

## Achtergrondinformatie

### Experiment 23

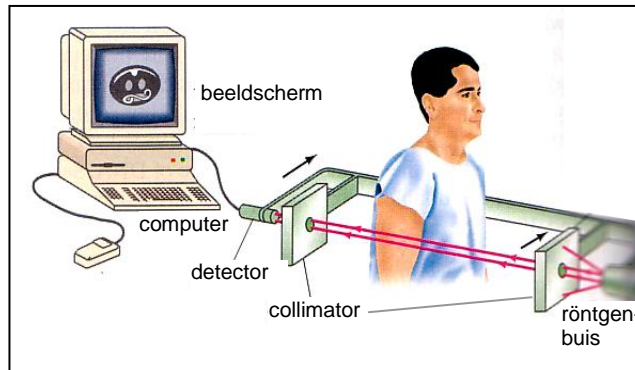
## Röntgen-computertomografie

Bij röntgen-computertomografie (of korter: röntgen-CT) wordt röntgenstraling gebruikt voor het berekenen van het beeld van een dwarsdoorsnede van het menselijk lichaam uit een stapel 'virtuele' röntgenfoto's.

### CT-scan

Het principe van het maken van een CT-scan is weergegeven in figuur 1: een smalle bundel röntgenstraling gaat door het lichaam van de patiënt naar een detector die de intensiteit van de doorgelaten straling meet. De collimator bestaat uit een aantal smalle loden buisjes of een aantal kleine gaten in een loden plaat. Dit zorgt voor een smalle, evenwijdige bundel röntgenstraling.

Terwijl de röntgenbuis en de detector samen 'langs' het lichaam van de patiënt schuiven, wordt in een groot aantal punten de intensiteit van de doorgelaten straling gemeten. Daarna wordt het apparaat met de röntgenbuis en de detector over een kleine hoek gedraaid, en wordt het lichaam van de patiënt op dezelfde manier opnieuw gescand. Dit wordt (bijvoorbeeld) 180 keer gedaan, waarbij het apparaat na elke scan dan steeds over een hoek van  $1^\circ$  draait. De gemeten intensiteit van de doorgelaten straling voor elk van de meetpunten bij elk van de hoeken wordt doorgegeven aan de computer.



Figuur 1 – Bij het maken van een CT-scan tast een smalle bundel röntgenstraling het lichaam van de patiënt af doordat de röntgenbuis en de detector 'langs' het lichaam bewegen (zie de pijlen in de figuur). Dit wordt een groot aantal keren (bijvoorbeeld 180) herhaald, waarbij de röntgenbuis en de detector steeds in het horizontale vlak over een kleine hoek (van bijvoorbeeld  $1^\circ$ ) worden verdraaid.

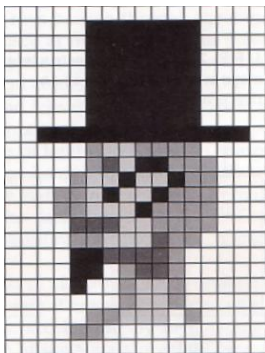
### Een beeld opgebouwd uit pixels

De vraag is nu hoe uit deze metingen het beeld van de dwarsdoorsnede van het lichaam wordt berekend. Daarbij moeten we bedenken dat het beeld is opgebouwd uit een groot aantal 'beeldpunten' of pixels: kleine vierkante beeldelementen zoals in het voorbeeld van figuur 2. We verdelen de dwarsdoorsnede van het lichaam van de patiënt nu ook in een denkbeeldig raster van pixels. De afmeting van die pixels is ruwweg gelijk aan de afmeting van de röntgenbundel: zo'n 2 mm.

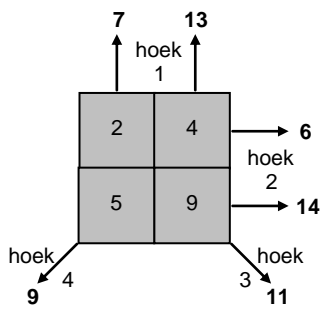
De detector meet de intensiteit van de door het lichaam doorgelaten röntgenstraling. Als we deze gemeten waarde aftrekken van de intensiteit van de straling uit de röntgenbuis, krijgen we de totale absorptie. Dit is de absorptie van alle pixels achter elkaar in het pad van de röntgenbundel. Om het beeld te kunnen berekenen, zullen we moeten bepalen hoeveel straling er door *elk* van de afzonderlijke pixels wordt geabsorbeerd. Als we dat weten, kunnen we aan elke pixel een 'grijswaarde' toekennen. Die grijswaarde komt overeen met de absorptie van straling in zo'n pixel: hoe groter de absorptie in een pixel is, des te kleiner (of groter) is die grijswaarde – en des te lichter (of donkerder) is de kleur van zo'n pixel. Het beeld is dan opgebouwd uit pixels van verschillende tinten grijs, variërend van wit tot zwart. De verschillende grijs tinten kunnen ook in verschillende kleuren worden weergegeven. Maar de kleuren in zo'n 'false colour' beeld hebben niets te maken met de werkelijke kleur van het voorwerp.

### Een beeld berekenen

De vraag is nu hoe we de grijswaarde van elke pixel kunnen berekenen, terwijl we alleen maar weten hoe groot de totale absorptie is van alle pixels achter elkaar in het pad van de röntgenbundel. Dat kan alleen als we de metingen uit de verschillende richtingen met elkaar combineren. De meest eenvoudige manier om dit te doen is de zogenaamde 'iteratieve' methode. Hoewel deze methode in de praktijk niet veel meer wordt gebruikt, is deze wel het eenvoudigst te begrijpen.



Figuur 2 – Voorbeeld van een uit pixels opgebouwd beeld.

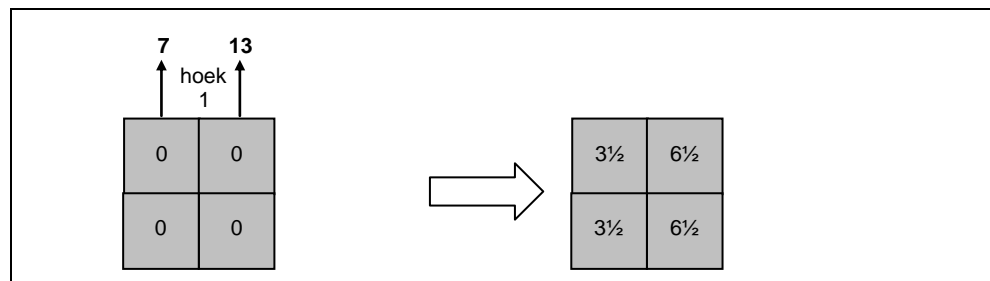


Figuur 3 – Een eenvoudig beeld van  $2 \times 2$  pixels met de werkelijke absorptiewaarden van elk van de vier pixels en de gemeten absorptiewaarden in vier verschillende richtingen. Bedenk dat de werkelijke absorptiewaarden van elk van de vier pixels onbekend zijn. Deze werkelijke waarden moeten worden berekend uit de gemeten absorptiewaarden.

Om te zien hoe deze methode werkt gaan we uit van een eenvoudig voorbeeld: een doorsnede van het lichaam verdeeld in een raster van  $2 \times 2$  pixels, zoals in figuur 3. Het getal in elk van die vier pixels geeft de absorptie door het materiaal in dat gebied van het lichaam. Het absorptiegetal 4 in de pixel rechtsboven betekent dat de absorptie daar tweemaal zo groot is als de absorptie in de pixel linksboven met het absorptiegetal 2. Bedenk daarbij echter wel dat we deze absorptiewaarden niet kunnen meten: we moeten ze juist berekenen uit de gemeten absorptie vanuit verschillende richtingen. Die gemeten absorptiewaarden zijn ook weergegeven in figuur 3 bij de pijlen. Zo is de gemeten absorptiewaarde bij hoek 1 in figuur 3 voor de twee pixels links dus 7 ( $2 + 5$ ), en voor de twee pixels rechts 13 ( $9 + 4$ ). Ga nu eerst in figuur 3 na dat de gemeten absorptiewaarden vanuit de andere drie richtingen (hoek 2 t/m 4) overeenstemmen met de gegeven absorptiewaarden van de pixels. We moeten nu uit de gemeten absorptiewaarden (zoals gegeven bij de pijlen van figuur 3) gaan terugrekenen om te zien hoe dicht we bij de werkelijke absorptiewaarde van elk van de pixels kunnen komen. Dat gaat in dit geval in drie stappen.

**Stap 1** – We beginnen door aan elke pixel de absorptiewaarde 0 toe te kennen (zie figuur 4 links). Bij de iteratieve methode gebruiken we de gemeten absorptiewaarden in één richting om een schatting te maken van de absorptiewaarde van de verschillende pixels, en maken we de schatting steeds beter door gebruik te maken van de gemeten absorptiewaarden in de andere richtingen. De onder hoek 1 gemeten absorptiewaarden zijn 7 en 13. We verdelen deze waarden gelijk over hun bijbehorende twee pixels (zie figuur 4 rechts):

- elke pixel in de linkerkolom krijgt de waarde  $7/2 = 3\frac{1}{2}$
- elke pixel in de rechterkolom krijgt de waarde  $13/2 = 6\frac{1}{2}$



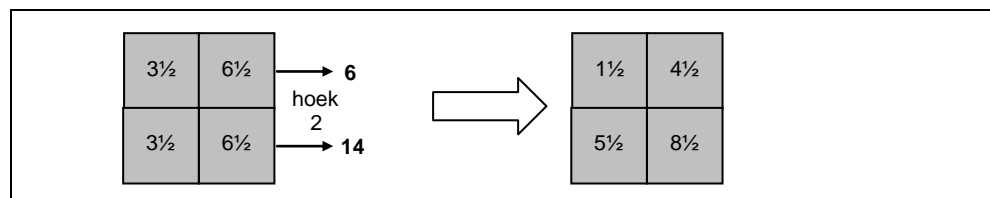
Figuur 4 – Berekenen van het beeld met behulp van de gemeten absorptiewaarden in richting 1.

**Stap 2** – Daarna gebruiken we de absorptiewaarden in richting 2 (zie figuur 5 links). We berekenen voor elk van de twee rijen het verschil tussen de gemeten absorptiewaarden in richting 2 (6 en 14) en de absorptiewaarden op grond van de eerste schatting (bovenste rij:  $3\frac{1}{2} + 6\frac{1}{2} = 10$ , en hetzelfde voor de onderste rij). Dan verdelen we voor elk van de twee rijen het verschil in gelijke mate over de twee pixels in een rij. Voor de bovenste rij is het verschil tussen de gemeten en de berekende absorptiewaarde  $6 - 10 = -4$ . En de helft daarvan is  $-2$ . Daarmee berekenen we de nieuwe absorptiewaarde voor de twee pixels in de bovenste rij (zie figuur 5 rechts):

- de pixel linksboven krijgt de waarde  $3\frac{1}{2} + (6 - 10)/2 = 1\frac{1}{2}$
- de pixel rechtsboven krijgt de waarde  $6\frac{1}{2} + (6 - 10)/2 = 4\frac{1}{2}$

Voor de onderste rij is het verschil tussen de gemeten en de berekende absorptiewaarde  $14 - 10 = 4$ . En de helft daarvan is 2. Daarmee berekenen we de nieuwe absorptiewaarde voor de twee pixels in de onderste rij (zie figuur 5 rechts):

- de pixel linksonder krijgt de waarde  $3\frac{1}{2} + (14 - 10)/2 = 5\frac{1}{2}$
- de pixel rechtsonder krijgt de waarde  $6\frac{1}{2} + (14 - 10)/2 = 8\frac{1}{2}$



Figuur 5 – Berekenen van het beeld met behulp van de gemeten absorptiewaarden in richting 2.

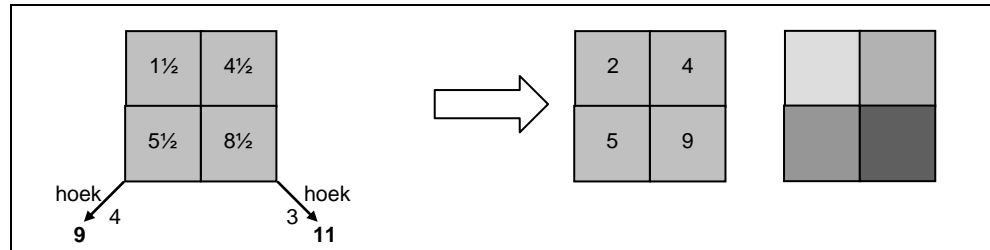
**Stap 3** – In richting 3 is de gemeten absorptiewaarde 11 en de absorptiewaarde op grond van de tweede schatting  $1\frac{1}{2} + 8\frac{1}{2} = 10$  (zie figuur 6 links). Op dezelfde manier als in stap 2 geeft dit voor de pixels linksboven en rechtsonder de volgende nieuwe absorptiewaarden (zie figuur 6 rechts):

- de pixel linksboven krijgt de waarde  $1\frac{1}{2} + (11 - 10)/2 = 2$
- de pixel rechtsonder krijgt de waarde  $8\frac{1}{2} + (11 - 10)/2 = 9$

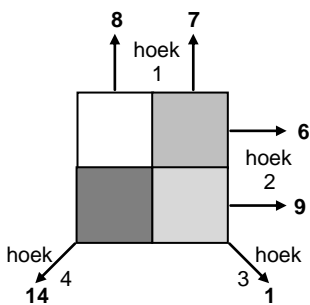
En in richting 4 is de gemeten absorptiewaarde 9 en de absorptiewaarde op grond van de tweede schatting  $5\frac{1}{2} + 4\frac{1}{2} = 10$  (zie figuur 6 links). Op dezelfde manier als in stap 2 geeft dit ten slotte voor de pixels linksonder en rechtsboven de volgende nieuwe absorptiewaarden (zie figuur 6 rechts):

- de pixel linksonder krijgt de waarde  $5\frac{1}{2} + (9 - 10)/2 = 5$
- de pixel rechtsboven krijgt de waarde  $4\frac{1}{2} + (9 - 10)/2 = 4$

Het resultaat van deze laatste berekeningen in figuur 6 rechts komt precies overeen met de werkelijke waarden in figuur 3. In figuur 6 is uiterst rechts ook nog weergegeven hoe het beeld er dan uiteindelijk in de vorm van grijswaarden uit komt te zien.



Figuur 6 – Berekenen van het beeld met behulp van de gemeten absorptiewaarden in de richtingen 3 en 4.



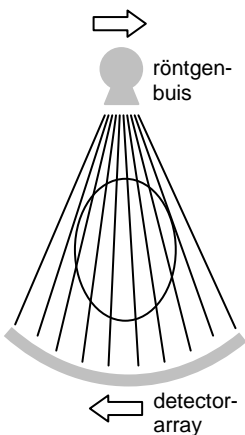
Figuur 7 – Een eenvoudig beeld van  $2 \times 2$  pixels met de gemeten absorptiewaarden in vier verschillende richtingen.

### 1 Beeld berekenen

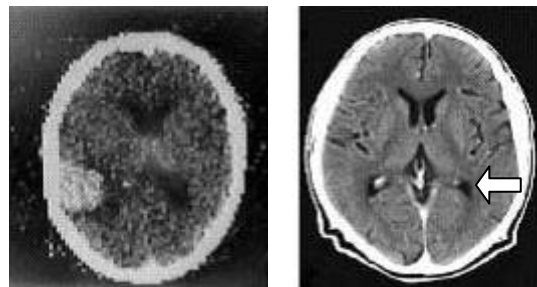
In figuur 7 zie je een tweede voorbeeld, nu met alleen de gemeten absorptiewaarden in de vier richtingen. Bereken daarmee in drie stappen de absorptiewaarden van de vier pixels in figuur 7.

Om de vier absorptiewaarden (of grijswaarden) van de pixels in de twee voorbeelden te berekenen, waren zes gemeten absorptiewaarden nodig (twee vanuit de richtingen 1 en 2, en één vanuit de richtingen 3 en 4). In de praktijk is het aantal pixels veel groter, en zijn er veel meer metingen van de absorptiewaarden vanuit veel meer verschillende richtingen nodig om het beeld te kunnen berekenen. En ook het aantal iteraties met de bijbehorende berekeningen is dan veel groter. Dat kan dus alleen snel door de computer worden gedaan. Het door de computer berekende beeld is 'goed genoeg' als het verschil tussen de berekende en gemeten absorptiewaarden voldoende klein is.

Figuur 8 laat zien hoe een CT-beeld eruit ziet bij verschillende waarden van de pixelgrootte (of resolutie).



Figuur 9 – Met een waaier-vormige röntgenbundel is gelijktijdig de absorptie in een groot aantal punten te meten, waarna de röntgenbuis en het detector-array beide over een kleine hoek draaien voor het maken van de volgende opname.



Figuur 8 – Twee CT-beelden met een dwarsdoorsnede van de hersenen. De beelden hebben een verschillende resolutie. De resolutie van het linkerbeeld is laag. Op het rechterbeeld, met een hogere resolutie, is een tumor zichtbaar (aangegeven met een pijl).

### Technische ontwikkeling

De techniek van het maken van een CT-scan zoals beschreven en weergegeven in figuur 1 is zo'n vijftig jaar oud. In moderne scanners levert de röntgenbron een waaier-vormige röntgenbundel (zie figuur 9). De absorptie wordt dan gemeten door een reeks detectoren (of: een detector-array). Voor het maken van opnames uit verschillende richtingen draaien de röntgenbuis en het detector-array (nog steeds) om het lichaam van de patiënt heen.

### 2 Scantijd

Leg uit welke invloed de hierboven beschreven technische ontwikkeling heeft op de tijd die nodig is voor het maken van een CT-scan.

Meer informatie over deze beeldvormingstechniek is te vinden op (onder andere) de volgende twee websites: <http://science.howstuffworks.com/cat-scan.htm> en <http://www.imaginis.com/ct-scan>