

## Zin en onzin van het aantal pixels per inch en hoe nu verder

Hans van Dormolen, Koninklijke Bibliotheek

Het aantal pixels per inch (ppi) is voor veel mensen nog steeds een eerste houvast bij het formuleren van digitaliserings richtlijnen. Zelfs worden bij het bepalen van het aantal ppi of dots per inch (dpi) formules gebruikt dit vanuit historisch oogpunt informatief en interessant zijn maar die in de huidige wereld van massadigitalisering verouderd en achterhaald zijn. Het aantal pixels per inch zegt niets over de kwaliteit van een beeld maar geeft aan hoe scherp een beeld in het beste geval kan zijn. Dit artikel is een pleidooi voor het basisprincipe van de Richtlijnen Preservation Imaging Metamorfoze: Meten is weten! Metamorfoze is het nationale conserveringsprogramma van de Koninklijk Bibliotheek en het Nationaal Archief. Met dit artikel probeer ik enig licht te werpen op de verwarring die ik over het aantal ppi in digitaliseringsrichtlijnen en publicaties voorbij zie komen.

### Goed belichten

Bij het maken van een foto zijn een aantal zaken van belang. Goed belichten een juiste contrastoverdracht en goed scherpstellen zijn onmiskenbaar de belangrijkste criteria waaraan voldaan moet worden voordat een opname voor conservering of substitutie gemaakt kan worden. Analoog werkte dit zo en digitaal is het niet anders. Ook andere factoren spelen een rol, zoals: de kwaliteit van de lens en voor analoge fotografie het formaat van het negatief<sup>1</sup>. Het formaat van het negatief is van belang voor de mate van detaillering. Een groot negatief biedt meer mogelijkheid voor detaillering dan een klein negatief. Digitaal kan je, heel voorzichtig, met uitsluiting van digitale compactcamera's<sup>2</sup>, hetzelfde zeggen: Meer pixels per inch biedt meer mogelijkheid tot detaillering dan minder pixels per inch.

### PPI zegt niets over de echte scherpste

Met het aantal pixels per inch wordt horizontaal en verticaal aangegeven met hoeveel pixels een digitale opname wordt gemaakt. Pixels zijn lichtgevoelige punten waarop een beeld kan worden vast gelegd. Met het aantal pixels per inch wordt dus de grootte van een raamwerk beschreven waarmee een opname gemaakt kan worden. Met 300 ppi wordt een raamwerk van 300 bij 300 beeldpunten per inch<sup>3</sup> bedoeld. Het aantal pixels per inch zegt echter niets over de scherpste die een beeld heeft maar geeft aan hoe scherp, of hoe groot de mate van detaillering, in het gunstigste geval, kan zijn. De detaillering, de scherpste, kan immers nooit groter zijn dan het aantal beschikbare beeldpunten van het raamwerk waarmee een opname wordt gemaakt.

### Theoretische scherpste

Voor het bepalen van de theoretisch maximaal haalbare scherpste, wordt gebruik gemaakt van het aantal pixels per inch en de Nyquist Theorie. Simpel gezegd komt de Nyquist Theorie neer op de stelling dat voor het waarnemen van 1 punt minimaal 2 punten nodig

---

<sup>1</sup> Kleinbeeld, middenformaat of vlakfilm.

<sup>2</sup> Het ideale aantal pixels is begrensd. Voor compactcamera's geldt: meer pixels betekent niet altijd een beter beeld.

<sup>3</sup> 1 inch = 2,54 cm. Dus 300 ppi betekent:  $300/2,54 = 118,11$  pixels per cm

zijn. Voor het waarnemen van 2 punten zijn dus minimaal 4 punten nodig. Een raamwerk van 300 x 300 pixels per inch betekent 118,11 x 118,11 pixels per cm. In millimeters zijn dit 11,81 x 11,81 pixels. Dat betekent dat we per strekkende millimeter beschikken over 11,81 beeldpunten. Als we dit aantal delen door 2 dan hebben we het maximale aantal punten per strekkende mm dat we kunnen waarnemen volgens de Nyquist Theorie. Het maximaal aantal punten dat we kunnen waarnemen met 11,81 punten per mm is dus  $11,81/2=5,905$ . Dit geldt zowel horizontaal als verticaal. We kunnen dus spreken van lijnen paren per mm die we kunnen waarnemen ipv punten per mm. Met het digitaliseren met 300 ppi is het theoretisch maximaal haalbare scheidendvermogen dus 5,9 lijnen paar per mm<sup>4</sup>. De vraag is nu: Wordt deze scherpte van 5,9 lp/mm ook echt in de opname gehaald en met hoeveel ppi is de opname eigenlijk gemaakt? Is er eigenlijk wel scherpgesteld?

### **Eerst scherp stellen**

Het licht dat op de pixels valt komt door een lens de camera of scanner binnen. De kwaliteit van de lens, zoals glassoort, coating en constructie heeft veel invloed op de scherpte van het beeld. Ook de mate van scherpstelling en het diafragma waarmee de opname is gemaakt zijn bepalend voor de scherpte. De scherpte, of kwaliteit van detaillering, is dus in eerste plaats afhankelijk van de kwaliteit van de lens. Het aantal pixels per inch moet dan ook enkel gezien worden als een theoretische benadering van een mogelijk haalbare scherpte, of mate van detaillering. Iemand kan immers een opname maken met 1200 ppi zonder scherp te stellen, of zelfs zonder lens op de camera te zetten.

### **Scherptemeting**

Bij microverfilming wordt de scherpte visueel vastgesteld met behulp van een microscoop en scherpte-testkaarten. Digitaal stellen we de scherpte vast met software. Deze software is gebaseerd op het meten van de contrastovergang tussen 2 grijswaarden zowel horizontaal en verticaal op pixel niveau. Deze meting heet Modulation Transfer Function<sup>5</sup> (MTF) of Spatial Frequency Response (SFR). In vakliteratuur worden beide aanduidingen gebruikt. Deze meting is vrij complex. Maar kan wel eenvoudig worden toegepast door het opnemen van een scherpte-testkaart<sup>6</sup> en door het laten analyseren van de opname van de scherpte-testkaart door software<sup>7</sup>. Deze software geeft veel informatie over de scherpte en het werkelijke aantal pixels per inch.

### **Werkelijke aantal pixels per inch**

Het werkelijke aantal pixels horizontaal en verticaal is voor camera's en sommige typen scanners fysiek begrensd door het aantal pixels horizontaal en verticaal op de sensor<sup>8</sup>. Naast deze fysieke maatvoering kan het aantal pixels per inch met software, bijvoorbeeld Photoshop, worden aangepast. Ook kan de software, die door de scanner of camera gebruikt wordt, het aantal pixels per inch dat optisch verkregen is, beïnvloeden. Ook

---

<sup>4</sup> Theoretische maximaal haalbare scherpte: 150 ppi = 2,9 lp/mm, 300 ppi = 5,9 lp/mm, 600 ppi = 11,8 lp/mm, 1200 ppi = 23,6 lp/mm

<sup>5</sup> Zie ISO 12233 en <http://www.imagescienceassociates.com/mm5/pubs/26pics2000burns.pdf>

<sup>6</sup> Scherpte testkaart zoals vermeld in de Richtlijnen Preservation Imaging Metamorfoze is de QA-

62

<sup>7</sup> MTF Software kan verkregen worden op o.a. site <http://www.imagescienceassociates.com/>

<sup>8</sup> Volgens een omschrijving van de fabrikant meet een beeldsensor bijvoorbeeld 3000 x 2000 pixels

bestaan er scanners die in de scanrichting 400 pixels per inch scannen en haaks op de scanrichting 300 ppi. De scansoftware verrekent dit dan weer, in het beste geval, naar horizontaal en verticaal 300 ppi. Een digitaal beeld is immers gewoon data waarop willekeurig berekeningen losgelaten kunnen worden. In de praktijk heb ik een geval meegemaakt waarbij door Photoshop op verschillende plekken<sup>9</sup> aangegeven werd dat een bestand bestond uit 300 pixels per inch, terwijl het werkelijke aantal pixels per inch door de MTF software werd berekend op 417. Omdat we het over data hebben kan er gemakkelijk een rekenfoutje gemaakt worden. Een rekenfoutje waarbij een bestand geleverd wordt in 417 ppi en niet in 300 ppi leidt tot een ernstige afwijking in de maatvoering<sup>10</sup> en tot een ernstige toename van de bestandsgrootte<sup>11</sup>. Daarom is het zinvol om niet alleen richtlijnen voor digitaliseren te formuleren maar vervolgens ook te controleren of de bestanden conform de richtlijnen zijn geleverd.

### Scherpte beoordeling

Bij het beoordelen van scherpte met de MTF meting beoordelen we onder andere het scheidendvermogen en de sampling efficiency<sup>12</sup>. Het scheidendvermogen is de maximaal gehaalde scherpte in de opname. De scherpte wordt aangegeven in lijnen paar per mm en geeft informatie over het kleinste detail dat we kunnen waarnemen in de opname. De sampling efficiency, de doeltreffendheid van het pixelgebruik, geeft inzicht in de verhouding tussen de scherpte en het gebruikte aantal pixels. De sampling efficiency wordt beschreven in een percentage en is daardoor toepasbaar voor elk willekeurig aantal pixels per inch.

### Sampling Efficiency

Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat uit de MTF meting blijkt dat een opname gemaakt is met 320 ipv 300 ppi. Ook blijkt bijvoorbeeld uit de MTF meting dat de scherpte horizontaal en verticaal 4 lp/mm is. Uitgaande van 320 ppi en de Nyquist Theorie weten we dat de maximaal haalbare scherpte 6,29 lp/mm is. De behaalde scherpte van 4 lp/mm is een stuk lager dan de maximaal haalbare scherpte van 6,29 lp/mm. De sampling efficiency wordt berekend door de behaalde scherpte te delen door de maximaal haalbare scherpte. In dit geval is de sampling efficiency:  $4/6,29=0,635$ , dus 63,5%. Dit geldt zowel horizontaal als verticaal. Voor het gehele beeldoppervlak is de sampling efficiency dan 40,32%<sup>13</sup>. Dat betekent dat bijna 60% niet effectief gebruikt wordt. Opslag van data kost geld. Het heeft geen zin om data op te slaan die onscherp is of data die bestaat uit pixels die niet volledig worden gebruikt. Maar wanneer is de scherpte te laag en op welk percentage is sampling efficiency te laag?

### Richtlijnen Preservation Imaging Metamorfoze

---

<sup>9</sup> In de metadata en als informatie bij bestandsgrootte.

<sup>10</sup> Bij het nameten van dit bestand in Photoshop met het gereedschap liniaal bleek dat 20 cm veranderd was in 27,8 cm.

<sup>11</sup> De afbeelding was geleverd met 417 ppi in Tiff uncompressed en had in dit geval een bestandsgrootte van 111,7 MB. Na uitvoering van een juiste berekening van het originele camerabestand naar Tiff 300 ppi bleek de bestandsgrootte 58,7 MB te zijn.

<sup>12</sup> ISO 12233 wordt binnenkort uitgebreid met een toelichting over Sampling Efficiency op 10% MTF zie <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=20695152>

<sup>13</sup>  $0,635 \times 0,635 = 0,4032$ , dus 40,35%.

Het doel van de digitaliseringsrichtlijnen van Metamorfoze is om een preservation master te maken die zo goed is als het origineel. Daarmee wordt bedoeld dat alle informatie die in het origineel zichtbaar is ook zichtbaar moet zijn in de preservation master. Voor het bepalen van het aantal ppi beschrijven we het kleinste detail dat we willen kunnen waarnemen in de preservation master. Hiermee beschrijven we een goed scherp digitaal beeld dat van toepassing is voor alle soorten originelen: kranten, boeken, tijdschriften en handschriftelijk materiaal. We gaan uit van de stelling dat voor het duidelijk kunnen lezen van een onderkast letter 'e' van 1 mm groot we minimaal 5 punten per mm moeten kunnen onderscheiden. Om 5 punten per mm te kunnen onderscheiden zijn minimaal 10 pixels nodig. Dit betekent dat er minimaal met 254<sup>14</sup> ppi moet worden gedigitaliseerd. Om te voorkomen dat de scherpte onder de 5 lp/mm komt moet er met 300<sup>15</sup> ppi worden gedigitaliseerd. De sampling efficiency is dan 84%<sup>16</sup>. Met het geven van toleranties voor de vervorming, de maatvoering<sup>17</sup>, zorgen we dat er met niet meer dan 300 ppi wordt gedigitaliseerd. De geleverde bestanden controleren we vervolgens om te kijken of ze voldoen aan onze richtlijnen. Indien de scherpte iets onder de 5 lp/mm blijkt te zitten is het afhankelijk van de detaillering in de originelen of we opnieuw laten digitaliseren of niet.

### **Beleidsregel vervanging archiefbescheiden**

Het is dus van belang om het gewenste niveau van detaillering te bepalen voordat met digitaliseren wordt begonnen. En het is van belang om te meten of het gewenste niveau van detaillering tijdens de digitalisering is gehaald. Helaas wordt regelmatig in digitaliseringsrichtlijnen enkel het gewenste aantal ppi vermeld zonder vermelding van het gewenste niveau van detaillering. Ter onderbouwing van het gewenste aantal ppi wordt ook regelmatig een achterhaalde formule gebruikt: de digitale variant van de Quality Index<sup>18</sup>. Deze formule wordt onder andere door de provincies Groningen, Friesland en Noord-Holland in de 'Beleidsregel vervanging archiefbescheiden' gepresenteerd. Maar deze formule werkt niet. De beeldtechnische onderbouwing klopt om meerdere redenen niet<sup>19</sup>. Ook wordt nergens in de formule gesproken over het nameten van een digitaal bestand om te zien of het aantal ppi klopt. Gelukkig weten we nu dat het aantal ppi ook helemaal niets zegt over de echte kwaliteit van het beeld. De digitale Quality Index kan dus ook helemaal niet werken! De digitale variant van de QI

---

<sup>14</sup> 10 pixels per mm = 100 pixels per cm = 254 pixels per inch. 5lp/mm betekent 10 lijnen per mm met een lijndikte van 0,1 mm.

<sup>15</sup> De theoretisch maximaal haalbare scherpte wordt slecht zelden gehaald. Daarom is het raadzaam om met iets meer pixels te digitaliseren dan theoretisch nodig is.

<sup>16</sup> 300 ppi, maximale scherpte is 5,9 lp/mm. 5lp/mm betekent een sampling efficiency van  $5/5,9=0,84=84\%$ .

<sup>17</sup> In de Richtlijnen Preservation Imaging Metamorfoze is de geometrische vervorming, zowel horizontaal als verticaal, begrensd op 1%.

<sup>18</sup> De formule van de digitale variant van de Quality Index is een voorspelling van een niveau van kwaliteit gebaseerd op het aantal pixels per inch waarmee men van plan is te gaan digitaliseren. Voor meer informatie zie: <http://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial/conversion/conversion-04.html>

<sup>19</sup> Bij de onderbouwing van de digitale Quality Index wordt het wegvallen van grijswaarden bij bitonaal scannen gecompenseerd door het scannen met een groter aantal pixels per inch. Hier worden begrippen als tonale weergave en scherpte door elkaar gehaald. Ook is nergens in de onderbouwing een verband te vinden met de scherptemaat: lp/mm.

wordt o.a. beschreven in het boek 'Moving Theory into Practice'<sup>20</sup>. Dit boek moet worden gezien als een informatief beeldwetenschappelijk geschiedenisboek.

### **Geschiedenis**

Met digitalisering stappen we in een nieuwe wereld. Richtlijnen en normeringen zijn nog in ontwikkeling. De MTF meting is zeer complex en geeft veel informatie. Er is enige tijd discussie geweest tussen beeldwetenschappers over het interpreteren van de MTF meting. In het boek 'Moving Theory into Practice' wordt deze discussie mooi belicht. Een paar jaar na het publiceren van dit boek is 10% MTF geaccepteerd als indicatie van de maximale scherpte. Deze interpretatie gaat uit van het Rayleigh Criterium<sup>21</sup> en is gebaseerd op de scherpte beleving van het menselijk oog.

### **Hoe nu verder**

De Metamorfoze richtlijnen (<http://www.metamorfoze.nl/>) gaan uit van het beschrijven en meten van objectieve beeldcriteria en een visuele controle van de preservation master op artefacten. Deze benadering krijgt nationaal en internationaal veel erkenning. Met het Nationaal Archief wordt momenteel bekeken hoe deze benadering tot uiting kan komen in de 2<sup>e</sup> versie van de Richtlijnen Digitalisering Nationaal Archief. Ook in Amerika worden, door een initiatief<sup>22</sup> van bibliotheken, archieven en musea, richtlijnen ontwikkeld die hetzelfde concept 'Meten is weten' hanteren. Ik hoop dat deze benadering ook binnen Nederland in de toekomst breder gedragen wordt.

Hans van Dormolen werkt als beeldspecialist bij de Koninklijke Bibliotheek. Hij is co-auteur van de Richtlijnen Preservation Imaging Metamorfoze en auteur van de Richtlijnen Preservation Microfilming Metamorfoze. Hij is lid van de Society for Imaging Science & Technology (IS&T) en hij is in 2008 genomineerd voor een IS&T award.

Hans van Dormolen  
November 2009  
Koninklijke Bibliotheek  
Den Haag

---

<sup>20</sup> 'Moving Theory into Practice, Digital Imaging for Libraries and Archives' is geschreven door Anne R. Kenney en Oya Y. Rieger, is gepubliceerd in 2000.

<sup>21</sup> Rayleigh Criterium: formule voor detail waarneming. Deze formule wordt veel in de optica en sterrenkunde gebruikt. Lord Rayleigh (1842-1919) was een Engelse natuurkundige.

<sup>22</sup> Federal Agencies Digitization Guidelines Initiative,  
<http://www.digitizationguidelines.gov/stillimages/>