

3

# MEMO RAD

# THEMA AI

JAARGANG 22 - NUMMER 3 - NAJAAR 2017



Nederlandse Vereniging voor Radiologie  
Radiological Society of the Netherlands



**OnTarget.  
OnBudget.  
OnTime.**

Meet the New Solution  
for affordable, OnSight  
3D Extremity Exams.



## [ OnSight 3D Extremity System ]

### Experience the power of an on-site CT System

A world leader in diagnostic X-ray introduces a revolution in Cone Beam CT imaging. The Carestream OnSight 3D Extremity System is designed to meet your most official imaging needs

– supporting rapid, affordable exams for accurate diagnoses and accelerated productivity. So get ready for OnSight to lead the field in CBCT imaging.

Learn more at [carestream.com/onsight](http://carestream.com/onsight).

**Carestream**

**[www.trompmedical.com](http://www.trompmedical.com)**

e-mail: [sales@trompmedical.com](mailto:sales@trompmedical.com) - Tel.: +31 (0)251 662067

# INHOUD

Ten geleide – Paul Algra	4
Voorzitterscolumn – Peter Wensing	5

## INGEZONDEN



Jeroen van de Kamer      Adriaan Lammertsma      Peter Sminia

Is het middel erger dan de kwaal? – dr. J.B. van de Kamer, prof.dr. A.A. Lammertsma, dr. P. Sminia	6
---	---



Van röntgenfoto naar  
zilveren knoop

Het tweede leven van een röntgenfoto – E. Petersen	10
--	----

## HISTORIE



Albert Bouwers

De RSNA Gold Medal voor Albert Bouwers in 1928 – Waarom stond hij niet in de officiële lijst? – prof.dr.ir. F.W. Zonneveld	83
--	----

## MEDEDELINGEN

Congressen en cursussen	85
-------------------------	----



## THEMA

# Artificial Intelligence

vanaf pagina 11

## PERSONALIA



Xander Tielbeek

20 jaar Opleiding Radiologie doorgelicht – Een interview ter gelegenheid van de pensionering van Xander Tielbeek	87
---	----

## DIVERSEN

Radiologogram 36	89
<b>Boekbespreking</b>	
Lambert Th. Van Kleef, 1846-1928: Chirurg en Pionier	90
Tante Bep	91
Colofon	91

## Ten geleide



Een bijzonder themanummer dit keer: Artificiële Intelligentie (AI) in de radiologie. Bijzonder vanwege de impact op onze toekomst en vanwege de meerdere niet-medische invalshoeken.

Mooie en prikkelende beschouwingen als die van Bert Keizer en Van Ginneken, maar ook down-to-earth juridische en economische; hebben we straks nog wel een functie als radioloog of als mens? En wie krijgt de schuld als er iets fout gaat?

Ook de bijdragen van de industrie zijn een noviteitje; normaal treden ze nooit op als auteurs in MemoRad. Er zit evenwel veel kennis bij de firma's, zodat we het zinvol geacht hebben hen uit te nodigen.

AI in de radiologie; een ding is zeker: er zal veel veranderen, en het gaat in een hoog tempo. Het blijft moeilijk te voorspellen wat het effect zal zijn over vijf jaar, maar je kunt je ogen er niet voor sluiten en er maar beter aan meedoen. Daarom moet AI een integraal onderdeel van de opleiding tot radioloog worden.

Wat bijscholing betreft hebt u een geweldige kans zich bij te spijkeren, en wel

in het Erasmus te Rotterdam, waar op zaterdag 18 november de EuSoMII Academy wordt gehouden.

Ook iets nieuws is het ter beschikking stellen van MemoRad aan onze Vlaamse collegae en EuSoMII-leden; ideetje van Erik Ranschaert. Daarmee is de eerste stap gezet naar internationale erkenning!

De centrale rol in het ziekenhuis die de radioloog al had, kan met AI aanzienlijk worden uitgebreid. Volgens Philips-topman Van Houten [1] gaat het vak steeds meer aspecten van beeldatamanager of 'clinical data scientist' krijgen.

Met alle ach's en wee's blijf ik positief over onze toekomst; ondanks alle Watsons zullen wij de Sherlock Holmes' blijven!

**Paul Algra**

1 <https://www.medischcontact.nl/nieuws/laatste-nieuws/artikel/radioloog-wordt-clinical-data-scientist.htm>



De EuSoMII Academy over A.I. wordt gehouden in Erasmus MC te Rotterdam op 18 November. De vicevoorzitter dr. Erik Ranschaert en lokale gastheer Prof. dr. Wiro Niessen heten u van harte welkom. Meer informatie vindt u op: <https://www.facebook.com/eusomii/>  
 Online-registratie is binnenkort mogelijk, geïnteresseerden kunnen zich alvast aanmelden door een mail te sturen naar Paola Rinaldi - [prinaldi.job@gmail.com](mailto:prinaldi.job@gmail.com)  
[www.fclassevents.com/it/eusomiiacademy2017](http://www.fclassevents.com/it/eusomiiacademy2017)

# Voorzitterscolumn

## Generalist, differentiant of subspecialist



Ongeveer tien jaar geleden werd het orgaangericht opleiden ingevoerd.

In mijn eigen maatschap hebben we dat destijds snel overgenomen, en sinds 2008 werken we met veel plezier orgaangericht. Nadat de groep groter werd zijn we sinds 2010 verder gaan differentiëren. Iedereen heeft ongeveer drie aandachtgebieden. Om ook in de diensten adequaat te kunnen blijven werken introduceerden wij een acute functie overdag, zodat de expertise waarborgd bleef. Dit is zeer zeker een

verbetering gebleken. We werden beter en daardoor ook sneller. Ook in de rest van Nederland heeft deze ontwikkeling zich doorgezet. Door de arbeidsmarkt zijn er veel tijdelijke contracten. Veel hiervan waren chef de clinique-plekken, maar elke zichzelf respecterende opleidingskliniek heeft deze omgezet in fellowplekken. Was het in het verleden zo dat er in de academische ziekenhuizen een aantal fellowplekken aangeboden werden, nu is het vooral de periferie die dit aanbiedt. Is dit een goede ontwikkeling? Ik weet het niet.

Het is niet aan bewust beleid te danken dat we al deze fellowplekken hebben gecreëerd. Het is de overgelopen arbeidsmarkt die dit heeft bewerkstelligd. Natuurlijk is het goed dat een aantal jonge klaren zich verder verdiept, maar dit zal een tijdelijk fenomeen blijken. Nu is het nog zo dat een afgerond fellowship of een promotie tot aanbeveling strekt, maar op het moment dat de markt aantrekt zal dit geen stand houden. Klinieken zullen weer blij zijn als ze iemand kunnen vinden, ongeacht een fellowship of differentiatie.

Save the date!

# Oog voor verbetering

## Symposium mammaradiologie

vrijdag 6 april 2018

- symposium voor mammaradiologen en radiologen i.o.
- inspirerende sprekers
- kennis en ervaringen delen

Voor nadere info:  
[www.lrcb.nl/symposiummammaradiologie](http://www.lrcb.nl/symposiummammaradiologie)

Moeten we dit allemaal gaan terugdraaien? Nee, zeker niet. De huidige opleiding met differentiatie is uitstekend. Maar ik zou de assistenten in opleiding en jonge klaren willen adviseren: houd je blikveld groot. Zet niet alles op één paard. Zorg dat je je eventueel ook nog op andere aandachtsgebieden kan storten. Gooi niet te snel delen van het vak over de heg. Zorg dat je zo lang mogelijk breed inzetbaar bent. Verdere differentiatie kan ook als je ergens gevestigd bent. In de loop van je carrière ontdek je vanzelf waar je meeste interesse ligt.

En fellowships moeten we houden. Maar niet als een ongeveer verplichte verlenging van de opleiding, maar voor een kleinere groep die bewust kiest voor verdieping. Fellowships zouden aangeboden moeten worden door klinieken die aantoonbare expertise hebben op een bepaald gebied die in andere ziekenhuizen niet voorhanden is. Niemand is aan zijn studie geneeskunde begonnen om bijvoorbeeld abdominaal radioloog te worden. Toch hebben we hier nu een overschot van.

Het is een goede ontwikkeling dat er orgaangericht en gedifferentieerd gewerkt wordt in de radiologie. Elke radioloog als subspecialist lijkt mij niet werkbaar. De oude generalist van vroeger zal steeds zeldzamer worden.

**Peter Wensing**



JEROEN VAN DE KAMER



ADRIAAN LAMMERTSMA



PETER SMINIA

## Is het middel erger dan de kwaal?

*Delen van dit stuk zijn ook verschenen in het Tijdschrift voor Nucleaire Geneeskunde*

### De Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie

De Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS, zie <http://radiationdosimetry.org/>) heeft een rapport opgesteld over de afweging tussen de aanvaardbare risico's van het gebruik van ioniserende straling bij medisch wetenschappelijk onderzoek en het maatschappelijk nut van dat onderzoek. Hieronder volgt een samenvatting van het rapport. De volledige tekst is beschikbaar via de website van de NCS (publications > NCS Reports > NCS Report 26).

### Toepassing van straling in de medische praktijk

Blootstelling aan ioniserende straling wordt in de regel met argusogen bekeken. Dat is heel begrijpelijk, want er is veel bekend over de potentieel schadelijke gevolgen van ioniserende straling, niet in de laatste plaats als gevolg van de atoombommen op Japan, nu ruim 70 jaar geleden [1,2]. Ook andere calamiteiten waarbij grote hoeveelheden ioniserende straling zijn vrijgekomen hebben klip en klaar duidelijk gemaakt dat hoge doses ioniserende straling iets zijn om behoedzaam mee om te gaan [3-5]. Voor lagere doses is het beeld minder eenduidig [6].

Maar ook het nut van ioniserende straling in de medische praktijk is ruimschoots bewezen. Voorbeelden zijn het gebruik van röntgenfoto's of CT in de diagnostiek, tumorstadiëring met behulp van FDG-PET en diverse interventies onder röntgengeleiding, zoals het emboliseren van vaten of het plaatsen van stents. In met name de radiotherapie en nucleaire geneeskunde wordt dankbaar gebruik gemaakt van straling bij de behandeling van kanker en andere ernstige aandoeningen. Artsen die ioniserende straling veelvuldig inzetten voor diagnose of behandeling zijn doorgaans goed bekend met mogelijke schadelijke neveneffecten van hogere

doses straling: er bestaan grenzen voor verschillende weefsels en organen. De gangbare aanname is dat een relatief lage stralingsdosis kanker kan induceren, hoewel de toegenomen kans nagenoeg verwaarloosbaar is ten opzichte van de al bestaande hoge kans op het krijgen van kanker in het algemeen [7]. Niettemin, om ioniserende straling veilig en verantwoord te kunnen toepassen is het gebruik ervan terecht streng gereguleerd.

### Basiskennis straling

De meeste artsen zijn bekend met de effecten van blootstelling van (menselijk) weefsel aan ioniserende straling. Bij specialismen waar veel met ioniserende straling wordt gewerkt, wordt dit onderwerp in de opleiding al uitgebreid behandeld, zowel de eigen blootstelling als die van patiënten. De laatste jaren is het gebruik van straling toegenomen, met name in de cardiologie, vaatchirurgie en orthopedie, en daarmee ook de stralingsbelasting van zowel patiënten als behandelaars. Genoemde specialisten maken gebruik van ioniserende straling voor beeldvorming, vaak zonder tussenkomst van een radioloog. Naar aanleiding daarvan heeft het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport [8] de Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie [9] verzocht om, op

basis van de bestaande inzichten, een overzicht te maken van de effecten van ioniserende straling bij de mens.

### Stralingsbelasting bij de mens

Naast het reguliere diagnostische gebruik wordt medische beeldvorming met ioniserende straling ook toegepast bij medisch onderzoek. Verder worden er continu nieuwe technieken ontwikkeld om steeds specifiekere pathofysiologische processen in beeld te brengen. Uiteraard heeft het onderzoeksteam de verplichting om de stralingsbelasting van de vrijwilliger (zowel gezonde personen als patiënten) zo laag mogelijk te houden (As Low As Reasonably Achievable, ALARA). Tevens dient de stralingsbelasting afgewogen te worden tegen het te verwachten nut van de studie voor het individu en/of de maatschappij, zoals bijvoorbeeld toekomstige patiënten. Uiteindelijk beslist de lokale Medisch Ethische Toetsingscommissie (METc) of die afweging acceptabel is en daarmee of de studie kan plaatsvinden.

Bij die afweging wordt vooral gebruik gemaakt van rapporten van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) [10-12], aangevuld met andere literatuur [13,14]. Doordat er geen nationale richtlijn is, zou die afweging door verschillende METc's verschillend kunnen worden geïnterpreteerd. Daarom heeft de Centrale Commissie Mensgebonden Onderzoek (CCMO) [15], het veld verzocht om met concrete richtlijnen te komen die helpen bij de afweging tussen nut en risico, ter ondersteuning van de METc's. Dit verzoek werd opgepakt door de 'Werkgroep Stralingsnormen Medisch Onderzoek' van de Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde (NVNG) [16].

**Tabel I.** Schattingen van drempeldoses voor een 1% incidentie van weefselschade na blootstelling aan ioniserende straling, zoals beschreven in NCS rapport 26 [9].

Orgaan/weefsel	Drempeldosis (mGy)	Biologisch effect	Latente periode
Testis	~100	Tijdelijke steriliteit	3-9 weken
Testis	~6 x 10 <sup>3</sup>	Permanente steriliteit	3 weken
Ovaria	~3 x 10 <sup>3</sup>	Permanente steriliteit	<1 week
Beenmerg	~500	Verminderde hematopoëse	3-7 dagen
Huid (groot oppervlak)	< 3-6 x10 <sup>3</sup>	Roodheid van de huid	1-4 weken
Huid (groot oppervlak)	5-10 x10 <sup>3</sup>	Brandwonden	2-3 weken
Huid	~4 x10 <sup>3</sup>	Tijdelijk haarverlies	2-3 weken
Huid (groot oppervlak)	10 x10 <sup>3</sup>	Late atrofie	>1 jaar
Huid (groot oppervlak)	10 x10 <sup>3</sup>	Teleangiëctasie na 5 jaar	>1 jaar
Oog	~100 per 5 jaar	Cataract (verminderde visus)	>20 jaar
Hersenen	100-200	Cognitieve defecten bij baby's jonger dan 18 maanden	Enkele jaren
Carotide	~500	Cardiovasculaire ziekte	>10 jaar
Hart	~500	Cardiovasculaire ziekte	>10-15 jaar

**Tabel II.** Procentuele toename van incidentie van kanker voor alle typen, inclusief leukemie bij een blootstelling van 10 mSv. Het hoge aantal significante cijfers dient ter facilitering van berekeningen, maar is te exact, gegeven de onzekerheid in de onderliggende data. Uit NCS rapport 26 [9].

Leeftijd (jaar)	0 - 9	10 - 19	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 - 69	70 - 79	80 - 89	90 - 99
<b>Man</b>	0,0998	0,0800	0,0622	0,0512	0,0422	0,0327	0,0223	0,0132	0,0055	0,0004
<b>Vrouw</b>	0,1440	0,1100	0,0854	0,0678	0,0576	0,0441	0,0310	0,0183	0,0070	0,0002

**NCS rapport**

In augustus 2014 is een subcommissie van de NCS<sup>1</sup> van start gegaan met de opdracht van VWS. Vrijwel gelijktijdig werd de werkgroep van de NVNG<sup>2</sup> ingesteld om te werken aan een nationale richtlijn voor stralingsnormen bij medisch onderzoek. Om duplicatie te voorkomen en om een breed draagvlak te creëren heeft de werkgroep van de NVNG in december 2014 contact gezocht met de NCS-subcommissie en werd besloten het CCMO- verzoek gezamenlijk aan te pakken.

Dit resulteerde in mei 2016 in NCS rapport 26, getiteld 'Human Exposure to Ionising Radiation for Clinical and Research Purposes: Radiation Dose & Risk Estimates'. Voorpublicaties van dit rapport werden besproken met VWS en de CCMO en voorgelegd aan de NVNG, alle ondersteunende Wetenschappelijke Verenigingen van de NCS, het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en anderen. De uiteindelijke versie van het rapport is te downloaden van de website van de NCS via <http://radiationdosimetry.org/>.

Dit Engelstalige rapport geeft inzicht in de risico's van ioniserende straling en is een praktisch hulpmiddel bij het maken van ethische afwegingen bij wetenschappelijk onderzoek met vrij-

willigers. Grofweg blijkt dat weefseleffecten zoals tijdelijk haarverlies (>4000 mSv) of blijvende steriliteit (>100 mSv) pas optreden bij doses van meer dan 100 mSv (Tabel I, [9]). Onderzoek waarbij de dosis 100 mSv of meer bedraagt is echter zeer uitzonderlijk en kan ook alleen onder zeer stringente voorwaarden plaatsvinden. De meeste onderzoeken met CT, PET en SPECT geven een stralingsbelasting lager dan 10 mSv.

In het rapport is voor verschillende dosisniveaus zo concreet mogelijk aangegeven wat het nut moet zijn in relatie tot de bijbehorende risico's voor de vrijwilliger. Zo kan een experiment met een 40-jarige vrijwilliger waarbij de te verwachten blootstelling ongeveer 5 mSv bedraagt gerechtvaardigd zijn indien het nut hoog genoeg is, dat wil zeggen 'het vergaren van kennis die direct gerelateerd is aan het voorkomen of genezen van ziekte'. Dat zijn bijvoorbeeld mechanistische studies om te bestuderen of, en in welke mate, een bepaald radioactief gelabeld farmacon aangrijpt op een receptor. Uitvoering van een dergelijke studie bij vrijwilligers is alleen verantwoord indien er een duidelijke rationale bestaat op basis van bijvoorbeeld preklinisch onderzoek. Andere voorbeelden zijn studies waarbij herhaaldelijk PET/CT-scans of bijvoorbeeld 4D CT- scans worden gemaakt om het verloop van een

bepaalde ziekte te vervolgen. Voor dergelijke studies, maar ook voor studies met een lagere dosis, moet een klinisch fysicus beoordelen of de dosis voldoende geoptimaliseerd is en of de studie adequaat is opgezet.

Omdat de gevolgen van blootstelling afhangen van geslacht en leeftijd, geeft het rapport een conversietabel (Tabel II, [9]) met als basis de 'standaard vrijwilliger', een man van rond de 35 jaar. Uiteraard spelen ook andere praktische overwegingen een rol, zoals bijvoorbeeld de levensverwachting van patiënten die als vrijwilliger aan studies meedoen of de blootstelling ten gevolge van een radiotherapiebehandeling [17].

**De risico's van straling**

Gezien de relatief lage stralingsbelasting van patiënten en vrijwilligers, doorgaans ver onder de tolerantiedosis van lichaamsweefsels en organen, is de kans op weefselschade nihil. Het risico van kankerinductie is echter ook aanwezig na blootstelling aan lage stralingsdoses. Hoe groot zijn die risico's nu? Zoals gesteld zijn die risico's gespecificeerd per leeftijdsgroep en geslacht, maar de onderliggende data vertonen een grote spreiding. De getallen die in het rapport worden genoemd moeten daarom met grote zorgvuldigheid worden gehanteerd. Ze kunnen gebruikt worden ►

<sup>1</sup> Subcommissieleden: Marloes de Fluiter-Zeeman, Klaas Franken, Marcel Greuter, Frank de Lange, Adriaan Lammertsma, Peter Sminia, Aart Spilt, Alie Vegter, Marcel Wiegman, Jeroen van de Kamer.  
<sup>2</sup> Leden werkgroep NVNG: Jan Booij, Otto Hoekstra, Adriaan Lammertsma, Jan Pruijm, Eric Visser.

als indicatie, niet als grenswaarden. Bovendien moeten ze in het perspectief worden geplaatst van de kans op het krijgen van kanker in het algemeen. Als voorbeeld nemen we een gezonde mannelijke vrijwilliger van 35 jaar die aan een medisch-wetenschappelijke studie meedoet waarbij hij blootgesteld wordt aan 10 mSv. Het basisrisico om voor zijn 75<sup>ste</sup> de diagnose kanker te krijgen is 30,48% [7<sup>3</sup>]. Het additionele risico hierop is 0,0512% (Tabel II in NCS-rapport 26 [9]), waardoor het totale risico op de diagnose stijgt van 30,48% naar 30,53%. Deze toename is niet nul, maar wel klein ten opzichte van het basisrisico. Overigens is het basisrisico voor deze man om voor zijn 75<sup>ste</sup> te sterven aan kanker 13,61%.

### De risico's van het achterwege laten van straling

Wat zijn de risico's van het achterwege laten van straling bij medisch-wetenschappelijke studies? Dat is in zijn algemeenheid een veel lastiger te beantwoorden vraag. Een aantal diagnostische en therapeutische toepassingen van ioniserende straling is ooit ontwikkeld en klinisch toegepast zonder kennis van de mogelijke schadelijke effecten. Een bekend voorbeeld hiervan is de hoge incidentie van kanker bij de eerste generatie radiologen [18,19]. Helaas was het in de eerste helft van de 20<sup>ste</sup> eeuw moeilijk, zo niet onmogelijk, om een weloverwogen afweging te maken. Tegenwoordig is er gedetailleerde kennis van de effecten van ioniserende straling en zijn de zaken rondom mensgebonden onderzoek veel beter geregeld. Dit geeft de mogelijkheid en tevens de plicht om hier zorgvuldig mee om te gaan.

Wat zouden we missen als we nu stoppen met medisch-wetenschappelijk onderzoek met ioniserende straling? Recent is het mogelijk geworden om met specifieke radioactieve tracers eiwitstapeling bij de ziekte van Alzheimer te kwantificeren, hetgeen met name belangrijk wordt zodra er een doelmatige therapie tegen Alzheimer beschikbaar komt. Verder worden er steeds meer minimaal-invasieve chirurgische tech-

nieken ontwikkeld die onder doorlichting plaatsvinden die direct een gunstig effect hebben op de kwaliteit van leven van de patiënt en de kosten in de gezondheidszorg. Zo zijn er meer voorbeelden van de nuttige toepassing van straling. Voor al deze en toekomstige toepassingen is onderzoek met vrijwilligers nodig. Het achterwege laten van de toepassing van straling betekent stagnatie van medisch-wetenschappelijk onderzoek en in het verlengde daarvan de medische zorg in het algemeen.

### Het middel en de kwaal

Het onderkennen van de mogelijk nadelige effecten van ioniserende straling is essentieel voor het veilig gebruik ervan in de medische wetenschap. Dit mag echter niet leiden tot ongenueanceerde angst die belangrijke ontwikkelingen in diagnostiek en therapie zou kunnen belemmeren. In dat geval zou de angst voor het middel erger zijn dan de kwaal. ■

#### Dr. J.B. van de Kamer

klinisch fysicus, afdeling Radiotherapie Antoni van Leeuwenhoek Ziekenhuis Amsterdam

#### Prof.dr. A.A. Lammertsma

klinisch fysicus, afdeling Radiologie & Nucleaire Geneeskunde VUmc Amsterdam

#### Dr. P. Sminia

radiobioloog, afdeling Radiotherapie VUmc Amsterdam en Cancer Center Amsterdam

#### Literatuur

1. Grant EJ, Brenner A, Sugiyama H, et al. Solid cancer incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958-2009. *Radiat Res* 2017;187:513-37.
2. Preston DL, Sokolnikov ME, Krestinina LY, Stram DO. Estimates of radiation effects on cancer risks in the Mayak Worker, Techa River and Atomic Bomb Survivor Studies. *Radiat Prot Dosimetry* 2017;173:26-31.
3. Kamiya K, Ozasa K, Akiba S, et al. Long-term effects of radiation exposure on health (Review). *Lancet* 2015;386:469-78.
4. The Fukushima Daiichi accident. International Atomic Energy Agency report 2015. Vienna, Austria, ISBN 978-92-0-107015-9

5. Beresford NA, Fesenko S, Konoplev A, et al. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt? (Review). *J Environ Radioact* 2016;157:77-89.
6. Siegel JA, Pennington CW, Sacks B. Subjecting radiologic imaging to the linear no-threshold hypothesis: a non sequitur of non-trivial proportion (Review). *J Nucl Med* 2017;58:1-6.
7. <http://www.cijfersoverkanker.nl>
8. <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-volksgezondheid-welzijn-en-sport>
9. <http://www.stralingsdosimetrie.nl> Human Exposure to Ionising Radiation for Clinical and Research Purposes: Radiation Dose & Risk Estimates. NCS report 26, 2016
10. Radiological Protection in Biomedical Research. ICRP Publication 62. *Ann. ICRP* 22 (3), 1992.
11. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2-4), 2007.
12. ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. *Ann. ICRP* 41(1-2), 2012.
13. Code of Practice for the Exposure of Humans to Ionizing Radiation for Research Purposes. Radiation Protection Series Publication No. 8, Australian Government and Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, ISBN 0-9752133-6-9, 2005
14. Wall BF, Haylock R, Jansen JTM, et al. Radiation risks from medical x-ray examinations as a function of age and sex of the patient. Health Protection Agency report CRCE-028, 2011
15. <http://ccmo.nl>
16. <http://www.nvng.nl>
17. Suit H, Goldberg S, Niemierko A, et al. Secondary carcinogenesis in patients treated with radiation: a review of data on radiation-induced cancers in human, non-human primate, canine and rodent subjects. *Radiat Res* 2007;167:12-42. Erratum in: *Radiat Res* 2007;167:748.
18. Brenner DJ, Hall EJ. Mortality patterns in British and US radiologists: what can we really conclude? *Br J Radiol* 2003;76:1-2.
19. Linet MS, Kim KP, Miller DL, et al. Historical review of occupational exposures and cancer risks in medical radiation workers (Review). *Radiat Res* 2010;174:793-808.

<sup>3</sup>Het aantal decimalen in de getallen is veel te hoog gegeven de onzekerheden in de onderliggende data en model, maar is nodig voor de berekening.





# SOMATOM go.

## Deze allemansvriend maakt u succesvol in CT



Vriendelijk voor uw gebruiker, vriendelijk voor uw patiënt, vriendelijk voor uw technicus en vriendelijk voor uw budget. Het innovatieve SOMATO go. platform is het allemaal.

Neem de unieke bediening via het tablet. De gebruiker is niet meer gebonden aan een vast werkstation maar kan de CT vanuit iedere gewenste positie bedienen en tegelijkertijd meer aandacht geven aan de patiënt. Dankzij geautomatiseerde en gestandaardiseerde protocollen zijn geavanceerde procedures eenvoudig uit te voeren in de dagelijkse routine. En service? Ook daar is een heel nieuw concept voor ontwikkeld, inclusief opleiding. Al deze facetten maken het SOMATOM go. platform niet alleen vriendelijk maar ook succesvol voor uw bedrijfsvoering.





ERIC PETERSEN

## Het tweede leven van een röntgenfoto

De circulaire economie is hot. Bedrijven zoeken voortdurend manieren om producten te recyclen en kringlopen te sluiten. Zo ook Van Scherpenzeel, specialist in het recyclen van kunststof, glas, textiel, papier en het vernietigen van vertrouwelijk materiaal. Door restmaterialen niet te zien als afval maar als waardevolle grondstoffenbron, stelt het bedrijf zich ten doel zoveel mogelijk grondstoffen terug te winnen die kunnen worden hergebruikt voor het maken van nieuwe producten. Over hoe een gerecyclede röntgenfoto verderging als zilveren maatpakknop.



### Er zit waarde in afval

Welke materialen of producten ook worden aangeboden, Van Scherpenzeel garandeert dat de maximale restwaarde eruit wordt gehaald. Op de locatie Utrecht, met een productiehal van 16.500 m<sup>2</sup>, worden alle aangeboden informatiedragers vernietigd: papieren dossiers, cd's, harde schijven, etc. Ook röntgenmateriaal komt er binnen. Eric Petersen, grondstoffenexpert bij Van Scherpenzeel: "Wij zijn regisseur in het ontwikkelen van circulaire modellen, maar bij informatiedragers zoals röntgenfoto's is het onze primaire taak te zorgen dat het materiaal onbruikbaar wordt en gegevens niet op straat komen te liggen. Wij zijn een van de weinige bedrijven in Nederland die daarin SEA+-gecertificeerd zijn. Alle medische dossiers worden binnen 48 uur vernietigd. Dat wil zeggen dat we het materiaal zodanig bewerken (versnipperen, verhakken of vermalen), dat de informatie niet meer te reconstrueren is. Vroeger werd alles simpelweg verbrand, nu is dat gelukkig anders. Bij Van Scherpenzeel stellen we ons continu de vraag: hoe kunnen we zoveel mogelijk waarde halen uit de aangeboden afvalstromen?"

### Zilver uit röntgenmateriaal

Het zilver uit röntgenfoto's kunnen worden gewonnen door verbranding of via

chemische bewerking. Bij verbranding blijft alleen het zilver als herbruikbare grondstof over. Bij chemische bewerking kunnen daarnaast het aanwezige papier en kunststof worden hergebruikt. Welke manier bedrijven kiezen is onder andere afhankelijk van de geschatte zilveropbrengst en van de afweging 'ga je voor duurzaam of voor commercieel'. Met een lage geschatte opbrengst is zilverwinning door verbranden economisch aantrekkelijker – maar minder duurzaam – dan chemische bewerking: de zilveropbrengst is gelijk, de kosten zijn lager (het materiaal hoeft niet eerst te worden uitgepakt, gesorteerd, versnipperd of vermalen).

### Zilverwaarde

Gerelateerd aan de toegepaste technieken van vroeger en nu geldt: hoe ouder het röntgenmateriaal, hoe hoger de zilverwaarde. Veertig jaar geleden bevatte een kilo schone röntgen 9 tot 11 gram zilver. Daarna zakte dat naar 5 tot 7 gram, en het percentage neemt steeds verder af. Volgens de wet moeten medische dossiers vijftien jaar worden bewaard (er wordt gesproken over aanpassing van deze termijn naar 30 jaar). De foto's die nu vrijkomen, komen dus uit 1998-1999. Met een zilverwaarde van 5 tot 7 gram per kilo is deze stroom aan materiaal nog steeds erg interessant.

### Van röntgenfoto naar zilveren knoop

Het onttrekken van zilver aan röntgenfoto's is niet nieuw. Maar steeds meer wordt gezocht naar concrete toepassingen in de circulaire economie. Samen met DutchSpirit – koploper in duurzame maatpakken en -colberts – keek Van Scherpenzeel naar mogelijkheden het zilver toe te passen in de DutchSpirit-kledinglijn. Zo ontstond de unieke DutchSpirit-knoop uit gerecyclede röntgenfoto's. De knoop, gemaakt vanuit passie voor het vak en liefde voor duurzaamheid, is als optie verkrijgbaar bij een duurzaam maatpak of -colbert.

### Ook zo'n knoop?

Bij aanschaf (koop of lease) van een maatpak of -colbert van DutchSpirit krijgen leden van de Nederlandse Vereniging voor Radiologie de knoop ter waarde van € 50 cadeau.

### E. Petersen

Grondstoffenexpert textiel en vertrouwelijk vernietigen Van Scherpenzeel

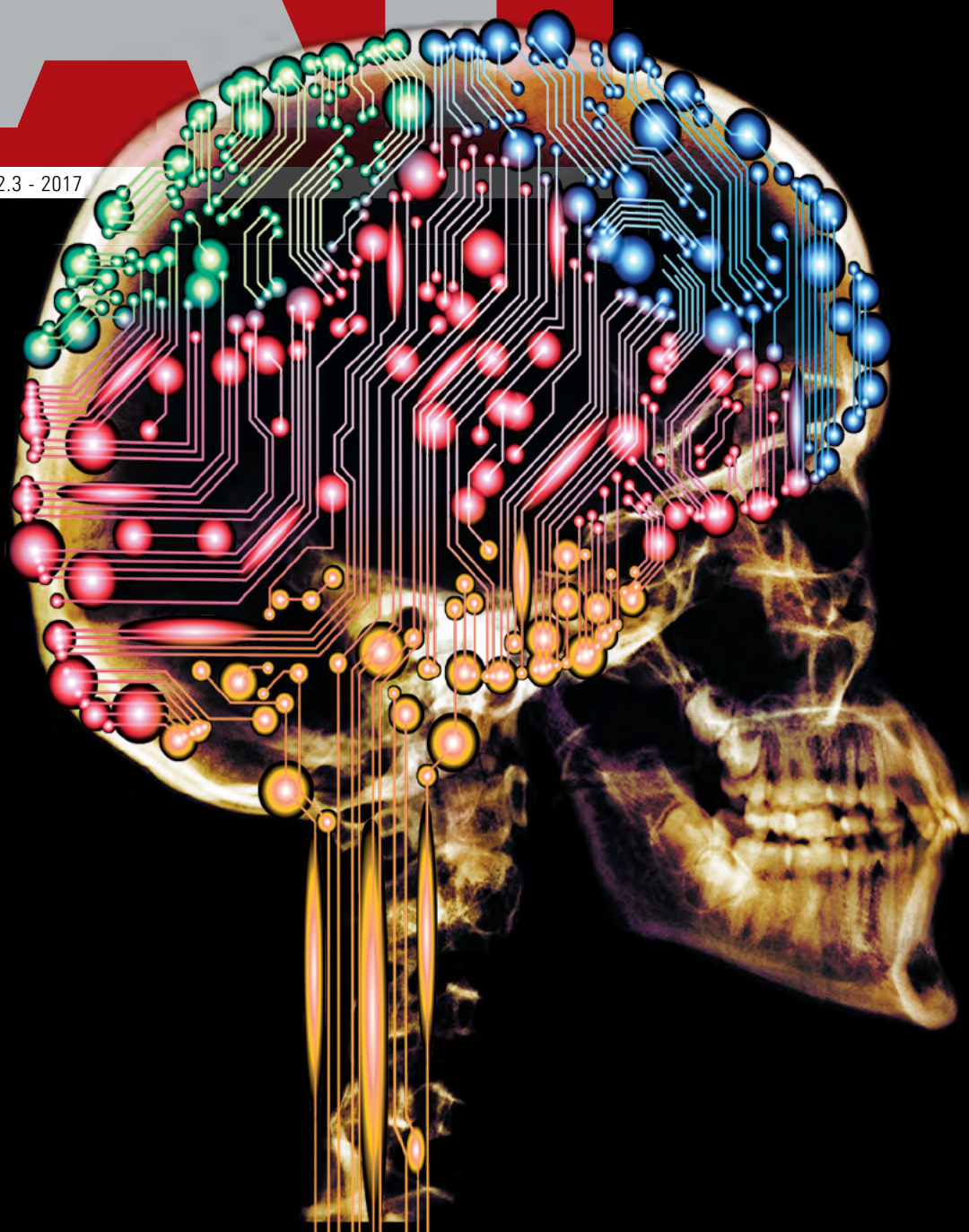
*Ingezonden stuk geschreven op uitnodiging van P. Algra.*

3

# THEMA

# AI

MEMORAD 22.3 - 2017



Nederlandse Vereniging voor Radiologie  
Radiological Society of the Netherlands

# MEMORAD

# INHOUD

<b>Hyper-Super-Mega-Intelligente Robots</b> – <i>column Bert Keizer</i>	13	<b>Radiomics: de geboorte van een artificieel brein</b> – <i>drs. J.J.M. van Griethuysen, drs. M. van de Weijer</i>	55
<b>Weglachen, bestrijden, omarmen: hoe de radiologie om zal gaan met kunstmatige intelligentie</b> – <i>prof.dr. B. van Ginneken</i>	14	<b>Going low... Deep learning voor betere CT-beelden bij lagere stralingsdosis</b> – <i>dr.ir. P. van Ooijen, drs. D. van den Oever, H. Kruitbosch MSc</i>	57
<b>Worden we de nieuwe lantaarnopstekers?</b> – <i>Radiologie na Industrie 4.0 – dr. P.R. Algra</i>	17	<b>Kunstmatige Intelligentie en Nucleaire Radiologie: nazaat van een geslaagd huwelijk!</b> – <i>dr. F.H.P. van Velden, dr. D. Vriens</i>	60
<b>Overwegingen m.b.t. AI</b> – <i>drs. P.J. Roscam Abbing</i>	19	<b>Value-based imaging en AI: wat is de toegevoegde waarde van AI voor de patiënt?</b> – <i>dr. J.J. Visser, dr.ir. S. Klein</i>	63
<b>De Radiogooglist</b> – <i>dr.ir. J.P. de Valk</i>	20	<b>ScreenPoint Medical ontwikkelt Transpara als hulp voor radiologen bij de beoordeling van mammogrammen</b> – <i>prof.dr. N. Karssemeijer</i>	65
<b>Kunstmatige Intelligentie en Deep Learning</b> – <i>prof.dr.ir. B.M. ter Haar Romeny</i>	21	<b>Deep learning-technieken voor detectie en diagnose van borstkanker</b> – <i>prof.dr. N. Karssemeijer, dr.ir. J. Teuwen, drs. S. Vreemann, dr. R. Mann</i>	66
<b>AI-systemen en Robot als rechtspersoon, juridische noodzaak of begin van het einde</b> – <i>dr. R. van den Hoven van Genderen</i>	26	<b>AI in de Radiologie: de visie van Aidence</b> – <i>J. Wakkie, M.J. Harte, J.P.F.C. van Duffelen</i>	69
<b>OpenAI</b> – <i>dr. T. Salimans</i>	34	<b>AI als een instrument voor het verbeteren van de klinische kwaliteit en efficiëntie</b> – <i>dr. H. Pien MSc</i>	71
<b>Machine learning in perfusiebeelden voor detectie van de ziekte van Alzheimer</b> – <i>dr.ir. A.M. Wink, prof.dr. F. Barkhof</i>	35	<b>Diagnoseverbetering en efficiency dankij AI</b> – <i>B. Idzenga</i>	74
<b>Computer-Assisted Intervention in CT-geleide leverablaties</b> – <i>drs. H. Boulkhrif, dr.ir. Th. van Walsum, dr. A. Moelker</i>	37	<b>CAD4TB: Computer leest digitale thoraxfoto</b> – <i>G. Geerts MSc, prof.dr. B. van Ginneken, M. Harbiye MSc</i>	76
<b>Met AI het brein bekijken</b> – <i>drs. M.C. Hoeberigs, prof.dr. P.A.M. Hofman</i>	40	<b>Het perspectief van IBM op AI in de Radiologie</b> – <i>dr. N.S. Hekster</i>	78
<b>AI in de Cardiovasculaire Radiologie</b> – <i>Prof.dr. T. Leiner, dr. I. Išgum, dr. J.M. Wolterink, drs. M. Zreik, drs. R.W. van Hamersvelt, dr. W.B. Veldhuis</i>	42	<b>Drie manieren waarop machine learning het leven van een radioloog makkelijker maakt</b> – <i>A. Post Uiterweer, prof.dr. W. Niessen</i>	81
<b>Toepassing van AI voor beeldanalyse van patiënten met een beroerte</b> – <i>dr. H. Marquering, prof.dr. Ch. Majoie</i>	45		
<b>Structured Reporting en Big Data in de Radiologie en Nucleaire Geneeskunde</b> – <i>drs. M. Nobel, prof.dr. S. Robben</i>	49		
<b>Historie en evolutie van organisaties actief in Imaging Informatics</b> – <i>dr. E.R. Ranschaert, dr. F.H. Bameveld Binkhuysen, dr. P.R. Algra</i>	51		



Uit de film *I, Robot* (2004).  
Robot Sonny tegen detective Spooner (Will Smith);  
'Do you think we were all created for a purpose?  
I'd like to think so.'



BERT KEIZER

# Hyper-Super-Mega-Intelligente Robots

Mensen zijn dol op bedreigingen. IS, vogelgriep, aids (maar die is weer weg), de Russen (weer terug), en dan nu Robots. De vrees is dat deze ijskonijnen ons de planeet af gaan werken. 'Mensen die beperkt worden door de langzame biologische evolutie zullen er niet tegen opgewassen zijn en overvleugeld worden', zei Stephen Hawking tegen de BBC. Ik heb eens geprobeerd zijn *Brief History of Time* te lezen, maar ik begreep er weinig van. Hawking is een van de grootste natuurkundigen aller tijden, ik wil de kranten wel napraten, maar dat wil niet zeggen dat hij verstand heeft van het al dan niet geestelijke leven van robots.

In de NRC van 20 juli 2017 beschrijft Lamyae Aharouay het werk van Demis Hassabis, 'uitmuntend schaker en game-ontwerper'. Hij is de oprichter van Deep Mind. Dit bedrijf wil machines bouwen die voor zichzelf kunnen denken. Als voorbeeld van een succes op dit gebied wordt de AlphaGo-robot genoemd, die won van de wereldkampioen Go.

Gaan die AlphaGo-types ons overvleugelen? Laten we zo laag mogelijk inzetten. Je kunt een robot zo programmeren dat hij bij een kietelend bedoelde aanraking op die plek gaat krabben. Net als een mens. Net als een mens? Je zult dan ook moeten programmeren wanneer hij moet ophouden met krabben. Een mens houdt op als de jeuk weg is. Maar wanneer laat je een robot ophouden met krabben, of 'krabben'? Want hij heeft helemaal geen jeuk. In *The New York Review of Books* schrijft John Searle dat de schaakcomputer Deep Blue Garry Kasparov nooit versloeg, maar dat Kasparov wel van de computer verloor. Deep Blue schaakt niet, in de zin waarin een robot niet krabt. Dat zag je ook na afloop van de match: *'Kasparov in despair immediately seized a bottle of vodka, while Deep Blue, as programmed, started adding to the known number of decimals in Pi'*. Ik citeer uit een verzonnen verslag. Wat kan een computer nou beleven aan een

schaakmatch of extra decimalen van Pi? Wat kan een computer beleven? Niks.

We stuiten hier op het probleem van qualia, sensaties, gewaarwordingen, gevoelens. Je kunt een koffieproefmachine ontwerpen die alleen bij koffie van een temperatuur en samenstelling die ons doet roepen 'heerlijke koffie is dit' hetzelfde roept en dat hij dat alleen maar roept bij die koffie. Maar hij proeft niks.

Die AlphaGoRobot speelt geen Go. Hoe weet je dat? Nou, stel je voor dat die machine na zijn overwinning in hoongelach was uitgebarsten, of in tranen uit medelijden voor zijn tegenstander, of meteen naar huis had gebeld om het zijn vrouw te laten weten, of een persconferentie belegde, etc., etc., dan zou je zeggen dat hij het spel echt gespeeld had. Maar dan zou hij ook geërgerd en opgelucht en ongeduldig en hoopvol en pissig geweest moeten zijn TIJDENS de match. Kan een spelcomputer hoonlachen, huilen, vrouw bellen, met de pers spreken? Kan hij opgelucht zijn, geprikkeld, hoopvol, etc.? Kan een vlieg belasting betalen? Onzin.

## Begripsmatige onmogelijkheid

Het is wel de moeite waard even stil te staan bij de aard van het woordje 'kan' in de vraag: kan een computer opgelucht, boos, blij, etc. zijn? Het gaat om een bij-

zonder 'kan' dat je ook terugvindt in de vraag: kan een vlieg belasting betalen?

Het antwoord is 'nee', en niet omdat de vlieg toevallig geen geld heeft, of omdat de belastingdienst zijn juiste adres niet te pakken kan krijgen, of omdat de vlieg zijn rekeningnummer steeds vergeet, nee, het KAN gewoon niet.

Het gaat om een begripsmatige onmogelijkheid. En na deze uitweiding kunnen we op goede grond zeggen: HyperMegaSuper-tiepjes kunnen de planeet niet overnemen in de zin waarin ze ook geen koffie kunnen proeven.

Elon Musk denkt hier anders over, nou ja, 'denken' is een groot woord. Hij wil wetten om ons te beschermen tegen AI-bots. In Vanity Fair stond een ontmoeting beschreven tussen Musk en Hassabis, waarin Musk beschreef dat het zijn ultieme doel is om onze verhuizing naar een andere planeet mogelijk te maken om op die manier te ontkomen aan een eventuele overname door Hyper-Super-Mega-Intelligente Robots. Waarop Hassabis zei dat die moppies ons natuurlijk zouden volgen die kant op. Of nee, voorgaan. Ziet u het tafereel? Nadat we in diepbevroren toestand na een reis die 250 jaar duurde eindelijk ontdooien op AARDE-2 is het eerste 'wezen' dat zich over onze cryo-wieg buigt een grijnzende Hyper-Bot. Ze waren er allang.

Robots maken niks mee. Zij hebben geen ambitie, niet om ons te dienen, niet om ons uit te roeien en ook niet om ons te volgen naar elders.

Het is niet onmogelijk dat robots ons terzijde zouden schuiven, maar niet omdat ze de boel willen overnemen. Ze kennen die aandrang niet. Misschien zou je ►

enkele miljoenen robots zodanig kunnen programmeren dat ze op zoek gaan naar een virus dat alle mensen doodt. Maar dan nog zijn ze niet bezig om ons te overvleugelen, maar wordt het plan uitgevoerd dat de mensen die hen programmeerden erin hebben gelegd. Nou kan een groep dolgedraaide idealisten

best op het idee komen om alle mensen te laten verdwijnen, omdat mensen vaker lijden dan dat ze het naar hun zin hebben. Utilitarisme ten top. Maar dan nog zouden de overblijvende robots niet het gevoel hebben dat ze overwinnaars zijn, zelfs niet als de inmiddels 'overvleugelde' programmeurs hen zodanig hadden

voorgeprogrammeerd dat ze in voortdurende afwezigheid van menselijk leven aanhoudend de klank 'hoera alle mensen zijn weg!' zouden voortbrengen. ■

**Bert Keizer**



BRAM VAN GINNEKEN

## Weglachen, bestrijden, omarmen: hoe de radiologie om zal gaan met kunstmatige intelligentie

**“Elke waarheid doorloopt drie stadia. Eerst wordt ze uitgelachen. Daarna wordt ze heftig bestreden. Ten slotte wordt ze als vanzelfsprekend aanvaard.” Deze wijze woorden van de Duitse filosoof Arthur Schopenhauer vormden de basis voor mijn oratie<sup>1</sup>, in september 2012, waarin ik de toehoorders, met name mijn medische collega's waarmee ik samenwerk, probeerde voor te bereiden op wat ze te wachten stond: Computers gaan het werk overnemen van artsen die de hele dag naar plaatjes kijken en zeggen wat ze daarop zien.**

Die uitspraak is controversieel, of was dat in ieder geval vijf jaar geleden, in 2012. En dat zijn uitspraken dat iets wat breed ingeburgerd is volledig gaat veranderen, altijd. Dat is precies wat Schopenhauer zo goed in de gaten had.

De eerste fase, weglachen, heb ik meege maakt als promovendus. In 1997 begon ik, net afgestudeerd natuurkundige met een voorliefde voor programmeren, met mijn promotie aan het UMC Utrecht bij Bart ter Haar Romeny, elders in dit blad aan het woord. Ik mocht vier jaar lang een computerprogramma schrijven dat van een digitale thoraxfoto zegt of de persoon op de foto tuberculose heeft. Als ik artsen destijds vertelde waar mijn on-

derzoek over ging, begonnen ze meestal te grinniken. “O jee, jouw computer gaat toch niet mijn baan overnemen, he?” Wat een idioot idee, wat denkt die rare jongen wel? Elders in dit tijdschrift kunt u lezen hoe CAD4TB, verder ontwikkeld in mijn onderzoeksgroep aan het Radboud UMC, inmiddels een product is geworden dat nu in twintig landen wordt gebruikt.

Zo'n oratie schrijven valt niet mee. Het moet voor een breed publiek begrijpelijk zijn. Hoe moest ik mijn publiek vertellen dat iets wat ze waarschijnlijk nog idioot vinden, en daarna heftig zullen bestrijden, vanzelfsprekend zal worden? Ik moest een goed voorbeeld uit het verleden vinden, bedacht ik.

Ik stuitte op het prachtige essay 'From Horse Power to Horsepower' van Eric Morris<sup>2</sup>. Hij beschrijft daarin de eerste conferentie voor stadsplanning in 1898 in New York, waar experts uit de hele wereld zich dagenlang bogen over het probleem van de paardenpoep. In elke grote stad namen tienduizenden paarden het vervoer voor hun rekening, en elk paard produceert per dag zo'n twintig kilo uitwerpselen. Wat een smerigheid en ziekten dat veroorzaakte is haast niet voorstelbaar. En het aantal paarden nam exponentieel toe. De Times had uitgerekend dat binnen vijftig jaar de straten van London door drie meter poep bedekt zouden zijn. Een gigantisch probleem! Dat nooit een probleem werd, omdat auto's paarden binnen twintig jaar bijna volledig vervingen.

En het mooie was dat die auto's al lang bestonden in 1898. Maar niemand nam ze serieus als alternatief voor paarden. Auto's waren rare, krakkemikkige dingen, die steeds vastliepen. Het idee dat auto's de oplossing voor het vervoer in een stad zouden zijn en een serieus alternatief vormden voor het alomtegenwoordige paard, dat was iets waar je hooguit vro-

lijk om kon lachen. Zoals grootmeesters in de jaren zeventig en tachtig konden schuddebuiken over het geklungel van schaakcomputers. Ik haalde ook nog het beroemde boek van Levy en Murnane uit 2005 aan, *The New Division of Labor*, waarin ze de gevolgen van automatisering voor de arbeidsmarkt beschreven. Die waren enorm, maar de auteurs waren ook heel stellig dat een heleboel taken absoluut niet door computers konden worden overgenomen. Hun voorbeeld: autorijden.

We weten allemaal wat er gebeurd is. Vijf jaar later presenteerde Google zijn zelfrijdende auto. Anno 2017 is er geen serieuze autofabrikant die niet bezig is zelfrijdende auto's te ontwikkelen. Ze zullen bestreden worden, want er is wetgeving die veranderd moet worden en er zijn gevestigde belangen en er zullen vreselijke ongelukken komen, want het duurt nog een tijd voor die automatische auto's echt goed zijn. Zodra dat het geval is worden ze vanzelfsprekend.

In de rest van mijn oratie presenteerde ik een hele reeks voorbeelden van computerprogramma's die al taken op het niveau van artsen beheersen. De BoneXpert van Hans Henrik Thodberg om de skeletleeftijd te bepalen; het mammografiewerk van mijn collega Nico Karssemeijer; onze systemen om diabetische retinopathie en maculadegeneratie te detecteren in fundusfoto's, nu op de markt gebracht door Thirona, een spin-off waar ik medeoprichter van ben.

Hoe optimistisch ik toen ook al was, wat ik niet kon vermoeden is dat de ontwikkelingen nog veel sneller zouden gaan. Dat kwam door een doorbraak een paar maanden na mijn oratie, in december 2012. Op de NIPS- (Neural Information Processing Systems) conferentie presenteerde Alex Krizhevsky een diep neuraal netwerk, al snel AlexNet genoemd, dat het record verpletterde in de ImageNet-competitie, een jaarlijkse wedstrijd voor computerprogramma's in het herkennen van duizend verschillende objecten in willekeurige foto's. Deep learning was al succesvol gebleken in spraakherkenning, maar dit was het begin van een complete omslag in de computer vision. Elke serieuze groep in de wereld kwam er geleidelijk achter dat grote, diepe convolutienetwerken aanmerkelijk beter werken dan alle andere bestaande methoden om plaatjes te analyseren. In mijn groep begonnen we er eind 2013 mee te experimenteren, en inmiddels is iedereen erop overgeschakeld.

Wij zijn niet de enigen die ontdekt hebben dat wat werkt voor plaatjes van katten op het internet, het ook uitstekend doet voor X-rays, CT- en MRI-scans. In een net gepubliceerd overzichtsverhaal beschrijven we 300 artikelen die deep learning toepassen op medische beelden<sup>3</sup>. De komende vijf jaar leid ik een consortium van vijf Nederlandse academische groepen en zeven bedrijven dat met een subsidie van vele miljoenen deep learning-systemen gaat bouwen voor digitale pathologiebeelden, retinafoto's en allerlei radiologische scans. Het een na het andere artikel verschijnt nu over computersystemen die voor een bepaalde taak opereren op het niveau van de medische professional – radioloog, patholoog, oogarts, dermatoloog, en ga zo maar door.

Dat is waar we nu staan. Kunstmatige intelligentie is op dit moment een hype. Daar hoort bij dat er bedrijven actief zijn, die geld nodig hebben, en daarom overtrokken en onzinnige claims maken. Wie een goed gevoel wil krijgen voor wat AI nu wel en niet kan, raad ik een kort artikel aan van Andrew Ng, een van de grootmeesters in dit gebied<sup>4</sup>. Het komt erop neer dat elke taak met een duidelijk gedefinieerde input en output die mensen in 1 of 2 seconden kunnen doen, net zo goed (of beter) door een computer gedaan kan worden. Ng noemt dit 'A to B'-taken. Een voorbeeld voor de radioloog: A is een thoraxfoto, B is het antwoord op de vraag "is er een nodule zichtbaar?". Zaken waar je langer over na moet denken, en die niet een vaste input naar een vaste output mappen maar echt redeneren en doorgronden vereisen, zijn veel moeilijker voor computers. Dat wordt 'sterke kunstmatige intelligentie' genoemd, en hier doen vele academische groepen en bedrijven als Google DeepMind en OpenAI fascinerend werk, maar dat staat nog in de kinderschoenen. Tim Salimans schrijft daarover elders in dit blad.

Mijn stelling is dat het overgrote deel van het werk van de radioloog bestaat uit 'A to B'-taken. (Natuurlijk zijn er uitzonderingen; de interventieradiologen hoeven zich nog niet druk te maken.) Al die 'A to B'-taken kunnen door computers worden overgenomen. Maar dan moet daar wel eerst een computersysteem voor ontwikkeld worden. En dat is anno 2017 weliswaar mogelijk, en dankzij deep learning en de beschikbaarheid van allerlei open source deep learning-software een stuk eenvoudiger dan vijf jaar geleden, maar het vereist wel de nodige techni-

sche competentie, en het is een heleboel werk, al was het maar om een heel grote, goed gelabelde, set trainingsdata te verzamelen. Niet iedereen is technisch even competent, en niet iedereen neemt of heeft de tijd om goede trainingsdata te verzamelen. Daarom verschijnen er ook allerlei zeer matige softwarepakketten op de markt. Dat is iets waar de moderne radioloog, die de AI-revolutie wil omarmen in plaats van bestrijden, zich heel goed van bewust moet zijn. Radiologen zouden veel meer het heft in eigen hand moeten nemen en de beschikbare software zelf gedegen moeten testen. Mocht die test slecht uitvallen voor de software, dan betekent dat niet dat 'deze taak nog niet door de computer kan worden overgenomen en inbreng van de radioloog nodig blijft'. Dit soort uitspraken kom ik voortdurend tegen in de literatuur. Die uitspraak is fout; het betekent alleen dat het hier geteste computersysteem niet goed genoeg is, maar dat sluit allerminst uit dat er een veel en veel beter computersysteem gebouwd kan worden.

Ook al ben ik ervan overtuigd dat zeer goede 'A to B'-systemen gebouwd kunnen worden, dat betekent nog niet dat dat ook gebeurt en dat dit soort systemen snel breed beschikbaar zal komen voor de radioloog. Er zijn allerlei praktische, technische en ethische hindernissen te noemen, maar uiteindelijk is de voornaamste factor hier, zoals zo vaak, geld. De technologie is er klaar voor, en bedrijven zullen daarom prachtige AI-producten voor de radiologie ontwikkelen, als er maar geld mee verdiend kan worden. Als de kosten de baten overstijgen, dan gebeurt het niet. En als ze meer geld kunnen verdienen met slechte producten, dan doen ze dat.

De computer-aided diagnose (CAD) software voor de mammografie is een mooi voorbeeld. Vele radiologen kennen die software, die al sinds eind jaren negentig op de markt is. Weinigen zijn onder de indruk. In 2001 kwam er in de VS een vergoeding van de verzekeraars voor het gebruik van deze software als 'second reader'. Een vast bedrag per mammogram. Uiteraard alleen voor softwareproducten die getest en goed bevonden waren door de FDA. 'Goed' betekent hier dat de software als *second reader* de radioloog (de *first reader*) in een observerstudie beter maakt, al is het maar een heel klein beetje. Maar echt goed werkte die software allerminst, en dat is niet verbazingwekkend. De eerste generatie van een nieuw soort product ►

is meestal niet heel goed (denk weer aan de krakkemikkige auto's uit 1898). Dus je zou verwachten dat er met man en macht gewerkt werd om die software te verbeteren en op het niveau te brengen van een goede mammascreeblingsradioloog. Het tegenovergestelde gebeurde. De bedrijven, die met hun CAD goed verdienden aan de vergoeding van de verzekeraars, ontmantelden hun onderzoeksafdeling en breidden hun sales en marketing uit. De Amerikaanse screeningscentra kochten allemaal CAD, want elke druk op de knop brengt geld van de verzekeraars in het laatje. Er was geen enkele reden voor de bedrijven hun software te verbeteren: de vergoeding van de verzekeraars was een vast bedrag en hing niet af van de prestaties van de software (dat geldt anno 2017 nog steeds!). Een nieuwe versie van de software zou weer uitgebreid door de FDA getest moeten worden, met een schreeuwend dure observerstudie die het bedrijf zelf moet betalen. Dit soort perverse financiële prikkels vind je helaas op heel veel plaatsen in onze gezondheidszorg. Uiteindelijk zal veel betere, op deep learning gebaseerde, software voor analyse van mammogrammen wel op de markt komen. Mijn collega Nico Karssemeijer, die ScreenPoint heeft opgericht en daar ook in dit nummer over schrijft, is er druk mee bezig.

In een ander artikel in dit blad spreken Jan-Jaap Visser en Stefan Klein over 'value-based health care' en halen ze de managementgoeroe Michael Porter aan die stelt dat een innovatie toegevoegde waarde heeft als de kwaliteit van de zorg omhoog gaat of de kosten omlaaggaan. Ze schetsen voor AI vooral mogelijkheden om de kwaliteit te verhogen. Over de mogelijkheid om de kosten te verlagen zijn ze minder optimistisch: "Mogelijk [kan er] tijd worden bespaard door de radioloog. Of dit daadwerkelijk het geval is zal in de praktijk moeten blijken. Het beschikbaar krijgen van meer informatie zal met zich meebrengen dat de radioloog extra tijd nodig heeft voor het maken van het verslag." Ik kijk daar anders tegenaan. Mijn groep heeft de afgelopen jaren software gemaakt die helemaal automatisch een Lung-RADS-rapport produceert bij een thorax-CT-scan van een deelnemer aan longkankerscreening. Die software is geïntegreerd in een speciaal werkstation voor radiologen om efficiënt screeningsstudies te lezen<sup>5</sup>. We hebben al laten zien dat dit de leestijd kan halveren zonder dat de kwaliteit van de beoordeling achteruitgaat. Dat de kosten lager zijn als de

software geheel automatisch werkt is helemaal evident. Kan dat echt? Is dat goed genoeg? We zitten er dichtbij, en we zijn niet de enigen.

Dit jaar heb ik geholpen met de organisatie van een Kaggle-competitie waarbij de computer op basis van een screening thorax-CT moest voorspellen of binnen een jaar met longkanker gediagnosticeerd zou worden<sup>6</sup>. De prijzenpot van 1 miljoen dollar, gedoneerd door een hedgefonds miljardair die nu filantroop is, trok een grote groep deelnemers. Maar liefst 1972 teams stuurden een inzending in. Al leek het resultaat van het overgrote deel van de systemen nergens op, de prijswinnaars, de tien beste systemen, werken verbluffend goed. Ik nam de scores van de tien beste systemen voor de 500 test scans en maakte er ROC-curves van<sup>7</sup>. Dat gaf scores tussen de 0,849 en 0,883. Daarna heb ik zelf alle scans gelezen, en van alle nodules in de scan de score berekend met het PanCan-model<sup>8</sup>. De score van de ROC-curve die ik zo kreeg was lager, 0,824. Nu ben ik geen radioloog, misschien lag het daaraan. Intussen heeft een ervaren thoraxradioloog alle 500 cases gelezen en gescoord. Hij scoorde 0,849, net zo goed als de nummer 10 van de computers. We zijn bezig meer radiologen deze scans te laten scoren. Wie mee wil doen en zich wil meten met de computer kan zich bij mij melden, mijn e-mailadres staat onder dit verhaal. Het is niet nodig alle 500 scans te lezen en je kan het doen in een web-omgeving die er uitziet als een PACS-station. Het is erg leuk te vermelden dat de twee beste computersystemen uit Nederland kwamen, van Julian de Wit, een freelance software-ingenieur uit Hoek van Holland, en van Aidence, een Amsterdamse startup die elders in dit blad haar verhaal doet.

Het idee dat computers zonder tussenkomst van radiologen CT-scans beoordelen, ook al is het alleen in de beperkte setting van longkankerscreening, is in de VS op dit moment zonder meer een brug te ver. Dat wordt heftig bestreden door radiologen. Maar tegelijkertijd wordt het ook al omarmd. Ik heb een longarts gesproken die een longkankerscreeningscentrum aan het opzetten was. Hij was zeer onder de indruk van onze software en vroeg me met glimmende ogen: "Als ik dit koop, kan ik mijn centrum dan opzetten zonder dat ik een radioloog nodig heb?". Scheelt een hoop in de kosten! Het antwoord is op dit moment overigens negatief, niet omdat onze software niet goed genoeg is, maar omdat je in de VS dan niet

voor een vergoeding van de verzekeraars in aanmerking komt; een Lung-RADS-beoordeling door een gecertificeerde radioloog is een vereiste.

De komende jaren zullen we zien hoe radiologen kunstmatige intelligentie zullen bestrijden en omarmen. Omarmen, omdat weinigen een probleem zullen hebben met een handig knopje in hun PACS-station dat het saaie zoekwerk naar kleine afwijkingen overneemt en het opmeten en nalopen van laesies automatisch doet. Bestrijden, omdat ze zich zullen realiseren dat sommige stukken van hun werk, waar ze nu goed aan verdienen, echt gaan verdwijnen. Veranderingen doen altijd ergens pijn. En terecht bestrijden, omdat er producten op de markt komen die niet goed genoeg werken en hun claims niet waarmaken. Ik ben er ook van overtuigd dat heel veel radiologen kansen zien en data-scientists zullen helpen om goede automatische systemen te bouwen. Wij kunnen die hulp goed gebruiken; mijn groep had nooit kunnen bereiken wat we al hebben bereikt zonder de voortdurende kritische input van een heleboel radiologen. Daar komt bij dat er letterlijk duizenden 'A to B'-taken zijn die de radioloog in zijn dagelijks werk vervult. Er is dus gigantisch veel werk te doen. ■

### Prof.dr. B. van Ginneken

Diagnostic Image Analysis Group,  
Afdeling Radiologie en Nucleaire  
Geneeskunde, Radboud UMC  
bram.vanginneken@radboudumc.nl

### Literatuur

1. <https://medium.com/@bramvanginneken/paard-radioloog-tractor-computer-10be684d9702>.
2. <http://www.accessmagazine.org/spring-2007/horsepower-horsepower/>
3. Het artikel van Geert Litjens is zojuist verschenen in Medical Image Analysis en hier publiek beschikbaar: <https://arxiv.org/abs/1702.05747>
4. <https://hbr.org/2016/11/what-artificial-intelligence-can-and-cant-do-right-now>
5. <http://www.veolity.com/> en <http://www.invivocorp.com/solutions/lung-cancer-screening/>
6. <https://www.kaggle.com/c/data-science-bowl-2017>. Een overzicht van dit soort competities is te vinden op mijn website <https://www.grand-challenges.org>.
7. De resultaten en meer achtergrond over CT longkanker screening presenteerde ik in juni in San Jose bij de NVidia GPU conferentie: <http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2017/video/s7577-bram-van-ginneken-data-science-bowl-lung-challenge.mp4>
8. <http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1214726>



# Worden we de nieuwe lantaarnopstekers?

## Radiologie na Industrie 4.0



PAUL ALGRA

“Maar krijgen we nog een baan over vijf jaar”, en “Hoe zit dat met ons?” vragen aiossen radiologie resp. jonge klaren zich weleens vertwijfeld af. “Kunnen computers, robots of algoritmen ons werk overnemen?”

De angst dat computers onze banen overnemen, zit er goed in. Immers, het rekentuig is nu al vaak sneller en soms beter dan radiologen, en ze worden nooit moe. De zorg van banenverlies kan niemand wegnemen; ga er maar vanuit dat het een kwestie van tijd is dat computers beter gaan presteren dan ervaren radiologen. En dat op een breed terrein.

De verbluffende resultaten van computers de laatste jaren hebben we op meer terreinen gezien; AI is beter dan gevechtspiloten, kan de uitspraken van rechters voorspellen en muziek in de stijl van Bach componeren die professionele klassieke musici niet kunnen onderscheiden van het oorspronkelijke werk.

Sterker nog, door integratie met klinische data (genetische, relevante voorgeschiedenis, wetenschappelijk data, etc.) waarbij AI extra functionaliteit introduceert, kan AI iets wat radiologen nooit kunnen geven. AI wordt wel de 4<sup>e</sup> industriële revolutie genoemd (zie *Kader*).

Dat er door AI op korte termijn mondiaal banen gaan verdwijnen is een breed gedragen idee; lees het rapport van World Economic Forum er maar op na. Vooral in de zorg, de energiesector en de financiële sector gaan veel meer banen verdwijnen dan erbij komen.

Duidelijk is dat de functies met eenvoudige, vaak herhalende taken meer worden bedreigd dan de creatieve, ondernemende en service verlenende beroepen. Als je werk alleen bestaat uit het ontdekken van patronen in data, het zitten achter een computer en het klikken op een muis – dan wordt het oppassen de komende tijd.

En er zijn meer gevaren; bedrijven die de big data-berg beheeren kunnen een monopoliepositie gaan vormen; kunstmatige intelligentie maakt lui en we worden kwetsbaar voor cyberaanvallen. En dat is nog maar het begin; volgens Elon Musk en Stephen Hawking moeten we zelfs vrezen voor het voortbestaan van het menselijke ras. Harari ziet het iets minder somber in; mensen zullen overleven, maar gaan een overbodig ras vormen.

Genoeg apocalyps, hoe zit het met de radiologie? Ook hier zwartkijkers genoeg. Geoffrey Hinton en Ezekiël Emanuel beweren dat binnen vijf jaar radiologen overbodig zijn. Bijgevolg raadt Hinton aan de opleiding tot radioloog te staken. In ieder geval zullen radiologen de eerste medisch specialisten zijn die de effecten van AI gaan ondervinden. Andrew Ng stelt dat radiologen waarschijnlijk makkelijker vervangbaar zijn dan laboranten.

### ‘Stop training radiologists.’

G. Hinton

Hebben deze pessimisten een punt of is het angsthazerij? Vormen we inderdaad een uitstervend ras, of ‘wasted protoplasm’, zoals een CEO van een startup het onlangs verwoordde?

Misschien valt het allemaal wel mee. AI kan de positie en het aanzien van de radioloog versterken door accuratere diagnoses en uitbreiding met radionomics en clinical decision support toe te voegen. AI gaat alle routineklussen overnemen; minder saai en meer interessant werk blijft er over. Ook kan kunstmatige



intelligentie ‘onnodige’ en dubbele onderzoeken voorkomen en sturen op een protocollaire navolging van richtlijnen. Onlangs berichtte Pamela Johnson van Johns Hopkins dat tussen de 20-50% van de ‘scans’ overbodig zou zijn.

AI maakt het mogelijk dat radiologische steun wereldwijd ter beschikking komt, juist daar waar er een gebrek aan is (niet alleen in de derde wereld, maar ook in Europese landen als Ierland en UK, Australië en Nieuw-Zeeland) (Siegel). Daarnaast zullen er door AI ook nieuwe banen ontstaan, waarvan het maar de vraag is of daarin op tijd kan worden voorzien, zegt Eric Schmidt, CEO Alphabet.

Bovendien loopt het niet zo’n storm met die AI; een voorloper van AI zoals CAD voor mammografie is al ruim twintig jaar beschikbaar, maar heeft nog geen enkele radioloog werkloos gemaakt. Dan is er nog de FDA, die voor elke kunstma- ▶

tige intelligentie-toepassing een aparte toestemming moet geven.

Een vlotte acceptatie van kunstmatige intelligentie door arts en patiënt van een door computers gegenereerde diagnose valt nog te bezien. Vergelijk kunstmatige intelligentie met de automatische piloot in een vliegtuig. Vaak zal een automatische piloot het grootste gedeelte van de vlucht, inclusief start en landing, kunnen uitvoeren, maar een paar wakkere piloten van vlees en bloed in de cockpit vindt menig passagier toch een geruststellend idee.

En hoe betrouwbaar is kunstmatige intelligentie? Ook nu gaat de vergelijking met de automatische piloot op. De automatische piloot is niet onfeilbaar; er zijn meerdere ongelukken bekend waarbij de automatische piloot het liet afweten, zowel in vliegtuigen (Harford) als in de eerste Tesla's.

Makkelijke routinematige klussen kan een robot goed en beter dan de mens, maar zodra het niet een standaardprocedure is, wordt het voor de robot moeilijk.

### Maar wat betekent AI nu voor ons?

Uiteindelijk zal de radioloog met kunstmatige intelligentie het beter doen dan de radioloog zonder dit hulpmiddel (Mesko). Het is niet mens tegen de machine, maar mens met de machine. In dit verband wordt artificiële intelligentie ook wel Augmented Intelligence genoemd.

AI zal een normaal onderdeel van ons werk uit gaan maken; Recht en Bryan



Tesla crash.

revolutie	wanneer	trefwoorden
1	1750	stoommachine, eerste fabrieken
2	1900	elektriciteit, verbrandingsmotor, aardolie
3	1950	computer, internet, globalisering
4	2015	AI, IoT, autonomous vehicles, nanotechnology, quantum computing

De vierde industriële revolutie wordt gekenmerkt door een samensmelting van technologieën waardoor de grenzen tussen het fysieke, digitale en biologische vervagen. Zelfrijdende auto's, wearables, nanotechnologie, 3D-printers, virtual reality en robotisering worden tot de vierde industriële revolutie gerekend (bron:wikipedia).

Het begrip kreeg brede bekendheid door het populaire boek van Erik Brynjolfsson en Andrew McAfee, 'The Second Machine Age' (2014), en wordt inmiddels als begrip gebruikt in het World Economic Forum 2016.

verwachten dat alleen radiologisch onderzoek dat is gezien is door de computer nog door de radioloog wordt bekeken. Dat de radioloog de superviserende rol zal behouden, wordt sterk ondersteund vanuit de industrie. Niemand zit te

## 'Radiologists who use AI will replace those who don't.'

Bertalan Mesko

wachten op law suits veroorzaakt door falende computers. Voor ons wordt het er alleen maar leuker op!

Dr. P.R. Algra  
radioloog NWZ Alkmaar

#### Bronnen

- *AI en Bach*  
<https://www.technologyreview.com/s/603137/deep-learning-machine-listens-to-bach-then-writes-its-own-music-in-the-same-style/>
- [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)

- <https://www.mtmediagroep.nl/wp-content/uploads/2017/05/WP-MT-Banen2030-DEF-002.pdf>
- *Elon Musk*  
<https://www.vanityfair.com/news/2017/03/elon-musk-billion-dollar-crusade-to-stop-ai-space-x>  
<https://www.inverse.com/article/34227-elon-musk-warns-governors-ai-is-fundamental-risk-to-civilization>
- *Stephan Hawking*  
<https://futurism.com/2-expert-thinks-ai-will-undoubtedly-wipe-out-humanity/>  
<http://www.bbc.com/news/technology-37713629>
- *Ezekiel Emmanuel*  
<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp1606181>
- *Geoffrey Hinton: AI will make radiologists jobless*  
[https://www.youtube.com/watch?v=31zi4g\\_r36c](https://www.youtube.com/watch?v=31zi4g_r36c)
- *G Hinton. Stop training radiologists.*  
<https://www.youtube.com/watch?v=2HMpRXstSvQ>
- *Andrew Ng*  
<https://www.youtube.com/watch?v=2-pzRNLxOo>
- *Harari*  
<http://ideas.ted.com/the-rise-of-the-useless-class/wasted-protoplasm>  
<http://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=ser&sub=def&pag=dis&itemID=114604>
- *overuse scans Pamela Johnson*  
<http://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=ser&sub=def&pag=dis&itemID=117720>
- *interview Eliot Siegel*  
<http://www.auntminnie.com/index.aspx?sec=ser&sub=def&pag=dis&itemID=114604>
- <https://www.itnonline.com/videos/video-machine-learning-and-future-radiology/5493563145001>
- *Alphabets ceo Eric Schmidt*  
<http://www.cnbc.com/2017/06/16/ai-robots-jobs-alphabet-eric-schmidt.html>
- *Recht and Bryan*  
[http://www.jacr.org/article/S1546-1440\(17\)30834-7/abstract](http://www.jacr.org/article/S1546-1440(17)30834-7/abstract)
- *Tim Harford*  
<https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/11/crash-how-computers-are-setting-us-up-disaster>
- *Bertalan Mesko Radiologists who use AI will replace those who don't*  
<http://medicalfuturist.com/the-future-of-radiology-and-ai/>
- *Meer kansen dan bedreigingen*  
<http://medicalfuturist.com/10-things-how-artificial-intelligence-could-make-me-a-better-doctor/>



PIETER ROSCAM ABBING

## Overwegingen m.b.t. AI

In mijn hoedanigheid van voorzitter van de kamer Medisch Specialist van het Capaciteitsorgaan (CO) kan ik het volgende opmerken:

- Driejaarlijks wordt door het CO een advies opgesteld waarbij op basis van veel verschillende gegevens getracht wordt een behoefteanalyse aan specialisten op de middellange termijn (15 jaar) te maken. Daarbij wordt onder andere gebruik gemaakt van input van de Wetenschappelijke Verenigingen (WV'en), met name over zaken die het arbeidsproces en de efficiency betreffen.
- Tot op heden is het element AI nog niet in de overwegingen meegenomen. Het ligt echter in de rede dat dit bij het volgende advies (2019) wel het geval zal zijn.
- Momenteel wordt er erg veel geschreven en gesproken over AI en Deep Learning. Op de RSNA 2016 was een van de keynote speakers de hoofdredacteur van Diagnostic Imaging, die hierover een boekje opendeed. Het is duidelijk dat de drie grote leveranciers van beeldvormende apparatuur (GE, Philips en Siemens) in bovenstaande investeren. De investeringen vallen voorlopig echter in het niet bij de investeringen van die andere drie firma's: Google, Facebook en Apple. We praten over tientallen miljarden. Daarnaast zijn er nog vele firma's die in meer of mindere mate software ontwikkelen die gebruik maken van AI en/of Deep Learning op basis van Big Data. IBM (Watson) is een van de bekendste voorbeelden.
- Hieruit mag worden afgeleid dat er over enkele jaren betrouwbare systemen op de markt zullen komen die een steen(tje) bijdragen aan de diagnostiek en behandeling van patiënten.

Wat zal hiervan de impact zijn op de radiologie en met name de radiologen in de westerse wereld? Dat is momenteel nog niet goed te voorspellen. De inter-

ventieradiologie laat ik nu even buiten beschouwing. Ik geef enkele persoonlijke overwegingen ten aanzien van mogelijke gevolgen voor de arbeidsmarkt van diagnostische radiologen in Nederland:

- AI komt eraan. Ik zou ervoor willen pleiten dit niet als een bedreiging, maar als een kans te zien om het functioneren van radiologen verder te verbeteren. Daartoe is het wel noodzakelijk dat er actief wordt meegewerkt aan initiatieven om AI toe te passen, zodat wij als radiologische gemeenschap de touwtjes mee in handen houden.
- Door AI zal de taak van de radioloog op termijn veranderen. Als de voorstellingen uitkomen zal d.m.v. AI-diagnostiek geautomatiseerd worden, het eerst in de screeningssituatie. Technisch lijkt mij dit geen probleem; juridisch zal er nog wel een en ander geregeld moeten worden vooraleer AI daadwerkelijk kan worden toegepast. (De cartoon in deze MemoRad betreffende de robot die een diagnose mist, lijkt mij helder).
- Op dit moment zijn de toepassingen van AI nog zeer beperkt. CAD wordt slechts op beperkte schaal ingezet bij o.a. mammografie en CT-cologie; de gebruikte software is echter nog verre van optimaal. Er is bij mijn weten nog geen radioloog overbodig geworden door implementatie van CAD. Nieuwe algoritmen waarbij Big Data gebruikt worden zullen dit echter doen veranderen.
- In de toekomst zal AI naar mijn idee de radioloog ondersteunen bij het verrichten van zijn diagnostische arbeid. Maar het zal nog altijd de radioloog met zijn/haar medische achtergrond zijn die als coördinator en consultant in de beeldvormende diagnostiek optreedt. De radioloog zal denk ik altijd belangrijk zijn om op individuele basis een oordeel te vellen. Hierdoor zal de radioloog een meerwaarde kunnen houden.

- Als AI echter werkelijk doorzet en niet blijft hangen in de categorie 'eeuwige belofte', lijkt het mij zeer goed mogelijk dat andere specialismen buiten de radiologie om beeldvorming zullen uitbouwen. Het voorbeeld van een longarts die een longkankerscreening gaat opzetten is naar mijn idee reëel. Ook hierbij zal de radioloog zijn meerwaarde moeten aantonen; anders zal deze echt overbodig worden. Samenwerking en servicegerichtheid is voor de radiologie daarom essentieel.
- Op de langere termijn verwacht ik wel dat bulkwerkzaamheden, zoals eenvoudige skeletfoto's en ook thoraxfoto's, niet meer in eerste instantie door een radioloog zullen worden geprotocolleerd. Er zal daarmee minder radiologentijd nodig zijn, en dus zal de behoefte aan radiologen op termijn afnemen. Voor de dienstbelasting kan dit juist voordelig zijn: Hoe geweldig is het wanneer met behulp van AI een trauma-CT kan worden beoordeeld!
- In het Verenigd Koninkrijk is al jaren een fors tekort aan radiologen binnen de NHS. Dit heeft bij mijn weten nog niet geleid tot een versneld inzetten van AI-software om dit probleem op te lossen. De grote bedreiging is naar mijn idee eerder dat andere specialismen de beeldvorming in eigen hand zullen nemen om aan de behoefte te voldoen.
- AI met al denk ik dat er altijd radiologen nodig zullen blijven en dat hun taak wezenlijk zal veranderen. Maar ik denk wel dat er in de toekomst minder radiologen als zodanig werkzaam zullen zijn, vooral door horizontale (andere specialismen) en verticale (MBB'ers) taakherschikking, en wellicht ook door de introductie van AI.

**Drs. P.J. Roscam Abbing**  
voorz. Kamer Medisch Specialist  
Capaciteitsorgaan

# De Radiogooglist



JAN PETER DE VALK

**Geen toekomst zonder heden en verleden. Alweer bijna vijftig jaar geleden dat de begrippen patroonherkenning en beeldverwerking opdoken en studierichtingen werden. Als fanatiek gebruiker van donkere kamer en amateurfotograaf was ik al in de jaren zeventig zeer geïnteresseerd in digitale beeldbewerking en daar ook in afgestudeerd en gepromoveerd. Toen nog vooral theorie, waarbij soms werd gesproken over kunstmatige intelligentie.**

Veel ermee doen kon je niet, in de tijd dat computer science nog technische organisatie van digitale rekenruimen heette. Het idee van vervanging van de mens door machine leek lange tijd belachelijk, laat staan dat de medische diagnostiek gerobotiseerd zou worden.

Een van de stellingen van mijn proefschrift over diagnostische beeldkwaliteit had ik hier bewust aan gewijd. Avant la lettre is inmiddels gebleken. En natuurlijk niet de enige! Inmiddels leven we in de tijd van big data voor de consument, en ook het elektronisch patiëntendossier is niet ver meer, technisch in elk geval niet. In de VS is er al een blue button om de patiënt toegang te geven tot zijn hele medisch dossier en gaat het patentbelang juridisch in principe boven het doktersbelang.

Lees nu de A van Artificial maar als Assisting, en dan zijn we bij de realiteit. Geen dingen doen waar je niet zo goed in bent als de computer. Core business focus betekent uitbesteding van alles waar geen eer of inkomen aan te behalen valt. En die core business is denk ik drievoudig voor radiologen:

1. De patiënt beter helpen, duiden en doorgronden wat de werkelijke oplossing is voor zijn/haar probleem, in welke zin ook
2. De eerste lijn proactief adviseren en daartoe de nodige actie ondernemen en coördineren
3. Verbinding leggen met en tussen de collegae specialisten vanuit het inzicht en overzicht binnen de diagnostiek

Inmiddels is er een aardige science show bij op de buis: dokters versus internet. Ook daar blijkt haarscherp dat combinatie van alle beschikbare bronnen onder deskundige leiding en afstemming tot het beste resultaat leidt. Van radioloog tot radiogooglist, ik denk dat dat de toekomst is.

Inderdaad, CT en MRI nog maar nauwelijks 40-50 jaar oud en tijd voor een reuze nieuwe stap: vrijheid en verbinding van alle relevante informatie bewerkstelligen en in de praktijk brengen. Ik sluit af met een aardige casus van de afgelopen maand.

Na drie weken voor de tweede keer in mijn leven door de hel van een niersteenaanval te zijn gegaan maak ik de balans op: driemaal huisarts, tweemaal echo in ziekenhuis bij de radiologie, steeds sterkere pijnstillers via de apotheek en vooral pure zelfdiagnostiek en zelfhulp. Hier had een afdeling radio-diagnostiek een heel andere rol bij kunnen spelen dan passiviteit tijdens de twee bezoeken.

Via internet ben ik inmiddels een niersteenspecialist, urologie is er niet eens aan te pas gekomen. Ik ken het gros van behandelingen, statistieken, pijnstillingsmiddelen, bijwerkingen, risico's en met name verschillen over tijd en geografie, ga zo maar door. Hoeveel beter en sneller en handiger kan een en ander, daar heb je wel een idee bij. En indien dit 5% van de bevolking overkomt, schept dat een kans. Enfin, slechts een casus,

maar daar zijn er zo meer van te bedenken. Vooral preventie en ziekenhuisligdagen voorkomen.

Dokters versus internet, ik denk dat het woordje versus vervangen moet worden door in afstemming met of geassisteerd door. Mij lijkt dit een geweldige kans voor de radiogooglist...

In 1983 werd mij eerst gevraagd om in Nijmegen college te geven over digitale beeldverwerking; daarna hield ik mij samen met vele anderen in het AZL en AZU bezig met het aan het ZIS te koppelen beeldnetwerk (PACS). Ook voor de NVvR heb ik diverse presentaties mogen houden toentertijd, EuroPACS in het leven geroepen en vele mooie ontwikkelingen elders in de wereld met eigen ogen bekeken in goed gezelschap. Een fotografische herinnering daarvan bijgevoegd, tijdens studiereis naar Japan in samenwerking met JaPacs, waarbij medische instituten maar ook industrie bezocht werden. Bij het bezoek aan Toshiba in gepaste kledij niet hoeven uitleggen dat we geen Ohropax kwamen slijten, maar EuroPACS uitdroegen...

Enfin, de doka is niet meer, de optical disk een relikwie, en jpg en mpg standaard op de smartphone – in elk geval is de technologie nu vijftig lichtjaren verder. Nu als specialist aan de slag met Big Data.

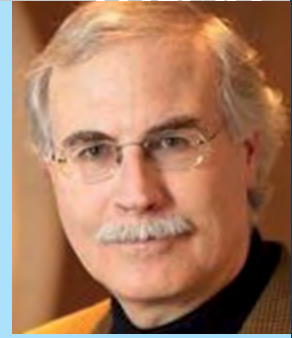
Leve de Radiogooglist, naast de patiënt, eerste lijn en specialisten. ■

**Dr.ir. J.P. de Valk**

medisch fysicus en oud-CIO/  
bestuurder van zorgverzekeraar VGZ

**Bronnen achtergrond bijv.:**

- <http://tandfonline.com/doi/abs/10.3109/14639238809012090?journalCode=imif18>



BART TER HAAR ROMENY

# Kunstmatige Intelligentie en Deep Learning

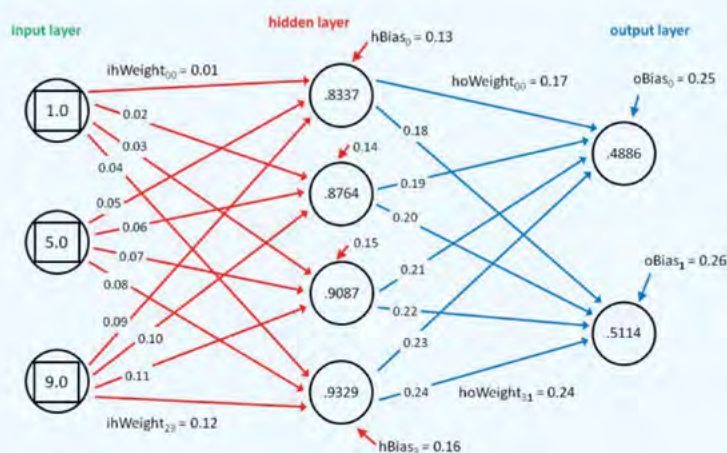
Computerondersteunde detectie en diagnose (CAD) is een behoorlijk volwassen gebied geworden, met toepassingen op vele terreinen: long, mammo, lever, etc. Het is een oude wens om uiteindelijk net zo goed te worden als de patroonherkenning van ons brein. Sinds een aantal jaren zien we spectaculaire doorbraken, met name op het gebied van 'deep learning'. Er zijn inmiddels voorbeelden te over, op vele terreinen: Google Translate, automatische face-tagging, Google Photos die alles op categorie bijeenzoekt uit een fotoarchief, hoe groot ook, robots die automatisch fruit plukken in de kassen, voorspellen van aandelenkoersen, lerende spamfilters, de zelfrijdende auto, en natuurlijk de spectaculaire voorbeelden van op deep learning gebaseerde patroonherkenning in de radiologie: Wat is hier aan de hand?

Deze algoritmen zijn inderdaad bijzonder: ze leren automatisch kenmerken van zeer grote trainings-datasets, kunnen geleerde kenmerken overdragen tussen verschillende databanken, en worden inmiddels gebruikt bij CAD, segmentatie, annotatie, terugzoeken, registratie en multimodale analyse. In dit enigszins technische artikel zetten we een eerste stap om deze kunstmatige intelligentie (AI) wat nader en intuïtief te begrijpen.

## Geschiedenis

AI in 1958 werden de eerste 'perceptrons' voorgesteld, eenvoudige artificiële neuronen, met sommatie van dendritische input van synaptische weegfactoren, een

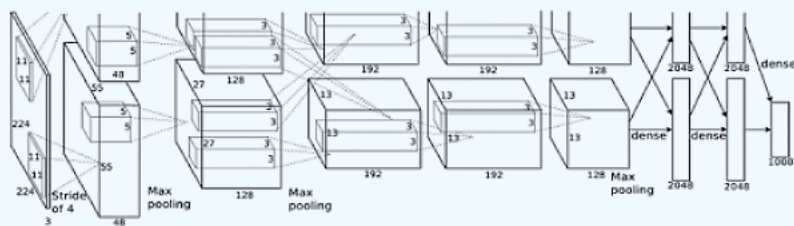
drempelmechanisme, en een enkel axon als output. Later werden deze gebruikt in diverse configuraties van neurale netwerken, typisch met een input layer, een hidden layer en een output layer (Figuur 1).



Figuur 1. Eenvoudig neurale netwerk met weegfactoren (de 'synaptische connectiviteitssterkte').

We zagen de komst van met de hand ontworpen AI 'expert' systemen. Een marquant voorbeeld uit 1984 was Campbell's Soup Company: Aldo Camino, een expert met 46 jaar ervaring, wist alles van de complexe 22 m hoge sterilisatoren, die 68.000 blikjes soep verhit tot 120 graden. Als het fout ging, ging er veel soep verloren. Aldo wist alles: 'als het hier tikt, moet die kraan verder open', etc., vloog van fabriek naar fabriek, maar ging met pensioen. Zijn kennis werd vastgelegd in een grote set AI- regels. Later liep AI toch vast; het bleek ondoenlijk om al maar meer regels te ontdekken en vast te leggen. Deze relatief eenvoudige netwerken werkten niet echt goed; op de langere termijn kwam er teleurstelling. AI bleek zeer matig te werken, eind jaren negentig was het veld bijna afgeschreven.

In 2010 werd door Stanford University (geleid door AI- onderzoeker Fei-Fei Li) een enorme beelddatabase opgezet van natuurlijke beelden, met handmatige annotatie. Er worden jaarlijkse wedstrijden gehouden om automatisch classificatie te kunnen doen (ILSVRC : ImageNET Large Scale Visual Recognition Challenge, meer dan 14 miljoen beelden in duizend categorieën). In 2011 lag de classificatiefout rond 25%. In 2012 werd echter een enorme sprong gemaakt naar 16% [1] (zie Figuur 2). De doorbraak was een neuraal netwerk met meerdere lagen achter elkaar: een 'diep' neuraal netwerk. Dit was het begin van 'deep learning', beschreven in het nu beroemde Nature paper van Geoffrey Hinton, Yann LeCun en Yoshua Ng [2]. Zij werden daarna ingehuurd door Google, Facebook, en het Chinese Baidu. Op dit moment ligt de classificatiefout in ILSVRC rond de 3,5%, met een netwerk van 152 lagen (Figuur 3). ▶



**Figuur 2.** AlexNet: een meerlagenmodel, samengesteld uit convoluties, subsampling, en niet-lineariteiten, gevolgd door een classifier voor 1000 klassen voor ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) 2012.

Er waren meer spectaculaire doorbraken: in maart 2016 werd de Zuid-Koreaan Lee Sedol, een van de beste Go-spelers in de wereld, verslagen door het computerprogramma AlphaGo. Go was altijd als te complex beschouwd voor computers, maar niets bleek minder waar.

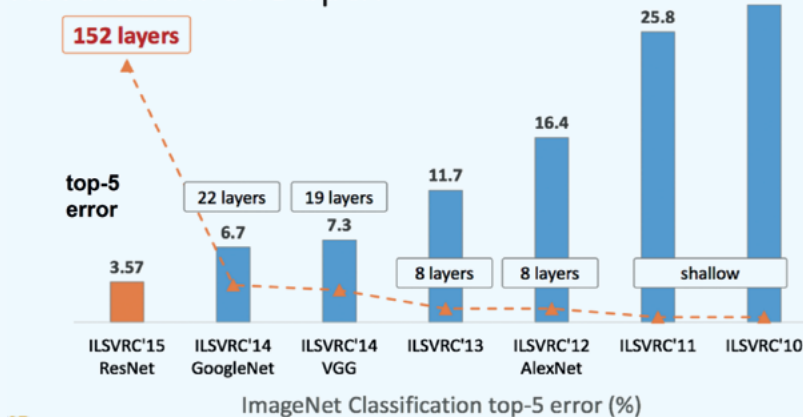
In ons vakgebied worden sinds 2006 zgn. ‘grand challenges’ gehouden, geïnitieerd door Tobias Heimann en Bram van Ginneken, wedstrijden om de beste classificatie, segmentatie, registratie, etc. te laten zien [3]. Op het grootste jaarlijkse congres voor medische beeldanalyse

(MICCAI) zijn deze nu breed geaccepteerd. Ook de challenges van de Californische firma Kaggle, met grote trainings- en testdatasets en een fors prijzengeld (tot 100K US\$), hebben sterk bijgedragen aan de popularisatie en het wijd bekend worden van Deep Learning. De challenge voor Diabetic Retinopathy omvatte bijv. 90.000 retinabeelden [4]. Van de 661 deelnemende teams werd TU/e 17<sup>e</sup>. De software van de winnaars van deze challenges is vrij beschikbaar.

**Hoe werkt het?**

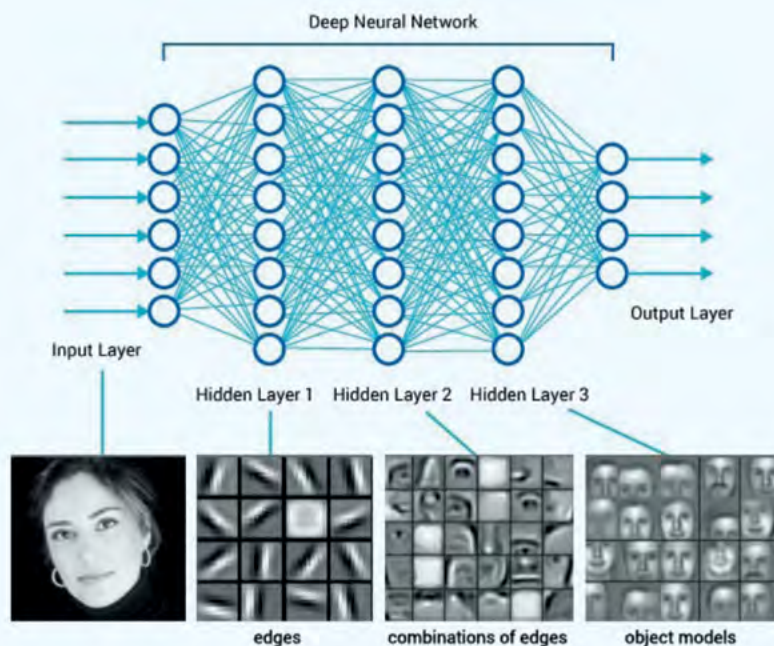
De klassieke aanpak in ‘machine learning’ en ‘pattern recognition’ is om (met de hand) veel eigenschappen te bedenken (bijv. BIRADS, textuur), hiervoor een hoog-dimensionale ‘kenmerkruimte’ (een ‘feature space’) te maken, en goede classifiers te bedenken die automatisch clusters in deze kenmerkruimte vinden en benoemen. Bekende classifiers zijn Support Vector Machines, en ‘Random Forests’. De truc van deep learning zit in het *leren* van kenmerken uit de aangeboden data, in plaats van ‘hand-crafted features’ te ontwerpen, én in het uitbreiden van de detectie over een stapsgewijs toenemende context in de opvolgende lagen. Zie *Figuur 4* voor een voorbeeld van een diep neurale netwerk.

**Revolution of Depth**



**Figuur 3.** ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition), het classificeren van 14 miljoen beelden in 17.000 klassen: van 28.2% fout in 2010 naar 3.57% fout in 2015.

- Laag 1: zeer eenvoudige elementjes, randjes, hoekjes, lijntjes;
- Laag 2: kleine combinaties, driehoekjes, elleboogjes, ellipsoïdes -> neus, mond, oog;
- Laag 3: samenstelling in een basisgezicht;
- Laag 4: samenstelling in een persoon, etc.

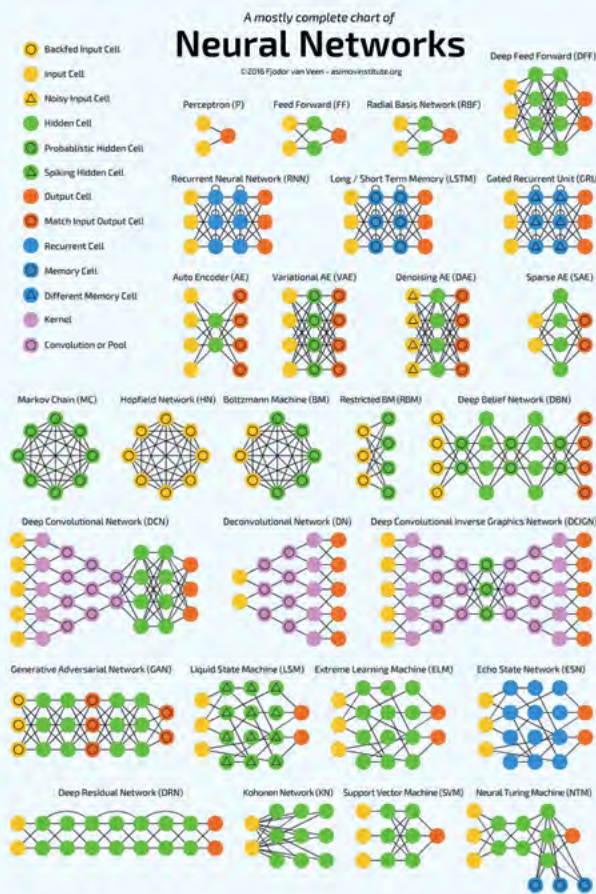


**Figuur 4.** In een diep neurale netwerk worden steeds complexere kenmerken geleerd.

De bekendste vorm van diepe neurale netwerken zijn de zgn. convolutional neural networks (CNN, of convnets). Ze bestaan uit een stapel van hidden layers, die elk de volgende functies uitvoeren: filteren (convoluties), een niet-lineariteit (Rectifying Linear Unit, ReLU), en het bepalen van een maximum over een gefilterd gebiedje (max pooling).

De eerste filters in laag 1 zijn best talrijk, 30-50 filters is normaal. Dan is de output van de laag dus 50 plaatjes, een enorme hoeveelheid informatie. Met een niet-lineariteit en een selectie van alleen de maximale respons wordt deze informatie-explosie weer hanteerbaar gemaakt, per laag.

De laatste laag is een ‘fully connected



**Figuur 5.** Enkele van de vele soorten neurale netwerken.

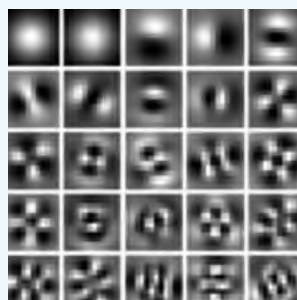
layer', de classifier. Als er bijv. tien mogelijke uitkomsten zijn, zijn dat tien outputneuronen. Een veel gebruikte dataset is MNIST: 60.000 handgeschreven cijfers in kleine plaatjes van 28 x 28 pixels. Deze toy testset wordt door vrijwel iedere student gebruikt om het vak te leren. Zie voor een interactieve demo van een diep neurale net: <http://cs.stanford.edu/people/karpathy/convnetjs/>.

Als de uitkomst niet goed is, kunnen we een fout aangeven: bijv. het ConvNet geeft 13, en het moet 11 zijn, dus de fout is 2. Dan worden alle netwerkconnecties (de weegfactoren) vanaf het eind tot het begin aangepast tot de fout nul is: dit proces heet 'error backpropagation'. Er bestaan slimme technieken om dit optimaal snel te doen (bijv. 'gradient descent').

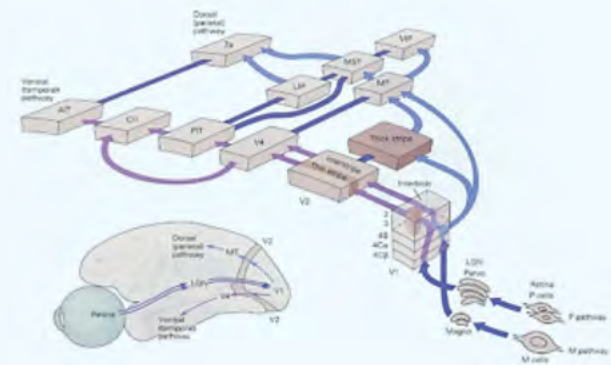
Met een geleerd netwerk kunnen we veel doen, en die zullen geld waard worden. Het is zelfs mogelijk om 'transfer



**Figuur 7a.** Een natuurlijk beeld, waarvan we tientallen kleine stukjes leren.



**Figuur 7b.** Met principale componentenanalyse (PCA) vinden we de basis filters.



**Figuur 6.** De cascade van processtappen in ons visueel systeem.

learning' te doen: leren op een bepaalde dataset, en gebruiken met een andere dataset. En zelfs als we niet genoeg trainingsbeelden hebben, dan kunnen we enorm veel beelden extra maken door de originele beelden iets te draaien, te deformer, te spiegelen, etc. Dat proces heet data-augmentatie.

### Relatie met het menselijk visueel systeem

Ook ons visueel systeem heeft een cascade van stappen waarin steeds meer context wordt meegenomen.

Het vakgebied 'brain-inspired computing' probeert de wiskundige operaties van het brein te achterhalen en die in een computerondersteund detectie- of diagnosesysteem te bouwen (Figuur 6).

Een voorbeeld uit mijn boek 'Front-End Vision' [6] is relevant voor het begrip van wat er in een neurale netwerk gebeurt (zie Figuur 7). Als we heel veel kleine stukjes uit een beeld leren met een wiskundige techniek die 'principale componentenanalyse' wordt genoemd (PCA), krijgen we de filters van Figuur 7b. We zien de randjesdetectoren verschijnen. Als we de inputdata veranderen, veranderen ook de geleerde filters. Dus als we alleen verticale bomen aanbieden, krijgen we alleen filters voor verticale randen (Figuur 8b). Wij leren deze filters de eerste drie maanden na de geboorte. Dit bleek uit de experimenten van Colin Blakemore in 1973 met een jonge kat, die de eerste drie maanden na zijn geboorte alleen maar horizontale strepen te zien kreeg, 3-4 uur per dag, en de rest van de tijd in het donker was. Na drie maanden kon hij een verticale stick wel, maar een horizontale stick niet zien: hij had er geen filters in zijn brein voor ontwikkeld (Figuur 9). Zie het aansprekende filmpje van dit 'deprivatie experiment' op YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=QzkMo45pcUo>. ▶



**Figuur 8.** Als het beeld bestaat uit verticale structuren, vindt PCA ook alleen maar verticale randdetectiefilters.



**Figuur 9.** De kat van Blakemore kon na drie maanden alleen maar horizontale lijnen zien, alleen nog een horizontale stick waarnemen.

Alles zit dus in de data, en de data bepalen de filters. De kenmerken die we jarenlang met de hand hebben ontworpen, worden nu geleerd uit de data. Precies de juiste voor de data, niet te veel, en niet te weinig. En hoe meer data, hoe completer de set, dus 'big data'. Google Translate was een aantal jaren geleden nog slecht bruikbaar met 5% fout, nu is het, met miljoenen gebruikers, vrijwel foutloos, voor elk soort spreker, voor tientallen talen. Bij een programma als Facebook gaat het dus met name om de 3,2 miljard 'likes' per dag, waaruit ons (besteeds)gedrag wordt geanalyseerd en voorspeld...

**Waarom nu?**

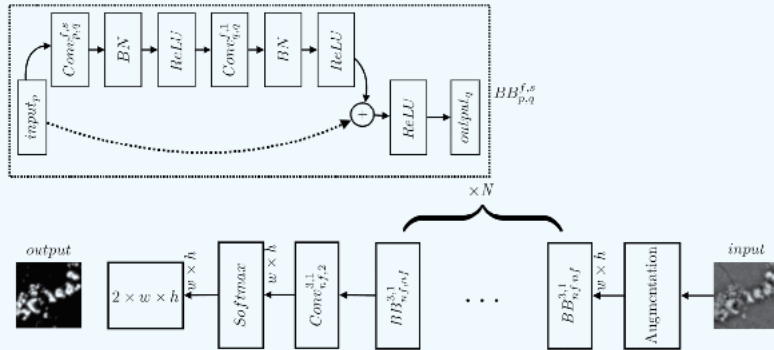
Ten eerste: we hebben 'Big Data'. Een klinische expert kan in zijn opleiding en leven maar een eindig aantal studies 'leren'. Maar de huidige computers kunnen ordes van grootte meer aantallen studies leren in veel kortere tijd, en vergeten nooit. En laat nu net de radiologische wereld over vele tera- en exabytes aan PACS-beeldmateriaal beschikken! We zullen dus de komende tijd initiatieven zien om die data, beveiligd en geanonimiseerd, ter beschikking te stellen. Mount Sinai Hospital heeft recent een Imaging Research Warehouse aan-

gekondigd met toegang tot informatie van meer dan 1 miljoen Mount Sinai-patiënten. Google is ook begonnen in de medische beeldanalyse: screening voor diabetische retinopathie met 1 miljoen retinabeelden van NIH.

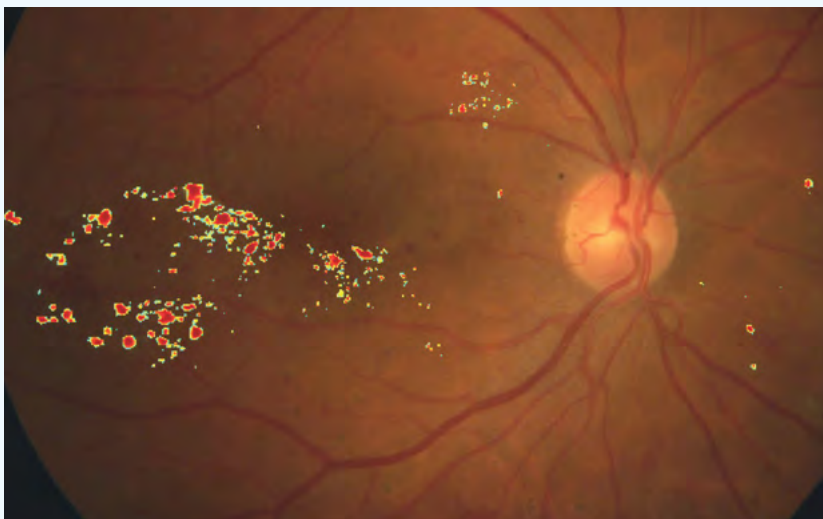
Ik ben projectleider van het Nederlands-Chinese RetinaCheck-project ([www.retinachek.org](http://www.retinachek.org)), waarbij de TU/e algoritmen ontwikkelt voor de automatische herkenning van netvliesschade door diabetes, een hoofdoorzaak van blindheid. Deze worden gebruikt in een groot screeningsprogramma in China, waar inmiddels 11,6% (!) van de bevolking aan diabetes leidt. Dit neemt nog steeds toe, terwijl het in 1980 nog vrijwel 0% was. In dit RetinaCheck-project passen we op uitgebreide schaal ConvNets toe, in diverse configuraties, zie *Figuur 10-11* voor een voorbeeld. We gaan ook de biochemische metadata meenemen.

Ten tweede: we hebben 'grafische processing units' (GPU's), ofwel game cards, spelletjescomputers (*Figuur 12*). De virtuele werelden in spelletjes hebben een 3D-wereld van 60 frames/sec nodig. GPU's zijn in wezen duizenden kleine computertjes om de frames massief parallel te berekenen. Dit waren oorspronkelijk erg simpele processors (één per pixel), maar ze zijn nu geheel programmeerbaar. De firma NVIDIA is op dit moment GPU wereldleider, terwijl ASML in Eindhoven de wereldleider is met de extreme machines die de GPU-chips produceren (ASML is nu groter dan Philips). Zo'n GPU supercomputer kost vandaag de dag slechts € 1300; we hebben er net twaalf aangeschaft...

Ten derde: We hebben nu de Deep Learning algoritmen en toolboxes. Er zijn diverse nieuwe computersystemen ontwikkeld ('talen'), die gratis kunnen worden gedownload. Bekende voorbeelden zijn TensorFlow (Google, Baidu), Caffé (UC Berkeley), Torch (Facebook) en Theano (U. Montreal).

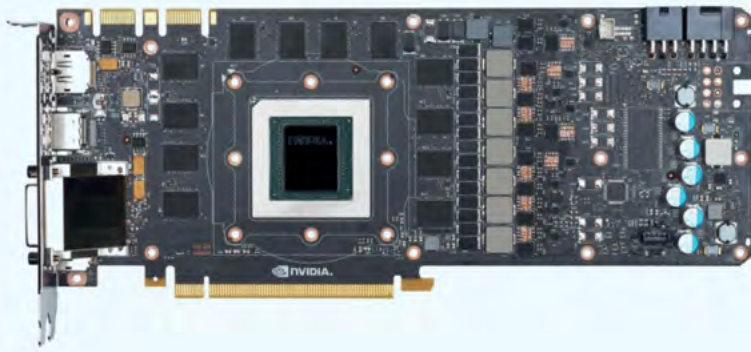


**Figuur 10.** RetinaCheck: Recurrent neural network voor de classificatie van retinale exsudaties. Hierin wordt de gefilterde stap samengevoegd met het originele beeld, wat weer een iets betere werking oplevert (AUC 0.994). Bron: Abbasi et al. [10].



**Figuur 11.** Automatisch gedetecteerde exsudaties in een netvliesbeeld met het netwerk van *Figuur 10*. Bron: [10].





**Figuur 12.** De Titan Xp Graphical Processing Unit (GPU) van Nvidia. Met 3584 CUDA kernels die parallel rekenen, 16 miljard transistors op een 2,5 x 2,5 cm chip, 12 GB geheugen, en 317 GigaTexels/sec nu de krachtigste GPU ter wereld.

## De huidige situatie

Er is geen kleine verschuiving gaande naar deep learning, het is een heuse revolutie. Tijdschriften, conferenties, websites als arXiv: ze worden gedomineerd door nieuwe ontwikkelingen in deep learning. In Nederland zijn we sterk vertegenwoordigd (met veel van mijn studenten ...), o.a. de groepen van Nijmegen [8,9], Rotterdam/Delft, Utrecht, Amsterdam, Leiden, Eindhoven, Groningen. De toepassingsgebieden zijn breed, van pathologie tot MRI, oogheelkunde, brein, etc. Interessant is dat, net als een echte expert, de moderne systemen niet alleen de beelden leren, maar ook alle aanwezige klinische metadata uit het ZIS kunnen leren. Zulke systemen zijn dan weer een paar procent beter dan de systemen welke die metadata niet meenemen.

Lastig is wel dat er nog geen mooie algemene theorie is die beschrijft hoe het optimale contextuele netwerk eruit moet zien. Er zijn ideeën uit de Gestaltpsychologie, de lineaire algebra en statistiek, maar nog geen algemeen geaccepteerde finale oplossing. Er is dus een ware wildgroei, en tezamen met duizenden wetenschappers die nu op dit nieuwe en opwindende vakgebied zijn gesprongen, is er een heuse Babylonische chaos, en is het vakgebied vooral heuristisch. Zie bijv. de interessante website, waar de vele huidige bewoners van de 'Neural Network Zoo' worden besproken. Maar het werkt fantastisch, stukken beter dan vroeger...

## Crisis of nieuw elan?

Op twee fronten is een begin van een gevoel van crisis voelbaar: de expert radioloog, of oogarts, patholoog, lijkt te worden ingehaald, 'the robots take over'. Ook de klassieke onderzoeker kan de levenslang opgebouwde kennis van 'hand-crafted features' straks minder

goed publiceren. We moeten dus mee met deze 'disruptive technology', er is geen weg terug. En voor beide groepen komen er veel nieuwe uitdagingen bij: de radiologische workflow kan veel efficiënter worden, beter en sneller, en nieuwe vakgebieden worden ontsloten, zoals de nu eindelijk mogelijke herkenning van pathologische microscopiebeelden. Keith J. Dreyer, RSNA 2016: "There is a tremendous amount of applications for A.I. in radiology. The radiology field itself is going to be the foundation of precision healthcare". En de wetenschapper heeft de uitdaging te begrijpen wat er nu eigenlijk gebeurt, in zowel de netwerken als het brein. Dat is nog lang niet duidelijk. Gelukkig zijn er ook in het moderne breinonderzoek grote revoluties gaande. Naast de klassieke methoden zoals fMRI en DWI voor hersenconnectiviteit (zie o.a. de start-up Mint-Labs van mijn aio's Vesna Prckovska en Paulo Rodrigues [11]), zien we zeer-hoogresolutie optische technieken, zoals optogenetics (breincellen lichtgevoelig maken door ze rhodopsine DNA in te spuiten m.b.v. een virus), voltage sensitive dyes, en crowd-annotatie van elektronenmicroscopie, nanoschaaldata van neuronen en hun connecties [12]. Er komen fascinerende tijden aan, niet alleen op het gebied van het doen van betere en snellere diagnoses, maar ook van veel nieuwe maatschappelijke toepassingen, en het begrijpen van die laatste grote uitdaging: ons brein.

**Prof.dr.ir. B.M. ter Haar Romeny**  
Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit Biomedische Technologie  
Biomedische Beeldanalyse  
B.M.terHaarRomeny@tue.nl

## Literatuur

1. Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: Advances in neural information processing systems (pp. 1097-105). 13520 citations.
2. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature 2015;521:436-44.
3. Grand Challenges: [https://grand-challenge.org/why\\_challenges/](https://grand-challenge.org/why_challenges/).
4. Kaggle Challenge on Diabetic Retinopathy. [www.kaggle.com/c/diabetic-retinopathy-detection](http://www.kaggle.com/c/diabetic-retinopathy-detection).
5. MountSinai Imaging Research Warehouse (24-05-2017). <http://www.mountsinai.org/about-us/newsroom/press-releases/mount-sinai-develops-imaging-research-warehouse-volumes-of-unique-data-will-revolutionize-clinical-care-and-translational-research>.
6. ter Haar Romeny BM. Front-end vision and multi-scale image analysis: multi-scale computer vision theory and applications. In: Mathematica 2008 (vol. 27). Springer Science & Business Media. Zie ook: <http://bmia.bmt.tue.nl/Education/Courses/FEV/course/index2016-BME.html>.
7. Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. JAMA 2016;316:2402-10.
8. Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, et al. 2017. A survey on deep learning in medical image analysis. arXiv preprint arXiv:1702.05747.
9. Greenspan H, van Ginneken B, Summers RM. Guest Editorial Deep Learning in Medical Imaging: Overview and future promise of an exciting new technique. In: IEEE Transactions on Medical Imaging 2016;35:1153-9.
10. Abbasi S, Dashbozorg B, ter Haar Romeny BM. Boosted exudate segmentation in retinal images using residual nets, MICCAI 2017 OMIA Workshop, Quebec City, Canada.
11. Mint-Labs Brain Connectivity. [www.mint-labs.com](http://www.mint-labs.com). Zie ook het door ons ontwikkelde software pakket: A. Vilanova: <http://bmia.bmt.tue.nl/software/viste/>.
12. Helmstaedter M, Briggman KL, Turaga SC, et al. Connectomic reconstruction of the inner plexiform layer in the mouse retina. Nature 2013;500:168.

## Referenties figuren

- Fig. 1: <https://visualstudiomagazine.com/articles/2014/06/01/deep-neural-networks.aspx>
- Fig. 2: From ref [1]. Zie ook publieke versie op: <https://kratzert.github.io/2017/02/24/finetuning-alexnet-with-tensorflow.html>
- Fig. 3: From <https://www.slideshare.net/xavigiro/deep-learning-for-computer-vision-imagenet-challenge-upc-2016>, slide 48.
- Fig. 4: From Andrew Ng's lecture "Deep Learning, Self-Taught Learning and Unsupervised Feature Learning", <https://www.youtube.com/watch?v=n1ViNeWhC24>
- Fig. 5: From <http://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>.
- Fig. 9: From <https://www.youtube.com/watch?v=QzkMo45pcUo>.
- Fig. 12: From <https://videocardz.com/62749/nvidia-launches-titan-x-pascal>

# AI-systemen en Robot als rechtspersoon, juridische noodzaak of begin van het einde?<sup>2</sup>



ROB VAN DEN HOVEN VAN GENDEREN<sup>1</sup>

Het recht is ontwikkeld door mensen, voor de mens. In eerste instantie dus voor natuurlijke personen. Maar tijdens de ontwikkeling van het recht in de lange reis van het Romeinse rechtssysteem tot ons moderne rechtssysteem zijn veel dingen veranderd. Natuurlijke personen zijn niet de enige spelers in het rechtssysteem van vandaag. Ondernemingen, organisaties en overheidsorganisaties zijn gerechtigd tot het uitvoeren van rechtshandelingen als rechtspersoon en kunnen aansprakelijk worden gesteld voor de dingen die ze doen. De technologische ontwikkeling gaat in de richting van kunstmatige, intelligente entiteiten die taken kunnen uitvoeren en die zijn gekoppeld aan een exponentieel uitgebreid 'internet of robot things'.<sup>3</sup> Zullen er superintelligente systemen ontstaan die betrokkenheid van de mens overbodig maken? Zal de menselijke chirurg en de menselijke bestuurder een groter risico vormen dan zijn AI-tegenpool? Nick Bostrom definieerde superintelligente systemen als volgt: "any intellect that radically outperforms the best human minds in every field, including scientific creativity, general wisdom and social skills."<sup>4</sup>

Het Europees parlement aanvaarde een motie die de juridische implicatie van deze ontwikkeling kenschetst, zij het in beperkte mate. Superintelligente systemen blijven nog buiten beschouwing.<sup>5</sup>

Kunnen wij op basis van deze ontwikkelingen stellen dat:

1. er behoefte is aan een raamwerk voor AI en robotrecht in de zin van het recht met betrekking tot of als gevolg van de inzet van robottechnologie in de samenleving? En zo ja, wat zijn de randvoorwaarden in ons rechtssysteem?
2. dient de robot een zekerere mate van rechtspersoonlijkheid te verkrijgen die niet in het positieve recht zou zijn geregeld? En zo ja,
3. is er een gradatie van rechtssubjectiviteit die aansluiting vindt bij de bestaande vormen van rechtspersoonlijkheid of is een sui generis constructie wenselijk waarbij rekening wordt gehouden met de variabiliteit van robots?

Zoals Erik Tjong Tjin Tai stelt in zijn

preadvies voor de NJV: "Als de feiten te lang afwijken van de juridische toestand en het recht niet langer te handhaven is, moet het recht uiteindelijk wijken voor de feitelijke toestand".<sup>6</sup> De vraag die hierop volgt: is een gerobotiseerde samenleving gebaat of geschaad bij – een zekere mate van – rechtspersoonlijkheid van robots of wachten we tot de feitelijke wal het juridische schip keert?

Daarbij is de overweging of een autonoom functionerende kunstmatig intelligente entiteit, robot of ander AI-systeem, een zekere rechtssubjectiviteit dient te bezitten afhankelijk van de daadwerkelijke maatschappelijke noodzaak.

Het kan behulpzaam zijn om te bezien welke elementen kenmerkend zijn voor de huidige actoren met rechtspersoonlijkheid waarmee de robot zodanige overeenkomst vertoont dat een (zekere mate) van rechtspersoonlijkheid wenselijk wordt geacht. Dit zal afhankelijk zijn de mate van autonomie en functie in de samenleving.

Qua juridische positie zal er een duidelijk

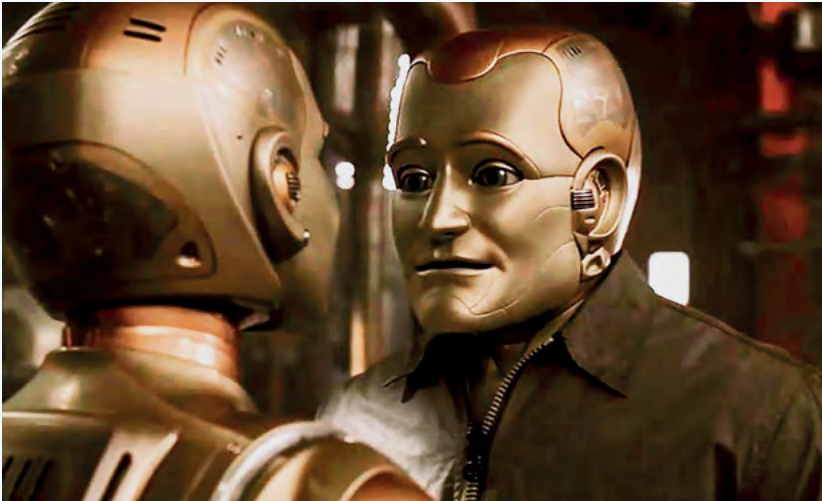
verschil zijn tussen instrumentele robots in de industriële sector die instructies van natuurlijke personen of zelfs andere robots opvolgen, en zelfstandig opererende robots zoals robots in de zorg, beveiliging en medische sector die op eigen inzicht zullen opereren zonder menselijke instructies of toezicht.

Nu reeds worden voorzichtige aanzetten gedaan om juridische oplossingen te vinden. Dit artikel geeft een opening tot een discussie die nog een lange weg heeft te gaan.

## De Robot

Een robot is een autonoom intelligent systeem dat in verschillende vormen functietaken kan verrichten. De robot of het Artificial Intelligence (AI) systeem is gericht op een zo volmaakt mogelijke nabootsing van intelligent menselijk gedrag.<sup>7</sup> Enerzijds, om (menselijke) intelligentie te kunnen begrijpen, en anderzijds om intelligente schepsels te creëren die autonoom kunnen opereren in complexe, veranderende situaties. Sinds de eerste verwijzingen naar robots wordt vooral gedacht aan de antropomorfe verschijningsvorm, de mens gelijkend.<sup>8</sup> Het woord 'Robot' is afkomstig uit een oud Slavisch woord, 'Robota', voor 'slavernij', 'dwangarbeid' of 'monotone arbeid'. Robotica is een verzamelnaam die – vrij vertaald – duidt op het automatiseren van arbeidsintensieve processen en het vervangen van de menselijke component in een handeling door een robot. Deze automatisering is al sinds de industriële revolutie op grote schaal toegepast in het productieproces. De industriële robot wordt doorgaans door een natuurlijk persoon gecontroleerd en aangestuurd.

Het EU-rapport 'RoboLaw' uit 2014 beschrijft de ethische, praktische en juridi-



Scene uit de film 'Bicentennial Man', waarin een robot erkend wil worden als 'natuurlijk persoon'.

sche vragen die rijzen bij de toepassing van robottechnologie.<sup>9</sup>

In dit rapport is de definitie van robot gebaseerd op de omschrijving van een geautomatiseerd systeem, aangevuld door zijn fysieke eigenschappen, technische componenten en vaardigheden:

*“een autonome machine die fysieke overeenstemmingen vertoont met de mens, bestaat uit sensoren, stroomtoevoer en bedieningselementen; en er toe in staat is om in interactie met de omgeving of mensen op autonome wijze bepaalde taken uit te oefenen”.*<sup>10</sup>

Deze definitie lijkt toch te zijn afgeleid van een archaisch 'science fiction' antropomorfisch beeld dat robots op mensen moeten lijken. Realistischer is de meer omvattende omschrijving van 'robotpark'<sup>11</sup>:

*“A robot is a mechanical or virtual artificial agent (called “Bot”), usually an electro-mechanical machine that is guided by a computer program or electronic circuitry. Robots can be autonomous, semi-autonomous or remotely controlled and range from humanoids such as ASIMO and TOPIO to nano robots, “swarm” robots, and industrial robots. A robot may convey a sense of intelligence or thought of its own.”*

Omdat ook onder deze definitie van een robot enerzijds een veelheid aan toepassingen kan ressorteren en deze definitie anderzijds te beperkt is om alle robotica te omvatten, blijft de vraag of een robot als een systeem, unieke entiteit of soort moet worden beschouwd. De robot kan worden beschouwd als een dynamisch

concept dat voortdurend evolueert naar de meest effectieve toepassing. Gevolg hiervan is een grote variëteit aan robots, van stuurbare gebruiks- en industriële robots tot complexe autonoom functionerende robots en – wellicht in een latere fase – humanoïde toepassing. De aard van deze entiteit, elektronisch, organisch of chemisch, is daarbij minder relevant.

De juridische positie van deze robots is eveneens variabel en afhankelijk van de mate van autonomie. Een actueel voorbeeld van die ontwikkeling is de 'intelligente' zelfdenkende auto. In het wegenverkeersrecht is de bestuurder verantwoordelijk. Maar is dit te rechtvaardigen wanneer de bestuurder niet autonoom is en de besturing van de auto afhankelijk zal zijn van talrijke leveranciers van informatie? Infrastructuur, wegdekbeheerders, overige automobilisten, producent, meteorologische dienst, de ontwerper van het algoritme dat het hart vormt van de zelflerende auto en derden, zoals dataleveranciers die navigatie en motormanagement aansturen, zijn eveneens verantwoordelijk. En stel dat er een directe koppeling tussen de hersenactiviteit van de 'bestuurder' en de softwarebesturing wordt gemaakt? Niet zo futuristisch; er zijn al auto's die reageren op bestuurders die in slaap dreigen te vallen doordat bepaalde bewegingen een vertraging in reflexen verraden. Nog een stap verder worden die koppelingen geanalyseerd door een extern autonoom systeem dat het verkeersverloop zal aansturen.<sup>12</sup>

Een ander voorbeeld is een sollicitatie-robot die wordt ingezet bij de selectie van kandidaten. Naast de algoritmische selectie van de kandidaten op basis van

hun mail of brief kan de robot worden ingezet tijdens een gesprek en letten op lichaamshouding, oogbewegingen, transpiratie, stemvastheid en andere psychische en lichamelijke reacties.

Deze analytische verworvenheid zal in nog sterkere mate worden ingezet bij autonoom functionerende zorgrobots die 'client-custom-made' oplossingen zullen aanbieden voor hulpbehoevenden, zonder dat daar ook maar enige aansturing van buitenaf zal plaatsvinden.

Zoals gesteld, de vraag of robots rechtssubjecten of rechtsobjecten zijn is voor een groot deel te beantwoorden op grond van functie en autonomie.<sup>13</sup> Dit bepaalt of zij bij analogie worden gekwalificeerd als zaak, als ondergeschikte (artikel 6:170 BW)<sup>14</sup>, niet-ondergeschikte (artikel 6:171 BW), roerende zaak (artikel 6:173 BW), als dier (artikel 6:179 BW)<sup>15</sup> of als zelfstandig rechtssubject.<sup>16</sup> Een complicerende factor is, dat het niet zo eenvoudig is om aan te knopen bij een verdeling van rechtssubjecten en rechtsobjecten, omdat mengvormen waarschijnlijk zijn.

## De natuurlijke persoon

Om te identificeren welke aspecten van rechtspersoonlijkheid van toepassing zouden kunnen zijn op robots, is een uiteenzetting van de kenmerken van de natuurlijke persoon en een niet-natuurlijke rechtspersoon relevant. Juridisch gezien is de natuurlijke persoon drager van rechten en plichten, gekoppeld aan het feit dat het hier een levend mens betreft en geen fictieve rechtspersoon. Kenmerkend voor de natuurlijke persoon is dat niemand gelijk is in fysieke zin maar wel in juridische zin als de drager van rechten en plichten.<sup>16</sup>

Een aantal kenmerken van de natuurlijke persoon die onderscheidend zijn ten aanzien van zowel de rechtspersoon alsook de robot, betreffen zijn spirituele wezen, zijn intelligentie, zijn vrije wilspaling en emotie. Maar er zijn twijfels aan dit onderscheid. Die vrije wil, door Descartes aangegeven als het feit dat wij als mens de ervaring hebben door die vrije wil te kennen, zou ook volgens Aristoteles bij dieren bestaan.<sup>17</sup>

Vanuit dit religieus perspectief wordt hierbij vaak verwezen naar de aanwezigheid van de 'ziel'. Niet-natuurlijke rechtspersonen en objecten hebben geen ziel en geen vrije wil. Volgens de Catechismus van de Katholieke Kerk ►

wordt 'ziel' als volgt gedefinieerd: *'ziel' betekent het geestelijk beginsel in de mens. De ziel is het onderwerp van het menselijk bewustzijn en vrijheid.*

Die vrijheid van de besluitvorming is de ethische en juridische achtergrond van de verantwoordelijkheid die we hebben als natuurlijke wezens en de basis voor juridische zelfstandigheid. Natuurlijke personen zijn soeverein in hun besluitvorming en daarom wettelijk verantwoordelijk voor hun daden. Jean Bodin beweerde dat de soevereiniteit in een enkel individu moet wonen. Deze soevereiniteit kan worden overgedragen aan andere 'juridische entiteiten', de Staat, een bedrijf of een andere organisatorische eenheid. Deze juridische entiteiten moeten worden beschouwd als 'rechtspersonen', met de macht om beslissingen te nemen met rechtsgevolgen.<sup>18</sup>

De grote vraag is natuurlijk of autonome technische of elektronische instrumenten, gestuurd door algoritmen, kunnen worden opgevat als dragers van rechten en fungeren als een rechtspersoon, en zodoende rechtshandelingen kunnen verrichten of dit als gemandateerde kunnen doen. Is het noodzakelijk dat zij naast autonomie een vrije wil, intelligentie en emotie bezitten?

Een natuurlijke persoon zal altijd een rechtssubject zijn met rechtspersoonlijkheid, maar een rechtssubject als niet natuurlijke rechtspersoon zal niet dezelfde rechten hebben als de natuurlijke persoon. De natuurlijke persoon kan, evenals de niet natuurlijke rechtspersoon, het onderwerp van rechten en plichten zijn en kan handelen met juridische gevolgen.

Maar er is een groot verschil tussen beide rechtssubjecten. Inherent aan de natuurlijke persoon is dat hij in staat is maatschappelijk te functioneren, met mensen- en burgerrechten is bekleed en – indien handelingsbekwaam – in staat tot het uitvoeren van rechtshandelingen met juridische gevolgen. Natuurlijke personen kunnen trouwen met een andere natuurlijke persoon of een samenlevingscontract sluiten. Ze kunnen kinderen krijgen die door natuurlijke geboorte van andere natuurlijke personen een automatische natuurlijke en rechtsrelatie zullen hebben. Maar ze kunnen ook geheel of gedeeltelijk natuurlijk afstammen van inseminatie met zaadcellen of eicellen van derde natuurlijke personen. Het is zelfs mogelijk dat

de kinderen het resultaat zijn van de samenvoeging van het DNA van drie verschillende natuurlijke personen. Robots worden geproduceerd, maar ook de natuurlijke geboorte gaat in de richting van een productieproces. Vooralsnog heeft dat geen juridische consequenties. Zou het anders zijn als het DNA verdergaand gemanipuleerd wordt? Of als er gebruik wordt gemaakt van niet-natuurlijk of niet-menselijk DNA? Is er een grens tussen natuurlijke en niet-natuurlijke personen? Robots kunnen niet worden gelijkgesteld met natuurlijke personen als bovengenoemde eigenschappen en verbonden rechten bepalend zijn voor de juridische kwalificatie. Maar welke positie neemt de semi-natuurlijke persoon in waarbij robottechnologie en natuurlijke persoon elkaar zullen aanvullen?

Die vraag is er niet een waarop de wet en juridische opvattingen een antwoord kunnen geven of de enige of de laatste stem hebben: het is er een die de rechtswetenschap deelt met andere wetenschappen, politieke wetenschappen, de medische wetenschap, ethiek, psychologie en metafysica.<sup>20</sup>

Om terug te komen op de vrije wil en intelligentie: als een natuurlijk persoon niet capabel is tot het zelfstandig uitvoeren van rechtshandelingen die rechtsgevolgen hebben, plaatsen wij hem onder curatele. Als ze niet wettelijk gezien volwassen zijn (in Nederland, 18 jaar), zijn die natuurlijke personen niet in staat om alle handelingen met rechtsgevolgen te verrichten. Dit is echter geen absolute regel. Minderjarigen en onder curatele gestelden kunnen een broodje of zelfs een fiets kopen, maar zullen niet bevoegd zijn om een auto of een huis te kopen. Hun ouders of curatoren hebben de plicht om hen te ondersteunen en hen te vertegenwoordigen. Boven de zestien is de ouder of voogd niet aansprakelijk als hem geen verwijt treft voor een schadelijke handeling door het kind.<sup>21</sup> Maar binnen dit systeem zijn er culturele en nationale verschillen. De leeftijd van volledige handelingsbevoegdheid is zowel in Nederland en de Verenigde Staten vastgesteld op 18 jaar, maar een 'volwassen' mag in de VS geen alcoholische drank kopen, maar kan een auto rijden op 16-jarige leeftijd of kan een vuurwapen kopen met 14 jaar in Montana. In een groot aantal landen in Afrika en Azië is er geen minimumleeftijd gesteld aan het huwelijk. Wettelijke normen zijn niet absoluut voor natuurlijk personen.

Ter vergroting van de complexiteit kan nog worden verwezen naar het feit dat er onderscheid wordt gemaakt in de rechten voor natuurlijke personen. Huwelijken tussen natuurlijke personen van homoseksuele aard zijn in het merendeel van de landen in onze wereld niet toegestaan, illegaal en in sommige landen onderworpen aan de doodstraf.

Concluderend kan worden vastgesteld dat zelfs de inhoudelijke invulling van de rechtsbevoegdheid van natuurlijke personen niet homogeen is. De cultuur, maatschappelijke constellatie, leeftijd en geestelijke competenties van het subject zijn bepalend voor de juridische positie. Dit uitgangspunt kan tevens worden gehanteerd voor de juridische kwalificatie van de robot en humanoïde. De functie, maatschappelijke rol en inzet kunnen bepalend zijn voor de mate van rechtspersoonlijkheid van de robot.

### **De natuurlijke persoon en het menselijk gedrag, bepalend voor rechtspersoonlijkheid?**

In de film 'Bicentennial Man', naar het gelijknamige boek van Isaac Asimov<sup>22</sup>, wil de robot Andrew Martin erkend worden als natuurlijke persoon. In eerste instantie wordt zijn verzoek door de president van het hof afgewezen, omdat een robot niet als natuurlijke persoon kan worden erkend. De overweging die deze afwijzing draagt is dat een 'robot eeuwig leeft en niet kan sterven'. De robot vraagt jaren later herziening aan van dit oordeel, omdat de robot zodanig is aangepast dat hij kan sterven.<sup>23</sup>

Een andere overweging die wordt gehanteerd om de kwalificatie natuurlijke persoon te verkrijgen betreft de vrije wil: zijn wens om vrij te beslissen over zijn 'leven' kan als zodanig worden geïnterpreteerd.<sup>24</sup>

Maar betekent dit dat een autonoom denkende en zelf beslissende robot is te kwalificeren als natuurlijke persoon? Dit is mogelijk in science fiction literatuur en filmische werkelijkheid, maar een juridische gelijkstelling vereist meer. Hetzelfde geldt voor het hebben van voldoende intelligentie, waarbij ik mij gemakshalve wil beperken tot de intelligentie die nodig is om als natuurlijke persoon deel te nemen aan het maatschappelijk verkeer. Daartoe is het noodzakelijk dat er begrip is over de consequentie van handelingen die in dit verkeer worden verricht (met rechtsge-

volg). Vrijwel elke robot zal nu of in de nabije toekomst kunnen voldoen aan de Turing-test, de kwalificatie voor intelligentie op 'menselijk' niveau.<sup>25</sup> Het voldoen aan deze test geeft de indruk dat men van doen heeft met een mens, maar is die indruk afdoend voor de verkrijging van rechtspersoonlijkheid?

### De robot als chimpansee?

De Turing-test is een test waar bijvoorbeeld andere primaten zeker niet aan kunnen voldoen. Toch worden er dien-aangaande regelmatig pogingen gedaan om andere primaten een vorm van rechtspersoonlijkheid te verschaffen. Ten aanzien van de als redelijk intelligent aangegeven chimpansee werd door het Appelhof in New York een beroep op persoonlijke vrijheid (Habeas Corpus) als natuurlijke persoon niet aanvaard: *the court states that chimpanzees, although cognitively complex, aren't entitled to the same legal status as human beings. "[We] conclude that a chimpanzee is not a "person" entitled to the rights and protections afforded by the writ of habeas corpus". Only people can have rights, the court states, because only people can be held legally accountable for their actions. "In our view, it is this incapability to bear any legal responsibilities and societal duties that renders it inappropriate to confer upon chimpanzees the legal rights ... that have been afforded to human beings.*<sup>26</sup>

Het Non Human Rights Project, appellant in deze zaak, was het hier niet mee eens en meende dat:

*The Court ignores the fact that the common law is supposed to change in light of new scientific discoveries, changing experiences, and changing ideas of what is right or wrong," she says. "It is time for the common law to recognize that these facts are sufficient to establish personhood for the purpose of a writ of habeas corpus."*

Ook dierenrechtenactivisten in Nederland zijn het hiermee eens:

*Chimps kunnen samenspannen, verzinnen listen en beheersen het spel van de macht even goed als Maxime Verhagen.*<sup>27</sup>

Descartes kon nog beweren dat dieren louter machines waren vanwege hun gebrek aan cognitieve vermogens, maar gezien de hierboven aangegeven discussie is die visie enigszins aangetast.<sup>28</sup> Gesteld wordt dat de chimpansee niet veel zou onderdoen voor de mens als het gaat om



Isaac Asimov.

zijn ratio en intelligentie, temporeel inzicht, zelfbewustzijn en zelfbeheersing, theory of mind, zijn sociale en emotionele repertoire, nieuwsgierigheid, communicatie en zijn vermogen om te verlangen en intentioneel te handelen.<sup>29</sup> Voor de voorvechters van grondrechten voor chimpansees vormen deze capaciteiten bij uitstek datgene wat een chimpansee tot een persoon, een rechtssubject en een drager van grondrechten maakt.

Echter, ik zou de getrainde chimpansee niet vertrouwen achter het stuur van een auto zolang deze auto niet volstrekt autonoom functioneert. Noch is het verheffend om een gesprek met een chimpansee aan te gaan. De kans dat met een robot op een hoger niveau kan worden gecommuniceerd is dan aanzienlijk groter.

### Niet-natuurlijke rechtspersonen

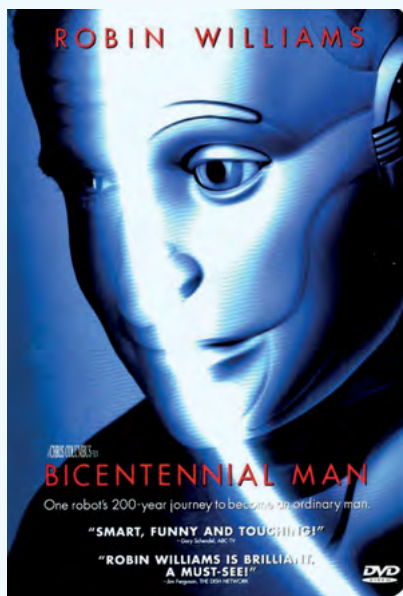
Voor een juiste analyse van de rechtspersoonlijkheid van de robot is het van belang om eveneens een vergelijking te maken met de rechtspersoon. Interessant aanknopingspunt is dat ook hier de maatschappij naast de rechtssubjecten van natuurlijke, menselijke oorsprong behoefte heeft getoond aan andere rechtspersoonlijkheid bezittende entiteiten, rechtspersonen met een maatschappelijk, bestuurlijk of economisch karakter zoals geregeld in Boek 2 BW.<sup>30</sup> Het pragmatisch aanpassen van de juridische werkelijkheid aan de maatschappelijke en economische behoefte is van alle tijden. Reeds in de antieke Egyptische samenleving was het gebruikelijk om de juridische structuur van een stichting te gebruiken om tempels te onderhouden, en de eerste multinational met rechtspersoonlijkheid, de veel geroemde Verenigde Oost-Indische Compagnie (VOC), werd in 1602 ten behoeve van de handel als Naamloze Vennootschap opgericht.

De rechtspersoon is wat eigendomsrechten betreft gelijk met de positie van individuen, natuurlijke rechtspersonen, tenzij de wet anders bepaalt.<sup>31</sup> Een rechtspersoon heeft, op een vergelijkbare manier als een individu, bevoegdheid om deel te nemen aan maatschappelijk relevante rechtsverhoudingen. Een rechtspersoon kan, indien zijn belangen worden geschaad, een partij dagvaarden of voor die rechter worden gedaagd als hij onrechtmatig ten aanzien van een ander rechtspersoon of natuurlijke persoon heeft gehandeld.

In de Verenigde Staten wordt 'The Corporation' omschreven als 'a right-and-duty-bearing entity'.<sup>32</sup> Anders dan in Europa verleent die status zelfs in zekere mate toepassing van de Bill of Rights aan corporaties. Carl Mayer beschrijft deze situatie in de Verenigde Staten aan de hand van de ontwikkeling van de gelijke behandeling op grond van het veertiende amendement. Bedrijven worden beschouwd als personen die voor het doel van het veertiende amendement het recht op gelijke bescherming en een eerlijk proces dienen te hebben.<sup>33</sup>

Rechtspersonen hebben niet allemaal dezelfde juridische bevoegdheden en verantwoordelijkheden. Hier zijn doel en functie bepalend. De belangrijkste verschillen met natuurlijke personen zijn dat niet-natuurlijke rechtspersonen ook object van een rechtshandeling kunnen zijn; ze kunnen worden verkocht, beëindigd of gesplitst in juridische zin. Verder hebben zij geen burger- en mensenrechten. Daarnaast is het kenmerkend dat er controle plaatsvindt op het maatschappelijk, economisch en juridisch functioneren van de rechtspersoon door een raad, bestuur of commissie.

Dit aspect zal ook, in ieder geval in ►



Poster Bicentennial Man.

het huidige systeem, een aspect zijn waar de robot of een AI-systeem aan onderworpen zal zijn. Zal een aangepaste bestuurdersverantwoordelijkheid zoals bij rechtspersonen een oplossing kunnen vormen? Kan bij onjuist of onrechtmatig functioneren de juridische verantwoordelijkheid worden beëindigd? Juist deze vorm van controle zou een oplossing kunnen zijn als veiligheidsventiel voor een meer onafhankelijke rechtspositie van robots. Door de robot onder controle te brengen van een curator of voogd – dit kan een toezichthoudende organisatie zijn – kan de ontwikkeling van de robot of het AI-systeem in goede banen worden geleid.

### De intelligente robot

De overweging of een autonoom functionerende kunstmatig intelligente robot een zekere rechtssubjectiviteit dient te bezitten is afhankelijk van de daadwerkelijke maatschappelijke noodzaak. Een controlefunctie door die maatschappij lijkt voornamelijk onontbeerlijk. De opzet van een organisatie van robottoezicht met certificerende bevoegdheid zou als voorwaarde kunnen worden gesteld voor de inzet van robots met rechtssubjectiviteit. Deze organisatie zal vanzelfsprekend juridisch worden ingebed. De functies en bevoegdheden zullen nader moeten worden uitgewerkt.

De inzet van autonome intelligente robots zou dan vergelijkbaar zijn met de inzet van natuurlijke personen door instellingen en organisaties als werkgever of opdrachtgever. Als voorbeeld noem ik een sociale dienst die een zorgrobot

inzet ter ondersteuning van een hulpbehoevende. De robot is geschikt voor het managen van het huishouden, het bestellen van producten en diensten, het uitvoeren van fysieke ondersteuning en het analyseren van medische problemen en het vervolgens verrichten van medische handelingen. Deze handelingen kunnen wel degelijk rechtsgevolgen hebben, en dit zou ook moeten, aangezien andere rechtssubjecten dit gevolg onder vinden.

Daarbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen volledig autonoom functionerende entiteiten en die entiteiten die op basis van eerder ingevoerde instructies functioneren.

De toepassing van zelflerende algoritmen is een onlosmakelijk onderdeel van de autonome status van de robot. De ontwikkeling van zelflerende algoritmen zou kunnen resulteren in een cyclus van rechtsobject naar rechtssubject. Wanneer en welke robots in aanmerking zouden komen voor rechtssubjectiviteit dient in nadere regelgeving te worden vastgelegd. In de volgende paragraaf wordt een voorlopige analyse aangeboden van de vereisten die eventueel tot een bepaalde vorm van rechtssubjectiviteit zouden kunnen leiden. Dat betekent dat ik voornamelijk opteer voor een sui generis constructie: een specifieke vorm van rechtsbevoegdheid die in ons rechtstelsel een plaats moet vinden.

### Rechtssubject of object specialis?

De definitie van rechtssubject, natuurlijk of niet natuurlijk, valt voornamelijk niet samen met de karakteristiek van een robot, maar vertoont een toenemend aantal raakvlakken. Door de variatie in soorten robots, van autonoom kunstmatige chirurg en drone tot seksrobot, is het onmogelijk om een eenvormig juridisch regime voor robots te voorzien. Ditzelfde geldt eigenlijk voor rechtspersonen als bv's, nv's, stichtingen, etc. Deze rechtspersonen worden naar doel en functie gekwalificeerd en hebben ook verschillende rechten en verplichtingen. Voor natuurlijke personen geldt een vergelijkbare specificatie wat de handelingsbevoegdheid betreft. Kinderen en onder curatele gestelden hebben een rechtspositie die onder toezicht valt van een andere natuurlijke persoon of rechtspersoon. Maar ook bij natuurlijke personen zullen functie en activiteit effect hebben op hun invulling van rechtspersoonlijkheid en de verrichting van rechtshan-

delingen. Ambtenaren en militairen hebben een andere rechtspositie in de uitoefening van hun functie dan overige natuurlijke personen.

Afhankelijk van functie en mate van autonomie zal een zekere mate van rechtssubjectiviteit wenselijk kunnen zijn. Daarbij hoeft die rechtssubjectiviteit niet gelijk te zijn aan de rechtspersoonlijkheid zoals wij die in het positieve recht kennen. Voor zover wij zouden besluiten of dat het tijd wordt voor de uitbreiding van het begrip rechtspersoonlijkheid naar een nieuwe 'sui generis' constructie, zullen met name de elementen van autonomie bepalend moeten zijn.

De mate van geschiktheid voor rechtspersoonlijkheid, gebaseerd op autonomie en intelligentie kan vereenvoudigd worden weergegeven door de volgende formule:  $r = ai * mb > hi = ?rp$ .<sup>34</sup> Daarbij wordt tot nu toe in aanmerking genomen:

*"Juridische handelingen zullen altijd uitgevoerd worden door juridische subjecten, zijnde rechtspersonen. Geautomatiseerde systemen, elektronische of andere, al dan niet autonoom, worden meer en meer gebruikt om deel te nemen aan allerhande soorten relaties in onze wereldwijde maatschappij. Het feit dat deze systemen en toestellen autonoom kunnen handelen en veranderingen kunnen teweegbrengen in juridische verhoudingen zal uiteindelijk steeds rechtsgevolg hebben voor de gebruiker van het systeem voor zover deze is te identificeren als verantwoordelijke".<sup>35</sup>*

Deze redenering is van toepassing als te achterhalen is wie de gebruiker, en verantwoordelijke, is voor het systeem. Dit zal in de nabije toekomst een steeds groter probleem worden om vast te stellen naarmate systemen autonom functioneren en interacteren met vergelijkbare systemen.

Maar is de grens van rechtsobject en rechtssubject altijd even duidelijk? Rechtsobjecten zijn immers goederen, diensten of objecten die lijdend voorwerp van rechten en plichten zijn. Rechtsobjecten kunnen nooit dragers van rechten en plichten zijn vergelijkbaar met een rechtspersoon. Maar er vindt een samenloop plaats bij rechtspersonen. Zij kunnen zowel rechtshandelend subject zijn als object van rechtshandelingen. Een vergelijkbare positie zou van toepassing kunnen zijn op AI en robots. Robots kunnen zonder meer gekwalificeerd worden

als rechtsobject, maar ze kunnen ook een speciale positie innemen. Meermalen is de vergelijking gemaakt met slaven. Reeds in 2005 werd de intelligent agent, een 'software-robot', vergeleken met een slaaf, ingezet ter uitvoering van een bepaalde taak.<sup>36</sup> Maakt men die vergelijking met de positie van de Romeinse slaaf, dan moet mede in aanmerking worden genomen dat die slaaf aanzien kon hebben en een rechtsvertegenwoordigende positie bezat, vermogen kon bezitten, onafhankelijk rechtshandelingen kon verrichten en als getuige kon optreden in rechtszaken. Dit was niet zo vreemd, omdat destijds op een bevolking van een miljoen mensen in Rome 400.000 slaven waren. Deze positie zou kwalitatief en kwantitatief vergelijkbaar kunnen zijn met de positie van de robot in de toekomstige maatschappij. Hierbij is met name bepalend in hoeverre het wenselijk is dat de robot rechtshandelingen zal verrichten. Heeft de maatschappij behoefte aan dat soort robots? Van een stofzuiger is die positie duidelijk. Heel anders ligt dat bij een sociale robot die rechtshandelingen voor een hulpbehoevende verricht, de 'robocop' die een verdachte arresteert of de medische robotspecialist die bepaalt wanneer en welke medicijnen moeten worden toegediend of welke operatie moet worden verricht.

### De rechtshandelingen

Als de robot handelt met het voornemen de juridische omstandigheden te veranderen, moet hij ook een zekere juridische kwalificatie hebben die verder gaat dan een rechtsobject. Daarnaast zal een zekere vorm van aansprakelijkheidstelling moeten worden gevonden die uiteindelijk het best past bij de praktische kwalificatie en de maatschappelijke werke-

lijkheid. Het mag waarschijnlijk worden geacht dat robots uiteenlopende maatschappelijke functies zullen vervullen in toezicht, de gezondheidssector als in de meer exotische dienstverlening zonder dat deze handelingen worden aangestuurd door natuurlijke personen.

De vertegenwoordigingsbevoegdheid bij rechtshandelingen bestaat tot nu toe altijd uit een groep of een enkele identificeerbare natuurlijke personen, het bestuur, de ambtenaar of de politiek verantwoordelijke vertegenwoordiger. Bij de inzet van robots op die gebieden zal die verantwoordelijkheid meestal zijn terug te voeren op diezelfde groep en kan de robot een vertegenwoordigende rol spelen die net als bij natuurlijke personen in het BW moet worden gesanctioneerd. Ook het aanhouden van een verdachte door een 'robocop' zal juridisch moeten worden gezeurd. Rechtspersonen en natuurlijke personen kunnen in de toekomst in tal van taken vertegenwoordigd worden door robots, vergelijkbaar met de vertegenwoordiging van rechtspersonen door natuurlijke personen. Dat kan alleen door de robot bepaalde bevoegdheden te geven die relevant zijn voor de door hem uit te voeren taak.

Nu al kan in praktische zin een elektronische overeenkomst worden gesloten die door beide elektronische 'partijen' zal worden aanvaard op basis van 'wils-overeenstemming', zonder enige tussenkomst of zelfs bevestiging door een natuurlijk persoon. Is hier misschien al sprake van een handeling met rechtsgevolg door een autonoom werkend elektronisch systeem?

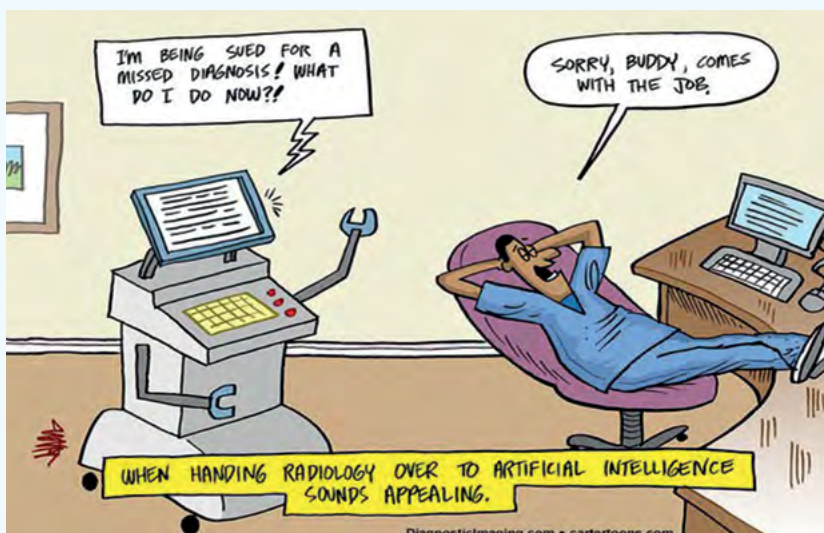
Rechtshandelingen zullen altijd worden

uitgevoerd door rechtssubjecten. Het feit dat systemen en robots zelfstandig kunnen handelen en veranderingen in juridische verhoudingen zullen creëren zal uiteindelijk effect hebben op de positie van de betrokken rechtspersonen, contractpartijen of derden. Als de actie is geïnitieerd door een individu of een groep van natuurlijke personen is de actie te identificeren tot die initiator.

Het verschil in functionele uitvoering is niet relevant. Het gebruik van zoekmachines voor vinden van tickets, drones voor het leveren van pakketten aan een cliënt of sturen van raketten op een waargenomen vijand zal geen juridisch verschil maken. Dit blijft een actie waarvoor de natuurlijke of rechtspersoon verantwoordelijk blijft. Tot daar deel ik de opvatting van Voulon, dat elk juridisch gevolg dat is veroorzaakt door een autonoom en minder autonoom systeem moet worden toegeschreven aan de natuurlijke of rechtspersoon die de keuze heeft gemaakt om het systeem in zijn dienst handelingen te laten verrichten. Men zou echter de mate van controle die men heeft over het autonome systeem daarbij mee moeten laten meewegen bij het vaststellen van de juridische verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van de natuurlijke of rechtspersoon. Het autonome systeem als zodanig echter kan nooit een juridische verantwoordelijkheid dragen zolang er geen sprake is van een zekere rechtspersoonlijkheid.<sup>37</sup>

### Conclusie en stappen in de toekomst

Een autonoom systeem of robot, zelfs voorzien van onafhankelijke intelligentie en emotie, zou in onze maatschappij niet direct hoeven te resulteren in rechtspersoonlijkheid die vergelijkbaar is met de rechten en plichten van natuurlijke en rechtspersonen in het positieve recht. Wel zullen autonoom functionerende intelligente systemen als bijv. sociale robots of opsporings- en handhavingsrobots een zekere vorm van rechtspersoonlijkheid dienen te verkrijgen om hun taak te verrichten, maar essentieel hierbij is dan dat er een maatschappelijke noodzaak en aanvaarding is waarbij grenzen aan de mate van autonomie kunnen worden gesteld op basis van de programmering en de functie.



De keuze voor een aanpassing van de wet of eventueel een sui generis norm voor autonome robots dient afhankelijk te zijn van de mate van autonomie, intelligentie en sociale vaardigheid van de robot en de functie die voorziet in een maatschappelijke behoefte. Voor de kwalificatie van de robots kan de indeling van de International Standardisation Organisation (ISO) als voorbeeld dienen.<sup>38</sup>

Bij de ISO kan wel al een ontwikkeling worden geconstateerd om de rol van de robot anders te beschouwen (op het gebied van veiligheid) door een norm te aanvaarden voor robot/menselijke samenwerking.<sup>39</sup> Men zou zich ook kunnen voorstellen dat er bepaalde wijzigingen zullen worden aangebracht in het bestaande recht om een praktische systeemvertegenwoordiging van autonome systemen te creëren ten behoeve van de initiële juridische actor, natuurlijke persoon of rechtspersoon. Deze wijzigingen in de wet zullen in een juiste omschrijving van de mate van betrouwbaarheid van de representatie door die robot, het doel en de wilsverklaring van de betrokken rechtspersonen moeten voorzien. Voor een vergelijkbare ontwikkeling kan worden verwezen naar de rechtspersoon in het positieve recht, maar ook naar de helaas 'vrij lange' discussie over de gelijkstelling tussen schriftelijke documenten en elektronische documenten en de aanvaarding van de elektronische handtekening.

Het is daarbij vereist dat certificatie-normen zullen worden ontwikkeld om vast te stellen of de autonoom functionerende robot kan worden aanvaard om rechtshandelingen te verrichten. Die rechtshandelingen kunnen variabel zijn, al naar gelang de functie van de robot.

Het is essentieel dat we, als natuurlijke personen, controle te houden over dit systeem. Anderzijds zal robot-technologie alleen tot ontwikkeling kunnen komen zonder 'chilling effects' van te veel regelgeving. Een sui generis constructie vergelijkbaar met het ondernemingsrecht kan hiervoor een oplossing kan vormen.

Naar alle waarschijnlijkheid zal slechts een select gezelschap van ro-

bots in aanmerking komen voor een nieuwe vorm van rechtspersoonlijkheid. Dat betreft de robot die sociale en economische functies zal verrichten. Er dient vertrouwen te zijn in hun rechtshandelingen en erkenning van hun identiteit. Wat voor eisen kunnen worden gesteld aan die erkenning? Welke kunstmatige intelligentie is aanvaardbaar als juridisch 'gelijkwaardig' aan die van de huidige (natuurlijke) rechtspersonen?

In eerste instantie moet er sprake zijn van operationele autonome cognitieve intelligentie. Verder dient er sprake te zijn van voldoende sociale intelligentie. De robot moet in staat zijn om de sociaal-emotionele en morele waarde van verklaringen van andere rechtspersonen te kunnen begrijpen om passend te reageren zodat er een gelijkwaardige basis is voor wilsovereenstemming.<sup>40</sup> Ten slotte zal een robot in staat moeten zijn om op veranderde omstandigheden adequaat te reageren. Dit aspect zou ik actie-intelligentie of dynamische intelligentie willen noemen.

Een aanpassing van rechtspersoonlijkheidscategorieën in het burgerlijk wetboek en andere wetgeving op dit terrein ligt dan ook voor de hand. Een AI-entiteit die capabel is om op betrouwbare wijze deel te nemen aan het maatschappelijk verkeer zal in staat zijn rechtshandelingen met rechtsgevolg te verrichten.

Ter aanvulling op de drie robotwetten van Asimov<sup>41</sup>, die lijken te zijn gebaseerd op controle en de overtuiging dat de opdrachten altijd van een natuurlijke persoon zullen komen op grond van de overtuiging van menselijke superioriteit, is aanvulling noodzakelijk vanuit sociaal en juridisch perspectief.

Murphy en Woods stelden de volgende aanvulling voor:

1. een mens mag geen robot inzetten wanneer dit werk met de robot niet voldoet aan de hoogste wettelijke en professionele normen van veiligheid en ethiek;
2. een robot moet, afhankelijk van zijn functie, mensen voldoende kunnen beantwoorden;
3. een robot moet worden begiftigd met voldoende toereikende au-

tonomie om zijn eigen bestaan te kunnen beschermen, zolang hij hierdoor gemakkelijk te bedienen blijft en zijn autonomie niet in strijd is met de Eerste en de Tweede Wet.

Voor juridische acceptatie zou ik daaraan willen toevoegen dat:

1. een robot moet een toegevoegde waarde in de samenleving door het uitvoeren van zijn taak hebben en als zodanig een wettelijk gesanctioneerde positie verkrijgen;
2. een autonome intelligente robot moet worden aanvaard als een gelijkwaardige partner in het uitvoeren van rechtshandelingen;
3. robots die juridisch relevante handelingen verrichten moeten als zodanig worden gecertificeerd.

Dit lijkt me een goed uitgangspunt om mee verder te werken door een multidisciplinair onderzoek in te stellen naar een juridisch raamwerk waar de autonome robot een plaats kan vinden. Angst voor superintelligente killerrobots of juist overtuiging van menselijke superioriteit zullen hierbij nog wel een rol kunnen spelen.

**Dr. R. van den Hoven van Genderen**  
Faculteit der Rechtsgeleerdheid,  
Vrije Universiteit Amsterdam

#### Noten

1. Dr. Rob van den Hoven van Genderen is directeur van het Center for Law & Internet van de rechtenfaculteit van de Vrije Universiteit, UD robotrecht, privacy en internetrecht, projectleider AI & robotics bij de Peking University school of law en partner bij Switch Legal Advocaten te Amsterdam.
2. Zie ook: De slimme robot is geen apparaat, maar een rechtspersoon, NRC, 18 november 2016.
3. <https://www.rathenau.nl/nl/publicatie/werken-aan-de-robotsamenleving>, 2015, p.16.
4. Nick Bostrom, *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford U.P., 2014.
5. Whereas now that humankind stands on the threshold of an era when ever more sophisticated robots, bots, androids and other manifestations of artificial intelligence ("AI") seem poised to unleash a new industrial revolution, which is likely to leave no stratum of society untouched, it is vitally important for the legislature to consider all its implications; Draft report Mady Delvaux (PE582.443v01-00) with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)).



6. T.F.E. Tjong Tjin Tai, *Privaatrecht voor de homo digitalis: eigendom, gebruik en handhaving*, preadvises voor de NVJ, 2016, p. 248.
7. Shoyama, *Can. J. L. & Tech.* 2005, vol. 4, no. 2, p. 129.
8. Van origine komt de term robot uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver KAREL APEK, gesuggereerd door zijn broer JOSEPH, in zijn toneelstuk, *R.U.R., or Rossum's Universal Robots* In de slotakte van het stuk komen de robots in opstand tegen hun menselijke makers. Na het doden van het merendeel van de mensen op de planeet, beseffen de robots dat ze mensen nodig hebben omdat geen van hen kan achterhalen hoe robots vervaardigd worden. Dit geheim sterft uit met de laatste mens. In de slotscène is er een *deus ex machina* moment wanneer twee robots de menselijke eigenschappen van liefde en compassie verwerven en de zonsdondergang tegemoet gaan om een nieuwe wereld te maken. (<http://www.sciencefriday.com/segment/04/22/2011/science-diction-the-origin-of-the-word-robot.html>).
9. Zie Europees onderzoek: *Regulating Emerging Robotic Technologies in Europe: Robotics facing Law and Ethics*, ([www.robotlaw.eu](http://www.robotlaw.eu)).
10. Europe, *Guidelines for regulating Robotics*, (<http://www.robotlaw.eu>).
11. <http://blog.robotpark.com/what-is-a-robot-51001/>.
12. Zie <https://youtu.be/pyphUsEemoak>.
13. Zie R. VAN DEN HOVEN VAN GENDEREN, *Robot Law, a Necessity or Legal Science Fiction?*, p.170. *Machine Medical Ethics and What About the Law?* p.167 e.v.; *Machine Medical Ethics*, p. 167-177, Red. Simon Peter van Rysewyk, Matthijs Pontier Springer, 2014.
14. In de Principles of European Tort Law ("PETL") is sprake van aansprakelijkheid voor 'auxiliaries' (6:102) – een toepasselijke term voor robots wat ons betreft, al wordt onder de PETL toch met name gedacht aan personen. Artikel 3:201 van de Draft Common Frame of Reference (DCFR) van de Principles, Definitions and Model Rules of European Private Law spreekt van werknemers of "similarly engaged" anderen, waarbij de zinsnede "similarly engaged another" aanknopingspunten zou kunnen bevatten in gevallen van onopzettelijke schade. Zie: P. GILKER, "Vicarious Liability or Liability for the Acts of Others in Tort: A Comparative Perspective", *Journal of European Tort Law (JETL)*, 1/2011, p.38ff. Dan zal de robot wel als 'another' moeten worden gezien, waarbij de werkgever aansprakelijk is onder de voorwaarde dat hij nog wel beschikt over "the minimum abstract possibility of directing and supervising their conduct through binding instructions" (C VON BAR & E. CLIVE (eds.), *Principles, Definitions and Model Rules of European Private Law: Draft Common Frame of Reference*, p.3455).
15. E. SCHAERER et al, *Robots as Animals: A Framework for Liability and Responsibility in Human-Robot Interaction*, in: *Robot and Human Interaction Communication*, 18th IEEE International Symposium, 2009, p. 72-77.
16. R. VAN HOVEN VAN GENDEREN en E. VAN DUIN, "... en verdient eigen rechten", NRC, 20 december 2014. Zie ook H. VAN DER PLUIJM (2013), *Rechten en Plichten voor Robots*, PC Active.
17. Descartes, *Principia Philosophiae*, 1973.
18. Jean Bodin, *les six livres de la Republique*, Translation by M. J. Tooley 1955, Blackwell Oxford.
19. <https://www.newscientist.com/article/2107219-exclusive-worlds-first-baby-born-with-new-3-parent-technique/>.
20. Vgl. Geldart over rechtspersoonlijkheid: "The question is at bottom not one on which law and legal conceptions have the only or the final voice: it is one which law shares with other sciences, political science, ethics, psychology, and metaphysics". Geldart, *Legal Personality* (1911) 27 L. QUART.Ruv. 90, at 94. In Dewey, *Yale Law Review*, April 1926, nr.6, p. 655.
21. Artikel 169, Boek 3 BW.
22. Isaac Asimov, *The Bicentennial Man and Other Stories*, 1972, later bewerkt door Asimov als *The Positronic Man* (1993), co-written with Robert Silverberg, uiteindelijk de basis heft gevormd voor het script van de gelijknamige film *Bicentennial Man*, uit 1999 starring Robin Williams.
23. Andrew Martin: In a sense I have. I am growing old, my body is deteriorating, and like all of you, will eventually cease to function. As a robot, I could have lived forever. But I tell you all today, I would rather die a man, than live for all eternity a machine.
24. Idem: "It has been said in this courtroom that only a human being can be free. It seems to me that only someone who wishes for freedom can be free. I wish for freedom."
25. Het niveau zou voldoende zijn om een menselijke ondervrager de indruk te geven dat de antwoorden van een mens afkomstig zijn. Vanzelfsprekend moet een robot ook voldoende kennis hebben. Op grond van de theorie van singulariteit, de exponentiële vooruitgang in technologische ontwikkeling, zullen autonome intelligente robots zeker geen probleem hebben dit niveau te bereiken. Alan Turing (1950).
26. New York Supreme Court of Justice.
27. <http://www.dierenrecht.nl/standpunten/rechten-voor-dieren>.
28. In het BW zijn dieren zijn geen zaken, maar bepalingen met betrekking tot zaken zijn op dieren van toepassing, met inachtneming van de op wettelijke voorschriften en regels van ongeschreven recht gegronde beperkingen, verplichtingen en rechtsbeginselen, alsmede openbare orde en de goede zeden. Hoewel dieren vooralsnog geen rechten hebben, zullen zij op grond van hun rol in de samenleving toch met bepaalde rechten zijn omkleed. Mishandeling of verwaarlozing van dieren wordt niet geaccepteerd en is als zodanig ook opgenomen in het wetboek van strafrecht, en er zijn bepaalde rechten voor dieren sinds 2011 in de 'wet dieren' opgenomen. Daarmee heeft een dier nog geen rechtspersoonlijkheid, maar er is een maatschappelijke neiging om wel meer rechten aan dieren te geven.
29. A.E. de Hingh, 'Komt een aap bij de rechter', onuitgegeven.
30. Uitgebreider in de special 'robotrecht' in *Computerrecht* door Stefan de Schrijver en ondergetekende.
31. Boek 3: artikel 5 BW.
32. John Dewey, *the Historic Background Of Corporate Legal Personality*, *Yale Law Journal*, April 1926, p.26.
33. Carl J. Mayer. *Personalizing the Impersonal: Corporations and the Bill of Rights*, *Hastings Law Journal*, March, 1990; Volume 41, No. 3.
34. R. Robot = autonomous artificial intelligence maal maatschappelijke behoefte groter dan human intelligence leidt tot een zekere behoefte aan rechtspersoonlijkheid.
35. R. VAN DEN HOVEN VAN GENDEREN, p. 170 (eigen vertaling naar het Nederlands).
36. Daarnaast bestaan nog de regelingen ten aanzien van productaansprakelijkheid indien het een ondeugdelijk product betreft. Hierbij is het overigens interessant te verwijzen naar de uitzondering van artikel 189 lid 1 sub e van Boek 6 BW: het op grond van de stand van de wetenschappelijke en technische kennis op het tijdstip waarop het product in het verkeer bracht, onmogelijk was het bestaan van het gebrek te ontdekken;
37. Daarnaast bestaan nog de regelingen ten aanzien van productaansprakelijkheid indien het een ondeugdelijk product betreft. Hierbij is het overigens interessant te verwijzen naar de uitzondering van artikel 189 lid 1 sub e van Boek 6 BW: het op grond van de stand van de wetenschappelijke en technische kennis op het tijdstip waarop het product in het verkeer bracht, onmogelijk was het bestaan van het gebrek te ontdekken.
38. Zie bijv. SO 13482:2014 specificeert requirements and guidelines for the inherently safe design, protective measures, and information for use of personal care robots, in particular the following three types of personal care robots: mobile servant robot, physical assistant robot and person carrier robot.
39. Human and robot system interaction in industrial settings is now possible thanks to ISO/TS 15066, a new ISO technical specification for collaborative robot system safety.
40. Vergelijk de verkennende studie van IEEE, *ETHICALLY ALIGNED DESIGN, A Vision for Prioritizing Human Wellbeing with Artificial Intelligence and Autonomous Systems*: If machines enter human communities as autonomous agents, then those agents will be expected to follow the community's social and moral norms. A necessary step in enabling machines to do so is to identify these norms. [http://standards.ieee.org/devel-op/indconn/ec/ead\\_v1.pdf](http://standards.ieee.org/devel-op/indconn/ec/ead_v1.pdf), p.24.
41. 1. Een robot mag geen mens verwonden, of, door middel van nalaten, toestaan dat een mens wordt geschaad;  
2. Een robot moet de bevelen gegeven door mensen gehoorzamen behalve wanneer deze orders in strijd zouden zijn met de Eerste Wet;  
3. Een robot moet zijn eigen bestaan beschermen, zolang die bescherming niet strijdig is met de Eerste of Tweede Wet.
42. Robin Murphy, David D. Woods, "Beyond Asimov: The Three Laws of Responsible Robotics", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 24, no., pp. 14-20, July/August 2009, doi:10.1109/MIS.2009.69.



TIM SALIMANS

# OpenAI



OpenAI's Dota 2 bot neemt het op tegen professioneel gamer Dendi, live tijdens The International, Seattle, 11 Augustus 2017

**OpenAI is een non-profit onderzoeksinstituut op het gebied van kunstmatige intelligentie, gevestigd in San Francisco, Californië.**

Sterke kunstmatige intelligentie ('artificial general intelligence' of AGI) wordt de meest belangrijke technologie die de mens ooit zal uitvinden. Dit is de mening van de voorzitters van OpenAI, Elon Musk (Tesla, SpaceX), Sam Altman (YCombinator), en Holden Karnofsky (The Open Philanthropy Project). De missie van OpenAI is om bij te dragen aan de ontwikkeling van sterke kunstmatige intelligentie op een manier die ervoor zal zorgen dat deze techniek veilig zal zijn en ten goede zal komen aan de gehele mensheid. Omdat OpenAI geen winstoogmerk heeft kan het op een open manier onderzoek doen en zich richten op de gevolgen van de ont-

wikkeling van kunstmatige intelligentie op de lange termijn.

OpenAI heeft momenteel 60 onderzoekers en programmeurs in dienst die werken aan de fundamentele vragen in kunstmatige intelligentie. Door voorop te lopen in de ontwikkeling van AI hoopt de organisatie een positieve invloed te kunnen uitoefenen op de wijze waarop sterke kunstmatige intelligentie uiteindelijk zal worden uitgevonden. Zoals Alan Kay heeft gezegd, "The best way to predict the future is to invent it."

De onderzoekers van OpenAI publiceren

in de belangrijkste vakbladen, presenteren op de grote conferenties op het gebied van kunstmatige intelligentie, brengen open-source software uit en schrijven blogs om een breed publiek te informeren. Recent heeft de organisatie de mogelijkheden van kunstmatige intelligentie gedemonstreerd door een bot te ontwikkelen die het opnam tegen professionele e-sporters in de competitieve videogame Dota 2. In een stadion met twintigduizend toeschouwers slaagde kunstmatige intelligentie er voor het eerst in te winnen van de beste menselijke spelers van dit spel.

**Dr. T. Salimans**  
Research Scientist bij OpenAI



ALLE MEIJE WINK



FREDERIK BARKHOF

# Machine learning in perfusiebeelden voor detectie van de ziekte van Alzheimer

De diagnose van de ziekte van Alzheimer (AD) wordt in toenemende mate op basis van biomarkers gedaan in plaats van klinische symptomen [1]. Traditionele biomarkers van AD zijn toegenomen concentraties van bèta-amyloïde-42 ( $a\beta$ ) en tau-eiwitten in het hersenvocht. Deze zijn zowel te meten via een lumbaalpunctie als met een PET-scan. Met MRI wordt, naast metingen van hersenkrimp uit structurele beelden, in toenemende mate gebruik gemaakt van functionele biomarkers. Een voorbeeld hiervan is arterial spin labelling (ASL), waarbij naar het brein stromend bloed magnetisch wordt gelabeld zodat het na perfusie (opname) in het brein kan worden gedetecteerd [2]. Verlaagde perfusie in AD-specifieke gebieden is een mogelijke biomarker voor AD. Door de zwakte van het signaal is het lastig om ASL toe te passen in de diagnose van individuele patiënten. Machine learning is statistisch krachtiger dan traditionele beeldanalyses en kan AD-patiënten met goede nauwkeurigheid onderscheiden van gezonde proefpersonen [3].

## Methoden

Deelnemers waren gezonde vrijwilligers zonder klachten en proefpersonen van het Amsterdam dementiecohort [4], met subjectieve geheugenklachten (SCD), milde cognitieve achteruitgang (MCI) of AD. Alle deelnemers kregen een medisch en neuropsychologisch onderzoek en een MRI-scan met onder andere een anatomische opname en ASL. Perfusiemetingen uit deze beelden werden geregistreerd in een gemeenschappelijk coördinatenstelsel. De metingen van de proefpersonen werden omgezet in standaardwaarden (W-scores) gecorrigeerd voor effecten van leeftijd en geslacht, berekend uit de gezonde vrijwilligers.

De perfusiewaarden van iedere proefpersoon werden ingevoerd in een support vectormachine (SVM). Deze vorm van machine learning stelt elke meting (scan) voor als een punt in de ruimte – een vector – en bepaalt dan het schei-

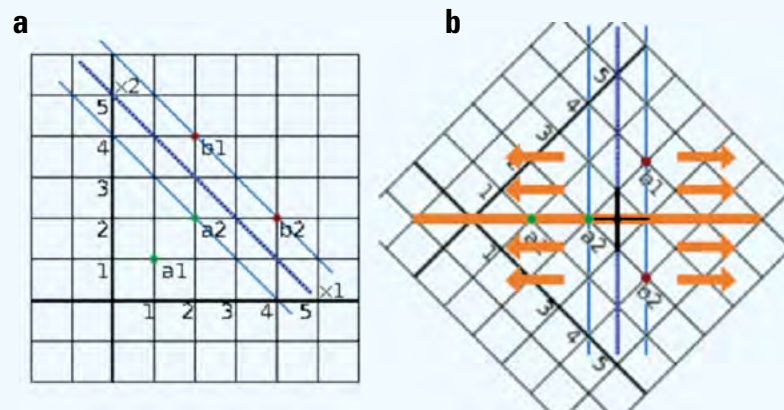
dingsvlak dat de afstand tussen de twee groepen punten maximaliseert (zie *Figuur 1a*). Meestal kan dit alleen door, ten koste van een strafmaat voor elk verkeerd geclassificeerd punt, een aantal

fouten toe te staan. Training van de SVM vond plaats met de helft van elk van de drie groepen proefpersonen, waarbij de gecorrigeerde data gebruikt werden.

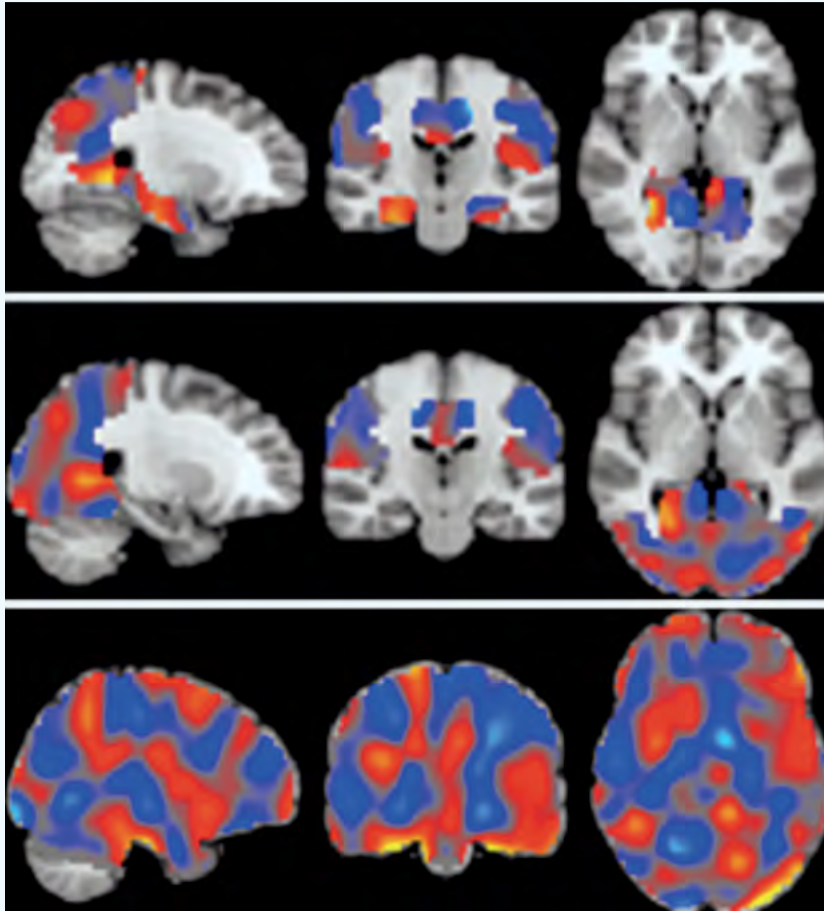
De scheidslijn kan een rechte lijn zijn (dan wordt de SVM ‘linear’ genoemd) of een kromme. Met een lineaire SVM is het mogelijk de scheidslijn te representeren als een nieuw punt (zie de + in *Figuur 1b*) en de uitkomst voor een nieuw beeld te berekenen als de afstand tot dit punt op de lijn die erdoorheen loopt vanuit de oorsprong van het assenstelsel. Aan de ene kant zitten de mildere en aan de andere kant de ernstiger symptomen. De niet voor training gebruikte beelden van elke groep werden gebruikt voor het testen van de getrainde SVM.

## Resultaten

De controlegroep bestond uit 26 gezonde vrijwilligers, de groepen SCD, MCI ►



**Figuur 1. a)** Het trainen van een support vectormachine zoekt de scheidslijn tussen twee groepen punten (hier groen en rood) die een strook met maximale breedte oplevert. Twee rode punten en één groen punt liggen op de rand van de strook; dit zijn de ‘support vectors’. **b)** Het voorspellen van de juiste groep voor een nieuw beeld (rood of groen) wordt bepaald door het beeld weer als punt te zien en te bepalen aan welke kant van de scheidslijn dit ligt.



**Figuur 2.** De gebieden die tot de hoogste nauwkeurigheid leiden bij het trainen van de SVM tussen de drie hoofdgroepen: a) AD - subjectieve klachten: pariëtaalkwab en hippocampus 89% (AUC 93%), b) AD - milde cognitieve klachten: pariëtaal- en occipitaalkwab 84% (AUC 88%), c) milde cognitieve klachten - subjectieve klachten: het gehele brein 57% (AUC 49%).

en AD uit respectievelijk 100, 60 en 100 proefpersonen. De laatste drie werden allen gesplitst in een training- en testdeel. Training op perfusiewaarden uit het hele brein resulteerde in een nauwkeurigheid van 87% (AUC 94%) voor het onderscheid AD - SCD, 79% (AUC 84%) voor het onderscheid AD - MCI en 58% (AUC 49%) voor het onderscheid MCI - SCD.

Van de groep met MCI was van 12 mensen bekend dat deze later AD hadden gekregen en van 12 dat ze stabiel waren gebleven. Training van de classifier met de MCI-AD-groep leverde voor het onderscheid met SCD een nauwkeurigheid van 83% (AUC 90%) en met MCI-stabiel van 70,8% (AUC 77%).

Hogere nauwkeurigheden werden gehaald door alleen perfusie te meten in ziektespecifieke gebieden zoals de precuneus, occipitaalkwab en hippocampus [3]. Verschillende gebieden zorgden voor hogere nauwkeurigheden per onderscheid.

Het voorspellen met de overgebleven beelden van elke groep leverde de volgende nauwkeurigheden op: AD - SCD 90% (AUC 96%), AD - MCI 82% (AUC 90%), MCI - SCD 60% (AUC 63%).

De groepen met milde cognitieve klachten van wie bekend was of ze later AD kregen of stabiel bleven, was te klein om te splitsen in training- en testgroepen.

Door de SVM getraind op AD - SCD te testen op deze subgroepen vonden we nauwkeurigheden voor MCI-AD - SCD van 79% (AUC 84%) en MCI-AD vs. MCI-stabiel van 71% (AUC 71%).

### Conclusie

Perfusiebeelden, gecorrigeerd voor effecten van leeftijd en geslacht, kunnen samen met geautomatiseerde machine learning-methoden worden gebruikt om de diagnose AD te onderscheiden van MCI-AD (latere conversie naar AD), MCI-stabiel (geen verdere achteruitgang) en subjectieve klachten met goede tot uitstekende nauwkeurigheid en herhaalbaarheid.

### Dr.ir. A.M. Wink

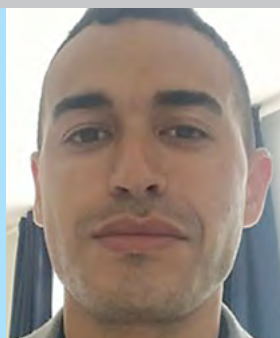
Afdeling Radiologie en Nucleaire Geneeskunde, VUmc, Amsterdam

### Prof.dr. F. Barkhof

Afdeling Radiologie en Nucleaire Geneeskunde, VUmc, Amsterdam  
Institutes of Neurology & Biomedical Engineering, University College London

### Literatuur

1. Jack CR, Bennett DA, Blennow K, et al. A/T/N: an unbiased descriptive classification scheme for Alzheimer disease biomarkers. *Neurology* 2016;87: 539-47.
2. Binnewijzend MA, Kuijter JP, Benedictus MR, et al. Cerebral blood flow measured with 3D pseudocontinuous arterial spin-labeling MR imaging in Alzheimer disease and mild cognitive impairment: a marker for disease severity. *Radiology* 2013;267:221-30.
3. Collij LE, Heeman F, Kuijter JP, et al. Application of machine learning to arterial spin labeling in mild cognitive impairment and Alzheimer disease. *Radiology* 2016;281:865-75.
4. Flier WM van der, Pijnenburg YA, Prins N, et al. Optimizing patient care and research: the Amsterdam Dementia Cohort. *J Alzheimers Dis* 2014;41:313-27.



HASSAN BOULKHRIF



THEO VAN WALSUM



ADRIAAN MOELKER

# Computer-Assisted Intervention in CT-geleide leverablaties

Computer-Aided Diagnosis and Detection (CAD) systemen, al dan niet gekoppeld aan neurale netwerken, laten veelbelovende resultaten zien in de geautomatiseerde diagnostiek van o.a. thorax- en mammapathologie [1-5]. In het verlengde hiervan zijn ontwikkelingen gaande om in de interventieradiologie Computer-Assisted Intervention (CAI) mogelijk te maken met behulp van software tools die de beeldgeleiding kunnen verbeteren en de ingreep kunnen automatiseren [6-8].

## CT-geleide leverablatieprocedure

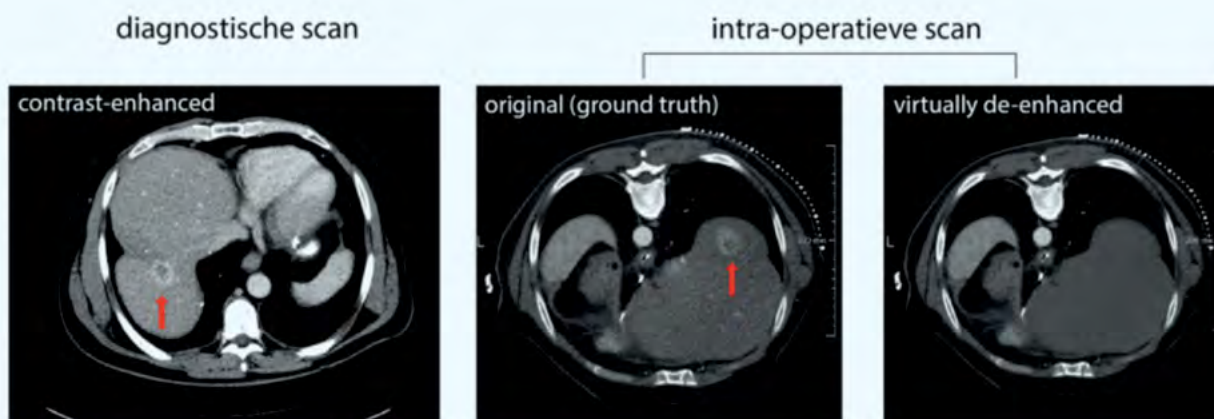
Percutane beeldgeleide behandeling middels radiofrequente of microwave ablatie (RFA, MWA) is inmiddels een geaccepteerd alternatief voor niet-resecteerbare levertumoren. Een interventieradioloog plant de ablatieprocedure aan de hand van de diagnostische CT-scan, die meestal een aantal weken eerder is vervaardigd dan de ingreep. Hierbij wordt diagnostische informatie zoals tumorlocatie en -grootte in een zogenaam-

de 'mental map' ruimtelijk opgeslagen in het geheugen van de interventieradioloog [9]. Vervolgens wordt deze mental map gebruikt om de tumor in de doorgaans blanco CT-scan die tijdens de interventie wordt gemaakt te lokaliseren. Aangezien patiënten tijdens een ablatieprocedure geroteerd kunnen zijn en de ademhaling niet goed is te controleren tijdens sedatie, kan leververvorming (deformatie) optreden. Leverdeformatie kan door verandering van de anatomische landmarks het mental mapping-proces

bemoeilijken en daarmee het nauwkeurig lokaliseren van de tumor.

## Beeldregistratiesystemen

In eerder werk hebben wij beeldregistratietechnieken ontwikkeld om pre- en intra-operatieve CT-beelden te fuseren met als doel het verbeteren van beeldgeleiding bij leverinterventies [6,7]. De door ons ontwikkelde registratiesystemen zijn gebaseerd op B-spline en affine modellering zoals beschreven door Luu et al., en deze komen in twee smaken: een rigide en een niet-rigide methode. Rigide systemen kunnen alleen corrigeren voor rotatie en translatie tussen de diagnostische (source) en de intra-operatieve (target) scan. Het niet-rigide systeem is flexibeler in opzet en kan naast rotatie en translatie, ook corrigeren voor deformatie [10]. Een nadeel van een niet-rigide systeem is de enorme rekenkracht en tijd die nodig is om de correcties uit ►



**Figuur 1.** Voorbeeld van een diagnostische CT-scan met bijbehorende originele en virtuele blanco intra-operatieve scan waarbij de patiënt geroteerd is. In het tumorlokalisatie-experiment werden alleen de diagnostische scan (links) en de intra-operatieve virtuele blanco scan (rechts) aangeboden. De originele intra-operatieve scan (midden) diende dan als referentiestandaard voor de exacte tumorlocatie.

te rekenen. De lever is bij uitstek een orgaan dat onderhevig is aan deformaties. De uitdaging voor beeldregistratietechnieken in CT-geleide leverinterventies is dan ook om een accurate anatomische match te verkrijgen tussen de source en de target scans.

Wij hebben onderzocht hoe nauwkeurig rigide en niet-rigide registratiesystemen levertumoren kunnen lokaliseren in intra-operatieve (blanco) CT-scans, m.b.v. informatie uit de diagnostische CT-scan, in vergelijking met mental mapping door interventieradiologen.

**Studiemethode**

Er zijn 35 diagnostische en corresponderende intra-operatieve contrast CT-scans gebruikt, vervaardigd tijdens percutane ablatieprocedures tussen juli 2009 en april 2017. Er is vervolgens een intra-operatieve virtuele blanco CT-scan gecreëerd door het contrast te verwijderen uit de intra-operatieve CT-scans met behulp van een geavanceerd in-huis ontwikkeld semiautomatisch algoritme. In het tumorlokalisatie-experiment werden de diagnostische CT-scan (source) en de intra-operatieve virtuele blanco CT-scan (target) automatisch geregistreerd door middel van zowel rigide als niet-rigide registratie (Figuur 1). De geregistreerde tumorcentra worden in x,y,z-coördinaten weergegeven. Mental mapping werd door vier ervaren interventieradiologen uitgevoerd, waarbij de diagnostische CT-scan werd aangeboden om daarmee de tumorcentra manueel te markeren in de intra-operatieve virtuele blanco CT-scan. Per tumor werden de markeringen van vier interventieradiologen gemiddeld. De originele (contrast-enhanced) intra-operatieve CT-scan, waarin de tumor duidelijk is weergegeven, diende als referentiestandaard (ground truth)

Tabel I. Vergelijking van registratiemethoden (n=52 tumoren).

Methode	TRE (mm)	Meest nauwkeurig
Mental mapping	10,9	3/52 (5,8%)
Rigide registratie	9,0	7/52 (13,5%)
Niet-rigide registratie	3,9	42/52 (80,8%)

voor de exacte locatie van de tumor. De nauwkeurigheid van de tumorlokalisatie werd met de Euclidische afstand bepaald en weergegeven als Target Registration Error (TRE) in millimeter. Hoe lager de TRE, hoe nauwkeuriger de methode. Met de Wilcoxon-Signed Rank test voor niet-normaal verdeelde data, werden statistische verschillen geanalyseerd tussen de rigide registratie, niet-rigide registratie en mental mapping gegevens.

**Voorlopige resultaten van de studie**

56 levertumoren in 35 CT-datasets werden geïnccludeerd, waarvan 35 HCC's, 16 colorectale metastasen, 3 neuro-endocriene metastasen, 1 maagcarcinoommetastase en 1 mammacarcinoommetastase. De niet-rigide registratiemethode slaagde er bij vier tumorregistraties niet in om een uitkomst te berekenen door voortijdige afbreking van het algoritme (er kon niet voldoende overlap tussen de levers in de source en targetscan worden bereikt). Op basis van de overige 52 geanalyseerde tumoren laten mental mapping, rigide registratie en niet-rigide registratie een mediane TRE van respectievelijk 10,9 mm, 9,0 mm en 3,9 mm zien, zoals weergegeven in Tabel I. Niet-rigide registratie was statistisch significant beter in het lokaliseren van levertumoren in vergelijking met rigide registratie (p <0,001) of mental mapping door interventieradiologen (p <0,001). Rigide registratie was niet statistisch significant verschillend in vergelijking met mental mapping (p >0,05). Niet-rigide

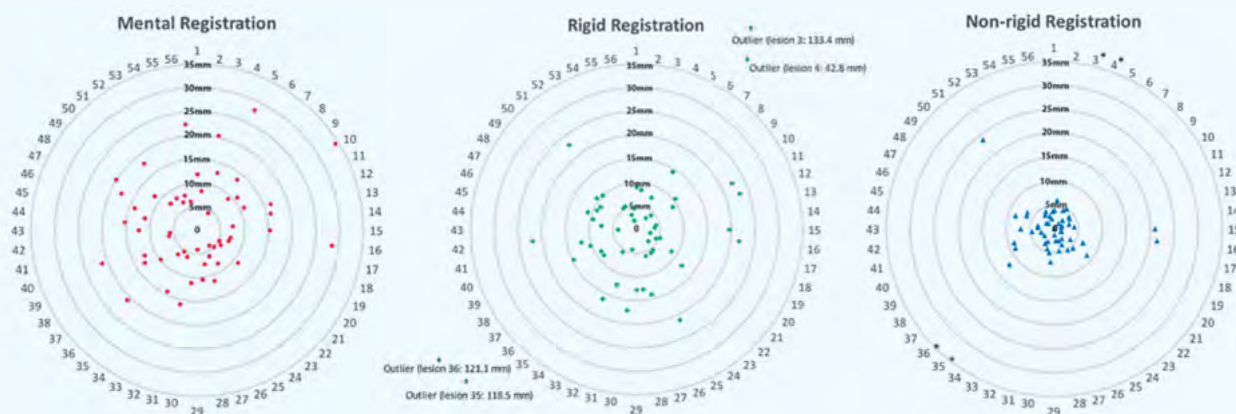
registratie bleek daarbij het meest accuraat in 42 van de 52 gevallen (80,8%), terwijl mental mapping en rigide registratie slechts in respectievelijk 3 (5,8%) en 7 (13,5%) tumoren het nauwkeurigst bleken (Figuur 2).

**Plaatsbepaling**

Het niet-rigide registratiesysteem is beter in het lokaliseren van levertumoren in intra-operatieve CT-scans dan menselijke experts. In RFA-procedures worden tumoren met een veiligheidsmarge van minstens 5 mm geableerd [11]. Het niet-rigide registratiesysteem laat een mediane onzekerheid van 3,9 mm zien. Om te voorkomen dat de ablatiezones onacceptabel groot worden wanneer ook de veiligheidsmarge in acht wordt genomen, vinden wij dat het registratiesysteem nog verder kan worden verfijnd. Hierbij kan gedacht worden aan technieken gebaseerd op leren van voorbeelden (zoals neurale netwerken) gekoppeld aan of geïntegreerd met beeldregistratiesystemen of modellen die rekening houden met fysische kenmerken van organen [12]. Daarnaast kan semiautomatische registratie, waarbij de gebruiker de computer helpt in moeilijke gevallen, het registratieresultaat verbeteren (13). Met andere woorden, computerondersteuning verschuift steeds verder in de richting van human-assisted computer diagnosis and treatment.

**Toekomstige ontwikkelingen**

Een spannende ontwikkeling is het koppelen van geautomatiseerde interventie-



Figuur 2. Afzonderlijke nauwkeurigheid per tumor (n=56) voor de drie verschillende registratiemethoden.

robotica aan geautomatiseerde registratiesystemen. Interventierobotica kunnen momenteel al met menselijke aansturing ablatie- en biopsienaalden op sub-milimeter nauwkeurigheid plaatsen in levertumoren [14]. Het grote voordeel van een geautomatiseerd registratiesysteem zoals onderzocht in onze studie, is dat de tumorlocatie wordt weergegeven in ruimtelijke x,y,z-coördinaten. Dit opent de deur naar een volledig geautomatiseerd ablatieproces waarbij het registratiesysteem de juiste coördinaten kan instellen in de intra-operatieve CT-scan en de interventierobotarm kan aansturen om de naald automatisch te positioneren in de tumor. De interventieradioloog kan dan vanuit een ‘interventionele cockpit’ het geautomatiseerde proces op afstand superviseren. Hierdoor kan de stralingsbelasting voor de clinicus worden verminderd, alsmede het ablatieproces sterk worden vereenvoudigd.

### Samenvatting

- In de interventieradiologie wordt net als in de diagnostische radiologie vooruitgang geboekt met computer-assisted systemen die kunnen leiden tot verbetering van tumordetectie en beeldgeleiding.
- In deze retrospectieve studie hebben wij de levertumorlokalisatie in intra-operatieve CT-scans door geautomatiseerde registratiesystemen vergeleken met het menselijke vermogen.
- Het geautomatiseerde niet-rigide registratiesysteem toont een mediane nauwkeurigheid van 3,9 mm en is statistisch significant beter in het lokaliseren van targettumoren

in intra-operatieve CT-scans in vergelijking met het geautomatiseerde rigide registratiesysteem ( $p < 0,001$ ; mediane TRE 9,0 mm) of interventieradiologen ( $p < 0,001$ ; mediane TRE 10,9 mm).

- Het geautomatiseerde niet-rigide registratiesysteem kan na verdere verfijning en versnelling mogelijkheden openen naar een volledig geautomatiseerde ablatieprocedure indien gekoppeld aan interventierobotica.

### Drs. H. Boulkhrif

Geneeskundestudent (VUmc).  
Wetenschappelijk onderzoek, afdeling Radiologie, Erasmus MC Rotterdam  
Huidig: co-assistent, afdeling Radiologie, NWZ Alkmaar

### Dr.ir. Th. van Walsum

Biomedical Imaging Group Rotterdam, Erasmus MC, Rotterdam

### Dr. A. Moelker

Interventieradioloog, Erasmus MC, Rotterdam

### Literatuur

1. Kakeda S, Moriya J, Sato H, et al. Improved detection of lung nodules on chest radiographs using a commercial computer-aided diagnosis system. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;182:505-10.
2. de Hoop B, De Boo DW, et al. Computer-aided detection of lung cancer on chest radiographs: effect on observer performance. *Radiology* 2010;257:532-40.
3. Lakhani P, Sundaram B. Deep learning at chest radiography: automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. *Radiology.* 2017;284:574-82.
4. Cicero M, Bilbily A, Colak E, et al. Training and validating a deep convolutional neural network for computer-aided detection and classification of abnormalities on frontal chest radiographs. *Invest Radiol.* 2017;52:281-7.
5. Qiu Y, Yan S, Gundreddy RR, et al. A new approach to develop computer-aided diagnosis scheme of breast mass classification using deep learning technology. *J Xray Sci Technol.* 2017 Apr 18 doi: 10.3233/XST-16226.
6. Luu HM, Niessen W, Moelker A, van Walsum T. An automatic registration method for pre- and post-interventional CT images for assessing treatment success in liver RFA treatment. *Med. Phys* 2015;42:5559-67.
7. Luu HM, Klink C, Niessen W, et al. Non-rigid registration of liver CT images for CT-guided ablation of liver tumors. *PLoS One* 2016;11(9):e0161600.
8. Rouchy RC, Moreau-Gaudry A, Chipon E, et al. Evaluation of the clinical benefit of an electromagnetic navigation system for CT-guided interventional radiology procedures in the thoraco-abdominal region compared with conventional CT guidance (CTNAV II): study protocol for a randomised controlled trial. *Trials* 2017;18:306.
9. Varga E, Pattynama PM, Freudenthal A. Manipulation of mental models of anatomy in interventional radiology and its consequences for design of human-computer interaction. *Cogn Tech Design* 2013;15:457.
10. Crum WR, Hartkens T, Hill DL. Non-rigid image registration: theory and practice. *Br J Radiol* 2004;77 Spec No 2:S140-53.
11. Ahmet M, Solbiati L, Brace CL, et al. Image-guided tumor ablation: standardization of terminology and reporting criteria – a 10-year update. *Radiology* 2014;273: 241-60.
12. Shun Miao, Wang ZJ, Rui Liao. A CNN regression approach for real-time 2D/3D registration. *IEEE Trans Med Imaging* 2016;35:1352-63.
13. Gunay G, Luu MH, Moelker A, et al. Semi automated registration of pre and intra operative CT for image guided percutaneous liver tumor ablation interventions. *Med Phys* 2017;44:3718-25.
14. Won HJ, Kim N, Kim GB, et al. Validation of a CT-guided intervention robot for biopsy and radiofrequency ablation: experimental study with an abdominal phantom. *Diagn Interv Radiol* 2017;23:233-7.



CHRISTIANNE HOEBERIGS



PAUL HOFMAN

## Met AI het brein bekijken

De afgelopen jaren is er meer en meer aandacht gekomen voor het inzetten van artificiële intelligentie bij de interpretatie van radiologische beelden. Paradoxaal genoeg is het makkelijker om hooggespecialiseerde kennis in een model te brengen dan de 'gewone, algemene' interpretatie van bijvoorbeeld een thoraxfoto. Deze expertise is namelijk makkelijk in een model te brengen omdat het slechts over een beperkt onderwerp gaat [1]. Een voorbeeld van de toepassing van zo'n expertsysteem is het opsporen van focale corticale dysplasieën.

Een focale corticale dysplasie (FCD) is een epileptogene afwijking die zich op een MRI kenmerkt door (1) abnormaal verdikte cortex, (2) vervaging van de grijswitte stofovergang op MRI, en (3) verhoogde signaalintensiteit van de cortex en subcorticale witte stof op de T2- of FLAIR-opnamen. Het is klinisch van belang deze vaak kleine letsels te identificeren omdat het aantonen van een epileptogene afwijking de uitkomst van epilepsiechirurgie fors verbetert, waarbij 58-80% van de geopereerde patiënten die op MRI een afwijking hadden na chirurgie aanvalsvrij is. Het is bekend dat de

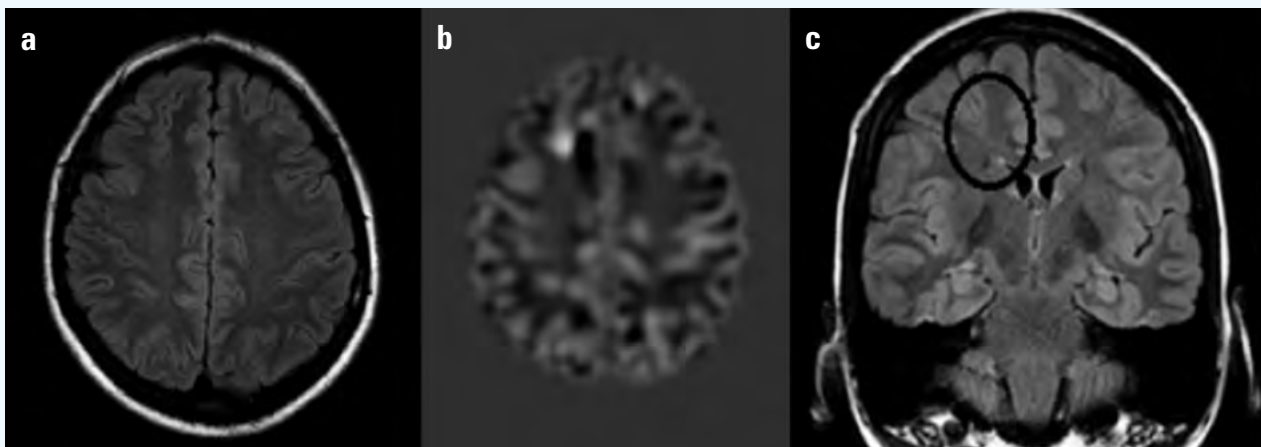
detectie van een focaal corticale dysplasie door een getrainde neuroradioloog beter is dan door een algemeen radioloog [2], maar het wordt ook algemeen aangenomen dat veel van de patiënten met locatie-gerelateerde epilepsie en een normale MRI een niet gedetecteerde FCD hebben. Daarom is er gezocht naar een methode om de detectie van deze afwijkingen te verbeteren.

Gezien de bovengenoemde kenmerken van FCD, het feit dat het brein nauwelijks beweegt en het feit dat het gyratiepatroon tussen verschillende mensen veel

gelijkenis vertoont, is dit probleem zeer geschikt voor computer-aided detectie (CAD).

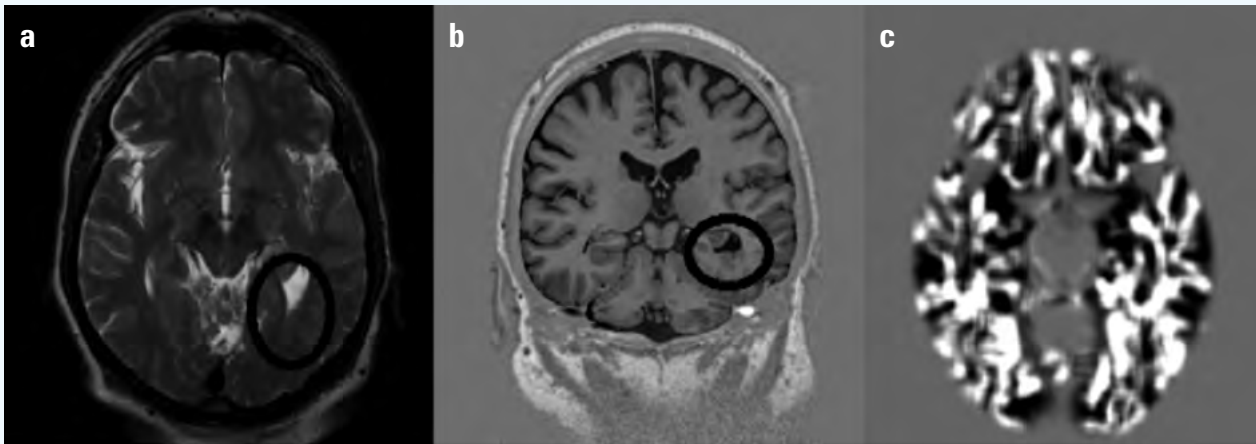
Voor het verbeteren van de detectie van FCD's zijn er verschillende voxel-based morfometrische (VBM) methoden beschikbaar. Bij vrijwel al deze VBM-methoden wordt het brein qua afmetingen genormaliseerd, en daarna wordt dit genormaliseerde brein vergeleken met een template opgebouwd uit een aantal normale breinen.

Kempenhaghe is een derdelijns epilepsiecentrum dat beschikt over een 3T MRI (Philips Achieva). Om te kijken of het toevoegen van een CAD-techniek de detectie van FCD's bij patiënten met epilepsie verhoogt, hebben we alle patiënten van 16 jaar en ouder met focale epilepsie die tussen december 2008 en december 2009 op Kempenhaghe een MRI hebben ondergaan, tevens met behulp van een VBM-programma geanalyseerd [3]. Dit programma vergelijkt de



**Figuur 1.** Man (51 jaar) met focale epilepsie, waarbij bij initiële beoordeling geen afwijkingen gezien werden (a). Op de postprocessing beelden wordt een afwijking links frontaal gezien (b), die bij nader inzien op de coronale FLAIR-beelden op een focale corticale dysplasie blijkt te berusten (c).





**Figuur 2.** Man (61 jaar) met partiële epilepsie en secundaire generalisatie. Er is een periventriculaire heterotopie links occipitaal en temporaal zichtbaar op de axiale T2 (a) en coronale IR (b), die op de CAD-beelden niet zichtbaar was (c).

scans voxel per voxel met de normale template (opgebouwd uit vijftig normale breinen, alle gescand op Kempenhaeghe). Dit leverde drie nieuwe beelden met verschillende kenmerken: (1) een junction map, gericht op de grijswitte stofovergang, (2) een extension map, waarbij er abnormaal diepe corticale uitbreiding in de witte stof gevisualiseerd wordt, en (3) een thickness map, waarbij de dikte van de cortex vergeleken wordt met de normale template. Wanneer het programma een bepaalde hersenregio als afwijkend aanmerkte, werd dit gecorrigeerd met een visuele beoordeling van de beelden (Figuur 1).

In 2009 zijn er in totaal 215 patiënten met focale partiële epilepsie gescand. Na visuele beoordeling door een gespecialiseerd neuroradioloog werden in totaal 35 corticale aanlegstoornissen gevonden: dertig patiënten hadden één laesie, één patiënt had twee laesies en één patiënt had drie afwijkingen. Door het toevoegen van VBM werden er in deze populatie nog vijf extra corticale aanleg-

stoornissen gevonden. Het programma identificeerde tevens 21 van de 35 reeds visueel gediagnosticeerde corticale afwijkingen.

De afwijkingen die bij visuele inspectie wel gezien waren en door de computer gemist werden, betroffen over het algemeen grote corticale aanlegstoornissen, bijvoorbeeld een hemimegalencefalie. Dit brengt direct de grote zwakte van CAD aan het licht: wanneer het brein niet goed genormaliseerd is, zal een VBM-techniek afwijkingen niet detecteren. Ook kleine, niet nabij de cortex gelokaliseerde afwijkingen, zoals een periventriculaire heterotopie, worden door middel van deze VBM-methode niet gedetecteerd (Figuur 2).

Concluderend kan worden gesteld dat het artificial intelligence-systeem de detectie van FCD's wel verbeterd, maar dat neuroradiologische inbreng nog steeds noodzakelijk blijft.

**Drs. M.C. Hoeberigs**

neuroradioloog

**Prof.dr. P.A.M. Hofman**

neuroradioloog

MUMC+ Maastricht en Epilepsiecentrum

Kempenhaeghe Heeze

#### Literatuur

1. Kahn Jr CE. Artificial intelligence in radiology: decision support systems. *RadioGraphics* 1994;14:849-61.
2. von Oertzen J, Urbach H, Jungbluth S, et al. Standard magnetic resonance imaging is inadequate for patients with refractory focal epilepsy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002;73:643-47.
3. Huppertz H, Grimm C, Fauser S, et al. Enhanced visualization of blurred gray-white matter junctions in focal cortical dysplasia by voxel-based 3D MRI analysis. *Epilepsy Res* 2005;67:35-50.



TIM LEINER



IVANA IŠGUM



JELMER WOLTERINK



MJAD ZREIK



ROBBERT VAN HAMERSVELT



WOUTER VELDHUIS

## AI in de Cardiovasculaire Radiologie

Artificiële Intelligentie (AI) gaat een steeds belangrijkere rol spelen in de radiologie. Elders in dit themanummer heeft u over de beginselen en achtergronden van deze technieken kunnen lezen. In deze bijdrage gaan wij in op de rol van AI in de cardiovasculaire beeldvorming. In het eerste deel bespreken wij de huidige stand van zaken met betrekking tot het automatiseren van veel voorkomende taken in de huidige praktijk, en waar onzes inziens AI waarde zou kunnen toevoegen in de kliniek. Daarna gaan wij in op de infrastructuur die nodig is om nieuwe ontwikkelingen op dit gebied snel naar de kliniek te brengen. Met name dit laatste onderdeel is essentieel om snel de vruchten te plukken van nieuwe ontwikkelde technieken en algoritmen.

### Automatisering van veel voorkomende metingen in de cardiovasculaire radiologie

Cardiovasculaire beeldvorming leent zich goed voor AI-toepassingen. Voor veel cardiovasculaire vraagstellingen is gestandaardiseerde kwantificatie van diverse parameters gewenst. Taken zoals het meten van de hoeveelheid kalk in de coronairen en elders in de arteriële vaatboom, het identificeren van een center-lumenlijn in de aorta of de coronairen, en bepaling van de ejectiefractie van het linkerventrikel – om een paar voorbeelden te noemen – zijn relatief arbeidsintensief en kunnen de verslaglegging aanzienlijk vertragen. Het nabewerken van een CTA van de aorta bij patiënten die kandidaat zijn

voor transkatheter aortaklepimplantatie (TAVI) kan bijvoorbeeld 30-60 min in beslag nemen door getrainde beeldbewerkers. Dit geldt ook voor het intekenen van linkerventrikel myocardiale en luminale contouren in cardiale MRI-onderzoeken. Een andere taak die zich uitstekend leent voor automatisering is het intekenen van luminale vaatcontouren voor flowmetingen.

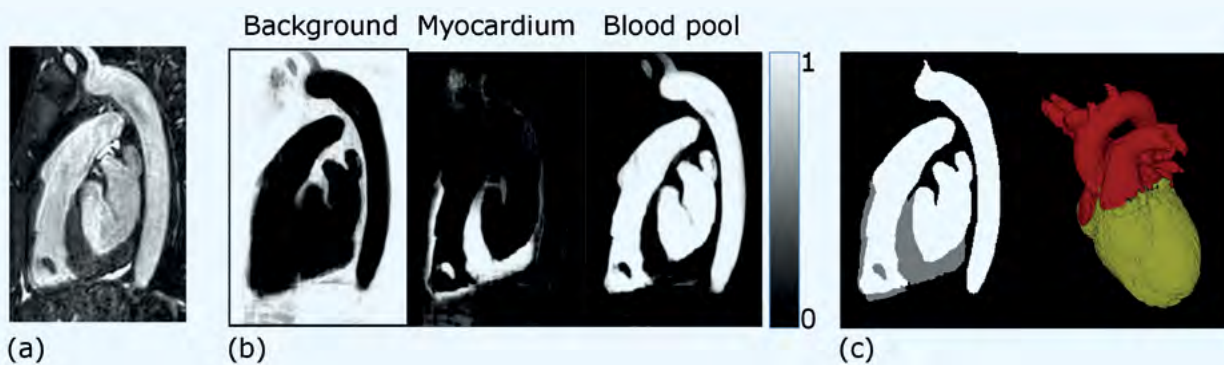
Door toepassing van zogenaamde convolutionele neurale netwerken (CNN's) is er de laatste jaren een enorme versneling en verbetering gerealiseerd in de automatisering van bovengenoemde (en andere) taken. Hieronder bespreken wij enkele voorbeelden van algoritmen die ontwikkeld zijn in onze groep.

### Coronaire kalkscore

De coronaire kalkscore is gebaseerd op een standaard acquisitieprotocol met 3 mm CT-coupees, 120 kVp en een flexibel mAs-getal. Na acquisitie van de beelden wordt de coronaire kalkscore berekend door een identificatie van gebieden met kalk in coronairen (gedefinieerd als HU-waarde >130). In bestaande softwarepakketten moet een getrainde expert deze gebieden aanklikken, waarna het softwarepakket vervolgens de Agatston-, massa- of volumescore berekent. Onze groep heeft een algoritme ontwikkeld op basis van gepaarde CNN's waarmee dit volautomatisch kan plaatsvinden. Er is in principe geen enkele humane interactie noodzakelijk, en er is een zeer goede correlatie met de manueel bepaalde massascore met een ICC van 0,944 [1]. De techniek werkt ook snel; binnen enkele seconden is de analyse gereed.

### Segmentatie van cardiac MRI en bepaling van de linkerventrikel ejectiefractie

Bepaling van de cardiale ejectiefractie vindt plaats op korte-as cine MRI-beelden. De ejectiefractie wordt berekend door het slagvolume te delen door het einddiastolische linkerventrikelvolume. Om deze waarde te berekenen dient een getrainde expert de endocardiale con-



**Figuur 1.** Resultaten van volledig automatische cardiac MRI-segmentatie. (a) toont een cardiac MR-image slice in de RVOT-oriëntatie. In paneel (b) worden waarschijnlijkheidsmaps getoond van achtergrond (links), myocard (midden) en blood pool (rechts). Hoe witter de pixelwaarde, hoe groter de kans dat het voxel aan de respectievelijke klasse wordt toebedeeld. In figuurdeel (c) zijn de kleurgecodeerde resultaten van de segmentatie zichtbaar (geel: myocard; rood: blood pool).

touren in te tekenen in einddiastolische en eindsystolische fasen van de hartcyclus. Deze taak kan een aanzienlijke hoeveelheid tijd in beslag nemen en is gevoelig voor interobservervariatie, zeker indien de observator onervaren is of als er sprake is van complexe anatomie zoals bij congenitale hartafwijkingen. CNN's blijken zich zeer goed te lenen voor het automatiseren van deze taak en zijn goed te trainen met relatief weinig data. Onze groep heeft recent een algoritme gepubliceerd waarmee deze contouren, inclusief de myocardiale massa, met hoge nauwkeurigheid bepaald kan worden [2] op basis van een trainingsdataset van slechts tien voorbeeldpatiënten (*Figuur 1*). De output van een dergelijk CNN kan tevens gebruikt worden om een diagnose te suggereren, zoals wij hebben laten zien in de 'Automated Cardiac Diagnosis Challenge' op het MICCAI-congres dit jaar [3]. MRI-datasets van slechts 100 patiënten met bekende diagnoses waren voldoende om een CNN te trainen dat vervolgens 91% van de patiënten aan de correcte ziektecategorie kon toewijzen.

### Waar gaat AI waarde toevoegen in de cardiovasculaire radiologie?

Een belangrijke vraag is waar de toegevoegde waarde van AI het grootst zal zijn in de cardiovasculaire radiologie. Op korte termijn zullen de bovenbeschreven algoritmen radiologen en beeldbewerkers relatief eenvoudige maar arbeidsintensieve taken uit handen nemen, waardoor de humane observatoren ingezet kunnen worden voor complexere taken. Een groot voordeel van de toepassing van de AI-algoritmen is de snelheid en reproduceerbaarheid van de nabewerking. In de nabije toekomst zullen er algoritmen commercieel beschikbaar komen die met hoge nauwkeurigheid de

coronaire kalkscore en ejectiefraction volledig automatisch bepalen. Op het moment dat de beelden beschikbaar komen voor verslaglegging zullen deze gegevens al klaar staan. Dit zal ook het geval zijn voor aortadiameters en volumes bij patiënten met een aneurysma, en aortaklep- en diametermetingen bij kandidaten voor transcatheter-aortaklepipplantatie (TAVI). Ook wordt er gewerkt aan meer geavanceerde algoritmen om bijv. afwijkingen in myocardiale contractie op te sporen en te kwantificeren. Dit type analyse is zelfs beter in staat dan conventionele parameters om de uitkomst te voorspellen, bijv. bij patiënten met pulmonale hypertensie [4].

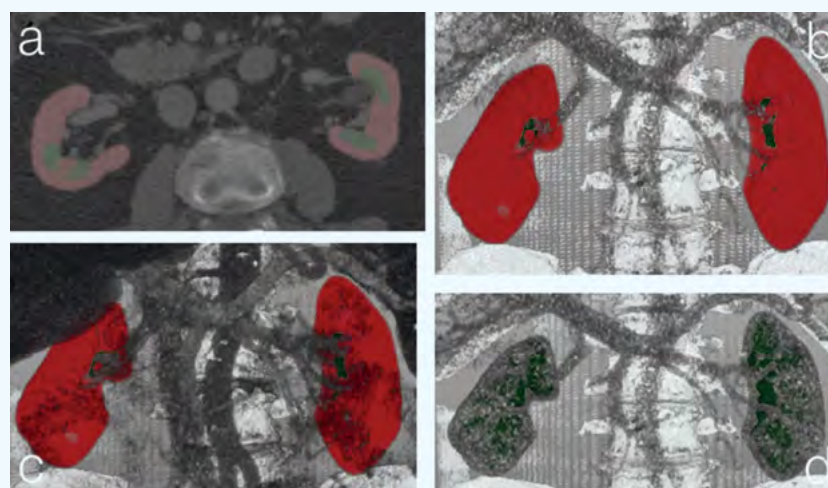
Naast de standaardtaken zoals boven beschreven heeft AI ook veel potentie om ongevraagde relevante informatie te extraheren uit CT- en MRI-beelden. Denk bijv. aan het extraheren van coronaire kalkscores uit standaard CT-thoraxonderzoeken, het identificeren van anatomische structuren [5] of het kwantifice-

ren van orgaanvolumes (*Figuur 2*), maar ook het analyseren van botdensiteit, de hoeveelheid en verhouding van spier/vet bij patiënten met kanker, etc.

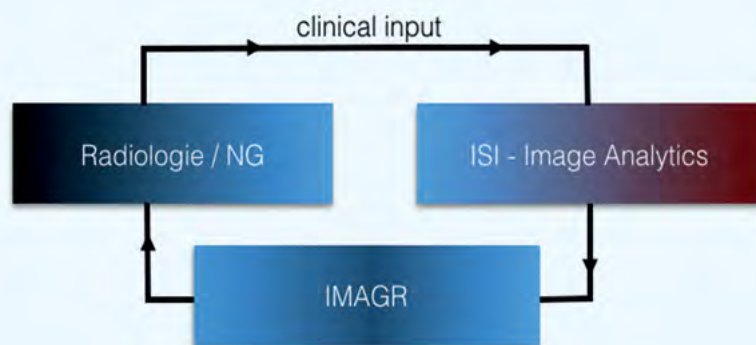
Tot slot willen wij benadrukken dat AI niet alleen toepassingen heeft in het domein van de beeldanalyse. Ook bij beeldacquisitie gaat AI een belangrijke rol spelen. Zo is het bijv. mogelijk om met behulp van deep learning betere MRI-reconstructiealgoritmen te ontwerpen [6]. Een ander voorbeeld is de mogelijkheid om uit lagedosis CT-opnamen beelden te berekenen die ogenschijnlijk met normale dosis opgenomen zijn [7].

### Noodzakelijke infrastructuur om optimaal de vruchten te kunnen plukken van nieuwe ontwikkelingen

Ondanks het veelbelovende karakter en ondanks de reële technische vorderingen neemt het daadwerkelijk gestructureerd toepassen van AI-technieken in de kliniek nog niet zo'n vlucht. Dat ►



**Figuur 2.** Volledig automatische segmentatie van niercortex en medulla. (a) transversaal bronbeeld van contrastversterkte abdomen-CT met nieren in kleur aangegeven. (b) 3D-reconstructie van bilaterale niercortex. De lever wordt correct van het niervolume uitgesloten (c). In (d) wordt een 3D-reconstructie getoond van de renale medulla.



**Figuur 3.** Inbedding van IMAGR in de Divisie Beeld van het UMCU. Prototypes van nieuwe algoritmen die ontwikkeld worden door het Image Sciences Instituut worden via de IMAGR infrastructuur ter beschikking gesteld aan radiologen en nucleair geneeskundigen. De specialisten krijgen de mogelijkheid om feedback te geven waardoor het algoritme verbeterd kan worden.

is ook logisch. Nadat een onderzoeker een nieuwe techniek heeft ontwikkeld en die wetenschappelijk heeft gevalideerd gaat een groot gat naar de dagelijkse praktijk. Overbruggen kost, per toepassing, zomaar maanden tijd – en daarna structurele, blijvende aandacht. De promovendus of onderzoeker wordt daar niet voor betaald. Hij of zij moet artikelen en subsidieaanvragen schrijven. Wie doet het dan? Dit is het terrein van IMAGR. IMAGR (IMage Analytics GRoup Utrecht) is een recent in het UMCU gestart initiatief van programmeurs, data-scientists, klinisch onderzoekers en artsen, dat met financiële en IT-ondersteuning van de Divisie Beeld een infrastructuur bouwt die zorgt dat wetenschappelijk bewezen image-analytics technieken (niet slechts 'AI') direct in de kliniek kunnen worden toegepast. IMAGR omvat daarnaast een gebruikersgroep die bepaalt welke technieken breder en welke technieken eerst beperkter kunnen worden uitgerold, op basis van inhoudelijke impact op het diagnostisch proces, beschikbaar bewijs voor effectiviteit en mate van inpasbaarheid in het proces (Figuur 3). Elke toepassing begint in de academische setting op onderzoeksbasis. De radioloog krijgt via IMAGR in de verslagkamer, tijdens de verslaglegging, extra informatie. Dat kan zijn in de vorm van extra, berekende scans, bijv. parametrische maps; of getalsmatige informatie, bijv. automatisch bepaalde volumina of scores – al dan niet tezamen met een mogelijkheid tot interactie. Deze interactie kan variëren van een automatisch gepresenteerd formulier waarop een score wordt aangeklikt, tot een interactieve 3D-volume weergave of scrollbare MPR-stack waarop een region-of-interest kan worden getekend, of een door de computer berekende bevinding kan worden bevestigd of doorge-

haald. Doordat de interactie rechtstreeks aan IMAGR is gekoppeld, kan van elke muisklik en toetsenbordaanslag van de radioloog of beeldverwerkingslaborant worden geleerd, gewoon tijdens het werken.

Wij illustreren dit proces met een voorbeeld: op een van de 3T MRI-scanners wordt een MRI-brein verricht met de vraagstelling 'puntbloedingen?'. Wanneer de acquisitie gereed is, zoekt IMAGR automatisch naar een bijpassende, eerder gedefinieerde processing-pipeline. Deze pipeline zegt – in dit voorbeeld – haal de scan op; voer dit AI-algoritme voor detectie van puntbloedingen uit; en sla de resultaten op. Wanneer een radioloog vervolgens op het PACS-station deze scan opent, herkent IMAGR het openen van een scan, en zoekt naar een bijbehorende display-pipeline. Deze pipeline zegt: presenteer de eerder berekende bevindingen in een aparte stack, met als overlay de gedetecteerde puntbloedingen, in het IMAGR-window op het PACS-werkstation; maak de stack interactief zodat de radioloog fout-positieve 'bloedingen' kan aanvinken (zodat het algoritme zichzelf kan verbeteren), en hou een samenvatting bij van het aantal bloedingen.

De technische basis van IMAGR bestaat uit over een virtueel cluster gedistribueerde hardware met veel CPU- en GPU-power, en bewezen open-source oplossingen voor het plannen, monitoren en stroomlijnen van pipelines van taken en data, zoals Apache-Airflow, Celery, RabbitMQ, Redis en Docker.

Zoals inmiddels duidelijk is gaat het – zeker in eerste instantie – vooral om toegevoegde waarde in het diagnostisch

proces: geen kant-en-klare diagnoses, maar de mogelijkheid om meer onderbouwde of juist meer kwantitatieve of anderszins meer precieze uitspraken te doen. Het vak van radioloog en beeldlaborant wordt hiermee centraler, uitdagender en belangrijker dan ooit.

**Prof.dr. T. Leiner<sup>1</sup>**

**Dr. I. Išgum<sup>2</sup>**

**Dr. J.M. Wolterink<sup>2</sup>**

**Drs. M. Zreik<sup>2</sup>**

**Drs. R.W. van Hamersvelt<sup>1</sup>**

**Dr. W.B. Veldhuis<sup>1</sup>**

Divisie Beeld, Afdeling Radiologie<sup>1</sup> & Image Sciences Institute<sup>2</sup> UMC Utrecht

#### Literatuur

1. Wolterink JM, Leiner T, de Vos BD, et al. Automatic coronary calcium scoring in cardiac CT angiography using paired convolutional neural networks. *Med Image Anal* 2016;34:123-36.
2. Wolterink JM, Leiner T, Viergever MA, Išgum I. Dilated convolutional neural networks for cardiovascular MR segmentation in congenital heart disease. In: *HVSMR 2016: MICCAI Workshop on Whole-Heart and Great Vessel Segmentation from 3D Cardiovascular MRI in Congenital Heart Disease*, 2017, vol. 10129, pp. 95-102.
3. Wolterink JM, Leiner T, Viergever MA, Išgum I. Automatic segmentation and disease classification using cardiac cine MR Images. In: *MICCAI/STACOM 2017 Workshop on Automated Cardiac Diagnosis Challenge*, 2017 (in press; preprint beschikbaar op [arxiv.org/abs/1708.01141](http://arxiv.org/abs/1708.01141)).
4. Dawes TJ, de Marvao A, Shi W, et al. Machine learning of three-dimensional right ventricular motion enables outcome prediction in pulmonary hypertension: a cardiac MR imaging study. *Radiology* 2017;283:381-90.
5. de Vos BD, Wolterink JM, de Jong PA, et al. ConvNet-Based localization of anatomical structures in 3-D medical images. *IEEE Trans Med Imaging* 2017;36:1470-81.
6. Cohen O, Zhu B, Rosen M. Deep learning for fast MR fingerprinting reconstruction. *Proc Intl Soc Magn Reson Med* 2017;25:688.
7. Wolterink JM, Leiner T, Viergever MA, Išgum I. Generative adversarial networks for noise reduction in Low-Dose CT. *IEEE Trans Med Imaging* 2017 May 26. doi: 10.1109/TMI.2017.2708987.



HENK MARQUERING



CHARLES MAJOIE

# Toepassing van AI voor beeldanalyse van patiënten met een beroerte

Onderzoekers van het AMC gebruiken artificiële intelligentie-methodieken om kwantitatieve informatie te halen uit radiologische beelden van patiënten met een beroerte.

Beeldverwerking en patroonherkenning zijn vakgebieden die onder de Artificiële Intelligentie (AI) vallen en potentieel veel waarde hebben voor automatische analyses van radiologische beelden van patiënten met een beroerte. Ieder jaar krijgen 46.000 mensen in Nederland een beroerte. Dit resulteert in meer dan 25.000 ziekenhuisopnames per jaar. Het grootste gedeelte van deze beroertes, ongeveer 80%, betreft een herseninfarct, 15% een hersenbloeding en 5% een subarachnoidale bloeding (SAB). Eenmaal in het ziekenhuis wordt radiologische beeldvorming, meestal CT en CT-Angiografie (CTA), verricht om de oorzaak van de beroerte vast te stellen. Hierbij zijn snelle diagnostiek en behandeling van cruciaal belang. Dit geldt in het bijzonder voor patiënten met een herseninfarct, nu endovasculaire behandeling tot de standaardbehandeling behoort en aangetoond is dat het effect van deze behandeling per uur snel afneemt [1]. Binnen het AMC zijn er de laatste jaren in samenwerking met de UTwente, het LUMC en het Erasmus MC een aantal tools ontwikkeld die de directe analyse van de radiologische beelden uit kunnen voeren. Directe aanleiding was de noodzaak om grote datasets van klinische trials op een efficiënte manier te beoordelen. We verwachten dat AI in de nabije toekomst ook zeer waardevol zal zijn in de klinische praktijk en zal bijdragen aan verhoogde efficiëntie en nauwkeurigheid van de radiologische diagnostiek.

Analyses van radiologische beelden met behulp van AI hebben drie belangrijke voordelen:

## 1) *Ondersteuning van klinische trials.*

In klinische trials zijn radiologische beelden een belangrijk onderdeel. Radiologische beelden worden gebruikt voor zowel de selectie van patiënten als voor het bepalen van een (secundaire) uitkomstmaat om zo de effectiviteit van de te onderzoeken nieuwe behandelmethode te toetsen. In klinische trials moeten de radiologische beelden van honderden tot duizenden patiënten beoordeeld worden, wat erg tijdsintensief is. AI kan bijdragen aan een efficiënte beoordeling van grote datasets van klinische trials.

## 2) *Automatische detectie en kwantificatie van afwijkingen.*

Voor de evaluatie van radiologische beelden van patiënten met een beroerte bestaan meerdere kwalitatieve en semi-kwantitatieve maten, zoals de ASPECTS (Alberta Stroke Program Early CT Score), en de collateraal score bij patiënten met een herseninfarct. Resultaten van kwalitatieve beoordelingen onderschatten echter te vaak de complexiteit van de ziekte en maken de score afhankelijk van de expert die de beelden beoordeelt. Kwantitatieve analyse maakt het mogelijk de ziekte te meten en maakt ook de meting objectiever en reproduceerbaar. Omdat handmatige uitvoering van deze kwantitatieve metingen veel tijd vergt, bestaat er

hier een belangrijke rol voor AI.

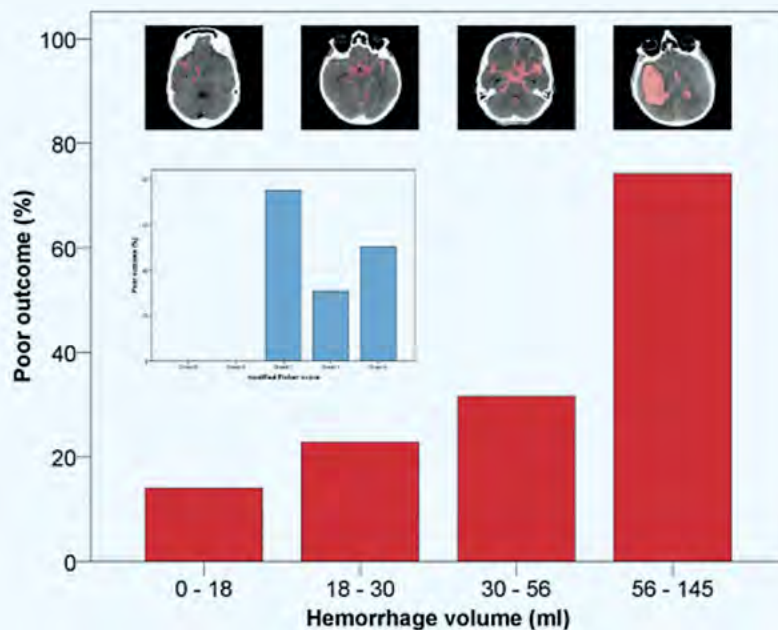
## 3) *Computerondersteunde diagnose.*

Doordat interpretatie van beelden automatisch en versneld gedaan kan worden door AI-algoritmen, kan in de nabije toekomst de indicatie voor aanvullende endovasculaire behandeling op een efficiëntere wijze gesteld worden. Bijvoorbeeld kan bij de automatische detectie van een trombus in een proximale intracraniale arterie, met daarbij een lage ASPECTS-score en afwezige vulling van de perifere mediatakken door collateralen (in combinatie met klinische factoren), besloten worden een patiënt met een herseninfarct niet naar een interventiecentrum door te sturen.

In dit artikel bespreken wij de toepassing van AI voor beeldanalyse in klinische trials voor patiënten met een beroerte en het gebruik van AI voor selectie van deze patiënten voor de juiste behandeling en bepalen van de uitkomst in de klinische praktijk.

## Klinische trialsupport – Hersenbloeding

Bij patiënten met een subarachnoidale of intracerebrale bloeding is de hoeveelheid bloed een belangrijke parameter voor de predictie van functionele uitkomst en van de risico's op complicaties, en daarmee voor het bepalen van de behandeling [2]. Deze hoeveelheid wordt in de praktijk echter niet gemeten maar geschat, en is dus subjectief en variabel per patiënt. Binnen het AMC is een AI-methode ontwikkeld die met behulp van een atlas binnen een minuut het bloed in een CT-beeld kan segmenteren en daarmee het volume bloed kwantificeert [3]. Bij patiënten met een subarachnoidale ►



**Figuur 1.** De relatie met subarachnoïdaal bloedvolume en slechte functionele uitkomst (rode balken). Als inzet is de relatie met de gemodificeerde Fischer-schaal en slechte functionele uitkomst weergegeven (blauwe balken). Bij de laatste schaal is het duidelijk dat graad 0 en 1 nauwelijks voorkomen. Daarnaast is er weinig verschil in uitkomsten bij de andere bij schaal 2, 3 en 4.

bloeding heeft het gemeten volume een veel sterkere relatie met de functionele uitkomst dan de gebruikte radiologische schalen van Fisher en Hijdra [4] (zie *Figuur 1*). Voor de PATCH (Platelet Transfusion in Cerebral Haemorrhage) trial, waarin het effect van plaatjestransfusie bij patiënten met een intracerebrale bloeding onderzocht werd [5], zijn de bloedingen automatisch gekwantificeerd met dit automatische bloeding-detectie-algoritme en kon op een efficiënte wijze

het effect van de plaatjesremmers op het hematoomvolume worden aangetoond.

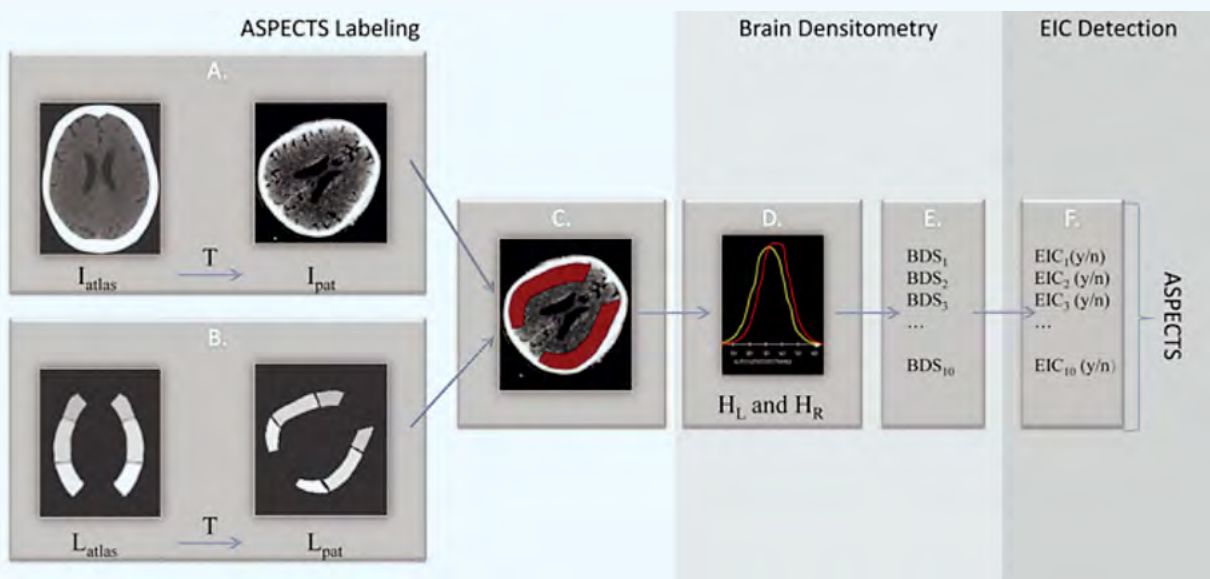
### Klinische trialsupport – Herseninfarct

MR CLEAN [6] – de succesvolle Nederlandse RCT die de meerwaarde van neuro-interventie bij grote ischemische beroertes heeft aangetoond - includeerde 500 patiënten met ten minste 3 CT-scans per patiënt. Bij de vervolgstudies die binnen de zogeheten ‘Collaboration

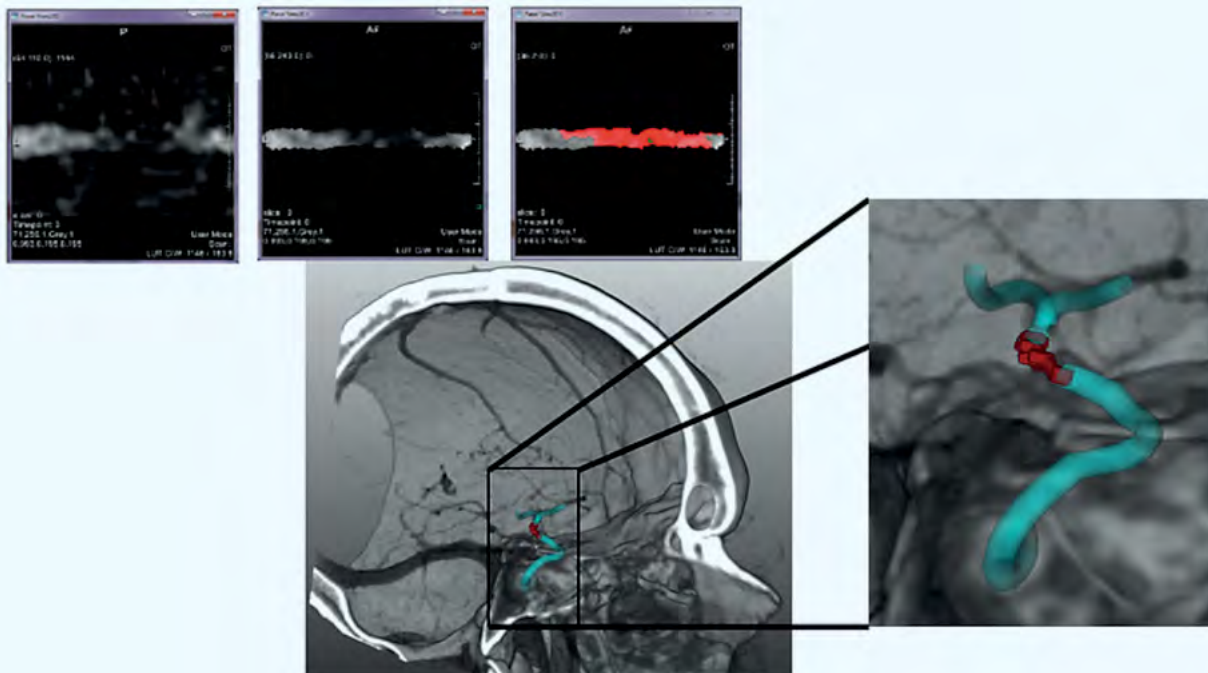
for New Treatments of Acute Stroke’ (CONTRAST) in het najaar zullen starten, zullen ongeveer 2500 patiënten geïnccludeerd worden. Na de afronding van deze trials moeten de verzamelde beelden (snel) geanalyseerd worden. Dit is vanzelfsprekend veel, langdradig en eentonig werk en kan niet door een enkele expert gedaan worden. Echter, wanneer meerdere experts de beoordeling uitvoeren wordt een interobserver-variëteit geïntroduceerd die de statistische power van trials kan reduceren. De toepassing van AI heeft juist in deze setting veel meerwaarde door het mogelijk maken van snelle en robuuste analyses. Voor de acute fase van de beroertepatiënt zijn meerdere AI-oplossingen ontwikkeld die hieronder besproken worden.

### ASPECTS

Met een CT kan men een bloeding uitsluiten en daarnaast vaststellen of er al vroege tekenen zijn van een groot infarct door middel van de ASPECTS-score ([www.aspectsinstroke.com](http://www.aspectsinstroke.com)). Voor de ASPECTS wordt het mediastroomgebied in tien verschillende gebieden verdeeld. Een ASPECTS van 10 betekent dat er geen vroege tekenen zijn van een infarct in het mediastroomgebied. Voor ieder aangedaan gebied wordt er 1 punt afgetrokken. Voor de detectie van vroege ischemische veranderingen is een automatische ASPECTS ontwikkeld [7] (*Figuur 2*). Met deze methode maken we gebruik van een Atlas-beeld waarin de ASPECTS-regio's ingetekend zijn. Door een CT-



**Figuur 2.** Illustratie van toegepaste artificiële intelligentie bij het automatisch bepalen van de ASPECTS-score van patiënten met een herseninfarct. Als eerste stap wordt een zogenaamde ‘Atlas’ met ASPECTS-labels met een patiënten-CT-beeld gematcht. Doordat deze Atlas-gebieden gelinieerd zijn kunnen ze direct op het patiënten-CT-beeld gedefinieerd worden. Door de densiteits-distributie van de contralaterale zijde kunnen vroege ischemische veranderingen in deze gebieden geïdentificeerd worden [7].



**Figuur 3.** Illustratie van de automatische detectie van een trombus in een CTA-beeld van een patiënt met een beroerte. De trombus kenmerkt zich door de afwezigheid van contrast in een CTA-beeld. Door de informatie van het vaatbed aan de niet aangedane zijde te gebruiken, wordt dit gebrek aan contrast herkend en kan een algoritme gebaseerd op artificiële intelligentie de trombus automatisch detecteren.

beeld met dit Atlas-beeld te matchen, worden automatisch de ASPECTS-regio's van de patiënt gedefinieerd. In een vervolgstap wordt de densiteit van de voxels in deze gebieden vergeleken met het gebied aan de contralaterale zijde.

#### **Trombusdetectie, kwantificatie en doorlaatbaarheid**

We hebben een automatische detectie van de trombus in CTA-beelden gerealiseerd (zie *Figuur 3*) [8]. Met deze trombusdetectiemethode hebben we een imaging biomarker ontdekt, de trombusdoorlaatbaarheid, die sterk gerelateerd is aan de effectiviteit van rtPA en met de kans op een goede uitkomst van patiënten. Namelijk, des te meer doorlaatbaar een trombus is, des te groter is het effect van rtPA [9] en des te beter de klinische uitkomst van patiënten na behandeling [10].

#### **Collateralen**

CTA is noodzakelijk om de plaats van de occlusie vast te stellen en om de mate van vulling van de distale mediatakken via collateralen te classificeren. Voor de classificatie van collateralen wordt die van Tan het meest gebruikt: 0 = geen vulling van de distale mediatakken door collateralen; 1 = minder dan 50% vulling; 2 = tussen 50% en 100% vulling; 3 = 100% vulling. Patiënten die in de MR CLEAN geïncludeerd waren en die een slechte collaterale vulling (Tan score 0

en 1) hadden op CTA, hadden een slechtere uitkomst [11]. Ook kon voor deze patiënten geen voordelig effect van endovasculaire therapie (EVT) aangetoond worden. De classificatie van Tan is echter een vrij grove indeling, en vooral het onderscheid tussen graad 1 en 2 kan moeilijk zijn. In een gezamenlijk project met de UTwente is er een automatische en kwantitatieve maat ontwikkeld voor de collaterale bloedvoorziening. Deze score komt zeer sterk overeen met de manuele score [12]. Deze kwantitatieve score is nog sterker met uitkomst geassocieerd dan de score van Tan en heeft dus potentieel veel waarde in de kliniek.

#### **Final Infarct Volume**

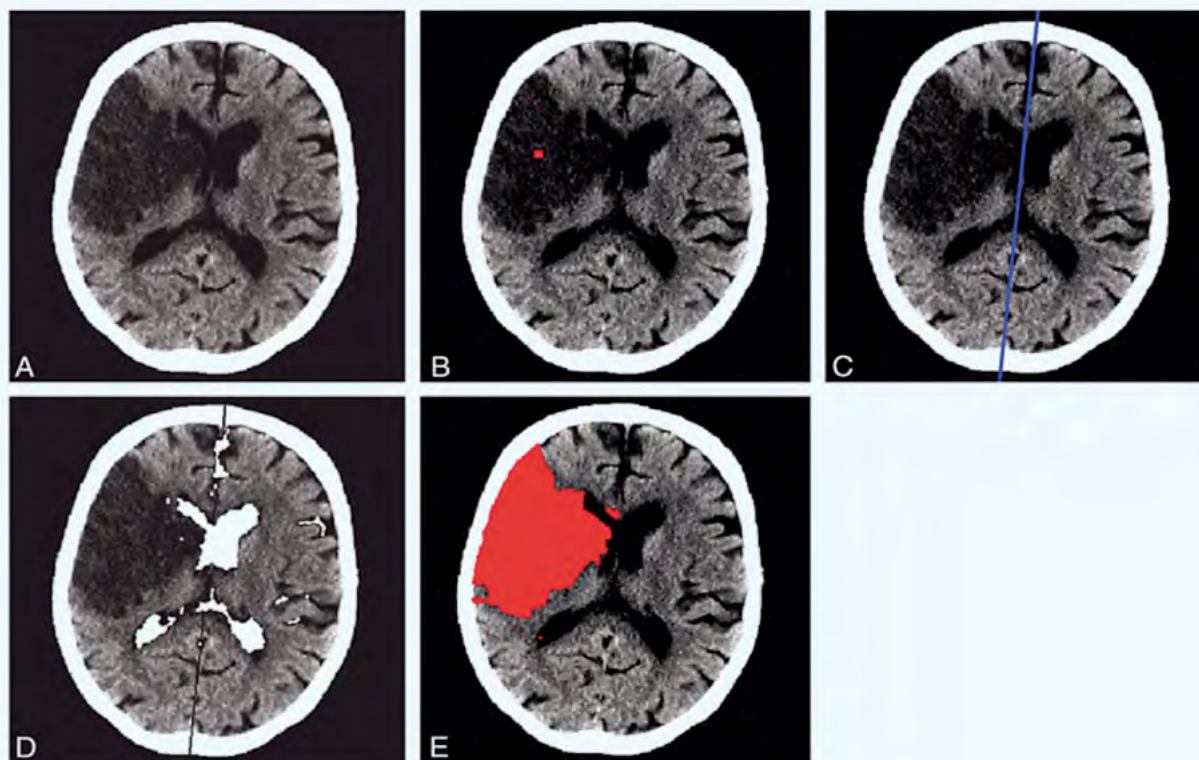
Het final infarct volume (FIV), zoals zichtbaar op de CT-scan enkele dagen na de behandeling, is een belangrijke secundaire uitkomstmaat in trials en heeft daarnaast ook grote prognostische waarde. Het manueel intekenen van een infarct voor het bepalen van het infarctvolume kan wel tot twintig minuten per patiënt in beslag nemen, afhankelijk van de complexiteit en plakdikte van het beeld. Aangezien de segmentatie van het infarctvolume in CT bewerkelijk is, is een AI-oplossing die met grote nauwkeurigheid en snelheid het infarct segmenteert en het volume bepaalt een ideale oplossing [13] (zie *Figuur 4*). Deze methode is gebruikt voor de analyse van

de follow-up scans van MR CLEAN (500 patiënten) en HERMES [14] (gepoolde analyse van zeven trials, ruim 1600 patiënten). In de MR CLEAN-trial is met deze methode op efficiënte wijze aangetoond dat het infarct veel kleiner was bij patiënten die een endovasculaire behandeling hadden ondergaan, vergeleken met controles (mediaan van 49 versus 79 ml) [6]. In HERMES is met deze methode vastgesteld dat het infarctvolume sterk gerelateerd is aan de uitkomst na drie maanden.

#### **Klinische toepassing: computerondersteunde diagnose – Herseninfarct**

In 2015 heeft de Nederlandse MR CLEAN-trial aangetoond dat EVT het herstel aanzienlijk verbetert bij patiënten met een herseninfarct wanneer dit is ontstaan door een proximale occlusie van de anterieure intracraniale circulatie [15]. Dit werd kort daarna bevestigd door zes andere trials, en EVT is nu de standaardbehandeling geworden bij deze patiënten.

Om te bepalen of een patiënt voor EVT in aanmerking komt moet 24/7 een CT en CTA vervaardigd en snel en nauwkeurig beoordeeld worden. Patiënten met een lage ASPECTS-score en slechte collateralen hebben over het algemeen een slechte prognose, ook na een geslaagde EVT. Dit kan meegenomen worden in ►



**Figuur 4.** Illustratie van de automatische FIV-segmentatie. Deze figuur laat een infarct in de rechter hemisfeer zien in een zesdaagse follow-up CT. A: het CT-beeld; B: plaatsing van een bronchopunt; C: bepaling van de mediaanlijn; D: segmentatie van de ventrikels; E: de uiteindelijke segmentatie van het geïnfarceerde gebied [13].

het besluit om de patiënt wel of niet endovasculair te behandelen ([www.mrpredicts.com](http://www.mrpredicts.com)) [16].

Geautomatiseerde bepaling van ASPECTS, trombusdetectie en kwantificatie en collateraal score door middel van AI kunnen bijdragen aan snelle en nauwkeurige analyse van de radiologische beelden in de acute situatie en zodoende de beslissing om wel of niet endovasculair te behandelen op een efficiënte wijze ondersteunen. Onlangs is er met de DAWN-trial (<https://clinicaltrials.gov/show/NCT02142283>) aangetoond dat bij patiënten met een beroerte en een kleine infarctkern, zoals bepaald met CT-perfusiebeeldanalyse, de EVT ook effectief is indien wordt gestart met de behandeling tussen 6-24 uur nadat de patiënt voor het laatst goed gezien is. Het lijkt erop dat naar aanleiding van deze RCT AI-analyses ook snel in de klinische praktijk geïntroduceerd gaan worden. Echter, er moet wel rekening gehouden worden met het feit dat er nog veel variatie in de resultaten van deze AI CTP-algoritmen bestaat. De conclusies gelden dan ook alleen voor het in die trial gebruikte algoritme [17].

### Deep Learning / convolutionele neurale netwerken

Ook binnen het onderzoeksveld naar

beeldanalyse van patiënten met een beroerte heeft de deep learning-revolutie plaatsgevonden. De hierboven beschreven methodes zijn zogenaamde aanleiding gevende AI, waarbij programmeurs en onderzoekers regels voor de computer opleggen zodat de computer vervolgens in de beelden patronen herkent. Deep learning is gebaseerd op een andere categorie van AI: deductief. Hierbij vindt de computer zelf patronen in beelden die typisch zijn voor bepaalde anatomische structuren of ziektes. Door het beschikbaar stellen van convolutionele neurale netwerken door Google en Microsoft zijn er veel onderzoeken gestart die deze toepassen op radiologische beelden. Het grote voordeel is dat je met deze methode relatief weinig 'slimmigheden' (complexe algoritmen) hoeft te implementeren. Het grote nadeel daarentegen is dat er veel beelddata nodig is en dat er een in deze beelden ingetekende 'ground truth' nodig is. Door de analyses van beelden van de verschillende klinische trials hebben we momenteel veel data voorradig om de deep learning-methoden te trainen. Doordat deze beelden gecontroleerd zijn door radiologen, hebben we deze annotaties kunnen gebruiken voor de ontwikkeling van meerdere segmentatiemethoden zoals kwantificatie van oedeem, infarct en bloedingen. We heb-

ben dan ook dankzij deze ontwikkelingen sterke verbeteringen kunnen realiseren in de AI-functionaliteit.

### Conclusie

De toepassing van AI bij beroerte heeft de afgelopen jaren een snelle ontwikkeling doorgemaakt en wordt nu op grote schaal toegepast voor analyses van grote datasets van klinische trials. We verwachten dat deze methoden ook snel hun intrede zullen doen in de kliniek bij de ondersteuning van de radiologische diagnostiek van patiënten met een beroerte. Automatisch gegenereerde analyses dienen echter altijd gecontroleerd te worden door een radioloog. AI zal daarom niet de werkzaamheden van de radioloog vervangen maar wel de efficiëntie en nauwkeurigheid verhogen en wellicht veraangamen door het eentonige meetwerk over te nemen.

### Dr. H. Marquering

Afd. Biomedical Engineering & Physics/  
Radiologie en Nucleaire geneeskunde,  
AMC Amsterdam

### Prof.dr. Ch. Majoie

Afd. Radiologie en Nucleaire  
geneeskunde, AMC Amsterdam



## Literatuur

1. Fransen PS, Berkhemer OA, Lingsma HF, et al. Time to reperfusion and treatment effect for acute ischemic stroke. *JAMA Neurol* 2016;73:190-6.
2. Brouwers PJ, Dippel DW, Vermeulen M, et al. Amount of blood on computed tomography as an independent predictor after aneurysm rupture. *Stroke* 1993;24:809-14.
3. Boers AM, Zijlstra IA, Gathier CS, et al. Automatic quantification of subarachnoid hemorrhage on noncontrast CT. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35:2279-86.
4. Zijlstra IA, Gathier CS, Boers AM, et al. *AJNR Am J Neuroradiol* 2016;37:1588-93.
5. Baharoglu MI, Cordonnier C, Salman RA-S, et al. Platelet transfusion versus standard care after acute stroke due to spontaneous cerebral haemorrhage associated with antiplatelet therapy (PATCH): a randomised, open-label, phase 3 trial. *Lancet* 2016;387:2605-13.
6. Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2015;372:11-20.
7. Stoel BC, Marquering HA, Staring M, et al. Automated brain CT densitometry of early ischemic changes in acute stroke. *J Med Imaging (Bellingham)* 2015;2(1):014004.
8. Santos EM, Marquering HA, Berkhemer OA, et al. Development and validation of intracranial thrombus segmentation on CT angiography in patients with acute ischemic stroke. *PLoS One*. 2014;9(7):e101985. doi:10.1371/journal.pone.0101985.
9. Santos EM, Dankbaar JW, Treurniet KM, et al. Permeable thrombi are associated with higher intravenous recombinant tissue-type plasminogen activator treatment success in patients with acute ischemic stroke. *Stroke* 2016;47:2058-65.
10. Santos EM, Marquering HA, den Blanken MD, et al. Thrombus permeability is associated with improved functional outcome and recanalization in patients with ischemic stroke. *Stroke* 2016;47:732-41.
11. Berkhemer OA, Jansen IG, Beumer D, et al. Collateral status on baseline computed tomographic angiography and intra-arterial treatment effect in patients with proximal anterior circulation stroke. *Stroke* 2016;47:768-76.
12. Boers AM, Sales Barros R, Jansen IG, et al. Quantitative collateral grading on CT angiography in patients with acute ischemic stroke. In: MICCAI 2017.
13. Boers AM, Marquering HA, Jochem JJ, et al. Automated cerebral infarct volume measurement in follow-up noncontrast CT scans of patients with acute ischemic stroke. *AJNR Am J Neuroradiol* 2013;34:1522-7.
14. Goyal M, Menon BK, Van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: A meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet* 2016;387:1723-31.
15. Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2015;372:11-20.
16. Venema E, Mulder MJ, Roozenbeek B, et al. Selection of patients for intra-arterial treatment for acute ischaemic stroke: development and validation of a clinical decision tool in two randomised trials. *BMJ* 2017;357:1710.
17. Fahmi F, Marquering HA, Streekstra GJ, et al. Differences in CT perfusion summary maps for patients with acute ischemic stroke generated by 2 software packages. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:2074-80.



MARTIJN NOBEL



SIMON ROB BEN

## Structured Reporting en Big Data in de Radiologie en Nucleaire Geneeskunde

### 'Huidig onderzoek om goed voorbereid te zijn op de toekomst'

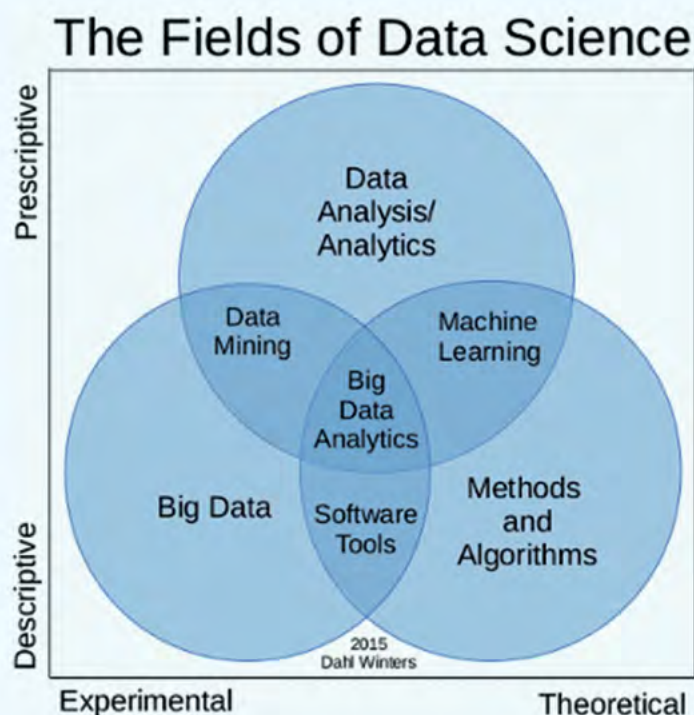
Sinds 2015 wordt op de afdeling Radiologie en Nucleaire Geneeskunde van het MUMC+ onderzoek gedaan naar structured reporting en big data. Dit onderzoek is belangrijk omdat de scoop van beeldvormende afdelingen in de toekomst waarschijnlijk verlengd gaat worden van een enkel ondersteunende afdeling naar een afdeling die ook gaat fungeren als medische datamanager. Hierbij is onderzoek naar adequate aanmaak en opslag van data onontbeerlijk.

Kort gezegd draait structured reporting om 'de manier waarop informatie in het uiteindelijke verslag terechtkomt'. In de literatuur worden verschillende mogelijkheden genoemd, zoals point-and-clicksystemen, drop-down menu's

en gap-filling met vele mogelijke voor- delen. Echter, in dezelfde literatuur kan eigenlijk geen echte evidence gevonden worden voor het gebruik van systemen die helpen met het invoeren van verslag- gegevens in het uiteindelijke verslag.

Wellicht denkt u dat bovenstaande niet waar is en dat structured reporting wel degelijk van toegevoegde waarde kan zijn, als u bijv. denkt aan de verschillende RADS-classificatiesystemen. Deze verwarring is herkenbaar, en e.e.a. is te verhelderen door te stellen dat het belangrijk is om onderscheid te maken tussen structured reporting en standaardisatie.

In dit stuk en tijdens ons onderzoek maken we hier een strikte scheiding in. Standaardisatie gaat om (het stroomlijnen van) de inhoud van het verslag. ►



**Figuur 1.** Schema Dahl Winters.

Structured reporting gaat daarentegen om de manier waarop de informatie – de inhoud van het verslag – in het uiteindelijke verslag kan worden geplaatst. Een RADS-classificatiesysteem is derhalve een manier om te standaardiseren, het gebruikte IT-systeem (bijv. point-and-click) is dan het structured reporting-onderdeel. Structured reporting gaat dus enkel om de manier van het verwerken en opslaan van de (gestandaardiseerde) informatie uit het gemaakte verslag.

Het positieve karakter van standaardisatie bestaat uit het feit dat verslagen vollediger en beter worden, waarbij het positieve karakter van structured reporting meer ligt op verbeteringen omtrent het maken van het verslag en het opslaan van de informatie uit het verslag.

### Lopend onderzoek MUMC+

Gezien het ontbreken van evidence voor het breed implementeren van structured reporting-systemen, zoals bijv. point-and-click en drop-down menu's, zijn wij binnen onze onderzoekslijn op zoek naar een manier om de verslaglegging zo gestructureerd mogelijk te kunnen laten verlopen zonder dat hier de manier van verslaan voor dient te veranderen.

In dit kader wordt Natural Language Processing (NLP) als hulpmiddel ingezet. Door middel van deze vorm van artificial intelligence is het mogelijk om woorden c.q. delen tekst te herkennen

die ingesproken worden op het moment van verslaan. Deze informatie kan, als het herkend wordt door de NLP, automatisch op een gewenste plek geplaatst worden in het verslag zonder dat de verslaglegger hier zelf actief iets voor hoeft te doen. Als simpel voorbeeld kan worden genoemd dat alles wat aan thorax is gerelateerd automatisch in een bepaalde alinea wordt geplaatst, en alles wat aan het abdomen is gerelateerd in een andere alinea. Op deze manier wordt dan automatisch een gestructureerd verslag gecreëerd. Tevens is het mogelijk dit ook op orgaanniveau in te stellen en zo op orgaanniveau specifieke informatie te herkennen. Op den duur kan het systeem waarschijnlijk zo effectief worden dat het gaat herkennen dat bepaalde woorden (lees organen of specifieke onderdelen omtrent tumoruitbreiding) nog ontbreken en het systeem kan gaan helpen met ontbrekende gegevens te benoemen aan de verslaglegger. Op deze manier kunnen bijv. ook checklists worden gemaakt die moeten worden gevuld ten tijde van de verslaglegging zonder dat er effectief moet worden 'gevinkt'.

Bijkomend en erg belangrijk voordeel van deze manier van structured reporting is dat de informatie in het verslag op een gestructureerde manier wordt opgeslagen. Dat wil zeggen, opgeslagen op een goed herleidbare manier, gezien

het feit dat de inhoud van het verslag herkend wordt en op een specifieke en bekende plaats wordt opgeslagen binnen het opslagsysteem.

Gezien het volume van verslagen die een gemiddelde afdeling radiologie per jaar verwerkt is de stap van structured reporting naar big data vervolgens niet zo groot. Immers, (gestandaardiseerde en) gestructureerd opgeslagen informatie is makkelijk doorzoekbaar en klaar voor allerlei wetenschappelijke, onderwijskundige en opleidingsgerichte doeleinden. Om dit inzichtelijker te maken en ons onderzoek samen te vatten wordt bijgevoegd schema van Dahl Winters [1] (kort) nader uitgelegd (Figuur 1).

Om onze toekomstige taak als medisch datamanager goed uit te kunnen voeren is het belangrijk dat we uiteindelijk iets kunnen doen met onze data. In het schema wordt dit beschreven met 'Big Data Analytics'. 'Big data' is onze stapel met verslagen en met 'software tools' wordt binnen ons onderzoek structured reporting bedoeld. Om bij 'Big Data Analytics' te komen moeten we gebruik maken van 'Data Analyse' en 'Algoritmen', zoals bijv. via 'Machine Learning'. In ons onderzoek gaat 'Machine Learning' via Natural Language Processing.

Door onze manier van verslagleggen te verbeteren kunnen we een slag slaan die uiteindelijk kan leiden tot een goed en stabiel functionerend systeem waarin we optimaal gebruik kunnen maken van big data analytics.

### Drs. M. Nobel

aios Radiologie, Maastricht UMC+  
PhD kandidaat structured reporting  
en medisch onderwijs,  
Universiteit Maastricht

### Prof.dr. S. Robben

radioloog, Maastricht UMC+  
Onderwijscoördinator Radiologie

### Literatuur

1. Winters D. What is the difference between Data Analytics, Data Analysis, Data Mining, Data Science, Machine Learning, and Big Data? [Internet]. Quora. 2017 [cited 3 August 2017]. Available from: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-Data-Analytics-Data-Analysis-Data-Mining-Data-Science-Machine-Learning-and-Big-Data-1#n=42>



ERIK RANSCHAERT



FRITS BARNEVELD BINKHUYSEN



PAUL ALGRA

## Historie en evolutie van organisaties actief in Imaging Informatics

**EuroPACS was in de loop van de jaren tachtig een bekende en vertrouwde naam. PACS (Picture, Archiving and Communication Systems) was een geheel nieuw begrip in de medisch wereld en zou, zoals later zou blijken, het echte startschot vormen voor de digitalisering van de radiologie. Slechts weinigen konden toen bevroeden welke enorme veranderingen de radiologie in positieve zin de daaropvolgende jaren te wachten stonden.**

Doelstelling van EuroPACS was uitwisseling van informatie over PACS en het gebruik van digitale systemen in de radiologie, voornamelijk op het gebied van acquisitie, post-processing (2D en 3D), weergave en uitwisseling van radiologische beelden.

Het idee om een Europese organisatie op te richten om zich bezig te gaan houden met PACS is in september 1984 ontstaan bij Jan Peter de Valk (destijds een leidinggevend IT-professional bij IBM), tijdens een bijeenkomst in het NATO Advanced Study Institute in Braunlage, gelegen aan de toenmalige DDR-grens, met als onderwerp: 'Pictorial Information in Medicine'. Ondersteund en aangemoedigd door Ab Bakker, hoogleraar bij BAZIS te Leiden, is hij vervolgens in heel Europa andere 'leden' gaan werven. De vereniging EuroPACS werd pas vijf jaar later officieel statutair opgericht in Leiden. De groep oprichters bestond uit een amalgaam van experts, voornamelijk IT-professionals en gaandeweg ook steeds meer radiologen, mede onder impuls van wijlen prof. Michel Osteaux uit Brussel, die in 1990 voorzitter werd. Wat hen samenbracht was een passie voor en/of expertise in de medische beeldvorming, beeldtransmissie, beeldverwerking (post-processing) of geautomatiseerde beeldanalyse (CAD of Computer Aided Diagnosis). Leden van EuroPACS verte-

genwoordigden Europese universiteiten, ziekenhuizen en bedrijven die onderzoek verrichtten of producten ontwikkelden op het gebied van PACS. Minstens eenmaal per jaar werd een zogenaamde EuroPACS-meeting georganiseerd. Daarnaast werden ook nieuwsbrieven gepubliceerd en educatieve sessies tijdens grotere radiologiebijeenkomsten, zoals de ECR (European Congress of Radiology), georganiseerd. Vanaf 2009 werden ook internationale 'Academy Courses' georganiseerd, doorgaans over nieuwe ontwikkelingen in image processing en klinische toepassingen van CAD. De EuroPACS-bijeenkomsten boden een unieke mogelijkheid om andere early adopters op PACS-gebied te ontmoeten en van elkaars technische innovaties, ervaringen en ontwikkelingen te leren.



Ook in andere landen werden in de jaren negentig, dus in de beginjaren van PACS, soortgelijke verenigingen opgericht, zoals in de VS de Society for Computer Applications in Radiology (SCAR) – sinds

2006 de Society for Imaging Informatics in Medicine (SIIM) – de Japanse PACS Society (JPACS) en de Computer Assisted Radiology and Surgery society (CARS) van Heinz Lemke in Duitsland.

Gedurende de eerste jaren van EuroPACS waren er nog geen commerciële PACS-systemen, en industriële oplossingen op dit gebied stonden nog in de kinderschoenen. Het zou nog vele jaren duren vooraleer de radiologische gemeenschap ervan overtuigd raakte dat digitalisering de toekomst van de radiologie zou bepalen, met vele nieuwe mogelijkheden. Teleradiologie en post-processing zijn slechts voorbeelden van digitale toepassingen waarvan men eind vorige eeuw vaak slechts kon dromen. Door de jaren heen groeide EuroPACS uit tot een degelijke club professionals met een passie voor nieuwe ontwikkelingen in digitale beeldvorming en digitale communicatie binnen de radiologie. De vereniging besteedde veel aandacht aan educatie en uitwisseling van onderzoeksresultaten en kennis, zelfs tot in Iran en Japan. Via de sleutelfiguur van Heinz Lemke bouwde de society ook samenwerking uit met de CARS, waarmee ze op regelmatige basis joint meetings organiseerde. De CARS focuste zich echter meer op de chirurgische en interventionele toepassingen van digitale beelden.

Naast de EuroPACS-events waren er in de jaren negentig ook nog bijeenkomsten, congressen en symposia van de ISPRAD (International Symposium on the Planning of Radiological Departments), de IMAC (Image Management and Communication), en de ISCAMI (Integrated System for the Management of Medical Images), waar allerlei aspecten van de transitie van analoge naar ►

# EuroPACS

*Linking research to clinical practice*

Founded in 1982 EuroPACS has established itself as a scientific reference circle of reputable experts in the field of imaging informatics and PACS. It has gained its credentials in promoting research, user experience, implementation, assessment of benefits of development and use of digital systems for the acquisition, storage, display, communication, and processing of medical pictures and related information as well as their integration in eHealth initiatives



**EuroPACS Academy hands-on workshops 2012**  
**3rd EuroPACS Academy Course WORKSHOP: CLINICAL APPLICATIONS OF COMPUTER AIDED DIAGNOSIS - July, 2-3, 2012 - PISA, IT**

**4th EuroPACS Academy Course WORKSHOP: CLINICAL APPLICATIONS OF COMPUTER AIDED DIAGNOSIS - October, 5-6, 2012 - PRAGUE, CZ**

Registration: [www.europacs.org](http://www.europacs.org)



*EuroPACS  
people*



Bovenste rij: Emanuele Neri, Osman Ratib, Erwin Bellon, Josep Fernandez Bayo, Arnold Stipsits, Lawrence Sutton, Bernard Gibaud, Peter Soegner, Eva Pietka, Hiroshi Kondoh.  
 Onderste rij: Davide Caramella, Frits Barneveld Binkhuysen, Mansoor Fatehi, Bernie Huang, Javier Herrero Hover, Jarmo Reponen, Heinz Lemke, Roald Bergstrom, Wojciech Glinkowski.  
 De foto's van de locatie rechts en de folder links zijn van de 3<sup>rd</sup> EuroPACS Academy in Teheran. De poster werd ontworpen door Emanuele.

digitale radiologie – van technisch tot sociaal – aan de orde kwamen.

In de periode voorafgaand aan de digitalisatie was de radiologische gemeenschap erin geslaagd de radiologie tot een uiterst efficiënte discipline te transformeren, gebaseerd op vijf basiselementen: aanvraag, acquisitie, interpretatie, verslaglegging en archivering. Tijdens het transitieproces naar digitalisering vond niet alleen een geleidelijke digitalisatie plaats van al deze onderdelen, maar werd ook duidelijk dat het digitaliseringsproces vele nieuwe mogelijkheden met zich meebracht, die de radiologen en het gehele vakgebied een volledig nieuwe toekomst boden (denk aan 3D, post-processing, teleradiologie, etc.). De radiologie zou in het volgend decennium een complete make-over doormaken. Zowel de radiologen als de medische wereld reageerden zeer positief op alle nieuwe mogelijkheden die de digitalisering bood.

Een andere organisatie die zich in Europa in die periode (1999) ontpopte was

de MIR-society (Management In Radiology, daarvoor EWGMR genaamd). De MIR werd voornamelijk opgericht met als doel de radiologen actiever te betrekken in het managen van radiologische afdelingen, en wilde daar dus ook de nodige opleiding voor voorzien. Het was immers zo dat – daar waar voorheen nauwelijks over management in de radiologie werd gesproken – zich nu dankzij de digitalisering allerlei nieuwe middelen aanboden om ook in die context gebruik te maken van digitale informatie en tools.

De MIR was dus in feite een spin-off van de aan de gang zijnde digitalisatie van de eerdergenoemde vijf basiselementen van de radiologie. De educatieve activiteiten van de MIR bestonden uit een jaarlijks congres en een winter-workshop (in Davos), waarbij een mix van onderwerpen aan bod kwam, van zuivere management-topics tot het beheren c.q. gebruiken van digitale informatie en tools voor managementdoeleinden. Het feit dat EuroPACS en MIR op regelmatige basis joint meetings organiseerden

## ISPRAD

ISPRAD staat voor International Society on the Planning of Radiological Departments, waarvan dr. A. Smeets sr. een der medeoprichters was. ISPRAD III (1980) werd gehouden in Amsterdam en werd voorgezeten door Wm Penn, C.B.A.J. Puylaert en A.M. Smeets.

Uit het interview dat Gerd Rosenbusch en Kees Vellenga hadden met Carl Puylaert (Memorad 2008:3):  
*Puylaert: "De ISPRAD hield zich bezig met de bouw en planning van röntgenafdelingen. De eerste vergadering was in Finland, de tweede jaarlijkse vergadering was in Amerika, de derde bij ons in Nederland. Het belangrijkste van de ISPRAD was, dat de noodzaak tot groei van röntgenafdelingen duidelijk gemaakt werd. Naderhand werd ImPACT opgericht. Dat ging geheel over groei van de radiologie. Ieder jaar was er een rapportage 'Revisited', in San Francisco, waarbij de groei in diverse landen werd meegedeeld".*



Programmaboekje symposium ISPRAD III Amsterdam, tegelijkertijd gehouden met Computers in Diagnostic Radiology. Van de laatste waren WM Penn en A. Hasman de voorzitters.

illustreert ook de grote impact die de digitalisering op het management had, niet alleen bij de radiologen maar ook bij andere specialismen. In het kader van de plots beschikbare mogelijkheden om via netwerken digitale radiologische beelden te gaan uitwisselen en op afstand te beoordelen, groeide vooral het onderwerp teleradiologie in korte tijd uit tot een jaarlijks weerkerende en uitvoerig besproken topic op deze joint meetings. Ongetwijfeld leverde de MIR samen met EuroPACS een waardevolle bijdrage aan het meer geolied doen draaien van de digitale radiologieafdelingen, als onderdeel van het grotere raderwerk van de gezondheidszorg.

Niet onbelangrijk om te vermelden is het ontstaan van een organisatie zoals de IHE (Integrating the Health Enterprise) – <http://www.ihe.net/>. In 1998 beseften zowel de RSNA als de HIMSS (Healthcare Information and Management Systems Society, destijds nog HMSS) dat ze door onderlinge samenwerking een grotere interoperabiliteit tussen digitale systemen die gebruikt worden voor imaging zouden kunnen bewerkstelligen. Ze wilden enerzijds de producenten aanmoedigen om de onderlinge koppeling van hun apparaten en software te vergemakkelijken, en anderzijds bij de gebruikers en kopers de awareness van het belang van de mogelijkheid tot informatie-uitwisseling tussen diverse digitale apparaten vergroten. Hiervoor werd een werkgroep opgericht met vertegenwoordigers uit alle betrokken partijen, zijnde de industrie, de IT-experten, de standaard-experten en de zorgprofessionals, zoals de radiologen. In praktijk zorgt de

IHE ervoor dat internationaal erkende standaarden zoals DICOM en HL7 internationaal toegepast worden binnen de zorgsector. Door het hanteren van deze IHE-profielen kunnen systemen beter onderling communiceren en zijn ze dus ook gemakkelijker te implementeren. Dit laat ook toe dat diverse zorgverleners deze informatie efficiënter kunnen gebruiken en uitwisselen.

Binnen grotere organisaties zoals de ESR groeide ook stilaan het besef van het belang van de toenemende digitalisering in de radiologie, wat leidde tot het oprichten van een eHealth en Informatics Subcommittee, met als tegenhanger het Radiology Informatics Committee (RIC) bij de RSNA. Dit proces heeft niet alleen geleid tot het publiceren van guidelines en white papers inzake digitale processen in de radiologie (o.a. teleradiologie), maar ook tot het tot stand brengen van regelmatig en gestructureerd overleg alsook een meer verregaande samenwerking tussen deze organisaties in diverse aan digitalisering gekoppelde onderwerpen, zoals standaardisering en structured reporting. De ESR eHealth and Informatics subcommittee maakt intussen deel uit van het Quality, Safety and Standards Committee (<https://www.myesr.org/statutory-committees/quality-safety-and-standards-committee>). Bij de NVvR is de sectie Techniek momenteel nog in oprichting. Deze nieuwe sectie houdt zich bezig met het bevorderen en absorberen van nieuwe ontwikkelingen op het gebied van apparatuur, ICT en stralenscherming – <https://www.radiologen.nl/secties/sectie-techniek-io>

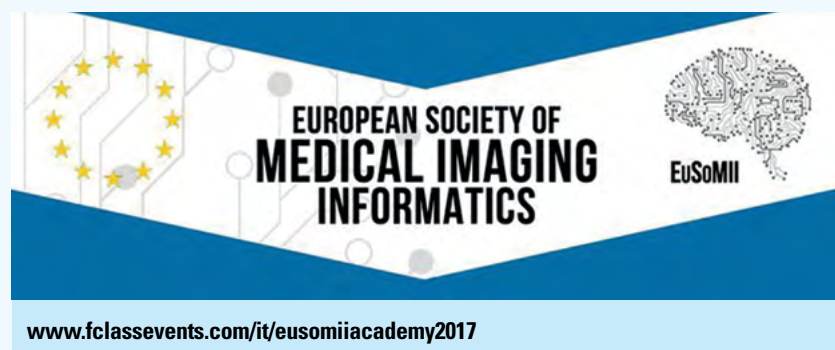
Daar waar in het eerste decennium na 2000 nagenoeg heel Europa van analoge naar digitale radiologiebeelden overschakelde, werd bij aanvang van het tweede decennium langzamerhand duidelijk dat het woord PACS niet meer de lading dekte van de digitale wereld waarin de radiologie getransformeerd werd.

De ontwikkeling van de Cloud-technologie en daaraan gerelateerde nieuwe mogelijkheden droeg ongetwijfeld bij tot dit inzicht. In 2013 meende het overgrote deel van de leden van EuroPACS dan ook de vereniging klaar was voor een koerswijziging, waarbij de nieuwe naam in ieder geval de term 'imaging informatics' zou moeten bevatten. In 2013 besliste EuroPACS een naamsverandering door te voeren naar 'EuSoMI' (European Society of Medical Imaging Informatics), dit naar analogie met wat de Amerikaanse tegenhanger SCAR reeds in 2006 had gedaan door naar de naam SIIM om te schakelen.

Na talrijke vergaderingen werd beslist een nieuwe visie en missie voor de nieuwe EuSoMIII-society vast te leggen, namelijk: 'de visie van de organisatie bestaat erin de integratie van informatie- en communicatietechnologie in diagnostische en therapeutische medische beeldvorming te bewerkstelligen. De missie is het bevorderen van de overgang van onderzoek naar klinisch bruikbare en educatieve toepassingen betreffende de volgende onderwerpen:

- Intelligente infrastructures en processen voor het managen van beelden en kennis in verband met medische diagnostiek en therapie
- Klinische computertoepassingen van medische beelden
- Naadloze informatiedeling voor versterking van medische zorg en wetenschappelijk onderzoek
- Internationale standaarden, en methoden en middelen voor kwaliteitsverbetering.'

In 2014 werd de EuSoMIII dan ook officieel verwelkomd als geaffilieerd lid van de European Society of Radiology (ESR). Deze stap werd beschouwd als een belangrijke erkenning voor de talrijke inspanningen die zij sinds eind jaren tachtig in Europa geleverd had op het vlak van 'radiology informatics'. ►





Board EuSoMII tijdens ECT 2016. V.l.n.r.: A. Alberich-Bayarri, A. Trianni, P. van Ooijen, S. Morozov, M. Fatehi, N. Pyatigorskaya, F. Coppola, E. Kotter, E. Ranschaert.

In de prille jaren van EuSoMII werd samenwerking gezocht met de nieuw opgerichte European Society for Oncologic Imaging (ESOI), vooral gebaseerd op de gemeenschappelijke interesse die beide societieën hebben in imaging biomarkers en nieuwe digitale processen voor oncologische toepassingen, zoals geautomatiseerde analyse van radiologische beelden, ook bekend als radiomics.

Het aanbod en de mogelijkheden van de voor radiologie bruikbare digitale processen worden steeds ruimer, niet alleen op het vlak van beeldanalyse (deep learning), data-archivering (enterprise-PACS en cloud-based archiving) en beeldtransmissie (cloud-based technologie), maar ook op het vlak van workflow management, kwaliteitsbeheer en meting van uitkomsten. Zowel de hoeveelheid digitale informatie die voor onderzoeksdoeleinden beschikbaar wordt (big data), als de snelheid waarmee deze data geanalyseerd kunnen worden groeit exponentieel, wat binnen de medische sector talrijke nieuwe mogelijkheden en inzichten oplevert. Tegelijk wordt de medische sector ook geconfronteerd met meerdere nieuwe communicatiemiddelen, zoals social media, digitale netwerken, etc., waardoor de uitwisseling van patiënt-gerelateerde informatie en medische beelden vergemakkelijkt wordt. Met andere woorden: de geneeskunde, en vooral de radiologie, wordt geconfronteerd met een ware revolutie, die hoofdzakelijk gebaseerd is op de exponentieel groeiende digitalisering van

de samenleving en de talrijke nieuwe mogelijkheden die daaruit voortvloeien. Het gaat zelfs zover dat openlijk de vraag wordt gesteld of de radioloog in zijn rol niet bedreigd wordt door robotica.

Vanuit deze context is de EuSoMII een vereniging die ernaar streeft zoveel mogelijk professionele stakeholders samen te brengen die actief zijn op het vlak van imaging informatics, niet alleen uit de radiologische of medische sector, maar ook uit de sector van de medische informatica (klinisch fysici, IT-professionals en ingenieurs) en uit de industrie. Zij wil de uitwisseling van informatie tussen al deze sectoren stimuleren en ervoor zorgen dat de wetenschappelijke en industriële ontwikkelingen vanuit de klinische praktijk mee gestuurd worden. Ook het tot stand komen en toepassen van internationaal erkende standaarden is hierbij van groot belang. De EuSoMII is derhalve ook een meer verregaande samenwerking aan het uitbouwen met organisaties zoals de Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS Europe) en de Europese tak van IHE. Ook met haar Amerikaanse tegenhanger, de SIIM, wordt een nauwere samenwerking nagestreefd. De eerste aanzet hiertoe is de Academy die op 12 november a.s. in het Erasmus MC georganiseerd wordt, met als titel 'Game changers in radiology: a transatlantic overview. *The impact of informatics and A.I. on medical imaging*'. Hierbij zal de SIIM enkele topsprekers afvaardigen, zoals Eliot Siegel en Raym Geis. In het komende jaar (2018) zal voor

de eerste keer een joint annual meeting georganiseerd worden.

De EuSoMII ziet een grote en belangrijke opdracht voor zich weggelegd, namelijk het bewust engageren van radiologen in de nieuwe digitale ontwikkelingen, waardoor zij deze actief mee kunnen sturen en in de klinische praktijk leren gebruiken. Dit niet alleen met als doel de kwaliteit van services én van de zorg te verbeteren, maar ook om te vermijden dat het vak van de radioloog naar een lager echelon verdrongen wordt of dat andere specialismen het vak overnemen. Wij heten u alvast welkom bij onze jonge en dynamische society!

[www.eusomii.org](http://www.eusomii.org)

Een interessant overzicht van de ontwikkelingen op IT-gebied in de radiologie tijdens de laatste decennia kunt u terugvinden in dit artikel:

*The impact of information technology on radiology services: an overview.*

Ranschaert ER.

*J Belg Soc Radiol 2016;100:93.*

<http://doi.org/10.5334/jbr-btr.1184>

**Dr. E.R. Ranschaert**

vice-president EuSoMII

H. Hartziekenhuis, Mol, België

**Dr. F.H. Barneveld Binkhuysen**

radioloog DiagnostiekVoorU Eindhoven  
voormalig bestuurslid EuroPACS, NVvR en EUSOMII

**Dr. P.R. Algra**

radioloog NWZ Alkmaar



JOOST VAN GRIETHUYSEN



MAARTEN VAN DE WEIJER

# Radiomics: de geboorte van een artificieel brein

Radiomics is een van de snelst groeiende onderzoeksvelden binnen de radiologie, en het zal ook niet lang meer duren voordat het zijn volledige intrede zal doen binnen de radiologie. Hierbij zal een verschuiving plaatsvinden van enkel een kwalitatief onderzoek naar een meer kwantitatief onderzoek voor het beoordelen en evalueren van ziekte [1].

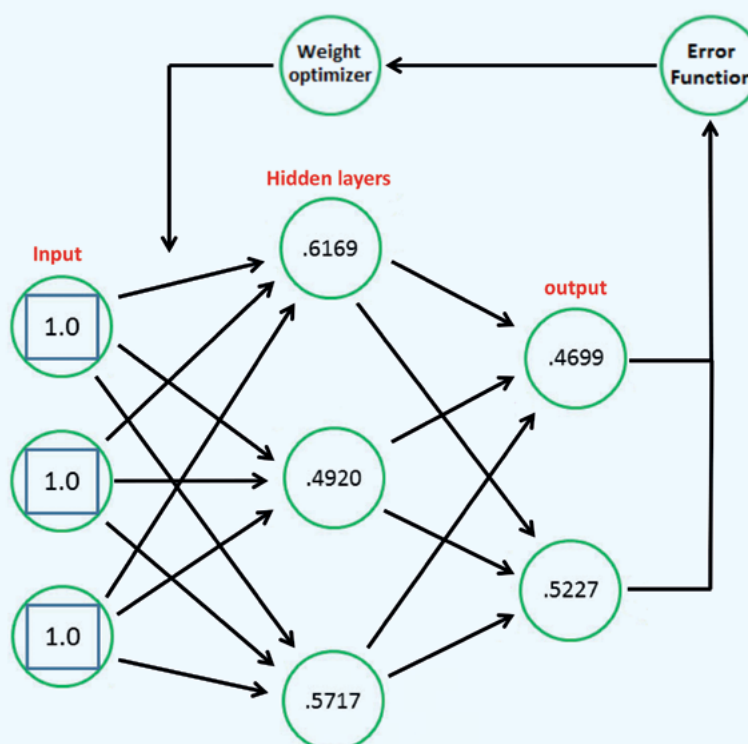
Radiomics is ontstaan uit machine learning, waarbij een machine learning algoritme wordt toegepast op een dataset (bijv. tumorbeelden) en de uitkomst van deze data (bijv. benigne of maligne). Het algoritmesysteem leert van deze trainingsdata en kan dit toepassen op nieuwe data om een voorspelling te doen (bijv. of het nieuwe beeld benigne of maligne is) [2] (lees ook 'Kunstmatige intelligentie en deep learning'; prof. Bart ter Haar Romeny).

Er zijn vele verschillende soorten machine learning algoritmen, waarbij de neural network de meest gebruikte is. Hierbij worden de parameters van het netwerk (de 'weights') in een iteratief proces veranderd door een 'weight optimizer'. De grootte en richting van deze verandering wordt bepaald door een zoekfunctie, waarbij het doel is het resultaat van de errorfunctie zo klein mogelijk te maken. (Figuur 1) [2].

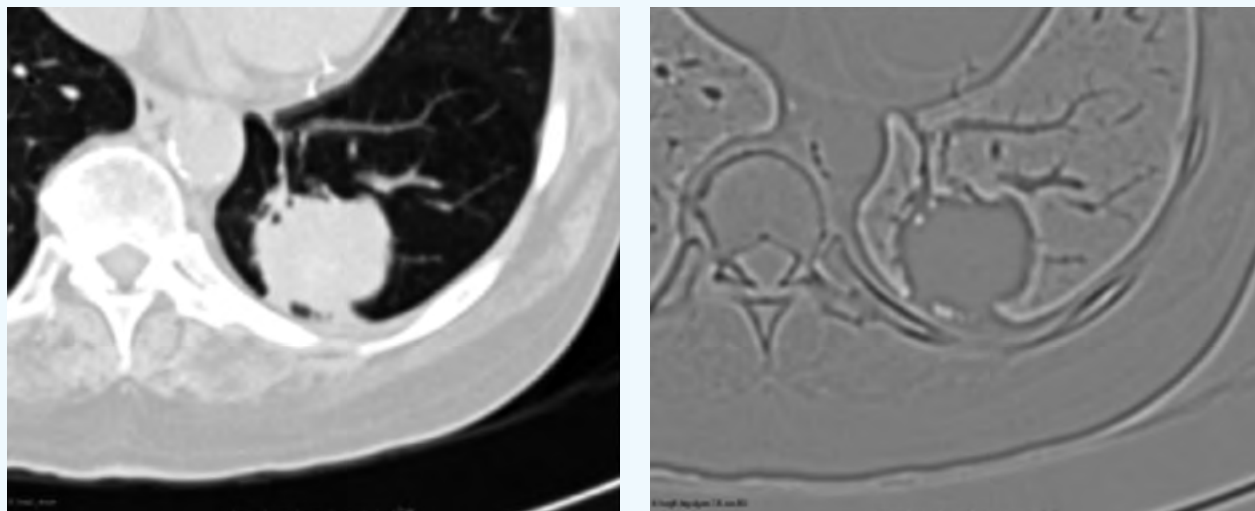
Oude neural networks vereisten input die bestond uit een beperkt aantal waarden. Hierbij was het direct analyseren van een afbeelding nog niet mogelijk. Bovendien waren deze neural networks niet krachtig genoeg om complexe vraagstukken te beantwoorden. Met de komst van krachtigere grafische processoren en Deep Learning kunnen steeds complexere taken worden uitgevoerd. Zo wordt het in de nabije toekomst mogelijk om het neural network automatisch objecten te laten

selecteren of te segmenteren, waarbij uiteindelijk de computer alles zelf zal uitvoeren (selecteren, segmenteren, feature extractie, etc.), maar ook zal interpreteren (benigne of maligne, reageert wel of niet op bepaalde behandeling). Zo ver zijn we echter nog (net) niet [2].

Om een radiomics analyse uit te voeren moeten er drie fasen doorlopen worden: 1) data-acquisitie en voorbereiding, 2) feature extractie, en 3) analyse en validatie. Bij de feature extractie wordt getracht met vooraf gedefinieerde *radiomic features* het beeld samen te vatten in betekenisvolle waarden, die als input voor het machine learning algoritme dienen. Het doel van de analyse is om met behulp van de zelflerende algoritmen een model te maken waarmee op basis van de waarden uit stap 2 uitspraken gedaan kunnen worden over het type aandoening, de prognose van de aandoening en ►



**Figuur 1.** Voorbeeld van neural network. De input wordt vermenigvuldigd met de weight. De output wordt vergeleken met de bekende data, en een errorfunctie wordt berekend. De weight optimizer bepaalt hoe de verschillende weights moeten worden aangepast om een lagere error te krijgen.



**Figuur 2.** Voorbeeld van een Laplacian of Gaussian filter, waarmee randen worden benadrukt. Links: origineel beeld. Rechts: gefilterd beeld, waarbij gebieden met gelijke waarden grijs worden en gebieden met lokale (grote) verschillen in grijswaarden wit of zwart worden.

de kans dat die zal reageren op een type behandeling. Bij convolutional neural networks, een speciale soort van Deep Learning, kunnen afbeeldingen direct als input gebruikt worden en worden stap 2 en 3 samengevat in één zelflerend algoritme; maar dit vereist nog meer data om te trainen dan de ‘klassieke’ radiomics analyse.

### Data-acquisitie en voorbereiding

Zoals hierboven beschreven begint de analyse met een input. Deze wordt verkregen middels medische beelden van CT-scan, PET/CT-scan of MRI. De scanners van tegenwoordig ondersteunen al vele variaties in acquisitie en reconstructie om een goed beeld te krijgen van de laesie van interesse.

Idealiter zouden deze acquisitie en reconstructie alleen afhankelijk zijn van de laesie waarin we geïnteresseerd zijn. In de praktijk is dat echter ook afhankelijk van de hardware, de producent en het toegepaste protocol en reconstructiealgoritme dat gebruikt is.

Daarnaast is de segmentatie een belangrijke stap in de analyse. Dit komt omdat enkel de heterogeniteit van de onderzochte laesie gekwantificeerd moet worden (vaak aangeduid als ‘region of interest’ of ROI). De gouden standaard is nog manuele segmentatie door een ervaren beoordelaar (radioloog/radiotherapeut). Dit is echter zeer tijdsintensief, en segmentaties kunnen variëren, zowel tussen verschillende beoordelaars als binnen dezelfde beoordelaar [3]. Er zijn ook computeralgoritmen die deels of geheel zelfstandig kunnen segmenteren; voor-

alsnog zijn deze echter ondergeschikt aan de manuele segmentatie.

### Feature-extractie

Een goede radiomic feature heeft twee belangrijke kenmerken: 1) een grote gevoeligheid voor de gewenste eigenschap (= goede performance), en 2) lage gevoeligheid voor variatie o.b.v. hardware, acquisitie en segmentatie (= goede stabiliteit).

Radiomic features zijn in te delen in drie grote groepen: 1) Histogram of ‘first order’, 2) ‘Shape’ of morfologie, en 3) Textuur.

Bij de eerste groep behoren features die alleen afhankelijk zijn van de grijswaarden die aanwezig zijn in de ROI, maar niet de locatie ervan. Deze worden berekend met behulp van het histogram. Bij de tweede groep gaat het juist alleen om de vorm van de ROI. Features zoals volume en de mate waarin de ROI overeenkomt met een bol behoren tot deze groep.

Tot slot is er de textuurgroep, waarbij het gaat om de onderlinge relatie tussen de twee. Er ontstaat dan een textuurmatrix waarop de features worden berekend. Een voorbeeld hiervan is de grey-level co-occurrence matrix (GLCM-matrix), waarbij wordt gekeken naar hoe vaak grijswaarde *i* voorkomt naast grijswaarde *j*.

Aanvullend kan een filter worden toegepast voordat de features worden berekend (Figuur 2). Hiermee kan een nadruk worden gelegd op bepaalde eigenschappen in de beelden. Deze features worden vaak ingedeeld in een vierde groep [4].

Er zijn veel verschillende formules beschikbaar, echter nog geen standaard. Daardoor zijn er vaak verschillen tussen de definities van formules die zijn gebruikt in de literatuur, wat vergelijkbaarheid van resultaten zeer lastig maakt. Een samenwerking van een aantal grote onderzoeksgroepen op het gebied van Radiomics is daarom begonnen met de ontwikkeling van een standaard [5]. Bovendien is er in samenwerking met de ontwikkelaars van 3D slicer (opensource programma voor het bekijken en verwerken van medische beeldvorming in onderzoek; [www.slicer.org](http://www.slicer.org)) een programma specifiek voor radiomics feature-extractie gemaakt, dat grotendeels op deze standaard gebaseerd is: PyRadiomics. Dit programma biedt een makkelijke en reproduceerbare extractie van radiomic features en kan direct vanuit 3D slicer gebruikt worden in de extensie SlicerRadiomics [6].

### Analyse en validatie

De laatste stap is de analyse van de berekende features, maar dit is wezenlijk anders dan van vele andere kwantitatieve onderzoeken in de radiologie. Bij radiomics worden er honderden tot zelfs duizenden features tegelijkertijd geanalyseerd (In tegenstelling tot bijv. de gemiddelde ADC-waarde bij MRI). Dit stelt andere uitdagingen aan de statistiek die wordt toegepast. Het doel verschuift van de goede uitkomst bepalen naar een valide model bouwen op een set van testen.

De twee belangrijkste termen daarbij zijn ‘multiple testing correction’ en ‘curse of dimensionality’. ‘Multiple testing correction’ is van toepassing als de features onafhankelijk van elkaar worden beoor-



deeld. Daarbij is het van belang dat de  $p$ -waarde gecorrigeerd wordt voor het aantal features dat tegelijk getest wordt. Hoe meer features er getest worden, des te groter wordt de kans dat er ten minste één ten onrechte 'statistisch significant' lijkt. Bij 100 features is deze kans al <1% en is er dus behoefte aan correctie van de  $p$ -waarde.

'Curse of dimensionality' is van toepassing wanneer features gecombineerd moeten worden in een model. Welke features kies je? Welke afkapwaarden? Hoe meer features, hoe meer combinaties er mogelijk zijn.

Om het effect van deze twee problemen te reduceren, wordt de analyse ingedeeld in twee stappen: selectie en classificatie. Daarbij wordt eerst een selectie gemaakt van features die samen de beste set van kandidaten vormen (selectie), die dan zo optimaal mogelijk in een model worden gecombineerd (classificatie).

Bij de classificatie worden de berekende

featurewaarden vergeleken met de onderzochte uitkomst (bijv. reageert wel/niet op behandeling), waarop vervolgens de beste combinatie van features en afkappunten wordt bepaald. En dit is machine learning, omdat de computer 'leert' welke combinatie het beste is door te vergelijken met de gewenste uitkomst [7,8].

#### Drs. J.J.M. van Griethuysen

PhD student, afd. radiologie NKI-AvL Amsterdam

#### Drs. M. van de Weijer

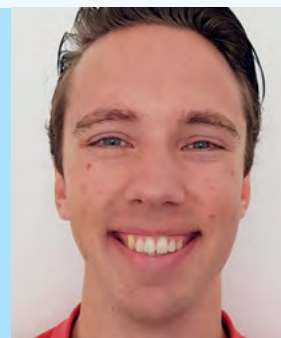
aios radiologie NWZ Alkmaar

#### Literatuur

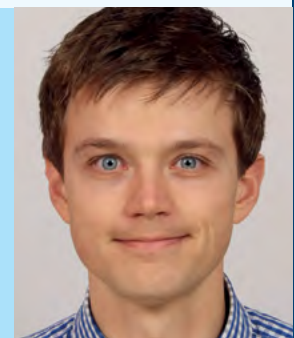
1. Leijenaar R, De Jong E, Larue R, et al. Radiomics: de toekomst in medische beeldvorming. Ned Tijdschr Oncol 2017;14:82-9.
2. Erickson J, Korfiatis P, Akkus Z, et al. Machine learning for medical imaging. Radiographics. 2017;37:505-15.
3. Velazquez ER, Parmar C, Jermoumi M, et al. Volumetric CT-based segmentation of NSCLC using 3D-Slicer. Sci Rep 2013;3:3529.
4. Haralick R, Shanmugan K, Dinstein I. Textural features for image classification. IEEE Trans Syst Man Cybern 1973;6:10-21.
5. Zwanenburg A, Leger S, Vallières M, Löck, S. Image biomarker standardisation initiative - feature definitions. Eprint arXiv:1612.07003 [cs.CV]. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1612.07003> 2016.
6. van Griethuysen JJM, Fedorov A, Parmar C, et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. Accepted Cancer Research 2017
7. Parmar C, Grossmann P, Bussink J, et al. Machine learning methods for quantitative radiomic biomarkers (Supplement). Sci Rep 2015;5:13087.
8. Haury A-C, Gestraud P, Vert JP. The influence of feature selection methods on accuracy, stability and interpretability of molecular signatures. PLoS One 2011;6:e28210.



PETER VAN OOIJEN



DAAN VAN DEN OEVER



HERBERT KRUITBOSCH

## Going low... Deep Learning voor betere CT-beelden bij lagere stralingsdosis

### Going low

Binnen de radiologie wordt al een aantal jaren veel aandacht besteed aan de inspanning om de stralingsdosis zo laag mogelijk te houden voor een patiënt (ALARA-principe). Naast het beperken van het aantal onderzoeken en van field-of-view en scan range is de voor de hand liggende methode natuurlijk het gewoon verminderen van de stralingsdosis bij het maken van op röntgen gebaseerde opnames. We zien hier de laatste jaren met name bij CT een trend om steeds lagere doses te gebruiken. Het nadeel van deze vermindering van dosis is de toename van de ruis en afname van het contrast in de scan.

Om dit probleem op te lossen zijn nieuwe reconstructiemethoden ontwikkeld, zoals de *Iteratieve Reconstructie* (IR), om de kwaliteit van de beelden op te poetsen. Hun doel is dat zo min mogelijk informatie verloren gaat tussen de sensoruitvoer van de scanner en het (3D) beeld dat de radioloog ziet. De methode van implementatie van deze iteratieve reconstructie is afhankelijk van de firma. In veel gevallen is de iteratieve reconstructie configureerbaar en kan er een niveau ►



**Figuur 1.** 96 patronen die een convolutioneel neurale netwerk kan leren. [3].

van het aantal iteraties worden ingesteld. Veel onderzoek is dan ook nog gaande op het gebied van IR om te onderzoeken wat het effect is van verschillende niveaus van iteraties en de verschillende methodes geïmplementeerd door de verschillende firma's. Een onderzoek dat de diagnostische kwaliteit van CT-beelden beoordeelt moet derhalve niet alleen rekening houden met de stralingsdosis en de parameters van de reconstructie, maar ook met de implementatie van de firma.

Het firma-onafhankelijk kunnen uitvoeren van beeldverbetering is mogelijk een betere oplossing wanneer dit snel en zonder gebruikersinteractie gedaan kan worden met diagnostische kwaliteit tot gevolg.

### Deep learning

Diepe, kunstmatige neurale netwerken hebben heel veel parameters, miljoenen of miljarden, die geleerd worden met voorbeelddata. Zo'n netwerk wordt getraind door het veel voorbeelden van invoer en gewenste uitvoer (targets of labels) te geven. Het netwerk generaliseert dan goed als het ook werkt voor data die het niet tijdens het trainen heeft gezien. Anders is het netwerk *ge-overfit* en heeft het zijn trainingsdata vooral opgeslagen en dus niet geleerd om te gaan met nieuwe gevallen. Helaas doen hoog-parametrische modellen al snel dat laatste; ze hebben immers veel parameters om data in op te slaan, dus waarom zouden ze proberen te generaliseren?

Sinds de jaren vijftig proberen computerwetenschappers zulke diepe netwerken toch iets nuttigs te leren, en in 2006 is dat eindelijk gelukt [1]. Meer rekenkracht en meer beschikbare data dan voorheen waren het belangrijkste, en inmiddels wordt vooralsnog de op *gradient descent* gebaseerde *backpropagation* uit 1986 [2] gebruikt. Voor *backpropagation* zijn de laatste tien jaar wel een aantal nieuwe varianten ontwikkeld die numerieke

problemen zoals *exploding* en *vanishing gradients* tegengaan en het netwerk met minder rekenkracht al kunnen trainen. Daardoor kunnen steeds diepere netwerken getraind worden. Gradient descent vindt een lokaal minimum: in de buurt van de gevonden parameters bestaat niets beters, maar verder weg, buiten het bereik van het leeralgoritme, mogelijk wel. Dat blijkt een minder groot probleem dan oorspronkelijk gedacht. Door de architectuur van deze neurale netwerken zijn de lokale minima allemaal ongeveer even goed. Daarnaast wordt iteratief op slechts een klein deel van alle data, mini-batches, getraind, waardoor de lokale minima bij elke mini-batch weer anders zijn en het netwerk er niet in kan blijven hangen.

Als een netwerk wil bepalen of een foto een kat bevat, maakt het niet zoveel uit waar in de foto. Dat is een belangrijk gegeven voor zogenaamde convolutionele neurale netwerken. De diepste lagen van zo'n netwerk leren eerst op kleine schaal, bijv. 7x7 pixels, korte lijnen, kleur- of contrastverschillen en patronen herkennen. Zulke patronen zie je in *Figuur 1*.



**Figuur 2.** Rechts de originele afbeelding en links aangepast zodat het netwerk met meer overtuiging iets herkent. Deze zogenaamde deep dream heeft voetgangers op de weg geplaatst. Dit laat zien dat het netwerk de foto logischer vindt als er voetgangers op straat lopen, maar ook dat het niet let op welke plek de voetgangers gezet worden. Als er meer patronen op willekeurige plekken te vinden zijn, heeft het netwerk meer vertrouwen iets te herkennen.

Het netwerk bekijkt voor elke pixel in de afbeelding in hoeverre elk van de patronen daar voorkomt; dan ontstaat een nieuw beeld met bijvoorbeeld 96 getallen voor elke pixel. Omdat het vaak niet uitmaakt waar zo'n patroon zich exact bevindt, neemt het netwerk daarna voor elk van de 96 getallen het maximum in een klein gebied van bijv. 2x2 pixels. Zo'n maximum geeft eigenlijk aan of een patroon in ten minste een van de vier pixels voorkwam en in welke mate. Door het maximum blijft slechts een vierde van de resolutie over en verdwijnt dus ruimtelijke informatie. Daar komt informatie over *wat* er te zien is voor terug. Een convolutioneel neurale netwerk herhaalt dit proces een aantal keer, zodat langzamerhand steeds abstractere patronen worden herkend met minder ruimtelijke informatie. Eerst herkent het netwerk bijv. contrastverschillen, daarna korte lijnen en curven, daarna kleine objecten zoals ogen of snorharen en uiteindelijk kan het bijv. een kat herkennen.

Zulke netwerken kunnen allerlei vormen aannemen om verschillende problemen op te lossen. Een interessant voorbeeld is het invullen van kleur in een zwart-wit afbeelding [4]. Uiteraard zijn er veel afbeeldingen in zowel kleur als zwart-wit beschikbaar om het netwerk te trainen. *Figuur 3* laat iets interessants zien, namelijk dat het algoritme goed begrijpt dat de lucht blauw moet zijn, maar moeite heeft met de kleur van de Lifeline 4. Daaruit blijkt dat het netwerk niet per se de daadwerkelijke kleur invult, maar een kleur die geloofwaardig is. Het netwerk kan alleen maar leren wat typische kleuren



Figuur 3. Rechts laat de originele kleur zien, links wat deep learning heeft ingevuld in een zwart-wit versie.

voor bepaalde concepten zijn, zoals lucht en helikopter, maar weet niet dat de Lifeliner 4 geel is. Dat komt door de data die het zag, daarin was de lucht steeds blauw, maar helikopters kunnen alle kleuren hebben.

### Betere CT bij lagere dosis?

Naast kleur toevoegen in natuurlijke foto's, kan zo'n netwerk ook leren om ruis te verwijderen in medische beelden door te leren welke hoge-dosis scan bij een lage-dosis scan past. Het netwerk heeft dan als invoer een lage-dosis CT-scan en als uitvoer een beeld dat mogelijk minder effecten van de lage dosis laat zien; zoals ruis en gebrekkig contrast.

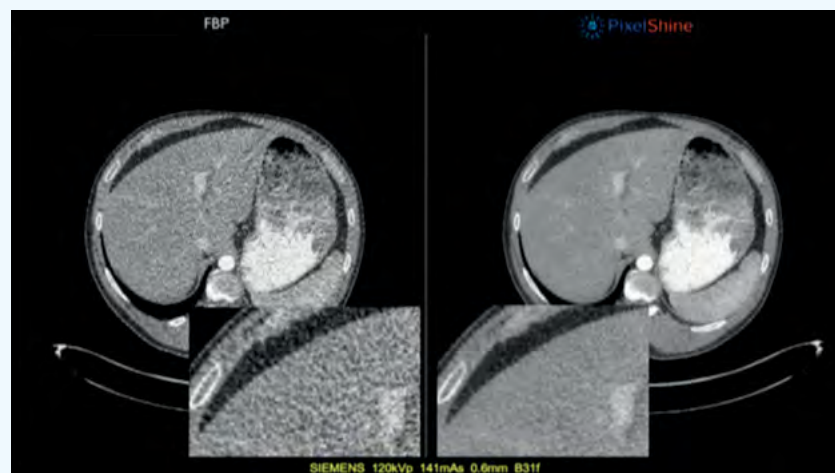
De firma *Algomedica* heeft CT-scans met een hoge en lage dosis verkregen en daarmee een netwerk, *PixelShine*, getraind. Het netwerk moet dan van een scan met lage dosis een beeld maken met hopelijk de kwaliteit van een scan met een hogere dosis. De uitvoer van *PixelShine* ziet er scherper en minder ruzig uit (Figuur 4). *PixelShine* heeft inmiddels een FDA 10k en CE-accreditatie ontvangen en kan zonder gebruikersinteractie een lage-dosis scan verwerken. Als het systeem is ingesteld met de juiste DICOM node, dan zal het voor CT-scans een nieuwe DICOM-serie toevoegen met de juiste meta-informatie in de header. Daardoor kan een radioloog het makkelijk gebruiken in een klinische situatie. De DICOM-viewer laat hem of haar gewoon een extra serie zien.

Het is echter nog de vraag of *PixelShine* heeft geleerd om scans er alleen mooi uit te laten zien, of ook de werkelijkheid te laten zien. *PixelShine* kan bijv. een rui-

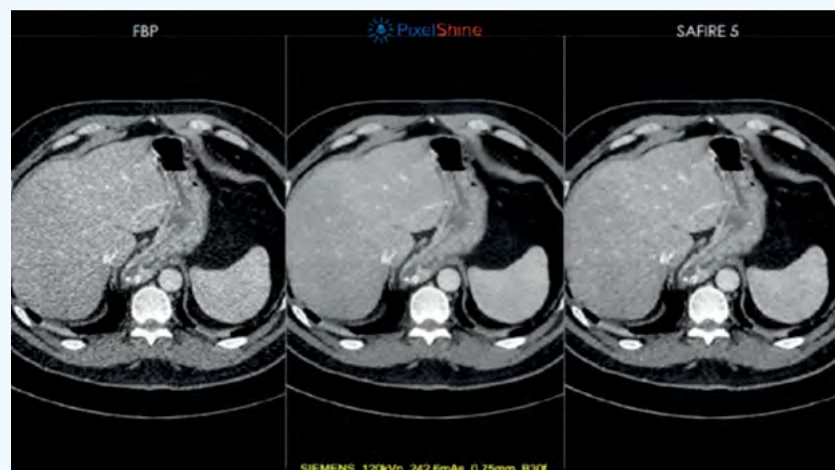
zige, lage-dosis scan van een botbreuk verscherpen, waardoor de scan er scherper en realistischer uitziet, maar de breuk onzichtbaar is. Misschien heeft het geleerd dat botdeel te herkennen uit een ruizige scan en hoe dat er zonder ruis typisch uitziet. Dan is belangrijke diagnostische informatie, die mogelijk wel in een hoge-

dosis scan zou zitten, niet aanwezig in de uitvoer van *PixelShine* met een lage-dosis scan. Het grootste deel van de voorbeelddata waarop *PixelShine* getraind is, is waarschijnlijk gezond. Zelfs als een scan een aandoening laat zien, heeft het alsnog een veel groter gezond gebied. Daardoor is het waarschijnlijk dat het netwerk meer over gezonde structuren leert dan patronen bij aandoeningen – zoals het inkleurnetwerk beter weet welke kleur lucht heeft, dan welke kleur de Lifeliner 4 heeft. Daarom is onderzoek naar de diagnostische bruikbaarheid van zulke systemen erg belangrijk. In onderstaande figuren zijn een aantal voorbeelden te zien van de toepassing van *PixelShine*.

Op dit moment wordt er gewerkt aan uitgebreide validatiestudies naar het effect van *PixelShine* op beeldkwaliteit en diagnostische kwaliteit. De eerste resultaten lijken zeer veelbelovend, met name voor detectie van afwijkingen in de lever en de longen. In de toekomst kan ma- ▶



Figuur 4. Abdomenscan op 120 kV en 141 mAs. Links de standaard Filtered Back Projection, rechts na bewerking door *PixelShine*.



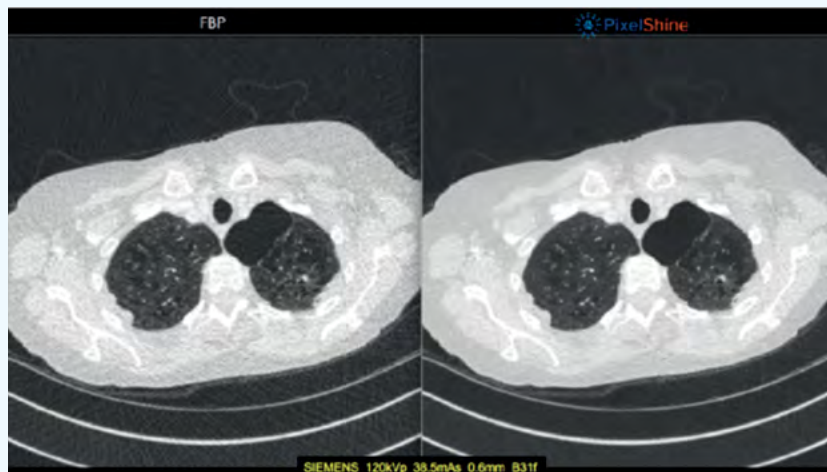
Figuur 5. Vergelijking van een abdominale scan met 120 kV en 242.6 mAs met Filtered Back Projection (links), *PixelShine* (midden) en Iterative Reconstructie met SAFIRE 5 (rechts).

chine learning dus mogelijk ingezet worden om een lagere dosis te realiseren met vergelijkbare diagnostische kwaliteit als bij een hogere dosis.

**Dr.ir. P. van Ooijen<sup>1</sup>**  
**Drs. D. van den Oever<sup>1</sup>**  
**H. Kruitbosch MSc<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Rijksuniversiteit Groningen, Universitair Medisch Centrum Groningen, Center for Medical Imaging North East Netherlands (CMI-NEN)

<sup>2</sup> Rijksuniversiteit Groningen, Rekencentrum, Research and Innovation Support



**Figuur 6.** Longscan op 120 kV en 38,5mAs, links Filtered Back Projection, rechts na bewerking met PixelShine.

#### Literatuur

1. Hinton GE, Osindero S, Teh YW. A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Comput* 2006;18:1527-54.
2. Williams DR, Hinton G. Learning representations by back-propagating errors. *Nature* 1986;323:533-8.
3. Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Adv Neur Inform Proc Systems* 2012.
4. Zhang R, Isola P, Efros AA. Colorful image colorization. *European Conference on Computer Vision*. Springer International Publishing, 2016.



FLORIS VAN VELDEN

DENNIS VRIENS

## Kunstmatige Intelligentie en Nucleaire Radiologie: nazaat van een geslaagd huwelijk!

Sinds haar intrede heeft informatica binnen de medische beeldvorming, bijna gelijk aan de wet van Moore<sup>1</sup>, een exponentiele groei doorgemaakt. Binnen de nucleaire geneeskunde, waar moleculaire beeldvorming multidimensionale kwantitatieve informatie oplevert van zowel anatomie als functie, speelt informatica een cruciale rol. Visuele beoordeling alleen gebruikt slechts een deel van de beschikbare informatie; de mens is namelijk niet in staat alle informatie die de beelden bevatten te onderscheiden, te waarden en in combinatie te interpreteren. Geavanceerde, zelflerende IT-oplossingen kunnen onze contextuele patroonherkenning ondersteunen met classificerende algoritmen. Doordat deze beeldvorming, zeker wat betreft de positronemissietomografie (PET) in Europa, sterk geharmoniseerd verzameld wordt, kunnen verschillende datasets gecombineerd worden om deze algoritmen te trainen en te valideren. We zijn van mening dat de moleculaire beeldvorming uitermate geschikt is voor toepassingen van de hierboven beschreven technieken uit de kunstmatige intelligentie en machine-learning, en verwachten binnen een afzienbare tijd de eerste klinische toepassing.

<sup>1</sup> De wet van Moore (1965) stelt dat het aantal transistors in een geïntegreerde schakeling door de technologische vooruitgang elke twee jaar verdubbelt.

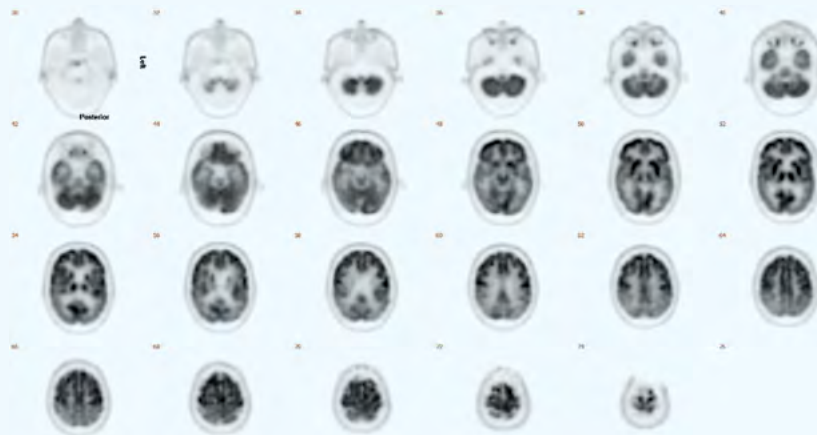
In dit opiniestuk willen we twee voorbeelden bespreken van klinische toepassingen van computer-geassisteerde beeldinterpretatie, waarbij wetenschappelijk de stap naar kunstmatige intelligentie al gemaakt wordt: de interpretatie van moleculaire beeldvorming van het brein bij vermoeden op neurodegeneratieve aandoeningen en het karakteriseren van tumoren door het extraheren en analyseren van grote hoeveelheden parameters: radiomics. We zullen ons beoogt afsluiten met een beschrijving hoe kunstmatige intelligentie in onze visie de integratie van nucleaire geneeskunde en radiologie kan bevorderen, maar ook hoe de medische beeldvorming zich door middel van big-data gegevensanalyse beter zal kunnen inbedden in andere vormen van diagnostiek.

### Interpretatie van moleculaire beeldvorming van het brein

Moleculair beeldvormend hersenonderzoek met single-photon emissie computertomografie (SPECT) en PET wordt hoofdzakelijk ingezet voor het diagnosticeren van neurodegeneratieve en psychiatrische aandoeningen. Verschillende soorten dementie kunnen in een vroeg stadium van elkaar worden onderscheiden. Zo wordt bijv. gekeken naar patronen van cerebraal glucosehypometabolisme met  $^{18}\text{F}$ -FDG PET-CT, maar ook naar specifieke radiofarmaca die zich binden aan ziektespecifieke neuropathologie zoals  $\beta$ -amyloïd en tau-eiwit [1]. Deze eiwitdeposities in het brein zijn sterk gerelateerd aan de ontwikkeling van verschillende vormen van dementie en kunnen zo bijdragen aan de klinische differentiaaldiagnose. Enkele radiofarmaca, specifiek gericht op  $\beta$ -amyloïd, zijn inmiddels geregistreerd door EMA en FDA als diagnostica ( $^{18}\text{F}$ -florbetapir [Amyvid<sup>TM</sup>, Eli Lilly],  $^{18}\text{F}$ -flutemetamol [Vizamyl<sup>TM</sup>, GE Healthcare] en  $^{18}\text{F}$ -florbetaben [NeuraCeq<sup>TM</sup>, Piramal LifeSciences]) [2].

Bij interpretatie van neuroPET-studies is computerondersteuning noodzakelijk. Zeker voor de tau-eiwitbindende radiofarmaca worden geavanceerde analysetechnieken van dynamische acquisities voorgesteld om de specifieke binding te kunnen weergeven en kwantificeren [3]. Voor  $\beta$ -amyloïd wordt in het kader van wetenschappelijk onderzoek vaak ook nog naar deze specifieke binding gekeken.

Ook bij de beoordeling van klinische



**Figuur 1.** Transaxiale coupes van een onder gestandaardiseerde omstandigheden vervaardigde  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT van een patiënt met Lewy body dementie. Dit toont het karakteristieke patroon van symmetrisch hypometabolisme in met name de bilaterale temporale cortex, dorsale pariëtale cortex, de occipitale (visuele) cortex en visuele associatiecortices met relatief sparen van de cortex van het posterieure cingulum en de precuneus (in tegenstelling tot M. Alzheimer), het zgn. 'cingulum-eiland teken'. Met dank aan dr. Marcel J.R. Janssen, nucleair geneeskundige, Radboudumc, Nijmegen.

$^{18}\text{F}$ -FDG van de hersenen speelt computerondersteuning een rol. De normale verdeling van  $^{18}\text{F}$ -FDG in het brein is namelijk afhankelijk van de leeftijd en het geslacht van de persoon en verschilt ook binnen de verschillende hersenregio's. Tevens wordt het ook beïnvloed door eventuele regionale of globale anatomische veranderingen zoals atrofie. Bij de *ondersteunende* statistische technieken, noodzakelijk om reeds in een vroeg stadium de verschillende vormen van dementie te kunnen onderscheiden, worden bijv. de onder gestandaardiseerde omstandigheden verkregen  $^{18}\text{F}$ -FDG PET-CT-beelden van een patiënt, spatiaal genormaliseerd aan een 'standaard-brein' en geschaald aan een hersenregio die niet of nauwelijks door het neurodegeneratieve ziekteproces wordt beïnvloed (bijv. cerebellum, pons of thalamus). Door deze getransformeerde dataset vervolgens te vergelijken met een referentiedatabase bestaande uit gezonde volwassenen ontstaat een representatie van individueel regionaal breinmetabolisme uitgedrukt in statistische-scores: het aantal standaarddeviaties verschil van de onderzochte breinregio ten opzichte van een normaal brein. Klassieke patronen van M. Alzheimer, Lewy body dementie (Figuur 1), verschillende vormen van frontotemporale dementie en andere, zeldzamere vormen van dementie zijn op deze manier redelijk accuraat, maar nog altijd visueel en dus subjectief, van elkaar te onderscheiden [4].

In onderzoeksverband worden na segmentatie van specifieke hersenregio's op deze statistische analyses verschillende methoden van (semi)automatische clas-

sificatie toegevoegd. Deze algoritmen resulteren in een waarschijnlijkheid dat het gevonden metabole patroon hoort bij de verschillende differentiaaldiagnoses. Deze predictieve algoritmen zijn vooralsnog statisch; dat betekent dat het afgeleid wordt op een trainingsdataset en getoetst wordt op een onafhankelijke validatiedataset, waarvan de diagnose van alle patiënten vaststaat. Een vervolgstap zou zijn deze systemen zelflerend te maken. Met machine-learning leidt elke nieuwe patiënt tot aanpassing en verbetering van het onderliggende algoritme.

Een grote uitdaging in dit onderzoeksveld is cross-validatie. De kliniek is nog altijd leidend: de diagnose is meestal gedefinieerd op basis van neurocognitief onderzoek van vaak een beperkt longitudinaal karakter. Door het geprotraheerde beloop van de meeste dementiële syndromen zijn er maar weinig grote datasets waarbij de diagnose onomstotelijk werd vastgesteld door neuropathologisch onderzoek. Omdat in de meeste studies onomstotelijk bewijs voor de diagnose ontbreekt, kunnen deze algoritmen niet beter classificeren dan neurologen die de diagnose gesteld hebben. Goed gevalideerde datasets voor ontwikkeling van dit soort algoritmen zijn dus essentieel.

Vooralsnog heeft verbeterde classificatie van dementie voornamelijk prognostische implicaties. Parallele ontwikkeling van behandelingen die de progressie van vroege vormen van dementie kunnen vertragen of zelfs omkeren, zou echter grote versnelling in ontwikkeling en toepassing van kunstmatige intelligentie bij neuroPET kunnen brengen. Het ont- ►

wikkelen van dergelijke behandelingen wordt tevens ondersteund door de betere stratificatie van patiëntencategorieën op basis van de onderliggende neuropathologie met behulp van de neuroPET.

**Radiomics**

In navolging van de radiologie heeft de virtuele biopsie, zoals ‘radiomics’ ook wel genoemd wordt, zijn weg gevonden binnen de nucleaire geneeskunde, voornamelijk bij <sup>18</sup>F-FDG PET-CT voor oncologische vraagstellingen [5], maar ook voor hersenonderzoek. Het is al langer bekend dat kwantitatieve parameters van <sup>18</sup>F-FDG PET-CT, zoals de maximale gestandaardiseerde opnamewaarde in de tumor (SUV<sub>max</sub>), het metabole tumorvolume (MTV) en de nog wat minder bekende totale-laesie glycolyse (TLG) bijdragen aan weefselkarakterisering. Het bekendste voorbeeld is wellicht het logistische regressiemodel van de Mayo Clinic. Dit model berekent de kans op maligniteit van een solitaire longnodus aan de hand van leeftijd, rookgedrag, oncologische voorgeschiedenis, diameter, spiculatie en locatie [6], en werd later uitgebreid door er de mate van <sup>18</sup>F-FDG-stapeling aan toe te voegen [7]. Ook blijkt <sup>18</sup>F-FDG PET-CT een sterk predictieve biomarker voor vele tumortypen, waardoor patiënten voor behandelingen kunnen worden gestratificeerd aan de hand van

tumorglucosemetabolisme of veranderingen daarin, gepaard gaande met de behandeling. Het meest bekende voorbeeld hiervan zijn verschillende vormen van lymfomen, waaronder het Hodgkin lymfoom, diffuus grootcellig B-cel lymfoom en folliculair lymfoom, waarbij op geleide van PET-respons na afronding van de eerstelijnsbehandeling besloten wordt tot aanvullende radiotherapie [8].

Analoog aan CT en MRI, zoals reeds uitvoerig beschreven in het stuk van Van Griethuysen en Van de Weijer in dit nummer van MemoRad, is mogelijk een grote hoeveelheid aan kwantitatieve parameters uit <sup>18</sup>F-FDG PET-CT-beelden te halen. Hieronder vallen parameters die de opname-intensiteit, vorm van het metabool volume en de opnameheterogeniteit van het radiofarmacon, ook wel de textuur, beschrijven (Figuur 2) [9,10]. Vaak betreft het honderden tot duizenden parameters simultaan, die door middel van datareductietechnieken tot een prognostische signatuur kunnen worden gereduceerd en na externe validatie gebruikt kunnen worden om meer informatie uit de beelden te verkrijgen.

Een grote uitdaging bij dit type analyse is dat het aantal kandidaatparameters dat geëxtraheerd wordt vaak vele malen groter is dan het aantal individuen waar-

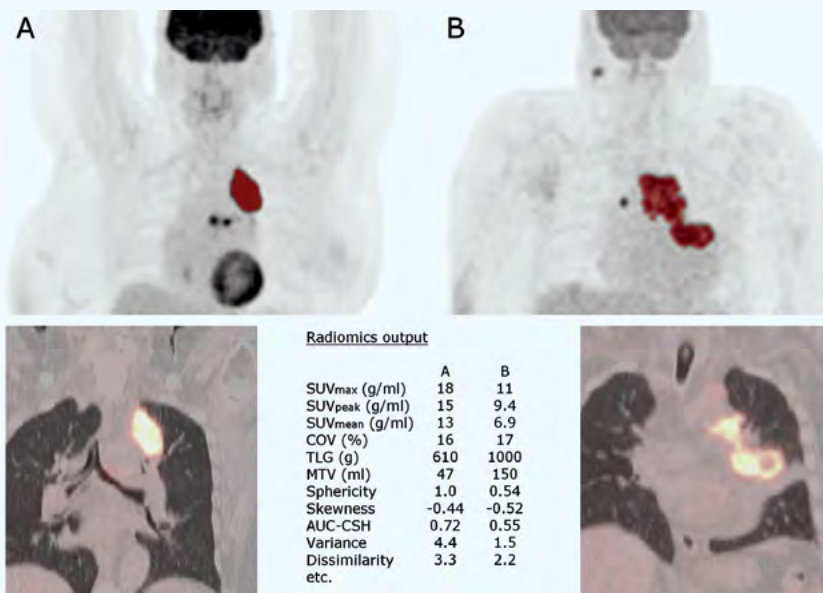
uit training- en validatiesets bestaan (‘curse-of-dimensionality’). Naast een verhoogde kans dat een significante bevinding fout-positief is (zgn. false discovery rate), geeft dit tevens het probleem van ‘overfitting’, waardoor het geoptimaliseerde model erg gevoelig wordt voor kleine fluctuaties in de trainingset. Vaak worden er ‘trucs’ gebruikt om het aantal kandidaatparameters zo snel mogelijk te reduceren, bijv. door variabelen die slecht reproduceerbaar of onderling juist sterk aan elkaar verwant zijn en dus redundant zijn bij voorbaat uit te sluiten nog voor de cross-validatie plaatsvindt (‘data-reduction’) [11]. Wanneer gesuperviseerd *gevalideerde* patiënten toegevoegd zouden kunnen worden aan de trainingset kan een model zelflerend worden: het is dynamisch geworden en wordt beter naarmate het aantal patiënten waarop het gebaseerd is toeneemt.

Op dit moment bevindt radiomics zich nog volledig in het domein van wetenschappelijk onderzoek. Enkele grote ontwikkelaars zijn echter extractie van enkele van deze ‘radiomics features’ in hun klinische software aan het implementeren.

**Big Data**

Zoals dit themanummer onderschrijft, kan multidimensionale data verkregen vanuit verschillende radiologische modaliteiten gecombineerd worden om zo de meest relevante informatie uit alle beschikbare medische beeldvorming te halen. Het is daarmee, naast een gemeenschappelijk wetenschappelijk interessegebied, een goed voorbeeld van wat we met de fusie van beide specialismen beoogd hebben: een nazaat uit een geslaagd huwelijk. Door het verder uniformiseren van acquisitieprotocollen zouden we een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan dit onderzoeksveld.

Hoewel ook discipline-overstijgende diagnostische informatie gecombineerd kan worden, is hier nog maar beperkt onderzoek over gepubliceerd. Dit is wellicht meer een beperking van de onderzoekers dan van de beschikbare technologie. Denk hierbij aan de combinatie van informatie uit medische beeldvorming, de laboratoriumgeneeskunde, moleculaire analyses zoals uit de tumorgenetica en andere klinische bevindingen: biobanking en multi-omics big data. Met voortschrijdende informaticamogelijkheden kan op termijn alle informatie die van een patiënt beschikbaar is geïntegreerd



**Figuur 2.** Links: PET/CT verricht 59 min na injectie van 535 MBq <sup>18</sup>F-FDG (127 kg) bij een nuchter glucose van 5,8 mmol/L. Het betreft een 69-jarige vrouw met een voorgeschiedenis van mamma carcinoom beiderzijds (11 en 4 jaar eerder) met pT3 single-level N2M0 NSCLC (niet-verhoemd plaveiselcelcarcinoom) in de apex van de linker bovenkwab. Rechts: PET/CT verricht 58 min na injectie van 314 MBq <sup>18</sup>F-FDG (100 kg) bij een nuchter glucose van 6,7 mmol/L. Het betreft een 69-jarige man met blanco oncologische voorgeschiedenis die zich presenteert met epilepsia tarda en een stuurloos linkerbeen op basis van een tT4N3M1 (N)SCLC, centraal in de linker bovenkwab met ipsilateraal hilare en bilaterale mediastinale lymfekliermetastasen, hersenmetastasen, een bijrijmetastase en mogelijk levermetastasen. De hypermetabole laesie rechts in de parotis betreft een pathologisch bevestigde Whartin tumor. Verschillende ‘radiomics’-parameters worden weergegeven. COV=coefficient of variation. AUC-CSH=area under a cumulative SUV-volume histogram.

worden en als biomarker ondersteuning bij medische beslissingen geven, mits gegevensanalysetechnieken, beschikbare software en (privacy)wetgeving deze ontwikkelingen kunnen bijbenen. Het aantal kandidaatparameters stijgt snel met deze voortgaande integratie tussen de disciplines en is hierdoor als mens niet meer te interpreteren. Datamining door zelflerende computeralgoritmen kan ons helpen de relevante parameters te destilleren en zo de geneeskunde verder te helpen met bestaande kennis.

Zoals eerder beschreven zijn cross-validatie en 'overfitting' belangrijke valkuilen die de kwaliteit van de modellen zullen bepalen. Clinici leveren dus een essentiële bijdrage aan het ontwikkelen van kunstmatige intelligentie door validatie. Zij zullen in de toekomst, geholpen door deze technologie, hun werk nog beter en efficiënter doen. Daarnaast zijn klinisch fysici en bio-informatici opgeleid om deze complexe processen vanuit statistisch en IT-perspectief te ondersteunen. Technisch geneeskundigen en klinisch technologen zijn de brugbouwers om deze technologie in de kliniek te implementeren. Kortom, het recente huwelijk tussen Nucleair Geneeskundi-

gen en Radiologen kan nog weleens een polyamorie gaan worden! ■

#### Woord van dank:

*Wij willen dr. Nelleke Tolboom (nucleair geneeskundige, UMC Utrecht) en drs. Martijn L. van Aartrijk (informaticus) danken voor de waardevolle commentaren die zij op ons artikel gegeven hebben.*

#### Dr. F.H.P. van Velden

klinisch fysicus  
(F.H.P.van\_Velden@lumc.nl)

#### Dr. D. Vriens

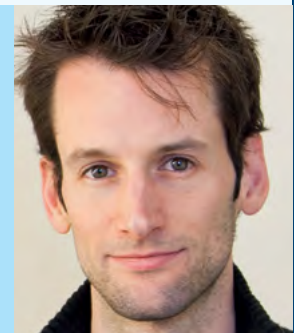
nucleair geneeskundige  
(D.Vriens@lumc.nl)  
Afdeling radiologie, Leids Universitair Medisch Centrum (LUMC)

#### Literatuur

- Scheltens P, Blennow K, Breteler MM, et al. Alzheimer's disease. *Lancet* 2016;388:505-17.
- Morris E, Chalkidou A, Hammers A, et al. Diagnostic accuracy of (18)F amyloid PET tracers for the diagnosis of Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2016;43:374-85.
- Golla SS, Timmers T, Ossenkoppeler R, et al. *Mol Imaging Biol* 2017. 10.1007/s11307-017-1080-z.
- Brown RK, Bohnen NI, Wong KK, et al. Brain PET in suspected dementia: patterns of altered FDG metabolism. *Radiographics* 2014;34:684-701.
- Limkin EJ, Sun R, Dercle L, et al. Promises and challenges for the implementation of computational medical imaging (radiomics) in oncology. *Ann Oncol* 2017;28:1191-206.
- Swensen SJ, Silverstein MD, Ilstrup DM, et al. The probability of malignancy in solitary pulmonary nodules. Application to small radiologically indeterminate nodules. *Arch Intern Med* 1997;157:849-55.
- Herder GJ, van Tinteren H, Golding RP, et al. Clinical prediction model to characterize pulmonary nodules: validation and added value of 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Chest* 2005;128:2490-6.
- Cheson BD, Fisher RI, Barrington SF, et al. Recommendations for initial evaluation, staging, and response assessment of Hodgkin and non-Hodgkin lymphoma: the Lugano classification. *J Clin Oncol* 2014;32:3059-68.
- Hatt M, Tixier F, Pierce L, et al. Characterization of PET/CT images using texture analysis: the past, the present... any future? *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2017;44:151-65.
- Hatt M, Majdoub M, Vallieres M, et al. 18F-FDG PET uptake characterization through texture analysis: investigating the complementary nature of heterogeneity and functional tumor volume in a multi-cancer site patient cohort. *J Nucl Med* 2015;56:38-44.
- van Velden FH, Kramer GM, Frings V, et al. Repeatability of radiomic features in non-small-cell lung cancer [(18)F]FDG-PET/CT studies: impact of reconstruction and delineation. *Mol Imaging Biol* 2016;18:788-95.



JAN-JAAP VISSER



STEFAN KLEIN

## Value-based imaging en AI: wat is de toegevoegde waarde van AI voor de patiënt?

Twee belangrijke sleutelwoorden in de huidige gezondheidszorg zijn: value-based health care en artificiële intelligentie. Hoe kunnen deze begrippen worden toegepast binnen de radiologie, hoe hangen ze met elkaar samen en vooral, wat heeft de patiënt eraan?

Sinds de introductie van het concept van value-based health care door Michael Porter in 2005 vindt in de gezondheidszorg een transitie plaats van volume-naar value-based health care [1,2]. ►

Binnen de radiologie is dit concept opgepakt door onder andere de American College of Radiology met de introductie van het Imaging 3.0 programma en de European Society of Radiology met de oprichting van een werkgroep op het gebied van value-based imaging.

Een andere belangrijke ontwikkeling die op dit moment plaatsvindt is de introductie van artificiële intelligentie (AI) in de gezondheidszorg, en meer in het bijzonder de radiologie. In toenemende mate verschijnen publicaties waarin wordt aangegeven dat computers een deel van de menselijke taken kunnen overnemen door bijv. fractures te detecteren en te markeren op de conventionele foto's [3], maar ook door op basis van beeldvorming ondersteuning te kunnen bieden bij het voorspellen van een ziekte, bijv. schizofrenie [4].

De rol van de radioloog in de komende jaren zal in belangrijke mate afhangen van de vraag in hoeverre hij/zij in staat is nieuwe technieken zoals AI te implementeren in de klinische praktijk, en wel op zo'n manier dat dit toegevoegde waarde zal creëren voor een patiënt. Het specialisme dat het best in staat blijkt om deze nieuwe technieken te incorporeren in de dagelijkse praktijk zal een voortrekkersrol spelen als het gaat om het bepalen van het optimale management voor een individuele patiënt [5].

Het concept van value-based health care wordt uitgewerkt in de vergelijking: toegevoegde waarde voor de patiënt = uitkomst/kosten [1].

$$\text{Patient Value} = \frac{\text{Health Outcomes}}{\text{Cost}}$$

Volgens deze vergelijking wordt de toegevoegde waarde voor de patiënt dus enerzijds verhoogd door de uitkomsten te verbeteren, anderzijds wordt de toegevoegde waarde verhoogd door de kosten te reduceren. Hierbij is het uitgangspunt dat het verlagen van kosten niet ten koste mag gaan van de uitkomst voor de patiënt.

Allereerst wordt een goede uitkomst geleverd door het zo optimaal acquireren van de radiologische beelden. Het scannen met een zo laag mogelijke stralingsdosis is hierbij een belangrijk aandachtspunt. Om dit laatste te realiseren zijn reeds meerdere initiatieven ondernomen met

AI waarmee lage-dosis CT-beelden zodanig kunnen worden gereconstrueerd dat ze van diagnostische kwaliteit zijn [6].

Een andere toepassing van AI is het ontwikkelen van zogenaamde dynamische werklijsten voor radiologen. Hierbij zullen de onderzoeken met de meest urgente en kritieke bevindingen bovenaan de werklijst worden gezet [7]. Op deze wijze kunnen de onderzoeken waarbij een snelle beoordeling het meest relevant is als eerste worden beoordeeld.

Daarnaast bestaan er IT-systemen die de verwijzer het meest geschikte radiologisch onderzoek aanbevelen. Ook worden softwaresystemen ontwikkeld die de radioloog ondersteunen bij het geven van aanbevelingen gebaseerd op de meest recente richtlijn; bijv. welke follow-up nodig is na detectie van een incidentaloom, zoals een longnodule, gegeven de klinische context [8]. AI zou hierin een rol kunnen spelen door de uitkomsten van deze aanbevelingen te evalueren, waarbij de achterliggende algoritmen van deze beslissingsondersteuningssoftware continu worden verbeterd.

Verder kan de radioloog ook bij de interpretatie van de beelden gebruik maken van AI. Algoritmen zullen potentiële afwijkingen detecteren die specifieke aandacht van de radioloog behoeven. Ook zal AI worden toegepast voor de toenemende behoefte aan kwantificatie van radiologische bevindingen. Hierbij is het van belang dat alle relevante informatie die noodzakelijk is voor een juiste en volledige interpretatie van de beelden selectief wordt getoond aan de radioloog. Indien bijv. een CT-scan van de thorax is gemaakt, presenteert het systeem relevante informatie met betrekking tot bijv. cardiale chirurgie, medicatie, lab-uitslagen, pathologie, etc. Hierdoor wordt het voor de radioloog mogelijk de bevindingen op beeldvorming te relateren aan andere klinische en diagnostische gegevens, waardoor het radiologisch verslag een betere kwaliteit krijgt [9,10]. Daarnaast kunnen algoritmen worden ontwikkeld die patiënten stratificeren, bijv. de aanwezigheid van een EGFR-mutatie bij longtumoren [11]. Dit kan de behandelingsaanpak helpen in het bepalen van de optimale behandeling.

Naast bovengenoemde kwaliteitsverbeteringen kan er mogelijk tijd worden bespaard door de radioloog. Of dit daadwerkelijk het geval is zal in de praktijk

moeten blijken. Het beschikbaar krijgen van meer informatie zal met zich meebrengen dat de radioloog extra tijd nodig heeft voor het maken van het verslag. In hoeverre dit opweegt tegen de tijdswinst die mogelijk is met bijv. de automatische detectie van bevindingen, is op voorhand lastig in te schatten.

Concluderend kunnen we stellen dat de introductie van artificiële intelligentie in de gezondheidszorg en de radiologie in het bijzonder belangrijke voordelen met zich meebrengt en van grote toegevoegde waarde voor de patiënt kan zijn. Er kan een verdere dosisreductie plaatsvinden, werklijsten kunnen worden geprioriteerd, beslissingsondersteuningssoftware kan continu worden doorontwikkeld en de interpretatie van beelden zal completer worden door de beschikbaarheid van detectiealgoritmen en relevante klinische en diagnostische gegevens. Hiermee is AI een noodzakelijk instrument voor de radiologie om een rol van belang te blijven spelen in het tijdperk van value-based health care.

**Dr. J.J. Visser**

radioloog Erasmus MC Rotterdam

**Dr.ir. S. Klein**

universitair hoofddocent afd. Radiologie en Medische Informatica Erasmus MC Rotterdam

#### Literatuur

- Porter ME, Teisberg EO. Redefining health care. Harvard Business School Press, 2006.
- Porter ME. A strategy for health care reform -- toward a value-based system. *N Engl J Med* 2009;361:109-12.
- Saurabh J. Will computers replace radiologists? *Medscape* May 12, 2016
- Gheiratmand M, Rish I, Cecchi GA, et al. Learning stable and predictive network-based patterns of schizophrenia and its clinical symptoms. *NPJ Schizophr* 2017;3:22.
- Sardanelli F. Exploring the future of radiology. *Health-Management*. 2016;16(3).
- Cross NM, DeBerry J, Ortiz D, et al. Diagnostic quality of machine learning algorithm for optimization of low-dose computed tomography data. *SIIM* 2017.
- Walter M. The future is now: Massachusetts General Hospital embraces deep learning. *Radiology Business* April 17 2017.
- Lu MT, Rosman DA, Wu CC, et al. Radiologist point-of-care clinical decision support and adherence to guidelines for incidental lung nodules. *J Am Coll Radiol* 2016;13:156-62.
- Fornell D. How artificial intelligence will change medical imaging. *ITM* February 24 2017.
- Jha S, Topol EJ. Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists. *JAMA* 2016;316:2353-4.
- Gevaert O, Echevaray S, Khuong A, et al. Predictive radiogenomics modeling of EGFR mutation status in lung cancer. *Sci Rep* 2017;7:41674.





# ScreenPoint Medical ontwikkelt Transpara als hulp voor radiologen bij de beoordeling van mammogrammen



NICO KARSSEMEIJER

ScreenPoint Medical is een spin-off van Radboudumc en is gevestigd in Nijmegen. Het bedrijf werd in 2014 opgericht door Nico Karssemeijer, hoogleraar bij de afdeling Radiologie en Nucleaire Geneeskunde van Radboudumc, en Mike Brady, hoogleraar aan de Universiteit van Oxford. Beiden waren eerder succesvol als medeoprichters van Volpara Health Solutions, een bedrijf dat software voor volumetrische densiteitsmetingen in mammogrammen op de markt brengt. Het doel dat de oprichters met ScreenPoint voor ogen hebben is ontwikkeling van een 'machine learning' product voor verbetering van de radiologische beoordeling van mammogrammen, deels op basis van technieken die in het Radboudumc zijn ontwikkeld. ScreenPoint is in korte tijd gegroeid naar twaalf medewerkers en kan zich verder ontwikkelen door een grote investering in 2016, waarin onder andere de Participatie Maatschappij Oost- Nederland deelneemt.

Met Transpara, het product dat ScreenPoint ontwikkelt, wordt het automatisch lezen van mammogrammen realiteit. Door gebruik te maken van deep learning zijn onderzoekers van ScreenPoint inmiddels in staat computerprogramma's te trainen die mammogrammen even goed beoordelen als ervaren radiologen (zie de bijdrage van Radboudumc in deze

uitgave). De kracht van deep learning schuilt in het feit dat de computer zelf leert welke kenmerken belangrijk zijn voor optimale interpretatie van verdachte gebieden. Veel voorbeelden zijn nodig; daarom besteden medewerkers van ScreenPoint veel tijd aan het verzamelen van beelddata en het zorgvuldig markeren van bekende locaties van borstkanker.

Screeningsmammogrammen waarin borstkanker niet werd gedetecteerd door de radiologen maar achteraf wel te zien was, worden ook gebruikt, omdat veel geleerd kan worden van moeilijke voorbeelden. Meer dan 5000 mammogrammen met borstkanker worden nu gebruikt voor training, meer dan de meeste radiologen ooit zullen zien. Naast deep learning wordt overigens ook nog volop gebruik gemaakt van traditionele technieken. Voorbewerking van de data is belangrijk om ervoor te zorgen dat Transpara goed werkt op beelden van verschillende fabrikanten en onafhankelijk is van de processing die is toegepast. In tegenstelling tot traditionele CAD-systemen heeft Transpara geen ruwe data nodig.

Uiteindelijk is het de radioloog die de beslissingen moet nemen in het bevolkingsonderzoek of in de kliniek. Daarom wordt Transpara aangeboden als een 'decision support' systeem voor de ra- ▶



**Figuur 1.** In Radboudumc wordt Transpara gebruikt bij het beoordelen van mammogrammen. Interactief kan de computer gevraagd worden gebieden te beoordelen. Ook krijgt ieder mammogram een score van 1-10. De meeste mammogrammen met carcinomen vallen in de hoogste categorie, terwijl voor mammogrammen met een lage score de kans op borstkanker uiterst klein is.

dioloog. Radiologen kunnen interactief plekje's aangeven die ze niet vertrouwen. Transpara geeft dan met een numerieke score een 'second opinion'. Hoe hoger de score hoe groter de kans op borstkanker. Het systeem is inmiddels geïnstalleerd in enkele toonaangevende centra in Europa. In Radboudumc wordt het al een jaar gebruikt. Voor de interactieve workflow van Transpara wordt gebruik gemaakt van een tablet voor display van de resultaten (zie *Figuur 1*). Met diverse fabrikanten wordt ook gewerkt aan inte-

gratie van de interactieve decision support in het mammawerkstation.

ScreenPoint heeft ervoor gekozen een sterke focus te leggen op de mammografieapplicatie, maar werkt inmiddels ook hard aan een vergelijkbaar product voor tomosynthese. Er is grote belangstelling voor Transpara, met name in regio's waar goede radiologen schaars zijn. Het vervangen van double reading door een enkele radioloog die met de computer leest ligt dan voor de hand. Maar uitein-

delijk is het te doen om kwaliteitsverbetering. De computer zal in de nabije toekomst even goed of zelfs beter worden dan de beste radioloog. Hiermee kan de grote variatie in de kwaliteit van de beoordelingen verdwijnen. ■

**Prof.dr. N. Karssemeijer**  
ScreenPoint Medical, Stationsplein 26,  
6512 AB, Nijmegen



NICO KARSSEMEIJER



JONAS TEUWEN



SUZAN VREEMANN



RITSE MANN

## Deep learning-technieken voor detectie en diagnose van borstkanker

In de Diagnostic Image Analysis Group (DIAG) van de afdeling Radiologie en Nucleaire Geneeskunde van het Radboudumc ontwikkelen onderzoekers nieuwe technieken voor kwantitatieve interpretatie van radiologische beelden. Een van de toepassingen is het ondersteunen van radiologen bij detectie en diagnose van borstkanker. Deze toepassing sluit goed aan bij de aanwezige expertise op dit gebied in Nijmegen. Radiologen en onderzoekers werken in het onderzoek nauw samen, zowel bij de ontwikkeling als bij de evaluatie. Introductie van deep learning heeft het onderzoek een belangrijke impuls gegeven, en er worden opmerkelijke resultaten mee geboekt. Hieronder volgt een overzicht van toepassingen in mammografie en MRI.

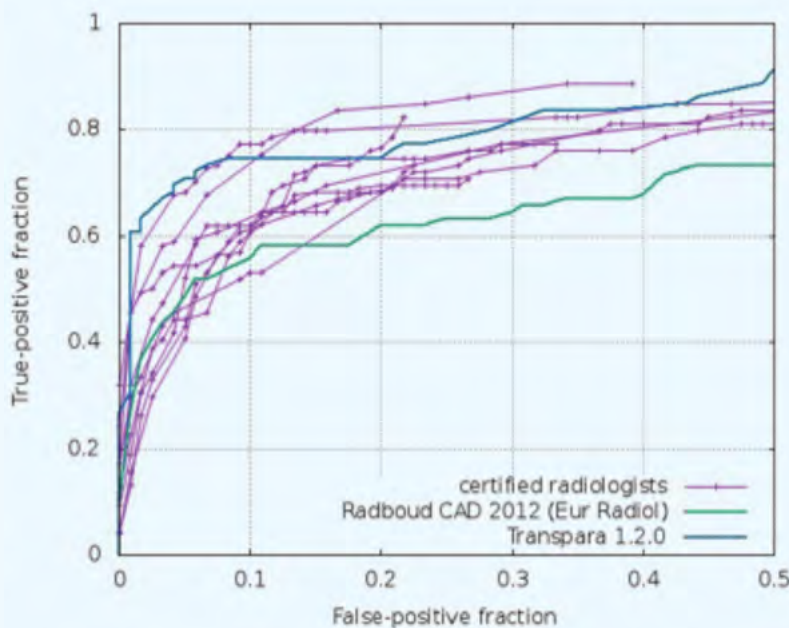
### Mammografie

Beoordeling van mammogrammen is een van de moeilijkste taken in de radiologie, met name in de screening. Zelfs als onderzoeken door twee radiologen worden beoordeeld komt het relatief vaak voor dat borstkanker onopgemerkt blijft. Om de detectie te verbeteren is computerondersteunde detectie (CAD) ontwikkeld. Aangenomen werd dat als CAD verdachte gebieden aanwijst radiologen deze niet over het hoofd zien. In de

praktijk blijkt CAD echter nog niet goed te werken. Door het te grote aantal fout-positieven van CAD hebben radiologen er weinig vertrouwen in.

Niet alleen het aantal fout-positieven van CAD is het probleem. In een grote studie vonden we dat radiologen niet vaak iets over het hoofd zien, maar dat de juiste beoordeling van verdachte gebieden het grote probleem is. Een systeem dat radiologen ondersteunt

bij de beslissing een vrouw al dan niet door te verwijzen bleek veel effectiever te zijn dan een CAD-systeem dat detectiefouten probeert te voorkomen [1]. Dit onderzoek werd uitgevoerd voordat deep learning zijn intrede deed. Het detectiesysteem dat in de studie werd gebruikt was een traditioneel CAD-systeem (Radboud CAD 2012), maar kwam kwalitatief al wel in de buurt in de beoordeling van de radiologen [2]. Inmiddels zijn we met deep learning-technieken veel beter in staat de kans te bepalen dat een verdacht gebied een carcinoom is. Dit wordt geïllustreerd in *Figuur 1*, waarin het traditionele CAD-systeem wordt vergeleken met het op deep learning gebaseerde systeem Transpara, dat wordt ontwikkeld door ScreenPoint Medical op basis van resultaten van het onderzoek in DIAG. In een recent uitgevoerde studie blijkt dat Transpara inmiddels beter presteert dan de meeste radiologen, en dat het systeem vooral bij hoge specificiteit erg goed is.



**Figuur 1.** Negen ervaren radiologen beoordeelden een serie van 200 screeningsmammogrammen, met daarin 80 carcinoemen, zichtbaar als tumorschaduw of architectuurverstoring, en een mix van normale mammogrammen en fout-positieven van de screening. Een deel van de positieven was in de screening gemist, ondanks double reading. In een onderzoek met een traditioneel CAD-systeem bleken de radiologen nog beter te zijn dan CAD. Het deep learning-systeem Transpara presteert nu beter dan de meeste radiologen.

Omdat beslissingen worden genomen door de radioloog willen we graag weten of de effectiviteit van een radioloog verbetert als hij/zij de beslisondersteuning gebruikt. Omdat het niet haalbaar is telkens opnieuw een studie met radiologen uit te voeren zodra er een nieuw algoritme is, hebben we een methode ontwikkeld die het effect van beslisondersteuning nabootst. We maken daarbij gebruik van gedetailleerde rapportages van mammogrammen door radiologen uit eerdere studies, waarbij aan iedere bevinding door de radiologen ook een score op een schaal van 1-100 werd toegekend. We simuleren vervolgens een onafhankelijke 'double reading', waarbij bevindingen van de radiologen en de computer worden gecombineerd door de scores te middelen. In de praktijk blijkt dit het effect van de beslisondersteuning redelijk te benaderen. Het effect van de twee bovengenoemde systemen op de effectiviteit van radiologen is te zien in *Figuur 2*. Alle radiologen (en assistenten) blijken beter te presteren met beide systemen, en de effectiviteit neemt vanzelfsprekend toe naarmate de computer beter wordt. De variatie in de beoordelingen wordt veel kleiner bij gebruik van de ondersteuning, omdat radiologen die minder goed presteren meer baat hebben bij de hulp van de computer.

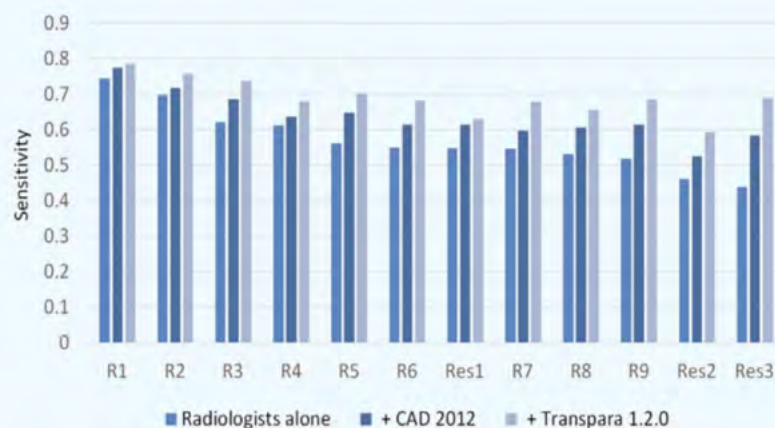
Bij bovenstaande evaluatie werd niet gekeken naar calcificaties. Het detec-

teren en onderscheiden van maligne en benigne calcificaties is ook een probleem dat met kunstmatige intelligentie succesvol wordt aangepakt. In combinatie met de uitstekende herkenning van verdachte densiteiten en architectuurverstoringen leidt dit tot systemen die mammogrammen volledig automatisch beoordelen. Deze hebben nog wel beperkingen. Een daarvan is de vergelijking met voorgaande onderzoeken. In een nieuw project gaan onderzoekers proberen deze beperking weg te nemen door systemen te ontwerpen die verdachte veranderingen kunnen detecteren.

In de komende jaren zal mammografie gaandeweg plaatsmaken voor tomosynthese. Deze techniek is gevoeliger dan mammografie, maar dat betekent niet dat het voor radiologen eenvoudiger wordt om de subtiele afwijkingen die op een carcinoom kunnen wijzen te herkennen. Beoordeling van tomosynthese kost ook meer tijd. In het Radboudumc wordt daarom onderzocht hoe deep learning-technieken kunnen worden toegepast op tomosynthese. Een probleem daarbij is het ontbreken van grote databases met tomosyntheseonderzoeken. Voor mammografie zijn die in de loop van vele jaren opgebouwd, met veel materiaal uit screeningsprogramma's. Omdat tomosynthese nog niet in de screening gebruikt wordt is dat niet voorhanden voor de nieuwe modaliteit. Daarom wordt voorlopig gebruik gemaakt van 'transfer learning'. Hierbij ziet een systeem voorname-lijk gewone mammogrammen als voorbeelden tijdens het leerproces, en wordt het daarna aangepast voor tomosynthese.

## MRI

Mammografie heeft zich al enige decennia bewezen als een kosteneffectieve methode om de mortaliteit bij borstkanker te verlagen. Desondanks komt het toch nog veelvuldig voor dat carcinoemen niet goed zichtbaar zijn op een mammogram. Mammografie is bewezen minder sensitief bij vrouwen met een hoge mammografische densiteit [3]. Carcinoemen kunnen wel met hoge sensitiviteit gedetecteerd worden op borst-MRI-beelden, en daarom worden vrouwen in de hoogste densiteitscategorie (BI-RADS d) in studieverband uitgenodigd voor een complementaire borst-MRI [4]. ▶



**Figuur 2.** Door de bevindingen van radiologen (R) en assistenten (Res) te combineren met de door de computer berekende resultaten voor dezelfde gebieden kan 'decision support' worden gesimuleerd. De resultaten verkregen op basis van de data weergegeven in *figuur 1* laten zien dat alle radiologen beter worden en dat de variatie in de beoordelingen afneemt. Naarmate het decision support-systeem beter is neemt de effectiviteit toe.

Naast het bestuderen van het aantal screeningsgedetecteerde carcinomen en het aantal fout-positieven wordt in deze gerandomiseerde studie ook onderzocht of borst-MRI het aantal intervalkankers kan verkleinen. Een recente studie [5] laat zien dat met de toevoeging van borst-MRI-screening na een negatief screeningsmammogram bij vrouwen zonder verhoogd risico toch nog 15,5 kankers per 1000 gedetecteerd kunnen worden. Helaas is MRI door de hoge kosten die hieraan verbonden zijn nog niet breed toepasbaar als screeningsmiddel bij borstkanker en wordt om die reden alleen toegepast bij vrouwen met een sterk verhoogd borstkankerrisico [6]. De significant langere tijd noodzakelijk voor de evaluatie van een MRI in vergelijking met een mammogram draagt ook bij aan het beperkte toepassingsgebied van borst-MRI bij screening.

De screening van borstkanker met MRI is een lastige taak, die ondanks de hoge sensitiviteit toch ook gepaard gaat met frequente fout-negatieve bevindingen. In tegenstelling tot screening met mammografie wordt er in de recent gepubliceerde auditrichtlijnen voor borst-MRI (ACR) niet gekeken naar eerdere MRI-screeningsrondes bij vrouwen met borstkanker, maar eerdere studies [7,8] hebben aangetoond dat tussen de 47 en 56% van de gedetecteerde carcinomen ook al zichtbaar was tijdens die eerdere screeningsrondes. Onze recent uitgevoerde studie [9] laat zien dat bijna een derde van alle kanker in retrospectief al verdacht was op een eerdere MRI. Niettemin moet dit gezien worden in het licht van een hoge overall sensitiviteit van het screeningsprogramma met MRI (90%) en een acceptabele positief-voorspellende waarde voor biopsieën die thans varieert tussen 14% en 37%, afhankelijk van de

indicatie voor MRI-screening (die lager is bij patiënten met een minder sterk verhoogd risico dan bij patiënten met een BRCA-mutatie) [10].

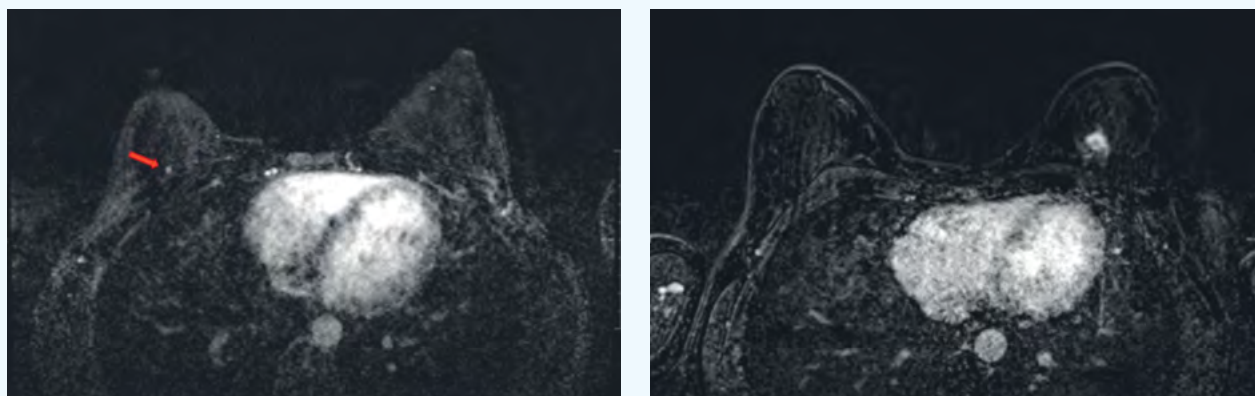
Om de ruimte te vergroten voor MRI binnen de borstkankerscreening ontwikkelen we CAD-systemen gebaseerd op deep learning die de leestijd verkorten, fout-negatieve evaluaties reduceren door radiologen te ondersteunen in hun beslissingen, en ook kunnen helpen het aantal biopsieën voor benigne afwijkingen terug te dringen.

De huidige standaard mamma-MRI bevat multi-pele sequenties en duurt ongeveer 15 minuten. Om MRI meer toegankelijk te maken voor screening moet de techniek echter goedkoper worden, en hiervoor wordt er veel onderzoek verricht naar verkorte MRI-protocollen. In een dergelijk verkort protocol worden wel T1 pre- en postcontrast series vervaardigd in de vroege fase na toediening, maar worden de latere T1w-, T2w- en DWI-scans die vaak in het gehele protocol voorkomen weggelaten en wordt de beoordeling vooral gemaakt op basis van de beschikbare morfologische informatie uit de eerste post-contrast subtractie. Om de evaluatie ook te versnellen wordt in plaats van alle beelden te bekijken een Maximum Intensity Projection (MIP) van dit volume bekeken. Mocht deze verdachte gebieden bevatten, dan wordt alsnog het hele volume bekeken. Hoewel dit de gemiddelde leestijd drastisch verlaagt laten studies wel zien dat het gebruik van de MIP de lees- en interpretatiefouten kan verhogen [11,12]. Het CAD deep learning-systeem dat wij hebben ontwikkeld voor dit doel maakt dan ook gebruik van alle beelden van het verkorte protocol. Onze resultaten laten zien dat een aantal kankers die gemist werden door de radio-

loog door het CAD-systeem wel kunnen worden gedetecteerd. Hiervoor bekeken we kankers die in een vorige screeningronde als negatief (BI-RADS 1 of 2) werden aangemerkt maar in retrospectief toch zichtbaar bleken te zijn, na detectie een jaar later. Het systeem kan de radioloog dus ondersteunen door na een negatieve classificatie de sterk verdachte gebieden aan te merken. Onze voorlopige resultaten laten zien dat voor deze gevallen 70% sensitiviteit gehaald kan worden bij één fout-positieve bevinding per scan (Dalmis 2017, onder review).

In de diagnostische setting willen we met een ander CAD-systeem de beslissing ondersteunen voor het al dan niet afnemen van een biopsie. Net als het vorige systeem is dit systeem geschikt voor een verkort protocol, waarbij het CAD-systeem een maligniteitsscore toekent aan een door de radioloog aangemerkte afwijking. Aangezien dit systeem gebaseerd is op de biopsieresultaten, heeft het de potentie het aantal biopsies te verlagen. Voorlopige resultaten laten zien dat bij een hoge sensitiviteit het mogelijk is om ten minste 20% van de biopsieën te voorkomen. Of verdere uitbreiding met de opnames van het complete protocol dit percentage nog kan verhogen wordt momenteel onderzocht. Twee voorbeelden van MRI-beelden die aanleiding gaven tot een biopsie maar door de computer terecht werden aangemerkt als weinig verdacht zijn te zien in *Figuur 3*.

Gezien onze positieve resultaten verwachten we dan ook dat deep learning verder zal bijdragen aan het breder beschikbaar maken van MRI voor borstkankerscreening. Net als bij mammografie zal de variatie in de beoordelingen verminderen en zullen de resultaten van de screening verbeteren door met name



**Figuur 3.** Twee MRI-opnamen van verdacht aankleurende gebieden die aanleiding waren voor een biopsie. Beide opnamen zijn van jonge vrouwen met een BRCA1-genmutatie. Links een TWIST-opname van een BI-RADS 3 laesie centrodorsaal in de rechterborst die een klein fibroadenoom bleek te zijn. Rechts een VIBE-opname van een BI-RADS 4 laesie. Pathologisch onderzoek wees uit dat dit een ontstoken cyste is. Beide laesies werden door het CAD-systeem als weinig verdacht aangemerkt.

minder ervaren radiologen te ondersteunen bij hun beslissingen. Hier is echter nog verder onderzoek voor nodig. ■

*Dit onderzoek wordt ondersteund door Nederlandse Kankerbestrijding (KUN 2012-557), het Eurostar programma van de EU (project IBSCREEN) en het EU FP7 project VPH-PRISM. Daarnaast wordt voor het mammografieonderzoek dankbaar gebruik gemaakt van screeningsmammogrammen die beschikbaar zijn gesteld door de Stichting Bevolkingsonderzoek Midden-West.*

**Prof.dr. N. Karssemeijer**

**Dr.ir. J. Teuwen**

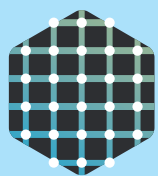
**Drs. S. Vreemann**

**Dr. R. Mann**

Afdeling Radiologie en  
Nucleaire Geneeskunde  
Radboudumc, Nijmegen

#### Literatuur

1. Hupse R, Samulski M, Lobbes MB, et al. Computer-aided detection of masses at mammography: interactive decision support versus prompts. *Radiology* 2013;266:123-9.
2. Hupse R, Samulski M, Lobbes M, et al. Standalone computer-aided detection compared to radiologists' performance for the detection of mammographic masses. *Eur Radiol* 2013;23:93-100.
3. Wanders JO, Holland K, Veldhuis WB, et al. Volumetric breast density affects performance of digital screening mammography. *Breast Cancer Res Treat* 2017;162:95-103.
4. Emaus MJ, Bakker MF, Peeters PH, et al. MR Imaging as an additional screening modality for the detection of breast cancer in women aged 50-75 years with extremely dense breasts: The DENSE trial study design. *Radiology* 2015;277:527-37.
5. Kuhl CK, Strobel K, Bieling H, et al. Supplemental breast MR imaging screening of women with average risk of breast cancer. *Radiology* 2017;283:361-70.
6. Mann RM, Kuhl CK, Kinkel K, Boetes C. Breast MRI: guidelines from the European Society of Breast Imaging. *Eur Radiol* 2008;18:1307-18.
7. Yamaguchi K, Schacht D, Newstead GM, et al. Breast cancer detected on an incident (second or subsequent) round of screening MRI: MRI features of false-negative cases. *AJR Am J Roentgenol* 2013;201:1155-63.
8. Pages EB, Millet I, Hoa D, et al. Undiagnosed breast cancer at MR imaging: analysis of causes. *Radiology* 2012;264:40-50.
9. Vreemann S, Gubern-Merida A, Lardenoije S, et al. The performance of MRI screening in the detection of breast cancer in an intermediate and high risk screening program. Gepresenteerd op ISMRM 2016.
10. Vreemann S, Gubern-Merida A, Schlooz-Vries MS, et al. The influence of risk category and screening round on the performance of anMRI and mammography screening program in BRCA mutation carriers and other women at increased risk. *Radiology* 2017 (in press).
11. Kuhl CK, Schrading S, Strobel K, et al. Abbreviated breast magnetic resonance imaging (MRI): first post-contrast subtracted images and maximum-intensity projection-a novel approach to breast cancer screening with MRI. *J Clin Oncol* 2014;32:2304-10.
12. Mango VL, Morris EA, David Dershaw D, et al. Abbreviated protocol for breast MRI: are multiple sequences needed for cancer detection? *Eur J Radiol* 2015;84:65-70.



aidance



JORIS WAKKIE



MARK-JAN HARTE



JEROEN VAN DUFFELEN

## AI in de Radiologie: de visie van Aidance

### **Wat biedt uw bedrijf op het gebied van AIR?**

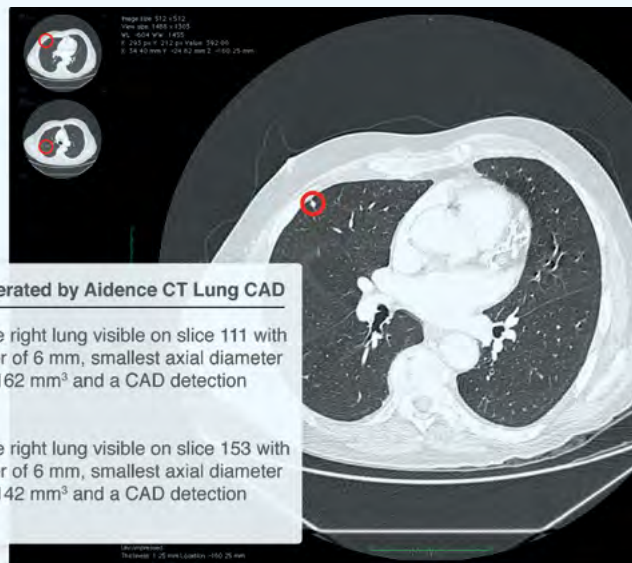
Bij Aidance richten we ons op het ontwikkelen van Computer-Aided Detection and Diagnosis (CAD) software. Deze software heeft als doel om zowel de kwaliteit als de efficiëntie van de beoordeling van radio-

logische beelden te verbeteren. Het eerste product is ontwikkeld om longnodules op CT-thorax te detecteren – hiervoor is de CE-certificering momenteel in behandeling, en we verwachten het product Q4 2017 op de markt te brengen. Momenteel werken wij aan soortgelijke CAD-oplos-

singen voor verschillende aandoeningen op MRI van de knie en de onderrug.

### **Wat maakt uw producten interessant voor de radioloog?**

In tegenstelling tot oudere generaties CAD leveren de producten van Ai- ►



Figuur.

dence zeer accurate detectie en rapportage van medische aandoeningen. Oudere generaties CAD genereerden talloze fout-positieven en belemmerden het werk van de radioloog. Door de hoge accuraatheid bieden de producten van Aidence daadwerkelijk ondersteuning aan de radioloog en maken het mogelijk om beoordelingen te versnellen en de diagnostische accuraatheid te verhogen. De radioloog hoeft geen extra handelingen uit te voeren of andere software te gebruiken; de CAD-producten van Aidence integreren volledig met gebruikelijke RIS en PACS en bieden de diagnostische informatie binnen de bestaande workflow aan.

#### Kunt u wat meer vertellen over de technologie? Hoe werkt AIR eigenlijk?

De onderliggende technologie die wordt toegepast bij de ontwikkeling van de CAD-software is een vorm van AI: deep learning. Deep learning is een techniek die zelfstandig, op basis van een grote hoeveelheid voorbeelden, patronen in beelden leert herkennen. Dit is een wezenlijk verschil met oudere generaties CAD-software waarbij het nodig is om handmatig de kenmerken van deze patronen te programmeren. Omdat de kenmerken van een specifieke aandoening zich op veel verschillende manieren kunnen manifesteren is het onmogelijk om deze handmatig vast te leggen, met vaak tegenvallende resultaten tot gevolg. Door het toepassen van deep learning is het nu mogelijk om al deze kenmerken, zonder handmatige tussenkomst, in de software te verwerken waardoor de accuraatheid van de software substantieel

en continu verbetert. Daarnaast is een ander voordeel van deep learning dat het generiek toepasbaar is en daarom geschikt is voor verschillende aandoeningen op alle beeldvormende modaliteiten.

#### Hoe accuraat zijn uw producten en hoe wordt dit bepaald?

CT Lung CAD, ontwikkeld voor de detectie van longnodules, zal het eerste product worden dat Aidence naar de markt gaat brengen. Deze software is ontwikkeld op basis van 50.000 scans. De sensitiviteit voor het detecteren van longnodules (grootste axiale diameter tussen 5 mm en 30 mm) bedraagt 90%, met een gemiddelde aantal fout-positieven van 1 per studie. Deze resultaten zijn berekend aan de hand van een dataset die in Amerika is ontworpen als state-of-the-art referentiekader voor het ontwikkelen en/of evalueren van CAD-software voor longnodules. De database bestaat uit 1012 CT-scans die via een consensus-based proces door vier ervaren thoraxradiologen zijn geanalyseerd op de aanwezigheid van longnodules<sup>1</sup>.

Inmiddels is het product bij diverse Nederlandse instellingen, een gerenomeerd Academisch Ziekenhuis in de VS en een aantal internationale teleradiologiebedrijven op kleine schaal gevalideerd als onderdeel van CE-certificering. Hieruit is gebleken dat CT Lung CAD in de praktijk zeer goed opereert.

#### Welke samenwerkingsverbanden heeft uw bedrijf met ziekenhuizen?

Om de maximaal toegevoegde waarde

van CAD-software te realiseren is het noodzakelijk de software volledig te integreren in de bestaande workflow van de radioloog. Het is daarom essentieel om nauw samen te werken met radiologen om inzicht te verkrijgen in de workflow en om tevens klinische feedback te ontvangen. Aidence werkt onder meer met prof.dr. Edwin van Beek (hoogleraar klinische radiologie aan de Universiteit van Edinburgh); het MSB van het Haaglanden MC, het Spaarne Gasthuis, Noordwest Ziekenhuisgroep locatie Alkmaar; Telemedicine Clinic en een gerenomeerde universiteit uit Amerika en drie verschillende NHS trusts in Engeland.

#### Wat verwacht u de komende jaren op gebied van AI in de Radiologie (AIR)?

AIR zal in de eerste jaren vooral op zeer specifieke vlakken en binnen een beperkte scope ondersteuning bieden als 'concurrent reader'. Dat wil zeggen dat een CAD-oplossing in de achtergrond meedraait en studies verrijkt met diagnostische informatie, nog voordat de radioloog deze heeft beoordeeld. Tijdens de beoordeling gebruikt de radioloog de diagnostische informatie om de rapportage op te stellen. De radioloog heeft dus het laatste woord.

Het ontwikkelen van AIR-oplossingen gebeurt per pathologie. Het ontwikkelen van een oplossing die in staat is om een volledig diagnostisch rapport te leveren is daarom een lange weg. AIR zal daarom voorlopig enkel een kleine set aandoeningen kunnen rapporteren en geen volledige rapportages leveren.

In de meeste gevallen zal AIR het werk van de radioloog de komende jaren alleen kunnen ondersteunen en niet zomaar vervangen. Kankerscreening is echter een uitzondering. Bij kankerscreening wordt heel specifiek naar één type afwijking gekeken. Hier kan een algoritme heel goed in getraind worden. Of AIR als 'first' reader kan optreden zal afhangen van de vereiste accuraatheid en mate van klinische bewijslast die noodzakelijk is om de Notified Body (keurinstantie voor CE-certificering) en de beroepsgroep te overtuigen.

#### Wat voor uitdagingen zijn er voor AI in de gezondheidszorg?

Om optimaal gebruik te maken van de mogelijkheden van AI en deep learning

<sup>1</sup>S.G. Armato III et al. Lung image database consortium: developing a resource for the medical imaging research community. Radiology 2004;232:739-48.

is het essentieel dat er grote hoeveelheden kwalitatieve en gestructureerde data beschikbaar zijn. Deze data dient uitsluitend de medische beeldvorming en bijbehorende uitslag met betrekking tot de relevante aandoening te omvatten. Persoonlijke informatie over de patiënt is doorgaans niet noodzakelijk voor de ontwikkeling van deep learning CAD-software.

Een aanzienlijk deel van de deep learning expertise bevindt zich buiten de (medische) universiteiten, zoals Aidence. Zorgen over privacy en informed consent vormen vooralsnog vaak onoverkomelijke barrières om medische data beschikbaar te stellen aan partijen die niet gelieerd zijn aan zorginstanties. Gezien de potentieel positieve impact van deep learning op de gezondheidszorg bestaat er een maatschappelijk belang om op een verantwoordelijke wijze dergelijke barrières te overbruggen.

Mr.dr.s. Theo Hooghiemstra, auteur van het gezaghebbende boek *'Handboek over de Wet Bescherming Persoonsgegevens'* en werkzaam voor het adviesbureau PBLQ, stelt dat onder bepaalde condities het

mogelijk is om, zonder toestemming van de patiënt, alle persoonsgegevens volledig en permanent te verwijderen uit medische data. Een dergelijke handeling resulteert in onomkeerbare geanonimiseerde data in de zin van de Europese richtlijn gegevensbescherming 95/46 EG en de Nederlandse implementatie hiervan in de Wet Bescherming Persoonsgegevens. In overeenstemming met de Europese richtlijn en de aankomende Algemene Verordening Gegevensbescherming is het mogelijk om dergelijke onomkeerbaar geanonimiseerde data met derden te delen. Dit zou een enorm positieve impuls geven aan het realiseren van het potentieel van AIR.

Een ander interessant idee is om op basis van 'veronderstelde toestemming', zoals toegepast in de Wetgeving orgaandonatie in België, altijd medische data onomkeerbaar te anonimiseren en publiekelijk beschikbaar te stellen.

**Welk deel/percentage van het investeringsbudget zou een ziekenhuis moeten reserveren voor AIR?**

Momenteel worden CAD- of AIR-oplossingen nog niet standaard vergoed via

verzekeraars. Zodra het eerste product gecertificeerd is zal Aidence met verzekeraars in gesprek gaan over vergoeding. Totdat verzekeraars CAD- of AIR-producten vergoeden dienen ziekenhuizen deze uit eigen budget te bekostigen. Daarbij moet men met name kijken naar potentiële kostenbesparing bij het gebruik van AIR-oplossingen. Die kostenbesparing zal kunnen zitten in verkorte beoordelingstijden of betere diagnostiek. In deze fase is het nog niet mogelijk om een specifiek budget te definiëren. Dat komt omdat kostenbesparingen nog niet zijn aangetoond. Aidence is momenteel met haar samenwerkingspartners studies aan het opzetten om deze kostenbesparing aan te tonen. ■

*Interview afgenomen door PALgra*



HOMER PIEN

## AI als een instrument voor het verbeteren van de klinische kwaliteit en efficiëntie

### Interview met Homer Pien, CTO Diagnosis and Therapy bij Philips

**Wat biedt uw bedrijf op het gebied van AIR?**

We zetten AI al in op tal van fronten in de klinische praktijk. Als we kijken naar de Radiologie en hoe Philips Artificial

Intelligence daar inzet, dan kunnen we twee groepen onderscheiden. Een groep van oplossingen waarbij AI wordt gebruikt richt zich op de operationele efficiëntie en het verbeteren van de work-

flow, terwijl de andere erop is gericht de klinische kwaliteit te verbeteren. Er zijn natuurlijk ook oplossingen die onder de beide categorieën vallen. Bijvoorbeeld, oplossingen die de mogelijkheid bie- ►



Philips AI illustration.

den om automatisch radiologierapporten aan te vullen op basis van informatie over de anatomie, modaliteit en resultaten. Dit zal de efficiëntie verbeteren, de variabiliteit verminderen, nauwkeuriger kwantificering mogelijk maken en de klinische kwaliteit verbeteren.

We hebben ook een product genaamd PerformanceBridge gelanceerd. Deze oplossing met AI integreert tal van services die op de behoeften van een radiologieafdeling anticiperen. Dit is een gebied van AI dat door veel andere bedrijven wordt genegeerd. Onze oplossingen hebben tot doel Radiologen te ondersteunen met zowel diagnoseverbetering als efficiëntiewinst.

### **Bevindt het zich in de ontwikkelingsfase of is het al commercieel verkrijgbaar?**

We hebben al een reeks van oplossingen met AI voor radiologen – of het primaire diagnoseproces – die vandaag beschikbaar zijn en ingezet kunnen worden in de klinische praktijk. AI is een van de vele tools die we in onze producten gebruiken. Wij streven ernaar intelligente producten en oplossingen te maken, maar we benadrukken niet per se het gebruik van AI. Uiteindelijk voorzie ik dat de meerderheid van onze oplossingen gebruik zal maken van AI.

Enkele voorbeelden:

- IntelliSpace Portal 9.0, een platform voor geavanceerde analyse en kwantificatie van medische beelden. Voor een patiënt met laesie op beeld vindt IntelliSpace Portal automatisch dezelfde laesie op voorgaande beelden en kwantificeert de veranderingen over tijd.
- IntelliSpace Genomics, een platform voor de implementatie van geïntegreerde Precision Medicine program-

ma's in de ziekenhuiszorg, en waarmee genomics analytics mogelijk is

- IntelliSite Pathology Solution, voor het digitaliseren van samples van weefsel. Door het inzetten van AI / deep learning en big data analytics kunnen we de efficiëntie verhogen, meer nauwkeurigheid en precisie mogelijk te maken, en pathologen in staat stellen meer detail te onderscheiden.
- Illumeo, een platform voor radiologen. Het brengt alle patiënteninformatie samen op één scherm en combineert geavanceerde analytics met het vermogen zelf te begrijpen welk onderdeel van het lichaam op het beeld wordt getoond en de verdere klinische context. Ons Illumeo-systeem begrijpt naar welke regio van de anatomie wordt gekeken en brengt automatisch de werkstroom naar voren die het meest geschikt is voor die regio.

Dit zijn slechts een paar voorbeelden, en veel andere zijn in ontwikkeling.



Philips ISP 9.0 kwantificeert de kleinste veranderingen over tijd.

### **Welke samenwerkingen heeft u met ziekenhuizen?**

We hebben heel veel samenwerkingsverbanden die er gezamenlijk toe bijdragen dat radiologen hun klinische uitkomsten kunnen verbeteren, terwijl tegelijkertijd de kosten van zorgverlening kunnen worden verlaagd. Een voorbeeld is geïntegreerde diagnostiek, waar we de verschillende diagnostische modaliteiten samenbrengen, zoals beeldvorming, genomics en histopathologie, om zo een holistisch beeld van de patiënt te verkrijgen. Hiervoor werken we o.a. samen met academische partners zoals LUMC Leiden, Stanford, MD Anderson.

Op het gebied van het toevoegen van meer intelligentie aan onze scanmodaliteiten werken we onder andere samen met de Universiteit van Texas, UMC Utrecht en het Barrows Neurological Institute. Bij het kijken naar het verbeteren van workflow en efficiëntie in de medische beeldvorming werken we samen met de Universiteit van Washington en de Canadese provincie Saskatchewan.

Het is de som van al deze relaties waardoor we een complexe en uiteenlopende reeks intelligente radiologieapplicaties kunnen co-creëren, prototypen en valideren.

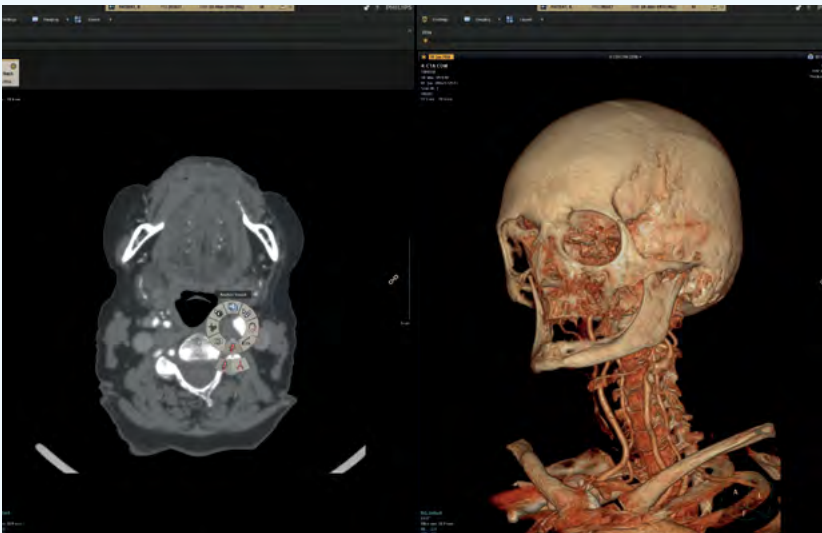
### **Welk percentage wordt geïnvesteerd in AI binnen Philips?**

We zien AI als een van de IT-hulpmiddelen die we kunnen inzetten om onze oplossingen slimmer en intelligenter te maken. We zien AI niet als zelfstandig product. We hebben hiervoor dus geen specifieke investeringscijfers. Wat we wel kunnen delen: 60% van onze me-





Philips IntelliSpace Portal 9.0 maakt gebruik van AI om de radioloog te ondersteunen.



Op basis van beeldanalyse en de klinische context brengt Philips Illumeo automatisch de juiste werkstroom naar voren.

dewerkers werkzaam in R&D werkt aan zorg-IT, en een groot deel van hen werkt aan onderzoek en de ontwikkeling van zinvolle toepassingen van AI in de gezondheidszorg.

#### ***Wat verwacht u de komende jaren van AI in de radiologie?***

Er is veel hype rond AI op dit moment. Veel van de claims – zoals AI zal binnen een paar jaar radiologen vervangen – zien we als onrealistisch.

Wij geloven dat het succes van AI afhangt van de naadloze integratie van AI-technologieën in de bestaande workflow, samen met aantoonbare kostenbesparingen en verbeteringen in de behandeluitkomsten.

Om naadloze integratie te hebben van radiologie en AI moet AI deel uitmaken van de oplossing: het beeldvormingssysteem, het leeswerkstation, het patiëntmonitorsysteem, het pathologiewerkstation,

enz. Kortom, AI moet deel uitmaken van de systemen die vandaag de vitale informatie tonen aan artsen.

In de radiologie zien we een enorme rol voor AI om te helpen met het voorbereiden van medische beelden voor analyse, maar ook om te ondersteunen bij het volgen van richtlijnen, standaardisatieorgaan en te helpen bij vermindering van de kosten van het opnieuw maken van beelden met een onvoldoende beeldkwaliteit.

We zien ook een verdere integratie van diagnostische modaliteiten – de integratie van radiologie met histopathologie en moleculaire pathologie – waar AI helpt bij het verzamelen, integreren en analyseren van grote hoeveelheden gegevens.

De menselijke expert zal een kernrol blijven spelen en de contextuele inzichten leveren met betrekking tot de echte biologische en fysiologische betekenis van verschillende diagnostische informatie en de implicaties daarvan voor ziekteprocessen en behandelingsopties.

#### ***Zijn we iets vergeten?***

Ik denk dat veel mensen de correlatie met causatie verwarren. Er zijn veel AI-bedrijven die simpelweg op zoek zijn naar relaties tussen variabelen, zonder de gezondheidszorgcontext en de biologische en ziektemodellen erbij te betrekken. Op die wijze is het moeilijk om de beloofde voordelen van AI te realiseren. Wij denken dat dit een belangrijk probleem is dat opgelost dient te worden.

*Interview afgenomen door PALgra*

## Bas Idzenga van Siemens Healthineers: Diagnoseverbetering en efficiency dankzij AI



BAS IDZENGA

### *Wat biedt uw bedrijf op gebied van artificial intelligence?*

Op dit moment zit de technologie van AI in veel applicaties binnen onze modaliteiten. Applicaties binnen syngo.via maken al gebruik van AI in de vorm van machine learning. De applicaties zijn 'smart' en leren n.a.v. de beelden die ze processen. Denk hierbij aan het segmenteren van vaten bij cardiologische onderzoeken. Daarnaast is AI een breed begrip en wordt er in de volle breedte op ingezet. Een voorbeeld hiervan is de nieuwe business unit Digital Health Services waarmee Siemens Healthineers haar klanten ondersteunt op het gebied van value-based healthcare, population health management en healthcare IT. Artificial intelligence en data analytics nemen hier een belangrijke plaats in. De algoritmen die wij hiervoor ontwikkelen helpen de medisch specialist om sneller een diagnose te kunnen stellen uit de grote hoeveelheden data die beschikbaar zijn.

### *Is het voornoemde gericht op diagnoseverbetering, efficiencywinst of beide?*

De ontwikkeling van AI richt zich op zowel diagnoseverbetering als efficiëntie van de zorg. Door de grote hoeveelheden data is ondersteuning in het leggen van verbanden tussen de data cruciaal geworden. Lang niet alle beschikbare data wordt gebruikt voor het stellen van een diagnose of het optimaliseren van de processen in een ziekenhuis. Door meer informatie te halen uit de beschikbare data kunnen we in de toekomst eerder actie ondernemen bij bepaalde ziektebeelden zodat de patiënt sneller en beter geholpen kan worden.

Naast de medische data die een ziekenhuis produceert is er ook een grote hoeveelheid data 'achter' de medische data beschikbaar, waar eveneens data analytics op toegepast kan wor-

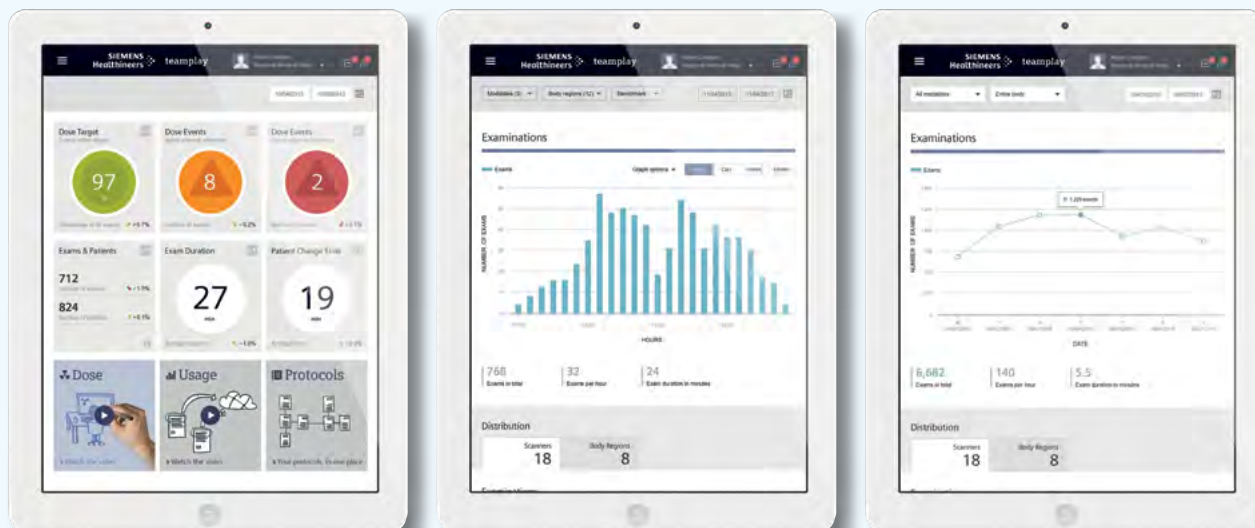


den. Op de HIMSS heeft Siemens Healthineers het Digital Eco System gelanceerd. Dit platform is ontworpen als een soort appstore voor de zorg. Om te beginnen hebben we daar eigen apps ingezet zoals teamplay, waarmee een ziekenhuis op basis van key metrics – zoals bezettingsgraad, onderzoektijden, wisseltijden en gegevens over stralingsdosis – de prestaties van het beeldvormend wagenpark kan monitoren. Door realtime inzicht te krijgen in wat er gebeurt is er een enorme winst te behalen: in efficiency, op kostenniveau maar ook zeker in de kwaliteit van behandeling. Dus de patiënt profiteert er direct van. Maar dat is maar één mogelijke toepassing.

Het platform is erop ontworpen om breder ingezet te worden, juist ook door andere app-ontwikkelaars en door koppelingen met andere databases te creëren. Zo kan er nog veel meer informatie verkregen worden door bijv. een database met demografische gegevens te koppelen aan het Eco Sytem. Een ziekenhuis kan tijdig inspelen op de toekomstige zorgbehoeften van de bevolking in de omgeving. Met het Siemens Healthineers Eco System creëren we een dashboard waarop alle medische informatie beschikbaar komt – klinische data, maar ook informatie met betrekking tot systemen, opleidingsniveaus van medewerkers en inzage in de laboratoriumapparatuur.

### *Bevindt het zich in de ontwikkelingsfase of is het reeds commercieel verkrijgbaar?*

Op dit moment zijn veel AI-applicaties commercieel verkrijgbaar en wordt er continu gewerkt aan nieuwe toepassingen en oplossingen voor deze technologie, zoals data analytics-pro-



Siemens Healthineers Eco System.

jecten en klinische beslissingsondersteuning. Ook de digitale infrastructuur die benodigd is voor AI en het samenvoegen van data is commercieel beschikbaar. Afhankelijk van de klinische vraagstelling kunnen wij custom-made oplossingen aanbieden voor onze klanten. Het Digital Eco System zal naar verwachting eind 2017 commercieel verkrijgbaar zijn.

#### **Welke samenwerkingsverbanden heeft uw bedrijf met ziekenhuizen?**

Siemens Healthineers heeft wereldwijd verschillende samenwerkingen met ziekenhuizen. In Nederland werken we al samen met twee universitaire ziekenhuizen. Samenwerking op klinisch gebied is van groot belang om de klinische behoefte op het gebied van AI te kunnen beantwoorden en de zorgprofessional en de patiënt optimaal te kunnen ondersteunen.

#### **Welk deel/percentage van het investeringsbudget zou een ziekenhuis moeten reserveren voor AI?**

Dit is moeilijk te beantwoorden en is heel erg afhankelijk van de wensen, eisen en klinische vraagstelling die beantwoord moet worden. Feit is wel dat steeds meer ziekenhuizen investeren in AI, value-based healthcare en data analytics.

#### **Wat verwacht u de komende jaren op gebied van AI?**

We zien een duidelijke switch naar kwantitatieve beeldvorming, imaging biomarkers en oplossingen voor klinische beslissingsondersteuning. Artificial intelligence zal in zijn vele vormen steeds meer toegang vinden tot de healthcare markt. Siemens Healthineers zal zorgverleners en patiënt ondersteunen met het beantwoorden van klinische vraagstellingen m.b.v. data analytics op

het gebied van imaging, maar zeker ook met alle andere beschikbare data, zoals lab data en wearables. Om deze stap te maken zullen we de data ook steeds beter moeten kunnen ontsluiten. Niet alleen de beelden van radiologie, maar alle beschikbare data zal samengevoegd moeten worden. Op deze manier hebben de patiënt en de zorgverlener toegang tot alle beschikbare en relevante data. Ook op dit vlak kan Siemens Healthineers haar klanten ondersteunen met verschillende oplossingen op het gebied van VNA (Vendor Neutral Archive) en Ehealth.

#### **Zijn we nog wat vergeten?**

Artificial intelligence zal steeds breder worden ingezet. We zitten in de overgang van een 'fee for service' naar 'value-based' healthcare model. Wij zien nu vraagstellingen van klanten die zeer specifiek zijn op een bepaald ziektebeeld, of bepaalde workflow.

Ook specialisaties die voorheen niet onze primaire klanten waren benaderen ons voor data-analyse- projecten. De vraag naar data analytics groeit enorm, vooral de combinatie van imaging-, lab- en andere medische data. De combinatie hiervan zal er in de toekomst voor zorgen dat de medisch specialist sneller kan ingrijpen bij bijv. chronische aandoeningen en minder tijd hoeft te besteden aan het bestuderen van al deze data.

Interview afgenomen door PAIgra





GUIDO GEERTS

## CAD4TB: Computer leest digitale thoraxfoto

Tuberculose (TB) staat nog steeds in de top tien van doodsoorzaken wereldwijd, hoewel vrijwel iedereen die aan de ziekte lijdt te genezen is met een antibioticabehandeling van slechts tien dollar. Vroege opsporing is daarom de sleutel om de epidemie van deze zeer besmettelijke ziekte terug te dringen. Vijf jaar geleden kwam de GeneXpert machine op de markt, waarmee binnen twee uur DNA-fragmenten van *Mycobacterium tuberculosis* in sputum kunnen worden opgespoord. Juist nu deze test furore maakt en steeds beter en sneller wordt, neemt wereldwijd de interesse toe om de ouderwetse thoraxfoto weer in te zetten als eerste test. De combinatie van digitale X-ray – waarmee grote groepen snel en zeer goedkoop gescreend kunnen worden – en een sputumtest bij iedereen met een afwijking op de thoraxfoto, lijkt de ideale manier om grootschalig te screenen.

### Comeback van de röntgen-apparatuur

Delft Imaging Systems heeft al vele jaren ervaring met het opzetten van X-ray screening in Afrika en Azië, zowel met mobiele apparatuur, die meegenomen kan worden in een flight case in de kofferbak, als met containers die makkelijk verplaatst kunnen worden en die een complete kleine kliniek vormen. Met digitale röntgenapparatuur zijn geen films

meer nodig, en dat maakt de variabele kosten erg laag. De bottleneck vormt nu vooral het gebrek aan expertise om de foto's te beoordelen. TB herkennen voor 'niet geoefenden' is een lastige klus. En juist in rurale gebieden, waar TB nog niet onder controle is, zijn geen radiologen of zelfs clinical officers die ervaring hebben met het beoordelen van thoraxfoto's.

Daarom heeft Delft Imaging Systems ja-

renlang samengewerkt met het Radboud UMC om software te ontwikkelen die het digitale röntgenbeeld van de longen automatisch op de aanwezigheid van TB analyseert. De groep van professor Bram van Ginneken bouwde daar voort op onderzoek dat twintig jaar geleden al gestart is, toen nog met Oldelft, een voorganger van Delft Imaging Systems, en de medische beeldverwerkingsgroep van het UMC Utrecht waar Van Ginneken destijds werkzaam was.

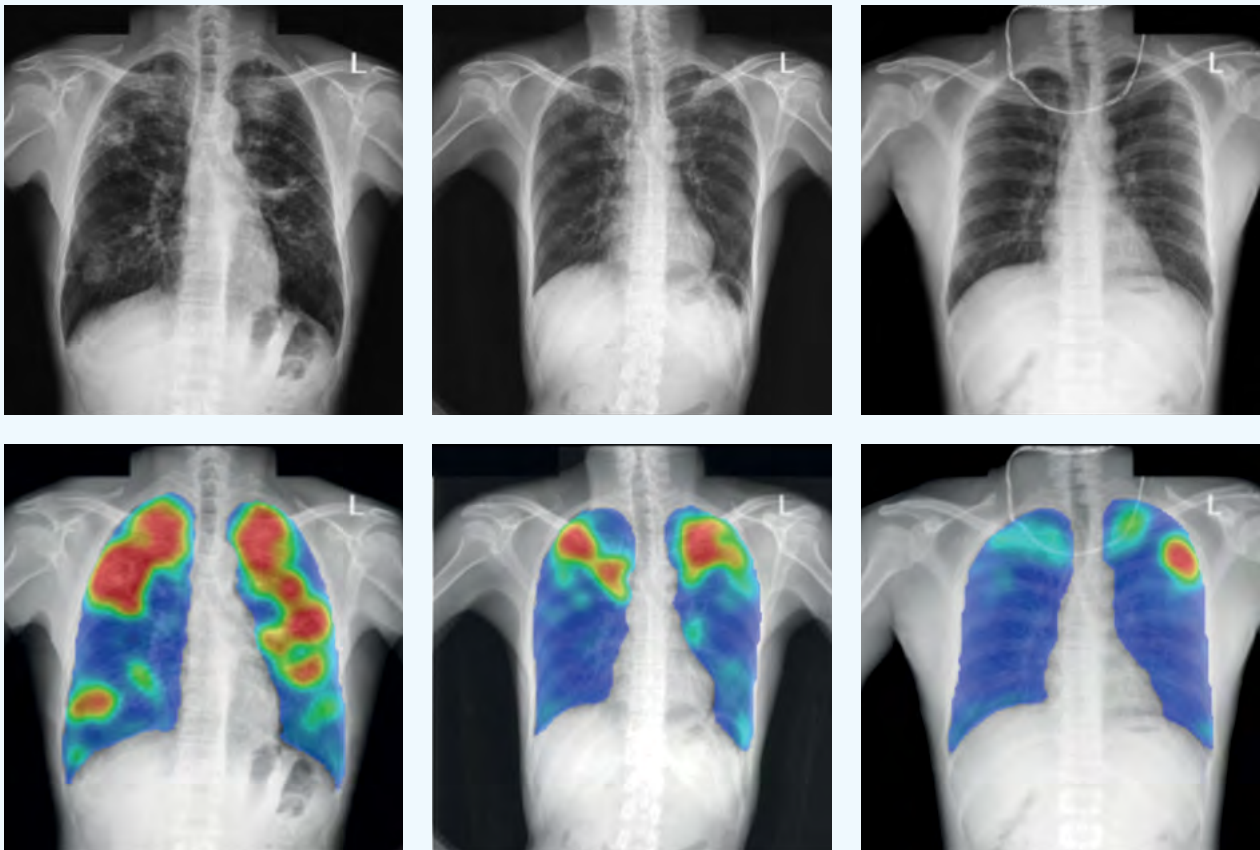
De zogenaamde CAD4TB (Computer Aided Detection for Tuberculosis) software, beschreven in meer dan dertig publicaties, presteert nu zo goed dat de WHO het heeft opgenomen in haar richtlijnen. Sinds 2014 is de software ook CE-gecertificeerd, een vereiste voor medische producten. Een prevalentieonderzoek in Namibië en Mozambique vertrouwt op CAD4TB. Daarbij wordt iedereen met een CAD4TB-score boven een drempelwaarde direct met GeneXpert getest, en dat scheelt veel tijd en veel geld.



**Figuur 1.** Prevalentieonderzoek in Gambia met digitale mobiele röntgenapparatuur die in een minuut in- en uitgeklapt kan worden en in een stevige flight case verpakt zit, passend in de achterbak van een auto. De beelden zijn meteen beschikbaar op de laptop.



**Figuur 2.** De OneStopTB-kliniek voor UNDP Sudan.



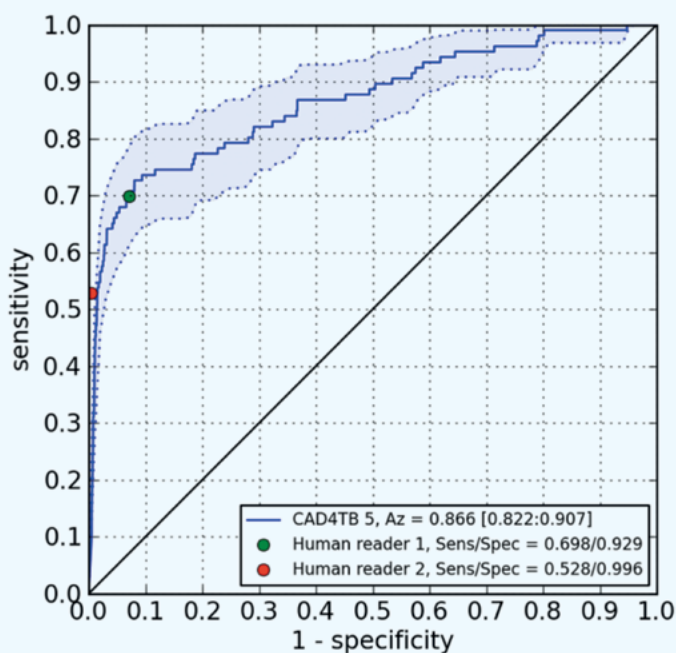
**Figuur 3.** Voorbeelden van thoraxfoto's en de heat map die CAD4TB produceert. Van links naar rechts is de score van de beelden 96, 80 en 69.

### Nieuwe ontwikkelingen

De combinatie van CAD4TB en GeneXpert heeft ertoe geleid dat Delft Imaging

Systems met een nieuw ontwerp een totaaloplossing voor TB-screening ontwikkeld heeft met digitale röntgenappa-

ratuur, inclusief containers op vrachtwagens (*Figuur 1 en 2*) die als kleine mobiele klinieken werken (OneStopTB-kliniek) en de mogelijkheid de digitale beelden via het telefoonnetwerk te verzenden. Evaluaties en publicaties over tests in Zambia, Gambia, Tanzania, Zuid-Afrika, Engeland, Bangladesh, Pakistan en de Filippijnen laten zien dat CAD4TB even goed is in het beoordelen van foto's als clinical officers en dat het verschil met radiologen klein is (zie *Figuur 4*). Thirona, een spin-off bedrijf van het Radboud UMC, ontwikkelt de software nu verder. De volgende versie zal gebaseerd zijn op deep learning en is geoptimaliseerd om overweg te kunnen met beelden van veel verschillende soorten röntgenapparatuur.



**Figuur 4.** Berekend met TB prevalentiedata uit Zambia. ROC-curve van het computersysteem berekend met TB prevalentiedata. Schaduwrijk gebied is de 95% CI van de TB prevalentiedata. De punten van Human reader 1 en 2 geven resp. de prestaties van een clinical officer en radioloog aan. ROC= Receiver Operating Characteristic; CI= Confidence Interval; Az= Oppervlakte onder de ROC curve (score tussen de 0 en 1, hoe dichterbij de 1 des te beter, 1 betekent perfecte classificatie); Sens= Sensitiviteit (proportie van de positieve beelden, correct gelabeld als positief); Spec= Specificiteit (proportie van de negatieve beelden, correct gelabeld als negatief).

### G. Geerts MSc

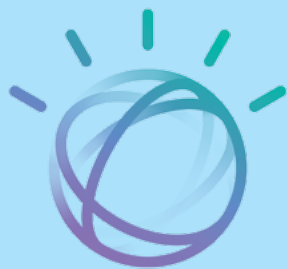
President & CEO of Delft Imaging Systems

### Prof.dr. B. van Ginneken

afd. Radiologie & Nucleaire Geneeskunde, Radboudumc Nijmegen

### M. Harbiye MSc

International project manager, Delft Imaging Systems



NICKY HEKSTER

## Het perspectief van IBM op AI in de Radiologie

Van alle wetenschappen is de geneeskunde een van de jongste. De laatste zestig jaar kenmerken zich echter door nieuwe ontdekkingen, inzichten, voortgang op het gebied van de genetica, geneesmiddelen, medische en ICT-technologie, waardoor de geneeskunde en daarmee de gezondheidszorg totaal zijn veranderd. De geneeskunde is in feite tot een kunst veranderd om extreme complexiteit te managen [1]. Immers, volgens recente publicaties van de WHO zijn er thans zo'n 13.000 ziekten, syndromen en verwondingen bekend, worden deze aandoeningen met ongeveer 7000 soorten geneesmiddelen bestreden, bestaan er om en nabij 7000 soorten zeldzame ziekten en daarnaast naar schatting 4000 medische en operatieve protocollen. Voegt men daaraan toe de tussen de 20.000 en 25.000 bekende humane genen en de 1,8 miljoen medische publicaties die per jaar verschijnen, dan kan men zich afvragen of deze datacomplexiteit niet voorbijgaat aan het menselijk cognitief vermogen. Zijn artsen in dit complexe speelveld, waarbij bijv. meerdere chronische aandoeningen zich voordoen en onverwachte effecten van combinaties van geneesmiddelen opduiken, nog wel in staat om tijdig de juiste diagnose te stellen of een correcte behandeling voor te schrijven?

### Big Data

De ICT heeft bijgedragen aan het feit dat er sinds 2012 een verbluffende hoeveelheid van 2,5 miljoen terabytes ( $2,5 \times 10^{18}$ ) per dag aan data wordt gegenereerd – dat is per etmaal ongeveer 1000 keer de informatie die in de British Library ligt opgeslagen! De ontwikkelingen worden samengevat onder de naam Big Data, een generieke naam voor dataverzamelingen die zo volumineus, gevarieerd en complex zijn dat traditionele ICT-systemen en toepassingsprogrammatuur tekortschieten. Dit heeft onder meer te maken met het feit dat het grootste gedeelte van de data niet getabelleerd of gestandaardiseerd, maar *ongestructureerd* is – denk daarbij aan vrije tekst, video, MRI-scans, digitale foto's, ECG's, spraakfragmenten, medische foto's, etc. Het is uitermate lastig om in deze gegevenszee verban-

den te leggen en zo kennis en uiteindelijk wijsheid te duiden, niet in de laatste plaats omdat de betrouwbaarheid van de data vaak te wensen overlaat [2].

In de zorgsector is de dataprolieratie substantieel: er wordt door professionals van oudsher veel van voorgenoemde datatypen geproduceerd. Daarnaast beschikken patiënten tegenwoordig ook over tal van mogelijkheden om hun eigen gezondheidsdata te genereren. De grote uitdaging ligt derhalve in het op een veilige, transparante en betrouwbare manier ophalen van inzichten uit de veelheid en verscheidenheid van al deze data.

### Watson, Kunstmatige Intelligentie en Machine Learning

Onder de naam *Watson* (genoemd naar

de oprichter van IBM, Thomas J. Watson Sr.) heeft IBM in 2011 een open technologieplatform gecreëerd [3], dat nu en in de toekomst beide voornoemde perspectieven bijeenbrengt en de geneeskunde zowel voor de professional als de patiënt preciezer en persoonlijker maakt. Met dit hulpmiddel is de mens in staat om de eerdergenoemde extreme complexiteit althans voor een deel te beheersen: Watson kan bijv. ingezet worden als een intelligente assistent, die de arts op het gebied van diagnostiek veel denk- en onderzoekwerk uit handen neemt en daarnaast behandelopties suggereert.

De Watson-technologie wordt overigens niet alleen in de gezondheidszorg, maar in tal van andere sectoren toegepast. Zo weet Watson ook in de levenswetenschappen en farmacie, financiën, bouw, onderwijs, industrie en zelfs in kunst en cultuur zijn weg te vinden. Watson is gebaseerd op onder andere technieken uit de wereld van de Kunstmatige Intelligentie (KI), een onderdeel van de computerwetenschappen die de cognitieve eigenschappen van de mens, zoals redeneren, leren of het begrijpen van natuurlijke taal of spraak, probeert na te bootsen in machines. Vandaar dat IBM spreekt van *Cognitive Computing*.

Reeds vanaf het begin van de jaren tachtig was IBM actief op het gebied van *Natural Language Processing* en *Computational Linguistics*, onderzoek waarvan Watson nu de vruchten plukt. Het vakgebied KI is eigenlijk veel ouder en gaat zelfs terug tot Aristoteles, die de eerste stappen zette op het gebied van menselijk redeneren en de logica. De term



Arts gebruikt Watson.

*Machine Learning* werd in de jaren vijftig door de IBM-er Arthur Samuel gelanceerd toen hij een damprogramma ontwikkelde dat steeds beter werd door heel veel partijen ermee te spelen. Later ontwikkelde IBM de schaakcomputer *Deep Blue*, die de grootmeester Gary Kasparov versloeg (1997).

Veel van de huidige KI-applicaties maken gebruik van deze machine learning-technieken en mathematische algoritmen, veelal gebaseerd op kansrekening. Hierbij is het essentieel, naast benchmark data, veel geannoteerde of gelabelde en opgeschoonde data te hebben om een systeem ermee te kunnen trainen.

### Niet Mens vs. Machine, maar Mens mét Machine

Het doel van KI en cognitieve systemen die door IBM worden ontwikkeld en toegepast, is het vergroten van de menselijke intelligentie – *Intelligence Augmentation*. De technologie, producten, diensten en beleid worden ontworpen om menselijke capaciteit, expertise en potentieel te vergroten en op te schalen. Dit beleid is niet alleen uit principe, maar is ook gebaseerd op wetenschap. Het is niet realistisch te veronderstellen dat cognitieve systemen een bewustzijn of onafhankelijk gedrag zullen vertonen. In plaats daarvan worden ze steeds meer ingebed in de processen, systemen, producten en diensten op basis waarvan een bedrijf of onze samenleving functioneert, hetgeen allemaal onder de controle van de mens zal en moet blijven.

### Watson Health

In april 2015 richtte IBM een nieuwe divisie op, genaamd IBM Watson Health, gericht op de toepassing van de technologie op het gehele ecosysteem van de zorg, met als missie “to improve lives and enable hope”. IBM Watson Health beschikt over een rijk portfolio van producten die zich laten rangschikken naar *Value Based Care*, *Life Sciences*, *Oncology* en *Genomics*, *Imaging* en *Consumer*. Watson Health investeerde in de afgelopen jaren in de overname van vijf bedrijven uit het zorgveld, die elk een schat aan data meenamen. Onder andere maakt nu Merge, een bedrijf dat gespecialiseerd is in medische beeldvorming, onderdeel uit van de nieuwe divisie. Met de komst van Merge beschikt IBM Watson Health over een grote hoeveelheid geanonimiseerde trainingsdata voor Watson.

### Medical Imaging

Als gevolg van technologische ontwikkeling is de precisie van beeldvormende medische systemen enorm verbeterd. Die vooruitgang heeft geleid tot exponentiële groei in medische beeldgegevens met een toenemend aantal beelden per onderzoek, een groeiend aantal onderzoeken per populatie en een dalende vergoeding per procedure, hetgeen tevens een toenemende vraag naar doelmatigheid, doeltreffendheid en kwaliteit impliceerde.

Watson Health Imaging is voornemens om in de komende jaren oplossingen te introduceren die gestructureerde en on-

gestructureerde patiënten-, populatie- en medische onderzoeksdata analyseren, die zich nu vooral binnen losgekoppelde silo's bevinden. Het streven is om beschikbare informatie te organiseren en te presenteren op een contextueel relevante, waarschijnlijkheidgestuurde manier om zorgverleners op een objectieve manier te helpen, via hun werkstation of daar waar de zorg plaatsvindt (*point of care*).

### Watson Health Medical Imaging Collaborative

In 2016 creëerde IBM de *Watson Health Medical Imaging Collaborative* [4], een wereldwijd initiatief dat bestaat uit meer dan zestien leidende zorginstellingen, academische medische centra, ambulante radiologieleveranciers en beeldvormende technologiebedrijven. Het gemeenschappelijke doel is om cognitieve beeldvorming in de dagelijkse praktijk te brengen om artsen te helpen bij de behandeling van borst-, long- en andere kankersoorten, diabetes, oogziekten, hersenziekten, en hart- en vaatziekten. In 2017 is dit initiatief met acht nieuwe partijen uitgebreid [5].

### IBM Watson Imaging Clinical Review

Watson Imaging Clinical Review is het eerste commercieel verkrijgbare cognitieve product ter ondersteuning van medische beeldvorming, een hulpmiddel dat orde schept in de zee van gegevens rondom een patiënt. Het is ontworpen om kritieke discrepanties tussen de klinische diagnoses van een patiënt en zijn of haar administratieve gegevens met elkaar in overeenstemming te brengen (*reconciliation*) en fouten of inconsistenties te signaleren. Daarmee helpt het niet alleen bij betere en meer geïnformeerde besluitvorming, maar ook bij het corrigeren, aanvullen en dus opbouwen van een nauwkeuriger patiëntdossier m.b.v. gegevens die anders niet aan het licht waren gekomen. Daarbij wordt onder meer gebruik gemaakt van het eerdergenoemde Natural Language Processing om zowel gestructureerde als ongestructureerde gegevens te lezen, in context te interpreteren, verbanden op te merken en zo zinvolle informatie te extraheren. Aldus worden klinische rapporten met elkaar vergeleken, in combinatie met de episodes met attentiewaarde – de zgn. EPD- probleemlijsten –, medicatieoverzichten, comorbiditeit en de geregistreerde diagnoses. De gebruiker van de software is daarbij in staat om de correcte informatie terug te voeren naar, c.q. toe te voegen aan het EPD. ►

### Aortastenose

In een retrospectieve haalbaarheids-test van Watson Imaging Clinical Review werden 1129 patiënten onderzocht die mogelijk gevaar liepen een aortastenose (AS) te hebben. De test liet zien dat de zorgaanbieder op basis van het EPD in staat was om 421 AS-risicopatiënten te identificeren. Echter, met behulp van cognitieve tekstanalyse, stelde IBM aan de hand van het echocardiogram en bijbehorende annotatie vast dat nog eens 23% van dit cohort in de gevarenzone zat. Deze bevindingen waren niet gedocumenteerd in het EPD.

### De Cognitieve Radiologie Assistent – de Medical Sieve, een IBM Research Project

Statistieken tonen aan dat gedurende de werkdag bij radiologen oogvermoeidheid toeneemt en alertheid afneemt, omdat zij immers een groot aantal beelden per dag visueel inspecteren. Een radioloog op een SEH beoordeelt soms zo veel als 200 gevallen per dag, en enkele van deze beeldvormende studies, in het bijzonder buik/bekken/benen CT-angiografieën, kunnen wel 3000 beelden per studie bevatten.

Vanwege deze enorme volumina aan data en tegelijkertijd de beperkte hoeveelheid klinische informatie die beschikbaar is als onderdeel van dergelijke studies, kunnen diagnostische fouten ontstaan, met name met betrekking tot toevallige diagnoses.

MedicalSieve is een beeldgeleid systeem dat fungeert als een medische zeef die de essentiële klinische patiëntinformatie filtert die artsen ter beschikking moeten hebben om goed geïnformeerd een diagnose te kunnen stellen of een behandelplan te construeren. Het systeem is in staat om klinische gegevens, onder meer m.b.v. HL7- en DICOM-adapters, over de patiënt uit een verscheidenheid aan informatiesystemen in een ziekenhuis te verzamelen, zoals uit het EPD, apotheek, laboratorium en radiologie/cardiologie PACS-systemen. Het maakt dan vervolgens gebruik van geavanceerde medische tekst- en beeldverwerking, patroonherkenning en machine learning-technieken, gestoeld op geavanceerde klinische kennis, om data over de patiënt tot zinvolle samenvattingen te verwerken en daarbij anomalieën aan te geven.

Medical Sieve vormt een noviteit op het gebied van diagnostische interpretatie

bij medische beeldvorming. De volgende gebruikscenarië's zijn reeds ontwikkeld:

- de eerste volledig automatische spatio-temporele coronaire-stenose-detectie en lokalisatie uit 2D röntgen-angiografiestudies;
- nieuwe methoden voor zeer nauwkeurig onderscheid tussen goedaardige en kwaadaardige tumoren t.b.v. mammografie, c.q. automatische morfologie, detectie en classificatie van micro- en macrocalcificaties, automatische generatie van BI-RADS-scores, semantische technieken om vanuit de beelden annotaties in het juiste lexicon te melden;
- eerste geautomatiseerde productie van het AHA guideline 17-segmentmodel voor cardiale MRI-diagnose.

Kortom, met deze Cognitieve Radiologie Assistent stellen zorgprofessionals nog steeds de diagnose, maar wordt de meest relevante informatie slim en snel bijeengebracht om enerzijds de beslissingen te verbeteren, minder fouten te maken of te voorkomen dat zaken over het hoofd worden gezien, en anderzijds hun werkdruk te verlichten. Tijdens de afgelopen RSNA 2016 is een en ander uitgebreid aan de orde gekomen en gedemonstreerd, zie [7].

### Slotwoord

Uit de statistieken van MEDLINE/PubMed blijkt [8] dat in hun database in 2016 er ruim 23 miljoen artikelen geregistreerd waren, met een toename van ruim 1,1 miljoen t.o.v. 2015. Omgerekend betekent dit dat er gemiddeld elke 30 seconden een nieuwe medische citatie werd toegevoegd; en die tijdspanne zal steeds korter worden. Hoe kan hiermee een zorgprofessional of bijv. een medisch onderzoeker een vakgebied bijhouden, de juiste diagnoses stellen en doeltreffende, gepersonaliseerde behandelingen voorschrijven? Technieken uit KI bieden soelaas, en er is een groot aantal zorgen researchinstellingen die de weg naar Deep Learning, Natural Language Processing, etc., etc. reeds hebben gevonden. IBM's Watson for Oncology wordt in diverse landen gebruikt [9], naast Watson for Genomics of Watson for Clinical Trial Matching, allemaal producten gebaseerd op KI-technologie. Maar, met diezelfde technieken worden ook melanomen aangepakt [10] en ziekten als bijv. ALS [11] en schizofrenie [12]. Kortom, het vergroten van de menselijke intelligentie, c.q. medische inzichten op basis van KI, is allang begonnen. Uiteraard zijn

er de nodige klinische studies gaande en voltooid om na te gaan of deze producten concordant zijn met de gouden klinische standaarden en vigerende protocollen [13]. Ook is er een kentering in de opleidingen, die in de nabije toekomst de grote leemte van clinical data scientists gaat opvullen. Met het hergebruik van de kennis van medici en het hertrainen van de systemen zullen deze op den duur veel beter worden en een waardige assistent vormen van de radioloog of onderzoeker.

Concluderend: het heeft er alle schijn van dat de radiologen die KI-technieken omarmen hun collega's die dat niet wensen te doen, op den duur zullen vervangen. ■

### Dr. N.S. Hekster

IBM Watson Health

### Literatuur

1. Gawande A. The Checklist Manifesto (2009). <http://atulgawande.com/book/the-checklist-manifesto/>
2. Croonen H. Big data in de zorg: niet alleen verzamelen, Med Contact 8 jan 2015:23-6.
3. Kelly JE. Computing, cognition and the future of knowing (2015). [https://www.research.ibm.com/software/IBMResearch/multimedia/Computing\\_Cognition\\_WhitePaper.pdf](https://www.research.ibm.com/software/IBMResearch/multimedia/Computing_Cognition_WhitePaper.pdf)
4. Medical Imaging Leaders Tap IBM and Watson to Tackle Cancer, Diabetes, Eye Health, Brain Disease and Heart Disease (2016). <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/49985.wss>
5. Watson Health Medical Imaging Collaborative Expands to 24 Members; IBM Debuts Watson Imaging Clinical Review, the First Cognitive Imaging Offering (2017). <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/51643.wss>
6. IBM Watson Health. <https://www.ibm.com/watson/health/>
7. IBM Researchers Bring AI to Radiology at RSNA 2016. <https://www.ibm.com/blogs/research/2016/11/ai-radiology/>
8. National Library of Medicine, Detailed Indexing Statistics. [https://www.nlm.nih.gov/bsd/index\\_stats\\_comp.html](https://www.nlm.nih.gov/bsd/index_stats_comp.html)
9. Watson for Oncology. <https://www.ibm.com/watson/health/oncology-and-genomics/oncology/>
10. Outthink Melanoma. <https://www.ibm.com/cognitive/au-en/melanoma/>
11. Barrow identifies new genes responsible for ALS. <http://www.pnewswire.com/news-releases/barrow-identifies-new-genes-responsible-for-als-using-ibm-watson-health-300378211.html>
12. How AI and Machine Learning are Aiding Schizophrenia Research. <https://www.ibm.com/blogs/think/2017/07/ai-schizophrenia-research/>
13. At ASCO 2017 Clinicians Present New Evidence. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/52502.wss>





ARTHUR POST UITERWEER



WIRO NIESSEN

# Drie manieren waarop machine learning het leven van een radioloog makkelijker maakt

De komende 24 maanden zal evenveel digitale medische beelddata gegenereerd worden als in de hele medische geschiedenis tot nu toe. Dit komt onder andere door een toename van screeningsonderzoek en de opmars van geavanceerdere apparatuur die zowel het scannen op hoge resolutie als het verzamelen van additionele informatie, zoals functionele informatie, routinematig mogelijk maakt. De werkdruk van de radioloog zal hierdoor sterk toenemen. Er is veel meer data beschikbaar per patiënt, en radiologen worden geacht alle relevante data te overzien bij het maken van de diagnose. Wat de werkdruk nog verder verhoogt is de toenemende focus op kwaliteit gecombineerd met de vraag om efficiënter te werken en kosten te verlagen.

Waar de technologische ontwikkelingen in de medische beeldvorming de werkdruk voor radiologen naar verwachting exponentieel toe zullen laten nemen, kunnen nieuwe instrumenten op basis van machine learning op verschillende wijze deze werkdruk verlichten. Quantib focust zich sinds de oprichting, in 2012 volledig op het ontwikkelen van machine learning-algoritmen in de radiologie, en het bedrijf heeft inmiddels meerdere FDA- en CE-certificaten voor een aantal producten. Wij zien honderden klinische use-cases waar machine learning-algoritmen ingezet kunnen worden om het leven van de radioloog te vergemakkelijken. Op hoofdlijnen zou je deze algoritmen in drie categorieën kunnen indelen:

## 1. Automatisch meten en kwantificeren

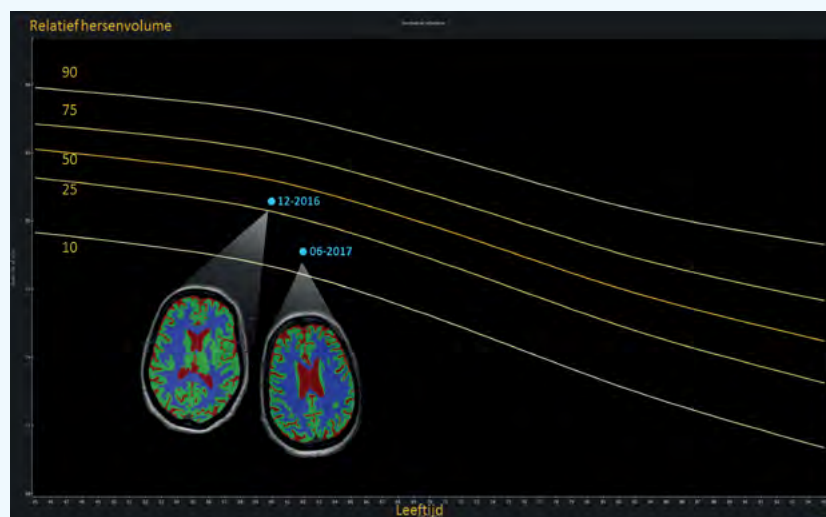
In veel gevallen is het nuttig om meer gekwantificeerde data uit radiologiebeelden te verkrijgen. Voorbeelden hiervan zijn vet- en spiervolumebepaling, bepaling van tumorvolumes of

het meten van hersenweefselvolumes (zie *Figuur 1*). Zonder machine learning zijn deze segmentatietaken geen leuke klus, en het kost veel tijd om dit accuraat te doen. Een klinische use-case is

bijv. het bepalen van hersenkrimp bij een dementiepatiënt. Het is nuttig om in een vroeg stadium atrofie in de hippocampus te detecteren zodat een mogelijke diagnose van Alzheimer in een vroeger stadium gesteld kan worden. Quantib heeft samen met radiologen van het Erasmus Medisch Centrum laten zien dat een meer objectieve en kwantitatieve diagnose mogelijk is wanneer hersenvolumes van een patiënt worden vergeleken met normale hersenvolumes van proefpersonen in dezelfde leeftijd.

## 2. Automatische second opinion bij routinetaken

Toename van screeningprogramma's en beeldvorming bij veelvoorkomende ►



**Figuur 1.** Machine learning-algoritmen van Quantib bepalen automatisch het relatieve volume van de hersenen en van de hersenkwabben. Deze hersenvolumes worden in bovenstaande grafiek vergeleken met eerdere scans en met hersenvolumes van gezonde personen zodat afwijkingen in een vroeg stadium ontdekt worden.



**Figuur 2.** Uitreiking van de Anthony Fokker Prijs 2017. V.l.n.r.: Alexander Rinnooy Kan (voorzitter Big Data Alliance); Renske de Boer (senior R&D Engineer Quantib); Reinhard Hameeteman (senior R&D Engineer Quantib); Gina van Bommel (administrateur Quantib); Rudolf Scholte (CEO Quantib); Arthur Post Uiterweer (CCO Quantib); Louise Gunning-Schepers (voorzitter Koninklijke Hollandse Maatschappij der Wetenschappen).

kwalen, denk bijv. aan de heupen en knieën, leidt tot veel routinewerk voor radiologen. De uitdaging bij deze routinetaak zit vooral in de variatie van kwaliteit gecombineerd met een druk op efficiency. Er zitten vaak te grote verschillen in sensitiviteit en specificiteit tussen radiologen, en zelfs voor een enkele radioloog is aangetoond dat de kwaliteit gedurende de dag varieert. Een klinische use-case is bijv. het classificeren van röntgenfoto's in de Kellgren- en Lawrence-grade. Een algoritme dat op basis van tienduizenden foto's getraind is kan op de achtergrond met de radioloog meekijken. De radioloog krijgt automatisch feedback wanneer er zich verschillen tussen zijn/haar diagnose en de uitkomst van het algoritme voordoen. De nauwkeurigheid gaat vooruit doordat de mening van de radioloog gecombineerd wordt met de mening van het algoritme. Daarnaast wordt de computer nooit moe en zal de software afglijden van kwaliteit kunnen detecteren.

### 3. Meer prognostische waarde halen uit medische beelden

Er is toenemende interesse in integratie van diagnostics, waarbij radiologie wordt gecombineerd met pathologiedata, kli-

nische gegevens, en in de toekomst ook met genetische data. Het combineren van deze informatie voor diagnose en prognose is zeer interessant voor machine learning, omdat computers snel verbanden kunnen vinden tussen deze informatie en het ziekteverloop. Een klinische use-case is de prognose opstellen van een patiënt met een glioom. Recent onderzoek laat zien dat de prognose van glioompatiënten sterk afhankelijk is van het moleculaire profiel van de tumor. Bij Quantib trainen we machine learning-algoritmen die op basis van MRI-beelden het moleculaire profiel van de tumor nauwkeurig kunnen voorspellen. In de toekomst moet het hiermee mogelijk worden om een goede inschatting te maken van de prognose van een patiënt zonder dat deze een hersenbiopt hoeft te ondergaan.

De razendsnelle ontwikkelingen in zowel de beeldvorming als machine learning maken het een waanzinnige tijd om werkzaam te zijn in de radiologie. Naar verwachting zal het werk van de radioloog de komende jaren veranderen van handmatig bepalen van de diagnose naar supervisie van een steeds groter scala aan machine learning-instrumenten. Dit

zal de kwaliteit en waarde van het werk van de radioloog en zijn of haar rol bij diagnose en prognose doen toenemen. Quantib speelt een leidende rol in deze transitie naar machine learning en heeft hiervoor van de jury van De Nederlandse Datascience-prijzen in juni 2017 de Anthony Fokker Prijs gewonnen voor meest veelbelovende start-up (Figuur 2). Wij zijn altijd geïnteresseerd in een open discussie over mogelijke use-cases voor machine learning.

Bezoek ons op de Machine Learning Showcase van de RSNA dit jaar of stuur een e-mail naar [a.post-uiteerweer@quantib.com](mailto:a.post-uiteerweer@quantib.com).

#### A. Post Uiterweer

Chief Commercial Officer Quantib

#### Prof.dr. W. Niessen

Chief Scientific Officer Quantib  
hoogleraar medische beeldverwerking  
Erasmus MC en TU Delft



FRANS W. ZONNEVELD

# De RSNA Gold Medal voor Albert Bouwers in 1928

## Waarom stond hij niet in de officiële lijst?

Op 8 december 2016 ontving ik van de RSNA Committee Administrator Executive Department in de persoon van Niki Hetrick de volgende e-mail: "I am just circling back to let you know that the RSNA Board of Directors agreed with adding Dr. Albert Bouwers to the lists of prior RSNA Gold Medalists (1928). We thank you once again for bringing this oversight to our attention! Our records are in the process of being updated." U zult zich afvragen waar het hier over gaat. Dit voorjaar waren we bezig met de voorbereidingen voor het filmpje over 115 jaar radiologie in Nederland voor de Radiologendag. Daarbij kwam ook Albert Bouwers (Figuur 1) naar voren als uitvinder van de Metalix röntgenbuis die zowel was afgeschermd voor ongewenste röntgenstraling als voor hoogspanning. In het verhaal over hem in ons eerste jubileumboek [1] las ik dat hij de gouden Compton<sup>1</sup> medaille van de RSNA had ontvangen in 1928. Bij controle van de officiële lijst ([www.rsna.org/Gold\\_Medalists.aspx](http://www.rsna.org/Gold_Medalists.aspx)) bleek hij daar niet op te staan. Ik ben toen in de pen geklommen, en het resultaat is dat hij er nu wel op staat; samen met Compton die er al wel op stond.



**Figuur 1.** Foto van Albert Bouwers in het boek met de deelnemers aan het radiologiecongres in Stockholm in juli 1928.

Er was eerst verwarring over welke medaille hij ontvangen zou hebben, omdat er geen Compton medaille bestond, althans niet in 1928, want de Compton medaille is pas in 1957 in het leven geroepen en was bovendien niet vernoemd naar Arthur Holly Compton maar naar zijn

oudere broer Karl Taylor Compton. Maar het bleek dus de Gouden Medaille van de RSNA te zijn [2] (Figuur 2), en de verwarring met Compton kwam omdat A.H. Compton in 1928 ook deze medaille had ontvangen. Maar bij de RSNA bleek men van niets te weten. Wel hadden ze de rede gevonden die Bouwers op die bewuste bijeenkomst van de RSNA had uitgesproken en die in Radiology was gepubliceerd [3]. Verder werd ik gewezen op een artikel van K. Boersma [4], waarin deze ook melding maakt van een door Bouwers ontvangen medaille. Boersma formuleert dit als volgt: "At the Congress of the Radiological Society of North America, held in Chicago, he and the radiologist Arthur Compton of the University of Chicago were awarded medals for their contributions to radiology research." De bron die Boersma aanhaalt is een brief van de president van de RSNA in 1928 [5]. Dankzij bemiddeling van ir. J.A.M. Hofman (Mu-



**Figuur 2.** RSNA Gold Medal.

seum van de Stichting tot Behoud Historische Philips Producten (SBHP) aan de Looyenbeemd) en de Philips Archiefdienst is deze brief gelukkig boven water gekomen en kon worden aangetoond dat de medaille daadwerkelijk verleend was (Figuur 3). De Philips Archiefdienst ►

The Radiol. Soc. of N. America has appreciated the work done by your company, that of Dr. Bouwers and his associates, and for that reason decided to present him with the gold medal. It is work and achievement well earned.

**Figuur 3.** Passage uit de brief van Edwin C. Ernst, RSNA president, aan Philips Eindhoven op 22 december 1928.

<sup>1</sup> Arthur Holly Compton (1892-1962) was de Amerikaanse fysicus die een effect ontdekte (Compton-effect) dat het deeltjeskarakter van licht aantoonde, waarvoor hij in 1927 de Nobel Prijs voor natuurkunde kreeg. Wij kennen hem vanwege ditzelfde effect in de vorm van Compton-verstrooiing van röntgenstraling.

had ook nog een telegram dat Bouwers op 7 december 1928 vanuit Chicago aan het thuisfront had gestuurd en dat luidde: "HONOURED GOLDMEDAL RADIOLOGICAL SOCIETY AMERICA FOR ACHIEVEMENTS IN RADIOLOGICAL SCIENCE ALSO COMPTON INFORM HOME". Daar-



**Figuur 4.** Albert Bouwers omstreeks de tijd van zijn pensionering (1968).

naast was er een bezoekerapport van Bouwers waarin hij het vermoeden uit dat dit is gebeurd in een spontane opwelling na de rede die hij had gehouden en dat de medaille voor Compton van tevoren gepland was, omdat deze uitreiking in het programma vermeld stond. Hij meldde ook nog dat de RSNA-bijeenkomst van 3 t/m 7 december was en werd bijgewoond door 1200 RSNA-leden.

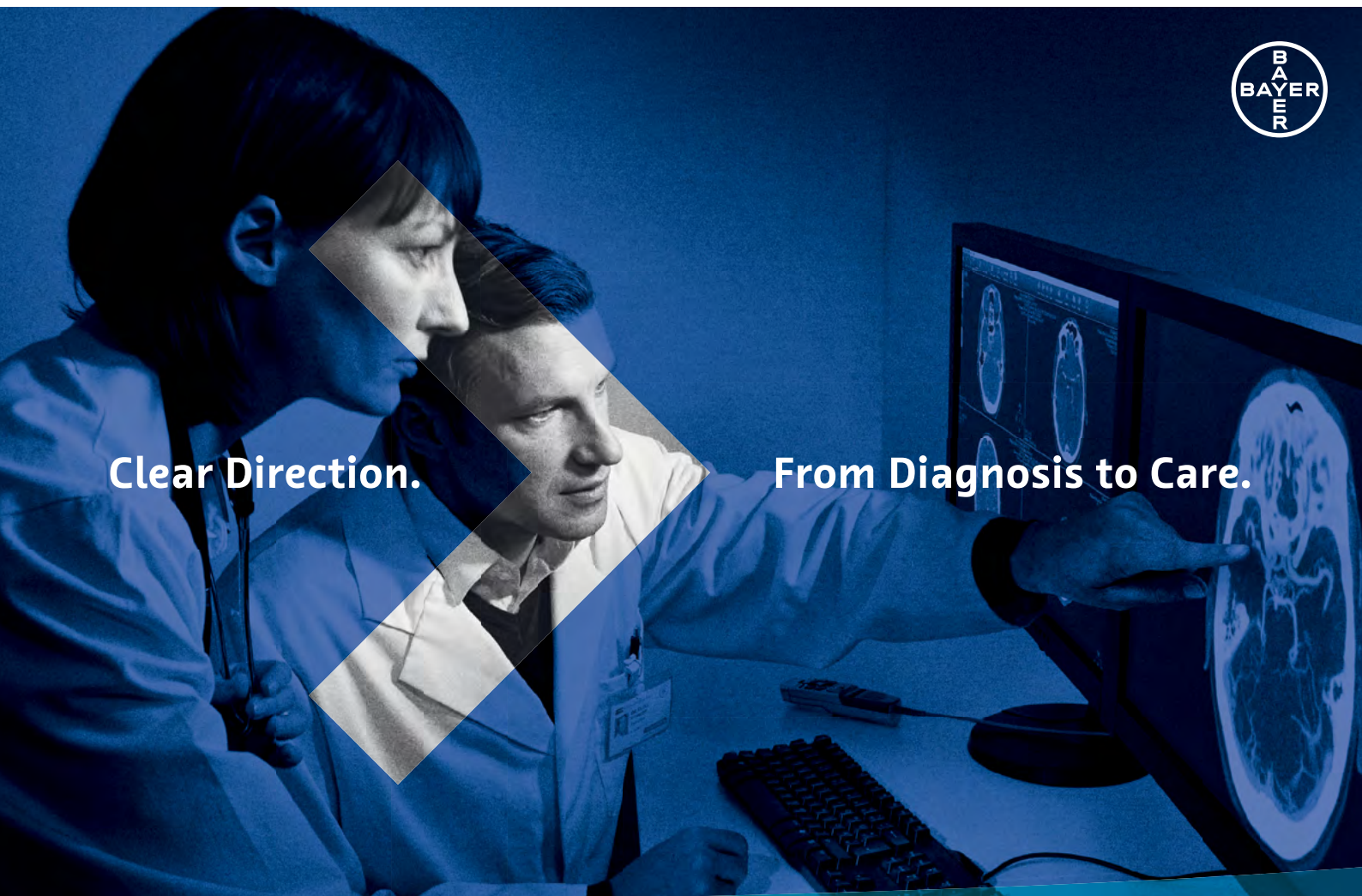
Dit alles gebeurde op de vooravond van een andere belangrijke uitvinding van Bouwers, nl. de röntgenbuis met draaiende anode, de Rotalix buis. Daarna volgden nog vele andere uitvindingen [1].

In 1941 is Bouwers naar de Optische Industrie 'De Oude Delft' gegaan om daar directeur te worden, wat hij tot 1968 is gebleven (Figuur 4). Daarnaast is hij van 1949 tot 1954 buitengewoon hoogleraar instrumentatie in Delft geweest, en in 1963 ontving hij de Röntgen-Plakette van de stad Remscheid. Hij overleed op 22 januari 1972 in Den Haag. ■

**Prof.dr.ir. F.W. Zonneveld**

### Literatuur

1. Oosterkamp WJ. A. Bouwers. In: Knecht-van Eekelen A, Panhuysen JF, Rosenbusch G (Eds.). Door het menselijke vlees heen. 100 jaar radiodiagnostiek in Nederland, Rotterdam: Erasmus Publishing (1995), 198-210.
2. Curriculum vitae A. Bouwers. In: A. Bouwers; selected scientific papers. Amsterdam, North Holland Publishing Company (1969), pag. XV.
3. Bouwers, A.: Self-protecting tubes and their influence on the development of X-ray technic. Radiology 1929;13:191-206.
4. Boersma K. Tensions within an Industrial Research Laboratory: The Philips laboratory's X-ray department between the wars. Enterprise & Society 2003;4(1):65-98.
5. Edwin C. Ernst, M.D., president of the Radiological Soc., brief aan Philips Eindhoven d.d. 22 Dec. 1928.



Clear Direction.

From Diagnosis to Care.



## CONGRESSEN &amp; CURSUSSEN 2017 / 2018

Deze rubriek wordt verzorgd door Bernd Haberland.

**ABDOMINAL /  
GASTROINTESTINAL****2 t/m 3 oktober 2017**  
ACR CT Colonography. acr.org**Reston/VA****9 t/m 11 oktober 2017**

ACR Abdominal CT. acr.org

**Reston/VA****5 t/m 6 oktober 2017**21<sup>st</sup> ESGAR Liver Imaging Workshop.  
esgar.org**Hamburg****18 t/m 20 oktober 2017**ESOR ASKLEPIOS Course on Cardiac and  
Abdominal Imaging. esor.org**Graz****19 t/m 20 oktober 2017**ESGAR/ESUR Multidisciplinary Acute  
Abdomen Workshop. esgar.org**Roma****2 t/m 4 november 2017**Virtual Colonoscopy Academy.  
virtualcolonoscopyacademy.com.**Amsterdam****11 t/m 12 december 2017**ASKLEPIOS Course on Hepato-Bilio-Pancreatic  
Imaging Biomarkers. esor.org**Valencia****14 t/m 15 december 2017**

ESGAR Rectal Cancer Workshop. esgar.org

**Amsterdam****25 t/m 29 maart 2018**50<sup>th</sup> IDKD Davos 2018: Diseases of the  
Abdomen and Pelvis. idkd.org**Davos****12 t/m 15 juni 2018**ESGAR 2018 29<sup>th</sup> Annual Meeting and  
Postgraduate Course. esgar.org**Dublin****19 t/m 22 juni 2018**SWC Neuro- en Abdominale Radiologie.  
radiologen.nl**Ede****ACUTE / EMERGENCY****19 t/m 20 oktober 2017**ESGAR/ESUR Multidisciplinary Acute  
Abdomen Workshop. esgar.org**Roma****30 okt. t/m 1 nov. 2017**

ACR Emergency Radiology. acr.org

**Reston/VA****5 t/m 8 november 2017**17<sup>th</sup> Annual Emergency Radiology Symposium.  
EmRadMiami.BaptistHealth.net**Miami Beach****14 t/m 17 november 2017**SWC Kinderradiologie en Acute Radiologie.  
radiologen.nl**Ede****BREAST****12 t/m 14 oktober 2017**Breast Imaging From A to Z:  
Read like (or better than) the experts.  
advancedbreastimaging.com**Las Vegas****5 t/m 7 november 2017**British Society of Breast Radiology Annual  
Scientific Meeting 2017.bsbrevents.org**Dublin****4 t/m 7 december 2017**

Breast Imaging in the Big Apple. iicme.com

**New York****13 t/m 16 november 2018**SWC Musculoskeletale en Mammariadiologie.  
radiologen.nl**Ede****CARDIOVASCULAR****5 t/m 6 oktober 2017**EMRI Course Cardiovascular with CT  
Correlation. emricourse.org**Leiden****7 t/m 10 oktober 2017**

NASCI 2017 Annual Meeting. nasci.org

**San Antonio****12 t/m 14 oktober 2017**ESCR 2017 Annual Scientific Meeting.  
escr.org**Milano****18 t/m 20 oktober 2017**ESOR ASKLEPIOS Course on Cardiac and  
Abdominal Imaging. esor.org**Graz****20 t/m 22 oktober 2017**

ACR Cardiac MR. acr.org

**Reston/VA****8 t/m 10 december 2017**

ACR Course Coronary CT Angiography. acr.org

**Reston, VA****6 t/m 9 februari 2018**SWC Cardiovasculair en thoraxradiologie.  
radiologen.nl**Ede****22 t/m 26 september 2018**

CIRSE 2018. cirse.org

**Lisboa****EDUCATION****16 t/m 20 oktober 2017**

ESOR Graz Tutorial. esor.org

**Graz****26 t/m 27 oktober 2017**ESOR ASKLEPIOS Course: Symposium on  
Imaging Hallmarks of Cancer. esor.org**Lisboa****2 t/m 3 november 2017**ESOR/ESTRO ASKLEPIOS Course on  
Multidisciplinary Approach to Cancer Imaging.  
esor.org**Roma****GENERAL****26 nov. t/m 1 dec. 2017**

RSNA 2017. rsna.org

**Chicago****28 februari t/m 4 maart 2018**ECR 2018 - European Congress of Radiology.  
myesr.org**Wien****24 t/m 25 mei 2018**

Radiologendagen 2018.

**n.n.b.****25 t/m 30 november 2018**

RSNA 2018. rsna.org

**Chicago****GENITOURINARY****7 t/m 8 december 2017**ASKLEPIOS Course on Women's Imaging.  
esor.org**Bratislava****13 t/m 16 september 2018**25<sup>th</sup> European Symposium on Urogenital  
Radiology. esur2018.org**Barcelona****HEAD & NECK****7 t/m 9 november 2017**15<sup>th</sup> Annual London MDT Head & Neck  
Imaging Course. medicalcoursen-nwlh.com**London****16 t/m 18 nov. 2017**ESMRMB - School of MRI - Advanced Head &  
Neck MR Imaging. esmrmrb.org**St. Julian's (Malta)****5 t/m 9 februari 2018**Erasmus Course on MRI: Head and Neck.  
emricourse.org**Brugge****27 t/m 29 september 2018**

ESHNR 2018 Annual Meeting. eshnr.org

**London****INTERVENTION****16 t/m 19 oktober 2017**WFITN Budapest 2017 World Federation  
of Interventional and Therapeutic  
Neuroradiology. wfitn.org**Budapest****26 t/m 29 oktober 2017**SPIR 2017 - Society for Pediatric  
Interventional Radiology. spir.org**Denver****30 okt. t/m 1 nov. 2017**Neuroradiology 2017 - 2<sup>nd</sup> International  
Conference on Neuroimaging and  
Interventional Radiology. neuroradiology.  
conferenceseries.com/**San Antonio****1 t/m 3 november 2017**BSIR 2017 - British Society of Interventional  
Radiology. bsir.org**Birmingham**

## CONGRESSEN &amp; CURSUSSEN 2017 / 2018

Deze rubriek wordt verzorgd door Bernd Haberland.

**17 t/m 22 maart 2018** **Los Angeles**

Society of Interventional Radiology SIR 2018. sirmeeeting.org

**7 t/m 9 juni 2018** **Poertschach (A)**

ICCIR 2018 - International Conference on Complications in Interventional Radiology. iccir.eu

**22 t/m 26 september 2018** **Lisboa**

CIRSE 2018. cirse.org

**MAGNETIC RESONANCE****5 t/m 7 oktober 2017** **Bolzano**

ESMRMB - School of MRI - MR Safety. esmrb.org

**19 t/m 21 oktober 2017** **Barcelona**

ESMRMB 2017 - Annual Scientific Meeting. esmrb.org

**6 t/m 8 november 2017** **Graz**

ESMRMB - Lectures on MR - Susceptibility weighted imaging and quantitative susceptibility mapping. esmrb.org

**8 t/m 10 november 2017** **Brussel**

ESMRMB - School of MRI - Body Diffusion-weighted MRI: Solving Clinical Problems and Diagnostic Dilemmas. esmrb.org

**MUSCULOSKELETAL****9 t/m 11 oktober 2017** **Leiden**

A multidisciplinary approach to the diagnosis of bone tumours. boerhaavenascholing.nl

**11 t/m 13 oktober 2017** **Utrecht**

European Course of Paediatric Radiology (ECPR) 2017 - Paediatric Musculoskeletal Imaging. ecpr2017.org

**12 t/m 14 oktober 2017** **München**

Munich Sports Imaging Course. essr.org/events/sports-imaging-course/

**15 t/m 18 oktober 2017** **Tel Aviv**MUSoc 2017. 27<sup>th</sup> Annual Meeting of the Musculoskeletal Ultrasound Society. musoc2017.org.**19 t/m 20 oktober 2017** **London**

The New London Musculoskeletal Ultrasound Skills Course. infomedltd.co.uk

**26 t/m 27 oktober 2017** **Las Vegas**

Stoller's Current Issues of MRI in Orthopaedics &amp; Sports Medicine. stollerskcourse.com

**15 t/m 17 december 2017** **Brussel**

Musculoskeletal Ultrasound: comprehensive course &amp; individual hands-on training. medipoint.be

**12 t/m 16 februari 2018** **Wien**

Erasmus Course on MRI: Musculoskeletal MRI (from finger to toe). erasmuscourse.org

**13 t/m 16 juni 2018** **Amsterdam**

ESSR 2018 Annual Meeting. essr.org

**13 t/m 16 november 2018** **Ede**

SWC Musculoskeletale en Mammariadiologie. radiologen.nl

**NEURORADIOLOGY****16 t/m 19 oktober 2017** **Budapest**

WFITN Budapest 2017 World Federation of Interventional and Therapeutic Neuroradiology. wfitn.org

**30 okt. t/m 1 nov. 2017** **San Antonio**Neuroradiology 2017 - 2<sup>nd</sup> International Conference on Neuroimaging and Interventional Radiology. neuroradiology.conferenceseries.com/**11 t/m 13 december 2017** **Reston/VA**

ACR Neuroradiology.acr.org

**19 t/m 22 juni 2018** **Ede**

SWC Neuro- en Abdominale Radiologie. radiologen.nl

**19 t/m 23 september 2018** **Rotterdam**41<sup>st</sup> ESNR Annual Meeting. esnr.org**NUCLEAR MEDICINE / MOLECULAR IMAGING****21 t/m 25 oktober 2017** **Wien**

EANM'17. eanm.org

**13 t/m 17 oktober 2018** **Düsseldorf**

EANM'18. eanm.org

**ONCOLOGY****2 t/m 4 oktober 2017** **Berlin**International Cancer Imaging Society Meeting and 17<sup>th</sup> Annual Teaching Course. icimagingociety.org.uk**9 t/m 11 oktober 2017** **Leiden**

A multidisciplinary approach to the diagnosis of bone tumours. boerhaavenascholing.nl

**26 t/m 27 oktober 2017** **Lisboa**

ESOR ASKLEPIOS Course: Symposium on Imaging Hallmarks of Cancer. esor.org

**27 t/m 28 oktober 2017** **Reston/VA**

ACR Prostate MR. acr.org

**2 t/m 3 november 2017** **Roma**

ESOR/ESTRO ASKLEPIOS Course on Multidisciplinary Approach to Cancer Imaging. esor.org

**14 t/m 16 november 2017** **Barcelona**

Imaging in assessing response to cancer therapy - a hands-on course. esoi-society.org

**14 t/m 15 december 2017** **Amsterdam**

ESGAR Rectal Cancer Workshop. esgar.org

**PAEDIATRIC****11 t/m 13 oktober 2017** **Utrecht**

European Course of Paediatric Radiology (ECPR) 2017 - Paediatric Musculoskeletal Imaging. ecpr2017.org

**26 t/m 29 oktober 2017** **Denver**

SPIR 2017 - Society for Pediatric Interventional Radiology. spir.org

**14 t/m 17 november 2017** **Ede**

SWC Kinderradiologie en Acute Radiologie. radiologen.nl

**18 t/m 22 juni 2018** **Berlin**40<sup>th</sup> Post Graduate Course & 54<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Society for Paediatric Radiology (ESPR). espr2018.org**THORAX****4 t/m 6 oktober 2017** **Reston/VA**

ACR High Resolution CT of the Chest. acr.org

**6 t/m 9 februari 2018** **Ede**

SWC Cardiovasculair en thoraxradiologie. radiologen.nl

**ULTRASOUND****19 t/m 21 oktober 2017** **Boston**

Ultrasound 2017. radcme.harvard.edu

# 20 jaar Opleiding Radiologie doorgelicht

## Een interview ter gelegenheid van de pensionering van Xander Tielbeek

Het e-mailbericht "Op 1 juli zal Xander Tielbeek na ruim 32 jaar als interventieradioloog afscheid nemen van het Catharina Ziekenhuis" was de aankondiging van een middag met fraaie voordrachten van o.m. Willem Mali (zijn promotor in 1996) en Jim Reekers, die op speelse wijze een serieuze bespiegeling gaf. Na de pauze een up-to-date voordracht van Jan Albert Vos en een van Jeroen Tielbeek over de toekomst van de Radiologie. Ondanks veel zorgen kunnen we die toekomst met vertrouwen tegemoet zien. De afdeling verzorgde een prachtige middag, ook Xander zelf werd op de juiste wijze belicht. De middag was een reünie van 'Tout Radiologie Hollande'. Daarna een bruisend feest en een lange vakantie. Die was 24 augustus voorbij, dus was er tijd om een ander, zeer belangrijk deel van het werk en het leven van Xander te belichten. Twintig jaar inzet voor de veranderende wereld van de opleiding tot radioloog. Xander had daar grote invloed op, samen met o.a. Hans Aarts, Mathijs Oudkerk, Han Laméris en Jos van Engelshoven. In het gesprek passeerden veel afkortingen, bijv. KNMG, MSRC (Medisch Specialisten Registratie College – de uitvoering), CC (Centraal College – wet- en regelgeving), RGS (Registratie Geneeskundige Specialisten – opvolger van de MSRC), CR (Concilium Radiologicum – aansturend binnen de Radiologie), HORA (Commissie voor Herstructurering Opleiding Radiologie). Alleen de hoofdlijn van de ontwikkeling wordt beschreven.

Interesse aangaande het veld van 'de opleiding' kwam reeds tijdens de eigen opleiding via het voorzitterschap van de aiossen. Gevolg: het lidmaatschap van het CR en dus deelname aan visitaties. Destijds met een andere tijdsindeling en blikveld dan tegenwoordig, veel collegi-



*Xander Tielbeek, 1952, Groningen, via Venlo – vader huisarts aldaar – studie en opleiding tot radioloog in Nijmegen, opleider William Penn en Henk Thijssen, daarna Catharina Ziekenhuis Eindhoven, 1984 -2017, promotie in 1996, opleider in 1997, dus 20 jaar actief met opleiden in de Radiologie.*

aal vertrouwen, minder af te vinken punten, minder regels en zachtere afspraken. Een goede lunch was destijds een vast onderdeel, nu zijn dat de bekende broodjes met karnemelk en koffie. Het was losmaziger, mappen uit het fotoarchief trekken ter controle en uiteraard de boekenlijst. Maar je kreeg wel een goede indruk van de kleur van de opleiding; er waren toen ook minder opleidingen Radiologie dan nu. En ... je vergeleek de kleur met de kenmerken van je eigen opleiding. Die tijd is voorbij!

In 1987 volgde een visitatie in het Catharina Ziekenhuis, en waarachtig, de boekenlijst bleek niet in orde. Hij kreeg te horen: *Tielbeek, jij hebt daar verstand van, dus maak dat in orde!* Dat lukte met de juiste inzet van diplomatieke middelen. En zo gaat de bal dan rollen, bijv. via de Commissie In- en Uitstroom van de NVvR (Han Wichers) en bemoeienis met de Capaciteit. Het Concilium werd destijds aangevuld via het *model van coöptatie*. En zo kwam Xander in 1996 opnieuw in het Concilium. Een gezelschap van gelijkgestemden met hetzelfde doel: een goede opleiding Radiologie. Het effect was: nog meer visitaties. Na zijn promotie werd Xander in 1997 zelf opleider. De aloude verhouding Meester – Gezel had

van circa 1980-1995 een stabiele periode gegeven, maar nu werd het tijd voor veranderingen. Reden? Men was het erover eens dat het 'eindproduct – de radioloog' te weinig vastgesteld was, er was (te) veel variatie. Het toenmalige C-formulier voldeed niet meer, te vage verantwoordelijkheden en weergaven.

De sterke groei aan de technische zijde (US, CT, MR met de vele varianten) stelde hogere eisen aan de opleiding, en men zag in dat 'de controleerbaarheid' moest gaan toenemen. Dat gaf uitgebreide discussies op veel fronten, ook in het CC en het CR. Het begrip Eindtermen is geïntroduceerd in de jaren 1996-2000 en werd de basis van elk vervolg. En dat geheel mondde uit in veel discussie.

Het CC stelde – samengevat: maakt u dan nu maar uw eindtermen. Dus weer terug naar het CR. Kernpunt: de theoretische opleiding moet beter. Dus meer onderwijs, meer toetsen, het verlengde dus van de sandwichcursussen en de 2 x jaarlijkse toetsing binnen de NVvR. Dat gold dus voor zowel de bij- als de nascholing. En ... het gaf aanleiding tot weerstand bij de aiossen en zittende radiologen. Maar de lijn is voortgezet. De toetsing is in de loop van jaren verzaamd, voor aios- ►

sen is deelname aan de SWC verplicht, en bij herregistratie is, zoals bekend, deelname aan nascholing (toetsbaar!) verplicht; de bekende twee weken. De begrippen Aanbeveling, Zwaarwegend Advies en Voorwaarde bij een visitatie zijn fors aangescherpt. De formulering van de Eindtermen werd verdeeld over een aantal commissies, die tezamen met een uitkomst kwamen die nooit zou passen in een vijfjarige opleiding tot radioloog. Dus opnieuw, via veel discussie, het zoeken van de juiste beperking voor het eindresultaat. In 2003 heeft de NVvR in haar ledenvergadering de Eindtermen vastgesteld. Onderdeel daarvan werd het begrip 'de Driehoek van Miller', dus ging het over competentieniveaus. Dat was nieuw in onze medische wereld en werd pas na lang overleg begrepen door velen.

In dezelfde periode kwam, sterk gesteund vanuit de universiteiten en de KNMG, het begrip CanMeds naar voren. Het veld van de Radiologie werd daarmee schijnbaar ten dele verlaten, het 'maatschappelijk functioneren' kreeg ineens structureel aandacht. Oh, schrik! Dat de introductie van CanMeds dicht op de Eindtermen kwam heeft de zaak inhoudelijk geen goed gedaan. (Te) Veel verandering in korte tijd zal een rol hebben gespeeld, naast het feit dat de implementatie van CanMeds toch net iets anders ligt binnen de Radiologie en ervaren werd als forse druk van buitenaf. Maar de werkelijkheid is vaak anders dan het eerste gevoel. Ook deze, door onderwijskundigen gesteunde, ontwikkeling kreeg een plaats in de opleiding tot radioloog. Daarbij dient te worden vastgesteld dat binnen de Radiologie veel maatschappelijk handelen wordt teruggevonden in de dagelijkse contacten met collegae, ook via ons alsmat toenemend aantal besprekingen. Maar er is wel een geheel andere beleving van de Radiologie gevormd. Dat is een grote gezamenlijke prestatie, waar Xander een belangrijk aandeel in had.

Hoeveel tijd en aandacht kostte dat nu? Afgerond, naast het gewone werk, zeker een halve dag per week. Dat is over twintig jaar dus 20 x ruim 45 x ½ dag = ongeveer 450 dagen, gelijk aan bijna twee volle werkjaren. Dus heeft 'de opleiding', buiten zijn werk in het Catharina, zeker veel aandacht van Xander gekregen. Deze grote prestatie zal maar door weinig radiologen geëvenaard kunnen worden. Maar twee ontwikkelingen verdienen nog extra aandacht.

Ten eerste de komst van het zogenaamde *Kaderbesluit*. Een serie afspraken rondom vorm en inhoud van alle opleidingen tot medisch specialist. Het is meer dan een serie technische en administratieve afspraken; het is de kapstok waaraan alles hangt, de richtlijn voor enerzijds de RGS, anderzijds de individuele opleider en ook de aiossen. Het gaat in het kader van dit interview te ver om het Kaderbesluit uit te diepen, maar het belang van de daarin vervatte onderlinge afspraken mag niet onderschat worden. Veel is meetbaar en toetsbaar geworden.

Ten tweede: door de komst van de OOR-regio's is de aloude discussie 'clustering ja of nee' beëindigd. Dit heeft de kwaliteit van de opleiding verder verbeterd. De actualiteit laat helaas een overschot aan jonge radiologen zien; een ingewikkeld probleem met diverse kanten, inclusief te grote instroom aan medische studenten en de positie van 'de capaciteit' en het advies van het Capaciteitsorgaan.

De – deels voltooide – samenvloeiing van de Radiologie met de Nucleaire Geneeskunde is een laatste punt dat veel aandacht kreeg in de '20 jaar Xander'. Het vormt in veel opzichten de afronding van de omslag van modaliteitgericht werken naar orgaangericht werken. Of dat allemaal past bij een opleidingsduur van vijf jaar is nog maar de vraag. Ook Xander is van mening dat een verlenging van de gecombineerde opleiding met zes maanden de voorkeur heeft, maar of dat haalbaar is in deze tijden? Nee, waarschijnlijk niet. De ongelijkmatig over de ziekenhuizen verdeelde werkelijkheden qua vordering en snelheid van samenvoeging zijn een tijdelijk probleem, over tien jaar zal dat voorbij zijn. Maar aanpassing van de afspraken die specifiek van toepassing zijn op de combinatie Rad-N.G. ten opzichte van die uit het verleden zal onvermijdelijk zijn, ook lokaal. In dit veld moeten de uitzonderlijke bijdragen van Jan van Schaik en het Bestuur van de NVvR zeker (en altijd) gemeld worden.

Zoiets kan alleen dan een succes worden als de aanvoerders beschikken over goed inzicht in de noodzakelijke afspraken en regelgeving, maar ook over een solide netwerk binnen de vakgebieden, en dat opbouwen en uitvoeren kost veel tijd. Veel kwam samen in het CR, maar ook in overleg vanuit de HORA-commissie, en Xander roemt nogmaals de bijdragen van Jos van Engelshoven, Hans Bloem, Hans Aarts, Han Laméris en Mathijs Oudkerk.

Zonder strakke agenda's en vele malen telefonisch vergaderen was het niet gelukt. De komst van nieuwe elementen zoals KPB's en de uitgebreide verslaglegging van de opleiding van de aiossen werd door sommigen als moeilijk verteerbare extra last gevoeld. Te veel papierwerk en nieuwe ballast. Maar toch is dat de nieuwe werkelijkheid van de Opleiding tot Radioloog. **Het individuele portfolio is een gezamenlijke verantwoordelijkheid geworden.** Maar dan wel met het motto: niet alleen vinken, maar ook vonken.

### *Hoe kijk je nu terug op twintig jaar activiteit in dit veranderende veld?*

Dus een terugblik op de jaren 1980-2017:

- Wat ik wilde bereiken is bereikt: meer transparantie bij een goede opleiding tot radioloog.
- De opleiding is verbeterd, o.a. door beter onderwijs en betere visitaties.
- De combinatie Radiologie – Nucleaire Geneeskunde is de redding van beide vakgebieden.
- Op de kwaliteit van het werk en de opleiding moet nooit 'bezuinigd' worden.
- Er moet aandacht blijven voor het 'kleine verslagwerk'; dat hoort bij ons werk.
- Sub- en superspecialisatie is noodzakelijk en nuttig, naast algemeen werk.
- Ik verwacht nu een aantal jaren van stabilisatie in het opleidingsveld.
- Ik zou weer radioloog worden en opnieuw dit opleidingswerk willen doen.
- De Radiologie is een zwaar maar mooi klinisch vak.

Het interview is voorbij. De tijd wordt gevuld met – ten dele sappige – radiologische anekdotes en een passende Brabantse lunch. ■

*Xander, veel dank voor alles, het ga je goed, geniet van je aankomend pensioen.*



**Lucas Kingma**

### **Feliciteatie**

De Algemene Vergadering van de NVvR van 22 juni 2017 heeft unaniem ingestemd met het voorstel van het Bestuur om de erelegpenning van de Nederlandse Vereniging voor Radiologie aan de heer dr. A.V. Tielbeek te verlenen.



# Radiologogram 36

Hierbij radiologogram nummer 36 van collega Menno Sluzewski. Onder de goede inzenders wordt een boekenbon van 50 euro verloot. Oplossingen moeten uiterlijk maandag 13 november 2017 binnen zijn op het bureau van de NVvR (t.a.v. Jolanda Streekstra - Postbus 2082 - 5260 CB Vught). De oplossing kan ook per e-mail worden gestuurd: [nvvr@radiologen.nl](mailto:nvvr@radiologen.nl). Oplossing en bekendmaking van de winnaar in het winternummer van MemoRad 2017.

1		2	3	4	5	6		7	8		9	10	11	
		12						13			14			
15	16		17			18				19				20
21		22			23				24					
25						26								
						27					28	29		
30		31			32					33		34		
35						36			37		38			
		39		40		41			42		43			
44	45			46				47		48			49	
50											51			

## HORIZONTALAAL

**1** kunnen wortelcompressie veroorzaken (15) **12** buurman van de Saoedi (5) **13** boven is alles weg (2) **14** uitnodigende lichaamsholte (3) **15** alternatieve uitgang (2) **17** landcode van Israël (2) **18** won Ajax dit jaar bijna (9) **21** Engelse ziekte (7) **24** ging op in Ziggo (3) **25** wederopbouw van de CT-kamer (13) **27** zendt de nachtzoen uit (2) **28** 0,01 Gray (3) **30** (+ Hor 39) snorlocatie (6+4+2+6) **34** voormalige politieke partij (2) **35** past voor toon en baar (3) **36** hij is in Spanje (2) **37** processus styloideus ..... (5) **39** zie Hor 30 (6) **43** pijnzin (2) **44** is gegaan in Spanje (3) **46** netwerk (3) **47** Spaanse worst (7) **50** het luisteren naar het lichaam (11) **51** omkeerbare zuster (3)

## VERTICAAL

**1** schwing in de MRI-kamer (5) **2** staat op Roemeense auto's (2) **3** .....zuur (5) **4** aan het piekeren (7) **5** plus (2) **6** proest (5) **7** 'catheterization can be difficult or impossible in ..... vessels' (8) **8** verhoogt het hematocriet (3) **9** is verwant aan de giraffe (5) **10** voetbal (6) **11** Europese lidstaten die de euro hebben ingevoerd (3) **16** ..... solaris (6) **19** die vogel heeft een club (6) **20** corticosteroïde (9) **22** landcode van Saint Lucia (2) **23** .. Rotterdam (2) **26** Veluwebewoners (5) **29** ... B (3) **30** scheen (5) **31** egotrips (5) **32** daar is Boeddha geboren (5) **33** misselijk op weg (4) **38** past voor rel en pan (4) **40** kort regenscherm (3) **41** vaccineer uw spruit (3) **42** ... - kwadraattoets (3) **45** Ich bin wie .. (2) **47** spiraal-.. (2) **48** past voor hoe en ver (2) **49** op die manier (2)

1	L	2	A	3	N	4	G	5	E	6	V	7	I	8	G	9	E	10	R	11	S
11	A	B	U	I	S			12	L	U	E	S									
13	N	E		R				14	A	I		15	N	S							N
16	G	L	17	I	O	B	L	A	S	T	O	18	M	A							
E			19	V	N			20	L	C		A		21	U	T					
22	T	R	O	U	W	E			23	A			24	O	R	O					
E			25	R	M			26	R	E	G	27	U	L	A	R					
N			28	Y	M			G		29	O	D		30	L	I					
31	E	32	I			33	E	34	R	I	T	R	E	36	A						U
37	N	E	U	R	O	C	R	A	N	I	U	M									

### Oplossing radiologogram 35 uit het zomernummer 2017.

De boekenbon is gewonnen door Renske Gahrman, Erasmus MC Rotterdam.

# Lambert Th. Van Kleef, 1846-1928: Chirurg en Pionier

De medische geschiedenis van Maastricht krijgt de laatste jaren de nodige aandacht. Zo zijn in de afgelopen tijd te boek gesteld de ontwikkeling van de radiotherapie in Zuid-Limburg in 'Maastro clinic' en de groei van het ziekenhuis de Calvariënberg in 'Van godshuis naar academisch ziekenhuis'. De genoemde uitgaven waren fraai vormgegeven en rijk geïllustreerd.

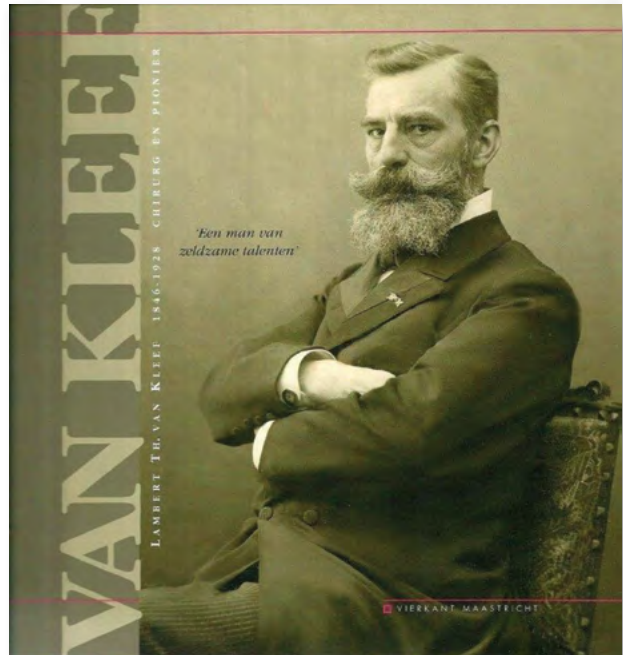
Nu is er weer zo'n prachtig boekwerk verschenen. Het betreft een uitgave van de Stichting Historische Reeks Maastricht over Lambert van Kleef, een toonaangevend arts die zijn sporen heeft nagelaten in Maastricht. Deze Van Kleef was ook al ter sprake gekomen in de eerdergenoemde uitgaven, maar hij staat in deze uitgave centraal. Het is dan ook niet verwonderlijk dat we in het bestuur van de Stichting Van Kleef namen aantreffen van medisch-historisch geïnteresseerde collega's die ons al bekend waren uit eerdere uitgaven, zoals Jos van Engelshoven.

Lambert Van Kleef – een 'man van zeldzame talenten' – zo luidt ook de ondertitel van het boek. Op zijn dertigste jaar in 1876 werd hij publiekelijk al zodanig geroemd.

Wie was Lambertus van Kleef, die de walm van zijn Haagse familiedistilleerderij in zijn geboortestad Den Haag links liet liggen en koos voor een medische carrière? Overigens bestaat die distilleerderij annex museum nog steeds en is ook nog steeds gevestigd aan de Lange Beestenmarkt nummer 109 met als handels slogan: Beleef een van Kleef.

Dat beleven van een Van Kleef doen we ook in de onderhavige uitgave. Voor de lezer, tevens kijker, wordt in een zevental hoofdstukken, die elk nog van bijlages zijn voorzien, uitgebreid ingegaan op het leven van Van Kleef. Zijn wordingsjaren als student en chirurg, zijn chirurgische carrière in Maastricht, zijn werk als epidemioloog en zijn activiteit als amateurfotograaf. Min of meer apart wordt in een hoofdstuk zijn werkplek beschreven, nl. het ziekenhuis Calvariënberg, en zijn inbreng ten aanzien van het paviljoensysteem. Daarmee had het ziekenhuis in Nederland de primeur – een volgens de schrijvers minder bekend feit. Dit hoofdstuk wordt gevolgd door een beschrijving van zijn bemoeienissen met de ontdekking van de röntgenstralen, de applicatie daarvan in Maastricht en zijn aankoop van het eerste röntgenapparaat.

Van Kleef trekt zich in 1904 terug op relatief jonge leeftijd. Hij is dan 58 jaar oud. Zijn vrouw is kort daarvoor overleden en zijn enig kind, een dochter, is getrouwd en is naar Den Haag vertrokken. Dat kan een rol gespeeld hebben. Maar er is meer, zoals we vaker zien met toonaangevende ego's. Hij raakt in



conflict met zijn naaste medewerkers. In een bescheiden bijlage doet de chirurg Gauke Kootstra, naar aanleiding van een gevonden dossier, daarin een terughoudend verslag van.

Eenmaal terug in Den Haag blijft Van Kleef actief. Hij wordt nu helemaal gegrepen door de fotografie. Zijn activiteiten daarin worden in het laatste hoofdstuk door de historicus Ingrid Evers uitvoerig belicht. In 1928 overlijdt Van Kleef, en op zijn verzoek wordt hij naast zijn vrouw in Maastricht begraven.

Het initiatief van de Stichting Lambert van Kleef om diens leven en werk centraal te stellen is prijzenswaard. Het levert een prachtig boekwerk op. Er is veel aandacht ook voor het picturale aspect van zijn leven dat zich afspeelde op de grens van de oude en nieuwe geneeskunde. Daarmee overstijgt het de Limburgse grenzen. ■

## Peter van Wiechen

Ingrid Evers, Gauke Kootstra, Jan Meijers, Frans Roebroeks, Jacques Schmitz, Teun Winkels. Uitgave Stichting Dr. Lambert van Kleef. Uitgave Stichting Historische Reeks Maastricht 2016. Het boek is verkrijgbaar bij de Stichting Historische Reeks Maastricht en bij de boekhandel. ISBN 978-90-5842-052-7. De prijs is € 27,50.

# Tante Bep

*Tante Bep komt in samenwerking met het bureau tot stand.  
Ledenlijstmutaties in NetRad worden mede gebruikt als bron.*



## Tarik Baetens

april 2017  
van aios MUMC Maastricht  
naar fellow interventie  
LUMC Leiden



## Christianne Duchateau

september 2017  
van HAGAziekenhuis  
naar HMC Den Haag



## Ikrame Oulad Abdennabi

september 2017  
van aios ASZ Dordrecht  
naar fellow abdomen  
AMC Amsterdam



## Carolien Toxoepus

september 2017  
van Erasmus MC Rotterdam  
naar staf neuro  
OLVG Amsterdam



## Burgo Jansen

november 2017  
van NKI-AvL Amsterdam  
naar ZMC Zaandam

# Colofon

**MemoRad is een uitgave van de Nederlandse Vereniging voor Radiologie en verschijnt viermaal per jaar in een oplage van 2100 exemplaren. Het tijdschrift wordt toegezonden aan alle leden van de vereniging alsmede aan een selecte groep geïnteresseerden.**

MemoRad staat onder redactionele verantwoordelijkheid van de secretaris van de NVvR.

© 2017 Nederlandse Vereniging voor Radiologie

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande toestemming van de Vereniging.

ISSN 1384-5462

De redactie is niet aansprakelijk voor de inhoud van onder auteursnaam opgenomen artikelen en van de advertenties.

## REDACTIE MEMORAD

Dr. P.R. Algra, Alkmaar  
A. Bruining, Amsterdam (secretaris)  
Dr. J. Fütterer, Nijmegen  
B.W. Haberland, Naarden (eindredacteur)  
Dr. W. van Lanckeren, Rotterdam (namens bestuur NVvR)  
Dr. R.M. Maes, Den Helder (voorzitter)  
I. Oulad Abdennabi  
J. Schipper, 's-Gravenhage  
Dr. C.J.L.R. Vellenga, Almelo  
P.J. van Wiechen, 's-Gravenhage

## REDACTIE EN BUREAU VAN DE NVvR

Nederlandse Vereniging voor Radiologie  
Postbus 2082, 5260 CB Vught  
tel.: (0800) 023 15 36 of (073) 614 14 78  
e-mail: memorad@radiologen.nl – nvvr@radiologen.nl  
internet via [www.radiologen.nl](http://www.radiologen.nl) of [www.nvvr.net](http://www.nvvr.net)

Advertentietarieven op aanvraag bij de NVvR.

## VORMGEVING

Nic. Ammerlaan bno, grafisch ontwerper, Bussum

## DRUK

VdR druk & print, Nijkerk

**OUT OF  
OFFICE**



## Zillion Read as a service

Radiologie, de volledig digitaal werkende discipline in de gezondheidszorg, neemt opnieuw een voorsprong. Met diagnostiek als dienst, op afstand overal en altijd beschikbaar dankzij Zillion Read as a service.

Met een nieuw businessmodel: Pay per view! **Geen investeringen.** Toch alle features en alle hulpmiddelen van het modernste PACS en RIS, inclusief bijvoorbeeld verslaglegging.

Al uw beelden, overal ter wereld. Altijd. **Op elk beeldscherm.** Ideaal om uw actieradius te vergroten. Naar perifere zorglocaties of zelfstandige behandelcentra. Inzetbaar bij calamiteiten in afgelegen gebieden of voor hulp aan ontwikkelingslanden.

Nu beschikbaar. **Uniek in de markt.** Exclusief bij Oldelft Benelux.

Neem direct contact op en bel 0318 583 434, mail [info@oldelftbenelux.nl](mailto:info@oldelftbenelux.nl) of bezoek onze site [www.oldelftbenelux.nl](http://www.oldelftbenelux.nl).