

ILLUSTRATIE: JOOST VAN LIEROP

IN EEN SERIE ARTIKELN GAAT CHEMIE MAGAZINE OP ZOEK NAAR DE CHEMICUS VAN DE TOEKOMST. IN HET EERSTE DEEL (CHEMIE MAGAZINE, JUNI 2016): DE TOEKOMSTIGE WERKPLEK. DITMAAL: DE CHEMICUS ZELF.

WELKE SKILLS ZIJN IN 2030 NODIG?

DE CHEMICUS VAN DE TOEKOMST

Creatief, breder en hoger opgeleid en dol op nieuwe technologie. Dat is de ideale chemicus van de toekomst. Maar ook boerenverstand en handigheid blijven onmisbaar.

Tekst: Marga van Zundert

Als student gebruikten we bouwdozen – stokjes en bolletjes – om een beeld te krijgen van wat er op moleculair niveau gebeurt”, vertelt emeritus hoogleraar katalyse Rutger van Santen. “Kijk wat je nu met een computer doet. En dan gaat het niet alleen om een beeld krijgen, maar om complete simulaties. We weten en kunnen zóveel meer dankzij nieuwe technologie.”

Computers en robots zijn al een tijd niet meer weg te denken uit de chemie. Ze zijn onmisbaar in onderzoek, maar ook in fabrieken en medische laboratoria. Denk aan automatische sampling, aan procesautomatisering en aan de vanzelfsprekendheid waarmee je elk artikel uit de ‘wol’ op je scherm laat verschijnen. Je hoeft dus geen futurist te zijn om te voorzien dat de komende decennia robotisering, automatisering en ‘slimme’ software (*softbots*: programma’s die vaak ook weer andere software inschakelen) een nog grotere rol zullen spelen.

Handige mensen

“Routinewerk zal steeds meer overgenomen worden door computers en robots”, stelt Rinie van Est, onderzoeker bij het Rathenau Instituut en docent *Technology Assessment & Foresight* aan de TU Eindhoven. “Maar routinewerk is niet

synoniem met handwerk”, voegt hij er meteen aan toe. “Handmatig werk kan te specialistisch of te complex zijn voor een machine.” Een hands-on onderhoudsmonteur op de fabriek blijft bijvoorbeeld voorlopig onmisbaar, denkt Van Est. Deze monteur wordt dan wel steeds meer geassisteerd door een computer of robot. Die helpt storingen te analyseren en suggereert oplossingen. Komen monteur en machine er

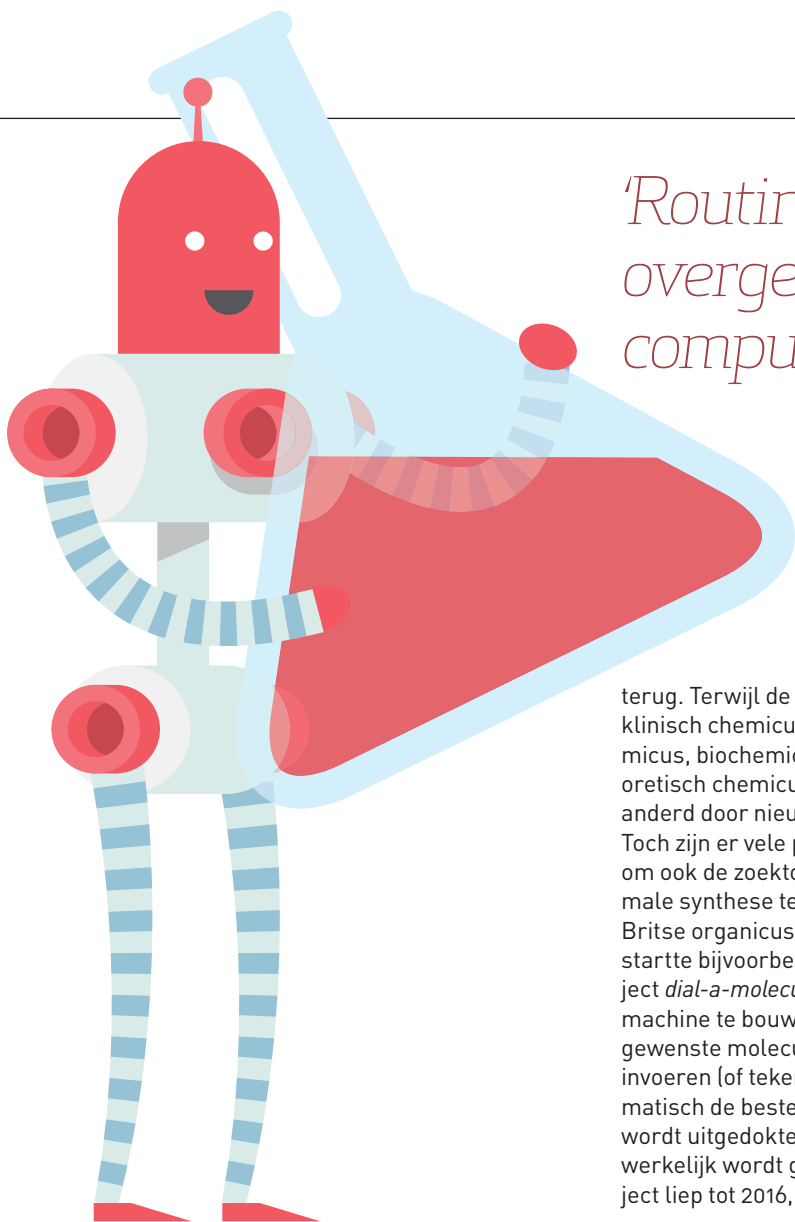
samen niet uit, dan kan er dankzij moderne communicatietechnologie een expert op afstand meekijken. En die kan wellicht via *augmented reality* de specialistische problemen oplossen. Nog een voorbeeld van hands-on chemisch werk dat voorlopig niet zal verdwijnen, is het synthetisch labwerk. Denk de afzuiging weg, voeg een vleug pijptabak toe, en een werkplek in het organisch lab is nog te verwarren met die van vijftig jaar

WORDT CHEMIE QUANTUMFYSICA?

Natuurkundigen voorzien dat veel chemie-experimenten overbodig worden omdat ze straks dankzij quantumtechnologie allemaal *in silico* kunnen worden ‘uitgevoerd’. Dat wil zeggen dat de uitkomst van reacties of de eigenschappen van materialen straks berekend kunnen worden vanuit de atomen. Een supercomputer heeft daar nu bij lange na niet de rekenkracht voor, maar de beloofde quantumcomputer wel.

En die quantumcomputer is de heilige graal van quantumtechnologen. Uniek is dat de rekenkracht verdubbelt (!) met elke quantumbit. Schattingen van wanneer de quantumcomputer gereed kan zijn, variëren van over 20 tot 50 jaar. Ondertussen maken de fysici ook flinke vorderingen met quantumsystemen. Quantumdots bijvoorbeeld, die kleine moleculen kunnen simuleren. Het gaat om meerdere losse elektronen die technologen ‘gevangen’ houden en kunnen manipuleren.

“Natuurkundigen roepen weleens laetdunkend dat chemie de natuurkunde is van de buitenste schil van elektronen”, vertelt natuurkundige Toivo Hensgens, promovendus *quantum computing* aan de TU Delft. Zo wil hij het zelf niet stellen: “Natuurkunde is ook maar een label.” Maar de grens tussen chemie en natuurkunde vervaagt zeker in zijn vakgebied. Twee elektronen controleren, zodat ze zich gedragen als in waterstofgas, lukt al. En het idee is dat er binnen 5 tot 10 jaar quantumsystemen zijn die kleine moleculen zoals ammoniak compleet nabootsen. Hensgens: “De kennis die je daarmee opdoet, heeft zeker ook praktisch nut. Het kan bijvoorbeeld de vraag beantwoorden hoe je energiezuiniger kunstmest produceert.”



'Routinewerk zal steeds meer overgenomen worden door computers en robots'

terug. Terwijl de werkplek van de klinisch chemicus, anorganisch chemicus, biochemicus en zelfs de theoretisch chemicus drastisch is veranderd door nieuwe technologie. Toch zijn er vele pogingen gewaagd om ook de zoektocht naar de optimale synthese te automatiseren. De Britse organicus Richard Whitby startte bijvoorbeeld in 2010 het project *dial-a-molecule*. Doel is een machine te bouwen waarin je de gewenste molecuul zou kunnen invoeren (of tekenen), waarna automatisch de beste syntheseroute wordt uitgedokterd én de stof daadwerkelijk wordt gemaakt. Het project liep tot 2016, maar de machine

is er nog niet. Wel kunnen softwareprogramma's als Chematica de synthetisch chemicus al assisteren of inspireren in het vinden van de juiste routes. En veroveren geautomatiseerde alternatieven voor de klassieke rondbodembak, zoals microflowreactoren en *labs-on-a-chip*, langzaam de onderzoekslaboratoria.

Dubbelcheck

Een recente grote Engels-Zweedse studie toont aan dat de opkomst van industriële robots in de jaren negentig niet leidde tot een afname van het aantal banen in de maakindustrie. Maar dat dit wel leidde tot een verschuiving naar werk voor hoger geschoolden, met steeds meer assistentie van intelligente technologie. Toekomstige chemici moeten dus, nog meer dan de huidige generatie, een continue stroom aan nieuwe, slimmere technologie weten te omarmen.

Paradoxaal genoeg betekent dat volgens Van Est dat we juist ook oog moeten hebben voor 'domheid' in kunstmatige intelligentie. De kracht van computers en slimme software zit vooral in brute reken- of zoekkracht en grote snelheid. Maar algoritmes kunnen nooit de totale werkelijkheid vangen en kunnen daarom een verband leggen of een conclusie trekken die een mens nooit zou overwegen. Van Est: "Dat betekent dus dat je in een slimme auto altijd moet blijven opletten. En een arts zal altijd een medisch computeradvies moeten checken alvorens het te volgen. Mens en computer zullen elkaar steeds meer aanvullen: ieder doet waar hij het beste in is." Ons gezonde boerenverstand blijft dus onmisbaar om de wegen van kunstmatige logica na te gaan.

Een volgende stap in samenwerking met machines is de samensmelting van mens en machine. Volgens menig futurist een onvermijdelijkheid. Denk aan echte integratie van brein en machine door directe aan-

MEGATREND

ROBOTS AAN DE MACHT

In 800 voor Christus beschreef de Griekse dichter Homerus al de 'Automatones': zelfstandig bewegende machines van glimmend metaal in de vorm van mensen, dieren en monsters. De goddelijke smid Hephaistos maakte ze als dienstmaagd of bewakers voor de goden.

Bijna 3000 jaar later lijken Homerus' fantasieën dichtbij. Automatische grasmaaiers zoemen over de gazons, drones zoeven door de lucht, auto's rijden zonder chauffeur en in distributiecentra zorgen grijpers en transportbanden dat de bestellingen op tijd klaarstaan. Toch zijn de huidige robots nog erg beperkt. Ze kennen meestal één 'trucje': de weg wijzen, voetballen, bommen detecteren of hersenweefsel precies wegsnijden.

De vraag wanneer een robot brede intelligentie krijgt, verdeelt experts in kunstmatige intelligentie en futuristen nog steeds. Volgens de een zijn we nog ver verwijderd van werkelijke slimheid en is het nog maar de vraag óf een machine intelligent kan zijn. Volgens anderen zullen robots over tien, twintig jaar al complexe taken alleen verrichten. Attente zorgrobots zorgen dan voor ouderen en reparatiebots zwerven over fabrieksterreinen om problemen direct op te lossen.

Het moment waarop robots intelligenter zijn dan mensen is door de Amerikaanse wiskundige en sciencefictionschrijver Vernor Vinge 'singulariteit' genoemd.

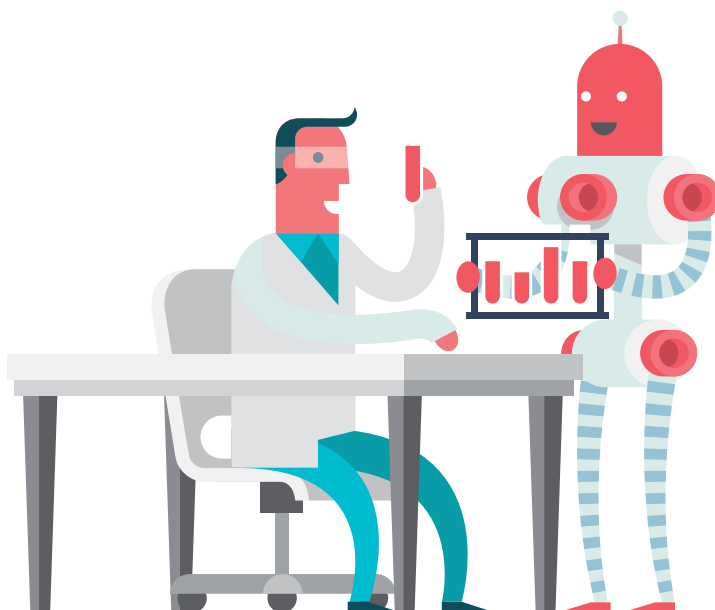
Omdat deze intelligente machines nóg intelligentere machines kunnen creëren, hebben we volgens Vinge geen flauw idee wat ons daarna te wachten staat. In menig speelfilm (*2001: A Space Odyssey*, *The Matrix*, *The Terminator*) gaat het mis: denkende machines besluiten dat de wereld beter af is zonder hun oorspronkelijke scheppers. Maar daartegenover staan utopieën van een veiligere, vredigere, eerlijke wereld dankzij grotere intelligentie en onvermoeibare helpers.

MEGATREND

KRINGLOOPWERELD

Veel producten gooien we weg na gebruik. In Nederland eindigen ze dan meestal in de verbrandingsoven, waarbij energie wordt gewonnen maar de grondstoffen verloren gaan. De circulaire economie wil grondstoffen in de kringloop houden, dus opnieuw gebruiken. Een logische stap in duurzaamheid volgens milieuorganisaties; in de levende natuur wordt immers alles gerecycled. Anderen zien het vooral als een slimme oplossing voor toekomstige grondstoffenschaarste door uitputting of internationale conflicten. En vanuit economisch perspectief is circulariteit efficiëntie: waardevermindering wordt geminimaliseerd.

De transitie naar een circulaire economie vraagt om technische en chemische innovaties. Die zijn nodig om materialen en grondstoffen in de kringloop te houden en te herwaarderen. *Reduce, reuse, recycle* is het devies. Er is ook meer samenwerking 'in de keten' nodig, en met derden die reststromen benutten. Jan Jonker, hoogleraar Duurzaam Ondernemen (Radboud Universiteit), koppelt circulaire economie ook aan de opkomende 'WEconomy', waarin burgers dankzij nieuwe technologieën zelf steeds vaker producent zijn. "Rollen veranderen, dat zal businessmodellen op zijn kop zetten", voorspelt hij.



sluiting van zenuwen op elektronica. Dat klinkt voorlopig als regelrechte sciencefiction, maar de eerste voorbeelden van de benodigde technologie zien we verschijnen: implanteerbare hersenelektroden, het 'exoskelet' (een soort robotpak dat bijvoorbeeld extra sterkte geeft en waarmee verlamde mensen weer kunnen lopen) of het aansturen van een cursor op een scherm via gedachten.

Intuïtie

Maar voorlopig verstaan mensen alle machines nog in creativiteit, empathie en communicatievaardigheden. Eigenschappen die daarom des te belangrijker worden in de toekomst, stelt Van Est. "Denk aan iets ogenschijnlijk simpels als de juiste vraag stellen op het juiste moment." Je mag het ook intuïtie noemen, *fingerspitzengefühl* of talent, maar daarvoor moet je niet bij een computer zijn. Het blijven dus mensen die marketingstrategieën bedenken, anderen motiveren en inspireren, of nieuwe producten uitdenken.

Emeritus hoogleraar Eite Drent (Shell, Universiteit Leiden) voegt nog een belangrijke eigenschap toe: volharding. Drent kan terugkijken op een lange carrière in de chemische industrie en wetenschap. Hij noemt de "enorme versnelling" door infor-

matie- en communicatietechnologie het grootste verschil tussen toen en nu. "Een nieuwe vinding is meteen wereldwijd bekend, en iedereen duikt er bovenop." Maar hij signaleert ook een schijnbare paradox. "Met al die nieuwe kennis en technologie is het nu lastiger om een nieuw product of materiaal op de markt te brengen. Er is immers al zoveel." Dat maken volharding en doorzettingsvermogen essentiële eigenschappen voor toekomstige chemici, voorspelt hij.

Andere chemie

"Natuurlijk hebben computers en nieuwe technologie het werk van 'de chemicus' enorm veranderd en zullen dat blijven doen", zegt ook collega Van Santen. "En feeling met wiskunde kan zeker geen kwaad voor de chemici van vandaag en morgen." Maar terugkijkend ziet hij een belangrijkere oorzaak achter veranderingen in het vak dan ICT, namelijk de nieuwe maatschappelijke vragen die de sector telkens op zijn bordje krijgt. Hij noemt de oliecrisis in de jaren zeventig, het opkomend milieubewustzijn in de jaren tachtig, en de vraag om schonere energiebronnen. Ze verlegden telkens de aandacht in onderzoek en productontwikkeling. Het leverde nieuwe industrie en nieuwe producten en processen op. Denk aan auto-

katalysatoren, gaswassers, het *gas-to-liquids*-proces of zonnecellen. Momenteel ziet Van Santen de vraag om *renewables* als sturend. "Biomassa is de nieuwe grondstof, en wind en zon zijn de nieuwe energiebronnen. Dat betekent aandacht voor biobased chemie, maar ook voor elektrochemie en brandstofcellen." Zijn conclusie: om de zoveel jaar verschuift onvermijdelijk de focus in het vak. Wellicht steeds sneller. Dat betekent dat een chemicus inhoudelijk flexibel genoeg moet zijn om zijn of haar aandacht te kunnen verleggen naar nieuwe vakgebieden en toepassingen. Want biomassa als grondstof is wezenlijk anders dan aardolie of gas. Afvalstromen uit landbouw, tuinbouw, bosbouw en veeteelt zijn diverser en veel complexer in samenstelling en structuur dan de koolwaterstoffen. De petrochemie is gericht op het creëren van simpele bouwstenen om van daaruit materialen en producten op te bouwen. Biomassa is moeilijker tot gebruiksklare mootjes te hakken. Maar die functionaliteit en complexiteit bieden ook juist nieuwe mogelijkheden: niet hakken, maar selectief snijden en knippen om de mooiste delen te behouden. Daarvoor is echter veel nieuwe kennis nodig, die allerlei technologiegebieden combineert: katalyse, scheidingstechnologie, analyse, thermische conversies en procestechnologie. Bioraffinage is kortom veel complexer en 'subtieler' dan olieraffinage. Een schone taak voor de komende generatie chemici. ■