	74
hoeksnelheid	104	kustlijn	7	Musk, Elon	156
homeopathie	159	kwaliteit van een verbinding	123	mutaties	154
Hongarije	151	kwantificeren	122	muziekopname	110
hoogtebepaling	16	kwantummechanika	7	nauwkeurigheid	
Hooke, wet van -	42, 45	lading	58	vs resolutie	52
Huckvale, Mark	116	Lambert-Beer, wet van -	99	navigatie-instrument	26
humane wetenschappen	122	Lambertkoördinaten	33	Nederland	
hydrostatische druk	67	laser	94	covid-19	150
ideale gaswet	74	LDR: Light Dependant Resistor	103	Newton	
idrlabs.com	128	Lego	26	eerste wet van -	7
ijken		lens	27, 97	Newton, Isaac	
gsm-kamera voor hoekmeting	26	lichaamsvetpercentage	140	2de wet	40
illuminantie	92	licht	92	afkoelingswet	81
immunititeit	149	lichtmeter	93	Newton-Raphson-methode	185
impedantie	65	lichtsnelheid	6, 72, 94	NHANES	139
indrukweerstand	127	lichtsterkte	92	Nias, David	165
Infection Fatality Rate	145	Lighton, Hohn R.B.	86	nonsenskorrelatie	183
Inglehart, Ronald F.	129	Lindsey, Hazel	84	normalcdf	131
invnorm	131	lineaire transformatie	104	normale verdeling	9, 131
Ioannidis, John P.	145	lipide-nanodeeltjes	154	normaliteit meten	135
IQ-test	130	logaritme	172	Nostradamus	162
ISO	93	logaritmen	83	NTC	72
ISO-gevoeligheid	36, 98	logistische functie	101	nutatiebeweging	87
Israël		Lorentz, Hendrik Antoon	49	nylon	48
covid-19	155	lumen	92	oerknal	73
iteratief algoritme	175	lupus	154	ogen	25
Jensen, G.	121	Lüscher, Max	160	ohm	
JPG-bestand	99, 102	Lüscher-kleurentest	160	definitie	50
Juliaanse datum	106	lux	92	wet van Georg Simon -	51
Jupiter		maan		onbetrouwbaarheid van de media	158
in astrologie	165	afstand tot aarde	23	onderscheidend vermogen	103
kaars	78	getijden	107	oog	78, 92
kalorimetrie	84	maatbeker	8	oppervlakte	21
capaciteit	58	maatregelen tegen covid-19	148	optisch middelpunt van een lens	29
van een condensator	58	magnetisch veld	49	optische as	27
Kelvin	74	Malediven		orthodokse kerk	151
Kendall		covid-19	155	Orwell, George	156
Maurice -	136	Malone, Robert W.	155	oscillator	66
Kendall- τ	171	Mars		oscilloscoop	65, 116
kerstbalstelling	29	in astrologie	165	oversterfte	145
kijkhoek	26	massabepaling	11	overstromingen	89
kilogram	6	massadichtheid	44	O'Neill, Mike	165
kleinste kwadraten	170	massaspektrometrie	88	parallax	23
kleurentest	160	Mather, Arthur	165	parameters	
kleurschifting	97	meetbereik	12, 103	aanpassen	105
klimaatmodel		meetfout		passer	30
temperatuur	105	en regressie	171	PCR-test	143
klimaatonderzoek	129	Memo Master 2003	99	Pearson-R	137, 171
klimaatopwarming	87	Mendel, Gregor Johann	170	peplomeren ('spike proteins')	154
kognitieve vaardigheden	130	meter	6	periode	104, 116
Kollerstom, Nick	165	methaan	87	periodieke verschijnselen	104
kommunicerende vaten	17	Middellandse zee	108	PEW Research	129
kommunikatie		middelloodlijn	30	pitotbuis	67
kwaliteit kwantificeren	166	mikrofoon	116	pixels	28
concentratie	98	Milanković, Milutin	87	placebo	151
kondensator	42, 58	mindat.org	125	Planck	
konvolutie	121	minimum		konstante van -	6
koördinaten		benaderen van -	185	wet van -	78
aardrijkskundige -	32	Minnesota Multiphasic Personality Inventory		Planck, Max	72
koper	45	Mohs, Friedrich	125	politieke voorkeur	128
korrelatie	136, 171	mondmasker	132	polystyreen	
en causaliteit	183			brekingsindex van -	94

Ponderal Index	140	Smith, Robert L.	127	veeltermfunctie	182
positiviteitsratio	149	Snel van Royen, Willebrord	94	veer	44
potloden	127	Snellius		ventilator	68
Practical Ninjas	42	wet van -	94	venturibus	67
prisma	97	Society for Scientific Exploration	159	verbruik menselijk lichaam	84
proportie (fraktie)	132	soortelijk gewicht	44	Verenigde Staten	
PTC	72	soortelijke massa	44	covid-19	150
Quality-Adjusted Life Years	148	soortelijke warmte	71	versnelling	37, 40
Quattro	119	Soros, George	156	versnellingsmeter	67
raaklijn	185	Spaanse griep	147	Vickers-hardheidstest	127
raakparabool	186	spanning	49	View NX	99
radiantie	72	spanningsdeler	55	Vigen, Tyler	183
Radin, Dean	162	specifieke warmtecapaciteit	71	vochtigheidssensor	64
Radix-astrologiesoftware	167	spektrometer	100	vogelgeluiden	118
randgebieden van de wetenschap	159	spektrum	116	volle maan	165
randomiseren	185	standaardafwijking	9, 10, 13, 130	volt	
randomisering	168	stardate	106	definitie	50
Real Time Spectrum	116	statista.com	154	Volta, Alessandro	50
refractiveindex.info	97	stemtesten	128	voltmeter	51, 55
regressie	46, 105, 169	steradial	92	ingangsweerstand	60
andere -	97	Straat van Gibraltar	108	von Hardtmuth, Friedrich	127
Deming-	177	straling	72	vouwvervorming	110
exponentiële	62, 82, 101	stroboskoop	36, 111	vragenlijsten	
fout op de parameters	178	stroomsterkte	49	problemen met -	128
gewogen -	171	Suez-kanaal	108	vrijheidsgraden	110, 164, 172
kwadratische -	37	Sulock, Michael	183	vulkaanuitbarstingen	88
lineaire -	12, 76, 100, 133, 170	synodische maand	107	warmte	71
logistische	101	t-test	13	warmteflux	85
multidirektionele -	176	taaiheid	125	warmtegeleidingscoëfficiënt	85
niet-lineaire -	172	tau		water	71
orthogonale -	177	Kendall-	136	waterpas	41
rationale -	57	telepathie	162	Wathelet, Marc	155
rekenblad	119	temperatuur	71	wavelet	118
relatieve fout	8	tendens zoeken	133	weegschaal	8, 11, 41
representativiteit	129	Test-Aankoop	128	weerstand	103
residu's		Thales, stelling van -	16	elektrische -	51, 58
van een regressie	184	theodoliet	29	elektrische - en temperatuur	71
resolutie	52	thermistor	72	inwendige - batterij	55
resonantie	108	thermokoppel	72, 74	inwendige - voltmeter	55
Rockwell, Hugh M.	127	thermometer	71, 74, 81	Wegener, Alfred	159
Rockwell, Stanley P.	127	Thomson, William	74	Welzel, Christian	129
Rorschach-test	135	TI-84	82	Wereldgezondheidsorganisatie	145
rotatiematrix	31	normale verdeling	131	wessa.net	121
Sandland, George E.	127	tijdreeks	116	Weston-cel	50
schaduw	16	titratie	54	Wheatstonebrug	52
scherpstel-afstand	29	toerental	111	Wien, Max	
schietlood	17, 40	tone mapping	102	brug van -	66
schommel	108	transistor	51	wind meten	67
Schwab, Klaus	156	trillingssensor	64	Windows Media Player	35
Seebeck, Thomas Johann	72	tussenring	29	windturbine	68
sekonde	6	uitzetting	71	witbalans	98
sensor	29	Urbanus	149	World Economic Forum	156
versnellings-	42	VAERS	153	World Values Survey	129
sextant	17	vaksinatie		z-skore	130
Seychellen		nut	150	zeespiegel	107
covid-19	155	schade	152	zelfattributie	165
Sheldrake, Rupert	164	vals-negatief	143	ziekte van Marek	154
Sherry, David	73	vals-positief	143	zon	80
signifikantietest	137	vals-positieven	143	getijden	107
sinusfunctie	104	valversnelling	35	zonne-energie	87
sinusregel	23	meten met slinger	113	Zuidpoolgebied	87
sklerometer	126	van der Zanden, Jan	150	zwaartekracht	35, 40
slangwaterpas	17	Vanden Bossche, Geert	155	zwaartepunt	113
slinger	113	Vandenbroucke, Frank	155	zwaarteveldsterkte	113
slingerkwadrant	17	variantie	10	zwart lichaam	72
sluitertijd	36, 93, 98	veelterm		Zweden	149
smaken	122	vermenigvuldiging en konvolutie	121		
Smit, Rudolph	165				