

Biologie een 'zacht bètavakvak'? Nou nee – het kan even kwantitatief zijn als natuurkunde! In de komende Niches een drieluik over kwantitatieve biologie in het vwo. Deel 1 geeft een overzicht van de grootheden en 'kwantitatieve' vaardigheden in eindtermen en eindexamens.

Kwantitatieve biologie in het vwo

Deel 1: een overzicht

Michiel van Eijck en Ton Ellermeijer

Mathematics is as little a science as grammar is a language – Ernst Mayr

Bovenstaande uitspraak is van een bioloog – en dat kan verbazing wekken. Maar ook bij biologie speelt kwantificeren een belangrijke rol. Alleen zijn levende systemen vaak zo complex, dat de wiskunde geen bruikbaar gereedschap is. Biologen observeren, classificeren en beschrijven daarom meer dan hun vakgenoten bij andere bètavakken. Maar zodra het mogelijk is, gaat ook een bioloog tellen, meten en rekenen.

Maar op school lijkt dat anders te liggen. Biologie staat daar bekend als een weinig kwantitatief vak. Recent heeft de minister besloten om natuurkunde uit het profiel Natuur & Gezondheid te halen en het aandeel biologie in het profiel te vergroten. Hierdoor zou het profiel voor leerlingen met minder bètatalent aantrekkelijk zijn, en zou er tenminste nog voor natuurwetenschappelijk onderwijs worden gekozen.

Aan de andere kant zijn er ontwikkelingen die daar haaks op staan. Op universiteiten wordt er geklaagd dat biologiëstudenten op bètavak helemaal niets meer kunnen en willen. De studenten zelf komen geregeld van een koude kermis thuis en schrikken enorm van het noodzakelijke minimum aan wiskunde dat elke bioloog toch moet beheersen. En dat terwijl het biomedische onderzoek een razendsnelle ontwikkeling doormaakt, en er wordt geschreeuwd om biologen die een opleiding hebben gehad met zoveel mogelijk wiskunde, natuurkunde en scheikunde.

Er lijkt iets niet te kloppen. In 1993 is de vakinhoud van biologie grondig herzien. In 1998 is deze vakinhoudelijke herziening aangevuld met de komst van vaardigheden. Biologie werd hierdoor een exacter vak, ook op de middelbare school. Maar in de politiek en bij docenten en scholieren lijkt een ander beeld te bestaan. Het is dus goed om uit te zoeken hoe het werkelijk zit. Hoe 'kwantitatief' is het vwo biologie nu eigenlijk?

In een reeks van drie artikelen zullen we proberen een beeld te schetsen van de kwantitatieve kant van het schoolvak biologie. In dit eerste artikel beperken we ons tot een overzicht van het voorkomen van grootheden en 'kwantitatieve' vaardigheden in eindtermen en eindexamens voor vwo biologie. Daarmee gaan we na hoe groot daarin het aandeel van de kwantitatieve biologie is. In de artikelen daarna zoomen we in op individuele grootheden en kwantitatieve vaardigheden. We kijken hoe daarmee wordt omgegaan in eindtermen en in eindexamens, en hoe docenten daar uiteindelijk weer mee omgaan. Hiermee hopen we een gedetailleerd beeld te geven van de uiteindelijke uitwerking van de kwantitatieve biologie in vwo biologie.

Kwantitatieve vaardigheden in eindtermen

Met de invoering van de Tweede Fase zijn vaardigheden expliciet in het examenprogramma opgenomen. Uiteraard gaat het bij reken/wiskundige vaardigheden (*tabel 1*) om het kunnen omgaan met hoeveelheden.

Tabel 1
Reken-/wiskundige vaardigheden uit het examenprogramma vwo biologie

Subdomein: Reken/wiskundige vaardigheden

De kandidaat kan

- 9 basisrekenvaardigheden uitvoeren:
 - een (grafische) rekenmachine gebruiken;
 - rekenen met verhoudingen, procenten, machten, wortels.
- 10 berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren.
- 11 wiskundige technieken toepassen:
 - omwerken van eenvoudige wiskundige betrekkingen;
 - rekenen met evenredigheden (recht en omgekeerd);
 - kansrekening: productregel.
- 12 afgeleide eenheden herleiden tot eenheden van het SI met behulp van omzettingstabellen.
- 13 uitkomsten schatten en beoordelen.
- 14 uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers:
 - een uitkomst mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is.

Tabel 2
Kwantitatieve vaardigheden uit het examenprogramma biologie

Subdomein: Informatievaardigheden

- 17 benodigde gegevens halen uit grafieken, tekeningen, simulaties, schema's, diagrammen en tabellen en deze gegevens interpreteren, mede met behulp van ICT.
 - onder andere het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules.
- 18 gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT.
- 21 informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT.

Subdomein: Technisch-instrumentele vaardigheden

- 25 gebruik maken van micro-elektronica systemen voor het meten en regelen van grootheden.
- 26 aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten.

Subdomein: Onderzoeksvaardigheden

- 41 relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen.

Daarnaast zijn er meer vaardigheden waarbij de leerling wel met hoeveelheden moet kunnen werken (tabel 2).

Tot slot zijn er nog vaardigheden die betrekking kunnen hebben op het werken met getallen en hoeveelheden: een taalvaardigheid (5), een technisch-instrumentele vaardigheid (24) en enkele informatievaardigheden (15, 19, 20, 22), onderzoeksvaardigheden (35 t/m 40 en 42 en 43) en ontwerpvaardigheden (28 t/m 34). Ook de twee vaardigheden specifiek voor biologie (48, 49) kunnen betrekking hebben op hoeveelheden.

Kortom, in ongeveer een kwart van de vaardigheden is dus uitdrukkelijk gesteld dat de leerling met hoeveelheden moet kunnen werken en bij de helft van de vaardigheden kan sprake zijn van een getalsmatige invalshoek. Slechts bij een kwart van de vaardigheden komen helemaal geen getallen aan de orde.

De vaardigheden zijn voor alle natuurwetenschappelijke vakken hetzelfde (ANW, natuurkunde, scheikunde en biologie), afgezien van de vakspecifieke

vaardigheden. Dit laat zien dat biologie in principe net zo kwantitatief kan zijn als natuurkunde. Uiteraard valt de praktijk vaak anders uit. Bij biologie worden bijvoorbeeld minder vraagstukken gemaakt waarbij gerekend moet worden. Dit komt omdat in de biologie de wiskunde vaak geen geschikt gereedschap is om problemen aan te pakken. Of de wiskunde is van zo'n complexiteit dat we leerlingen er niet mee lastig kunnen vallen. Het kwantitatieve van de biologie is dus vakspecifiek. In het examenprogramma wordt dat onderkend: "het centrale examen [heeft] betrekking op de domeinen B tot en met E in combinatie met de vaardigheden uit domein A".

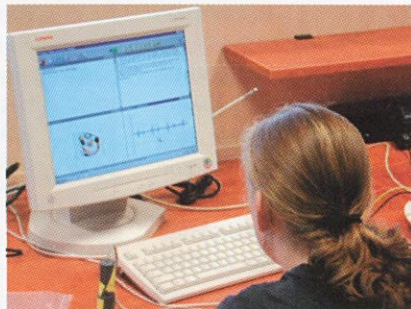
Kwantitatieve vakinhoudelijke subdomeinen in het examenprogramma

Niet alle vakinhoud is geschikt voor tellen, meten en rekenen, zeker niet in de biologie. Een interessante vraag is in welke vakinhoudelijke subdomeinen (tabel 3) de kwantitatieve kant van biologie vooral tot uiting komt. Dit is relevant voor bijvoorbeeld het ontwikkelen van practica en het plannen van een praktische opdracht waarbij wordt gemeten, geteld of gerekend. Om die vraag te beantwoorden, kijken

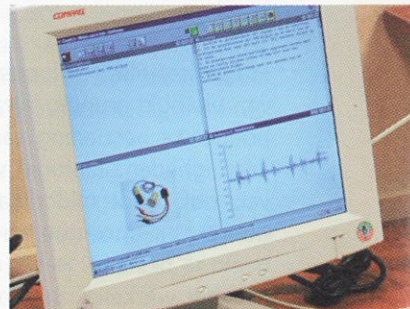
Enkele foto's van de eerste try-out van *Met en aan je Hart* in de Studio Classroom van het AMSTEL instituut.



Leerlingen nemen een ECG op



Met een tool van Coach 5 zoomt een leerling in op een deel van de resultaten van de meting van de harttonen



Een fraai resultaat van een meting van de harttonen!

we wat gedetailleerder naar de vakinhoudelijke eindtermen (zie **tabel 3**).

De 'kwantitativiteit' van een vakinhoudelijk subdomein hangt af van verschillende factoren. Ten eerste van het aantal eindtermen dat expliciet grootheden bevat. En ten tweede van de hoeveelheid verschillende grootheden in de subdomeinen. Uitgaande van deze veronderstellingen hebben we de eindtermen geanalyseerd. Dit geeft een indicatie voor de 'kwantitativiteit' van een subdomein. In **tabel 4** staat het resultaat hiervan. Per subdomein is aangegeven in hoeveel eindtermen grootheden worden genoemd. Daarnaast is per subdomein gegeven hoeveel grootheden in alle 'kwantitatieve' eindtermen van dat subdomein worden genoemd.

Ondanks dat het slechts om een indicatie gaat, komen uit **tabel 4** een aantal interessante resulta-

ten tevoorschijn. In iets minder dan eenderde van de eindtermen worden één of meer grootheden genoemd. In totaal worden in de eindtermen 173 grootheden genoemd. Deze zijn niet allemaal verschillend. De grootheid 'lichtintensiteit' komt bijvoorbeeld in meerdere eindtermen voor. Hiervoor hebben we gecorrigeerd; dan blijken er toch nog 140 verschillende grootheden over te blijven.

Een aantal subdomeinen lijkt bijzonder kwantitatief: E1, E2 en E3. Ook de subdomeinen D1, D2, D4 en E5 scoren hoog. Hierbij moeten we aantekenen dat bepaalde subdomeinen weinig eindtermen hebben, zoals subdomein E3, en dat de uitslag niet zo veelzeggend is. Overigens kunnen we ook zien dat biologie docenten die niet van de kwantitatieve biologie houden, zich kunnen uitleven in de domeinen B3, B4, C3 en E6. De eindtermen van deze domeinen bevatten helemaal geen grootheden.

B: Structuren	C: levenscyclus
B1: Structuren van ecosystemen	C1: Levenscyclus en erfelijke informatie
B2: Structuren van soorten en populaties	C2: Levenscyclus van de mens
B3: Structuren van organismen	C3: Levenscyclus van cellen
B4: Structuren van cellen	
D: Metabolisme	E: Dynamiek en homeostase
D1: Energie en materie	E1: Dynamiek in ecosystemen
D2: Metabolisme van planten	E2: Ontstaan en handhaving van verscheidenheid
D3: Metabolisme van de mens	E3: Invloed van de mens op ecosystemen
D4: Dissimilatie and assimilatie	E4: Ethologie
D5: Eiwitsynthese	E5: Homeostase
	E6: Bescherming van het interne milieu

Tabel 3
Vakinhoudelijke subdomeinen van het examenprogramma vwo biologie

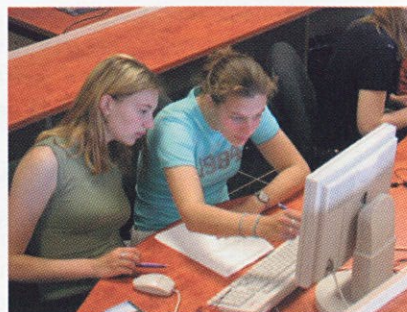
Foto's: Joost Termeer



eractieve menustructuur van ist een leerling de weergave van en van de harttonenmeting aan



Leerlingen interpreteren een ECG...



... en het resultaat van een harttonenmeting

Tabel 4
iteit' van
neinen in
program-
biologie

Domein	# Eindtermen totaal	# Eindtermen met grootheden	(%)	# Grootheden in subdomein	# Grootheden per eindterm kwantitatief
B1	6	2	33	11	1.8
B2	7	1	14	1	0.1
B3	4	0	0	0	0.0
B4	9	0	0	0	0.0
C1	14	4	29	6	0.4
C2	19	2	11	6	0.3
C3	9	0	0	0	0.0
D1	15	6	40	10	0.7
D2	13	6	46	13	1.0
D3	26	8	31	39	1.5
D4	13	6	46	14	1.1
D5	17	2	12	6	0.4
E1	8	6	75	19	2.4
E2	6	4	67	9	1.5
E3	2	2	100	12	6.0
E4	13	3	23	9	0.7
E5	22	10	45	18	0.8
E6	13	0	0	0	0.0
Totaal	216	62		173	

Een ander plaatje ontstaat er wanneer we naar het aantal genoemde grootheden per subdomein kijken. Een echte uitschieter is domein D3, met 39 verschillende grootheden die in de eindtermen worden genoemd. Maar dit subdomein telt ook 26 eindtermen. Interessanter is het dus naar het aantal grootheden per eindterm te kijken. Dan scoren de subdomeinen B1, D2, D3 en D4, E1, E2 en E3 hoog: ieder gemiddeld meer dan één grootheid per eindterm.

Kortom, het lijkt er in ieder geval op dat er een beperkt aantal domeinen is, waarin we er goed aan doen juist dáár een praktische opdracht te plannen waarbij wordt gemeten, geteld of gerekend.

Kwantitatieve vakinhoudelijke subdomeinen volgens de examens

Idealiter zouden de centrale examens het zelfde beeld moeten geven als de eindtermen. We hebben zeven centrale examens vwo biologie uit de periode 1995-2001 (eerste tijdvak) geanalyseerd op het

voorkomen van grootheden. In *tabel 5* staan voor de examens de aantallen verschillende genoemde grootheden per examen.

Een interessant gegeven is dat leerlingen tijdens bijna alle examens in de helft of meer van de vragen geconfronteerd worden met grootheden. Dit is dus afwijkend van de eindtermen in het examenprogramma, waarin in een kwart van de eindtermen grootheden worden genoemd.

Verder hebben we een met de eindtermen vergelijkbare analyse uitgevoerd bij de zeven genoemde examens. De resultaten daarvan staan in *tabel 6*. Per vakinhoudelijk subdomein hebben we geteld hoeveel examenvragen grootheden bevatten (die functioneel werden gebruikt in de examenvraag). Ook hebben we per subdomein geanalyseerd hoeveel verschillende grootheden de 'kwantitatieve' vragen bevatten.

De subdomeinen B1, B3, D1, D2, D3, E1, E2 en E3 blijken hier de meest kwantitatieve subdomeinen. Hierin worden bij twee op de drie examenvragen grootheden genoemd. Wat betreft de verschillende grootheden die in de vragen worden genoemd is ook domein D3 weer een echte uitschieter. We kwamen in de examens 59 verschillende grootheden tegen in vragen over dit subdomein. Maar er zijn in dat subdomein ook veel kwantitatieve examenvragen. Bepalen we het aantal grootheden per kwantitatieve examenvraag, dan is het plaatje heel anders. Dan blijken in de subdomeinen D2, D5, E4 en E6 per kwantitatieve examenvraag twee of meer grootheden te worden genoemd.

De examens en eindtermen lopen nogal uiteen wat de genoemde grootheden betreft. Dat in domein E6 per examenvraag twee of meer grootheden worden genoemd, is opmerkelijk. In de eindtermen van dit

Examen	# vragen	# vragen kwantitatief	# grootheden per examen
1995	43	21 (49%)	53
1996	44	25 (57%)	44
1997	46	26 (57%)	36
1998	44	21 (48%)	52
1999	41	15 (37%)	16
2000	44	28 (64%)	43
2001	40	23 (58%)	36

subdomein worden namelijk helemaal geen grootheden genoemd! Iets dergelijks is het geval voor de domeinen B3, B4, C3. In de eindtermen wordt bij deze domeinen geen enkele grootheid genoemd, terwijl in examens in respectievelijk 67%, 27% en 31% van de vragen één of meerdere grootheden wordt genoemd.

Tabel 5
'Kwantitativiteit' van enkele examens vwo biologie

SD	# Vragen	# Vragen met grootheden	%	# grootheden in vragen met grootheden	# grootheden per vraag met grootheden
B1	15	11	73 %	20	1.8
B2	2	0	0 %	-	-
B3	3	2	67 %	3	1.5
B4	15	4	27 %	5	1.3
C1	27	11	41 %	6	0.5
C2	11	1	9 %	1	1.0
C3	13	4	31 %	3	0.8
D1	18	14	78 %	24	1.7
D2	6	4	67 %	18	4.5
D3	40	33	83 %	59	1.8
D4	19	9	47 %	17	1.9
D5	30	7	23 %	16	2.3
E1	15	13	87 %	15	1.2
E2	11	11	100 %	9	0.8
E3	14	13	93 %	10	0.8
E4	12	7	58 %	18	2.6
E5	18	11	61 %	12	1.1
E6	15	4	27 %	18	4.5
Totaal	284	159	56 %		

Tabel 6
'Kwantitativiteit' van de subdomeinen in examens vwo biologie

Tabel 7
Moeilijke 'kwantitatieve' vragen per subdomein in examens vwo biologie



SD	Moeilijke vragen met grootheden (%)
B1	18
B2	0
B3	100
B4	75
C1	36
C2	0
C3	100
D1	57
D2	50
D3	45
D4	67
D5	71
E1	38
E2	73
E3	31
E4	43
E5	64
E6	0

In welke subdomeinen liggen de problemen?

Een interessante vraag is in welke domeinen het gebruik van kwantitatieve gegevens problematisch is. Om deze vraag te beantwoorden, hebben we gebruik gemaakt van de toets- en itemanalyse van het Cito. We hebben uiteindelijk per subdomein bepaald voor welk gedeelte van de kwantitatieve examenvragen minder dan 70% van de leerlingen het juiste antwoord vond. Daarbij hebben we gecorrigeerd voor onbetrouwbare vragen; die hebben hun moeilijkheid meestal te danken aan verwarrende teksten, formulering, etc., in plaats van dat ze vakinhoudelijk moeilijk zijn.

De betrouwbaarheid (R_{ir}) van een vraag is de correlatie tussen de score op de vraag en de eindscore min de score op die ene vraag. Vragen met een R_{ir} -waarde lager dan 15% worden als zeer onbetrouwbaar aangemerkt; die hebben we dan ook weggelaten. In **tabel 7** staat het uiteindelijke resultaat.

Uit de tabel blijkt dat kwantitatieve examenvragen vooral problemen geven in de subdomeinen B3, B4, C3, D4, D5 en E2. Van de subdomeinen B3, B4 en

C3 hadden we al eerder vastgesteld dat er grootheden in de examens worden genoemd, terwijl er in de eindtermen geen grootheden worden genoemd. Het is dus niet vreemd dat hier zo veel vragen problematisch zijn. Leerlingen zullen in deze subdomeinen wel zelden hebben geoefend met kwantitatieve problemen.

De problemen met de kwantitatieve examenvragen in de subdomeinen D4, D5 en E2 kunnen we verklaren doordat het nogal abstracte onderwerpen zijn, waarbij een beroep wordt gedaan op scheikundig of wiskundig inzicht. Let ook op de subdomeinen D2 en D3. In deze subdomeinen komen relatief veel examenvragen met grootheden voor, en deze worden in de helft van de gevallen moeilijk gevonden. Dit zijn domeinen waarin natuurkundige basiskennis vaak een grote rol speelt.

Conclusies en implicaties

In dit artikel hebben we geprobeerd een overzicht te geven van de kwantitatieve kant van het vwo biologie in het examenprogramma en de eindexamens. We vatten hier de belangrijkste resultaten nog eens samen en gaan na wat dat voor het onderwijs betekent.

Om te beginnen zijn de 'kwantitatieve vaardigheden' dezelfde als bij natuurkunde en scheikunde. Hiermee wordt onderkend dat biologie zich net zo goed bedient van mathematische technieken als natuurkunde en scheikunde. Desondanks is de vakinhoud bepalend voor de manier waarop we met de kwantitatieve vaardigheden omgaan.

Leerlingen die eindexamen biologie doen, moeten goed met veel verschillende grootheden kunnen omgaan. Volgens de eindtermen zien leerlingen in het vwo biologie minimaal 140 verschillende grootheden de revue passeren. En in een gemiddeld eindexamen spelen in de helft van de vragen een of meerdere grootheden een functionele rol, waarbij het aantal verschillende grootheden kan oplopen tot meer dan 50.

De 'kwantitatieve kant' van biologie manifesteert zich in een beperkt deel van de vakinhoud. Er zijn uitgesproken kwantitatieve subdomeinen, waar leerlingen weinig problemen hebben met de kwantitatieve vragen in de eindexamens. Maar er zijn ook een paar problematische kwantitatieve subdomeinen. Op een aanzienlijk deel van de examenvragen waarin die subdomeinen worden getoetst, scoren leerlingen overwegend slecht. De problemen zijn

op twee oorzaken terug te voeren. Ten eerste zijn de eindtermen niet kwantitatief, terwijl de examens toch kwantitatieve vragen over deze subdomeinen kennen. Dit probleem kan worden opgelost door de eindexamens in overeenstemming te brengen met de eindtermen wat het gebruik van kwantitatieve gegevens betreft. Ten tweede moeten leerlingen bij het beantwoorden van de examenvragen in bepaalde subdomeinen vaak een beroep doen op natuurkundige, chemische en mathematische kennis en vaardigheden. De subdomeinen gaan over onderwerpen van een hoog abstractieniveau, waarvan biologiedocenten waarschijnlijk wel zullen herkennen dat die problematisch zijn: genetica, stofwisseling en fysiologie.

Naar aanleiding van dit overzicht kunnen we concluderen dat het vwo biologie behoorlijk exact is en dat het imago als 'zacht' bètavak niet helemaal op zijn plaats is. Het is dan ook eigenlijk vreemd dat leerlingen met weinig bètatalent het profiel Natuur

& Gezondheid kunnen kiezen, en tegelijkertijd natuurkunde kunnen laten vallen. De biologiedocent zal zich enorm moeten gaan inspannen om deze leerlingen door de fysiologische subdomeinen te loodsen. Een alternatief zou zijn om het vwo biologie dan maar minder kwantitatief te maken. Maar dit is een onwenselijk alternatief; het karikaturiseert de biologie en doet geen recht aan de behoefte van de universiteiten en het biomedisch onderzoek.

Maar waar komt nu het idee vandaan dat biologie zo weinig kwantitatief is? Het beeld dat we tot nu toe hebben geschetst van het vwo biologie kan dat niet bevestigen. Misschien moeten we maar een verder inzoomen op het gebruik van grootheden in de eindtermen en eindexamens. Wordt vervolgd! **n**

MICHEL VAN EIJCK (MEUCK@SCIENCE.UVA.NL) EN TON ELLERMEIJER
ZIJN ONDERZOEKERS AAN HET AMSTEL INSTITUUT VAN DE UNIVERSITEIT
VAN AMSTERDAM.

Referentie

Mayr, E. (1997)
*This is Biology,
the science of the
living world.*
Cambridge,
Massachusetts:
Belknap Press.

ADVERTENTIE

en spannend avontuur op DE SIRIUS Aan boord bij Greenpeace!



Greenpeace voert al meer dan 30 jaar vreedzaam actie voor een groene wereld. Wij bieden u de mogelijkheid om een kijkje te nemen in onze keukens! Breng met uw eerste of tweede klas een bezoek aan voormalig actieschip de Sirius.

U ziet uw klas hoe Greenpeace actie voert. Geweldloosheid, communicatie en samenwerking daarbij centraal. Het hele schip is toegankelijk: van de stuurhut tot de machinekamer, van de boot op het dek tot het vooronder met alle actiematerialen. Ook is er aandacht voor verschillende problemen en bespreken we hoe kinderen zelf kunnen bijdragen aan een schonere, groene wereld.

Voor meer informatie of voor het maken van een afspraak naar 0800-422 33 44, of e-mail naar info@greenpeace.nl



GREENPEACE