

DE VLAAMSE TOP

Vlaamse topwetenschappers worden tot ver buiten onze grenzen gewaardeerd. *Knack* vroeg aan zijn lezers welke wetenschappelijke kwesties zij het belangrijkste vinden. Gewapend met hun vragen trok Dirk Draulans de wereld rond. Tien weken lang: de slimste mensen van Vlaanderen. In deel 4: Gentechnoloog Kevin Verstrepén.

Gentechnoloog Kevin Verstrepén bewijst dat specialiseren in gisting grote inzichten in ziektes kan opleveren. Een gesprek over bieren met bananensmaak, groene baarden en het mechanisme van sociaal gedrag. DOOR DIRK DRAULANS

De kracht van de herhaling

Een universiteitslaboratorium dat Castel in huis heeft. En Flag! Het beste van het beste van de Afrikaanse bieren. Het kan, in de bierstad bij uitstek, Leuven. De wetenschappelijke loopbaan van Kevin Verstrepén kreeg vorm in het laboratorium voor Mouterij- en Brouwerijtechnologie van de Katholieke Universiteit Leuven.

De gisten die hij bestudeerde om hun rol in de bier- en wijnproductie te verhelderen, blijven hem achtervolgen, en inspireerden hem zelfs tot een opgemerkt artikel waarin hij aan de fundamenteen raakt van misschien wel de mooiste wetenschappelijke verwezenlijking aller tijden: de evolutietheorie.

Het lijkt logisch dat een Leuvense student die geïnteresseerd is in gisten in de brouwerijwereld terecht komt. Maar Verstrepén's gistcarrière begon in Zuid-Afrika.

KEVIN VERSTREPÉN: Als laatstejaarsstudent wilde ik per se naar het buitenland, en ik heb toen een brief geschreven naar een Zuid-Afrikaanse expert in wijnbiotechnologie, die gasthoogleraar was in Leuven, met de vraag of ik mocht komen. Het mocht.

Was het de specifieke aantrekkingskracht van werken met wijn?

VERSTREPÉN: De man maakte een mooie combinatie van fundamenteel en toegepast onderzoek, met geld van de overheid én de industrie. Ik zat ook op die balans en werkte aan het genetisch modificeren van giststammen om er betere wijn mee te kunnen maken.

Is uw wijn te koop?

VERSTREPÉN: Nee, het was een oefening, maar de Zuid-Afrikanen houden het resultaat achter de hand voor als er ooit een markt voor bestaat.

Voor uw doctoraal examen ging u bier bestuderen. Is dat nu van je hobby je werk maken?

VERSTREPÉN: Nee hoor, werken op de genetica van biergisten verschilt in niets van wat eender welke geneticus zou doen.

Wat is er zo interessant aan gistcellen?

VERSTREPÉN: Het zijn eencellige organismen, die gemakkelijk en goedkoop te kweken zijn, en waarvan je er probleemloos 10 miljoen het hoekje om kunt helpen zonder dat Gaia of Greenpeace aan je deur staat. Daarenboven lijken ze sterk op menselijke cellen. Ze zijn bruikbaar als model voor hogere organismen. Weinig mensen weten dat, maar de basis van de gekkekoeienziekte is in gistcellen onderzocht. Er gebeurt ook veel kankeronderzoek op gistcellen.

Hoe komt het dat gistcellen zo weinig van menselijke cellen verschillen?

VERSTREPÉN: Een gistcel beschikt over 5000 genen, waarvan de meeste ook bij de mens voorkomen. De mens heeft 20.000 genen, en is dus een stuk complexer. Maar de basisprincipes van de samenwerking zijn dezelfde voor mens en gist.

Men zou verwachten dat een mens eindeloos veel genen meer heeft dan een gistcel.

VERSTREPÉN: Inderdaad, maar dat is niet het geval. Genetisch gesproken zijn wij veel minder complex dan vele mensen geneigd zijn te denken. ▶



↙
Topwetenschapper
Kevin Verstrepen

Domein
Gentechnologie

Ambitie
Via de studie van genen
ziektes ontraadselen

'Het is niet noodzakelijk slecht dat we meer moeten betalen voor onze voeding. Pas dan zullen we ons gedrag aanpassen.'

► zeker in vergelijking met kleine organismen als gist.

Wij gebruiken gist in vele processen. Doet gist in bier en brood hetzelfde?

VERSTREPEN: In feite wel. Gistcellen eten en vermenigvuldigen zich. Je geeft ze suiker, en die zetten ze om in alcohol en koolstofdioxide. In bier gaat het uiteraard vooral om de alcohol, in brood geeft de koolstofdioxide de luchtigheid die nodig is bij het rijzen. De alcohol verdampt bij het bakken van het brood. Maar het gaat wel degelijk om dezelfde gist. In de middeleeuwen ging de brouwer die door zijn gistvoorraad was langs bij de bakker, en omgekeerd.

Zijn gisten algemeen aanwezig in de natuur?

VERSTREPEN: Ze zijn een onderdeel van de grote familie van de schimmels, samen met bijvoorbeeld de paddenstoelen, maar er is weinig over hun ecologie bekend, en dat stoort me wat. Voor veel onderzoekers zijn ze blijkbaar niet meer dan wezentjes die op een druif zitten te wachten tot die begint te rotten, zodat ze aan haar suikers kunnen. Ecologen hebben de vreemdste dieren bestudeerd, tot en met de zeldzaamste kangoeroe, maar aan gist zijn ze nooit gekomen. We merken dat het artificieel uitschakelen van sommige genen geen verschil maakt voor de activiteit van gistcellen in laboratoriumculturen. Die genen hebben

SAMENKLITTENDE GISTCELLEN

'Je kunt probleemloos 10 miljoen gistcellen om het hoekje helpen zonder dat Gaia aan de deur staat.'



SCIENCE PHOTO LIBRARY



GENSTRUCTUUR

'Een kankergen lijkt heel sterk op het gen dat gisten doet samenklitten.'

'De buitenste cellen in een klompje gist offeren zich misschien op om de binnenste te beschermen.'

mogelijk een functie in de vrije natuur. Maar omdat niemand dat grondig bestudeert, weten we het niet.

Was uw doctoraalscriptie gelinkt aan de brouwerijwereld?

VERSTREPEN: Ik had uiteraard contacten met brouwers, hoewel die zich er angstvallig voor hoedden om geassocieerd te worden met genetische modificatie. Ik keek specifiek naar genen die belangrijk zijn voor de productie van aromastoffen die een smaak aan bier geven. Een van mijn grootste mislukkingen is dat we nog altijd niet in staat zijn te zeggen wat het belang is van die stoffen voor de gistcellen zelf. Want de kans is klein dat ze die produceren uit sympathie voor de brouwers.

U moet daar toch minstens een idee over hebben?

VERSTREPEN: We vermoeden dat ze bijproducten zijn van enzymen die een andere

reactie in de hand werken, maar we hebben er geen flauw idee van welke.

Zijn die aromastoffen essentieel voor de smaak van bier?

VERSTREPEN: Ze spelen een rol, samen met andere aspecten van de productie. We hebben ooit een experiment gedaan waarin we drie verschillende soorten gist loslieten op dezelfde cocktail van bier ingrediënten die nog moest fermenteren. Dat gaf duidelijke verschillen in aroma en smaak.

Geuzebrouwers beweren dat zelfs spinnenwebben de smaak van hun bier beïnvloeden.

VERSTREPEN: Veel geuzebrouwers claimen dat er een spontane gisting in hun product gebeurt, dat ze de natuur haar gang laten gaan zonder gisten toe te voegen. Meestal zal dat niet waar zijn, maar voor bepaalde kleinschalige producten klopt het wel.

Sommige geuzebieren zijn echt niet te drinken.

VERSTREPEN: Je kunt er de gekste dingen in vinden, zelfs een amine dat cadaverine heet, en dat haar naam niet gestolen heeft. Ik drink het af en toe graag, net omdat het natuurlijke ervan zo charmant is.

Uw genetisch gemanipuleerde gisten leveren blijkbaar beter bier dan gewone cellen?

VERSTREPEN: Inderdaad, maar we hebben ze alleen bij ons eigen bier gebruikt, en niet bij een commercieel product. De consument wil geen genetisch gemodificeerde producten in zijn voeding, en dat is zijn goed recht, hoewel er niet altijd een wetenschappelijke basis is om die producten slecht te noemen, integendeel zelfs, ze kunnen grote voordelen hebben voor consument, producent én milieu.

Zou het niet interessant zijn zelf een genetisch gewijzigd bier op de markt te brengen?

VERSTREPEN: Een Brits instituut heeft het ooit gedaan, bij wijze van marketingstunt, en het ook gepromoot als genetisch gewijzigd bier. Het verkocht ongelooflijk. Maar toen kwam de gekkekoeienziekte, en dat in combinatie met acties van drukingsgro-

pen; ineens kon er niets meer inzake genetische modificatie, hoewel het ene absoluut niets met het andere te maken had. In Europa zitten er nu alleen genetisch gewijzigde organismen in bulkproducten, zoals veevoeder, die niet rechtstreeks bij de consument komen.

Blijkbaar is die negatieve sfeer onder druk van de stijgende voedselprijzen aan het omslaan.

VERSTREPEN: Dat is mogelijk. Als je in Afrika honger lijdt, zul je je er het hoofd niet over breken of de soja die je krijgt genetisch gemodificeerd is. Je kijkt uitsluitend naar de opbrengst, en die is hoger. Sommige organisaties vinden het onethisch dat we die mensen genetisch gewijzigde gewassen opdringen. Maar de mensen achter die organisaties bevinden zich meestal comfortabel in rijke landen. Ik vind het trouwens niet noodzakelijk slecht dat we wat meer moeten betalen voor onze voeding.

Excuseer?

VERSTREPEN: Vroeger gingen mensen letterlijk werken voor de kost. Ze spendeerden een aanzienlijk deel van hun loon aan eten, wat toch een primaire behoefte is. Maar de jongste tijd willen mensen blijkbaar niet meer betalen voor hun voeding. Volle supermarkten zijn een vanzelfsprekendheid geworden, net zoals het constante aanbod van groenten en fruit uit tropische landen. Uiteindelijk zullen de hogere prijzen mensen doen beseffen dat we met heel veel zijn en dat we de draagkracht van onze planeet dreigen te overschatten. De meeste mensen, mezelf inbegrepen, passen hun gedrag pas aan als hun portemonnee spreekt.

Wat deden uw genetisch gewijzigde gisten?

VERSTREPEN: Ze maakten bier fruitiger. De aroma's die je in bier vindt, zijn trouwens dezelfde als in appels of bananen. Sommige van mijn gisten kunnen bier echt een bananensmaak geven.

Ook witbier heeft blijkbaar een speciale gistactiviteit?

VERSTREPEN: Brouwersgisten gaan op het einde van de fermentatie aan elkaar klitten en uitvlokken, dat zijn duizenden gistcellen die een klompje vormen en bezinken. Zo krijg je een helder bier zonder gisten. Maar bij witbier gebeurt dat niet, en mede daarom blijft het troebel. Dat aan elkaar klitten van gistcellen heeft me op het spoor gebracht van fundamentele processen, zowel op het vlak van de evolutietheorie als in het kader van de menselijke geneeskunde. Want er zijn schadelijke gisten die zich met dezelfde genen als waarmee ze aan elkaar gaan hangen ook aan menselijke cellen hechten, zodat ze ziektes kunnen veroorzaken. ▶



TRAJECTWIJZER

WAT STUDEERDE KEVIN VERSTREPEN?

- > Na zijn middelbare studies in Keerbergen is Kevin Verstrepén naar de K.U.Leuven verhuisd. Hij voltooide er de eerste kandidatuur geneeskunde, waarna hij overstapte naar de faculteit bio-ingenieurswetenschappen. Daar zwaaide hij in 1999 af als bio-ingenieur in de cel- en gentechnologie.
- > Tijdens zijn studies werkte hij in Leuven als vrijwilliger bij het Rega Instituut voor Medisch Onderzoek. Gecharmeerd door de combinatie van fundamenteel en toegepast onderzoek, sleepte hij na zijn studies een aspirantschap in de wacht van het Vlaams Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek. Dat mandaat duurt vier jaar, en geeft uitmuntende studenten de mogelijkheid om in goede werkomstandigheden, gefinancierd door de Vlaamse overheid, een doctoraalscriptie te maken.
- > Na het succesvol verdedigen van zijn proefschrift werkte Verstrepén met een beurs van de Belgian American Educational Foundation aan het Massachusetts Institute of Technology in Cambridge bij Gerald Fink, een pionier in de genetica. Nadien leidde hij als hoogleraar zelf een laboratorium aan de prestigieuze universiteit van Harvard.
- > Onlangs keerde hij terug naar Leuven in het kader van het Odysseusprogramma, een initiatief waarmee de Vlaamse regering toponderzoekers uit het buitenland wil aantrekken. Verstrepén zal ook deel uitmaken van het Vlaams Instituut voor Biotechnologie dat de allerbeste Vlaamse biotechnologen ondersteunt.

HOE TREEDT U IN ZIJN VOETSPOREN?

- > Om de werking van cellen te bestuderen, gebruikt Verstrepén systeembioïologie, een combinatie van verschillende disciplines: wiskunde, informatica, engineering en biologische experimenten. Met zo'n breed spectrum is het moeilijk om één studietraject aan te duiden voor wie in Verstrepéns voetsporen wil treden, maar de meest vanzelfsprekende start is een van de volgende academische bacheloropleidingen: bio-ingenieurswetenschappen, biomedische wetenschappen, exacte wetenschappen of geneeskunde. Ook een studie dierengeneeskunde of farmacie kan leiden tot baanbrekend onderzoek op het terrein van de genetica.
- > Door de voortschrijdende specialisatie bestaat er in toegepast onderzoek een groeiende band tussen de vooropleiding en het onderzoeksdomein, maar niets sluit uit dat ook fundamenteel theoretisch onderzoek – door een wiskundige bijvoorbeeld – tot een revolutionaire doorbraak in genetica of biotechnologie leidt. Een doctoraat, onderzoekservaring en creativiteit vormen de sleutel.

► Waarom gaan gisten zo graag aan elkaar hangen?

VERSTREPEN: Een van mijn studenten probeert dat momenteel te weten te komen. We hebben net een interessante hypothese geformuleerd die aan de fundamenteën van de evolutietheorie raakt. Het idee is het volgende: als gisten een klompje vormen, beschermen de cellen aan de buitenkant die aan de binnenkant, bijvoorbeeld tegen schimmelbestrijders die wij op hen afsturen. Mogelijk offeren de buitenste cellen zich op om de binnenste te beschermen.

Iets wat niet strookt met de basisevolutietheorie, die zegt dat het ieder voor zich is.

VERSTREPEN: Charles Darwin zelf heeft ooit geschreven dat zijn theorie zou afbrokkelen mocht er een systeem gevonden worden waarin bepaalde individuen zich onbaatzuchtig voor andere opofferen. Zijn theorie



BIERONDERZOEK
'Genetisch gemodificeerd bier is beter dan gewoon bier, maar de consument wil het niet.'

'Hoe meer herhalingen in het gen voor de ziekte van Huntington, hoe sneller de aftakeling.'

is in essentie een competitief model waarin de sterksten het halen. Voor samenwerking is er geen plaats omdat het individu centraal staat, en niet de groep.

Toch zijn er modellen waarin samenwerking evolutionair lonend kan zijn.

VERSTREPEN: Inderdaad, maar daarvoor moet je het vanuit het standpunt van de genen bekijken. De Britse bioloog William Hamilton heeft enkele theoretische oplossingen voor de problematiek van altruïsme en samenwerking aangereikt, en een daarvan noemde hij het model van het gen met de groene baard. Stel dat er een gen is dat samenwerking in de hand werkt, en dat individuen die erover beschikken het in een ander individu kunnen herkennen, in Hamiltons terminologie omdat het een groene baard heeft. Dat kan een voordeel opleveren, omdat je dan exclusief kunt gaan samenwerken met individuen die zelf ook genetisch voorbestemd zijn tot samenwerking.

Hoe kan dat op uw samenklittende gistcellen toegepast worden?

VERSTREPEN: We hebben ontdekt dat gistcellen beantwoorden aan dat model. Als we cellen zonder samenwerkingsgen mengen met cellen die het wel hebben, worden de genloze cellen uit de gistvlok gehouden. Belangrijk is dat de cellen niet verwant aan elkaar hoeven te zijn. Verwante cellen zonder het gen worden onherroepelijk buiten-

gegooid, terwijl niet-verwante cellen met het gen wel opgenomen worden. Altruïsme wordt dus in stand gehouden door het herkennen van het gen dat ervoor verantwoordelijk is.

Dat is spectaculair. Is het de eerste keer dat zo iets is vastgesteld?

VERSTREPEN: Slijmzwammen zouden iets vergelijkbaars doen, en bij de rode vuurmier is het omgekeerde gevonden: individuen die het gen hebben, doden de exemplaren die het niet hebben. Dat geldt natuurlijk niet als samenwerking, maar het selectie-effect is wel hetzelfde. Wat het nog interessanter maakt, is dat er ook valsspelers zijn. Sommige cellen investeren niet meer in het proces, maar proberen wel nog van de bescherming van andere cellen te genieten. Er ligt een speciaal genetisch mechanisme aan de basis van dat samenklitten, dat het belangrijkste luik van mijn onderzoek is. Het betreft iets wat allang bekend is, maar nog nooit goed is onderzocht: tandemherhalingen van gensequenties.

Dat klinkt ingewikkeld.

VERSTREPEN: In feite is het vrij simpel. Het betreft stukjes van een gen die eendeloos herhaald worden, en het aantal herhalingen varieert gemakkelijk. Ons onderzoek toont aan dat dit soort herhalingen niet alleen voorkomt in genen voor het samenklitten van gisten, maar ook in andere genen,

zelfs bij de mens. Ze kunnen ook in de geneeskunde een rol spelen. De ziekte van Huntington, bijvoorbeeld, een dodelijke aftakeling van het zenuwstelsel, is het gevolg van tandemherhalingen in één enkel gen. Hoe meer herhalingen, hoe sneller de aftakeling. Wij willen nu een algemene screening van het menselijk genetisch materiaal doen om te kijken waar tandemherhalingen voorkomen, in de hoop dat we zo op het spoor komen van ziektes.

Kunnen tandemherhalingen ook voordelen hebben?

VERSTREPEN: We vermoeden dat dat wel het geval is, want als ze hun dragers systematisch ziek zouden maken, zouden ze al weggeselecteerd zijn. Je kunt perfect een eiwit maken zonder al die herhalingen in een gen. Wij gaan ervan uit dat herhalingen een organisme toelaten zich sneller aan veranderingen in zijn omgeving aan te passen, en dat zo'n ziekte af en toe ontstaat als een uitschieter die we erbij moeten nemen.

Hoe zult u dat in godsnaam ooit kunnen bewijzen?

VERSTREPEN: Dat zal niet gemakkelijk zijn. Bij honden hebben we al een screening van het genetisch materiaal gedaan, en daar zie je die tandemherhalingen vooral in genen die informatie bevatten over de vorm van het skelet. Iedereen weet dat de mens er in relatief weinig tijd in geslaagd is van een hond rassen te maken die variëren van een chihuahua tot een Deense dog. Het skelet van een hond is dus heel flexibel, en dat zou met die tandemherhalingen te maken kunnen hebben.

Wat verwacht u bij de mens te vinden?

VERSTREPEN: De eerste resultaten zijn ►

► binnen. We vinden geen grote variatie inzake de skeletmorfologie, maar wel onder meer en verrassend genoeg bij genen die betrokken zijn bij de ontwikkeling van hersenen en zenuwen.

Verklaart dat waarom de hersenen van de mens zo explosief zijn kunnen groeien?

VERSTREPEN: Dat kan een stukje van de verklaring zijn. Hoe het precies in zijn werk is gegaan, weten we niet, maar het kan iets vrij onnozels geweest zijn. Bijvoorbeeld dat meer herhalingen in een gen tot de productie van langere zenuwcellen leiden die op grotere afstand verbindingen met elkaar kunnen vormen, wat de hersenen efficiënter zou maken. We vinden ook herhalingen in genen die betrokken zijn bij kanker. Er is bijvoorbeeld een gen voor het eiwit mucine dat een rol speelt in kanker, en dat sterk lijkt op het gen dat onze gisten aan elkaar doet klitten. Al zien we nergens mensen op grote schaal samenklitten.



NOG MEER VRAGEN VAN KNACK-LEZERS

> Is genetische manipulatie overroepen of gaan we echt voor God spelen?

KEVIN VERSTREPEN: Ik denk dat veel mensen zullen stellen dat we al een tijdje voor God aan het spelen zijn. Nog niet met mensen, maar door veranderingen aan te brengen in de erfelijke code van planten of bacteriën. Er zijn pogingen bezig om een nieuwe bacterie te maken met een genoom waarvan alle DNA door de mens gefabriceerd is. Daar komen veel technische problemen bij kijken. In se is de voornaamste doelstelling ook het perfectioneren van nieuwe technieken.

> Betekent genetische manipulatie dat we ons losweken van de klassieke evolutie?

VERSTREPEN: Dat kan, maar daar zijn we al langer mee bezig. We kweken bijvoorbeeld al duizenden jaren vleeskoeien, en zijn daar zo succesvol in dat koeien niet meer op normale wijze geboren kunnen worden. Dikbillen kunnen alleen met een keizersnede ter wereld komen. Als hier natuurlijke selectie zou spelen, zouden de dieren allemaal tijdens de bevalling sterven. Hoewel kweekprogramma's in de ogen van het publiek veel onschuldiger lijken dan genetische modificatie, zijn ze ook een loskoppeling van de klassieke evolutie. Wel zijn er daar minder controles op en worden er minder debatten over gevoerd.



HONDENRASSEN
'Het skelet van een hond is zo flexibel dat we gemakkelijk rassen kunnen maken.'

Dan was u niet op het concert van Motorhead op Rock Zottegem!

VERSTREPEN: (lachend) Jammer! In bacteriën hebben we al wel zicht op het nut van tandemherhalingen in het DNA. Ze kunnen ze gebruiken om te ontsnappen aan ons immuunsysteem. Ze zetten ze in om zo snel te veranderen dat afweercellen ze niet meer herkennen. We hebben zelfs aanwijzingen dat ze weten wanneer ze moeten veranderen om aan een stresssituatie te ontsnappen. **Dat is alweer raken aan de evolutietheorie: mutaties zouden niet altijd willekeurig zijn?**

VERSTREPEN: Darwin schreef nochtans dat we er niet van uit moesten gaan dat alles willekeurig is en van sturing geen sprake kan zijn, hoewel we niet de motivatie kennen van die stelling. Misschien was hij er bang voor zijn theorie nog meer revolutionair te maken dan ze al was.

Hoe kan een bacterie weten waar en wan-

neer ze meer mutaties moet laten gebeuren?

VERSTREPEN: Het is uiteraard geen bewust proces, geen actieve keuze. Een bacterie voelt stress, net zoals een mens stress voelt. Als een bacterie onder druk komt van bijvoorbeeld antibiotica, kan ze schade oplopen aan haar DNA. Die schade moet hersteld worden, maar de eiwitten die het oplaapwerk verrichten, gaan vreemd genoeg ook wat fouten introduceren, waarschijnlijk omdat ze hun werk niet controleren. Die genetische fouten zouden eventueel voordelen kunnen opleveren door nieuwigheden te creëren, want nieuwigheden kunnen in moeilijke omstandigheden extra kansen op overleving bieden.

Zijn er aanwijzingen dat zo iets ook bij hogere organismen bestaat?

VERSTREPEN: We mogen ons vooreerst niet bezondigen aan de denkfout bacteriën als primitieve organismen te beschouwen.

Ze hebben veel tijd gehad om zich goed aan te passen. In hogere organismen vinden we naast tandemherhalingen nog andere mechanismen. Er zijn bijvoorbeeld eiwitten (chaperones) die andere eiwitten beschermen tegen fouten in het DNA. Ze herstellen de fouten niet, maar ze voorkomen dat ze een effect hebben op de eiwitten waarvoor de beschadigde genen instaan. We zien dat de werking van chaperones tijdens stressstoestanden onderdrukt wordt, zodat er meer fouten in nieuwe eiwitten terechtkomen. Wat niet wegneemt dat het aantal fouten in het DNA van de mens heel laag is. Een kind heeft gemiddeld slechts drie mutaties ten opzichte van zijn ouders. Het feit dat een kind verschilt van zijn ouders heeft vooral te maken met het knippen plakwerk waarmee de genen van vader en moeder door elkaar geschud worden.

Belemmert dat niet de mogelijkheid om veranderingen te sturen?

VERSTREPEN: De kern van de zaak is: hoe houden we het aantal mutaties laag, en daarmee ook de kans op genetische defecten, zonder dat we de mogelijkheid tot evolutie beperken? Die evolutie hebben we bijvoorbeeld nodig als we ons moeten aanpassen aan nieuwe omstandigheden en aan competitie? Voor bacteriën is het gemakkelijk. Die zitten in een omgeving met een paar miljoen weinig complexe cellen, zodat de kans op een nuttige mutatie veel groter is dan bij de mens. Bij ons moet een mutatie opboksen tegen de rest van een complex lichaam. Toch moeten ook wij kunnen evolueren. We hebben daar ongetwijfeld geschikte mechanismen voor. Het is aan ons om die bloot te leggen. ☒