

# **DIE VERSYFERING VAN HISTORIESE KOSMIESE STRAAL-DATA**

*Verhandeling voorgelê ter gedeeltelike nakoming van die vereistes vir die graad  
Magister Scientiae in Rekenaarwetenskap aan die Potchefstroomkampus van  
die Noordwes-Universiteit*

TJAARD DU PLESSIS

13076078



NORTH-WEST UNIVERSITY  
YUNIBESITHI YA BOKONE-BOPHIRIMA  
NOORDWES-UNIVERSITEIT

# **DIE VERSYFERING VAN HISTORIESE KOSMIESE STRAAL-DATA**

## ***THE DIGITIZATION OF HISTORIC COSMIC-RAY DATA***

*Verhandeling voorgelê ter gedeeltelike nakoming van die vereistes vir die graad  
Magister Scientiae in Rekenaarwetenskap aan die Potchefstroomkampus van  
die Noordwes-Universiteit*

**TJAARD DU PLESSIS**

**13076078**

Studieleier: Prof. G.R. Drevin

Medestudieleier: Prof. H. Moraal

MEI 2010

# Bedankings

*Dankie aan die eksaminatore, vergun my om in hierdie wetenskaplike studie, 'n oomblik soos 'n emosionele wese belangrike mense te bedank:*

*Dankie aan God, sonder Hom kon, sou en wou ek nie. Die hulp was so ongelooflik dat Hy eerder as hoofouteur as bedanking gelys moet word.*

*Dankie aan my studieleier, Prof. Gunther Drevin. Hy besit oor ongelooflike kennis in die veld van beeldverwerking.*

*Dankie aan my ouers, Hans en Magdaleen du Plessis, sonder hulle sou ek nie kon nie, emosioneel, residensieel, finansieel, die lys gaan aan.*

*Dankie aan my verloofde, Ilzé Minny, sonder haar sou ek dit nie so vinnig klaargekry het nie! Dit is moontlik om 'n afleiding en motivering gelyktydig te wees.*

*Dankie aan tannie Carin en oom Hennie, vir die gebruik van jul internet! Op daardie noot, dankie aan Oosthuizen 57 se eetkamertafel, hy kan eersdaags weer vir eet gebruik word.*

*Dankie aan Eduan Gonsalves, my medebeeldverwerking-honneursstudent, dankie vir vriendelike en soms gedwonge insette. Vir wenke oor hoe om iemand vir ete te nooi en dan intellektueel in te span, besoek my webtuiste. Dankie ook dat daar iemand was wat verstaan as ek eerder die laplaciaan in die ruimtelike as in die frekwensiedomein wou gebruik.*

*Dankie aan my kamermaats, Warren Linden en Marnus Botha, vir motivering en die afsit, sagsit en uitsit van TV's, Guitar Hero en buurhonde. Ek sien uit om weer die kombuis en sitkamer te sien.*

*Dankie aan my ou skoolvriende, vir die konstante simpatie in die vorm van: "Ons wil nie hoor van jou M-verskoning nie, jy het dit gekies! Bou 'n brug!". Dit hou mens se voete op die grond.*

# Uittreksel

*As gevolg van navorsing oor kosmiese strale in die 1930's, het die Carnegie Instituut in Washington DC die konstruksie van kosmiese straal observasiestadies regoor die wêreld inisieer. Kosmiese straal aktiwiteit was gemeet deur die model C kosmiese straal-ionisasiekamer. Hierdie model C kosmiese straal-ionisasiekamer gebruik 'n Lindemann elektrometer om die ionisasie van 'n sfeer met gesuiwerde argon te meet. Om die ionisasie as gevolg van kosmiese strale te dokumenteer word die skaduwee van die elektrometernaald op 'n bewegende strook fotografiese papier geprojekteer. Elke uur word die kamer vir drie minute gegrond en sodoende word die elektrometer weer na die nul-posisie gedryf.*

*Ses ionisasiekamers was gebou en op ses stasies regoor die wêreld geïnstalleer. Omtrent 114 jaar se data was gedokumenteer. Die fotografiese papier het 25 mm 'n uur beweeg wat na beraming 25 km se fotografiese papiermetings opgelewer het.*

*Dit is belangrik om hierdie metings te versyfer en volhoubaar te stoor vir toekomstige navorsing oor kosmiese-strale van hierdie tydperk. Die versyfering van kosmiese straal-data behels die omskakeling van die data na betekenisvolle syfers.*

*Die doel van hierdie studie is om te wys dat hierdie historiese kosmiese straal-data versyfer kan word deur beeldverwerkingstegnieke toe te pas. Elke voorgrondelement van die data; die uurmerkers, skaallyne en datareeks word gesegmenteer. Deur hierdie gesegmenteerde beelde te gebruik, kan die kosmiese straal-data versyfer word.*

*Die studie begin met 'n kort inleiding tot kosmiese strale soos hulle vandag gedokumenteer word asook hoe hulle voor die 1950's gedokumenteer is. Belangrike gebeurtenisse in die area van kosmiese strale, "ground level enhancements" (GLE's), word ook verduidelik. Vier van hierdie GLE's was slegs deur die model C kosmiese straal-ionisasiekamers gemeet.*

*Om te wys dat dit moontlik is om historiese kosmiese straal-data te versyfer, word twee navorsingsmetodes gebruik: 'n Literatuurstudie van bestaande beeldverwerkingstegnieke wat as sinvol geïdentifiseer vir die segmentering van die voorgrondelemente van historiese kosmiese straal-data sowel as eksperimentering.*

*Eksperimentering is die primêre navorsingsmetode. Bestaande tegnieke word toegepas en aangepas om die voorgrondelemente van die kosmiese straal-data te segmenteer. Nuwe tegnieke word ook ontwikkel. Die iteratiewe eksperimenteringsfase word in detail bespreek soos 'n algoritme ontwikkel word om die historiese kosmiese straal-data suksesvol te versyfer.*

*Die studie sluit af met 'n interpretasie van die resultate wat in eksperimentering verkry is. Die sukses van die algoritme word gemeet en toekomstige studies word geïdentifiseer. Die gevolgtrekking is dat dit wel gewys kan word dat historiese kosmiese straal-data versyfer kan word deur beeldverwerkingstegnieke toe te pas.*

# ***Abstract***

*Due to the research on cosmic-rays in the 1930's, the Carnegie Institute in Washington DC instigated the construction of cosmic-ray observation centers around the world. Cosmic-ray activity was recorded using the model C cosmic-ray ionization chamber which uses a Lindemann electrometer. The shadow of the electrometer needle was projected onto a continuously moving strip of 60 mm photographic paper. Hour markers were recorded by dimming the lamp for three minutes at the start of each hour, while also grounding the ionization chamber. By grounding the ionization chamber the electrometer needle was returned to the zero position.*

*Six ionization chambers were built and installed at six stations around the world. Approximately 114 station-years of data were recorded. Photographic paper moved about 25 mm an hour giving approximately a 25 km strip of photographic record.*

*It is important to digitize these recordings in order to preserve them for further study of cosmic-rays from this time period. The digitizing of cosmic-ray recordings involves the process of transforming the recording image into numbers. Binarizing these recordings will also preserve it in a clear format enabling future research.*

*This study is an attempt to prove that these historic cosmic-ray recordings can be digitized by using image processing techniques. Each foreground element of the recordings; the hour markers, calibration lines and data sequence is segmented. By using these segmented images, the recordings are digitized into meaningful numbers.*

*The study begins with a brief introduction on cosmic-rays as they are recorded today, and how they were recorded before the 1950's. Important events in the area of cosmic-rays, ground level enhancements (GLE's), are also introduced. Four of these GLE's were only recorded by the old model C cosmic ray ionization chambers.*

*To show that it is indeed possible to digitize the historic cosmic-ray recordings, two research methodologies are used: A literature study of image processing techniques thought to be helpful in segmenting the foreground elements of the recordings and experimentation with these techniques.*

*Experimentation is the primary research methodology. Existing techniques are used and adapted to segment the foreground elements of the recordings. New techniques*

*are also developed. The iterative experimental phase is discussed in detail as an algorithm is formed to successfully digitize the historic cosmic-ray recordings.*

*The study concludes with an interpretation of the results obtained in the experimental phase. The success of the algorithm is measured and future studies are introduced. In the end it is indeed shown that historic cosmic-ray recordings can be digitized by implementing image processing techniques.*

# Sleutelsterme / *Key terms*

- Beeldverwerking / *Image processing*
- Kosmiese strale / *Cosmic-rays*
- Segmentasie / *Segmentation*
- Versyfering / *Digitization*

# Voorwoord

*Hierdie verhandeling is nie in artikel formaat gedoen nie. Een artikel rondom die versyfering van historiese kosmiese straal-data is egter gepubliseer vir die 2009 IEEE Eurocon konferensie in St. Petersburg, Rusland. Nog 'n artikel is aanvaar vir 'n plakkaat by die negentiende jaarlikse simposium van PRASA in Kaapstad, Suid Afrika. Hierdie artikels is as bylae ingesluit.*

# Inhoudsopgawe

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Bedankings .....                      | ii   |
| Uittreksel .....                      | iii  |
| <i>Abstract</i> .....                 | v    |
| Sleutelterme / <i>Key terms</i> ..... | vii  |
| Voorwoord .....                       | viii |
| Inhoudsopgawe .....                   | ix   |
| Lys van figure .....                  | xii  |
| Lys van tabelle .....                 | xvii |

## HOOFSTUK 1 – Inleiding

|       |                                      |   |
|-------|--------------------------------------|---|
| 1.1   | Agtergrond .....                     | 1 |
| 1.1.1 | Kosmiese strale .....                | 1 |
| 1.1.2 | GLE's.....                           | 2 |
| 1.1.3 | Historiese kosmiese straal-data..... | 3 |
| 1.2   | Probleemstelling.....                | 6 |
| 1.3   | Doelstelling.....                    | 7 |
| 1.4   | Navorsingsmetodologie.....           | 7 |
| 1.4.1 | Motivering .....                     | 7 |
| 1.4.2 | Literatuurstudie .....               | 7 |
| 1.4.3 | Eksperimentering.....                | 7 |
| 1.5   | Omvang van studie .....              | 8 |

## HOOFSTUK 2 – Literatuurstudie

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1   | Dokument-beeldverwerking .....          | 10 |
| 2.1.1 | Proses .....                            | 10 |
| 2.2   | Vaslegging .....                        | 11 |
| 2.2.1 | Vorbereiding van die dokument .....     | 11 |
| 2.2.2 | Balans tussen resolusie en grootte..... | 12 |
| 2.3   | Beeldverbetering .....                  | 12 |
| 2.3.1 | Ruimtelike domein .....                 | 13 |
| 2.3.2 | Frekwensiedomein .....                  | 20 |
| 2.3.3 | Morfologiese beeldverwerking .....      | 25 |

|       |                                   |    |
|-------|-----------------------------------|----|
| 2.3.4 | Hough transform.....              | 31 |
| 2.3.5 | Aanpasbare beeldbinarisasie ..... | 33 |
| 2.4   | Interpretering.....               | 37 |
| 2.4.1 | Karakterherkenning .....          | 37 |
| 2.4.2 | Versyfering .....                 | 38 |
| 2.5   | Slotopmerkings .....              | 38 |

## **HOOFSTUK 3 – Eksperimentering**

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.1   | Inleiding.....              | 40 |
| 3.1.1 | Vaslegging.....             | 40 |
| 3.1.2 | Beeldverbetering .....      | 41 |
| 3.1.3 | Interpretering .....        | 42 |
| 3.2   | Eksperimentele ontwerp..... | 43 |
| 3.2.1 | Doel .....                  | 43 |
| 3.2.2 | Proses .....                | 43 |
| 3.2.3 | Suksesmeting .....          | 43 |
| 3.2.4 | Toetsdata.....              | 47 |
| 3.2.5 | Tegnologie.....             | 49 |
| 3.3   | Voorkennis .....            | 50 |
| 3.3.1 | Datareeks .....             | 50 |
| 3.3.2 | Uurmerkers.....             | 51 |
| 3.3.3 | Skaallyne .....             | 51 |
| 3.4   | Vaslegging .....            | 51 |
| 3.4.1 | Onttrekking .....           | 51 |
| 3.5   | Beeldverbetering .....      | 60 |
| 3.5.1 | Uurmerkers.....             | 60 |
| 3.5.2 | Datareeks .....             | 63 |
| 3.5.3 | Skaallyne .....             | 64 |
| 3.5.4 | Samevoeging.....            | 71 |
| 3.6   | Interpretering.....         | 72 |
| 3.6.1 | Versyfering .....           | 72 |

## **HOOFSTUK 4 – Bespreking en Interpretasie**

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 4.1   | Inleiding.....         | 77 |
| 4.2   | Vaslegging .....       | 77 |
| 4.2.1 | Onttrekking .....      | 77 |
| 4.3   | Beeldverbetering ..... | 78 |
| 4.3.1 | Uurmerkers.....        | 78 |
| 4.3.2 | Datareeks .....        | 79 |
| 4.3.3 | Skaallyne .....        | 79 |

|       |                     |    |
|-------|---------------------|----|
| 4.3.4 | Vergelyking.....    | 81 |
| 4.4   | Interpretering..... | 83 |
| 4.4.1 | Versyfering .....   | 83 |

## **HOOFSTUK 5 – Gevolgtrekking**

|   |                           |     |
|---|---------------------------|-----|
| 5.1                                     | Gevolgtrekking .....      | 86  |
| 5.2                                     | Verdere studie.....       | 86  |
| 5.3                                     | Slotopmerkings .....      | 87  |
| Bylaag A - Resultate.....               |                           | 88  |
| A.1                                     | Oorspronklike beelde..... | 88  |
| A.2                                     | Onttrekking .....         | 90  |
| A.3                                     | Uurmerkers.....           | 93  |
| A.4                                     | Datareeks .....           | 94  |
| A.5                                     | Skaallyne .....           | 95  |
| A.6                                     | Samevoeging.....          | 104 |
| A.7                                     | Vergelyking.....          | 106 |
| A.8                                     | Versyfering .....         | 114 |
| Bylaag B – Artikel (PRASA 2008) .....   |                           | 118 |
| Bylaag C – Artikel (EUROCON 2009) ..... |                           | 125 |
| Bylaag D – Bronkode .....               |                           | 133 |
| Bronnelys .....                         |                           | 136 |

# Lys van figure

|  |          |
|--|----------|
| Figuur 1.1: Intensiteit van kosmiese strale soos gemeet met die Hermanus Neutronmonitor sedert sy oprigting in 1957 (Noordwes-Universiteit, 2009). ..... | 2        |
| Figuur 1.2: GLE van 20 Januarie 2005 soos waargeneem met die Sanae neutronmonitor. ....  | 3        |
| Figuur 1.3: Arthur Holly Compton en 'n model C kosmiese straal ionisasiekamer (Time Magazine, 1936). ....  | 4        |
| Figuur 1.4: Lindemann elektrometer.....  | 4        |
| <i>Figuur 1.5: Fotografiese papiermetings van kosmiese strale. ....</i>  | <i>5</i> |
| Figuur 1.6: Data vanaf die model C kosmiese straal ionisasiekamer. ....  | 5        |
| Figuur 2.1: 'n Beeld (links) en sy negatief (regs).....  | 13       |
| Figuur 2.2: 'n 3×3 filter (regs) en die beeld omgewing waaroor dit geplaas sal word (links).....   | 15       |
| Figuur 2.3: 'n 3 × 3 gladmaakfilter.....   | 16       |
| Figuur 2.4: 'n 3 × 3 gladmaakfilter wat 'n geweegde gemiddeld gebruik.....   | 16       |
| Figuur 2.5: 'n Kosmiese straal beeld (links) met die resultaat as 'n 3 × 3 mediaanfilter op die beeld toegepas word (regs).....                          | 17       |
| Figuur 2.6: Laplaciaan masker. ....  | 18       |
| Figuur 2.7: Sobel operatore.....   | 18       |
| Figuur 2.8: 'n Beeld (links), sy Laplaciaan (middel) en die som van die twee (regs).....   | 19       |
| Figuur 2.9: 'n High-boost skerpmaakfilter.....   | 20       |

|  |    |
|--|----|
| Figuur 2.10: 'n Beeld (links) met sy gesentreerde Fourierspektrum (regs). .....  | 21 |
| Figuur 2.11: Beelde wat met 'n ideale laagdeurlaatfilter verwerk is (bo) en hul Fourierspektrums (onder) na hoë frekwensies afgesny is met $D0 = 5,15,30,80,230$ . ....  | 22 |
| Figuur 2.12: Beelde wat met 'n ideale hoogdeurlaatfilter verwerk is (bo) en hul Fourierspektrums (onder) na lae frekwensies afgesny is met $D0 = 15,30,80$ . .....   | 23 |
| Figuur 2.13: 'n Beeld (links) en die beeld na homomorfeise filtrering (regs) met $\gamma L = 0.5$ , $\gamma H = 2.0$ , $c = 0.01$ en $D0 = 255$ . .....  | 25 |
| Figuur 2.14: 'n Konvolusiemasker. ....   | 26 |
| Figuur 2.15: 'n Beeld (links) wat uitgedy is (regs). ....  | 27 |
| Figuur 2.16: 'n Beeld (links) wat geërodeer is (regs). ....  | 28 |
| Figuur 2.17: Randekstraksie (regs) van die beeld (links) met behulp van erosie. ....   | 29 |
| Figuur 2.18: Ekstraksie van verbinde komponente. Die oorspronklike beeld (links), 'n versameling punte wat bekend is (middel) en die ekstraksie van komponente wat verbind is aan hierdie versameling. ....  | 30 |
| Figuur 2.19: Omskakeling vanaf die ruimtelike domein (links) na die parameter ruimte (regs). ....  | 32 |
| Figuur 2.20: 'n Beeld (links), sy Hough transform (middel) en die geïdentifiseerde reguit lyne in die beeld (regs). ....   | 32 |
| Figuur 2.21: 'n Beeld met teks (links) en die resultaat van aanpasbare beeldbinarisasie op hierdie beeld (regs). ....  | 33 |
| Figuur 2.22: Gatos, Pratikakis & Perantonis. ....  | 37 |
| Figuur 3.1: Die beeldverbeteringsproses vir kosmiese straal-beelde. A – Een uur van die oorspronklike kosmiese straal-beeld, B,C en D – die binêre beelde na die segmentasie van die datareeks, die uurmerkers en die skaallyne in A. E – die samevoeging van B, C en D om die finale verbeterde te verkry. .... | 41 |
| Figuur 3.2: Saamgevoegde beelde vir vergelyking. Die oorspronklike beeld (links), die oorspronklike beeld teenoor die finale verbeterde beeld (middel) asook die drie binêre voorgrond-elementbeelde bo-oor die oorspronklike beeld (regs). ....   | 45 |
| Figuur 3.3: 'n Voorbeeld van 'n handgemaakte binarisasie. ....   | 46 |

|   |    |
|---|----|
| Figuur 3.4: Kosmiese straal-ionisasiekamerstasies. ....   | 48 |
| Figuur 3.5: Die verwydering van perforasiegatejies. A – Die oorspronklike beeld, B,C – die perforasiegatejies soos dit geïdentifiseer is, D – die beeld met perforasiegatejies verwyder. Die grafiek aan die regterkant toon die aangepaste ry gemiddeldes, die globale grysvlak gemiddeld en die geïdentifiseerde snypunte. .... | 52 |
| Figuur 3.6: Verskil tussen die maksimum grysvlakwaarde en die gemiddelde grysvlakwaarde geplot teenoor gamma. Dit is van 'n beeld wat telkens na 'n gebied van nul tot 255 geskaal word na die toepassing van die magtransform. ....  | 54 |
| Figuur 3.7: Die verwydering van perforasiegatejies. A – Die oorspronklike beeld, B,C – die perforasiegatejies soos dit geïdentifiseer is, D – die beeld met perforasiegatejies verwyder. Die grafiek aan die regterkant toon die aangepaste ry gemiddeldes, die globale grysvlak gemiddeld en die geïdentifiseerde snypunte. .... | 56 |
| Figuur 3.8: Gemiddelde grysvlakwaardes van die kolomme ( $m(y)$ ) van 'n kosmiese straal-beeld (CHEL1).....   | 58 |
| Figuur 3.9: Die Hough transform-akkumulatormatriks van CHEL1, uur 4. Die Rho as is genormaliseer. Uurmerker-areas is met kringe aangedui.....   | 61 |
| Figuur 3.10: Die dinamiese berekening van q vir $G = 10$ . ....   | 67 |
| Figuur 3.11: Die Hough transform-akkumulatormatriks van CHEL1, uur 4. Die Rho as is genormaliseer. Die skaallyn-area is met 'n reghoek aangedui. ....   | 69 |
| Figuur 3.12: Die versyferingsalgoritme.....   | 73 |
| Figuur A.1: Toetsbeeld een, van die stasie Cheltenham: CHEL1. ....  | 88 |
| Figuur A.2: Toetsbeeld twee, van die stasie Huancayo: HUAN. ....  | 88 |
| Figuur A.3: Toetsbeeld drie, ook van die stasie Cheltenham: CHEL3.....  | 88 |
| Figuur A.4: Toetsbeeld vier, van die stasie Christchurch: CHRS. ....  | 89 |
| Figuur A.5: Toetsbeeld vyf, van die stasie Godhavn: GHVN.....   | 89 |
| Figuur A.6: Onttrekking van sub-beelde uit CHEL1 (uur 4 en 8). ....   | 90 |
| Figuur A.7: Onttrekking van sub-beelde uit HUAN (uur 4 en 8).....   | 91 |
| Figuur A.8: Onttrekking van sub-beelde uit CHEL3 (uur 4). ....  | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Figuur A.9: Onttrekking van sub-beelde uit CHRS (uur 4).....  | 92  |
| Figuur A.10: Onttrekking van sub-beelde uit (uur 7 en 9).....   | 92  |
| Figuur A.11: Uur 4 en 8 van CHEL1 (links) en HUAN (regs) se segmentasie.....  | 93  |
| Figuur A.12: Uur 4 van CHEL3 en CHRS, asook uur 7 en 9 van GHVN se segmentasie.<br>.....  | 93  |
| Figuur A.13: Uur 4 en 8 van CHEL1 (links) en HUAN (regs) se datareeks. ....   | 94  |
| Figuur A.14: Datareeks van CHEL3, CHRS en DHVN uur 7 en 9.....  | 94  |
| Figuur A.15: Binarisasie van CHEL1 (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. .... | 95  |
| Figuur A.16: Binarisasie van CHEL1 (uur 8), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. .... | 96  |
| Figuur A.17: Binarisasie van HUAN (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. ....  | 96  |
| Figuur A.18: Binarisasie van HUAN (uur 8), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. ....  | 97  |
| Figuur A.19: Binarisasie van CHEL3 (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. .... | 97  |
| Figuur A.20: Binarisasie van CHRS (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. ....  | 98  |
| Figuur A.21: Binarisasie van GHVN (uur 7), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. ....  | 98  |
| Figuur A.22: Binarisasie van GHVN (uur 9), van links na regs is die negatief, Sauvola<br>se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie. ....  | 99  |
| Figuur A.23: Uur 4 (bo) en 8 (onder) van CHEL1 se aanpasbare Hough en<br>interpolering. ....  | 100 |
| Figuur A.24: Uur 4 (bo) en 8 (onder) van HUAN se aanpasbare Hough en interpolering.<br>.....  | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| Figuur A.25: Uur 4 van CHEL3 (bo) en CHRS (onder) se aanpasbare Hough en interpolering. ....               | 102 |
| Figuur A.26: Uur 7 (bo) en 9 (onder) van GHVN se aanpasbare Hough en interpolering. ....                   | 103 |
| Figuur A.27: Finale verbeterde beeld van CHEL1 (bo), HUAN (onder), uur 4 en 8. ...                         | 104 |
| Figuur A.28: Finale verbeterde beeld, uur 4 van CHEL3 en CHRS (bo), asook uur 7 en 9 van GHVN (onder)..... | 105 |
| Figuur A.29: Vergelyking van CHEL1, uur 4.....   | 106 |
| Figuur A.30: Vergelyking van CHEL1, uur 8.....   | 107 |
| Figuur A.31: Vergelyking van HUAN, uur 4. ....   | 108 |
| Figuur A.32: Vergelyking van HUAN, uur 8. ....   | 109 |
| Figuur A.33: Vergelyking van CHEL3, uur 4.....   | 110 |
| Figuur A.34: Vergelyking van CHRS, uur 4. ....   | 111 |
| Figuur A.35: Vergelyking van GHVN, uur 7.....  | 112 |
| Figuur A.36: Vergelyking van GHVN, uur 9.....  | 113 |
| Figuur A.37: Die versyfering van CHEL1, uur 4 en 8.....  | 114 |
| Figuur A.38: Die versyfering van HUAN, uur 4 en 8. ....  | 115 |
| Figuur A.39: Die versyfering van uur 4 van CHEL3 en CHRS.....  | 116 |
| Figuur A.40: Die versyfering van GHVN, uur 7 en 9.....   | 117 |

# Lys van tabelle

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3.1: MATLAB se voorstelling van matrikse (beelde).....  | 50 |
| Tabel 3.2: 'n 60-minuteskaal vir die 'n datareeks met 120 datareekspunte (kolomme tussen uurmerkers). ..... | 74 |
| Tabel 3.3: 'n 60-minuteskaal vir 'n datareeks met 120 kolomme, een waarde vir elke minuut. ....             | 74 |
| Tabel 4.1: Die suksesmeting van die versyferingsproses.....   | 82 |
| Tabel 4.2: Opsomming van versyferingsukses.....   | 83 |
| Tabel 4.3: Versyferingswaardes van minuut drie tot twaalf, per minuut. ....                                 | 83 |
| Tabel 4.4: Aantal datareekspunte vir elke beeld. ....   | 83 |

---

# HOOFSTUK

## 1 Inleiding



---

|       |                                      |   |
|-------|--------------------------------------|---|
| 1.1   | Agtergrond .....                     | 1 |
| 1.1.1 | Kosmiese strale .....                | 1 |
| 1.1.2 | GLE's.....                           | 2 |
| 1.1.3 | Historiese kosmiese straal-data..... | 3 |
| 1.2   | Probleemstelling.....                | 6 |
| 1.3   | Doelstelling.....                    | 7 |
| 1.4   | Navorsingsmetodologie.....           | 7 |
| 1.4.1 | Motivering .....                     | 7 |
| 1.4.2 | Literatuurstudie.....                | 7 |
| 1.4.3 | Eksperimentering.....                | 7 |
| 1.5   | Omvang van studie .....              | 8 |

# 1.1 Agtergrond

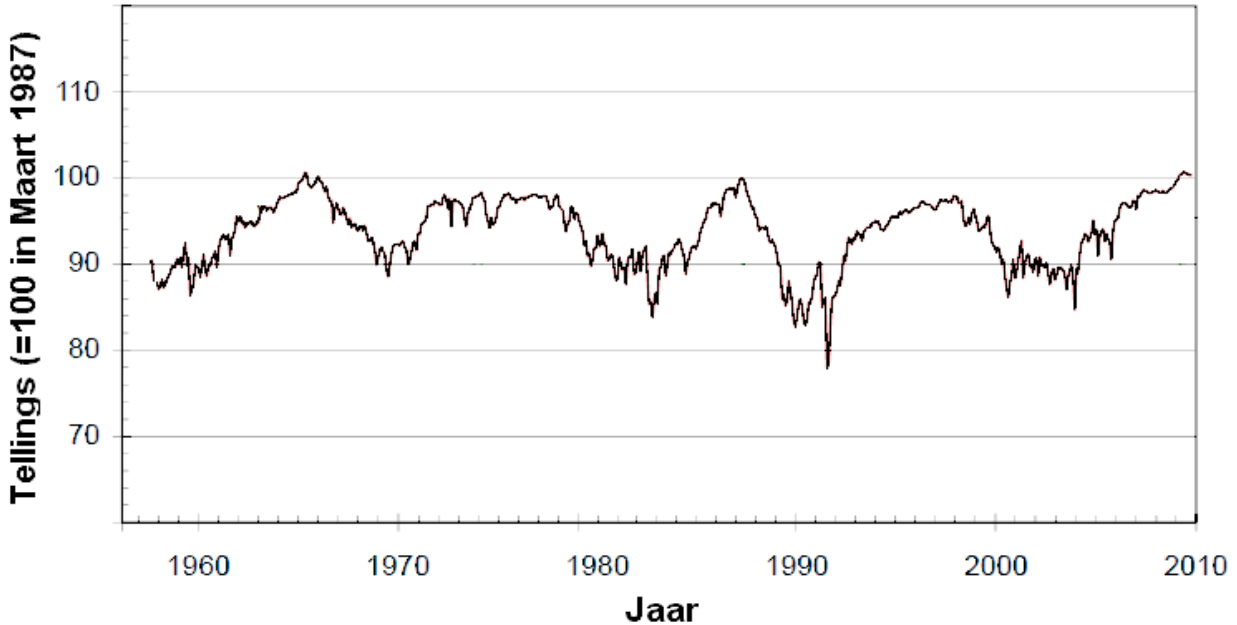
## 1.1.1 Kosmiese strale

Die aarde se atmosfeer word deurdring deur kosmiese strale. Kosmiese strale is hoogsenergieke deeltjies wat deur bronne soos supernovas, pulsare, neutronsterre en ander eksotiese voorwerpe tot baie hoë energieë versnel word. Hierdie kosmiese strale:

- Dra by tot omtrent 'n derde van die aarde se natuurlike radio-aktiwiteit,
- dra by tot die menslike blootstelling aan bestraling (ARPANSA, 2008),
- is 'n bydraende faktor tot die ontstaan van weerlig (Gurevich & Zybin, 2005:37) en
- speel moontlik 'n rol in klimaatsverandering (Realclimate, 2006).

Ongeveer 95% van kosmiese strale is protone. Hulle word hoofsaaklik met satelliete en ruimtetuie geregistreer, omdat botsings van hierdie deeltjies met die atmosfeer se kerne hulle vernietig. Hierdie botsings vorm 'n stortreën van sekondêre deeltjies in die atmosfeer (Anchordoqui *et al.*, 2003). As die intensiteit van kosmiese strale bo die atmosfeer verander, verander die sekondêre intensiteit presies in dieselfde verhouding. Dus kan mens die verandering in die intensiteit van kosmiese strale in die atmosfeer meet. Dit word tans met sogenaamde neutronmonitors gedoen (Simpson, 2000). Die Eenheid vir Ruimtefisika aan die NWU het vier sulke neutronmonitors te Sanae, Hermanus, Potchefstroom en Tsumeb (Noordwes-Universiteit, 2009).

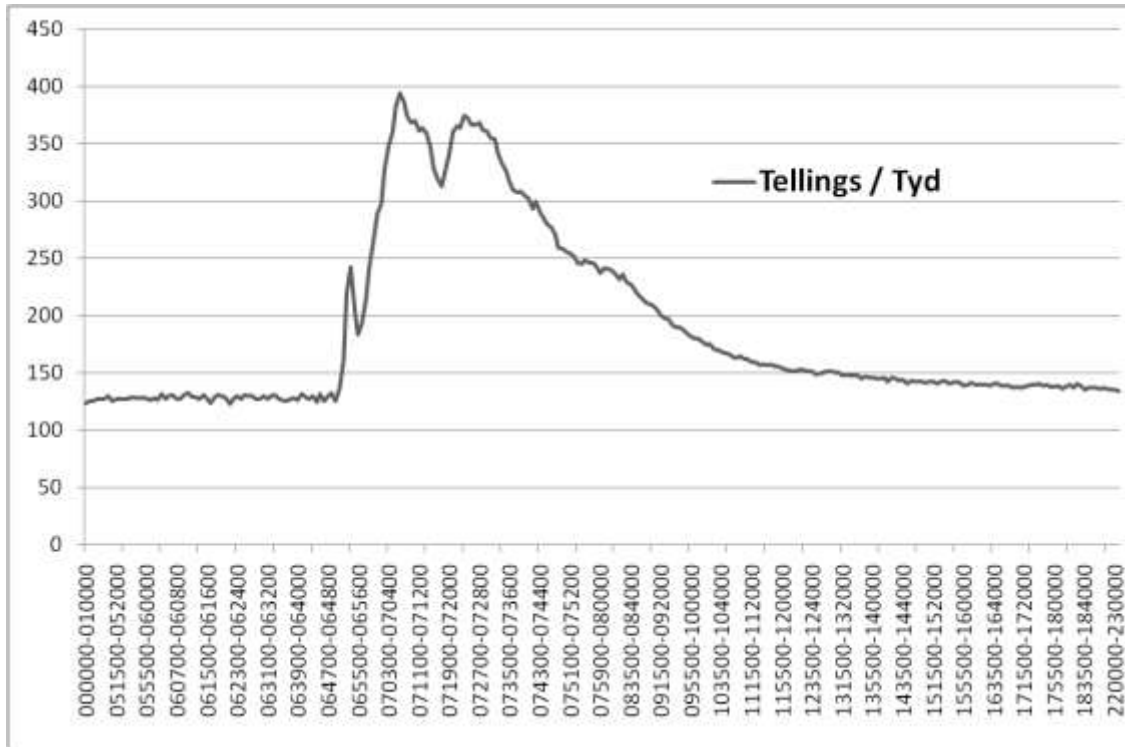
Figuur 1.1 toon as voorbeeld die intensiteit van kosmiese strale soos gemeet met die Hermanus neutronmonitor sedert sy oprigting in 1957. Dit is duidelik dat daar variasies van alle groottes en periodes is. Die dominante een is 'n 11-jaar variasie. Maksimum intensiteit van kosmiese strale kom voor in 1965, 1976, 1987, 1997, en 2009. Hierdie kosmiese straal-maksima kom ooreen met die minima in die algemene aktiwiteit van die son. Hierdie antikorrelasie is die beste aanduier dat kosmiese strale dus nie van die son afkomstig is nie. Die son het eerder 'n meganisme om kosmiese strale uit die binnenste heliosfeer weg te hou as hy aktief is, en te laat inkom as hy minder aktief is. Hierdie proses heet heliosferiese modulاسie van galaktiese kosmiese strale.



*Figuur 1.1: Intensiteit van kosmiese strale soos gemeet met die Hermanus Neutronmonitor sedert sy oprigting in 1957 (Noordwes-Universiteit, 2009).*

### 1.1.2 GLE's

Die son is egter 'n tipiese ster in ons galaksie, en kan tog wel onder sekere omstandighede hoogsenergieke kosmiese strale produseer. Sulke versnellingmeganismes kom gewoonlik voor wanneer sonvlekke in sonvlamme uitbars, en die kosmiese strale wat so geproduseer word, word *Solar Energetic Particles* (SEP's) genoem. Soms is hierdie SEP's so energiek dat hulle ook, saam met die galaktiese kosmiese strale, deur die atmosfeer kan dring, en daarom kan mens hulle sekondêre produkte op grondvlak met 'n neutronmonitor meet. In daardie geval word die SEP 'n *Ground Level Enhancement* (GLE) genoem. Dit is baie kort gebeurtenisse wat nooit meer as 'n paar uur duur nie. As die sonvlam en sy geassosieerde emissies verby is, verdwyn die GLE ook weer. Sulke GLE's is werklik uitsonderlik, want sedert 1942 is daar nog net 70 van hulle waargeneem, dit wil sê slegs gemiddeld ongeveer een per jaar. Figuur 1.2 toon as voorbeeld GLE 69 van 20 Januarie 2005 soos waargeneem met die Sanae neutronmonitor.



Figuur 1.2: GLE van 20 Januarie 2005 soos waargeneem met die Sanae neutronmonitor.

### 1.1.3 Historiese kosmiese straal-data

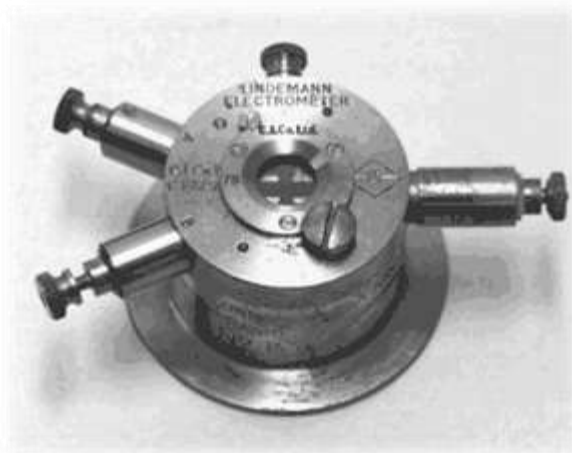
Neutronmonitors het eers in die middel 1950's die voorkeurinstrument vir die registrasie van kosmiese strale geword. Die Hermanus neutronmonitor is tans die tweede langste kontinue werkende neutronmonitor in die wêreld. Neutronmonitors registreer die deeltjies een vir een, met 'n sogenaamde proporsionele teller, en die tellings word elektronies verwerk en gestoor. Hierdie elektronika is tans volledig gedigitaliseer en geoutomatiseer, en die neutronmonitor het weinig onderhoud en aandag nodig.

Voor die 1950's is kosmiese strale egter hoofsaaklik deur sogenaamde ionisasiekamers geregistreer. In die 1930's het die Carnegie Instituut in Washington DC 'n aantal navorsers opdrag gegee om kosmiese strale te ondersoek, hulle het gou agtergekom dat apparatuur regoor die aarde nodig is om kosmiese strale effektief waar te neem (Lange & Forbush, 1948:1). So die posisionering van sewe kosmiese straal-meters: die Compton-Wollan-Bennett ionisasiekamer (ook genoem die model C kosmiese straal-ionisasiekamer), vir die aaneenlopende meet van kosmiese strale (Benett *et al.*, 1934:415). A.H. Compton, die later Nobelpryswenner, het 'n groot bydrae tot die ontwerp gemaak, Figuur 1.3 toon hom met so 'n ionisasiekamer en die meegaande elektrometer in Figuur 1.4. Vyf van hierdie ionisasiekamers is van 1935 tot 1938 in Maryland, Peru, Mexiko, Nieu-Seeland en Groenland geïnstalleer terwyl die ander twee vir spesiale navorsingsdoeleindes gebruik is.



*Figuur 1.3: Arthur Holly Compton en 'n model C kosmiese straal ionisasiekamer (Time Magazine, 1936).*

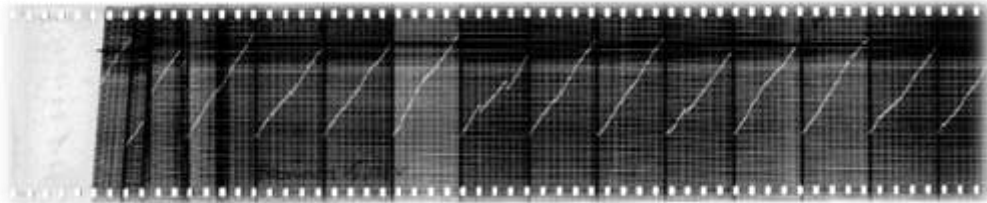
Hierdie model C kosmiese straal ionisasiekamer gebruik 'n Lindemann elektrometer (Figuur 1.4) om die ionisasie van 'n sfeer met gesuiwerde argon te meet. Om die ionisasie as gevolg van kosmiese strale te dokumenteer word die skaduwee van die elektrometernaald op 'n bewegende strook fotografiese papier geprojekteer. Elke uur word die kamer vir drie minute gegrond en sodoende word die elektrometer weer na die nul-posisie gedryf (Bennett *et al.*, 1934:415).



*Figuur 1.4: Lindemann elektrometer*

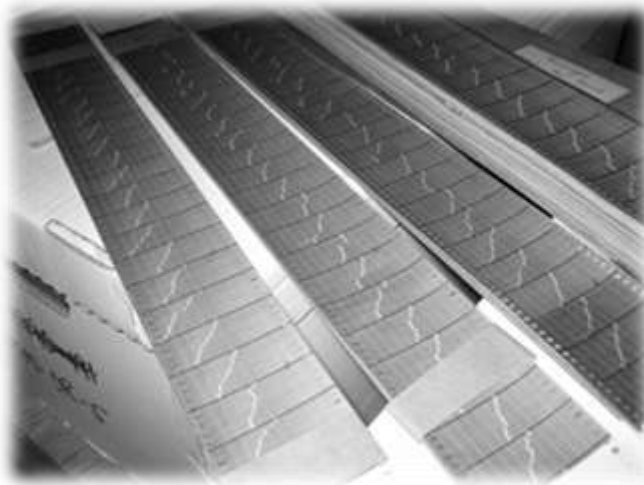
Die laaste ionisasiekamers was tot 1959 en 1960 in onderskeidelik Mexiko Stad en Huancayo in bedryf. Vanaf GLE nommer vyf, op 23 Februarie 1956, is daar verskeie wat deur beide die nuwe neutronmonitors en die ou ionisasiekamers geregistreer is. Die eerste vier GLE's (28 Februarie 1942, 7 Maart 1942, 25 Julie 1946 en 19 November 1949) is egter slegs deur hierdie ionisasiekamers geregistreer.

Altesaam is daar ongeveer 114 jaar se kosmiese straal-data op fotografiese papierstroke gestoor (Figuur 1.5 en Figuur 1.6), meer as 25 km se data. Hierdie metings is die enigste beskikbare kontinue kosmiese straal-data voor die 1950's. Die doel van hierdie verhandeling is om hierdie analoë rekords van die intensiteit van kosmiese strale, veral omdat dit die eerste vier GLE's bevat, met behulp van moderne beeldverwerkingstegnieke te versyfer, en hulle deel te maak van die grafiese databasis soos wat tans deur McCracken *et al.* (2009) ontwikkel word.



*Figuur 1.5: Fotografiese papiermetings van kosmiese strale.*

Hierdie massas data is belangrik vir die navorsing van kosmiese strale. Om hierdie groot hoeveelheid data effektief te kan benut moet dit verwerk word na digitale formaat en volhoubaar gestoor word.



*Figuur 1.6: Data vanaf die model C kosmiese straal ionisasiekamer.*

## 1.2 Probleemstelling

Om hierdie ou data te verwerk na digitale formaat is tegnieke uit die veld van dokument-beeldverwerking nodig. Dokumentbeeldverwerking is 'n baie wye veld met spesifieke tegnieke vir amper elke probleem. Die doel van dokumentbeeldverwerking is om deur middel van 'n rekenaar papiertipe dokumente outomaties te verwerk en te interpreteer (Jain *et al.*, 1995).

Beeld-verwerking en -verbetering is die ideale gereedskap om die data van die model C kosmiese straal ionisasiekamer, soos in Figuur 1.5 hierbo, te verwerk na syfers. Dokument-beeldverwerking bied talle tegnieke om dokumente wat verouderd en onduidelik is te verbeter, asook om voorgrondelemente van agtergrond te onderskei (Gonzales & Woods, 2002:220). Hierdie tegnieke is egter nie een heeltemal van toepassing op die spesifieke probleem van die kosmiese straal-data nie. Die kosmiese straal-data moet deur 'n reeks verwerkings gaan om dit sodoende duidelik te laat vertoon. Daar is data van verskillende stasies, elke stasie se kwaliteit verskil, verder varieer die kwaliteit van elke stasie se data ook oor tyd. Daarom is 'n dinamiese algoritme nodig om aan te pas by die verskeidenheid verstourings van elke strook papier. Die doel is eerstens om hierdie data in 'n skoon digitale formaat om te skakel vir die bewaring daarvan en tweedens om die skoon data om te skakel na syfers. Slegs as dit gedoen is, sal hierdie data gebruik kan word in die belangrike navorsing rondom kosmiese straal-aktiwiteit.

Daarom is die vrae: Watter kombinasie van tegnieke moet toegepas word om hierdie dokumente duidelik te laat vertoon? Watter nuwe of aangepaste tegnieke moet ontwikkel word? Watter tegnieke moet toegepas word om die data om te skakel in betekenisvolle syfers? As opsomming:

***Hoe kan die kosmiese straal-data, deur dokument-beeldverwerking toe te pas, outomaties en aanpasbaar verwerk word tot betekenisvolle, betroubare inligting?***

Hierdie studie is dan die begin van navorsing wat vereis word om hierdie vraag te beantwoord. As hierdie vraag suksesvol beantwoord word kan navorsing oor hierdie data 'n bydrae lewer tot die belangrike navorsing oor kosmiese straal-aktiwiteite asook in die veld van dokument-beeldverwerking.

## 1.3 Doelstelling

Die primêre doel van hierdie studie kan dan uiteengesit word as die versyfering van historiese kosmiese straal ionisasiekamermetings (1930 - 1950). Alhoewel die studie navorsing in kosmiese straal-aktiwiteit bevorder, is dit egter primêr 'n studie op die gebied van dokument beeldverwerking. Hierdie omvattende doel kan opgebreek word in die volgende doelstellings:

- Bepaal bestaande dokument-beeldverwerkingstegnieke geskik vir hierdie proses,
- pas bestaande tegnieke aan vir die gebruik in hierdie omgewing en
- ontwikkel nuwe tegnieke om die doel te bereik.

Indien daar suksesvol in hierdie doel geslaag word sal dit kosmiese straalnavorsing 'n aansienlike hupstoot gee aangesien jare se historiese data volhoubaar herwin word. Buiten die data wat herwin word sal hierdie navorsing ook sy plek hê in dokument-beeldverwerking. Tegnieke wat aangepas en ontwikkel word sal as bydraende navorsing in dokument-beeldverwerking dien.

## 1.4 Navorsingsmetodologie

### 1.4.1 Motivering

Vir hierdie studie is heelwat benaderings oorweeg. Die studie kan nie onderneem word sonder 'n deeglike literatuurstudie nie. 'n Literatuurstudie is geskik vir die tegniese, sosiale en filosofiese kategorie van navorsing (Olivier, 2004:7). Dit is egter nie voldoende om in hierdie studie slegs een navorsingsmetode te gebruik nie. Om bewyse te lewer en algoritmes te toets is 'n tweede metode gekies, genaamd eksperimentering (Olivier, 2004:68).

### 1.4.2 Literatuurstudie

In die eerste plek is dit nodig om 'n deeglike literatuurstudie te onderneem, 'n algemene navorsingsmetode veral in Rekenaarwetenskap (Ramesh *et al.*, 2004:167). Daar is reeds verskeie dokument beeldverwerkingstegnieke wat gebruik of aangepas kan word vir ons doel. Dit sal ook 'n wegspringpunt wees vir die ontwikkeling van nuwe tegnieke.

### 1.4.3 Eksperimentering

Die primêre navorsingsmetode is egter eksperimentering, dit is eintlik die toepassing van die literatuur en eksperimentering daarmee. Na tegnieke bymekaargemaak, aangepas en ontwikkel is, moet dit toegepas word op die data totdat dit 'n bevredigende resultaat lewer. Dit kan alleen gedoen word deur eksperimentering (March & Smith, 1995:259). Dit sal 'n iteratiewe proses wees van ontwikkeling, toetsing en aanpassing.

## 1.5 Omvang van studie

Hierdie studie fokus op dokument-beeldverwerking, alhoewel die motivering en oorhoofse doel is om die navorsing van kosmiese strale te ondersteun, konsentreer hierdie studie op die versyfering van die historiese kosmiese straal-data. Die versyfering behels die ontwikkeling van dokument-beeldverwerkingstegnieke en die toepassing van ou en aangepaste tegnieke om sodoende die fotografiese papierdokumente duidelik te laat vertoon vir die volhoubare stoor daarvan, asook om dit om te skakel na betekenisvolle syfers. Die studie is daarom glad nie gemoeid met die interpretering van die data nie maar bloot met die implementering en eksperimentering van tegnieke.

---

# HOOFSTUK

## 2 Literatuurstudie



---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1   | Dokument-beeldverwerking .....          | 10 |
| 2.1.1 | Proses .....                            | 10 |
| 2.2   | Vaslegging .....                        | 11 |
| 2.2.1 | Voorbereiding van die dokument .....    | 11 |
| 2.2.2 | Balans tussen resoluie en grootte ..... | 12 |
| 2.3   | Beeldverbetering .....                  | 12 |
| 2.3.1 | Ruimtelike domein .....                 | 13 |
| 2.3.2 | Frekwensiedomein .....                  | 20 |
| 2.3.3 | Morfologiese beeldverwerking .....      | 25 |
| 2.3.4 | Hough transform .....                   | 31 |
| 2.3.5 | Aanpasbare beeldbinarisasie .....       | 33 |
| 2.4   | Interpretering .....                    | 37 |
| 2.4.1 | Karakterherkenning .....                | 37 |
| 2.4.2 | Versyfering .....                       | 38 |
| 2.5   | Slotopmerkings .....                    | 38 |

## 2.1 Dokument-beeldverwerking

Dokument-beeldverwerking word al vir veertig jaar bestudeer. Die doel van dokument-beeldverwerking is om deur middel van 'n rekenaar, papiertipe-dokumente outomaties te verwerk en te interpreteer (Jain *et al.*, 1995).

Dokument-beeldverwerking bestaan uit verskeie areas soos karakterherkenning vir vormverwerking, patroonherkenning, grafiekanalise en forensiese ontleding (Doermann *et al.*, 2003). Outomatisasie bly die hoofdoel (Ejiri *et al.*, 1984:107).

### 2.1.1 Proses

Die proses van dokument-beeldverwerking bestaan uit die volgende stappe:

- **Vaslegging:** Vir dokument-beeldverwerking is dit nodig dat die dokument (van hier af genoem beeld) in digitale formaat beskikbaar is. Die beeld word geskandeer vanaf die oorspronklike dokument. Soms word die beeld op ander maniere verkry soos deur byvoorbeeld foto's van die dokument te neem met 'n digitale kamera. Die spesifieke wyse waarop vaslegging plaasvind hang egter in elke geval af van die tipe dokument en die doel waarvoor dit gebruik word (Doermann *et al.*, 2003).
- **Beeldverbetering:** Om beelde outomaties te interpreteer deur die rekenaar is baie akkurrater op duidelike skoon beelde. Dit is egter selde dat 'n beeld verkry deur 'n vasleggings-apparaat duidelik en skoon is. Gevolglik is voorverwerking, wat bestaan uit verskeie tegnieke om 'n beeld te verbeter (*image enhancement*), 'n belangrike stap in dokumentbeeldverwerking. Beelde is onduidelik of uit fokus as gevolg van die volgende faktore:
  - **Ruis:** Die ewekansige variasie van lig of kleur in beelde veroorsaak spikkels op die beeld, dit word hoofsaaklik aan swak beligting toegeskryf.
  - **Lae resolusie.**
  - **Oneweredige beligting.**
  - **Perspektief versteuring:** Dit kom byvoorbeeld voor as dokumente wat geskandeer word nie heeltemal plat lê nie.
  - **Bewegende voorwerpe:** Dit kom hoofsaaklik voor as 'n kamera gebruik word as die vasleggings-apparaat.
  - **Intensiteit- of kleur-kwantifisering:** Sommige vasleggings-apparate identifiseer nie alle intensiteitswaardes of kleure korrek nie.
  - **Kompressie:** Soms word beelde verklein na dit vasgelê is (Doermann *et al.*, 2003).

Hierdie faktore bemoeilik die interpreteringsproses en so veel as moontlik van hierdie faktore moet eers verwyder word. 'n Algemene tegniek is om die beeld deur middel van beeldbinarisasie of –drempeling om te skakel na 'n binêre (swart

en wit beeld) wat interpretering verder kan vergemaklik. Indien dit nodig is om die belangrike dele van die beeld uit te haal, kan dit deur middel van segmentasie gedoen word. Hoe beter die proses van beeldverbetering, hoe akkurater is die interpreteringsproses.

- **Interpretering:** Die laaste stap is die interpretering van die beeld en die omskakeling van die beeld na 'n dokument wat verder verwerk kan word. Hierdie stap behels tipies die identifisering van teks in die dokument en die omskakeling daarvan na redigeerbare formaat deur die gebruik van karakterherkennings-algoritmes. Benewens teks kan die interpretering ook die versyfering van grafika soos byvoorbeeld grafieke of planne behels (Doermann *et al.*, 2003).

Die res van hierdie studie word aan die hand van hierdie drie stappe van dokument-beeldverwerking gelei. Vervolgens word elk van hierdie drie stappe in detail bespreek.

## 2.2 Vaslegging

Voor 'n dokument verwerk kan word, is dit eers nodig om dit in digitale formaat te kry. Die mees algemene metode is skandering, alhoewel kameras ook gebruik word. Hierdie stap in die dokument-beeldverwerkingsproses is eenvoudig maar baie belangrik.

Vir hierdie studie is die fotografiese papier waarop die kosmiese straal-data vasgelê is geskandeer met 'n *Epson Perfection 4490* foto skandeerder teen 'n resolusie van 600 beeldpunte per duim (*dpi*) en 8 bisse per beeldpunt.

Die *Records Management Services* van die Staat Michigan het 'n dokument saamgestel met 'n aantal belangrike standaarde waaraan die vasleggingsproses moet voldoen (Michigan, 2005). Die voorbereiding van die dokument vir skandering word vervolgens opgesom:

### 2.2.1 Voorbereiding van die dokument

Die voorbereiding van dokumente voor skandering is kardinaal tot die sukses van die beeldverwerkingsproses. Dit is nodig om te verseker dat die oorspronklike dokument akkuraat en volledig weergegee word in sy digitale formaat. Die voorbereiding sluit in (Michigan, 2005):

- Verwyder knippies, krammetjies of enige ander bindtoestel.
- Verwyder voue om te verseker dat geen inligting verlore gaan nie.
- Identifiseer belangrike inligting op die dokument voor skandering. In die geval van kosmiese straal-data is alle dokumente dieselfde, daarom hoef belangrike inligting nie met elke beeld geïdentifiseer te word nie.
- Dokumenteer vermiste dokumente.
- Organiseer data in relevante groepe.

Met die vaslegging van dokumente as digitale beelde is dit ook nodig om die stoor spasie wat sulke digitale beelde sal opneem in berekening te bring:

## **2.2.2 Balans tussen resolusie en grootte**

Stoor spasie is altyd 'n probleem by die stoor van beelde. Soos die resolusie van 'n beeld toeneem verbeter die kwaliteit van daardie beeld, maar terselfdertyd word al hoe meer spasie benodig om die beeld te stoor. Dit is dus nodig om 'n geskikte balans tussen kwaliteit en spasie te vind. Gelukkig word stoor spasie al hoe goedkoper wat maak dat beelde met beter kwaliteit gestoor kan word. Hoe beter die kwaliteit, hoe beter sal die eindresultaat wees (Michigan, 2005). Kompresie kan ook gebruik word om beelde se fisiese stoor grootte te verminder, dit moet egter nie kompresie wees wat die beeld se kwaliteit sal verswak nie.

Na die vaslegging van die beelde is dit tyd vir die beeldverbeteringsproses. Soos reeds genoem is beelde nie altyd van goeie kwaliteit na skandering nie as gevolg van onvoldoende skanderingstechnologie asook die ouderdom en kwaliteit van die oorspronklike dokument. Beelde kan onder andere skeef, vol ruis, onduidelik, dof, te lig of uit fokus wees en gevolglik is beeldverbetering nodig. Tekortkominge in die vasleggingsproses word soms eers tydens beeldverbetering uitgewys.

## **2.3 Beeldverbetering**

Die spesifieke beeldverbeteringstechnieke wat gebruik word, is uniek aan die beelde wat verbeter moet word en die doel of toepassing waarvoor die verbeterde beelde gebruik word. 'n Optimale versameling tegnieke word tipies deur middel van eksperimentering verkry. Die kern van hierdie studie is die bestudering van, en eksperimentering met metodes en tegnieke wat gebruik kan word om die datareeks op die geskandeerde kosmiese straalbeelde so akkuraat moontlik te onttrek en te versyfer. Vervolgens word tegnieke wat geïdentifiseer is as moontlik geskik vir die verbetering van die kosmiese straalbeelde bespreek.

Eerstens sal daar gekyk word na grysvlaktransforms wat in die ruimtelike domein op beelde toegepas word. Masker- en filter-bewerkings sal ook bespreek word. Daarna sal 'n aantal frekwensiedomeinfilters bespreek word. Morfologiese beeldverwerking, die Hough transform en aanpasbare beeldbinarisasie sal ook bespreek word.

## 2.3.1 Ruimtelike domein

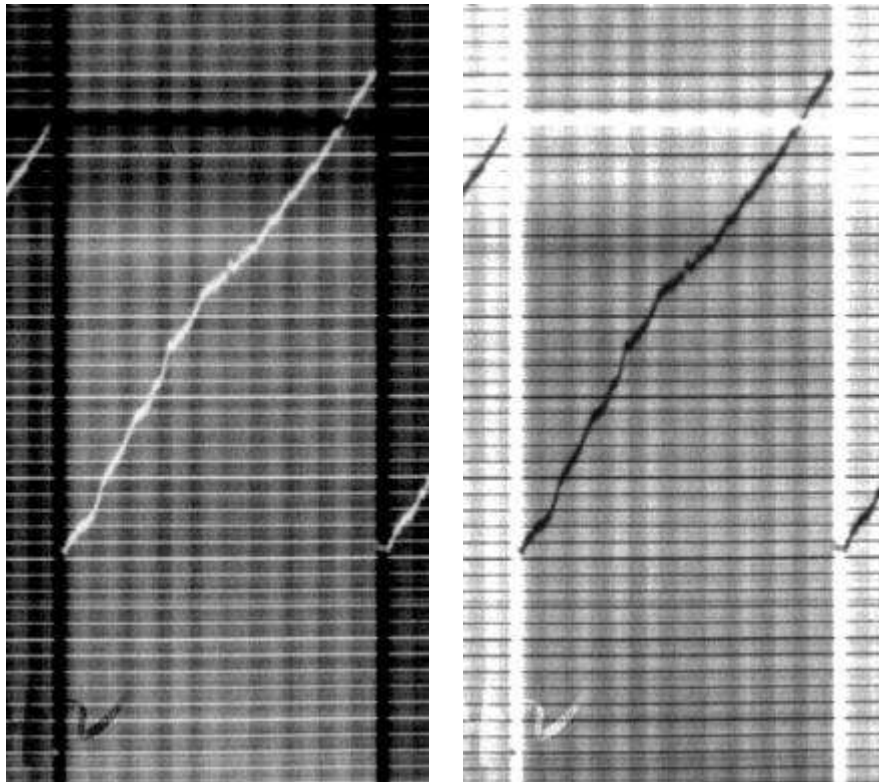
### 2.3.1.1 Grysvlaktransforms

Beeldverbetering in die ruimtelike domein bied belangrike beeldverbeteringstegnieke (Cheng & Nho, 1996:179). Grysvlaktransforms is een van die tegnieke van beeldverbetering in die ruimtelike domein. Die ruimtelike domein verwys na die beeld wat opgemaak is uit beeldpunte, beeldverbetering in die ruimtelike domein is dus die direkte manipulering van hierdie beeldpunte (Gonzalez & Woods, 2002:75). Verskeie wiskundige funksies word gebruik om die beeldpunte te manipuleer.

Een so 'n grysvlaktransform word gebruik om die negatief van 'n beeld te bereken:

$$s = L - 1 - r. \quad (2.1)$$

$L$  is die aantal grysvlakke in die beeld,  $r$  is die spesifieke beeldpunt se oorspronklike grysvlakwaarde en  $s$  is die nuwe grysvlakwaarde vir die beeldpunt. Die resultaat van hierdie transform is dat donker beeldpunte ligter gemaak word en omgekeer, Figuur 2.1 toon 'n voorbeeld.



*Figuur 2.1: 'n Beeld (links) en sy negatief (regs).*

Nog 'n transform is die logaritmetransform wat die kontras verhoog van die lae (donker) grysvlakwaardes en die kontras verlaag van die ligte grysvlakwaardes wat dan 'n ligter beeld as resultaat lewer (Gonzalez & Woods, 2002:79):

$$s = \log(1 + r). \quad (2.2)$$

$c$  is 'n konstante wat  $s$  se waarde na dieselfde waardegebied as  $r$  sal transformeer, dit word gewoonlik gelyk aan een gestel. Verder is daar ook die magtransform wat elke beeldpunt se grysvlakwaarde tot 'n mag verhef.

$$s = cr^\gamma. \quad (2.3)$$

'n Positiewe  $\gamma$  het dieselfde werking as die logtransform en 'n negatiewe  $\gamma$  het die teenoorgestelde werking. Die magtransform staan as *gamma correction* bekend indien dit gebruik word om te kompenseer vir die nie-lineêre respons van beeldvaslegging apparatuur soos drukkers en skerms.

Elke grysvlaktransform bied sy eie unieke veranderings aan die grysvlakwaardes van 'n beeld. Dit is dus nodig om te weet wat die resultaat van elke transform is om op die beste transform vir 'n beeld te kan besluit. Soms is dit nodig om 'n kombinasie van transforms te gebruik. Die parameters van elke transform kan ook gevarieer word om verskillende resultate te verkry. As die beeld verwerk word vir visuele interpretasie is die oog die beste oordeel of die beeld werklik verbeter met die gebruik van verskillende transforms met verskillende parameters. As die beeld verwerk word vir masjien interpretasie (soos byvoorbeeld karakterherkenning) is die evaluasieproses minder subjektief (Gonzalez & Woods, 2002:75).

### **2.3.1.2 Ruimtelike-filtrering**

Beelde word dikwels met behulp van filters (ook bekend as maskers of vensters) in die ruimtelike domein verbeter, dit word ruimtelike-filtrering genoem. 'n Filter is 'n matriks koëffisiënte wat regoor die beeld beweeg word om vir elke beeldpunt  $f(x, y)$  'n nuwe grysvlakwaarde te bereken gebaseer op die beeldpunte in sy omgewing. Hierdie nuwe grysvlakwaarde word die reaksie van die filter genoem. Met liniêre ruimtelike-filtrering word die reaksie verkry deur die som van die produkte van die filter koëffisiënte en die ooreenstemmende beeldpunte in die omgewing te bereken (Gonzalez & Woods, 2002:116).

Die liniêre ruimtelike-filtrering van 'n  $M \times N$  grootte beeld,  $f$ , met 'n  $m \times n$  grootte filter,  $w$ , word gegee deur:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t), \quad (2.4)$$

waar  $a = (m - 1)/2$  en  $b = (n - 1)/2$  om onewe grootte filters te lewer. Om 'n algehele gefiltreerde beeld te verkry moet hierdie formule vir waardes van  $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  en  $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$  toegepas word. Die masker se oorsprong is in sy middel. Figuur 2.2 toon die filter en die beeld omgewing waaroor dit geplaas sal word.

|                   |               |                   |             |            |            |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------|------------|------------|
| $f(x - 1, y - 1)$ | $f(x - 1, y)$ | $f(x - 1, y + 1)$ | $w(-1, -1)$ | $w(-1, 0)$ | $w(-1, 1)$ |
| $f(x, y - 1)$     | $f(x, y)$     | $f(x, y + 1)$     | $w(0, -1)$  | $w(0, 0)$  | $w(0, 1)$  |
| $f(x + 1, y - 1)$ | $f(x + 1, y)$ | $f(x + 1, y + 1)$ | $w(1, -1)$  | $w(1, 0)$  | $w(1, 1)$  |

*Figuur 2.2: 'n 3x3 filter (regs) en die beeld omgewing waaroor dit geplaas sal word (links).*

Vervolgens word daar gekyk na verskillende ruimtelike-filters; gladmaakfilters en skerpmaakfilters.

### 2.3.1.2.1 Gladmaakfilters

Gladmaakfilters het ten doel om vir elke beelpunt 'n nuwe grysvlakwaarde te bereken gebaseer op die gemiddeld van die grysvlakwaardes in sy omgewing. Skerp veranderinge in grysvlakwaardes word sodoende geëlimineer. Gladmaakfilters het meestal ten doel om ruis te verwyder. Die mees algemeenste vorm van ruis kan redelik goed benader word met 'n normaalverdeling. Figuur 2.3 toon 'n voorbeeld van so 'n gladmaakfilter, hierdie filter sal byvoorbeeld normaalverdeelde ruis optimaal onderdruk (Gonzalez & Woods, 2002:120).

$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Figuur 2.3: 'n  $3 \times 3$  gladmaakfilter.

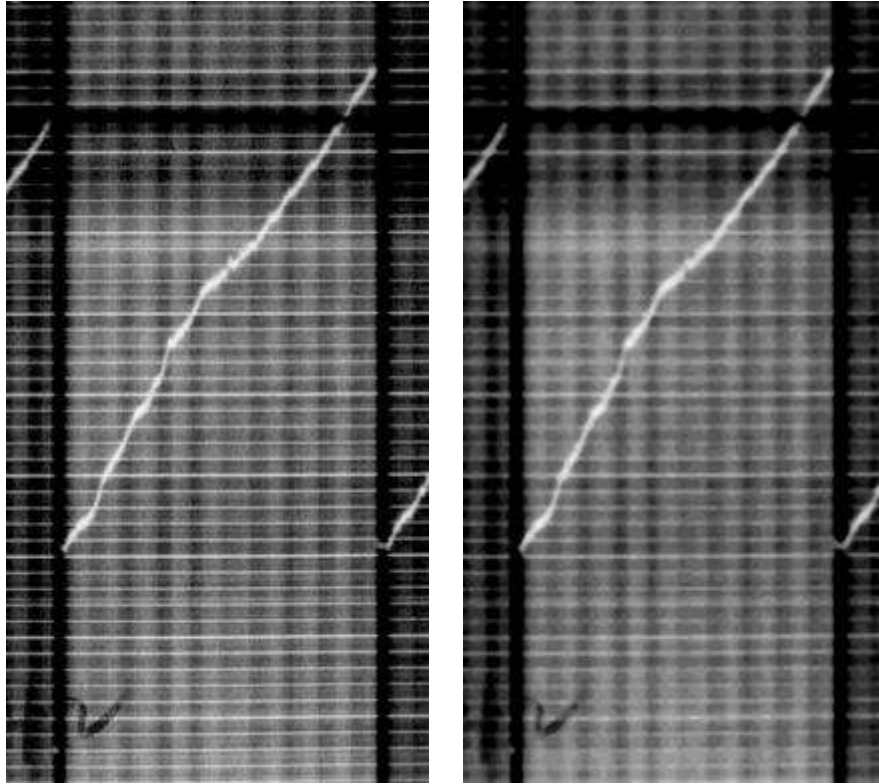
Gladmaakfilters kan ook van geweegde gemiddeldes gebruik maak soos die filter in Figuur 2.4. Die doel van hierdie filter is om die verdowings-effek (*blurring effect*) te verminder in die gladmaakproses.

$$\frac{1}{16} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Figuur 2.4: 'n  $3 \times 3$  gladmaakfilter wat 'n geweegde gemiddeld gebruik.

### 2.3.1.2.2 Statistiese filters

Statistiese filters soos byvoorbeeld die mediaanfilter kan ook gebruik word om 'n beeld glad te maak (Sebastiani & Stramaglia, 1997:304). Statistiese filters is nie liniêr nie, hulle reaksie is gebaseer op die rangskikking van die beeldpunte in die omgewing van die filter. Die mediaanfilter vervang byvoorbeeld die beeldpunt se grysvlakwaarde met die mediaan van die grysvlakwaardes in die omgewing. 'n Maksimum-filter gebruik die maksimum grysvlakwaarde in die omgewing en 'n minimum-filter die minimum grysvlakwaarde. Die mediaanfilter is egter die mees bruikbare statistiese filter, Figuur 2.5 toon 'n kosmiese straalbeeld en die resultaat as 'n mediaanfilter op die beeld toegepas word.



*Figuur 2.5: 'n Kosmiese straal beeld (links) met die resultaat as 'n  $3 \times 3$  mediaanfilter op die beeld toegepas word (regs).*

### 2.3.1.2.3 Skerpmaakfilters

Skerpmaakfilters is dan weer gebaseer op die verskil of die afgeleide van die grysvlakwaardes in 'n omgewing. Deur gebruik te maak van die eerste afgeleide, kan filters (soos byvoorbeeld Sobel operatore, Figuur 2.7) ontwikkel word wat verskerping in 'n sekere rigting doen. Die tweede afgeleide of Laplaciaan, kan gebruik word om 'n masker (Figuur 2.6) te ontwikkel vir verskerping in alle rigtings.

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 9  | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

*Figuur 2.6: Laplaciaan masker.*

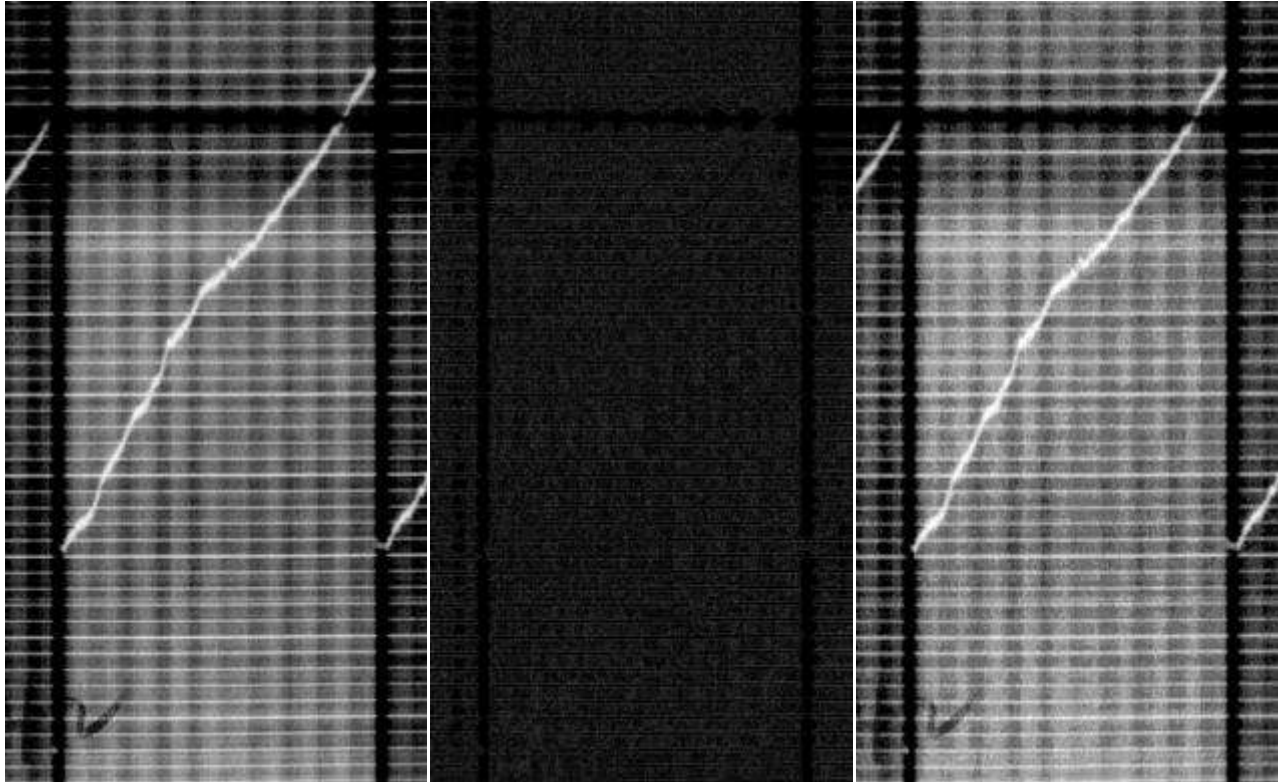
|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -2 | -1 |
| 0  | 0  | 0  |
| 1  | 2  | 1  |

|    |   |   |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

*Figuur 2.7: Sobel operatore.*

Deur die Laplaciaanbeeld by die oorspronklike beeld by te tel word 'n skerper beeld verkry (Figuur 2.8). Dit word gegee deur die volgende formule (Gonzalez & Woods, 2002:187):

$$g(x, y) = f(x, y) + \nabla^2 f(x, y). \quad (2.5)$$



Figuur 2.8: 'n Beeld (links), sy Laplaciaan (middel) en die som van die twee (regs).

Ander metodes om beelde te verskerp in die ruimtelike domein is *unsharp masking* en *high-boost filtering*. Met *unsharp masking* word 'n verdofde (*blurred*) weergawe van 'n beeld van die oorspronklike beeld afgetrek (Gonzalez & Woods, 2002:132). Die formule is soos volg:

$$f_s(x, y) = f(x, y) - \bar{f}(x, y), \quad (2.6)$$

waar  $f_s(x, y)$  die verskerpte beeld is en  $\bar{f}(x, y)$  'n verdofde weergawe van die beeld  $f(x, y)$  is.

*High-boost filtering* is 'n aangepaste vorm van *unsharp masking* en word deur die volgende formule gegee:

$$f_{hb}(x, y) = Af(x, y) - \bar{f}(x, y), \quad (2.7)$$

waar  $f_{hb}$  die verskerpte beeld is soos verkry deur *high-boost filtering* en  $A \geq 1$ . Met  $A = 1$  is *high-boost filtering* 'n standaard Laplaciaanfilter. Soos  $A$  toeneem, verminder die skerpmakproses se effek. Saam met die verskerping bied *High-boost filtering* 'n algemene grys vlakwaardeverhoging. Dit is veral handig met die verskerping van donker beelde.

*High-boost filtering* kan met die volgende filter geïmplementeer word:

|    |     |    |
|----|-----|----|
| 0  | -1  | 0  |
| -1 | A+4 | -1 |
| 0  | -1  | 0  |

*Figuur 2.9: 'n High-boost skerpmaakfilter.*

## 2.3.2 Frekwensiedomein

Filters kan ook in die frekwensiedomein toegepas word. Die ooreenkoms tussen die ruimtelike- en frekwensie-domeine word gevestig deur die konvolusieteorie. Die konsep van konvolusie is basies beskryf waar dit in die vorm van maskers in die ruimtelike domein verduidelik is (Gonzalez & Woods, 161). Beeldverbetering in die frekwensiedomein lewer soortgelyke resultate as in die ruimtelike domein, sommige beelde lewer beter resultate in die ruimtelike domein en andersom, die keuse van watter domein hang af van beeld tot beeld.

Die tweedimensionele diskrete Fouriertransform word gebruik om 'n beeld na die frekwensiedomein te transformeer. Die Fourierspektrum,  $F(u, v)$ , word dan met 'n filteroordragfunksie,  $H(u, v)$ , vermenigvuldig. Hierdie produk word dan weer met die inverse Fouriertransform terug na die ruimtelike domein getransformeer:

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}[H(u, v)F(u, v)], \quad (2.8)$$

$g(x, y)$  is die verbeterde beeld, die finale resultaat.  $H(u, v)$  is die filteroordragfunksie en  $F(u, v)$  is die Fourierspektrum. Daar is verskeie filterfunksies beskikbaar wat later bespreek sal word.

Figuur 2.10 toon 'n beeld en sy Fourierspektrum, hierdie Fourierspektrum is met 'n logaritmetransform verwerk sodat hy duidelik vertoon. Die stappe vir beeldverbetering in die frekwensiedomein kan soos volg opgesom word (vir 'n  $M \times N$  grootte beeld):

**STAP 1:** Sentreer die Fourierspektrum. Dit is algemene gebruik om die beeld met  $-1^{(x+y)}$  te vermenigvuldig voor die Fouriertransform bereken word om sodoende die Fourier-spektrum te sentreer.

**STAP 2:** Bereken  $F(u, v)$ , die tweedimensionele diskrete Fouriertransform:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}. \quad (2.9)$$

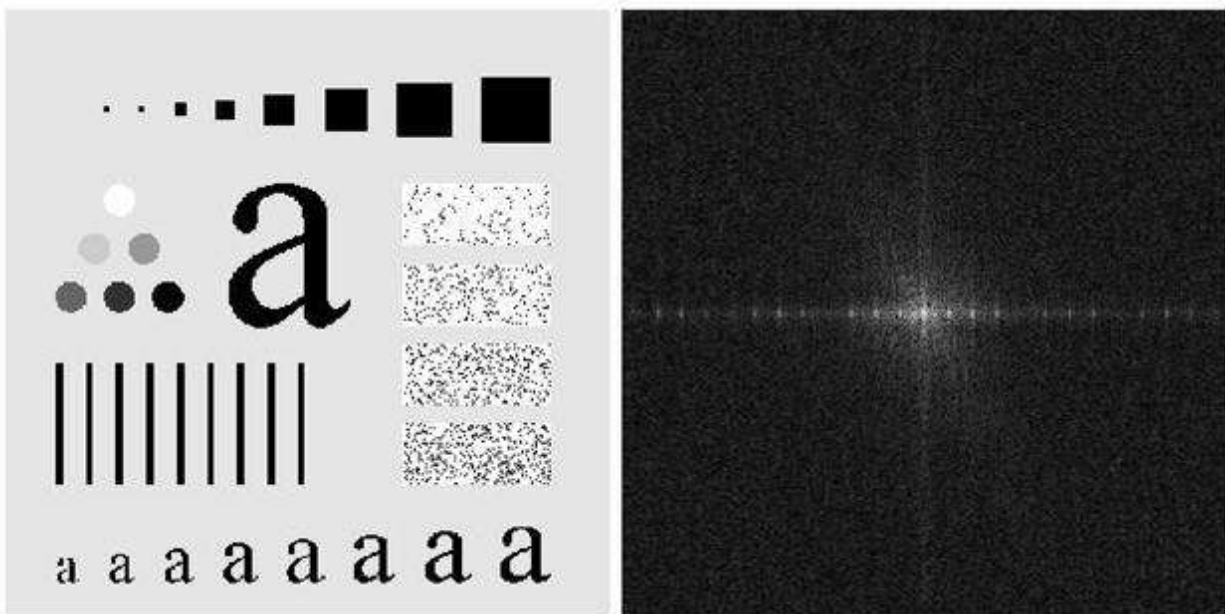
**STAP 3:** Bereken die produk,  $p(x, y)$ , van die Fourierspektrum,  $F(u, v)$ , en die filterfunksie,  $H(u, v)$ .

**STAP 4:** Na hierdie gesentreerde Fourierspektrum met 'n filterfunksie vermenigvuldig is, word die resultaat weer getransformeer na die ruimtelike-domein met behulp van die inverse Fouriertransform:

$$c(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} p(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}. \quad (2.10)$$

**STAP 5:** Verkry die reële deel van die resultaat in stap 4.

**STAP 6:** Die ruimtelike-domeinbeeld wat verkry is in stap 5 word weer met  $-1^{(x+y)}$  vermenigvuldig en lewer die finale resultaat,  $g(x, y)$ .



*Figuur 2.10: 'n Beeld (links) met sy gesentreerde Fourierspektrum (regs).*

Die Fourierspektrum van 'n beeld het eienskappe wat gebruik kan word om beelde te verbeter. Met 'n gesentreerde Fourierspektrum soos in Figuur 2.10 is die oorsprong van die spektrum in die middel van die beeld. Frekwensies hou verband met tempo van verandering, daarom kan grysvlakvariasies met die frekwensies in die Fourierspektrum geassosieer word. Frekwensies na aan die oorsprong van die spektrum stem ooreen met stadig variërende komponente in die oorspronklike beeld terwyl frekwensies ver weg van die oorsprong met vinniger variërende grysvlakveranderings ooreenstem (Gonzalez & Woods, 2001:156). Laag- en hoog-deurlaatfilters gebruik hierdie eienskappe soos volg:

### 2.3.2.1 Laagdeurlaatfilters

Die filteroordragfunksie,  $H(u, v)$ , bepaal die tipe beeldverbetering, dit is byvoorbeeld die skerpmaak of gladmaak van die beeld.

Om beelde glad te maak word lae frekwensies van die beeld deurgelaat terwyl hoër frekwensies onderdruk word. Sulke filters word laagdeurlaatfilters genoem. Alle frekwensies wat verder as 'n sekere afstand,  $D_0$ , van die oorsprong van die Fourierspektrum is, word afgesny.  $D_0$  staan bekend as die afsnyfrekwensie. Deur  $D_0$  te varieer word verskillende grade van gladmaking verkry.

Voorbeelde van laagdeurlaatfilterfunksies is die ideale laagdeurlaatfilter;

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{if } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (2.11)$$

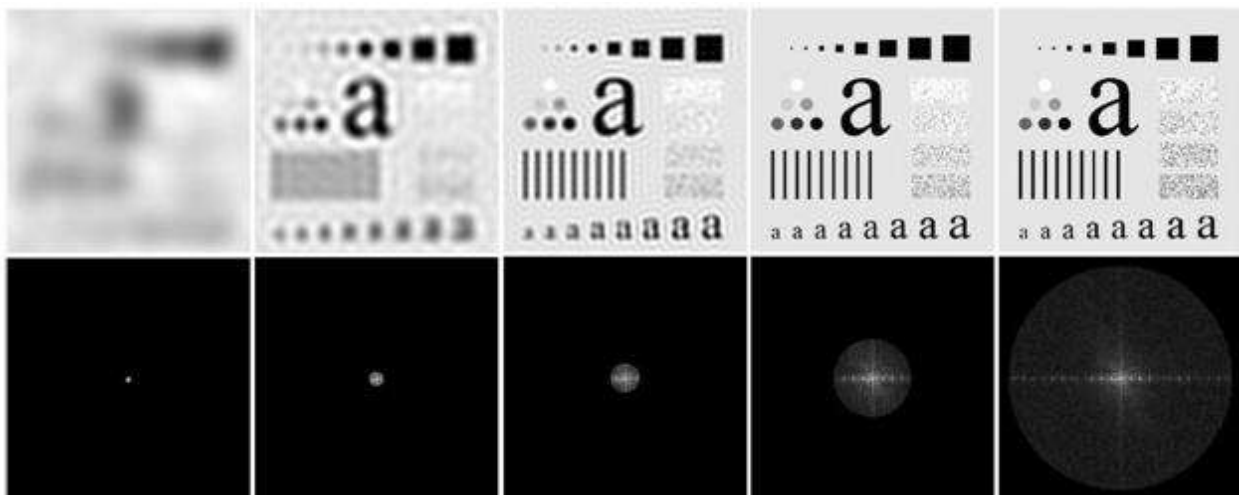
die Butterworth laagdeurlaatfilter;

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}} \quad (2.12)$$

en die Gaussiese laagdeurlaatfilter;

$$H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}. \quad (2.13)$$

Figuur 2.11 toon byvoorbeeld 'n beeld wat met behulp van die ideale laagdeurlaatfilterfunksie verwerk is.

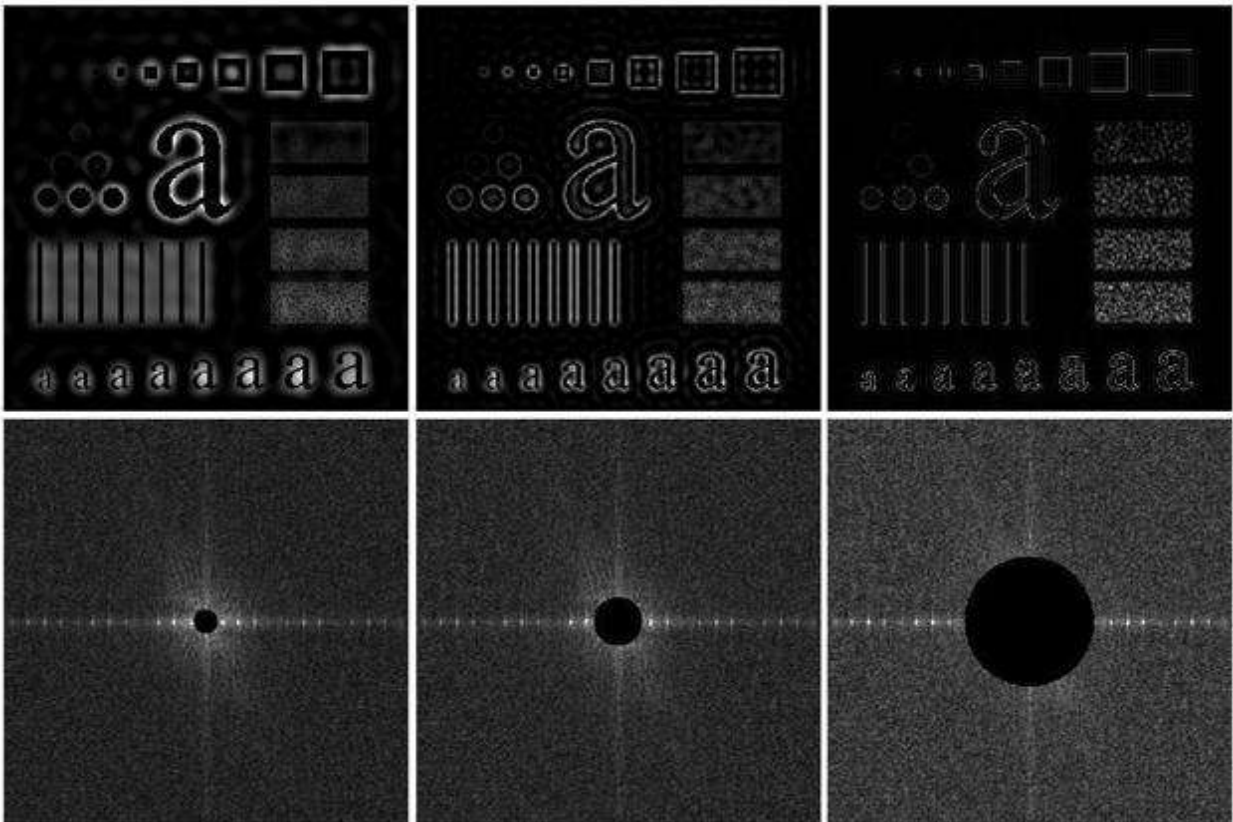


*Figuur 2.11: Beelde wat met 'n ideale laagdeurlaatfilter verwerk is (bo) en hul Fourierspektrums (onder) na hoër frekwensies afgesny is met  $D_0 = 5, 15, 30, 80, 230$ .*

### 2.3.2.2 Hoogdeurlaatfilters

Die ideale, Butterworth en Gaussiese filters kan aangepas word om presies die teenoorgestelde te doen as by laagdeurlaat filters. Om beelde te verskerp kan die lae frekwensies onderdruk word en hoër frekwensies deurgelaat word. Dit staan bekend as hoogdeurlaatfilters, Figuur 2.12 toon die gebruik van die ideale hoogdeurlaatfilter. Hoogdeurlaatfilters word verkry deur:

$$H_{hp}(u, v) = 1 - H_{lp}(u, v). \quad (2.14)$$



*Figuur 2.12: Beelde wat met 'n ideale hoogdeurlaatfilter verwerk is (bo) en hul Fourierspektrums (onder) na lae frekwensies afgesny is met  $D_0 = 15, 30, 80$ .*

Laag- en hoog-deurlaatfilters is egter nie die enigste toepassing van filters in die frekwensiedomein nie. Vervolgens word die Laplasiaanfilter asook Homomorfniese filtrering bespreek.

### 2.3.2.3 Laplaciaanfilter

Buiten laag- en hoog-deurlaatfilters in die frekwensiedomein, kan ander filters ook toegepas word om byvoorbeeld randopsparing te doen (De Carvalho & Bruno, 2005:112).

Die Laplaciaanfilter is aangepas om ook in die frekwensiedomein dieselfde effek te genereer as in die ruimtelike domein. Om rande te verskerp in die frekwensiedomein kan 'n filterfunksie gebruik word (Paine & Lodwick, 1989:323). Die filterfunksie is afgelei van die Laplaciaan en word gegee deur:

$$H(u, v) = - \left[ \left( u - \frac{M}{2} \right)^2 + \left( v - \frac{N}{2} \right)^2 \right]. \quad (2.15)$$

As hierdie filterfunksie met die Fourierspektrum vermenigvuldig word verkry mens die Fourierspektrum van die Laplaciaan van die oorspronklike beeld. Dan word die Laplaciaan van die oorspronklike beeld afgetrek om die verbeterde beeld te verkry:

$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y). \quad (2.16)$$

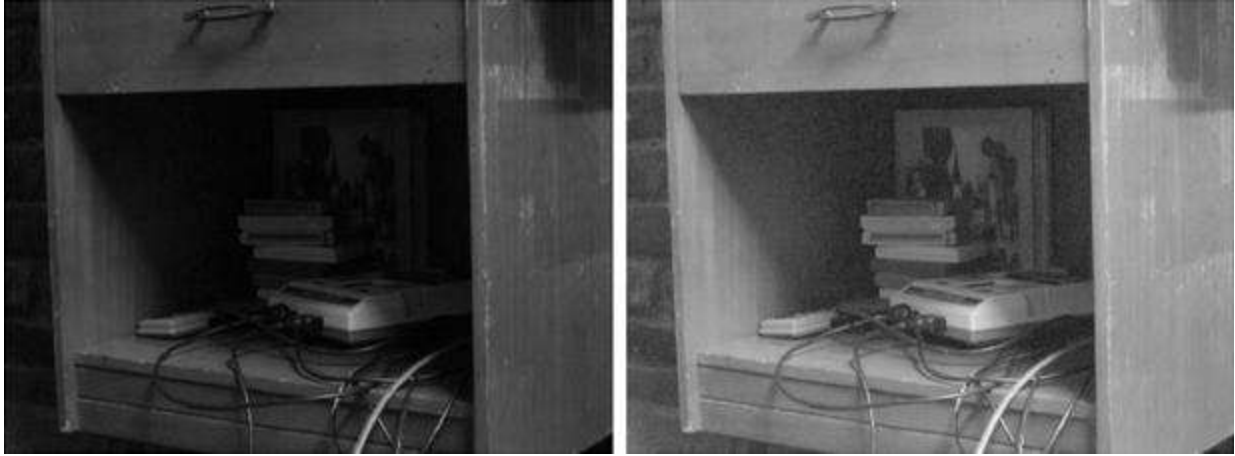
### 2.3.2.4 Homomorfiiese filtrering

Nog 'n beeldverbeteringstegniek in die frekwensiedomein is homomorfiiese filtrering. Hierdie metode is gebaseer op 'n stelsel bekend as 'n homomorfiiese stelsel. Die beligting- en weerkaatsing-komponente van 'n beeld word geskei. Hoë frekwensies in die Fourier spektrum word geassosieer met weerkaatsing terwyl lae frekwensies met beligting geassosieer kan word (Adelmann, 1998:170).

Homomorfiiese filtrering is ook 'n voorbeeld van hoe verskillende beeldverbeteringsmetodes saam gebruik kan word. Dit behels om eers die beeld se natuurlike logaritme te bepaal voor die ander stappe van frekwensiedomeinfiltrering toegepas word, laastens word die beeld se eksponent  $e^{g(x,y)}$  bereken. Die homomorfiiese filter het 'n unieke eienskap om beelde met 'n hoë intensiteitkontras te verbeter. Die filter is so ontwerp dat die bydrae van lae frekwensies (beligting,  $\gamma_L < 1$ ) onderdruk word terwyl dit die bydrae van hoë frekwensies (weerkaatsing,  $\gamma_H > 1$ ) versterk. 'n Hoogdeurlaatfilter word gewoonlik gebruik soos byvoorbeeld die Gaussiese hoogdeurlaatfilter:

$$H(u, v) = (\gamma_H - \gamma_L) \left[ 1 - e^{-c(D^2(u,v)/D_0^2)} \right] + \gamma_L \quad (2.17)$$

met  $c$  wat 'n konstante is wat gebruik word om die skertheid van die filter funksie te beheer.



Figuur 2.13: 'n Beeld (links) en die beeld na homomorfiëse filtrering (regs) met  $\gamma_L = 0.5$ ,  $\gamma_H = 2.0$ ,  $c = 0.01$  en  $D_0 = 255$ .

### 2.3.3 Morfologiese beeldverwerking

Morfologie het te doen met vorm en struktuur en daarom is morfologiese beeldverwerking die ekstraksie van beeldkomponente volgens 'n sekere vorm of struktuur (Mak *et al.*, 2009). Die tegnieke is gebaseer op wiskundige morfologie wat versamelingsteorie as taal gebruik.

#### 2.3.3.1 Versamelingsteorie

Dit is nodig om 'n paar basiese konsepte van versamelingsteorie te beskryf (Gonzalez & Woods, 2002:520).

Laat  $A$  'n versameling in  $Z^2$  wees. As  $a = (a_1, a_2)$  'n element van  $A$  is, dan skryf ons dit as

$$a \in A. \quad (2.18)$$

Soortgelyk, as  $a$  nie 'n element van  $A$  is nie, skryf ons dit as

$$a \notin A. \quad (2.19)$$

'n Leë versameling word voorgestel deur die simbool  $\emptyset$ . 'n Versameling word voorgestel deur die inhoud tussen twee hakies:  $\{\cdot\}$ .

As elke element in 'n versameling  $A$  ook 'n element in 'n ander versameling  $B$  is, dan is  $A$  'n subversameling van  $B$ , dit word geskryf as:

$$A \subseteq B. \quad (2.20)$$

Die vereniging van twee versamelings  $A$  en  $B$ , word geskryf as:

$$C = A \cup B. \quad (2.21)$$

$C$  is die versameling elemente wat aan  $A, B$  of beide behoort. So is die snyding tussen versameling  $A$  en  $B$  die versameling elemente wat aan beide  $A$  en  $B$  behoort:

$$C = A \cap B. \quad (2.22)$$

Die refleksie van 'n versameling  $B$ , geskryf as  $\hat{B}$ , word gedefinieer soos volg:

$$\hat{B} = \{w | w = -b, \text{ vir } b \in B\}. \quad (2.23)$$

Die verplasing van 'n versameling  $A$  deur punt  $z = (z_1, z_2)$ , geskryf as  $(A)_z$ , word gedefinieer soos volg:

$$(A)_z = \{c | c = a + z, \text{ vir } a \in A\}. \quad (2.24)$$

Vervolgens word 'n paar morfologiese beeldverwerkingstegnieke beskryf:

### 2.3.3.2 Uitdying

Hierdie tegniek word gebruik om gapings te oorbrug deur elemente uit te brei of te verdik (Heidenreich *et al.*, 2009:1071). Gebroke karakters kan byvoorbeeld heelgemaak word (Figuur 2.15), wat soortgelyk is aan 'n laagdeurlaatfilter. Uitdying van 'n binêre beeld gee egter as resultaat ook 'n binêre beeld, anders as 'n laagdeurlaatfilter. Die tegniek kan soos volg met behulp van versamelingsteorie voorgestel word (Gonzalez & Woods, 2002, p. 524):

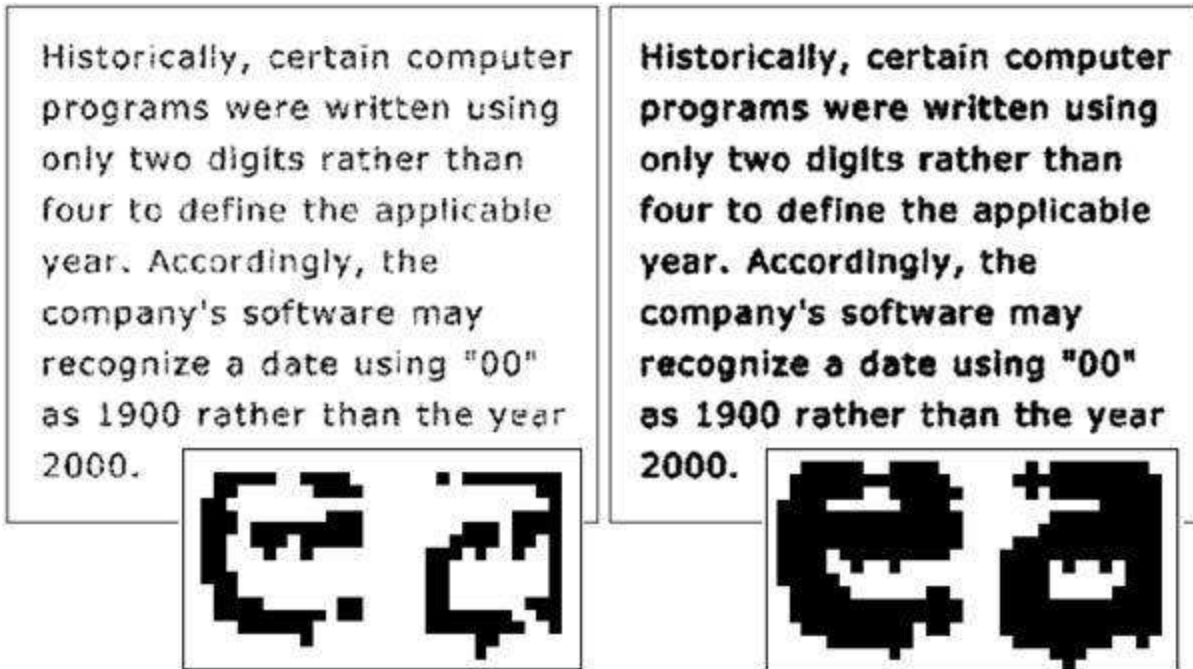
Gestel  $A$  en  $B$  is versamelings in  $Z^2$ , die uitdying van  $A$  deur  $B$ , geskryf  $A \oplus B$ , word gedefinieer:

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}. \quad (2.25)$$

Uitdying van  $A$  deur  $B$  is dus die versameling verplasinge,  $z$ , sodat  $\hat{B}$  en  $A$  met ten minste een element oorvleuel.  $B$  staan bekend as die struktureringselement en kan as 'n konvolusiemasker (*convolution mask*) gesien word soos byvoorbeeld:

|   |   |   |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |

Figuur 2.14: 'n Konvolusiemasker.



Figuur 2.15: 'n Beeld (links) wat uitgedy is (regs).

### 2.3.3.3 Erosie

Erosie is die omgekeerde van uitdying en word gebruik om irrelevante detail uit die weg te ruim deur elemente te verdun (Figuur 2.16). Net soos by uitdying kan erosie met behulp van versamelingsteorie voorgestel word (Gonzalez & Woods, 2002, p. 526):

Gestel  $A$  en  $B$  is versamelings in  $Z^2$ , die erosie van  $A$  deur  $B$ , geskryf  $A \ominus B$ , word gedefinieer:

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (2.26)$$

Die erosie van  $A$  deur  $B$  is dus die versameling van alle punte  $z$  sodat  $A$  vir  $B$ , verplaas deur  $z$ , insluit.

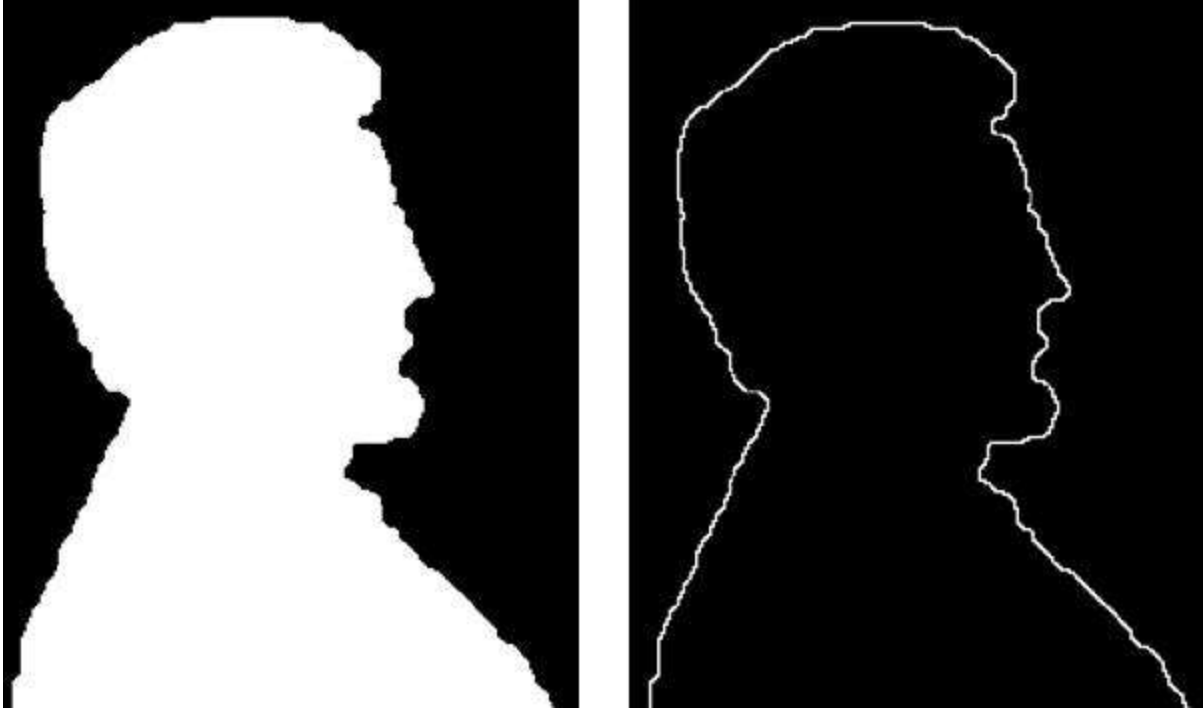


*Figuur 2.16: 'n Beeld (links) wat geërodeer is (regs).*

#### **2.3.3.4 Randopsporing**

Soos die naam beskryf is hierdie tegniek geskik vir randopsporing van binêre beelde (Figuur 2.17). Dit word vermag soos volg: Die rand van 'n versameling, byvoorbeeld  $A$ , voorgestel deur  $\beta(A)$ , kan verkry word deur eers  $A$  met  $B$  te erodeer en daarna die verskil tussen  $A$  en sy erosie te verkry. Versamelingsteorie stel dit soos volg voor (Gonzalez & Woods, 2002, p. 534):

$$\beta(A) = A - (A \ominus B). \quad (2.27)$$



*Figuur 2.17: Randopsporing (regs) van die beeld (links) met behulp van erosie.*

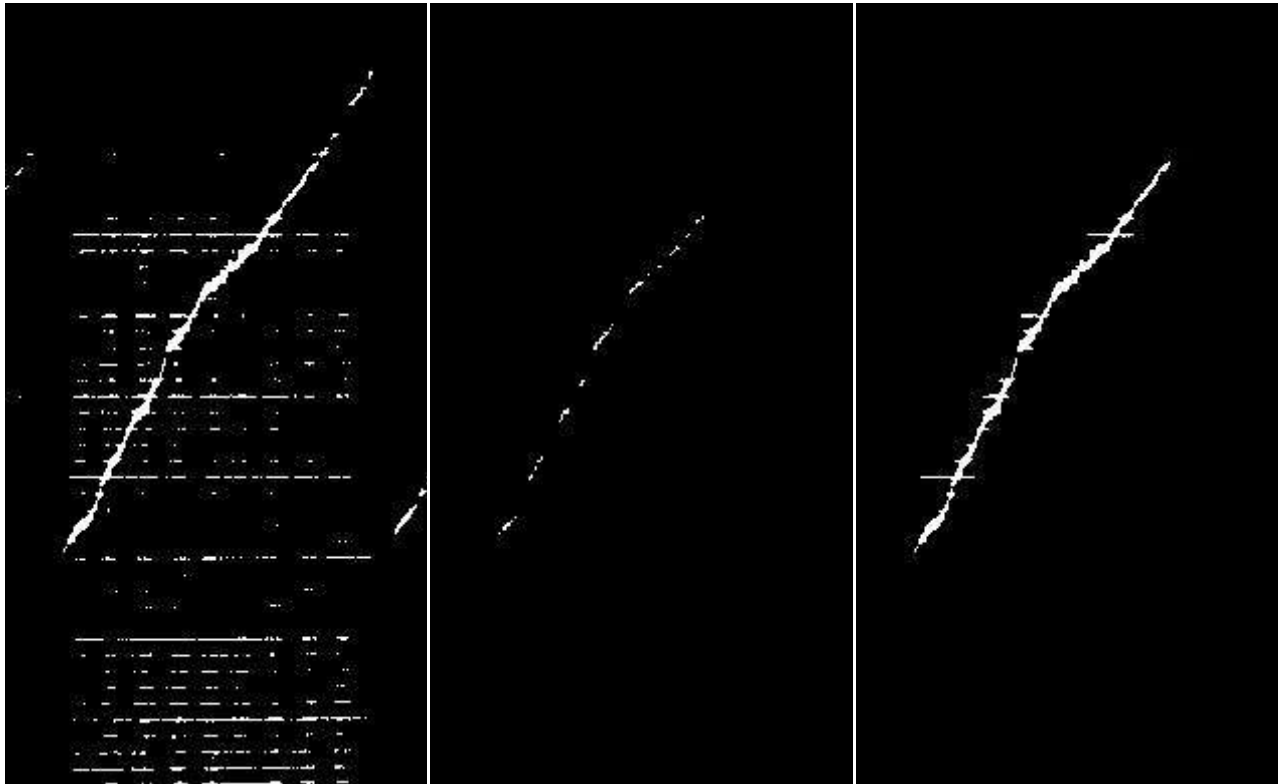
### 2.3.3.5 Ekstraksie van verbinde komponente

Laastens word 'n kragtige tegniek van morfologie bespreek wat behels die ekstraksie van verbinde komponente (Figuur 2.18). 'n Verbinde komponent is 'n versameling beeldpunte wat aangrensend is aan mekaar, dit kan 4, 8 of m-aangrensend wees (Gonzalez & Woods, 2002, p. 66).

Laat  $Y$  'n verbinde komponent wees binne 'n versameling  $A$  en aanvaar dat 'n punt  $p$  in  $Y$  bekend is. Dan kan al die elemente van  $Y$  soos volg verkry word:

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.28)$$

Waar  $X_0 = p$ , en  $B$  is 'n gepaste struktureringselement. Die algoritme termineer wanneer  $X_k = X_{k-1}$  en ons laat dan  $Y = X_k$ .



*Figuur 2.18: Ekstraksie van verbinde komponente. Die oorspronklike beeld (links), 'n versameling punte wat bekend is (middel) en die ekstraksie van komponente wat verbind is aan hierdie versameling.*

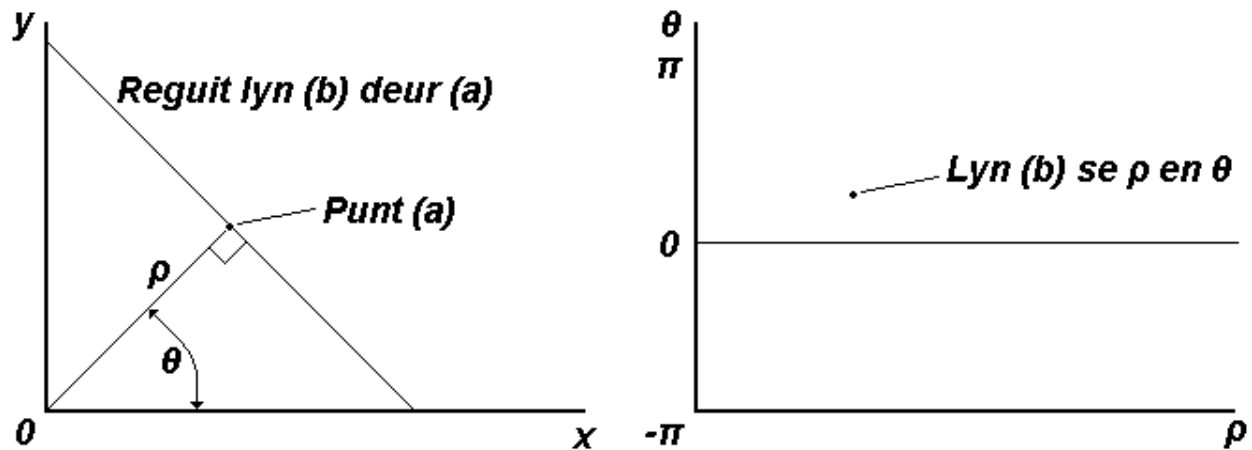
## 2.3.4 Hough transform

Die Hough transform word onder andere gebruik om reguit lyne op te spoor in 'n beeld. 'n Punt in die ruimtelike domein word omgeskakel na 'n lyn in die parameterruimte (Immerkaer, 1998:1134). Die vergelyking

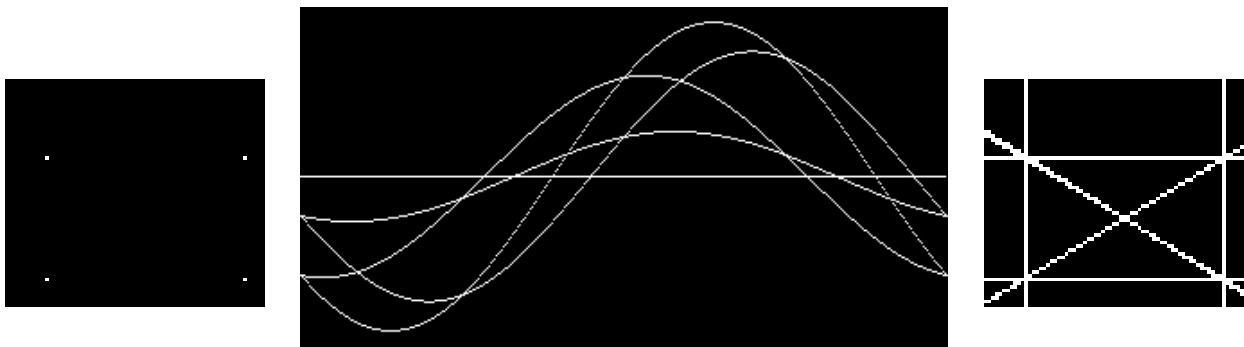
$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (2.29)$$

word gebruik om  $x$  en  $y$  koördinate om te skakel na die parameterruimte. 'n Beeldpunt in die beeld word as voorgrond geïdentifiseer en dan word alle moontlike lyne deur hierdie punt as 'n sinusvormige kromme in die parameter ruimte voorgestel. Figuur 2.19 dui hoe een so 'n lyn as 'n punt op die parameterruimte geplot word (Zhang & Webber, 1996:255).

Alle voorgrondpunte word op hierdie wyse as sinusvormige krommes voorgestel soos in Figuur 2.20. Die parameterruimte word aanvanklik as 'n akkumulatormatriks van nul waardes geïnisialiseer. Die punt van lyn (b) in Figuur 2.19 behels dus die akkumulering van die matriks by posisie  $(\rho, \theta)$  waar  $\rho$  en  $\theta$  verkry word deur vergelyking (2.29) (lyn (b) se betrokke  $\rho$ - en  $\theta$ -waardes). Dit beteken dat punt (a) se hele kromme nou waardes van een het in die akkumulatormatriks (Immerkaer, 1998:1134). So word alle punte se sinusvormige krommes geakkumuleer wat beteken dat as twee krommes kruis, die akkumulatormatriks op daardie posisie 'n waarde van twee sal hê. Hoe meer krommes op die punt kruis, hoe hoër die akkumulatormatriks-waarde (Cha *et al.*, 2006:1035). Daarom kan daar met behulp van hierdie akkumulatormatriks reguit lyne in die oorspronklike ruimtelike domein geïdentifiseer word, die  $(\rho, \theta)$  posisies waar die akkumulatormatriks waarde die hoogste is dui op die duidelikste reguitlyne in die beeld (Gonzalez & Woods, 2002:587).



Figuur 2.19: Omskakeling vanaf die ruimtelike domein (links) na die parameter ruimte (regs).



Figuur 2.20: 'n Beeld (links), sy Hough transform (middel) en die geïdentifiseerde reguit lyne in die beeld (regs).

'n Drempelwaarde kan nou vir die akkumulator matriks vasgestel word en slegs die koördinate van die waardes bo die drempel waarde word dan weer teruggewerk na reguit lyne in die oorspronklike beeld deur middel van vergelyking (2.29). Figuur 2.20 dui hoe vier punte verbind word deur lyne wat deur middel van die Hough transform opgespoor is (Gonzalez & Woods, 2002:587).

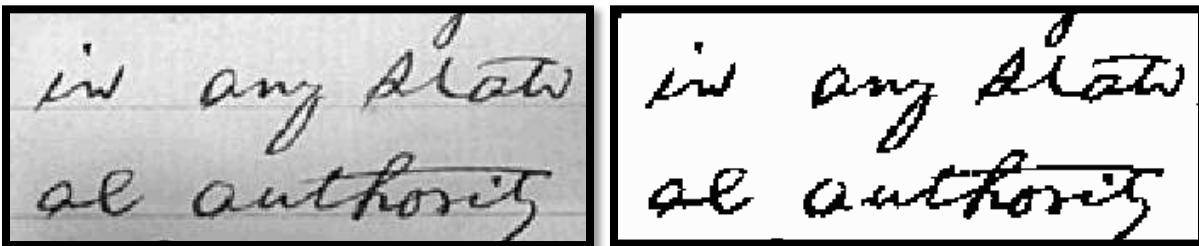
Omdat die Hough transform die waarde van  $\theta$  gebruik kan die akkumulatormatriks opgedeel word om slegs byvoorbeeld horisontale lyne te identifiseer. Die Hough transform kan vir 'n verskeidenheid doelwitte aangewend word, soos byvoorbeeld (Duda & Hart, 1972:11-15):

- Die identifisering van reguit lyne (Bhattacharya *et al.*, 2000).
- Die identifisering van sirkel en ovaalvorms in beelde (Kasemir & Betzler, 2003).
- Masjienvisie (Leemans & Destain, 2006).
- Beeldsegmentasie (Meribout *et al.*, 1999).

## 2.3.5 Aanpasbare beeldbinarisasie

### 2.3.5.1 Inleiding

Aanpasbare beeldbinarisasie is die proses wat 'n onduidelike beeld verwerk na 'n binêre (swart-en-wit) beeld (O'Gorman, 1994:494). Dit is aanpasbaar in dié opsig dat dit aanpas by verskillende dele van die beeld, waar sommige dele van die beeld dalk erger verswak is as ander, of op 'n ander manier verswak is. Verswakking van beelde kom gewoonlik voor as die beligting by die neem van die beeld nie goed was nie. Dit lei dan dat die beeld vol ruis is en ligter op sommige plekke as ander en daarom onduidelik. Die proses van aanpasbare binarisasie sal so 'n beeld dan in twee dele verdeel, die agtergrond en die voorgrond, wat byvoorbeeld teks kan wees. Die agtergrond word wit gemaak en die voorgrond swart, so is die beeld dan duidelik en leesbaar. Figuur 2.21 toon 'n verswakte beeld wat verbeter is met behulp van aanpasbare binarisasie. Daar is verskeie benaderings en metodes om aanpasbare beeldbinarisasie te doen, 'n aantal word vervolgens bespreek:



*Figuur 2.21: 'n Beeld met teks (links) en die resultaat van aanpasbare beeldbinarisasie op hierdie beeld (regs).*

### 2.3.5.2 Sauvola & Pietikäinen

Sauvola & Pietikäinen (2000) het 'n metode voorgestel waar die dokument as 'n versameling subkomponente gesien word soos teks, agtergrond en prentjie-elemente. Tekselemente is gewoonlik dubbel-waarde (bestaan slegs uit voorgrond en agtergrond, byvoorbeeld swart op wit) terwyl prentjie-elemente multi-waarde (strek oor die hele grysvlakskaal) is. Vir die doel van die binarisasie van kosmiese straal-data word die aanname gemaak dat die dokument dubbel-waarde is en daarom soos teks hanteer word.

Sauvola & Pietikäinen (2000) se binarisasie van tekskomponente is 'n gewysigde metode van Niblack (1986) se algoritme: Vir elke beeldpunt word die aangrensende beeldpunte, genaamd 'n venster, gebruik om 'n drempelwaarde te bereken om die binêre beeld,

$$S(x, y) = m(x, y) \cdot \left[ 1 + k \cdot \left( \frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right], \quad (2.30)$$

te verkry waar  $m(x, y)$  die lokale gemiddeld is,  $s(x, y)$  die lokale standaardafwyking,  $R$  die waardegebied van die standaardafwykings (verskil tussen kleinste en grootste standaardafwyking) wat vas is op 128 en  $k$  positiewe waardes aanneem. Die parameter,  $k$ , is nie baie sensitief nie, soos dit gevind is in eksperimentering. Sauvola en Pietikäinen (2000:232) gebruik 'n waarde van 0.5 vir  $k$ .

### 2.3.5.3 Gatos, Pratikakis & Perantonis

Gatos *et al.* (2006:317) stel 'n metode voor vir aanpasbare beeldbinarisasie waar geen parameterverfyning nodig is nie. Dit is dus 'n dinamiese metode wat 'n verskeidenheid degradasies effektief kan hanteer sonder om 'n enkele parameter te stel. Die metode bestaan uit 'n aantal stappe:

- 'n voor-verwerkingsprosedure deur 'n Wiener filter te implementeer,
- 'n rowwe beraming van voorgrondelemente,
- 'n agtergrondstraksieprosedure wat gepaard gaan met interpolasie,
- 'n drempeling deur die agtergrond en die oorspronklike beeld te inkorporeer,
- 'n na-verwerkingsprosedure om die kwaliteit te verbeter.

#### 2.3.5.3.1 Voorverwerking

'n Wiener filter word gebruik om ruis te verwyder, die kontras tussen voor- en agtergrond te vermeerder en om die beeld glad te laat vertoon. Die oorspronklike beeld  $I_s$  word verwerk na die gefiltreerde beeld  $I$  soos volg:

$$I(x, y) = \mu + (\sigma^2 - v^2)(I_s(x, y) - \mu)/\sigma^2, \quad (2.31)$$

waar  $\mu$  die lokale gemiddeld is,  $\sigma^2$  die variansie van 'n  $3 \times 3$  buurt rondom elke beeldpunt en  $v^2$  die gemiddeld van alle beraamde variansies vir elke beeldpunt in die buurt. Die effek van hierdie Wiener filter word ten beste met 'n skets uitgewys (sien Figuur 2.22(b) op bl. 37).

#### 2.3.5.3.2 Beraming van voorgrondelemente

Vir hierdie stap word Sauvola en Pietikäinen (2000:232) se aanpasbare drempelingsmetode gebruik. Volgens hierdie metode het agtergrondbeeldpunte

waardes nader aan 255 en voorgrondbeeldpunte waardes nader aan 0.  $S(x, y)$  word verkry soos in (2.30). So word die gefiltreerde beeld gebinariseer en lyk die resultaat soos in Figuur 2.22(c) op bl. 37.

### 2.3.5.3.3 Agtergrondekstraksie

Hier word die agtergrond  $B(x, y)$  onttrek vanuit die Wiener gefiltreerde beeld  $I(x, y)$ . Die beeld,  $S(x, y)$ , wat met behulp van Sauvola se benadering gebinariseer is, word gebruik vir hierdie prosedure. Vir elke beeldpunt in  $S(x, y)$  wat wit is (beraamde agtergrond) word die ooreenstemmende beeldpunt in  $I(x, y)$  net so gebruik, vir beeldpunte wat swart is (beraamde voorgrond) word 'n gemiddeld geneem van die omliggende agtergrond beeldpunte. Die formule word gegee deur:

$$B(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{as } S(x, y) = 1, \\ \frac{\sum_{ix=x-dx}^{x+dx} \sum_{iy=y-dy}^{y+dy} (I(ix, iy)(1 - S(ix, iy)))}{\sum_{ix=x-dx}^{x+dx} \sum_{iy=y-dy}^{y+dy} (1 - S(ix, iy))} & \text{as } S(x, y) = 0. \end{cases} \quad (2.32)$$

Hierdie is 'n aangepaste formule van die een gegee deur Gatos *et al.* (2006:320). Die verskil kom in by "as  $S(x, y) = 1$ " en "as  $S(x, y) = 0$ ". Gatos gebruik die waarde 1 vir swart en 0 vir wit terwyl in hierdie studie die model voorgestel deur Gonzalez en Woods (2002:51) gebruik word waar 0 swart voorstel (met ander woorde 'n gebrek aan beligting) en 1 wit. Figuur 2.22(d) toon die resultate van agtergrondekstraksie.

### 2.3.5.3.4 Finale drempeling

Hier word die agtergrondbeeld  $B(x, y)$  en die voorverwerkte beeld  $I(x, y)$  gebruik om die finale drempeling te doen soos in Figuur 2.22(e). Voorgrondelemente word verkry waar die afstand tussen  $I(x, y)$  en  $B(x, y)$  'n sekere drempel oorskry. Hierdie drempel word bereken met behulp van 'n logistiese S-funksie:

$$d(B(x, y)) = q\delta \left( \frac{(1 - p_2)}{1 + \exp\left(\frac{-4B(x, y)}{b(1 - p_1)} + \frac{2(1 + p_1)}{(1 - p_1)}\right)} \right). \quad (2.33)$$

Waardes vir  $q$ ,  $p_1$  en  $p_2$  is deur Gatos *et al.* (2006:320) eksperimenteel bepaal op 0.6, 0.5 en 0.8 onderskeidelik. Ons bereken eers die gemiddeld van die agtergrondwaardes,  $b$ , van die agtergrond,  $B$ , wat ons onttrek het. Dit word gedoen deur die ooreenstemmende beeldpunte van  $S$  te gebruik:

$$b = \frac{\sum_x \sum_y (B(x, y))(1 - S(x, y))}{\sum_x \sum_y (1 - S(x, y))}. \quad (2.34)$$

Dit is nodig om nog een formule te gebruik om die laaste waarde te bepaal wat nodig is om die drempel te bereken. Vir die waarde van  $\delta$ , die gemiddelde afstand tussen die voor- en agtergrondelemente, word die volgende formule gebruik:

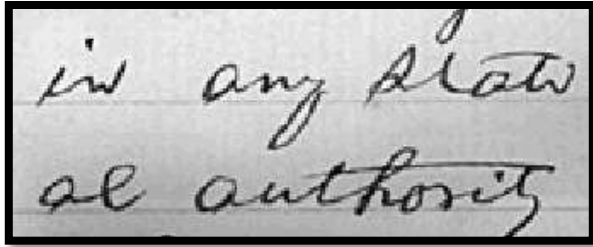
$$\delta = \frac{\sum_x \sum_y (B(x, y) - I(x, y))}{\sum_x \sum_y S(x, y)}. \quad (2.35)$$

So word die drempel  $d$  dan bepaal wat gebruik word om die finale gebinariseerde beeld  $T(x, y)$  te verkry. Deur hierdie drempelwaarde te gebruik word waardes aan  $T(x, y)$  toegeken deur die afstand tussen  $B(x, y)$  en  $I(x, y)$  telkens daarteen te vergelyk. Weereens word 'n aangepaste formule gegee aangesien Gatos *et al.* (2006) se interpretasie van wit en swart omgekeerd is:

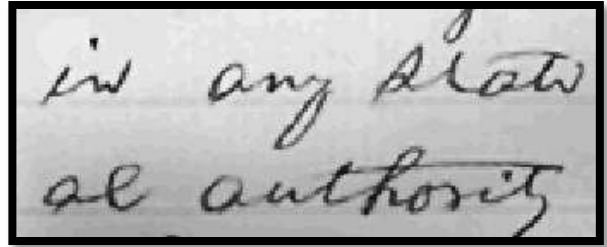
$$T(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{as } B(x, y) - I(x, y) > d(B(x, y)), \\ 1 & \text{andersins.} \end{cases} \quad (2.36)$$

### 2.3.5.3.5 Na-verwerking

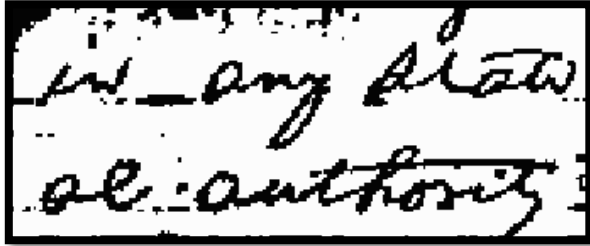
Vir die na-verwerking is dit nodig om gapings wat in die voorgrondelemente voorkom te oorbrug asook om ruis wat nog oor is te verwyder. Gatos *et al.* (2006) stel 'n krimp- of verdunningsfunksie wat gevolg word deur 'n verdikkingsfunksie voor. Daar is gevind uit eksperimentering dat erosie en uitdying, soos deur Gonzalez en Woods (2002:524) beskryf is, voldoende is as Gatos *et al.* (2006) se metode vir kosmiese straal-data toegepas word. Vir erosie en uitdying is die masker soos in Figuur 2.14 op bl. 26 gebruik (sien Figuur 2.22(f) vir die finale resultaat):



(a) Oorspronklike beeld.



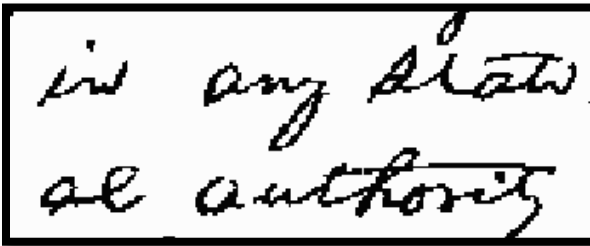
(b) Wiener filter.



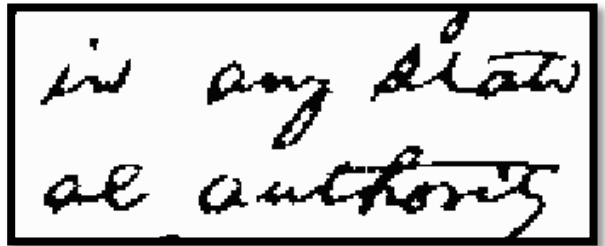
(c) Sauvola se aanpasbare drempeling.



(d) Agtergrond ekstraksie.



(e) Finale drempeling.



(f) Na-verwerking.

Figuur 2.22: Aanpasbare beeld binarisasie van Gatos, Pratikakis & Perantonis.

## 2.4 Interpretering

Interpretering van beelde is gewoonlik die herkenning van patrone, omdat ons weet hoe 'n T gewoonlik lyk, kan ons 'n T wat deur beelpunte voorgestel word omskakel na 'n redigeerbare en rekenaarherkenbare T vir die gebruik in byvoorbeeld woordverwerkers. Interpretering kan geskied op twee maniere:

- Die herkenning of identifisering van patrone, byvoorbeeld karakterherkenning.
- Die versyfering van grafieke.

### 2.4.1 Karakterherkenning

Karakterherkenning is die proses waartydens 'n digitale beeld ontleed word, om te bepaal of daar teks in die beeld voorkom. Indien daar wel teks in die beeld voorkom, word die teks onttrek uit die beeld en op 'n digitale wyse beskikbaar te stel vir redigering.

Daar is twee basiese metodes wat vandag gebruik word om karakterherkenning moontlik te maak, die eerste is optiese karakterherkenning (OCR) waarby hoofsaaklik getikte teks in beelde onttrek word, die tweede is intelligente karakterherkenning (ICR) wat weer hoofsaaklik gebruik word om handgeskrewe teks in beelde te onttrek.

## **2.4.2 Versyfering**

Karakterherkenning is bloot die herkenning van patrone. Die kosmiese straal-data of enige ander grafiek het egter nie te doen met die herkenning van patrone nie maar met die omsetting van die grafiek in tabelvorm, of te wel versyfering. Die doel hier is egter die outomatisasie daarvan (Niczyporuk & Miller, 1991:129). Daar is min artikels oor hierdie onderwerp aangesien dit eintlik 'n redelike voordiehandliggende proses is. Waardes word van die grafiek afgelees deur die posisie op die grafiek te bepaal, om die posisie te kan bepaal is daarom belangrik vir outomatiese versyfering. Die beeldverbeteringsproses soos hierbo bespreek is van groot belang om die posisie akkuraat te kan bepaal. Dit is ook belangrik om die grafiek te verstaan om 'n akkurate versyfering te kan doen.

## **2.5 Slotopmerkings**

Hierdie hoofstuk het algemene beeldverbeteringstegnieke in die literatuur beskryf as 'n inleiding tot hierdie studie. Hierdie tegnieke is die vertrekpunt vir die eksperimentering wat ten doel het om historiese kosmiese straal-data te versyfer. Die volgende hoofstuk sal die eksperimentering van hierdie studie beskryf waar verskeie van die literatuurstudie se tegnieke geïmplementeer sal word.

---

# HOOFSTUK

## 3 Eksperimentering



---

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.1   | Inleiding.....              | 40 |
| 3.1.1 | Vaslegging.....             | 40 |
| 3.1.2 | Beeldverbetering .....      | 41 |
| 3.1.3 | Interpretering .....        | 42 |
| 3.2   | Eksperimentele ontwerp..... | 43 |
| 3.2.1 | Doel .....                  | 43 |
| 3.2.2 | Proses .....                | 43 |
| 3.2.3 | Suksesmeting .....          | 43 |
| 3.2.4 | Toetsdata.....              | 47 |
| 3.2.5 | Tegnologie.....             | 49 |
| 3.3   | Voorkennis .....            | 50 |
| 3.3.1 | Datareeks .....             | 50 |
| 3.3.2 | Uurmerkers.....             | 51 |
| 3.3.3 | Skaallyne .....             | 51 |
| 3.4   | Vaslegging .....            | 51 |
| 3.4.1 | Onttrekking .....           | 51 |
| 3.5   | Beeldverbetering .....      | 60 |
| 3.5.1 | Uurmerkers.....             | 60 |
| 3.5.2 | Datareeks .....             | 63 |
| 3.5.3 | Skaallyne .....             | 64 |
| 3.5.4 | Samevoeging.....            | 71 |
| 3.6   | Interpretering.....         | 72 |
| 3.6.1 | Versyfering .....           | 72 |

## 3.1 Inleiding

Die mikpunt van hierdie eksperimentering is om 'n algoritme te ontwikkel wat enige kosmiese straalbeeld outomaties sal versyfer. Die drie voorgrondelemente; die datareeks, skaallyne en uurmerkers sal gesegmenteer word deur beeldverwerkingstegnieke toe te pas. Eksperimentering sal geskied deur die tegnieke wat in die literatuurstudie beskryf is te implementeer as beginpunt, waarna die tegnieke aangepas sal word vir die spesifieke doel van versyfering. Nuwe tegnieke sal ook ontwikkel word en optimale algoritmes sal bepaal word deur herhaaldelike toetsing. Die uiteindelige algoritme sal dan 'n kombinasie van bestaande, aangepaste en nuwe tegnieke wees.

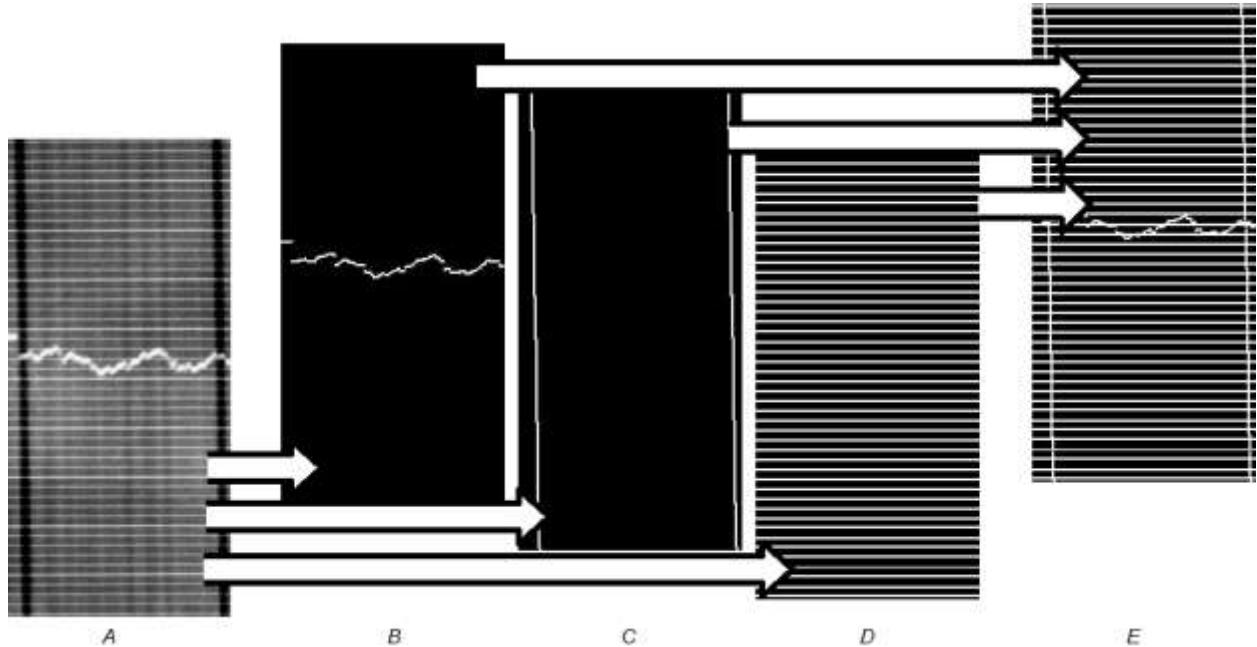
Die eksperimentering sal ook die beeldverbeteringsproses gebruik soos dit in die literatuurstudie bespreek is:

### 3.1.1 Vaslegging

- **Skandering:** Die fotografiese papier is geskandeer met 'n *Epson Perfection* 4490 fotoskandeerder met 'n resolusie van 600 beeldpunte per duim (*dpi*) en 8 bisse per beeldpunt.
- **Onttrekking:** Die geskandeerde kosmiese straalbeelde bevat gemiddeld dertien ure se data. Dit is gevind dat om so 'n groot beeld te verwerk met beeldverbeteringstegnieke baie lank neem en daarom die eksperimenteringsproses belemmer. Vir vinniger beeldverbetering word die beeld opgedeel volgens ure. Die eksperimentering word dus op een enkele uur op 'n slag gedoen. Deur hierdie kleiner sub-beelde te onttrek vergemaklik dit ook die eksperimenteringsproses omdat minder data meer hanteerbaar is en makliker om te ontleed.

## 3.1.2 Beeldverbetering

Die beeldverbetering van kosmiese straalbeelde word aan die hand van Figuur 3.1 verduidelik:



*Figuur 3.1: Die beeldverbeteringsproses vir kosmiese straalbeelde. A – Een uur van die oorspronklike kosmiese straalbeeld, B,C en D – die binêre beelde na die segmentasie van die datareeks, die uurmerkers en die skaallyne in A. E – die samevoeging van B, C en D om die finale verbeterde beeld te verkry.*

Na elke uur sub-beeld uit die oorspronklike beeld onttrek is, is dit nodig om die drie voorgrondelemente te segmenteer uit elk van die geonttrekte sub-beelde. Die uurmerkers, datareeks en skaallyne word geselementeer ten einde drie binêre beelde te verkry met 'n voorgrondelement in wit teenoor 'n uniforme swart agtergrond. Elkeen van hierdie drie binêre beelde is dan 'n verbeterde beeld, 'n beeld waar die voorgrondelement duidelik sigbaar is.

Die segmentasie van voorgrondelemente behels 'n kombinasie van binarisering en herskepping. Herkenbare dele van die voorgrondelement word gebinariseer terwyl dele van elke voorgrondelement wat onherkenbaar is, herskep word deur gebruik te maak van voorkennis. Segmentasie van 'n enkele voorgrondelement lewer telkens 'n binêre beeld.

Die drie binêre beelde wat elk 'n gesegmenteerde voorgrondelement bevat, word dan saamgevoeg om die finale verbeterde beeld te verkry. Elke voorgrondelement se segmentasie behels die volgende:

- **Uurmerkers:** Dit is die eerste voorgrondelement wat gesegmenteer sal word. Die uurmerkers se skeefheid en posisie moet bepaal word. Nuwe beeldverwerkingstegnieke word ontwikkel, tesame met implementering van die Hough transform en aanpasbare drempeling.
- **Datareeks:** Die datareeks is die tweede voorgrondelement wat in die sub-beeld geïdentifiseer sal word. Saam met die gebruik van 'n mediaanfilter word daar ook nuwe tegnieke ontwikkel.
- **Skaallyne:** Die laaste voorgrondelement wat gesegmenteer sal word, is die skaallyne. Dit is die moeilikste segmentasie. Uitdying, binarisasie, interpolasie asook die Hough transform word vir hierdie doel toegepas.

Die drie binêre beelde; die uurmerkers, datareeks en skaallyne moet saamgevoeg word om die finale verbeterde beeld te verkry. Die finale verbeterde beeld is 'n vier-waarde beeld, waar elke voorgrondelement en die agtergrond onderskei kan word. So 'n beeld is nodig om al drie voorgrondelemente met mekaar te kan vergelyk om te bepaal hoe die datareeks oor die skaallyne varieer. Die beeld sal dan ook gereed wees vir versyfering.

### 3.1.3 Interpretetering

- **Versyfering:** Deur die verbeterde beeld te gebruik is dit redelik eenvoudig om die beeld te interpreteer en in syfers om te skakel. Die drie binêre voorgrondelementbeelde word ook afsonderlik gebruik om die kosmiese straalbeeld te versyfer.

Elkeen van hierdie eksperimenteringsfasies word in detail bespreek en die algoritme vir die versyfering van vroeë kosmiese straal-data word ontwikkel.

## 3.2 Eksperimentele ontwerp

### 3.2.1 Doel

Die doel van hierdie eksperimentering is om 'n navorsingsvraag te **beantwoord**: Die navorsingsvraag of historiese kosmiese straal-data versyfer kan word deur beeldverwerkingstegnieke toe te pas.

Dit is nie hierdie studie se doel om te **bewys** dat die algoritme kosmiese straal-data versyfer nie, aangesien daar wel gevalle is waar die algoritme sal faal. Verskeie uitsonderings bestaan wat hierdie faling veroorsaak (byvoorbeeld voue in die fotografiesepapier). Om die vraag suksesvol te beantwoord, is dit dus nodig om verskeie kosmiese straalbeelde korrek te versyfer (Olivier, 2004:68).

Eksperimentering is 'n logiese keuse as metode vir hierdie demonstrasie omrede:

- Die eksperimenteringsomgewing onveranderbaar en beheerbaar is.
- Daar nie eksterne eksperimentele faktore (byvoorbeeld menslike interaksie) bestaan nie.

### 3.2.2 Proses

Die eksperimentering sal 'n iteratiewe proses volg:

1. **Ontwerp algoritme**: Hierdie stap begin met die bestudering van die beeld, waarna 'n aantal beeldverwerkingstegnieke toegepas word.
2. **Toets die algoritme**: Die onderskeie beeldverwerkingstegnieke word getoets en parameters word verstel om 'n optimale resultaat te verkry.
3. **Bestudeer die resultaat**: Afhangende van die resultaat kan die algoritme geskrap, aanvaar of aangepas word.
4. **Herhaal**: Die proses word herhaal tot 'n bevredigende algoritme gevind is.

Die doel is om 'n algoritme te ontwerp wat kosmiese straalbeelde korrek versyfer. Die ideale doel is om elke kosmiese straalbeeld korrek te versyfer. In die eksperimentele beskrywings word die finale algoritme telkens beskryf terwyl die sleutelfaktore wat in eksperimentering geïdentifiseer is, uitgelig word.

### 3.2.3 Suksesmeting

Dit is nodig om die sukses van die algoritme te bepaal asook wanneer die algoritme gefaal het. Die ideaal is die gebruik van sintetiese beelde waar die posisies van die voorgrond-elemente bekend is omdat dit gespesifiseer word. Hierdie beelde word dan met dieselfde tipe degraderings as wat die werklike beelde het gedegreer. Daarom lyk hulle dan niks anders as die werklike beelde nie. Die ontwikkeling van sulke sintetiese beelde val egter buite die bestek van hierdie studie.

Die fotografiese papier was op so 'n wyse opgestel om data te meet dat dit met die hand versyfer kan word. Lange & Forbush het kosmiese straal-data so versyfer (1948). In die 1950's was dit die enigste manier. Dit is dus moontlik om met die blote oog die drie voorgrond-elemente te identifiseer en daarom kan die finale verbeterde beeld met die oog vergelyk word met die oorspronklike om sodoende sukses te meet. Suksesmeting sal op twee wyses geskied:

- Voorgrond-elemente wat deur die algoritme gesegmenteer word sal op die oorspronklike beeld geplot word vir 'n aanvanklike visuele vergelyking.
- Handgemaakte binarisasies sal geskep en vergelyk word met die finale verbeterde beeld soos dit verkry is deur die algoritme.

### 3.2.3.1 Saamgevoegde beelde vir vergelyking

Twee beelde word geskep met die versyfering van elke uur om dit vir die blote oog maklik te maak om te vergelyk. Die finale verbeterde beeld en die oorspronklike kosmiese straalbeeld word gebruik. In Figuur 3.2 word die oorspronklike kosmiese straalbeeld heel links met hierdie twee beelde aan die regterkant getoon:

- Die eerste beeld is helfte die oorspronklike en helfte die finale verbeterde beeld (die middelste beeld in Figuur 3.2). Sodoende is dit maklik om veral skaallyne te vergelyk.
- Die tweede beeld (regterkantste beeld in Figuur 3.2) is die drie binêre voorgrond-elementbeelde bo-oor die oorspronklike beeld. Dit maak dit baie maklik om foute raak te sien.

Sukses word bepaal deur die aantal foute te tel, 'n fout word getel as 'n gesegmenteerde element nie ooreenstem met 'n element op die oorspronklike beeld nie. Die gemiddelde fout,  $F_a$  (die persentasie van die verbeterde beeld wat foutief is), word soos volg bereken:

$$F_a = \frac{f_a}{f_t} \times 100. \quad (3.1)$$

$f_a$  is die aantal foute wat getel is terwyl  $f_t$  die totale aantal foute is wat gemaak kan word tydens segmentasie. Die totale aantal foute wat gemaak kan word, word soos volg bereken:

$$f_t = f_u + f_d + f_s. \quad (3.2)$$

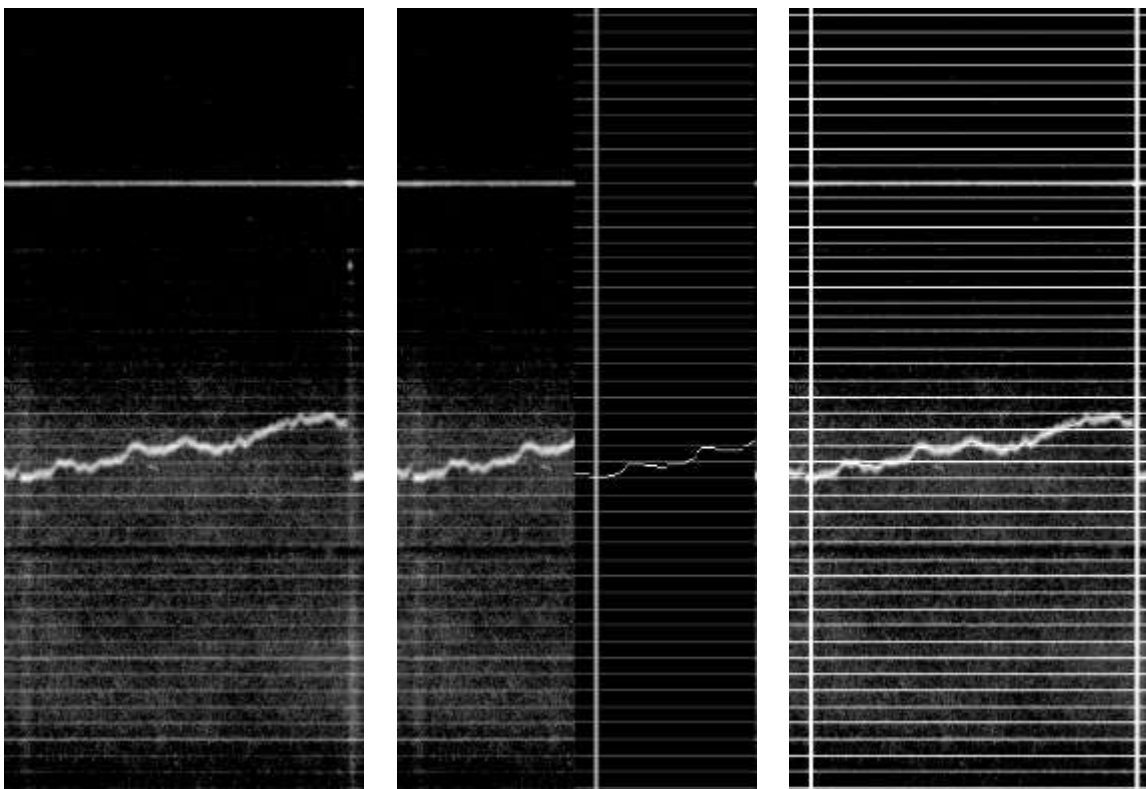
Waar  $f_u$ ,  $f_d$  en  $f_s$  die totale aantal foute by die segmentasie van onderskeidelik voorgrond-elemente; uurmerkers, datareeks en skaallyne is.

$f_u$  - Die totale aantal foute wat gemaak kan word by die segmentasie van die uurmerkers is vier: Elk van die twee uurmerkers se posisie en skeefheidshoek kan

verkeerd bepaal word. Indien dit uit die saamgevoegde beelde soos in Figuur 3.2 met sekerheid bepaal kan word dat die skeefheidshoek of posisie verkeerd is, sal een fout vir elk getel word.

$f_d$  - Die totale aantal foute wat gemaak kan word by die segmentasie van die datareeks is die hoeveelheid datareekspunte (kolomme tussen die uurmerkers) wat bestaan tussen die twee uurmerkers. Dit varieer van beeld tot beeld. Die heel regterkantste beeld in Figuur 3.2 sal gebruik word om elke kolom te vergelyk. 'n Fout sal getel word as die gesegmenteerde datareekspunt nie bo-oor die oorspronklike datareekspunt lê nie. Omrede dit baie moeilik is om datareeksfoute te tel, word 'n 3% fout bygetel om eerder 'n oorskatting as onderskatting tot gevolg te hê.

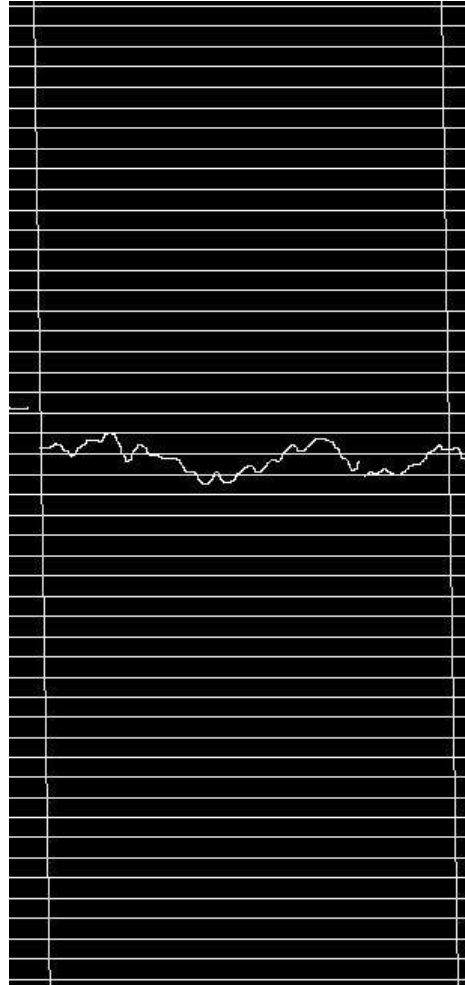
$f_s$  - Die totale aantal foute wat gemaak kan word by die segmentasie van skaallyne kan nie altyd met sekerheid bepaal word nie. Die skaallyne is selde almal sigbaar, daarom is verskeie beelde se skaallyne getel en 'n gemiddeld is bereken. Die gemiddeld is 48, die totale aantal foute wat gemaak kan word by die segmentasie van skaallyne is dus 48. Albei beelde in Figuur 3.2 sal gebruik word om die skaallyne te vergelyk en foute te tel.



*Figuur 3.2: Saamgevoegde beelde vir vergelyking. Die oorspronklike beeld (links), die oorspronklike beeld teenoor die finale verbeterde beeld (middel) asook die drie binêre voorgrondelementbeelde bo-oor die oorspronklike beeld (regs).*

### 3.2.3.2 Handgemaakte ideale binarisasies

Die gemiddelde fout,  $F_b$ , word weer gebruik om resultate met handgemaakte binarisasies, soos in Figuur 3.3, te vergelyk.  $F_b$  word soos  $F_a$  in (3.1) bereken waar die aantal foute,  $f_a$  die aantal beeldpunte is wat verskil as die verbeterde beeld met die ideale handgemaakte binarisasie vergelyk word, beeldpunt vir beeldpunt. Die totale aantal foute wat gemaak kan word,  $f_t$  is bloot gelyk aan die totale aantal beeldpunte ( $n$ ) in die ideale handgemaakte-binêrebeeld.



*Figuur 3.3: 'n Voorbeeld van 'n handgemaakte binarisasie.*

Hierdie handgemaakte binarisasies is geskep deur die gebruik van standaard grafiese tekenapplikasies (Microsoft Paint en Paint Shop Pro). Deur met die oorspronklike kosmiese straal beeld te begin, is voorgrondelemente oor die oorspronklike beeld geteken op die ideale posisies soos met die oog bepaal. 'n Lyn-teken-hulpmiddel is gebruik om reguit wit lyne te teken vir die horisontale skaallyne en vertikale uurmerkers.

Die datareeks is geteken met 'n vryhandverfkwass-hulpmiddel, ook in wit. Die res van die beeld is swart gemaak.

Om die algoritme verder te evalueer word  $F_b$  opgebreek in twee dele: Voorgrond beeldpunte wat foutiewelik as agtergrond gesegmenteer is ( $F_b v$ ) en agtergrond beeldpunte wat foutiewelik as voorgrond gesegmenteer is ( $F_b a$ ).

Deur die twee bogenoemde metodes (hoofstuk 3.2.3.1 & 3.2.3.2) te gebruik kan daar bepaal word of die algoritme suksesvol was. Dit is nodig, as die ideale doel in ag geneem word, dat  $F_a$  en  $F_b$  neig na nul.

Daar bestaan ook ander metodes om die verbeterde beeld met die handgemaakte binarisasie te vergelyk. Een so 'n metode is om byvoorbeeld beide beelde met uitdying te verwerk. Laat  $H_o$  en  $O_o$  die handgemaakte binarisasie en verbeterde beeld voorstel, terywl  $H_d$  en  $O_d$  die uitgedyde beelde voorstel (aanvaar 'n klein struktuurelement, byvoorbeeld die vier direkte bure in 'n 3 x 3 raster). Die insluitingsfout is dan alle beeldpunte wat in  $O_o$  voorkom, maar nie 'n ooreenstemmende beeldpunt het in  $H_d$  nie. 'n Weglatingsfout is dan soortgelyk alle beeldpunte wat in  $H_o$  voorkom, maar nie 'n ooreenstemmende beeldpunt in  $O_d$  het nie.

Alhoewel hierdie metodes van suksesmeting 'n baie goeie demonstrasie van sukses gee is dit in verdere studie nodig om sintetiese beelde te skep wat as ideale kosmiese straal beelde kan dien. Hierdie sintetiese beelde kan dan verswak word en weer deur die algoritme verbeter word, die verbeterde beeld kan dan weer met die oorspronklike ideale beeld vergelyk word vir presiese suksesmeting. Sintetiese beeldvervaardiging val egter buite die omvang van hierdie studie, in hierdie studie is dit slegs van belang om te demonstreer dat dit wel moontlik is om kosmiese straal-data te versyfer.

## 3.2.4 Toetsdata

'n Paar kosmiese straalbeelde is uitgesonder om mee te eksperimenteer. Die kosmiese straalbeelde van die onderskeie stasies verskil redelik in voorkoms: Sommige is dof, ander is lig, party het hoë kontras terwyl ander weer lae kontras het. As daar egter na elke stasie afsonderlik gekyk word, is die beelde amper identies oor al die jare, behalwe vir die datareeks natuurlik. Daar is hier en daar uitsonderings, soos byvoorbeeld vlekke, voue en oormatig dowwe of helder dele.

Die uitdaging met die versyfering lê in hierdie wye verskeidenheid. Dit is daarom nodig om beelde te kies van verskeie stasies vir eksperimentering wat hierdie verskeidenheid verteenwoordig. Vyf beelde is gekies, elk met omtrent dertien uur se data. Elkeen van hierdie beelde verskil drasties. (Alle figure en resultate word volledig in bylaag A op bl. 88 gegee.)

Hierdie beelde is afkomstig van vier stasies (Figuur 3.4):

- **Huancayo:** Geleë in Peru by koördinate:  $12.0^{\circ}\text{S}$  en  $75.3^{\circ}\text{W}$  – 3350 meter bo seespieël.
- **Christchurch:** Geleë in Nieu Seeland by koördinate:  $43.5^{\circ}\text{S}$  en  $172.6^{\circ}\text{O}$  – 8 meter bo seespieël.
- **Cheltenham:** Geleë in die Verenigde State van Amerika by koördinate:  $83.7^{\circ}\text{N}$  en  $76.8^{\circ}\text{W}$  – 72 meter bo seespieël.
- **Godhavn:** Geleë in Groenland by koördinate:  $69.2^{\circ}\text{N}$  en  $53.5^{\circ}\text{W}$  – 9 meter bo seespieël.



*Figuur 3.4: Kosmiese straal-ionisasiekamerstasies.*

Die beelde is:

- **CHEL1** (Figuur A.1 op bl. 88): Die eerste beeld geneem van die stasie Cheltenham wat gemeet is op 26 Februarie 1942 (07:00 – 21:00). 'n Donker laekontrasbeeld, met dowwe uur en skaallyne. Uurmerkers is dun en wit.
- **HUAN** (Figuur A.2 op bl. 88): 'n Beeld geneem van die stasie Huancayo wat gemeet is op 27 Februarie 1942 (20:00 - 08:00). Hierdie beeld is omtrent die teenoorgestelde van CHEL1. 'n Ligte hoëkontrasbeeld. Die beeld is van baie goeie kwaliteit met redelike dik, donker uurmerkers.
- **CHEL3** (Figuur A.3 op bl. 88): Die tweede beeld geneem van die stasie Cheltenham, gemeet op 23 Julie 1946 (12:00 - 01:00). Soos CHEL1 is dit ook 'n donker laekontrasbeeld met dowwe uur- en skaallyne. Uurmerkers is soos met

CHEL1. Hierdie beeld het bietjie skeefgetrek wat effense skewe uurmerkers tot gevolg het. CHEL3 het ook ligte horisontale stroke.

- **CHRS** (Figuur A.4 op bl. 89): 'n Beeld geneem van die stasie Christchurch wat gemeet is op 25 Februarie 1942 (08:00 - 21:00). Redelik eenders aan CHEL3. Hierdie beeld het redelik skeefgetrek, selfs oor die bestek van een uur vind mens skewe skaallyne.
- **GHVN** (Figuur A.5 op bl. 89): 'n Beeld geneem van die stasie Godhavn wat gemeet is op 25 Februarie 1942 (19:00 - 10:00). Met die bogenoemde beelde wat uiterstes is van donker na lig, is GHVN omtrent in die middel. Nie te dof nie en ook nie te helder nie, redelik in die middel van die grysvlakskaal. Met 'n helder datareeks en helder skaallyne. Dik swart uurmerkers en soos CHEL3 en CHRS horisontale stroke, egter net donker in plaas van lig. GHVN het soms ure wat in helderheid verskil van vorige ure.

Die algoritmes moet so geskryf word dat die grootte van beelde min invloed het, met ander woorde alle konstante waardes moet in terme van die beeld se resolusie wees. Natuurlik raak al hoe meer inligting verlore soos beelde kleiner word. Kleiner beelde word egter vinniger verwerk. Die balans tussen grootte en spoed is bepaal en alle beelde is omtrent 'n resolusie van  $800 \times 3455$ .

Met hierdie verskeidenheid van beelde kan eksperimentering en resultate betroubaar gelewer word. Die doel is om 'n dinamiese algoritme te ontwikkel om elkeen van hierdie beelde te versyfer.

### 3.2.5 Tegnologie

Om die algoritmes te implementeer word MATLAB R2007a gebruik. MATLAB is 'n hoëvlak taal vir wiskundige berekeninge, grafiese voorstelling van resultate en vinnige verander en toets van algoritmes. Dit is veral geskik vir matriksmanipulering en word baie gebruik vir beeldverwerking (Marmo *et al.*, 2005) (Farah, 2007:629). Matrikse is die basis element van MATLAB, 'n beeld is eintlik net 'n matriks wat grafies voorgestel word.

Dit maak MATLAB geskik vir die ontwikkeling van algoritmes. Algoritmes kan in MATLAB geskryf word en vinnig getoets word. Grafiese voorstelling kan maklik verkry word om die resultate te beskou en sodoende sinvolle veranderings aan die algoritmes te maak.

Die enigste nadeel van MATLAB is dat dit nie so vinnig is soos programmeringstale, soos byvoorbeeld C++ nie. Dit is egter ideaal vir die doel van algoritme-ontwikkeling vir die versyfering van kosmiese straalbeelde. Hierdie algoritme kan dan gebruik word om later 'n applikasie in byvoorbeeld C++ of F# (Microsoft se nuwe funksionele taal, (Microsoft Research, 2008)) te skryf.

Dit is nodig om MATLAB se matriksvoorstelling te verstaan om die beskrywing van algoritmes te verstaan (Tabel 3.1):

|      | Kolom 1 | Kolom 2 | Kolom 3 | Kolom 4 | Kolom 5 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Ry 1 | 100     | 50      | 60      | 255     | 0       |
| Ry 2 | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Ry 3 | 255     | 255     | 255     | 255     | 255     |
| Ry 4 | 100     | 50      | 60      | 255     | 0       |
| Ry 5 | 30      | 40      | 50      | 60      | 70      |

Tabel 3.1: MATLAB se voorstelling van matrikse (beelde).

Die heel linkerkantste boonste sel is ry een, kolom een. MATLAB se indekse begin by een, C++ se indekse begin by nul. 'n Grysvlakbeeld het vir elke beelpunt 'n heelgetal grysvlakwaarde. Grysvlakwaardes strek van nul (swart) tot en met 255 (wit). In die boonste tabel is ry twee byvoorbeeld heeltemal swart, terwyl ry drie weer heeltemal wit is.

## 3.3 Voorkennis

Die versyfering van kosmiese straalbeelde sal onmoontlik wees sonder die gebruik van voorkennis. Met behulp van voorkennis kan aannames oor die voorgrond-elemente gemaak word. Elke voorgrond-element het spesifieke eienskappe. So weet ons byvoorbeeld dat uurmerkers reguit vertikale lyne regoor die beeld is. Dit is nodig om weereens na die werking van die Compton-Wollan-Bennet ionisasiekamer-meter te kyk:

Die Compton-Wollan-Bennet ionisasiekamer-meter bevat 'n ionisasiekamer in die vorm van 'n staalsfeer met gesuiwerde argon. Die argon word geïoniseer soos kosmiese strale deur die kamer beweeg. 'n Lindemann elektrometer is gebruik om die ionisasie stroom te meet (Lange & Forbush, 1948). Om die vlak van kosmiese straal-ionisasie te meet is die skaduwee van die elektrometer naald op 'n 60 mm bewegende stuk fotografiese papier geprojekteer. Die ionisasiekamer is gegrond vir drie minute elke uur, wat die ionisasie lading na nul bring en die elektrometernaald weer na die nul posisie bring. Terselfdertyd word die gloeilamp verdof om uurmerkers as vertikale lyne te skep (Compton *et al.*, 1943).

Die voorkennis wat gebruik word, is daarom soos volg:

### 3.3.1 Datareeks

- **Enkelwaarde:** Daar bestaan slegs een waarde vir elke tydstep selfs al is die datareeks 'n dik lyn. Hierdie waarde kan in meeste gevalle aanvaar word as die maksimum grysvlakwaarde in elke kolom. Hierdie aanname word gemaak vir hierdie studie en kan moontlik in verdere studie ondersoek word.

- **Aaneenlopende lyn:** Daar is dus een enkele waarde vir elke moontlike tydstep, met ander woorde die reeks sal 'n aaneenlopende lyn wees. Daar kom wel spronge voor, dus kan daar diskontinuiteite in die lyn voorkom.
- **Grondwaarde:** Die ionisasiekamer word gegrond elke uur wat beteken dat die datareeks elke uur op die nul-posisie begin.

### 3.3.2 Uurmerkers

- **Vertikaal, reguit:** Uurmerkers sal altyd reguit vertikale lyne wees, die fotografiese papier beweeg horisontaal om data in terme van tyd te meet.
- **Afstand:** Die afstand tussen uurmerkers kan met behulp van 'n gemiddeld oor talle beelde bepaal word aangesien dit dieselfde is vir alle beelde. Uurmerkers is altyd dieselfde afstand weg van mekaar, die afstand stel een uur voor.

### 3.3.3 Skaallyne

- **Horisontaal, reguit:** Skaallyne meet die variasie van die datareeks oor tyd, daarom sal dit altyd horisontaal en reguit wees. Elke vyfde skaallyne is ook ligter en dikker.
- **Afstand:** Die skaallyne sal altyd dieselfde afstand van mekaar af wees.

Met hierdie voorkennis kan beeldverwerkingstegnieke soos in die literatuurstudie bespreek is nou op die toetsdata toegepas word. Die beeldverbeteringsproses word as riglyn gebruik. Eerstens word die vasleggingsfase bespreek, daarna die beeldverbeteringsfase en laastens die interpreteringsfase.

## 3.4 Vaslegging

Die toetsdata is reeds geskandeerde kosmiese straalbeelde wat in die eerste plek opgedeel word in kleiner sub-beelde.

### 3.4.1 Onttrekking

Uit elke kosmiese straalbeeld word elke uur as 'n sub-beeld onttrek omrede:

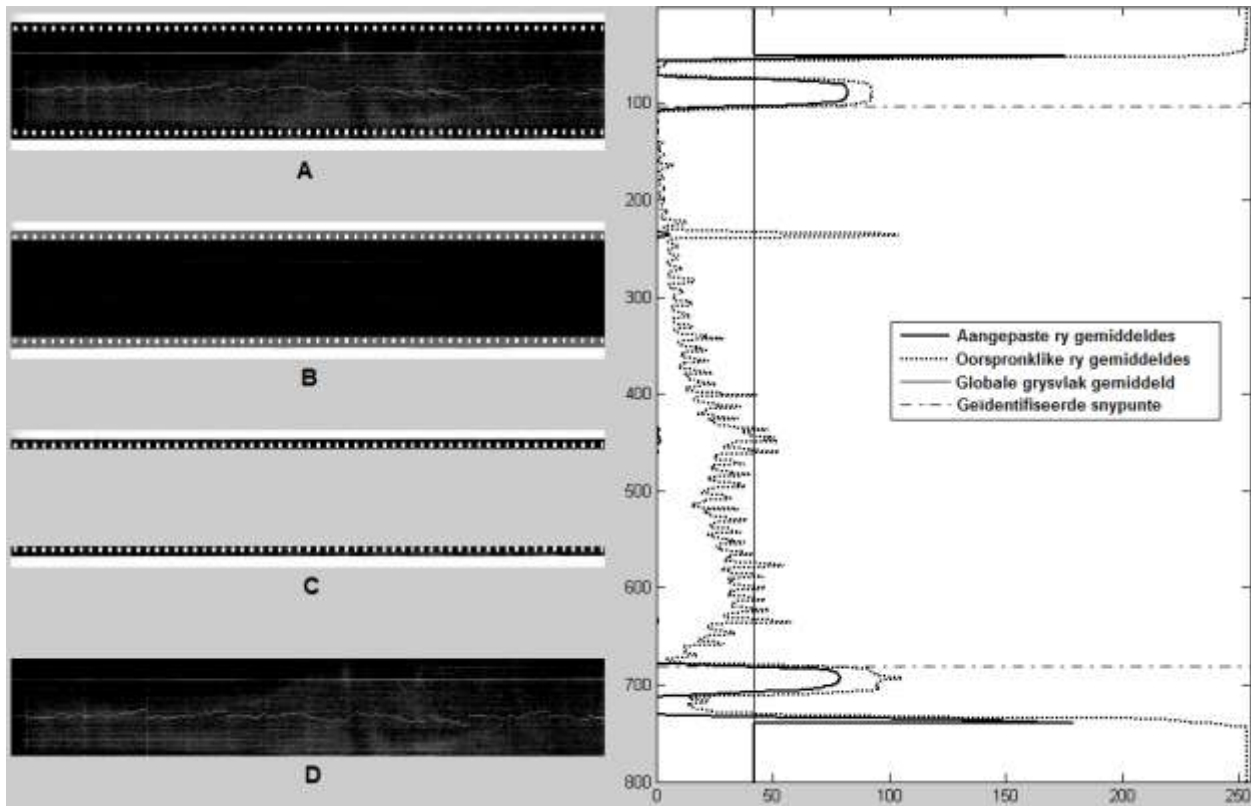
- **Spoed:** Aangesien beeldverbetering oor die algemeen baie rekenintensief is, is dit beter om kleiner beelde te gebruik. 'n Kleinere resoluiebeeld, is aansienlik vinniger om te verwerk.
- **Logiese eenheid:** 'n Uur se data bied 'n logiese eenheid wat sin maak om te onttrek. Die ionisasiekamer word elke uur gegrond.

Uurmerkers is redelik eenvoudig om akkuraat te segmenteer. Onakkurate segmentasie van uurmerkers is hoofsaaklik as gevolg van onleesbare data.

Aangesien al die data op fotografiese papier geneem is, is daar ook die teenwoordigheid van perforasiegaatjies. Hierdie gaatjies word ook verwyder in die onttrekkingsproses omdat dit die segmentasie van voorgrond-elemente beïnvloed.

### 3.4.1.1 Verwydering van perforasiegaatjies

In die verwydering van die perforasie gaatjies is die eerste ooglopende eienskap die feit dat die gaatjies wit is, dus, 'n grysvlakwaarde nader aan 255. Indien elke ry se gemiddelde grysvlakwaarde bepaal word, is die bevinding dat rye wat gaatjies bevat 'n baie hoër gemiddeld het. Figuur 3.5 toon die proses vir die verwydering van perforasiegaatjies:



*Figuur 3.5: Die verwydering van perforasiegaatjies. A – Die oorspronklike beeld, B,C – die perforasiegaatjies soos dit geïdentifiseer is, D – die beeld met perforasiegaatjies verwyder. Die regterkantste grafiek toon die aangepaste ry gemiddeldes, oorspronklike ry gemiddeldes, globale grysvlak-gemiddeld en geïdentifiseerde snypunte.*

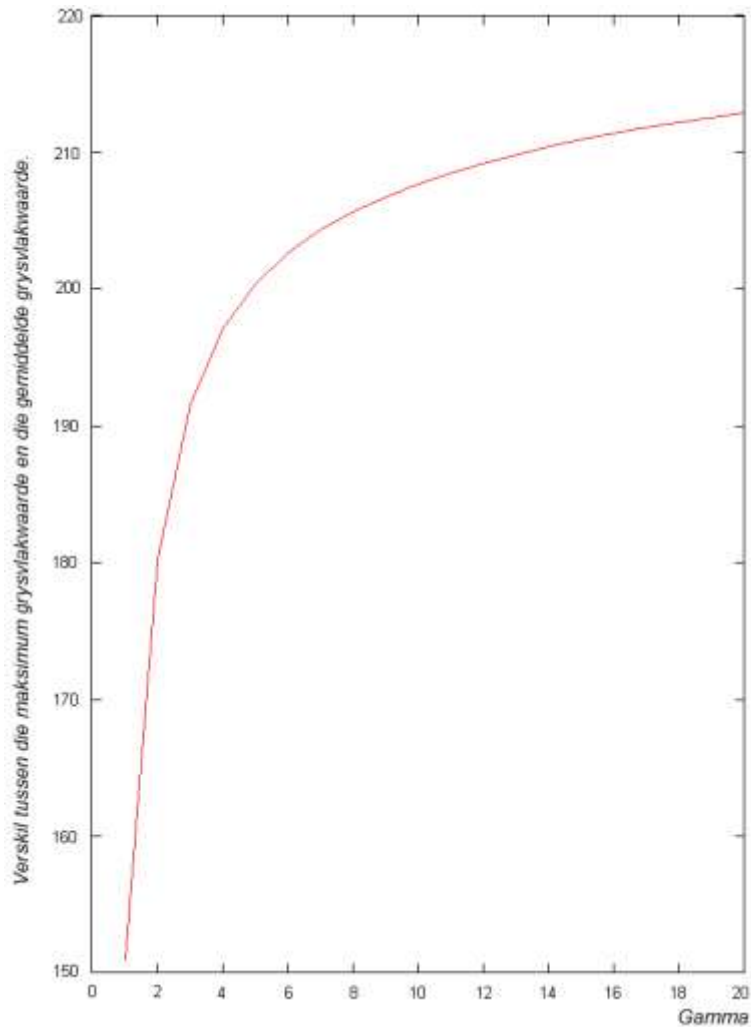
Tesame met die perforasiegaatjies is daar gewoonlik ook wit stroke bo en onder die geskandeerde kosmiese straalbeeld. Hierdie wit stroke moet ook verwyder word en word vir die doel van hierdie bespreking as deel van die perforasiegaatjies gesien.

Deur die gebruik van voorkennis en ook eksperimentering word die persentasie rye wat moontlik gaatjies (dit is wit stroke ingesluit) bevat bepaal. Die verskeidenheid beelde is eerstens gemeet, en hierdie persentasie is bepaal as gemiddeld 27%, gemiddeld 27%

van die beeld se rye is dus gaatjies en wit stroke wat verwyder moet word. Daar is egter 'n hele aantal uitsonderingsgevalle waar die persentasies selfs 20% en 35% is.

Die gemiddelde persentasie, 27%, is gebruik as beginpunt vir eksperimentering. Goeie resultate is gelever maar die uitsonderingsgevalle waar die persentasie meer as 27% is, het gefaal. Sommige gaatjies het oorgebly of belangrike inligting is saam met die gaatjies verwyder. Na talle eksperimentering het die persentasie 37.5% perfekte verwydering van perforasiegeatjies gelever. Voorkennis bepaal ook dat gaatjies slegs heel bo en heel onder voorkom. Met ander woorde die eerste 18.75% rye bevat gaatjies asook die laaste 18.75%. Hierdie persentasie is baie meer as wat dit werklik in meeste gevalle is, maar dit is so gekies dat selfs in uiterste gevalle, die totale aantal gaatjierye onder hierdie persentasie sal val. Hierdie persentasieberekening is die beginpunt vir die verwydering van perforasiegeatjies.

Omdat gaatjies oorwegend die witste deel van die beeld is, kan 'n magtransform gebruik word om die wit gaatjies verder te onderskei van die donker dele van die beeld. 'n Magtransform met  $c = 1$  en verskeie gammawaardes is in eksperimentering gebruik. Lae gammawaardes (waardes onder drie) het nie 'n beduidende effek gehad nie. 'n Gamma waarde van vyf het bevredigende resultate gelever terwyl enige waarde meer as vyf nie op hierdie resultate kon verbeter nie. Die optimale gammawaarde kan daarom aanvaar word as vyf. Figuur 3.6 toon hoe die verskil tussen wit dele (maksimum grysvlakwaardes) en die gemiddelde grysvlakwaarde van die beeld toeneem met die gebruik van die magtransform. Let wel dat die beeld geskaal word na 'n gebied van nul tot 255 na die magtransform toegepas is.



*Figuur 3.6: Verskil tussen die maksimum grysflakwaarde en die gemiddelde grysflakwaarde geplot teenoor gamma. Dit is van 'n beeld wat telkens na 'n gebied van nul tot 255 geskaal word na die toepassing van die magtransform.*

Ander grysflaktransforms is ook mee geëksperimenteer maar nie een kon beter resultate as die magtransform lewer nie. In die meeste gevalle was die effek degraderend.

Die grafiek in Figuur 3.5 toon vier lyne, die eerste (die soliede dik lyn) is die aangepaste ry gemiddeldes, die tweede (die dik stippellyn) is die oorspronklike ry gemiddeldes, die derde (die vertikale soliede lyn) is die totale beeld se gemiddelde grysflakwaarde en die vierde lyn (horisontale stippellyn) is die geïdentifiseerde snypunte.

Die aangepaste ry gemiddeldes,  $m_a(x)$  word soos volg bereken:

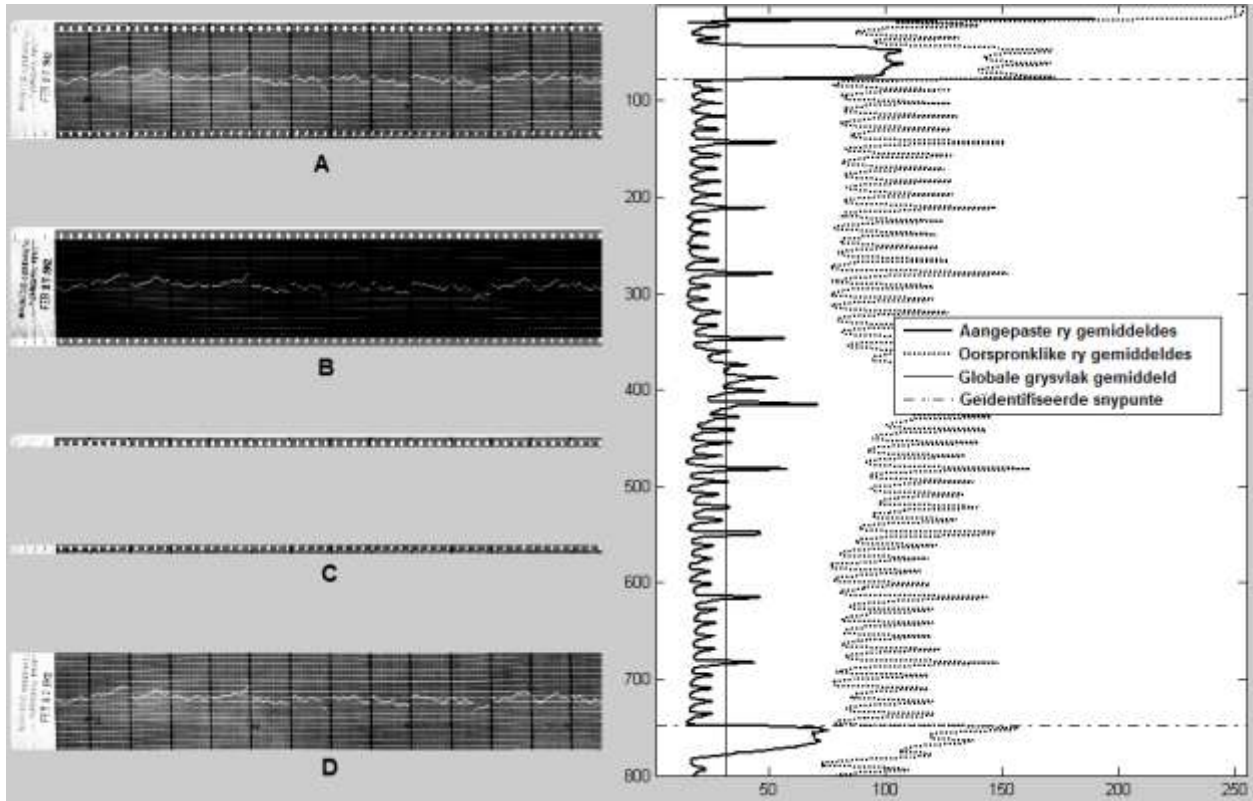
$$m_a(x) = \begin{cases} m_t, & \text{as } m(x) \geq 200, x \in \text{eerste en laaste } 18.75\% \text{ van } x; \\ m(x), & \text{andersins.} \end{cases} \quad (3.3)$$

waar  $m(x)$  die gemiddelde grysvlakwaarde van elke ry  $x$  in die kosmiese straal beeld (na die magtransform toegepas is) is en  $m_t$  die gemiddelde grysvlakwaarde van die totale beeld is. Die algoritme is soos volg:

- Bepaal  $m(x)$ .
- Die witstrookrye se gemiddeldes word gelyk aan die beeld se gemiddeld gestel sodat dit nie die identifisering van gaatjies beïnvloed nie. Aangesien hierdie rye se gemiddeld selfs hoër is as die gaatjierye:
  - Vanaf die eerste ry ( $x = 1$ ), tot en met die ry 18.75% ondertoe in die beeld asook:
  - Vanaf die ry 81.25% ondertoe in die beeld tot en met die laaste ry;
    - As  $m(x) \geq 200$ , (oorwegend wit), stel  $m_a(x) = m_t$ .

Beskou aangepaste gemiddeldes (soliede dik lyn) in Figuur 3.5. Ry een tot en met omtrent ry 50, asook ry 740 tot ry 800, se waarde word gelyk aan die totale beeld se gemiddelde grysvlakwaarde (vertikale soliede lyn) gestel omdat hierdie rye 'n gemiddeld groter of gelyk aan 200 het. Hierdie algoritme is in alle toetsbeelde suksesvol.

Figuur 3.5 is 'n redelike ideale scenario vir voorstellingsdoeleindes. Figuur 3.7 toon weer 'n geval waar perforasiegaatjies moeilik identifiseerbaar is. In die eerste geval blyk dit of totale verwydering van wit stroke eenvoudiger sal wees. Totale verwydering van wit stroke is egter vermy omrede dit moeilik is om met sekerheid te bepaal of daar wel 'n wit strook is en waar die wit strook eindig. Om wit stroke te verwyder sou die laaste ry met 'n waarde groter as 200 verwyder moes word, wat nie altyd die einde van die wit strook aandui nie en dus onsuksesvolle verwydering in sekere gevalle tot gevolg het. Ander metodes is ook moontlik maar uiteindelik is die bogenoemde metode eenvoudig en suksesvol, selfs al is daar geen wit stroke nie. Die ideaal is dat die kosmiese straalbeelde sonder die wit stroke geskandeer word. Dit is vervolgens maklik om perforasiegaatjie afsnyposisies (horisontale stippellyne in Figuur 3.5) te bepaal deur hierdie aangepaste gemiddeldes te gebruik.



Figuur 3.7: Die verwydering van perforasiegaatjies. A – Die oorspronklike beeld, B,C – die perforasiegaatjies soos dit geïdentifiseer is, D – die beeld met perforasiegaatjies verwyder. Die regterkantste grafiek toon die aangepaste ry gemiddeldes, oorspronklike ry gemiddeldes, globale grysvlak-gemiddeld en geïdentifiseerde snypunte.

’n Afsnyposisie is die laaste ry wat verwyder word. Dit is hoogs onwaarskynlik dat die datareeks oor gaatjerye sal strek, daarom word gaatjerye heeltemal verwyder, dit is onmoontlik om die datareeks te projekteer oor ’n gat. ’n Boonste en onderste afsny-ry word soos volg bepaal:

- Bepaal van bo af (soos in Figuur 3.5 op bl. 52) tot en met die ry 18.75% ondertoe in die beeld (ry  $p$ ) al die punte waar die totale gemiddeldlyn die aangepaste ry gemiddeldlyn sny ( $m_a(x) = m_t$ ).
- As daar ’n opwaartse beweging (toename in rygemiddeldes;  $m_a(x_{i-1}) < m_a(x_i)$  vir  $i = 2, 3, 4, \dots, p$ ) is by ’n snypunt en ’n afwaartse beweging ( $m_a(x_{i+1}) > m_a(x_i)$  vir  $i = 1, 2, 3, \dots, p - 1$ ) met die opeenvolgende snypunte, bepaal die afstand tussen hierdie twee snypunte. Indien hierdie afstand groter is as 1.85% van al die rye, dui dit gaatjerye aan. 1.85% is deur herhaaldelike eksperimentering bepaal en dui die minimum aantal rye wat ’n gaatjie strek aan. Die tweede snypunt (by die afwaartse beweging) is dan die einde van die boonste perforasiegaatjies.
- Die onderste afsny-ry word op soortgelyke wyse bepaal.

Hierdie twee afsnyposisies word dan met 1% van die totale aantal rye vermeerder om sodoende die gaatjies heeltemal af te sny. Weereens is hierdie 1% met herhaaldelike eksperimentering bepaal as optimaal. Soos vroeër genoem, is die gebruik van persentasies belangrik om die algoritme aanpasbaar te maak in terme van beeldresolusie. Die beelde aan die linkerkant van Figuur 3.5 op bl. 52 demonstreer die werking van hierdie algoritme. Die algoritme is getoets op al die toetsbeelde en het by elkeen die gaatjies heeltemal afgesny sonder om enige ander inligting van die kosmiese straalbeeld te verwyder.

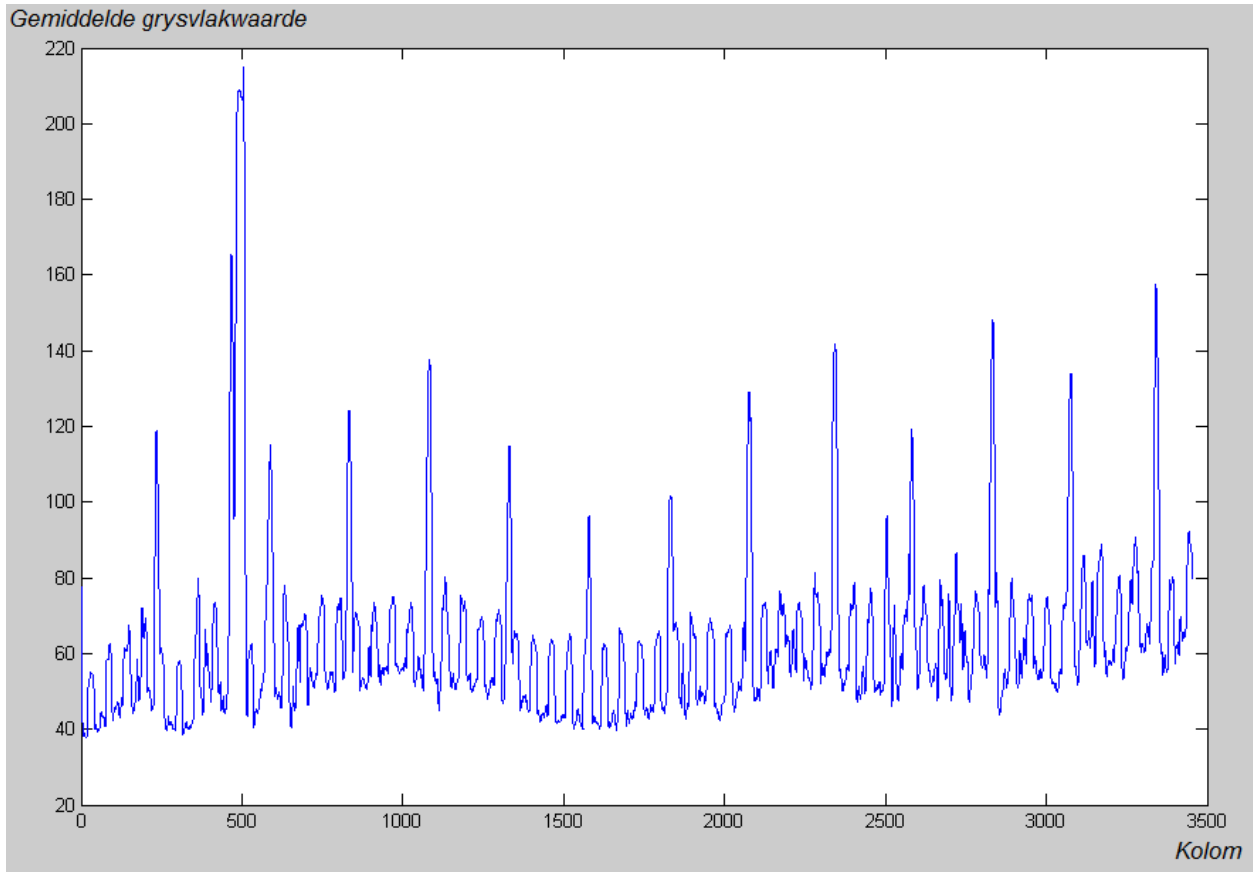
### 3.4.1.2 Onttrek 'n individuele uur as 'n sub-beeld

Na die perforasiegaatjies verwyder is, moet elke beeld se sub-beeld (’n uur se data) onttrek word. Die eerste probleem is die feit dat uurmerkers in sommige stasies wit is en in ander swart. Uurmerkers is ook soms skeef, soms dik en soms dun. Vir die doel van onttrekking is dit egter net nodig om benaderde posisies van die uurmerkers te vind, die identifisering van die presiese posisie en skeefheid is later se berekening.

Uit voorkennis is dit duidelik dat uurmerkers vertikale lyne is, almal ’n spesifieke afstand van mekaar. Die enigste parameter wat van die gebruiker verlang word in die totale versyferingsproses is die kleur van uurmerkers, swart of wit. Dit is dalk moontlik om die kleur van uurmerkers uit die beeld af te lei, maar moeilik genoeg om dit nie die moeite werd te maak nie. ’n Fout in hierdie berekening sal fataal wees. Dit is slegs een parameter wat gelewer moet word vir elke stasie en is dus nie oordrewe om van die gebruiker te verlang nie.

In die eerste plek word beelde met swart uurmerkers se kontras verhoog deur die gebruik van ’n magtransform met gamma vyf en  $c = 1$ . Soos in hoofstuk 3.4.1.1 op bl. 54 is die gamma bepaal deur iteratiewe eksperimentering. Die mag word egter bereken met ’n plafonwaarde van 255 sodat alle waardes wat ’n mag het wat hoër is as hierdie plafonwaarde, gelyk aan die plafonwaarde gestel word. Dit is ’n drastiese kontrasverhoging wat slegs grysvlakwaardes onder vier, nie gelyk aan 255 stel nie. Tog het hierdie verandering groot verbeterings opgelewer, dit is omrede swart uurmerkers oor die algemeen heeltemal swart is (’n grysvlakwaarde onder vier), terwyl wit uurmerkers ’n grysvlakwaarde van 200 tot 255 kan hê. Waardes nader aan swart (uurmerkers in hierdie geval) word dus baie min verander terwyl die res almal baie naby aan wit (255) gestel word. Daar is gevind dat beelde met wit uurmerkers nie baat by hierdie kontrasverhoging nie.

Indien die gemiddelde grysvlakwaarde vir elke kolom,  $m(y)$  bepaal word sal kolomme met uurmerkers se gemiddeld aansienlik verskil van kolomme sonder uurmerkers (Figuur 3.8). Met wit uurmerkers sal die kolom gemiddeld hoog wees terwyl dit baie laag sal wees met swart uurmerkers. Dit is dus nodig om  $m(y)$  te bestudeer vir die identifisering van uurmerkers.



Figuur 3.8: Gemiddelde grys vlakwaardes van die kolomme ( $m(y)$ ) van 'n kosmiese straalbeeld (CHEL1).

Na talle eksperimentering is 'n bewegende afgeleide van die kolomgemiddeldes,  $m_a(p)$  as 'n geskikte vektor geïdentifiseer vir die identifisering van uurmerkers. Ons is op soek na uitskieters in

$$m_a(p) = \left| \frac{1}{7} \sum_{i=p-6}^p m(i) - \frac{1}{7} \sum_{i=p}^{p+6} m(i) \right| \quad \text{vir } p = 7, 8, 9, \dots, y_{maks} - 7. \quad (3.4)$$

waar  $p$  die betrokke kolom is en  $y_{maks}$  die totale aantal kolomme in die beeld is. Die algoritme is soos volg:

- Bepaal  $m(y)$ .
- Bepaal  $m_a(p)$ , 'n bewegende afgeleide van die kolomgemiddeldes:
  - Vir elke kolom, word die absolute verskil tussen die gemiddeld van die sewe kolomgemiddeldes voor hom, en die gemiddeld van die sewe kolomgemiddeldes na hom bepaal. Dit word gedoen om kleiner uitskieters uit te skakel, soos byvoorbeeld 'n ligte vertikale lyn wat nie 'n uurmerker is nie.

- Skaal  $m_a(p)$  na 'n gebied van nul tot 255. Dit word gedoen om 'n drempel te kan bepaal wat sal sin maak in terme van grysvlakwaardes om uitskieters te identifiseer.
- Met behulp van hierdie waardes word uurmerkers as uitskieters geïdentifiseer. Die drempel wat gebruik word om uitskieters te identifiseer word later bespreek.

Figuur A.6 tot Figuur A.10 op bladsye 90 tot 92 dui die onttrekking uit CHEL1, HUAN, CHEL3, CHRS en GHVN aan. Elkeen se  $m_a(p)$  word geplot in die onderskeie grafieke. GHVN se uurmerkers is die moeilikste om te identifiseer, aangesien dit reeds 'n redelik donker beeld is met swart uurmerkers. Uit GHVN se grafiek is dit ook duidelik hoe min die verskil tussen sy kolomgemiddeldes is. Vergelyk dit teenoor die duidelike kolomgemiddelde verskil van HUAN.

Alhoewel dit voorkom asof 'n reguit lyn voldoende sal wees om as 'n drempel te gebruik in die identifisering van uitskieters (uurmerkers), is dit gevind uit herhaalde eksperimentering dat 'n aangepaste drempel beter resultate lewer:

- Die bewegende mediaan van  $m_a(p)$  is bereken vir 'n drempel. 30% van die wydte van die beeld is deur eksperimentering bepaal as optimaal vir die grootte van die bewegende mediaan. Dit lewer 'n kromme wat perfek pas oor  $m_a(p)$ .
- Dit is egter nodig om hierdie kromme hoër op te skuif om slegs uitskieters te drempel. Die gemiddeld van die 13% hoogste waardes van  $m_a(p)$  is bepaal, dit gee 'n benadering van die gemiddeld van al die uitskieters. Daar is deur eksperimentering bepaal dat uurmerkeruitskieters gemiddeld die 13% hoogste waardes in  $m_a(p)$  is. Hierdie gemiddeld word laastens sommeer met die bewegende gemiddelde drempel om die drempel te laat uitstyg sodat slegs uitskieters (uurmerkers) bo die drempel is.

Hierdie drempeling van  $m_a(p)$  lewer uitstekende resultate in die onttrekking van sub-beelde uit die toetsbeelde. 'n Uur word dan uiteindelik soos volg bepaal:

- Bepaal waar die drempellyn vir  $m_a(p)$  sny (bepaal met ander woorde die uitskieters), dit is dan 'n uurmerker.
- Bepaal of die afstand tussen twee uurmerkers verder as 'n vasgestelde afstand is. Sodoende word verseker dat slegs uurmerkers geïdentifiseer word en nie ander uitskieterkolomme wat binne 'n uur mag voorkom nie. Hierdie vasgestelde afstand is 1% van die totale lengte van die kosmiese straal beeld en is vasgestel deur alle kosmiese straalbeelde te meet en van daar af herhaaldelik te eksperimenteer met verskillende waardes. 'n Kleiner waarde lewer beter resultate as gevolg van sommige uitsonderings waar klomp uitskieters byvoorbeeld binne een uur lê. Sulke uitsonderings gooi dan die res van die uurmerker-identifisering af indien 'n groter persentasie gebruik word.

- 0.7% van die totale kosmiese straalbeeld se lengte (lengte van 'n ry) word voor en na die geïdentifiseerde uurmerkers bygetel om seker te maak die hele uur word onttrek. 0.7% het telkens 'n optimale onttrekking gelewer en is die perfekte ewewig tussen:
  - Moontlik te veel kolomme voor en na die uurmerkers onttrek en
  - moontlik te min kolomme voor en na uurmerkers onttrek wat dalk skewe uurmerkers sal afsny.

Dit is dan die algoritme wat ontwikkel is om klomp uurlikse kosmiese straalsub-beelde te verkry. Elkeen van hierdie sub-beelde kan nou verbeter en versyfer word.

## 3.5 Beeldverbetering

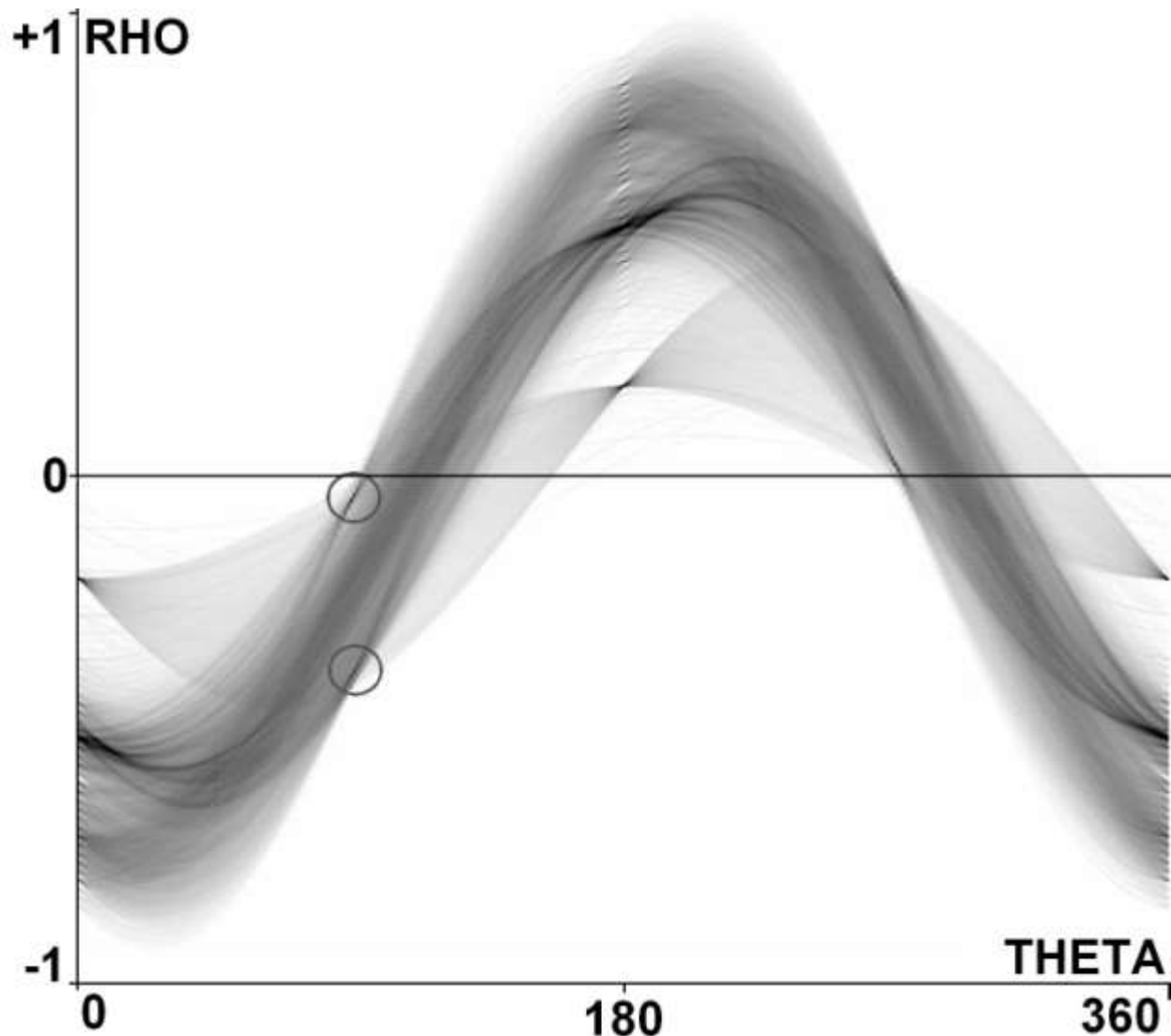
Na die beeld opgedeel is, moet elke voorgrondelement vir die betrokke uur se sub-beeld gesegmenteer word. Die resultaat moet dus 'n binêre beeld wees wat verkry is vanaf 'n 256-waarde beeld. Die binêre beeld het dan slegs twee waardes, nul - agtergrond (swart) en een - voorgrond (wit). Swart en wit kan ook omgeruil word (die negatief), die belangrikheid lê in die skeiding van die twee.

### 3.5.1 Uurmerkers

Alhoewel ons reeds rofweg die posisie van uurmerkers bepaal het, is dit nou nodig om die presiese uurmerkerlyne te segmenteer. Daar moet in ag geneem word dat uurmerkers drie minute lank is. Vir die doel van segmentasie word uurmerkers in die middel van hierdie drie minute geïdentifiseer aangesien dit die akkuraatste segmentasie tot gevolg het. Met die versyfering sal hierdie gesentreerde uurmerkers verdik word na die werklike grootte.

Uurmerkers word gesegmenteer deur middel van die Hough transform toe te pas, aangesien ons uit voorkennis weet dat die uurmerkers vertikale reguit lyne regoor die beeld is. Vertikale lyne het waardes vir  $\theta$  rondom  $90^\circ$  in die Hough transform-akkumulatormatriks. Uurmerkers kan effe skeef wees, daarom stel ons belang in theta-waardes van  $89^\circ$  tot  $91^\circ$ .

Ons weet ook dat daar twee uurmerkers is in die onttrekte sub-beeld, een aan die linkerkant en een aan die regterkant, dus, lae en hoë  $\rho$  waardes. Ons stel dus belang in die twee areas soos in Figuur 3.9 hieronder aangedui:



*Figuur 3.9: Die Hough transform-akkumulatormatriks van CHEL1, uur 4. Die Rho as is genormaliseer. Uurmerker-areas is met kringe aangedui.*

Met die blote oog is dit al sigbaar dat daar twee duidelike vertikale lyne uit die akkulatormatriks geïdentifiseer kan word. Die algoritme vir die outomatiese segmentasie beskou hierdie twee areas.

Die Hough transform-akkumulatormatriks (Figuur 3.9) word bereken slegs vir  $\theta$  waardes van  $89^\circ$  tot  $91^\circ$ . Dit word bereken deur die oorspronklike beeld te vat en enige waardes bo die beeld se gemiddeld plus een standaardafwyking word as voorgrond gesien. As 'n aanpassing op die Hough transform word waardes nader aan wit egter as sterker voorgrond gesien. Die akkulatormatriks word dus met meer geakkumuleer vir waardes nader aan 255. Die grys vlakwaarde van 'n spesifieke punt word deur 30

gedeel om 'n waarde te verkry waarmee die akkumulatormatriks geakkumuleer word. Die waarde van 30 is as voldoende gevind vir 'n merkbare verskil as hoër waardes die akkumulatormatriks met meer akkumuleer, die waarde is nie baie sensitief nie. Na die akkumulatormatriks op hierdie wyse verkry is, word alle waardes in die matriks geskaal na 'n gebied van nul tot 255.

Deur dan na die drie kolomme, theta 89°, 90° en 91° te kyk, word die sterkste theta-kolom vasgestel om die skeefheid van die uurmerkers te bepaal:

- Eerstens word alle waardes in die drie kolomme kleiner as 'n sekere drempelwaarde gelyk aan nul gestel. Hierdie stap is na talle eksperimentering bepaal en sal verduidelik word in die volgende stap. Vir eers is die berekening van hierdie drempelwaarde van belang:
  - Die drempelwaarde,  $T$  hang af van die beeld se kontras, die standaardafwyking,  $s$  word gebruik. Vir beelde met hoë kontras ( $s \geq 40$ ) word die drempelwaarde gelyk aan 200 gestel en vir beelde met lae kontras gelyk aan 175. Die waardes van 200 en 175 kan konstant wees aangesien die akkumulatormatriks geskaal is. Hierdie algoritme is bepaal met herhaalde eksperimentering. Verskeie metodes is geïmplementeer, 'n konstante drempeling asook 'n aanpasbare drempeling. Die formule is herhaaldelik implementeer op verskeie beelde om die ideale drempeling vir elke beeld te bepaal. Meestal is enige waarde onder 180 goed vir laekontrasbeelde en enige waarde bo 200 goed vir hoëkontrasbeelde. Sommige beelde het egter op die grens gelê. 175 en 200 het as drempelwaarde die meeste sukses gelever:

$$T = \begin{cases} 175, & \text{as } s \leq 40; \\ 200, & \text{andersins.} \end{cases} \quad (3.5)$$

- Tweedens word die gemiddeld van elke  $\theta$ -kolom bereken. Die verstelling na nul in die vorige stap het hier 'n beduidende invloed. Hoe meer waardes in die kolom nul is, hoe laer sal die gemiddeld wees. Dit word gedoen omdat daar met redelike sekerheid aanvaar kan word dat uurmerkers sterk geakkumuleerde waardes sal hê, dit is duidelik dat hierdie aanname ook uit die onttrekkingsproses bevestig kan word. Daarom word die hoeveelheid waardes wat onder die drempel lê in 'n spesifieke theta kolom gesien as 'n aanduiding dat dit nie die uurmerkers se skeefheidshoek is nie. Vir uurmerkers is ons eerder op soek na 'n konsentrasie hoë waardes.
- Die  $\theta$ -kolom met die grootste gemiddeld word dan as die skeefheidshoek van die uurmerkers gebruik. Indien meer as een  $\theta$ -kolom dieselfde gemiddeld het word die middelste een gekies. Indien daar 'n ewe aantal kolomme is, word die helfte van die aantal kolomme bereken en afgerond na die naaste heelgetal.

Na die skeepheidshoek ( $\theta$ ) bepaal is, kan die posisie ( $\rho$ ) van die uurmerkers bepaal word. Dit kan aanvaar word dat beide uurmerkers dieselfde skeepheidshoek het.

- Die oorspronklike geakkumuleerde  $\theta$ -kolom word gebruik. Slegs die deel van die geïdentifiseerde  $\theta$ -kolom wat waardes vir  $\rho$  bevat word gebruik. Soos in Figuur 3.9 aangedui, is die posisie van die uurmerkers bo en onder in die gekose  $\theta$ -kolom. In die boonste en onderste 15% van hierdie segment, word die maksimum waardes dus bepaal. Hierdie waardes dui dan die  $\rho$ -indekse vir die twee uurmerkers aan. Die waarde van 15% is gekies om seker te maak dat selfs uurmerkers wat redelik ver van die rand af lê, gesegmenteer sal word. Indien meer as een maksimum waarde gevind word, word die middelste een gekies, indien daar 'n ewe aantal is, word dit dieselfde hanteer as vir  $\theta$ . Die maksimum kan ook bepaal word deur 'n 2<sup>de</sup> orde polinoom deur die maksimum en sy twee bure toe te pas.

Noudat ons een waarde vir  $\theta$  het (die skeepheidshoek), en twee  $\rho$  waardes (die posisies van beide uurmerkers), kan hierdie waardes gebruik word om twee reguit lyne op die oorspronklike beeld te teken deur die formule

$$y = \frac{1}{\tan \theta} x + \frac{\rho}{\sin \theta} \quad (3.6)$$

te gebruik (Gonzalez & Woods, 2002:587-589). Dit is dan die twee uurmerkers.

## 3.5.2 Datareeks

Die datareeks is die belangrikste element van die kosmiese straaldata. Daarom is dit die duidelikste en dus, die maklikste om te segmenteer. Die datareeks is bloot die beduidendste waarde vir elke kolom, met ander woorde die maksimum grysflakwaarde. Alhoewel dit in meeste kolomme die geval is, is daar tog enkele uitsonderings. Hier volg die algoritme wat deur eksperimentering verfyn is:

- Die beeld word eers met 'n 3 x 3-mediaanfilter glad gemaak om fyn ruis te verwyder. Ander grysflaktransforms en gladmaakfilters is ook mee geëksperimenteer maar die mediaanfilter het optimale resultate gelewer.
- Daarna word die maksimum waarde in elke kolom bereken deur te begin by die heel eerste kolom. Die posisie van hierdie maksimum waarde is dan die posisie van die datapunt vir daardie kolom. Gewoonlik is daar slegs een punt met die maksimum waarde, as daar wel meer as een punt is met die maksimum waarde word dit soos volg hanteer:
  - Vir die eerste kolom word die maksimum punt naaste aan die helfte van die beeld se hoogte gekies.

- Vir alle opeenvolgende kolomme word die maksimum punt naaste aan die vorige een gekies.

Hierdie eenvoudige algoritme wys baie goeie resultate met al die beelde (Figuur A.13 en Figuur A.14 op bl. 94). Daar kom enkele foute voor in sommige kolomme wat met versyfering maklik uitgestryk sal word. Meer inligting, soos byvoorbeeld skaallyne en uurmerkers kan in die versyferingsfase gebruik word om hierdie foute beter uit te stryk. Tog is hierdie algoritme effektief.

### 3.5.3 Skaallyne

Tot dusver was dit redelik maklik om voorgrondelemente te segmenteer, die uurmerkers asook die datareeks. Die skaallyne is egter 'n baie moeilik identifiseerbare voorgrondelement. Dit is as gevolg van die feit dat dit die dofste voorgrondelement is en ook baie dun is. Daar is ook 'n groot aantal in elke uurlikse sub-beeld teenwoordig wat veroorsaak dat om elke een te binariseer in meeste gevalle onmoontlik is. Vir die segmentasie van skaallyne is daar dus 'n proses van binarisering, die gebruik van Hough en interpolasie nodig.

Hierdie proses begin by binarisasie, 'n eerste poging om voorgrondelemente te verkry. Voor die binarisasie gedoen word, word die uurmerkers en datareeks wat in die vorige stappe geselementeer is eers van die oorspronklike beeld afgetrek. Die uurmerkers en datareeks word egter eers uitgedy om dit te verdik. Binarisasie kan nou gedoen word en daar word aanvaar dat slegs skaallyne as voorgrond oor is.

#### 3.5.3.1 Binarisasie

Elke beeldpunt in 'n kosmiese straalbeeld kan óf voorgrond, óf agtergrond wees, daar is nie grys areas tussenin nie. Dit is dus nodig om 'n drempel te bereken wat elke beeldpunt sal onderskei as óf voorgrond, óf agtergrond. 'n Konstante drempelwaarde lewer wel redelik goeie resultate, maar as gevolg van die variasie in grysvlakwaardes is 'n dinamiese drempeling nodig. Daarom sal aanpasbare beeldbinarisasie gebruik word om die beeld te drempel, dit het ten doel om voorgrondelemente van agtergrond- te onderskei (Cheng *et al.*, 1998). Die tegnieke wat in die literatuurstudie bespreek is sal toegepas word en mee geëksperimenteer word ten einde die optimale drempelingsalgoritme vir kosmiese straal-data te verkry. Bylaag C en D lewer artikels as bykomende bronne oor hierdie aanpasbare beeldbinarisasie op kosmiese straal-data (Du Plessis & Drevin, 2009).

Die aanpasbare binarisasiemetodes van Sauvola & Pietikäinen (2000) en Gatos *et al.* (2006) het parameters wat gemanipuleer sal word om hul werking te bevorder in die spesifieke implementering van die segmentasie van skaallyne. Daar sal begin word deur verskillende filters te gebruik en dan die parameters te manipuleer om die metodes te optimaliseer.

Dit is eerstens belangrik om 'n aanpassing van die kosmiese straalbeelde vir aanpasbare binarisasie te verduidelik: Sauvola & Pietikäinen (2000) en Gatos *et al.* (2006) gebruik beide swart waardes as voorgrond (grysvlakwaardes van nul) en wit waardes as agtergrond (grysvlakwaardes van 255). Die kosmiese straalbeelde is egter andersom, daarom word die kosmiese straalbeeld se negatief vir hierdie aanpasbare binarisasie gebruik. As daar dus na ligter areas in die beeld verwys word, is dit donker areas in die oorspronklike kosmiese straalbeeld.

#### **3.5.3.1.1 Filters**

Gatos *et al.* (2006) implementeer 'n 3 x 3 Wiener filter voor enige binarisasie. Daar is egter gevind dat die gebruik van hierdie filter nie die segmentasie van skaallyne verbeter nie. 'n Groter Wiener filter lewer ook al hoe slegter resultate.

'n Ander gladmaakfilter is ook geëvalueer, die mediaan filter. Dit het egter glad nie 'n bevredigende effek nie, 'n Gaussiese laagdeurlaatfilter het wel beter resultate gelever maar steeds nie bevredigend nie. Die afleiding kan gemaak word dat gladmaakfilters die binarisasie van kosmiese straalbeelde verswak.

As die beelde in hul oorspronklike formaat gebinariseer word, is die resultate aansienlik beter. As 'n alternatief is daar getoets of die teenoorgestelde van gladmaakfilters, skerpmaakfilters, nie dalk 'n beter effek sal hê nie. Die motivering was om veral skaallyne se rande skerp te maak met 'n horisontale skerpmaakfilter. Dit het egter swak resultate gelever en kan toegeskryf word aan die aantal ruis teenwoordig.

Die gevolgtrekking is dus dat filtrering nie die binarisasie verbeter nie. In die meeste gevalle is dit 'n degradering. Dit is daarom beter om glad nie 'n filter toe te pas nie en die beelde in hul oorspronklike vorm te binariseer.

#### **3.5.3.1.2 Venstergrootte**

Sauvola & Pietikäinen bereken elke beeldpunt se drempel deur na die omgewing (venster) rondom hierdie beeldpunt te kyk. Hulle gebruik 'n reghoekige venster van 10 by 20 beeldpunte groot (Sauvola & Pietikäinen, 2000).

Vir ons is dit van belang om horisontale lyne te binariseer. Die eerste gedagte was om 'n horisontale venster te gebruik. 'n 10 by 50 horisontale venster asook 'n 50 by 10 vertikale venster is mee geëksperimenteer om die effek van die venstergrootte te beskou. Die beste resultate is verkry deur 'n vertikale venster te gebruik, tog was 'n vierkantige venster van 10 by 10 steeds beter as die twee reghoekige vensters. 'n Kleinere vertikale venster van 20 by 10 het die heel beste resultate gelever. Sauvola & Pietikäinen (2000) se binarisasie lewer alreeds redelik goeie resultate.

Alhoewel van effense belang, was nie die filtrering of die grootte van die venster 'n aansienlike verbetering op binarisasie nie. Vervolgens word die konstante parameters vir die metodes gemanipuleer.

### 3.5.3.1.3 Konstante parameters

Daar is gevind met eksperimentering dat die konstante parameters wat vir die metodes ingevoer word, nie met binarisasie van teks baie sensitief is nie, dit is egter gevind dat hul van baie waarde is in die binarisering van kosmiese straalbeelde.

Die formules wat die konstante parameters bevat word vir gerieflikheid weer gegee. Dit word volledig verduidelik in hoofstuk 2.3.5 op bl. 33. Sauvola & Pietikäinen se formule (bl. 34) is:

$$S(x, y) = m(x, y) \cdot \left[ 1 + k \cdot \left( \frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right], \quad (3.7)$$

terwyl Gatos *et al.* se formule (bl. 35)

$$d(B(x, y)) = q\delta \left( \frac{(1 - p_2)}{1 + \exp\left(\frac{-4B(x, y)}{b(1 - p_1)} + \frac{2(1 + p_1)}{(1 - p_1)}\right)} \right) \quad (3.8)$$

is. Die eerste parameter,  $k$  in (3.7), is die enigste konstante wat in Sauvola & Pietikäinen se metode gebruik word. Die verstekwaarde word as 0.5 voorgestel. Enige verandering aan hierdie waarde het 'n negatiewe effek, 0.5 is bepaal as optimaal.

Daar is egter gevind dat een van Gatos *et al.* (2006) se parameters,  $q$  in (3.8), 'n groot effek op die binarisasie het. Die ander twee parameters het nie 'n sigbare effek nie. Dit maak sin as mens die vermenigvuldigingseffek van  $q$  in die logistiese S-funksie in ag neem in (3.8).

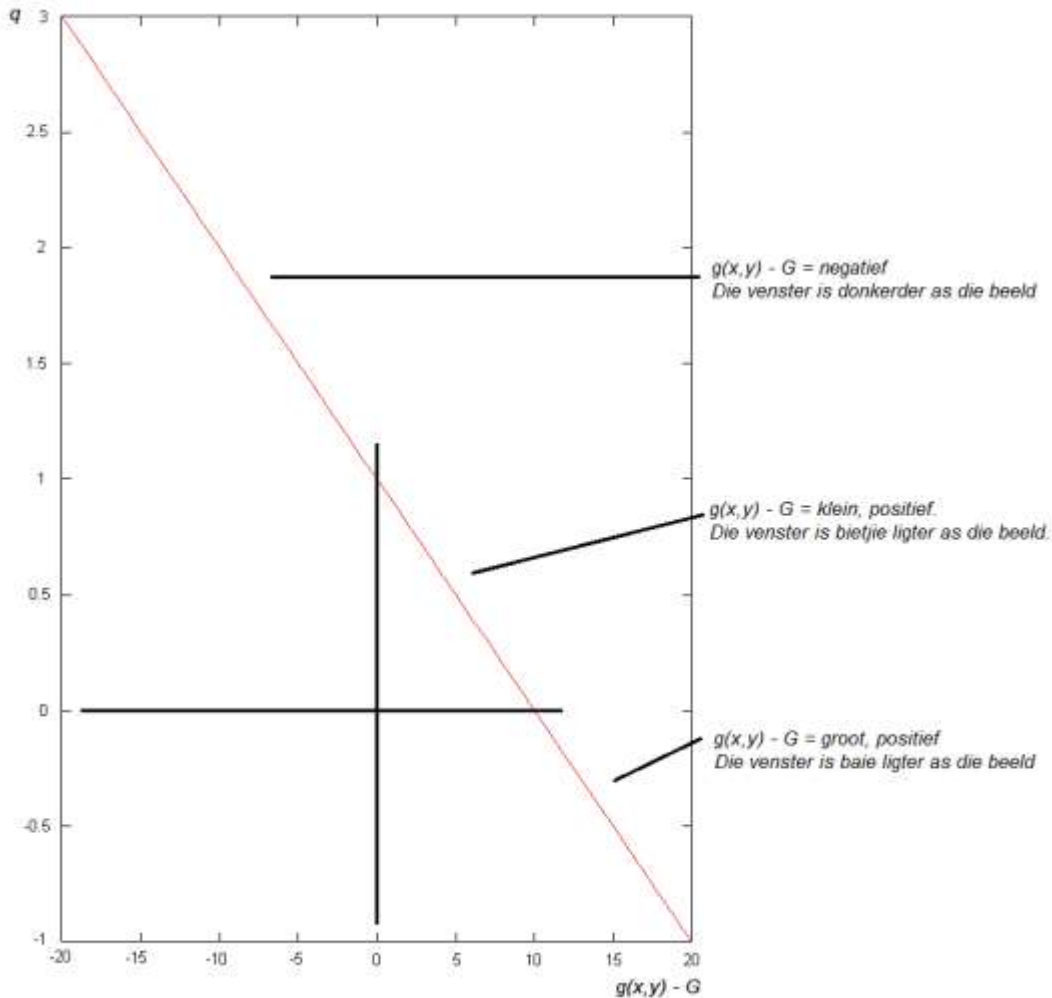
Vir beelde met 'n lae gemiddelde grysvlakwaarde (donker beelde, let daarop dat die kosmiese straalbeelde se negatief gebruik word, sien hoofstuk 3.5.3.1) is hoë waardes van  $q$  beter en omgekeerd. Dit is egter die geval dat beelde soos byvoorbeeld CHEL1 areas van lig en donker bevat. Dit is daarom nodig om die waarde van  $q$  dinamies oor die beeld aan te pas.

Die waarde van  $q$  word in 'n omgewing (venster) rondom elke beeldpunt bereken, waar die omgewing se gemiddelde grysvlakwaarde,  $g(x, y)$  asook die globale gemiddelde grysvlakwaarde,  $G$  in ag geneem word. Vir 'n beeld  $f$  van grootte  $M \times N$  word die omgewing se gemiddelde grysvlakwaarde,  $g(x, y)$  soos volg bereken:

$$g(x, y) = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b f(s, t), \quad (3.9)$$

met 'n venstergrootte van  $m \times n$ . Waar  $a = (m - 1)/2$  en  $b = (n - 1)/2$  vir waardes van  $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$  en  $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ . Die venster is 'n vierkantige omgewing met 'n grootte van 5% van die hoogte van die beeld,  $(0.05 \cdot M) \times (0.05 \cdot M)$ .

Die waarde van  $q(x, y)$  is dan gebaseer op die verskil tussen  $G$  en  $g(x, y)$  soos in Figuur 3.10:



Figuur 3.10: Die dinamiese berekening van  $q$  vir  $G = 10$ .

Die berekening van  $q(x, y)$  is soos volg:

$$q(x, y) = 1 - \left[ \frac{g(x, y) - G}{G} \right]. \quad (3.10)$$

Indien die waarde van  $q(x, y)$  negatief is, word  $q(x, y) = 0.01$  gestel. Aangesien  $q$  slegs positiewe getalle kan aanneem en 'n waarde van 0 vir  $q$  'n drempel van 0 tot gevolg sal hê.

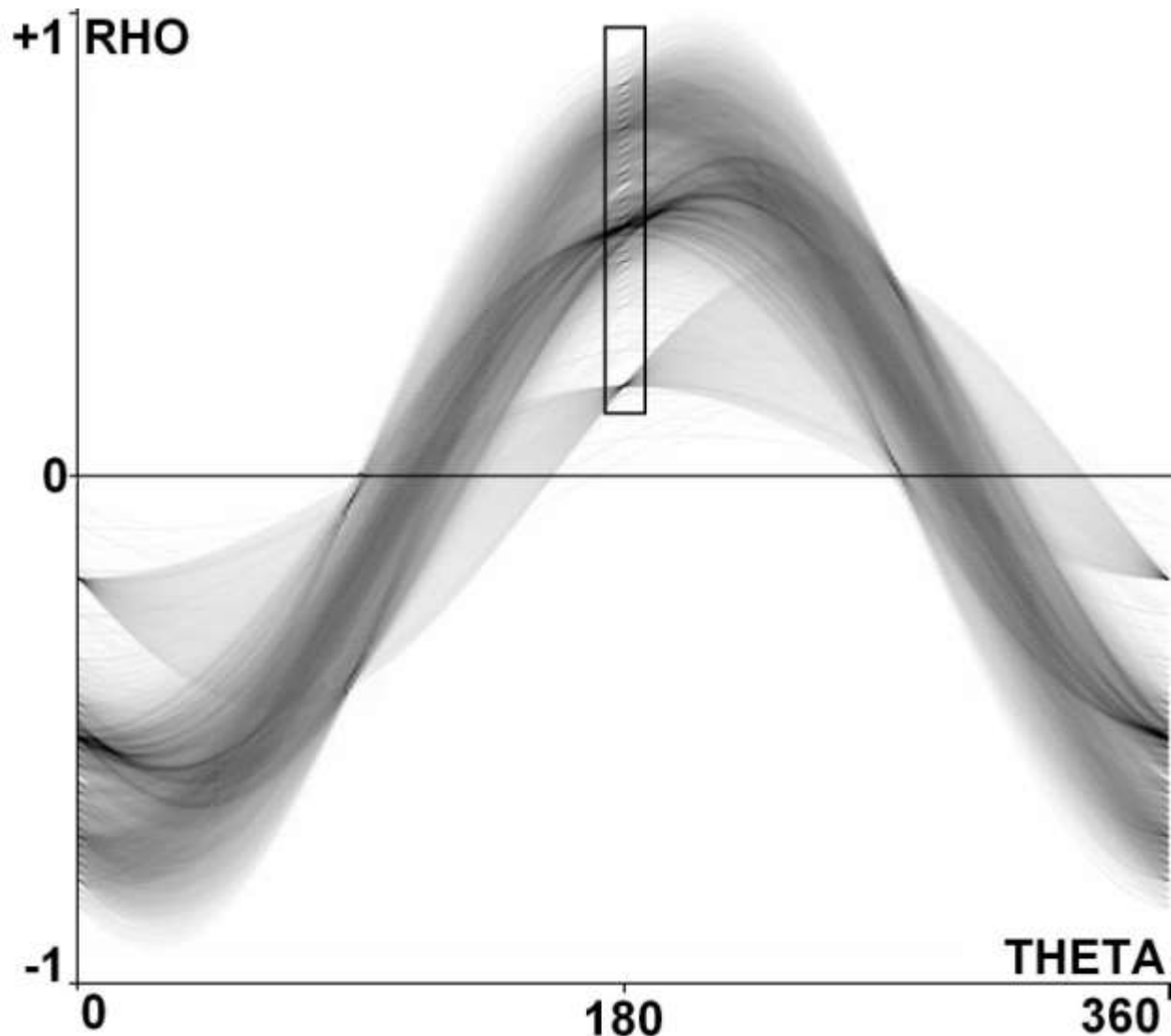
Ligter areas van die beeld het daarom 'n hoër waarde vir  $q$ . Hierdie dinamiese berekening van  $q$  het die binarisasie ingrypend verbeter.

#### **3.5.3.1.4 Agtergrond-venstergrootte**

Die laaste parameter waarmee geëksperimenteer word, is die venster wat gebruik word om die agtergrond te verkry in (2.32) op bl. 35. Gatos *et al.* (2006) stel voor dat hierdie venster ten minste twee karakters (hul oorspronklike doel vir die metode was die binarisasie van teks) groot moet wees. Daarom was die eerste oorweging om die venstergrootte so groot soos twee skaallyne te maak, 'n area wat van die een skaallyn tot die volgende hoog strek en so wyd soos een uur. Dit het egter nie die gewenste effek gehad nie. Vir die kosmiese straalbeelde is daar gevind dat met die gebruik van 'n globale venster (die hele beeld) die binarisasie die meeste verbeter word. Dit is egter 'n skrale verbetering. Die venstergrootte is as  $20 \times 20$  gestel.

#### **3.5.3.2 Hough**

Die Hough transform word weereens gebruik om horisontale skaallyne te identifiseer, met ander woorde  $\theta$  waardes rondom  $180^\circ$  (Figuur 3.11).



*Figuur 3.11: Die Hough transform-akkumulatormatriks van CHEL1, uur 4. Die Rho as is genormaliseer. Die skaallyn-area is met 'n reghoek aangedui.*

Die akkumulatormatriks word bereken. Vir die  $\theta$ -kolom  $180^\circ$ , word al die waardes met behulp van 'n drempel geskei as voorgrond (skaallyne) en agtergrond. Hierdie drempel is 'n dinamiese drempel wat vir elke punt in die  $180^\circ$   $\theta$  kolom bereken word deur na die gemiddeld van die omgewing te kyk. Die omgewing is 'n venster wat drie  $\theta$  kolomme breed is en 1% van die  $\rho$  afstand hoog is. As die akkumulatormatriks-waarde in die  $\theta$ -kolom hoër is as die gemiddeld van hierdie omgewing word dit as 'n skaallyn geïdentifiseer en die skaallyn word geteken met  $\theta = 180^\circ$  en die betrokke  $\rho$ -waarde, soos in (3.6) op bl. 63.

### 3.5.3.3 Interpoleer

Die Hough transform-implementering in 3.5.3.2 lewer redelik akkurate segmentasie van skaallyne, daar is egter steeds 'n paar foute teenwoordig:

- **Oormatige dik lyne:** Twee skaallyne is dalk as een gesegmenteer of ruis het veroorsaak dat die Hough transform 'n dik lyn geteken het. Lyne is oormatig dik as dit waarskynlik nie een enkele skaallyn verteenwoordig nie.
- **Oormatige klein gapings tussen lyne:** 'n Aantal lyne is baie na aan mekaar waar slegs een skaallyn verwag word. Lyne is dus opgehoop en 'n paar moet verwyder word aangesien dit verkeerdelik as skaallyne gesegmenteer is.
- **Oormatige groot gapings tussen lyne:** Skaallyne is afwesig, hulle was dalk te dof en die Hough transform het geen lyn geïdentifiseer nie.

Hierdie foute word met onder andere interpolasie opgelos. Aangesien dit aanvaar kan word dat skaallyne ewe ver van mekaar is, kan interpolasie tegnieke, deur die korrek gesegmenteerde skaallyne as basis te gebruik, baie akkurate resultate lewer. Dit word soos volg gedoen:

- Eerstens word alle lyne uitgedy om klein gapings te elimineer, gapings wat nie 'n skeiding tussen twee skaallyne aandui nie. Die uitdyingsmasker is vol ene en die grootte is die breedte van die beeld gedeel deur 600, met 'n minimum waarde van drie. Dit is bloot om die uitdyingsmasker se grootte aan te pas by verskillende beeldresolusies. Die masker moet groot genoeg wees om klein gapings te elimineer. Vir enige beeld met 'n breedte kleiner as 1800 is daar gevind dat 'n  $3 \times 3$ -maskergrootte voldoende is.
- Tweedens word lyne dikker as 'n voorafgestelde persentasie verwyder terwyl die res verdun word tot slegs een ry.
  - Lyne dikker as twee persent van die hoogte van die beeld word as te dik vir 'n skaallyn gekenmerk en geëlimineer.
  - Ander lyne word verdun tot slegs een ry, aangesien die ware dikte van skaallyne slegs een ry is. Dik lyne word presies na die middel toe verdun.
- Die resultaat van die bogenoemde is 'n beeld met 'n aantal een ry dikte lyne.

Dit is nou nodig om die mediaan gapinggrootte,  $G$  te bepaal vir interpolasie:  $G$  is alle gapinggroottes se mediaan.

Deur die een-ry-dikte-lyn-beeld asook  $G$  te gebruik kan twee dinge gedoen word:

- Eerstens kan die opgehoopte lyne verwyder word:
  - Vir elke lyn word die aantal lyne onder hom getel wat nader as  $G + (0.05 \cdot G)$  lê. Die lyn wat die naaste aan die  $G$  van hom af lê, word as die volgende skaallyn gesien en die res word geëlimineer.

- Tweedens kan groot gapings opgevul word met lyne deur middel van interpolasie.
  - Een-ry-dikte-lyne word bloot bo en onder die eerste en laaste skaallyn bygeteken waar nodig, met  $G$  as spasie tussen hul.
  - Vir enige ander gaping tussen twee skaallyne, groter as  $G$ , word daar bepaal hoeveel lyne,  $l$  in die gaping,  $g$  sal inpas, dit word afgerond:

$$l = \left\lfloor \frac{g}{G} + 0.5 \right\rfloor. \quad (3.11)$$

- Dan word daar bepaal wat die afstand,  $a$  tussen die lyne sal wees indien hierdie hoeveelheid lyne tussen die twee bestaande skaallyne geïnterpoleer sou word:

$$a = \left\lfloor \frac{g}{l} + 0.5 \right\rfloor. \quad (3.12)$$

- Daarna word  $l$  aantal lyne tussen die twee bestaande lyne ingeteken met 'n afstand  $a$  tussen elk.

Dit sluit dan die laaste voorgrond-element se segmentasie-algoritme af. Hierdie drie gesegmenteerde voorgrond-element-beelde kan saamgevoeg word vir 'n finale verbeterde kosmiese straalbeeld. Dit word dan ook later afsonderlik gebruik vir interpretering.

### 3.5.4 Samevoeging

Beelde word saamgevoeg soos volg:

- Die gesegmenteerde skaallyne word eerstens by 'n swart beeld gevoeg, elke skaallyn beeldpunt word met 'n grysvlakwaarde van een by die swart beeld gevoeg. Die swart beeld het dieselfde resolusie as die onttrekte sub-beeld. Hierna word die gesegmenteerde uurmerkers bo-oor bygevoeg met 'n grysvlakwaarde van twee. Laastens word die gesegmenteerde datareeks met 'n grysvlakwaarde van drie bygevoeg. Dit gee ons 'n vier-waarde-beeld.

Die resultate in Figuur A.27 en Figuur A.28 op bl. 104 en 105 is verbeter deur alle voorgrond-elemente wit te maak vir sigbaarheid. Hierdie samevoeging is bloot vir die stoor van die beelde, al drie die voorgrond beelde word apart beskou by die versyfering.

## 3.6 Interpretering

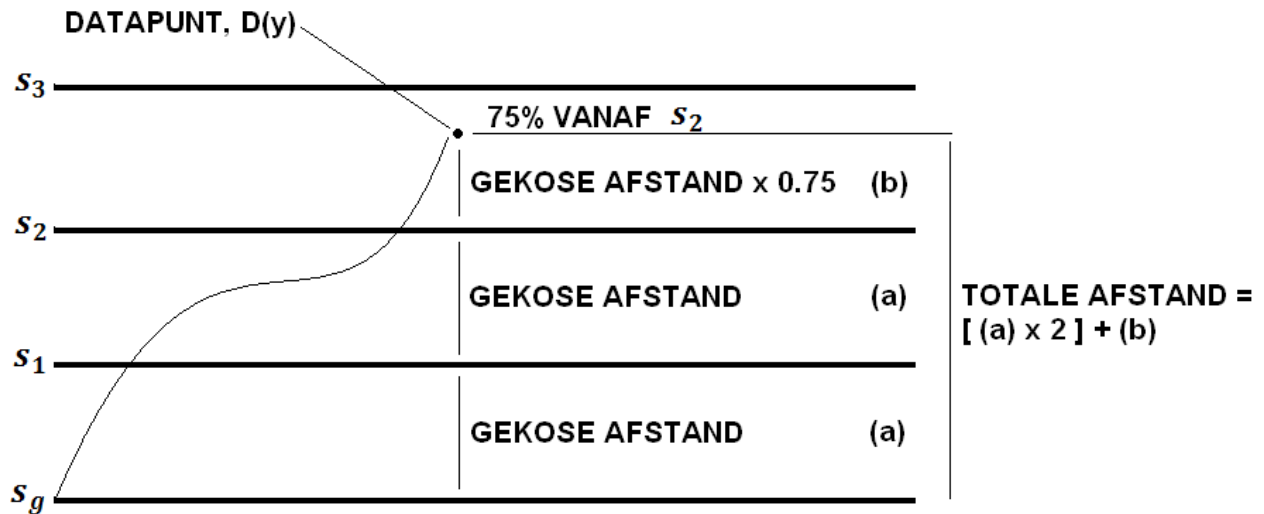
### 3.6.1 Versyfering

Vir die versyfering word die drie binêre voorgrondelementbeelde gebruik. Die skaallynbeeld, die uurmerkerbeeld asook die datareeksbeeld.

In die eerste plek moet die ware begin van die uur bepaal word, aangesien die uurmerkers eintlik drie minute breed is. Die uurmerkers is presies in die middel van hierdie drie minute geïdentifiseer soos voorheen bespreek. Die ionisasiekamer word dan ook aan die begin van die uur vir drie minute gegrond. Daarom moet die uurmerkers albei een en 'n half minuut links geskuif word. Die afstand tussen die twee uurmerkers word deur 60 gedeel om die afstand,  $a$  (in kolomme) van een minuut te bereken. So word daar dan bepaal hoeveel kolomme die uurmerkers links moet skuif, dit is  $1.5 \times a$  afgerond tot die naaste heelgetal. Dit is dan ook nou moontlik om uurmerkers te verdik na drie minute wyd, Figuur A.37 tot Figuur A.40 op bl. 114 tot 117 dui die verbeterde beelde met verdikte uurmerkers. Hierdie verdikking is egter slegs vir voorstellingsdoeleindes en is nie deel van die beeldverbeteringsproses nie. Die versyfering word altyd op die een beeldpunt-wye uurmerkerbeeld gedoen, die dikker uurmerker kan dan elke keer geskep word omdat die wydte van 'n minuut bekend is.

Die grond skaallyn,  $s_g$  kan nou bepaal word, dit word in terme van die datareeks gedoen.  $s_g$  is die punt waar die datareeks elke uur begin. Die derde minuut is in hierdie geval van belang, na die ionisasiekamer gegrond is. Daarom word die linkerruurmerker se einde as 'n lyn,  $h_l$  regoor die beeld ingeteken,  $1.5 \times a$  vanaf die gesentreerde uurmerker. Waar die datareeks  $h_l$  kruis, is die eerste skaallyn onder hierdie betrokke punt die grondskaallyn. Die afstand tussen die twee uurmerkers word ook op hierdie punt bereken alhoewel dit dieselfde op enige punt behoort te wees. Hierdie metode neem in ag dat uurmerkers skeef kan wees.

Hierna word elke datapunt in die reeks versyfer, die eerste drie minute se datapunte is gelyk aan die grondwaarde, nul. Elke data punt se waarde word afgelei in terme van  $s_g$ . Die skaallyne word getel in plaas van dat die beeldpunt afstand gemeet word, aangesien dit nie altyd akkuraat is nie as gevolg van verskeie redes soos byvoorbeeld voue in die fotografiese papier. Die gebruiker kies die afstand tussen skaallyne voor versyfering. So word die datareeks,  $D$  in terme van sy variasie vanaf  $s_g$  uitgedruk. Die algoritme word aan die hand van 'n skets verduidelik (Figuur 3.12):



Figuur 3.12: Die versyferingsalgoritme.

- Vir elke datareekspunt,  $D(y)$ :
  - Die aantal skaallyne wat  $D(y)$  vanaf  $s_g$  af is, word getel. Dit is al die skaallyne onder  $D(y)$ , tot en met  $s_g$  (as  $D(y) > s_g$ ) en al die skaallyne bo  $D(y)$ , tot en met  $s_g$  (as  $D(y) < s_g$ ). Hierdie telling word dan gemaal met die gebruiker se gekose skaallynafstand.
  - Na die skaallyne getel is, is dit nodig om die afstand wat  $D(y)$  van die aangrensende skaallyn, naaste aan  $s_g$  lê te bepaal (dit is die afstand vanaf die skaallyn reg onder  $D(y)$  of reg bo  $D(y)$ , afhangende van of  $D(y)$  bo of onder  $s_g$  lê). Dit is om te bepaal hoe ver  $D(y)$  lê tussen sy twee skaallyne weerskante. Hierdie afstand word as persentasie bepaal en verwerk na 'n syfer uit die gebruiker gekose afstand. Hierdie afstand word by die vorige afstandsberekening gesommeer (Figuur 3.12).
  - Laastens word die berekende waarde negatief gemaak indien die datareekspunt onder die grondskaallyn lê.

Die bogenoemde berekening lewer een waarde vir elke kolom tussen die twee uurmerkers. Uit voorkennis weet ons dat daar 57 minute tussen die twee uurmerkers is en dat die linkerkantste uurmerker 3 minute lank is. Al die datareekspunte vir die eerste drie minute is dus nul. Die datareeks is egter 'n aaneenlopende lyn wat beteken dat daar nie noodwendig 60 diskrete datareekspunte (een vir elke minuut byvoorbeeld) is nie. Die aantal datareekspunte word bepaal deur die aantal kolomme tussen die twee uurmerkers, wat afhanklik is van die beeldresolusie. CHEL1, uur 4, het byvoorbeeld omtrent 230 kolomme tussen die twee uurmerkers. Dit is dus nodig om 'n 60-minuteskaal vir hierdie datareekspunte te bereken. Dit word soos volg gedoen:

- Die totale aantal datareekspunte word deur 60 gedeel. Dit lewer die aantal datareekspunte per minuut. Tabel 3.2 dui byvoorbeeld twee datareekspunte vir elke minuut, dit is as daar byvoorbeeld 120 kolomme tussen die twee uurmerkers is.

|                        |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| <b>Kolom</b>           | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | ... | 117  | 118  | 119  | 120  |
| <b>Datareekswaarde</b> | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | ... | 49   | 47   | 50   | 53   |
| <b>Minuut</b>          | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | ... | 58.5 | 59.0 | 59.5 | 60.0 |

*Tabel 3.2: 'n 60-minuteskaal vir die 'n datareeks met 120 datareekspunte (kolomme tussen uurmerkers).*

So word elke datareekspunt in terme van 'n minuut uitgedruk, met 'n totaal van 60 minute. Dit verander egter steeds nie dat 120 waardes byvoorbeeld verkry word nie. Daarom het die gebruiker ook die opsie om die waardes te interpoleer na byvoorbeeld 60 waardes. Dan word 60 datareekswaardes, een vir elke minuut, teruggestuur (Tabel 3.3).

|                        |     |   |     |   |     |     |     |      |     |      |
|------------------------|-----|---|-----|---|-----|-----|-----|------|-----|------|
| <b>Kolom</b>           | 1   | 2 | 3   | 4 | 5   | ... | 117 | 118  | 119 | 120  |
| <b>Datareekswaarde</b> | 0   | - | 0   | - | 0   | ... | -   | 48   | -   | 51.5 |
| <b>Minuut</b>          | 0.0 | - | 1.0 | - | 2.0 | ... | -   | 59.0 | -   | 60.0 |

*Tabel 3.3: 'n 60-minuteskaal vir 'n datareeks met 120 kolomme, een waarde vir elke minuut.*

Foute wat by die segmentasie van datareekspunte voorgekom het, word ook met die versyfering uitgestryk. Dit is omrede skaallyne reeds gesegmenteer is en nou kan help om foute beter te hanteer. Die enigste fout wat kan voorkom is dat 'n datareekspunt heeltemal bo of onder die res van die datareeks gesegmenteer is. Omdat ons weet die datareeks 'n aaneenlopende lyn is, kan een so 'n punt met groot sekerheid as 'n fout gesien word. As 'n datareekspunt meer as drie skaallyne van die vorige datareekspunt af is, word die oorspronklike beeld deursoek vir die naaste maksimum grysvlakwaarde binne drie skaallyne van die vorige datareekspunt. So word fyn uitskieters in die datareeks verwyder.

## 3.7 Afsluiting

Al die bogenoemde algoritmes is in MATLAB ontwikkel. Elke tegniek en algoritme is opgebreek in logiese eenhede. Die bronkode vir hierdie algoritmes is te veel om in geheel in hierdie studie te lys. Die hoof algoritme wat bloot al die kleiner eenhede in volgorde roep word wel gegee in bylaag D. Dit verskaf 'n gevoel van hoe die algoritme prakties geïmplementeer word.

Die resultate van die implementering van hierdie algoritmes word in bylaag A weergegee. Die resultate is gerangskik in die volgorde van hul bespreking soos in hierdie hoofstuk en ook soos in die volgende hoofstuk. Dit word hoofsaaklik verdeel in drie dele, die segmentasie van die drie voorgrond-elemente: Uurmerkers, datareeks en skaallyne.

Hierdie resultate word in die volgende hoofstuk bespreek waar die sukses van die algoritmes gemeet sal word.

---

# HOOFSTUK

## 4 Bespreking en Interpretasie



---

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 4.1   | Inleiding.....         | 77 |
| 4.2   | Vaslegging .....       | 77 |
| 4.2.1 | Onttrekking .....      | 77 |
| 4.3   | Beeldverbetering ..... | 78 |
| 4.3.1 | Uurmerkers.....        | 78 |
| 4.3.2 | Datareeks .....        | 79 |
| 4.3.3 | Skaallyne .....        | 79 |
| 4.3.4 | Vergelyking.....       | 81 |
| 4.4   | Interpretering.....    | 83 |
| 4.4.1 | Versyfering .....      | 83 |

## 4.1 Inleiding

Alle resultate is in bylaag A op bl. 88 saamgevat en word ook in bylaag A kortliks bespreek. Vervolgens word bylaag A se resultate in detail bespreek en interpreteer. Dit word gedoen aan die hand van die dokument-beeldverwerkingsproses soos die studie in vorige hoofstukke ook gelei is: Vaslegging, beeldverbetering en interpretering.

## 4.2 Vaslegging

Bylaag A op bl. 88 toon heel eerste die vyf oorspronklike geskandeerde toetsbeelde; CHEL1, HUAN, CHEL3, CHRS en GHVN. Hierdie beelde is as invoer gebruik en uur sub-beelde is uit hulle onttrek.

### 4.2.1 Onttrekking

Elke resultaat van onttrekking toon eerstens die volle beeld met perforasiegaatjies verwyder. Op hierdie beeld is elke uurmerker helder ingeteken soos die algoritme dit geïdentifiseer het. Tweedens is die grafiek wat die bewegende afgeleide van die kolomgemiddeldes toon met die drempellyn en derdens is spesifieke uur sub-beelde soos dit onttrek is. Alle ure wat vervolgens na verwys word, is getel soos dit onttrek is en nie die werklike ure nie.

- **CHEL1** (Figuur A.6 op bl. 90): Uur twee en drie saam is eintlik een uur se data. As daar na die grafiek gekyk word, is dit duidelik watter uitskieter hierdie valse uurmerker veroorsaak. So ook is uur elf en twaalf eintlik saam een uur. Uur vyftien het weer twee ure as een geïdentifiseer as gevolg van die buitengewoon dowwe uurmerker. Uur vier (werklike uur drie) en uur agt (werklike uur sewe) soos dit onttrek is, word getoon.
- **HUAN** (Figuur A.7 op bl. 91): Alle ure is 100% perfek opgetel. Uit die grafiek is dit duidelik hoe ver die uitskieters uitstaan. Uur vier en agt is onttrek vir verdere eksperimentering.
- **CHEL3** (Figuur A.8 op bl. 91): Slegs rondom uur twaalf en dertien het die algoritme gefaal, die grafiek toon ook 'n duidelike probleemuitskieter in daardie area. Uur vier is onttrek vir verdere eksperimentering.
- **CHRS** (Figuur A.9 op bl. 92): Uur drie is waarskynlik op 'n las en is onherkenbaar. Verder is dit slegs uur sewe waar twee ure onttrek is as een, in die grafiek toon dit dat die uitskieter net-net onder die drempel val. Uur vier is onttrek.
- **GHVN** (Figuur A.10 op bl. 92): Uur twee, drie en vier is verkeerd as gevolg van voue in die fotografiese papier. Verder word al die ure 100% korrek onttrek. Uur sewe en nege is onttrek vir verdere eksperimentering.

Dit laat ons met 'n totaal van agt ure vir verdere eksperimentering. Die onttrekkings-algoritme is redelik akkuraat. Alhoewel falings in hierdie algoritme vir 'n spesifieke uur fataal sal wees, sal ander ure nie geaffekteer word nie. Dit is bloot 'n algoritme om die beeld op te sny vir verdere eksperimentering, die beelde kan met 'n beeldverwerkingsprogram met die hand of selfs met 'n eenvoudiger algoritme, soos byvoorbeeld 'n konstante-intervalsny, opgesny word. Solank die onttrekte sub-beeld twee uurmerkers bevat is dit geskik vir beeldverbetering.

## 4.3 Beeldverbetering

Die agt onttrekte sub-beelde word verder gebruik vir beeldverbetering. Die drie voorgrondelemente se segmentasie met die algoritmes wat in hoofstuk 3 (bl. 40) ontwikkel is, word afsonderlik bespreek:

### 4.3.1 Uurmerkers

Die uurmerkers is gesentreerd, met ander woorde elke uurmerker is in die middel van die drie minute wat uurmerkers werklik wyd is geteken. Die uurmerker-segmentasie-resultate is soos volg:

- **CHEL1** (Figuur A.11 op bl. 93): Uur vier van CHEL1 word geïdentifiseer as reguit uurmerkers, wat ook duidelik is as mens die beeld met die oog beskou. Uur agt se uurmerkers word geïdentifiseer as skuins, met die blote oog is dit ook moeilik om te bepaal of die uurmerkers skuins of reguit is, as ons egter na die ander uurmerkers kyk, is dit dalk eerder die geval dat dit reguit is. Die een graad verskil het egter 'n minimale effek op versyfering. Albei uurmerkers van CHEL1 se posisie is korrek geïdentifiseer.
- **HUAN** (Figuur A.11 op bl. 93): Uur vier van HUAN word perfek gesegmenteer terwyl uur agt as skuins geïdentifiseer word, met die blote oog kan gesien word dat dit eerder skuins na die anderkant toe is. Weereens is die uurmerkers se posisie korrek geïdentifiseer.
- **CHEL3, CHRS en GHVN** (Figuur A.12 op bl. 93): Al hierdie beelde se ure word perfek gesegmenteer, beide skeefheidshoek en posisie is reg geïdentifiseer. Al moontlike probleem is by GHVN, uur sewe, waar uurmerkers eerder as reguit geïdentifiseer moes word. CHRS se uurmerkerposisie, met sy oormatige dik uurmerkers, word presies in die middel geïdentifiseer.

Al kwessie in die segmentasie van uurmerkers is die skeefheidshoek. Dit is moontlik om alle ure se uurmerkers klaar te segmenteer en dan die skeefheidshoek te bepaal aangesien dit aanvaar kan word dat alle uurmerkers van 'n beeld dieselfde skeefheidshoek het. Tog het hierdie falings in die algoritme 'n minimale uitwerking op die finale versyfering.

## 4.3.2 Datareeks

Die datareeks word op twee plekke in die totale algoritme gesegmenteer, eerstens deur die maksimum van elke kolom te bepaal en laastens by die versyfering. Hier bepaal ons onself egter by die eerste, sommige foute hier word later uitgestryk by versyfering.

- **CHEL1** (Figuur A.13 op bl. 94): By uur vier word die datareeks perfek gesegmenteer, 'n paar punte in die regterboonste hoek lyk dalk uit plek uit, maar met nadere inspeksie is dit duidelik dat die datareeks onherkenbaar is in hierdie kolomme. Dit is omdat dit op 'n uurmerker is en daarom in elk geval irrelevant is. Uur agt toon egter 'n hele aantal foute in dieselfde ry as uur vier. Die teenwoordigheid van 'n oormatig ligte strook in hierdie ry is die rede hiervoor. Hierdie fout sal met versyfering uitgeklaar word. Oor die algemeen is die datareeks suksesvol gesegmenteer.
- **HUAN** (Figuur A.14 op bl. 94): Die datareeks van HUAN is by albei ure suksesvol gesegmenteer.
- **CHEL3** (Figuur A.14 op bl. 94): CHEL3 se datareeks is ook suksesvol gesegmenteer, CHEL3 het soos CHEL1 geen identifiseerbare datapunte op die uurmerkers nie.
- **CHRS** (Figuur A.14 op bl. 94): 'n Redelike goeie segmentasie, slegs 'n paar foute wat maklik met versyfering uitgestryk sal word.
- **GHVN** (Figuur A.14 op bl. 94): By uur sewe is die datareeks redelik suksesvol gesegmenteer, daar is wel 'n paar punte foutiewelik in die heel onderste ry gesegmenteer.

Die datareeks is in alle gevalle met redelike sukses gesegmenteer.

## 4.3.3 Skaallyne

### 4.3.3.1 Binarisasie

Die resultate van binarisasie word getoon in Figuur A.15 tot en met Figuur A.22 op bl. 95 tot 99. In elk van hierdie resultate word die negatiewe beeld getoon, Sauvola & Pietikäinen se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is in Gatos *et al.* sowel as die finale binarisasie soos met die aangepaste Gatos *et al.* metode. Die metodes van Sauvola & Pietikäinen en Gatos *et al.* lewer negatiewe beelde, sien hoofstuk 3.5.3.1 op bl. 64.

- **CHEL1** (Figuur A.15 & Figuur A.16 op bl. 95 en 96): Sauvola & Pietikäinen se binarisasie lewer baie ruis vir uur vier van CHEL1, tog word die agtergrond effektief onttrek. Die finale binarisasie met behulp van Gatos *et al.* se metode lewer 'n baie goeie resultaat. Tog word die boonste skaallyne amper glad nie gesegmenteer nie, dit is omrede dit so donker is dat die skandeerder dit glad nie

opgetel het nie. Uur agt lewer minder ruis met Sauvola & Pietikäinen se metode asook beter segmentasie van boonste skaallyne.

- **HUAN** (Figuur A.17 & Figuur A.18 op bl. 96 en 97): HUAN se binarisasieresultate spreek vanself, alle skaallyne word byna perfek gesegmenteer met beide uur vier en agt.
- **CHEL3** (Figuur A.19 op bl. 97): CHEL3 se binarisasie is ook suksesvol. Selfs met Sauvola & Pietikäinen se metode word skaallyne byna perfek gesegmenteer.
- **CHRS** (Figuur A.20 op bl. 98): Weereens 'n baie goeie binarisasie.
- **GHVN** (Figuur A.21 & Figuur A.22 op bl. 98 en 99): Soos met die ander, lewer die binarisasie 'n amper perfekte segmentasie.

Alle beelde se binarisasie lewer 'n baie suksesvolle segmentasie van skaallyne. Dit is egter nodig om nog metodes toe te pas om die skaallyne suksesvol te segmenteer.

### 4.3.3.2 Hough

Die resultate van die Hough transform word groot getoon en langs die interpolasieresultate geplaas vir vergelyking. Die Hough transform gebruik die vorige resultate as invoer en trek duidelike lyne regoor die beeld.

- **CHEL1** (Figuur A.23 op bl. 100): Meeste skaallyne van uur vier word goed geteken, uur agt se skaallyne word selfs beter geteken. 'n Paar dik lyne word hier en daar geteken wat eintlik twee of selfs drie skaallyne aaneen is.
- **HUAN** (Figuur A.24 op bl. 101): Skaallyne word amper perfek geteken, party is tog oormatig dik.
- **CHEL3** (Figuur A.25 op bl. 102): Skaallyne word redelik perfek geteken.
- **CHRS** (Figuur A.25 op bl. 102): Hier is die skaallyne baie dik geteken, dit is omdat die skaallyne effe skeefgetrek het oor die uur.
- **GHVN** (Figuur A.26 op bl. 103): Met die uitsondering van 'n paar dik lyne, is GHVN se skaallyne perfek oorgeteken.

Meeste skaallyne is perfek oorgeteken deur die Hough transform. Laastens word daar gekyk na die interpolasieresultate.

### 4.3.3.3 Interpoleer

Soos reeds genoem is die interpolasieresultate reg langs die getekende lyne van die Hough transform geplaas. Drie prosesse word toegepas op hierdie getekende lyne: Dit word verdun na een ry, opgehoopte lyne word geëlimineer en oormatige groot gapings word opgevul met behulp van interpolasie.

- **CHEL1** (Figuur A.23 op bl. 100): Uur vier en agt is redelik dieselfde. In die middel was daar 'n paar opgehoopte lyne, verder is daar veral aan die begin geïnterpoleer. Die sukses van hierdie interpolasie sal in die vergelyking bespreek word. Met die eerste oogopslag blyk daar geen foute te wees nie.

- **HUAN** (Figuur A.24 op bl. 101): Bitter min skaallyne moes geïnterpoleer word, skaallyne is meestal net verdun.
- **CHEL3** (Figuur A.25 op bl. 102): Veral dikker lyne is geëlimineer.
- **CHRS** (Figuur A.25 op bl. 102): 'n Hele aantal dik lyne is geëlimineer.
- **GHVN** (Figuur A.26 op bl. 103): Verdunning is gedoen en opgehoopte lyne is geëlimineer.

Die interpolasie blyk foutloos, in die vergelyking sal dit verder bespreek word.

### 4.3.4 Vergelyking

Dit is nou moontlik om die finale verbeterde beelde te skep soos in hoofstuk 3.2.3.1 op bl. 44 bespreek. Dit is dan ook die begin van suksesmeting van die beeldverbeteringsproses.

Beskou eerstens die finale verbeterde beeldresultate in Figuur A.27 en Figuur A.28 op bl. 104 en 105. Dit is hoe die beelde gestoor sal word vir toekomstige gebruik. Hierdie beelde is egter slegs wit vir voorstellingsdoeleindes, in die werklikheid het elke voorgrond element sy eie grysvlakwaarde. Hierdie beelde bestaan uit vier grysvlakwaardes en is die finale verbeterde beeld van die beeldverbeteringsproses. Die beelde in die figure is ook slegs 'n deel van die finale resultaat en dien bloot as voorstelling.

Dit is nou tyd om die sukses van die algoritme te beskou, die vergelykende beelde (Figuur A.29 tot Figuur A.36 op bl. 106 tot 113) en handgemaakte binarisasies word hiervoor gebruik. Die aantal foute van elk van die segmentasies word getel ten einde die algehele sukses te bepaal en die gemiddelde fout. Elke beeldpunt word ook vergelyk met die handgemaakte binarisasies om ook die gemiddelde fout te bepaal. Die datareeksfoute word eers by versyfering getel.

- **CHEL1** (Figuur A.29 & Figuur A.30 op bl. 106 en 107): By uur vier is dit duidelik dat daar geen foute by die segmentasie van uurmerkers gemaak is nie. Die skaallyne is moeilik om te bepaal aangesien die boonste skaallyne baie dof is, onsigbaar vir die blote oog. Tog kan daar nie een enkele fout uitgeken word nie. Ook by die datareeks kan daar geen fout uitgeken word nie. Vir uur agt, kan slegs twee foute, wat eintlik net een is, geïdentifiseer word, die verkeerde skeefheidshoek van uurmerkers.
- **HUAN** (Figuur A.31 & Figuur A.32 op bl. 108 en 109): Weereens is die enigste identifiseerbare fout die verkeerde skeefheidshoek by uur agt. Verder is dit 'n 100% segmentasie.
- **CHEL3** (Figuur A.33 op bl. 110): CHEL3 het geen identifiseerbare foute nie.
- **CHRS** (Figuur A.34 op bl. 111): Behalwe vir 'n paar datareeks punte, kan geen fout geïdentifiseer word nie.

- **GHVN (Figuur A.35 & Figuur A.36 op bl. 112 en 113):** GHVN het ook geen identifiseerbare foute vir uur nege nie. Uur sewe het egter die verkeerde skeefheidshoek asook drie skaallyne wat op verkeerde posisie geïdentifiseer is.

Indien hierdie resultate opgesom word in 'n tabel (Tabel 4.1) vind ons 'n totale gemiddelde fout van 5.4%, dit is 'n sukses van 94.6%. Die gemiddelde aantal skaallyne is 48, daarom word die persentasie sukses vir skaallyne in terme van hierdie aantal gemeet. Die datareeksukses word gemeet in terme van die aantal datareeks punte wat getel word in hoofstuk 4.4.1. Die uurmerkers se sukses word gemeet uit die aantal foute wat gemaak kan word in die segmentasie van uurmerkers, dit is die skeefheidshoek en posisie maal met twee.

| <b>BEELD \ FOUT</b>  | <b>Uurmerker-foute</b> | <b>Datareeks-foute</b> | <b>Skaallyn-foute</b> | <b>Totale aantal foute</b> | <b>Gem. Fout (%)</b> |
|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>CHEL1 (uur 4)</b> | 0 / 4                  | 7 / 232                | 0 / 48                | 7 / 284                    | 2.5                  |
| <b>CHEL1 (uur 8)</b> | 2 / 4                  | 9 / 232                | 0 / 48                | 11 / 284                   | 3.9                  |
| <b>HUAN (uur 4)</b>  | 0 / 4                  | 8 / 269                | 0 / 48                | 8 / 321                    | 3.5                  |
| <b>HUAN (uur 8)</b>  | 2 / 4                  | 12 / 269               | 0 / 48                | 14 / 321                   | 4.4                  |
| <b>CHEL3 (uur 4)</b> | 0 / 4                  | 7 / 236                | 0 / 48                | 7 / 288                    | 3.3                  |
| <b>CHRS (uur 4)</b>  | 0 / 4                  | 12 / 252               | 0 / 48                | 12 / 304                   | 3.9                  |
| <b>GHVN (uur 7)</b>  | 2 / 4                  | 44 / 234               | 3 / 48                | 49 / 286                   | 17.1                 |
| <b>GHVN (uur 9)</b>  | 0 / 4                  | 13 / 232               | 0 / 48                | 13 / 284                   | 4.6                  |
| <b>TOTAAL</b>        | <b>6 / 32</b>          | <b>112 / 1956</b>      | <b>3 / 384</b>        | <b>121 / 2372</b>          | <b>5.4</b>           |

*Tabel 4.1: Die suksesmeting van die versyferingsproses.*

Die bogenoemde resultate is saam met die resultate van die gemiddelde fout berekening in die vergelyking met handgemaakte binarisasies (hoofstuk 3.2.3.2 op bl. 46) saamgevat in Tabel 4.2. Die gemiddelde fout by die vergelyking met handgemaakte binarisasies is oor die algemeen meer. Dit is omrede elke beeldpunt vergelyk word. Soms is dit amper onmoontlik vir die blote oog om die presiese posisie van 'n skaallyn byvoorbeeld te bepaal, indien hierdie skaallyn een ry verkeerd is, is dit 'n hele aantal beeldpunte wat ook verkeerd is. Tog gee beide hierdie suksesmetingsmetodes 'n baie goeie idee van sukses van die versyferingsproses. Die totale gemiddelde fout as daar na die handgemaakte binarisasies gekyk word is 8.06%, dit is 'n sukses van 91.94%. Hierdie waarde is baie naby aan 94.6% soos hierbo genoem. Die totale persentasie voorgrond elemente wat as agtergrond gesegmenteer is, is 4.10% terwyl 3.96% agtergrond beeldpunte as voorgrond gesegmenteer is.

| <b>BEELD \ FOUT</b>  | <b>Gem. fout (Vergelyking, %)</b> | <b>Gem. fout (Handgemaakte binarisasies, %)</b> | <b>Vals agtergrond (%)</b> | <b>Vals voorgrond (%)</b> |
|----------------------|-----------------------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| <b>CHEL1 (uur 4)</b> | 2.5                               | 13.16   | 6.61                       | 6.55                      |
| <b>CHEL1 (uur 8)</b> | 3.9                               | 1.47  | 0.77                       | 0.70                      |
| <b>HUAN (uur 4)</b>  | 3.5                               | 2.00  | 1.04                       | 0.96                      |
| <b>HUAN (uur 8)</b>  | 4.4                               | 9.86  | 4.99                       | 4.87                      |
| <b>CHEL3 (uur 4)</b> | 3.3                               | 18.69   | 9.51                       | 9.19                      |
| <b>CHRS (uur 4)</b>  | 3.9                               | 13.94   | 7.03                       | 6.91                      |
| <b>GHVN (uur 7)</b>  | 16.4                              | 2.96  | 1.59                       | 1.37                      |
| <b>GHVN (uur 9)</b>  | 5.3                               | 2.43  | 1.32                       | 1.12                      |
| <b>TOTAAL</b>        | <b>5.4</b>                        | <b>8.06</b>                                     | <b>4.10</b>                | <b>3.96</b>               |

*Tabel 4.2: Opsomming van versyferingsukses.*

## 4.4 Interpretering

### 4.4.1 Versyfering

Die fisiese versyfering word as komma-geskeide teks gestoor. Tabel 4.3 toon die eerste twaalf minute se waardes van al die versyferings.

| <b>BEELD \ MINUUT</b> | <b>1-3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> |
|-----------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>CHEL1 (uur 4)</b>  | 0.0        | 1.6      | 2.5      | 4.2      | 7.5      | 8.3      | 8.3      | 8.3       | 7.5       | 7.5       |
| <b>CHEL1 (uur 8)</b>  | 0.0        | 7.0      | 8.0      | 6.0      | 6.0      | 7.0      | 6.0      | 5.0       | 5.0       | 3.0       |
| <b>HUAN (uur 4)</b>   | 0.0        | 4.2      | 1.4      | 1.4      | 2.1      | 5.0      | 7.1      | 7.1       | 8.6       | 9.3       |
| <b>HUAN (uur 8)</b>   | 0.0        | 0.7      | 4.3      | 5.0      | 5.0      | 5.0      | 7.1      | -1.4      | -7.9      | -9.3      |
| <b>CHEL3 (uur 4)</b>  | 0.0        | 2.7      | 7.3      | 11.7     | 13.3     | 15.8     | 18.3     | 18.3      | 19.2      | 21.7      |
| <b>CHRS (uur 4)</b>   | 0.0        | 3.6      | 3.6      | 3.6      | 3.6      | 3.6      | 9.0      | 10.0      | 0.0       | -0.8      |
| <b>GHVN (uur 7)</b>   | 0.0        | 12.3     | 18.5     | 20.0     | 21.8     | 27.3     | 47.5     | 50.0      | 50.8      | 59.2      |
| <b>GHVN (uur 9)</b>   | 0.0        | 17.5     | 20.8     | 27.5     | 27.5     | 36.4     | 38.2     | 47.5      | 50.0      | 51.2      |

*Tabel 4.3: Versyferingswaardes van minuut drie tot twaalf, per minuut.*

Die aantal waardes (datareekskolomme) is nie vergroot of verklein nie, die oorspronklike aantal is gehou. Die verskillende beelde se aantal datareekskolomme is soos volg:

| <b>Beeld</b>         | <b>Aantal datareekspunte</b> |
|----------------------|------------------------------|
| <b>CHEL1 (uur 4)</b> | 232                          |
| <b>CHEL1 (uur 8)</b> | 232                          |
| <b>HUAN (uur 4)</b>  | 269                          |
| <b>HUAN (uur 8)</b>  | 269                          |
| <b>CHEL3 (uur 4)</b> | 236                          |
| <b>CHRS (uur 4)</b>  | 252                          |
| <b>GHVN (uur 7)</b>  | 234                          |
| <b>GHVN (uur 9)</b>  | 232                          |

*Tabel 4.4: Aantal datareekspunte vir elke beeld.*

Hierdie data is die data wat deur die versyferingsalgoritme verkry is, met ander woorde klein foutjies in die datareeks is herstel. Hierdie data is geplot op 'n grafiek (Figuur A.37 tot Figuur A.40 op bl. 114 tot 117). By hierdie figure is ook die finale verbeterde beeld met dik uurmerkers. Uurmerkers kan met versyfering verdik word aangesien dit nou bekend is hoe dik drie minute (die dikte van uurmerkers) is. Hierdie beelde is bloot vir voorstellingsdoeleindes en word geskep met versyfering en is nie deel van segmentasie nie. Die totale opsomming van die versyferingsukses kan in Tabel 4.1 gesien word:

- **CHEL1** (Figuur A.37 op bl. 114): Uur vier se datareeks blyk heeltemal foutloos te wees, omrede die blote oog nie presies die foute kan identifiseer nie, word daar 'n 3% fout bygetel (3.2.3.1 op bl. 44). Dit gee 'n totaal van sewe foute. Uur agt se enigste fout is aan die einde, waar daar geen identifiseerbare datareeks punte bestaan nie. Tog word hierdie as twee foute getel, plus 'n 3% fout wat 'n totaal van nege foute gee.
- **HUAN** (Figuur A.38 op bl. 115): Uur vier blyk heeltemal foutloos, daarom tel ons hier slegs die 3% fout, wat agt foute is. By uur agt is daar foute aan die einde van die datareeks, dit is hoofsaaklik as gevolg van die verkeerde uurmerkerskeefheidshoek. Tog laat dit ons met 'n totaal van vier foute plus 3% fout, dit is twaalf.
- **CHEL3** (Figuur A.39 op bl. 116): CHEL3 is so foutloos dat die 3% fout amper nie hoef bygetel te word nie. Tog laat die 3% fout ons met sewe foute.
- **CHRS** (Figuur A.39 op bl. 116): 'n Aantal foute kom voor net voor die einde van die datareeks. 'n Totaal van vier foute, saam met die 3% fout het CHRS se datareeks 'n totaal van twaalf foute.
- **GHVN** (Figuur A.40 op bl. 117): Uur sewe het 'n hele aantal foute aan die einde, dit is as gevolg van 'n gaping in die datareeks. Uur nege het 'n soortgelyke gaping, dit affekteer egter nie die versyfering so drasties soos uur sewe nie. Uur sewe se totale fout is 37 plus sewe vir die 3% fout, dit is 44. Uur nege se totale fout is dertien.

Dit sluit dan die bespreking van resultate af, in die volgende hoofstuk sal 'n gevolgtrekking oor die resultate gemaak word.

---

# HOOFSTUK

## 5 Gevolgtrekking



---

|     |                      |    |
|-----|----------------------|----|
| 5.1 | Gevolgtrekking ..... | 86 |
| 5.2 | Verdere studie.....  | 86 |
| 5.3 | Slotopmerkings ..... | 87 |

## 5.1 Gevolgtrekking

As ons vir 'n oomblik terugkyk na ons probleemstelling en doelwit:

Probleemstelling: ***Hoe kan die kosmiese straal-data deur dokument-beeldverwerking toe te pas, outomaties en aanpasbaar verwerk word tot betekenisvolle, betroubare inligting?***

Doelwit: ***Die primêre doel van hierdie studie kan dan uiteengesit word as die versyfering van historiese kosmiese straal-data***

Vind ons dat hierdie studie die probleem opgelos het en in die doelwit geslaag het. Bestaande beeldverwerkingstegnieke is eerstens bestudeer in die literatuurstudie en suksesvol geïmplementeer in die eksperimentering. In die eksperimentering is daar ook nuwe tegnieke ontwikkel. Die eksperimentering het geslaag in sy doel: Om te demonstree dat 'n algoritme ontwikkel kan word wat kosmiese straalbeelde suksesvol versyfer. Die eksperimentering het 'n hoë suksespersentasie getoon.

Die gevolgtrekking is dus eenvoudig: Historiese kosmiese straal-data kan met behulp van beeldverwerkingstegnieke versyfer word.

## 5.2 Verdere studie

Omrede hierdie studie suksesvol was, is daar 'n hele aantal verdere navorsing wat gedoen kan word:

- **Sintetiese beelde:** Sintetiese beelde kan ontwikkel word om die algoritme verder te toets. 'n Ideale kosmiese straalbeeld kan geskep word en daarna gedegradeer word om soos die bestaande kosmiese straalbeelde te lyk. Hierdie gedegradeerde beeld kan dan deur die algoritme versyfer word om sodoende die resultaat met die oorspronklike te vergelyk en die sukses te bepaal.
- **Fyner skeefheidshoekbepaling:** Die skeefheidshoekbepaling van die uurmerkers het baie foute opgelewer. Die algoritme kan in hierdie sin verbeter word. Dit is dalk nodig om na die gehele beeld te kyk en nie net na die spesifieke uur sub-beeld nie.
- **Verwerkingspoed:** Die algoritme is in MATLAB getoets, wat 'n baie stadige verwerking bied, die algoritme kan in C++ of 'n nuwe tegnologie soos F# geïmplementeer word om aansienlike spoedverbetering te behaal. Die algoritme kan ook verander word om in parallel te hardloop om verdere verwerkingspoed verbeterings te behaal.
- **Algoritme verbetering:** Verder kan die algoritme verder verfyn word om 'n suksespersentasie nader aan 100% te verkry. 'n Beter onttrekking van die datareeks kan ondersoek word: Die aanvanklike onttrekte datareeks kan benader word met 'n *spline*-interpoleerder. Hierdie funksie dien dan as die

gemiddelde rywaarde van 'n normaalverdeling in elke kolom. Met ander woorde, die oorspronklike grysvlakwaardes kan geweeg word met 'n normaalverdeling in elke kolom sodat die verwagte ligging van die datareeks voorkeur kry bo die res van die beeld. Die datareeks kan dan 'n 2de keer onttrek word uit hierdie geweegde beeld. Op hierdie manier sal die false maksima wat ver van die datareeks af lê onderdruk word. Die standaardafwyking van hierdie normaalverdelings moet empiries bepaal word, maar moet waarskynlik redelik wyd wees (> 10 beeldpunte) aanvanklik. Hierdie proses kan selfs 'n tweede keer herhaal word met 'n kleiner standaardafwyking. Die geweegde y-waarde in elke kolom (met ander woorde, som van y-waardes vermenigvuldig met normaalverdelingsgewig, vermenigvuldig met grysvlakwaarde) sal nou 'n sub-beeldpuntresolusie skatting wees van die datareeks posisie in hierdie kolom. Dit behoort ook die akkuraardheid van die datareeks ekstraksie te verbeter.

- **Fouthantering:** Die totale beeldverbeteringsproses kan aangepas word om foute wat mag voorkom te hanteer.

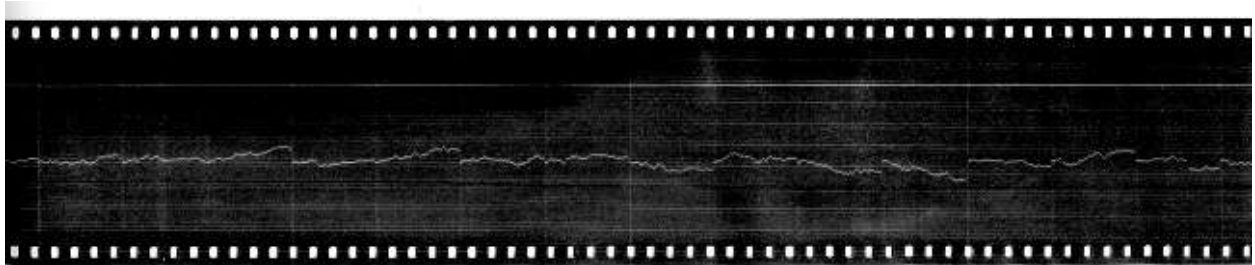
## 5.3 Slotopmerkings

Hierdie studie kan afgesluit word deur weereens na Tabel 4.1 en Tabel 4.2 te verwys op bl. 82 en 83. Die resultate behaal en opgesom in hierdie tabel is 'n aanduiding van die sukses van hierdie studie. Die navorsing van kosmiese straal-aktiwiteit kan die algoritme wat in hierdie studie ontwikkel is nou gebruik om die kilometers kosmiese straal-data te versyfer. Hierdie historiese data kan uiteindelik ontleed word om belangrike gevolgtrekkings te maak oor daardie hoog gelaaide deeltjies wat ons aarde se atmosfeer deurdring.

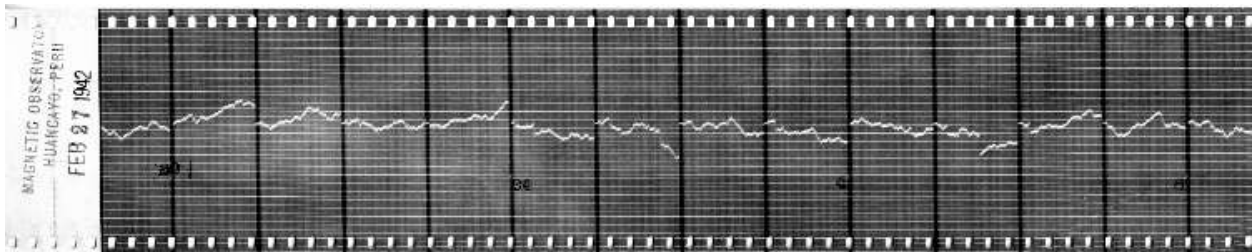
# Bylaag A - Resultate

## A.1 Oorspronklike beelde

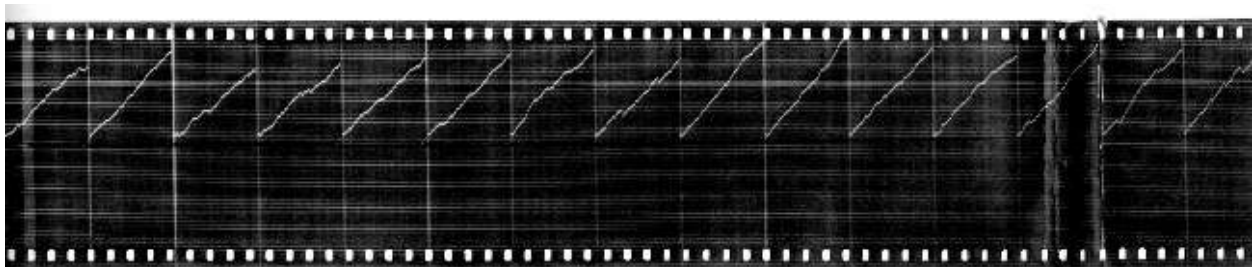
Die fotografiese papier is geskandeer met 'n *Epson Perfection 4490* fotoskandeerder met 'n resolusie van 600 beeldpunte per duim (*dpi*) en 8 bisse per beeldpunt. Hierdie beelde is verklein na 'n resolusie van ongeveer 800 x 3455 beeldpunte. Hoofstuk 3.1.1. op bl. 40 beskryf die vasleggingsproses terwyl hoofstuk 3.2.4 op bl. 47 meer besonderhede oor die oorsprong van elk van hierdie beelde lewer.



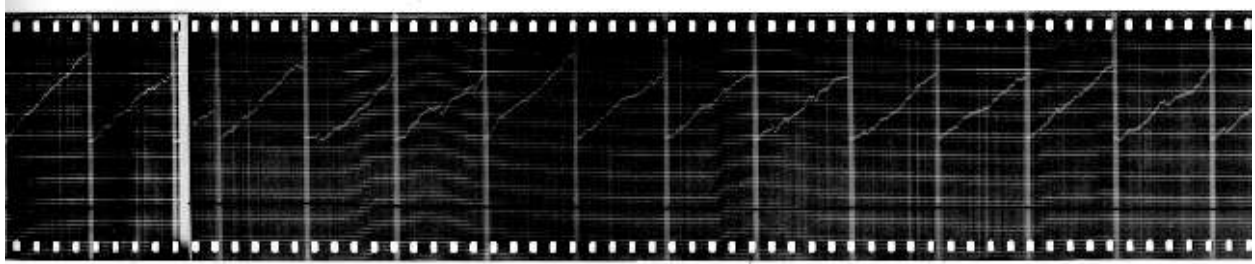
*Figuur A.1: Toetsbeeld een, van die stasie Cheltenham: CHEL1.*



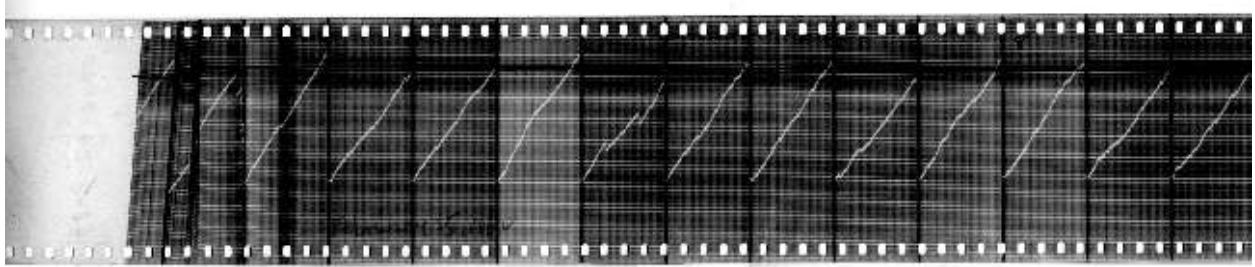
*Figuur A.2: Toetsbeeld twee, van die stasie Huancayo: HUAN.*



*Figuur A.3: Toetsbeeld drie, ook van die stasie Cheltenham: CHEL3.*



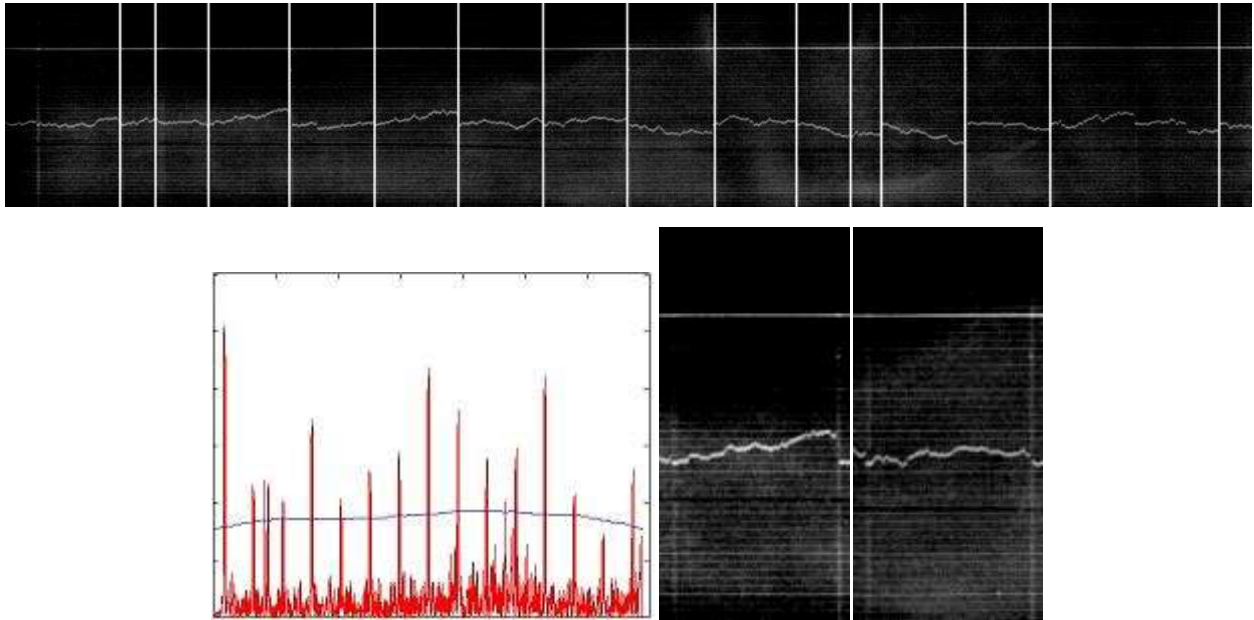
*Figuur A.4: Toetsbeeld vier, van die stasie Christchurch: CHRS.*



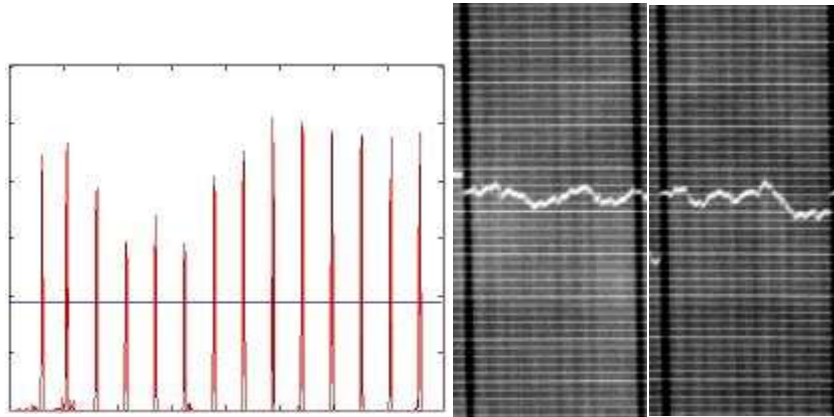
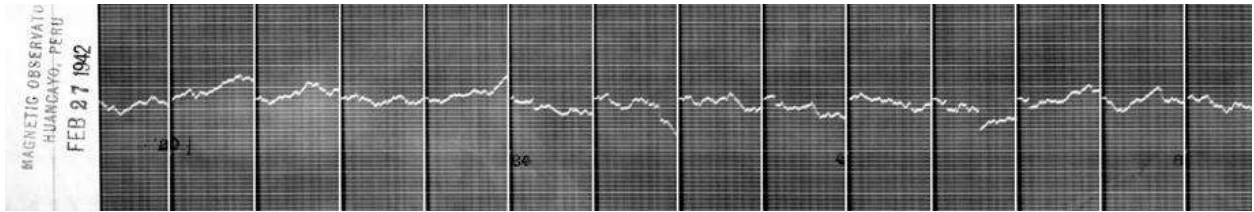
*Figuur A.5: Toetsbeeld vyf, van die stasie Godhavn: GHVN.*

## A.2 Onttrekking

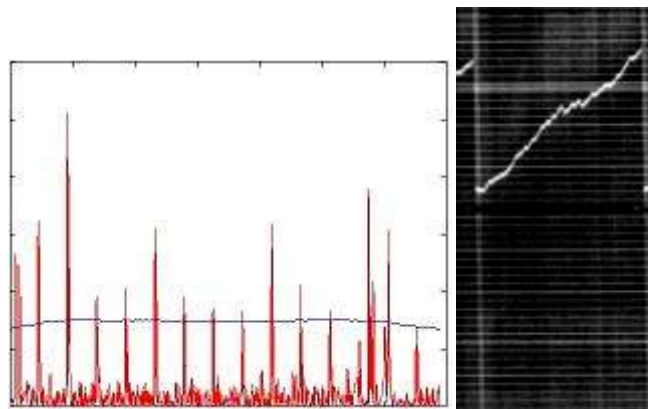
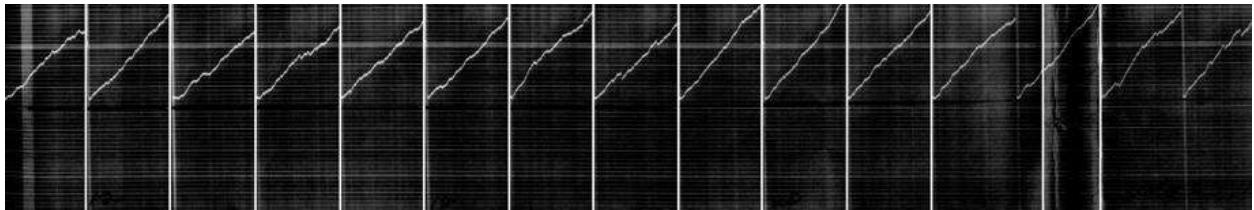
Die oorspronklike beelde word in uur sub-beelde onttrek. Die algoritme wat hierdie onttrekking verrig word bespreek in hoofstuk 3.4.1 op bl. 51. Die resultate word bespreek in hoofstuk 4.2.1 op bl. 77. Elk van die beelde toon heel bo die oorspronklike beeld met perforasiegatejies verwyder met al sy uurmerkers, soos hul geïdentifiseer is, helder wit ingeteken. 'n Grafiek word ook getoon van die bewegende afgeleide kolomgemiddeldes met 'n drempellyn soos in hoofstuk 3.4.1 bespreek. Laastens word die onttrekte sub-beelde getoon wat gebruik word vir verdere eksperimentering.



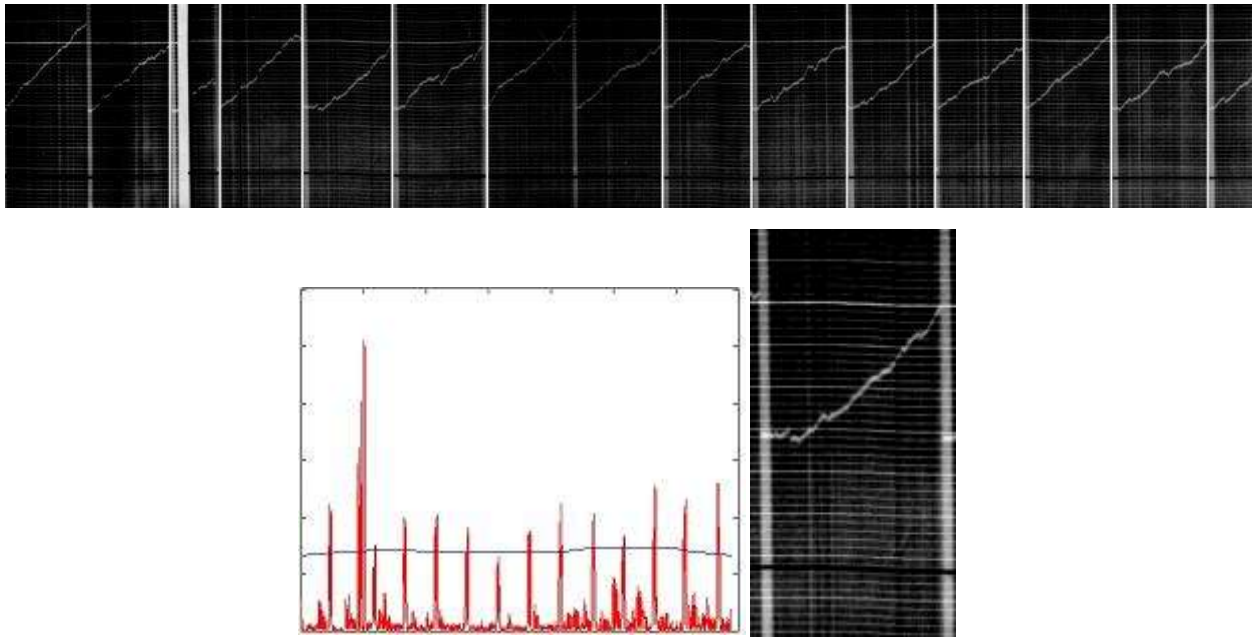
*Figuur A.6: Onttrekking van sub-beelde uit CHEL1 (uur 4 en 8).*



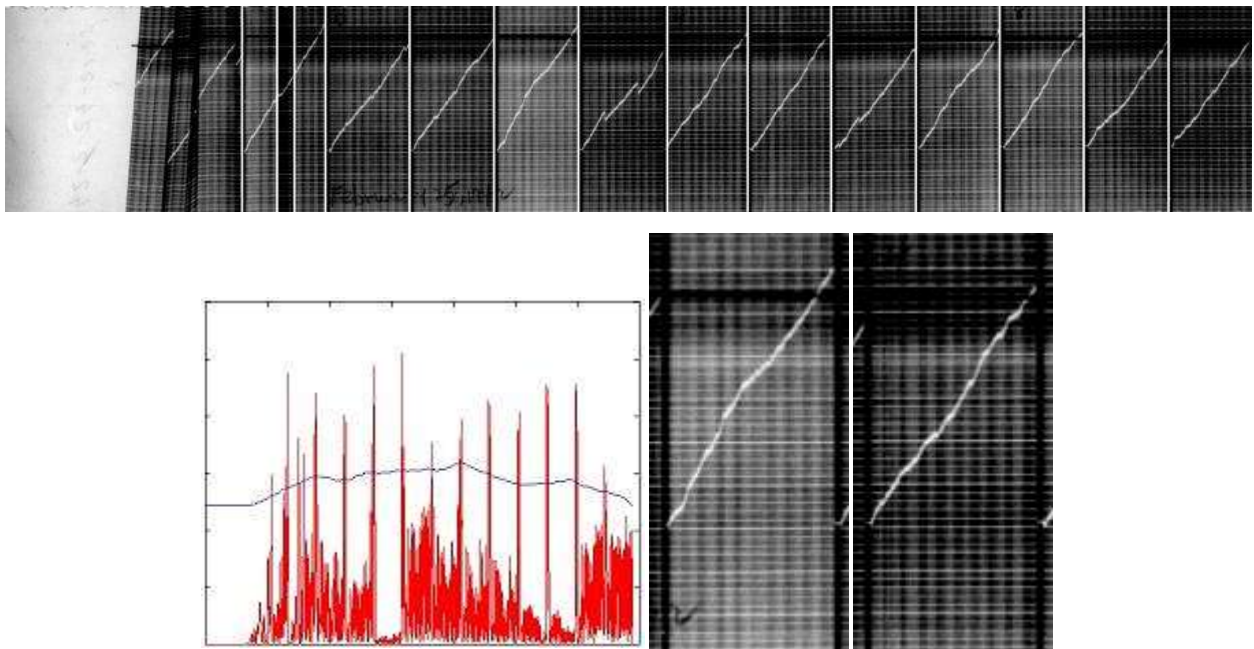
*Figuur A.7: Onttrekking van sub-beelde uit HUAN (uur 4 en 8).*



*Figuur A.8: Onttrekking van sub-beelde uit CHEL3 (uur 4).*



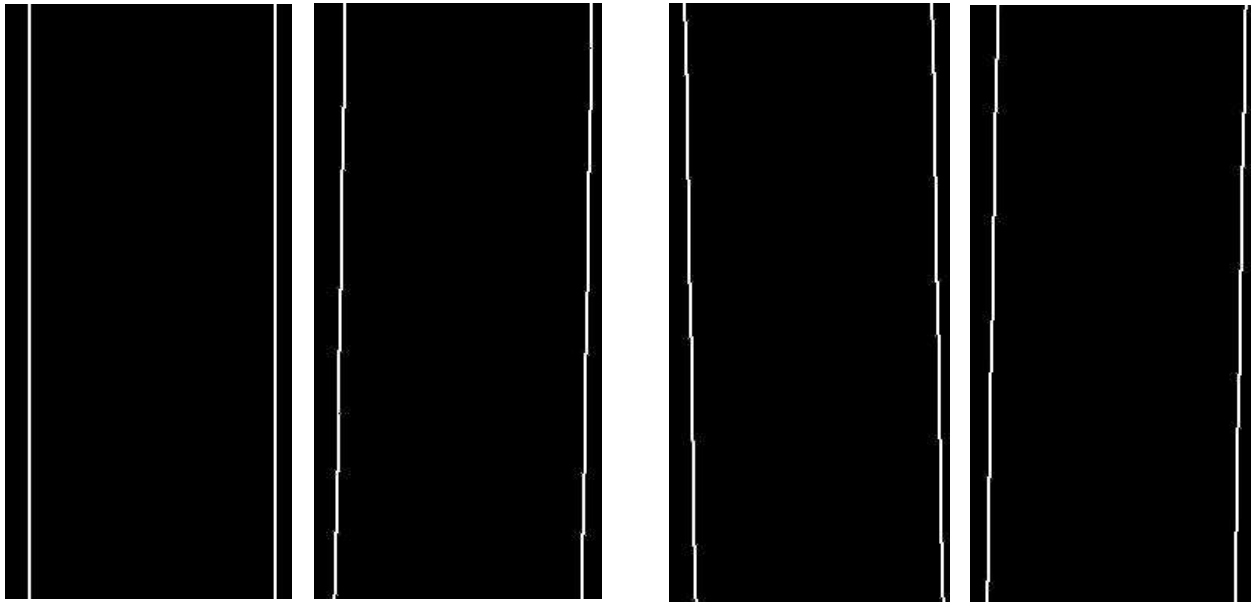
*Figuur A.9: Onttrekking van sub-beelde uit CHRS (uur 4).*



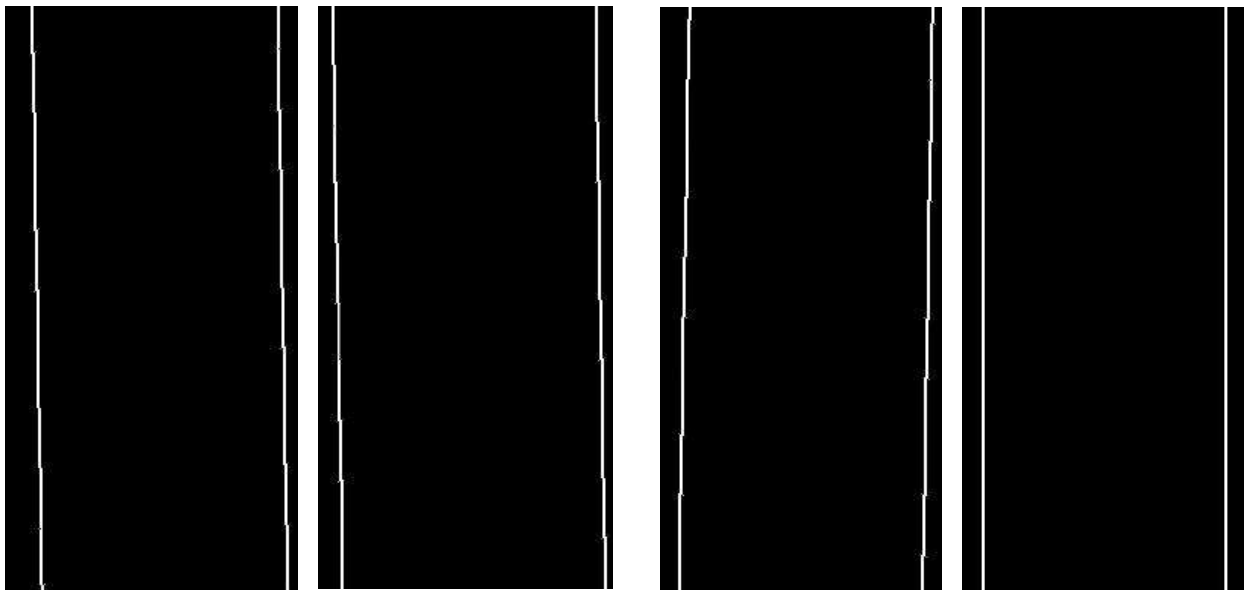
*Figuur A.10: Onttrekking van sub-beelde uit GHVN (uur 7 en 9).*

### A.3 Uurmerkers

Die eerste voorgrond element wat gesegmenteer is, is die uurmerkers. Die algoritme vir die segmentasie van uurmerkers word bespreek in hoofstuk 3.5.1 op bl. 60. Die resultate word bespreek in hoofstuk 4.3.1 op bl. 78. Die figure toon telkens slegs die uurmerkers soos hul gesegmenteer is. Die beelde is uitgedy vir voorstellingsdoeleindes.



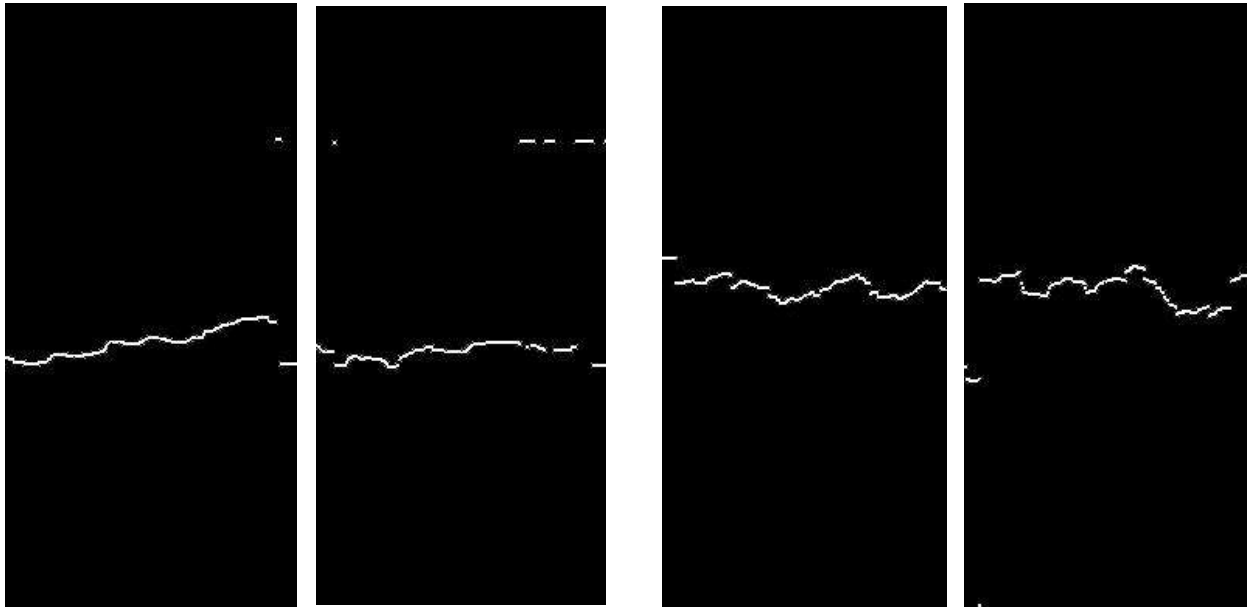
*Figuur A.11: Uur 4 en 8 van CHEL1 (links) en HUAN (regs) se segmentasie.*



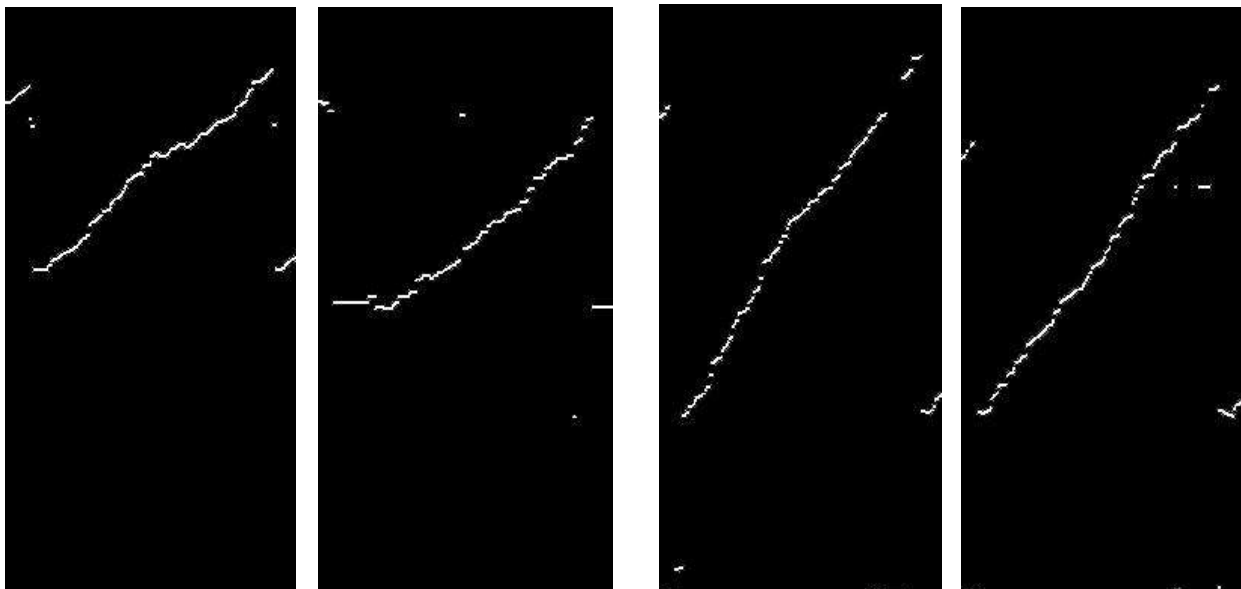
*Figuur A.12: Uur 4 van CHEL3 en CHRS, asook uur 7 en 9 van GHVN se segmentasie.*

## A.4 Datareeks

Die tweede voorgrond element wat gesegmenteer is, is die datareeks. Die algoritme vir die segmentasie van die datareeks word bespreek in hoofstuk 3.5.2 op bl. 63. Die resultate word bespreek in hoofstuk 4.3.2 op bl. 79. Die figure toon telkens slegs die datareeks soos dit gesegmenteer is. Die beelde is uitgedy vir voorstellingsdoeleindes.



*Figuur A.13: Uur 4 en 8 van CHEL1 (links) en HUAN (regs) se datareeks.*

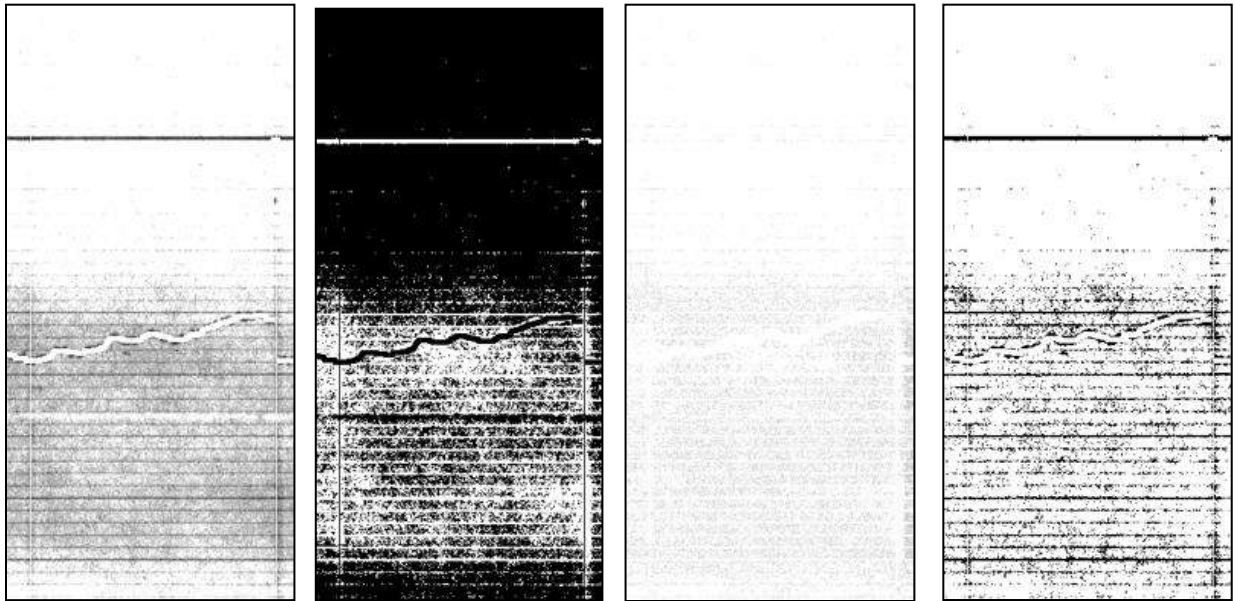


*Figuur A.14: Datareeks van CHEL3, CHRS en DHVN uur 7 en 9.*

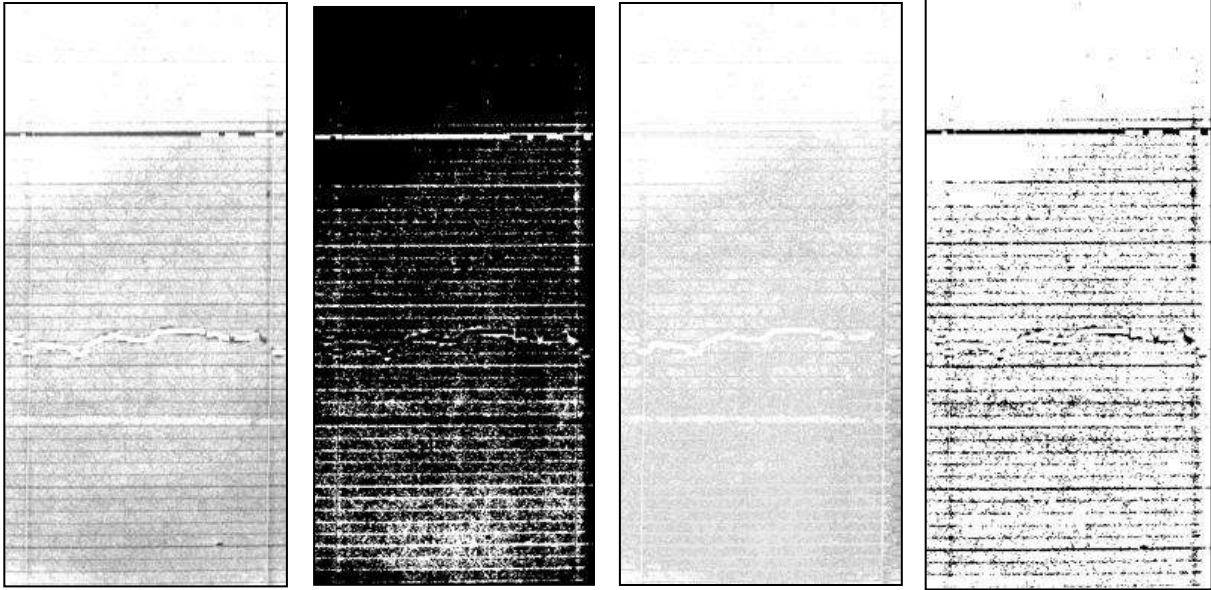
## A.5 Skaallyne

### A.5.1 Binarisasie

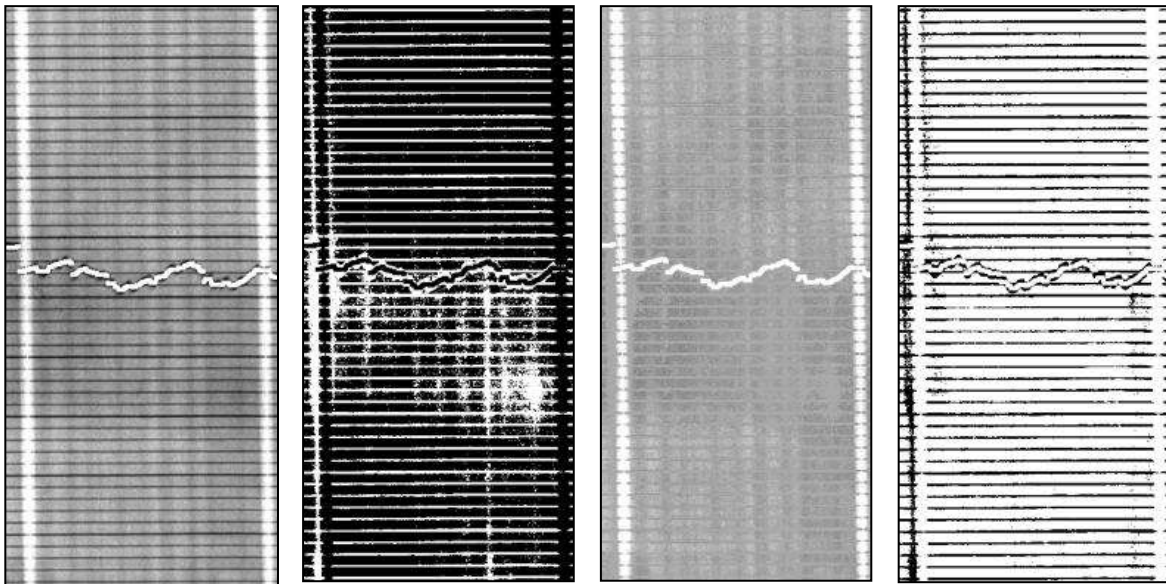
Die laaste voorgrondelement wat gesegmenteer moet word, is die skaallyne. Binarisasie is die eerste stap in hierdie proses. Die volgende figure toon eerstens die onttrekte sub- beeld se negatiewe, tweedens die binarisasie soos verkry deur Sauvola & Pietikäinen (2000) se metode, dertens die agtergrond soos onttrek deur Gatos *et al.* (2006) se metode en laastens die finale binarisasie soos bespreek in hoofstuk 3.5.3.1 op bl. 64. Hierdie resultate word bespreek in hoofstuk 4.3.3.1 op bl. 79.



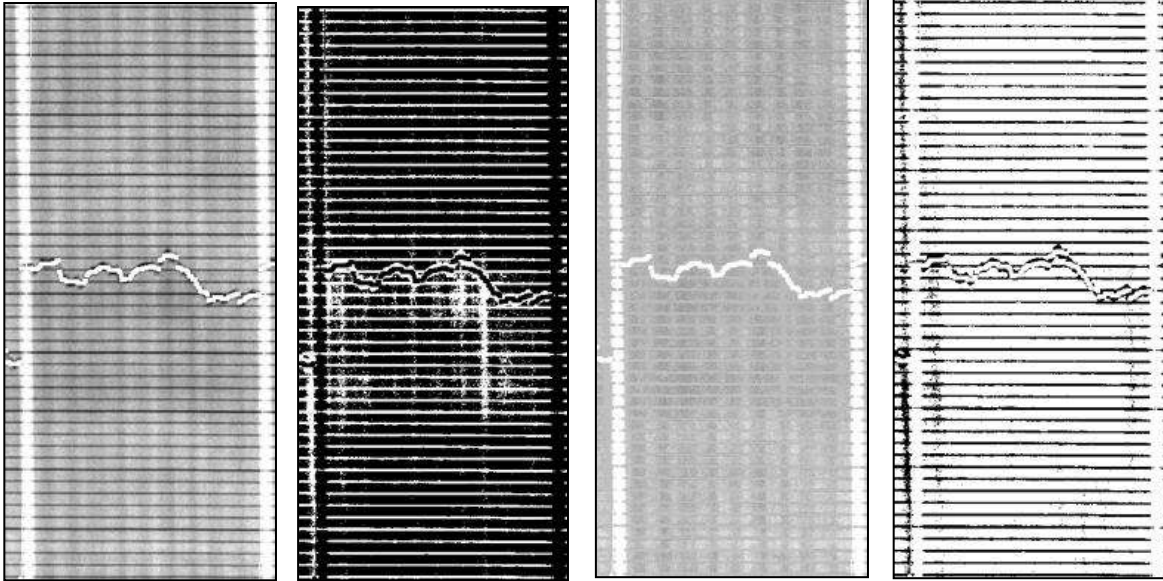
*Figuur A.15: Binarisasie van CHEL1 (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



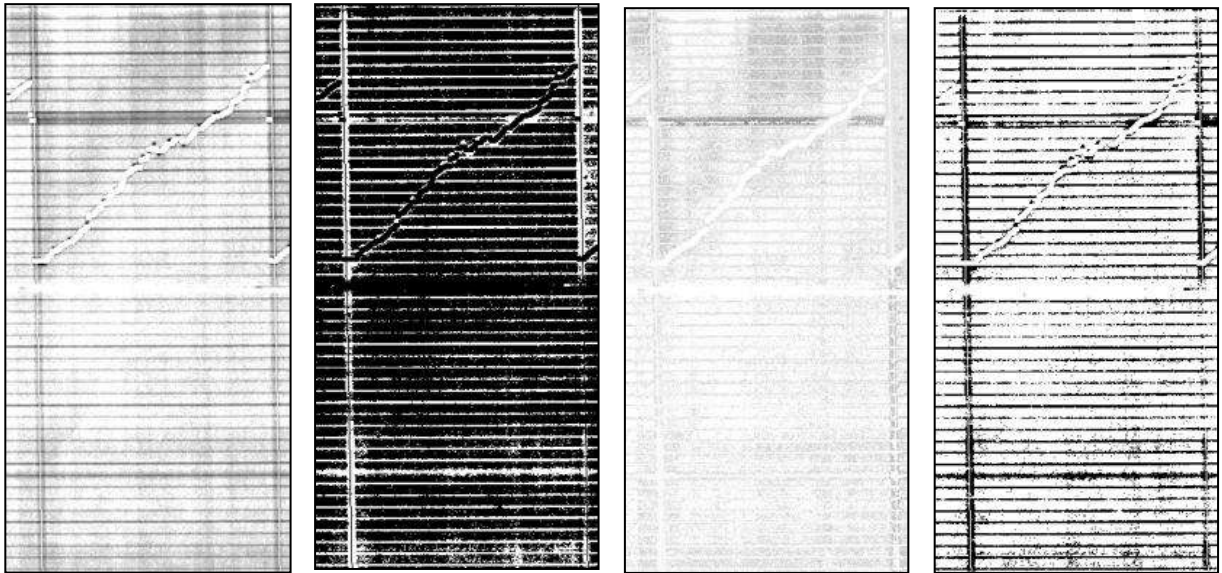
*Figuur A.16: Binarisasie van CHEL1 (uur 8), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



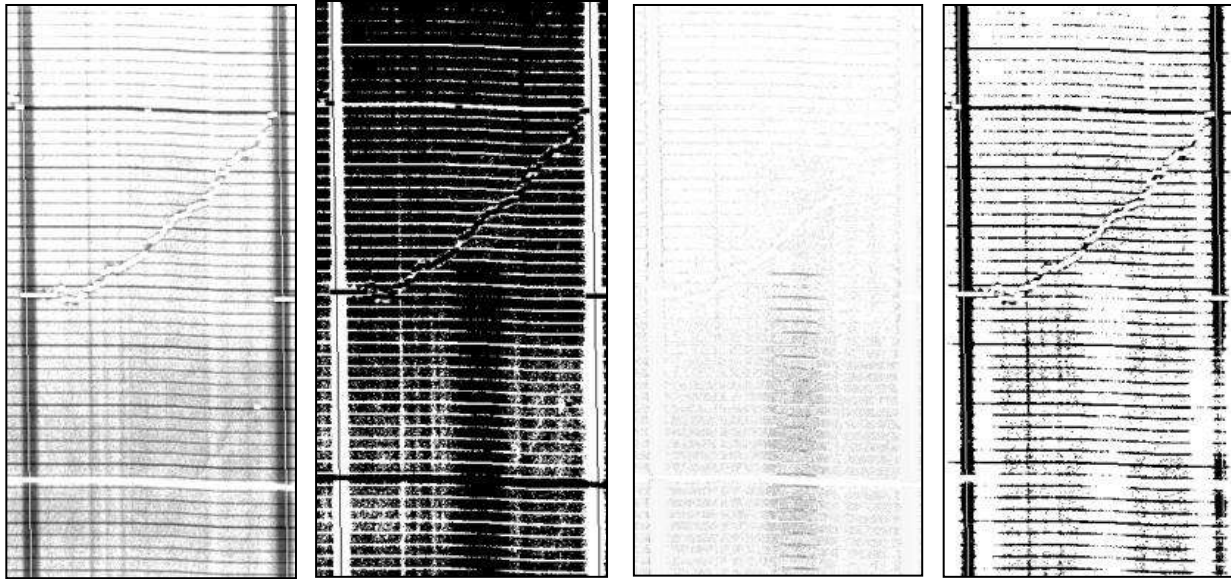
*Figuur A.17: Binarisasie van HUAN (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



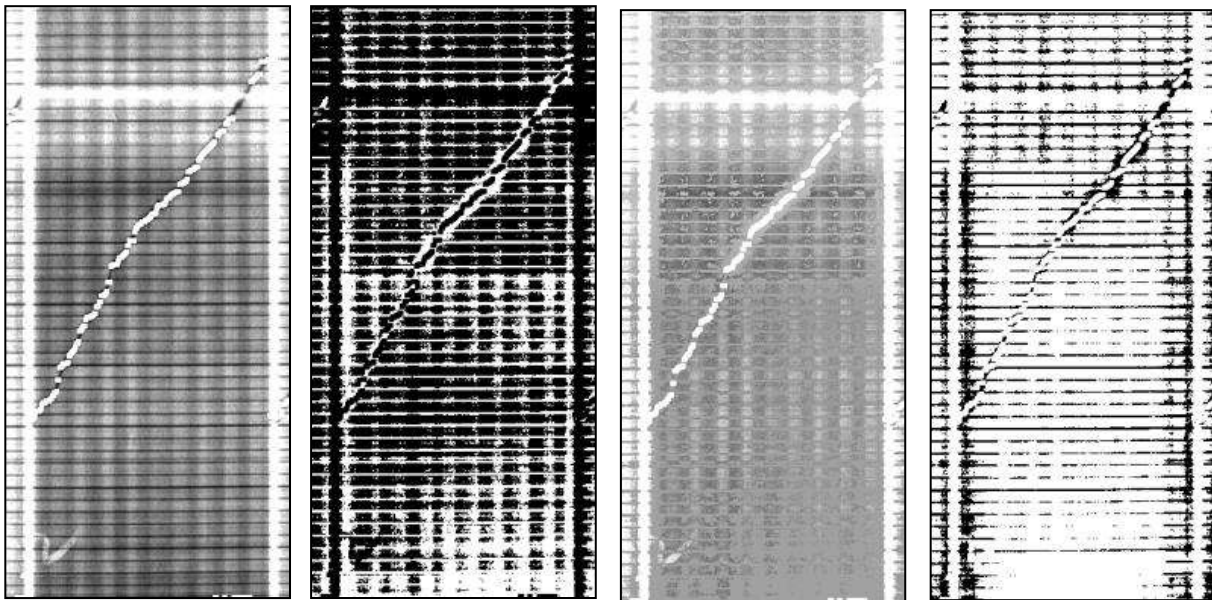
*Figuur A.18: Binarisasie van HUAN (uur 8), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



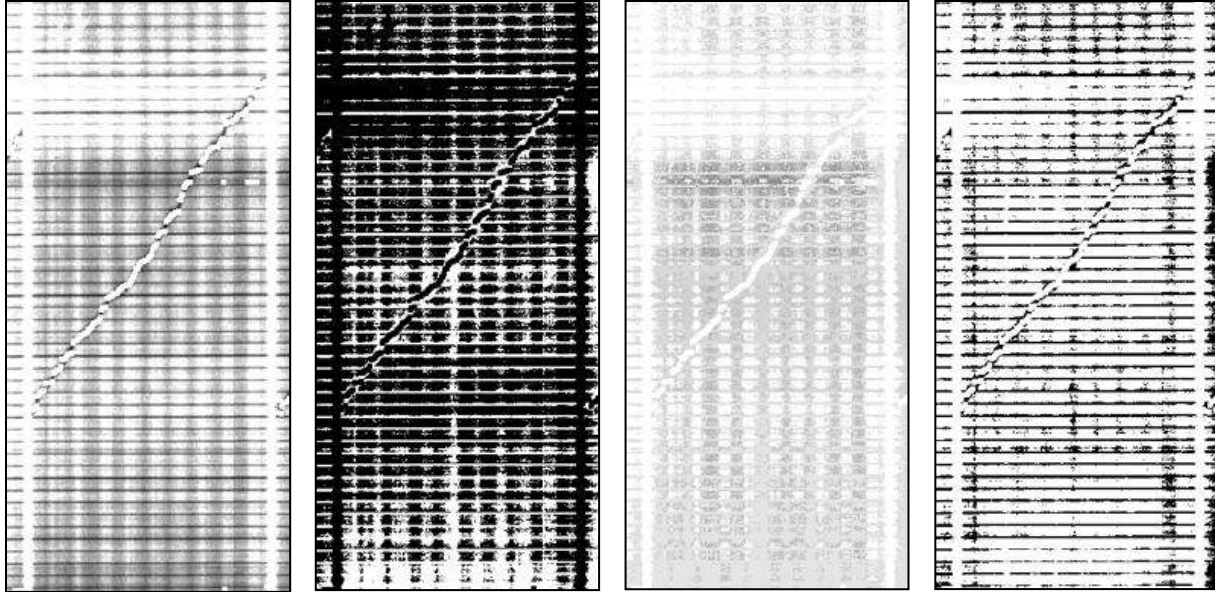
*Figuur A.19: Binarisasie van CHEL3 (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



*Figuur A.20: Binarisasie van CHRS (uur 4), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



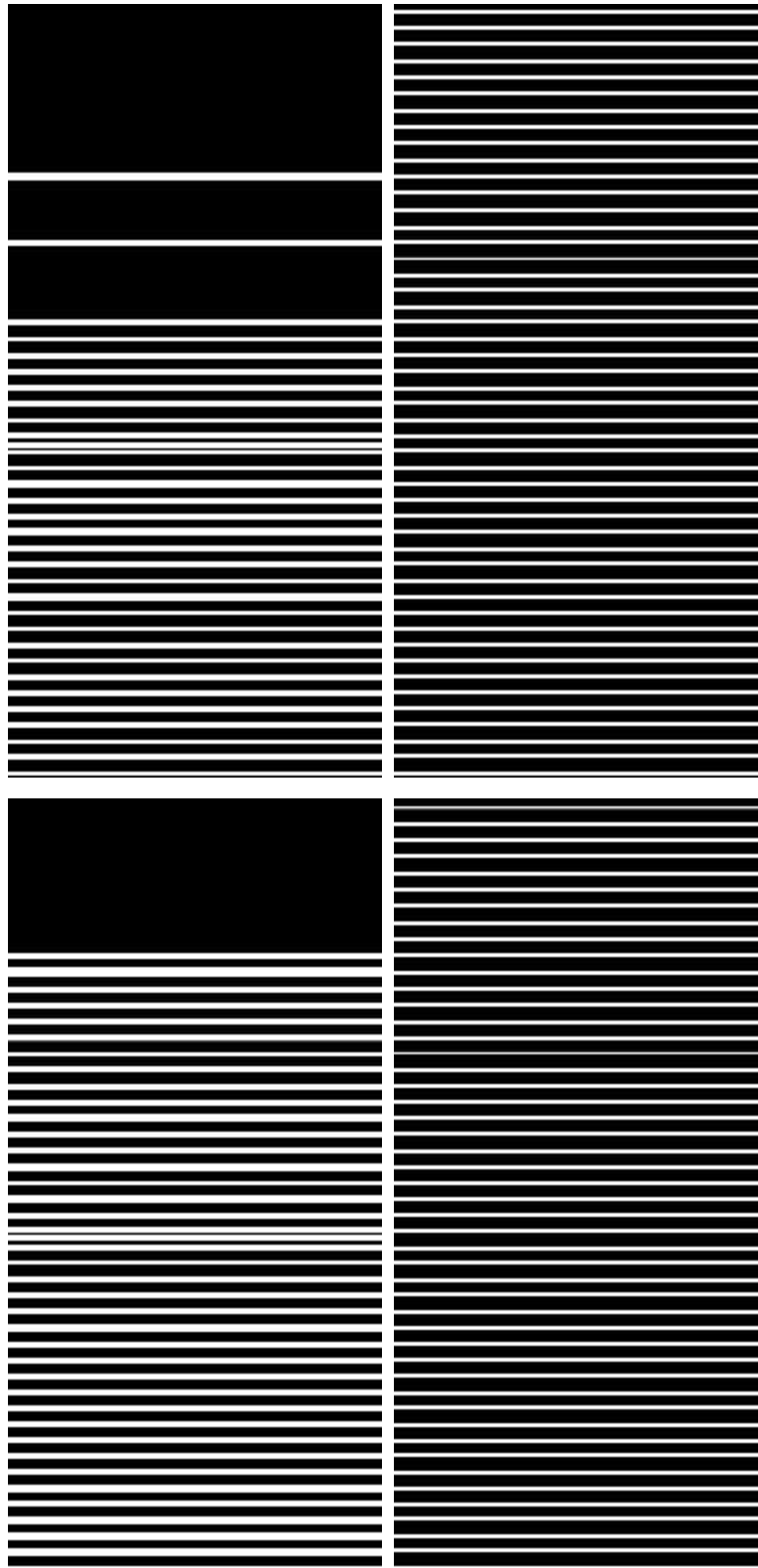
*Figuur A.21: Binarisasie van GHVN (uur 7), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*



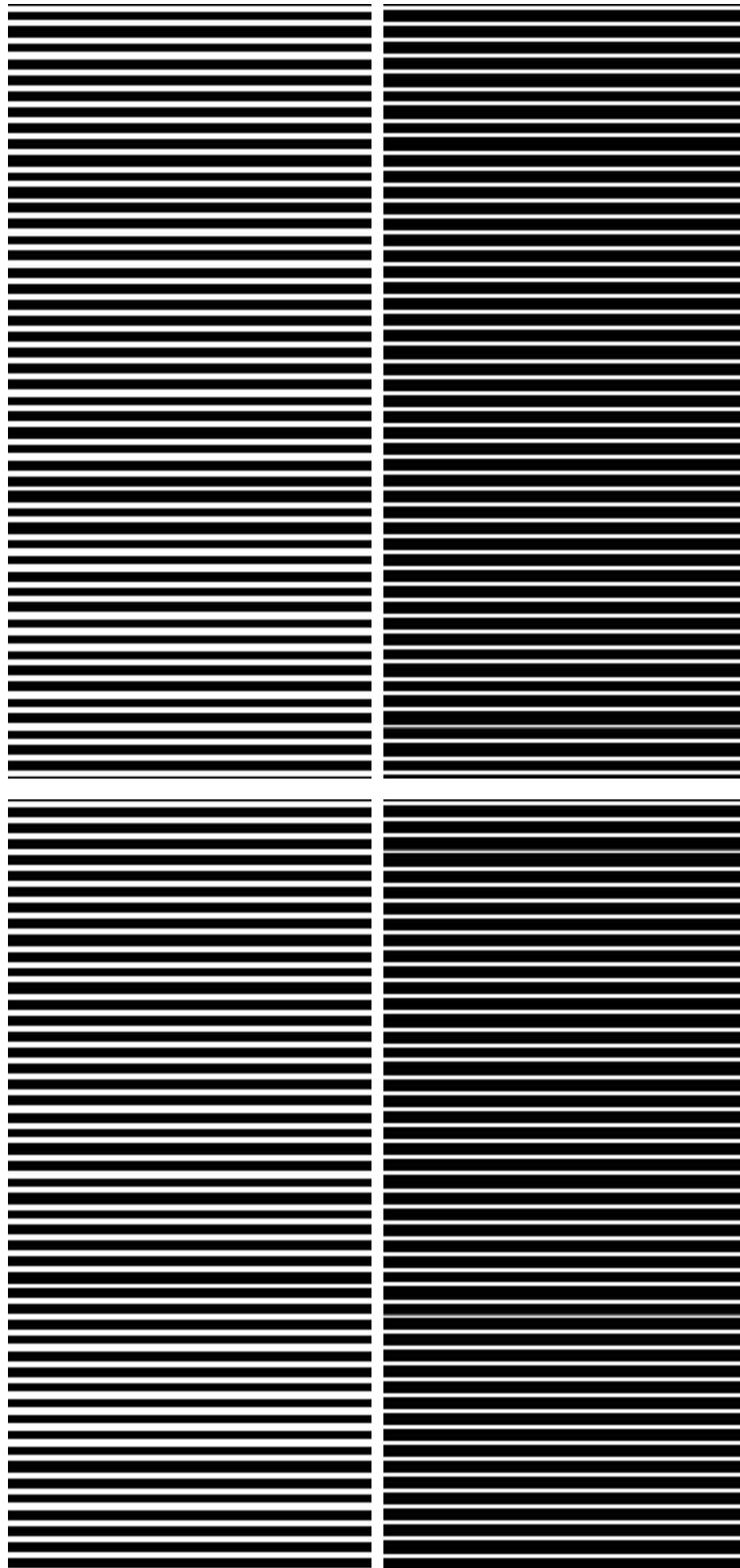
*Figuur A.22: Binarisasie van GHVN (uur 9), van links na regs is die negatief, Sauvola se binarisasie, die agtergrond wat onttrek is en die aangepaste Gatos binarisasie.*

## **A.5.2 Hough & interpolasie**

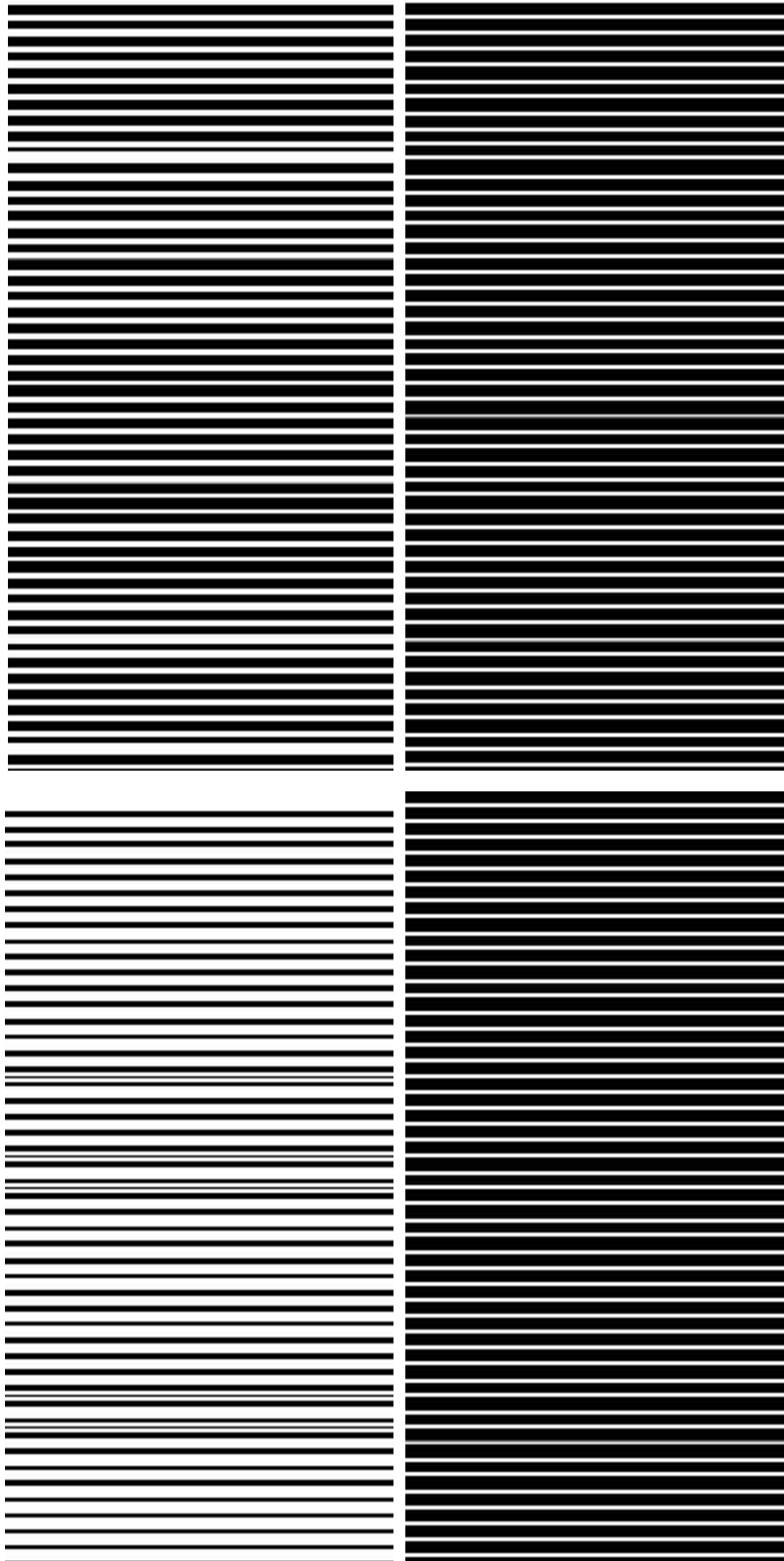
Die tweede stap in die segmentasie van skaallyne is om die Hough transform op die binarisasie toe te pas (hoofstuk 3.5.3.2 op bl. 68), daarna word skaallyne geïnterpoleer (hoofstuk 3.5.3.3 op bl. 70). Die volgende figure toon telkens die resultate van die Hough transform algoritme met die interpolasie resultate langs dit. Hierdie resultate word bespreek in hoofstukke 4.3.3.2 en 4.3.3.3 op bl. 80.



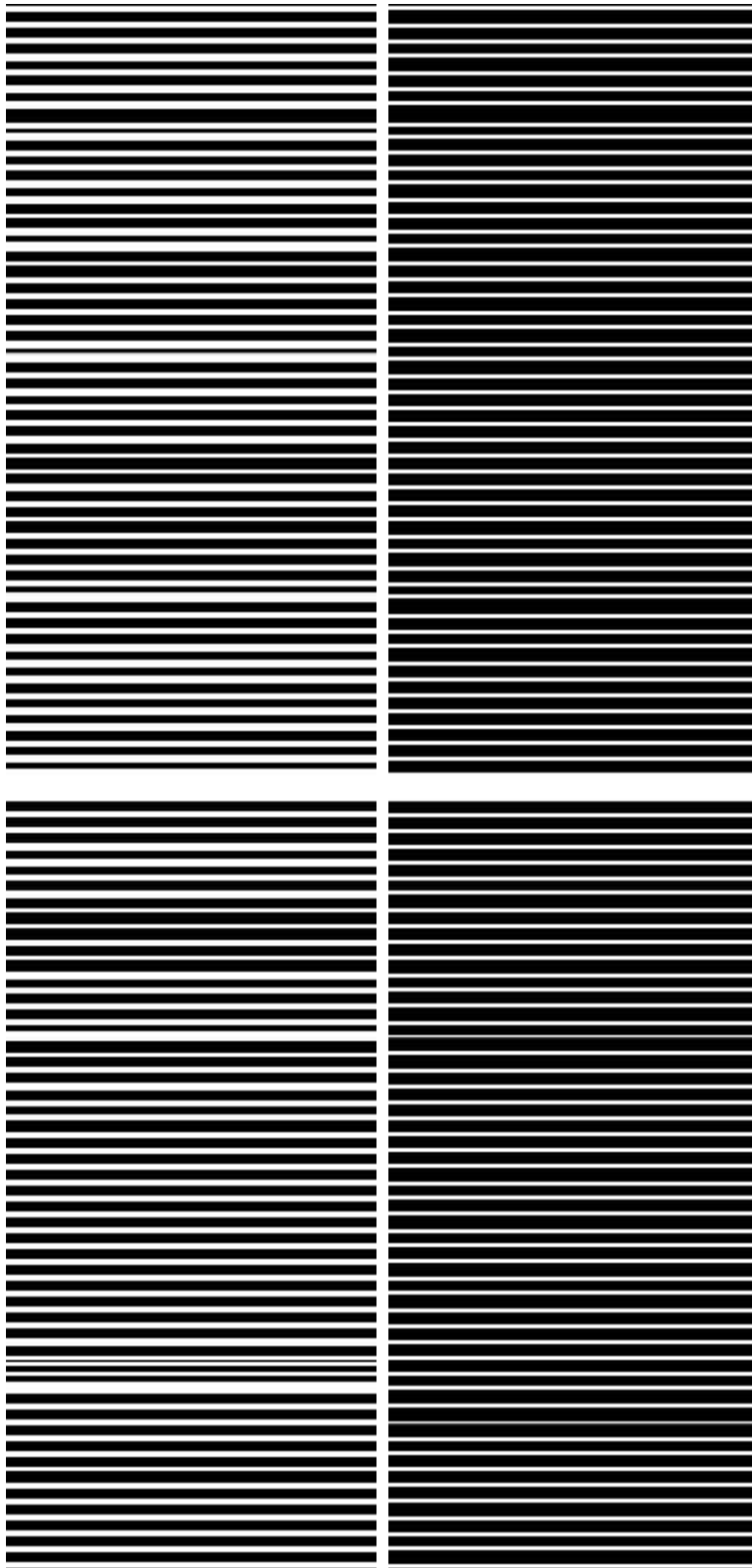
*Figuur A.23: Uur 4 (bo) en 8 (onder) van CHEL1 se aanpasbare Hough en interpolasie.*



*Figuur A.24: Uur 4 (bo) en 8 (onder) van HUAN se aanpasbare Hough en interpolasie.*



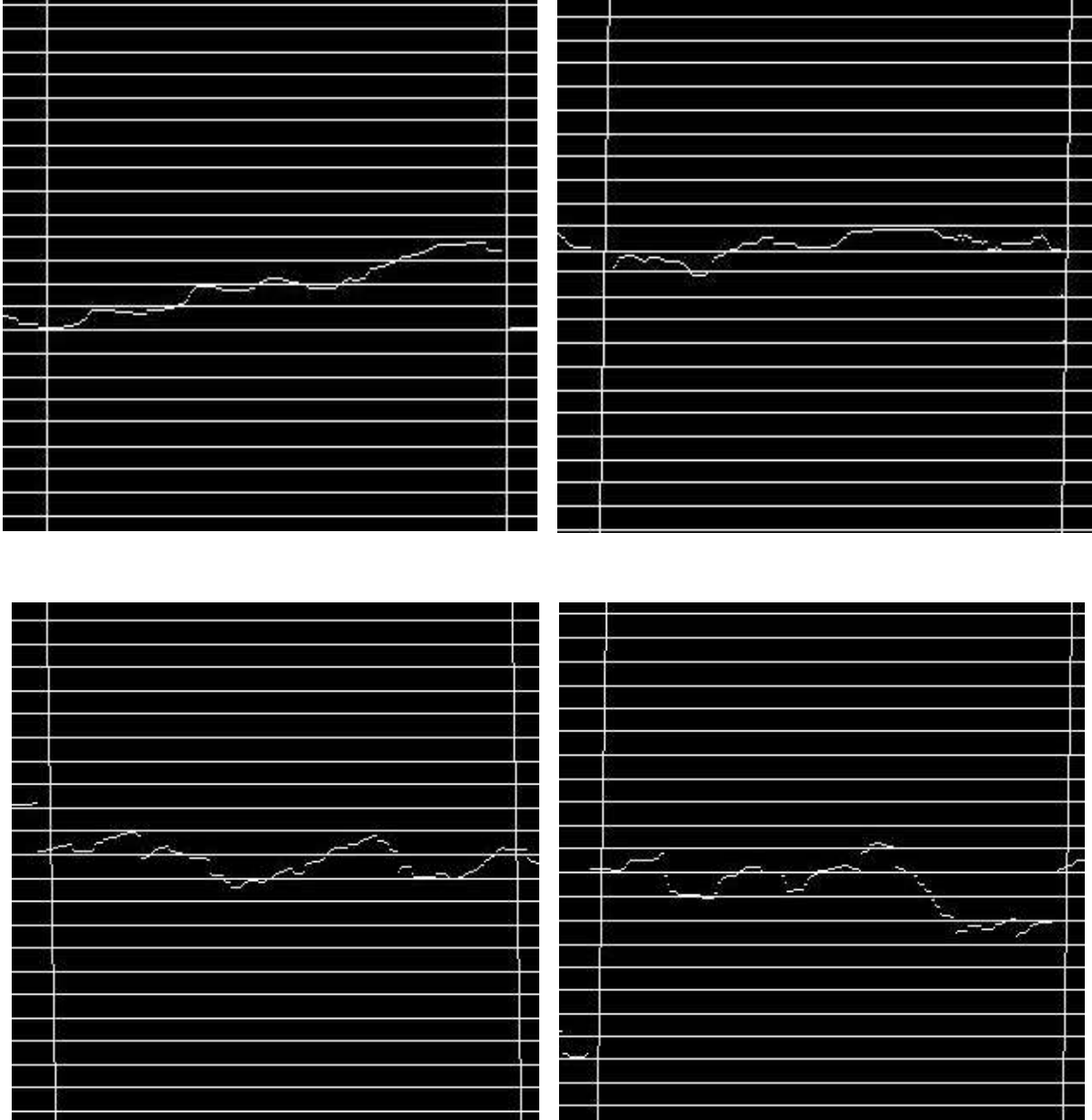
*Figuur A.25: Uur 4 van CHEL3 (bo) en CHRS (onder) se aanpasbare Hough en interpolasie.*



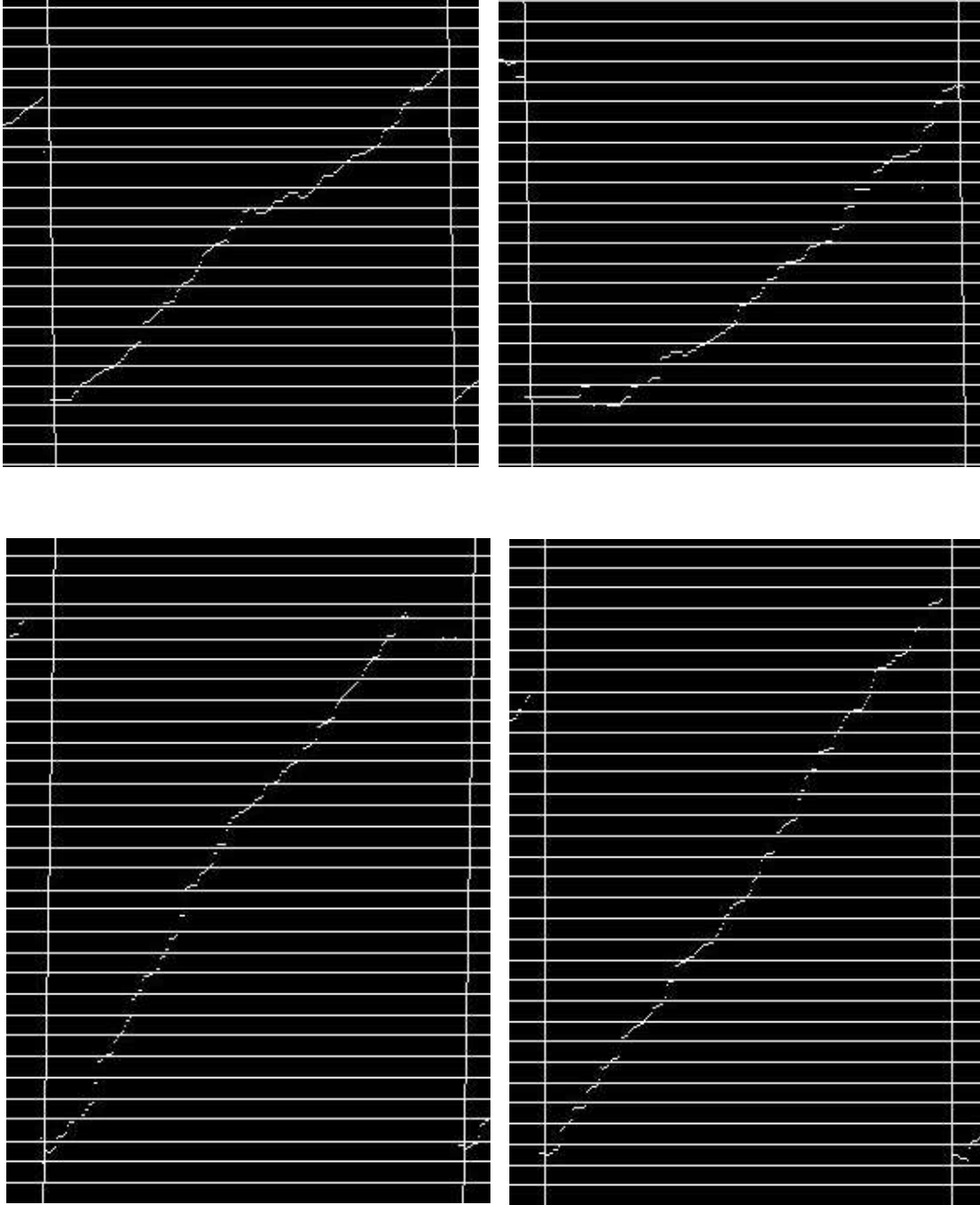
*Figuur A.26: Uur 7 (bo) en 9 (onder) van GHVN se aanpasbare Hough en interpolasie.*

## A.6 Samevoeging

Na al drie die voorgrondelemente gesegmenteer is, kan hulle saamgevoeg word om die finale verbeterde beeld te vorm. Die figure hieronder toon die saamgevoegde beelde soos in hoofstuk 3.5.4 op bl. 71. bespreek. Slegs die deel van die beelde wat die datareeks bevat word getoon.



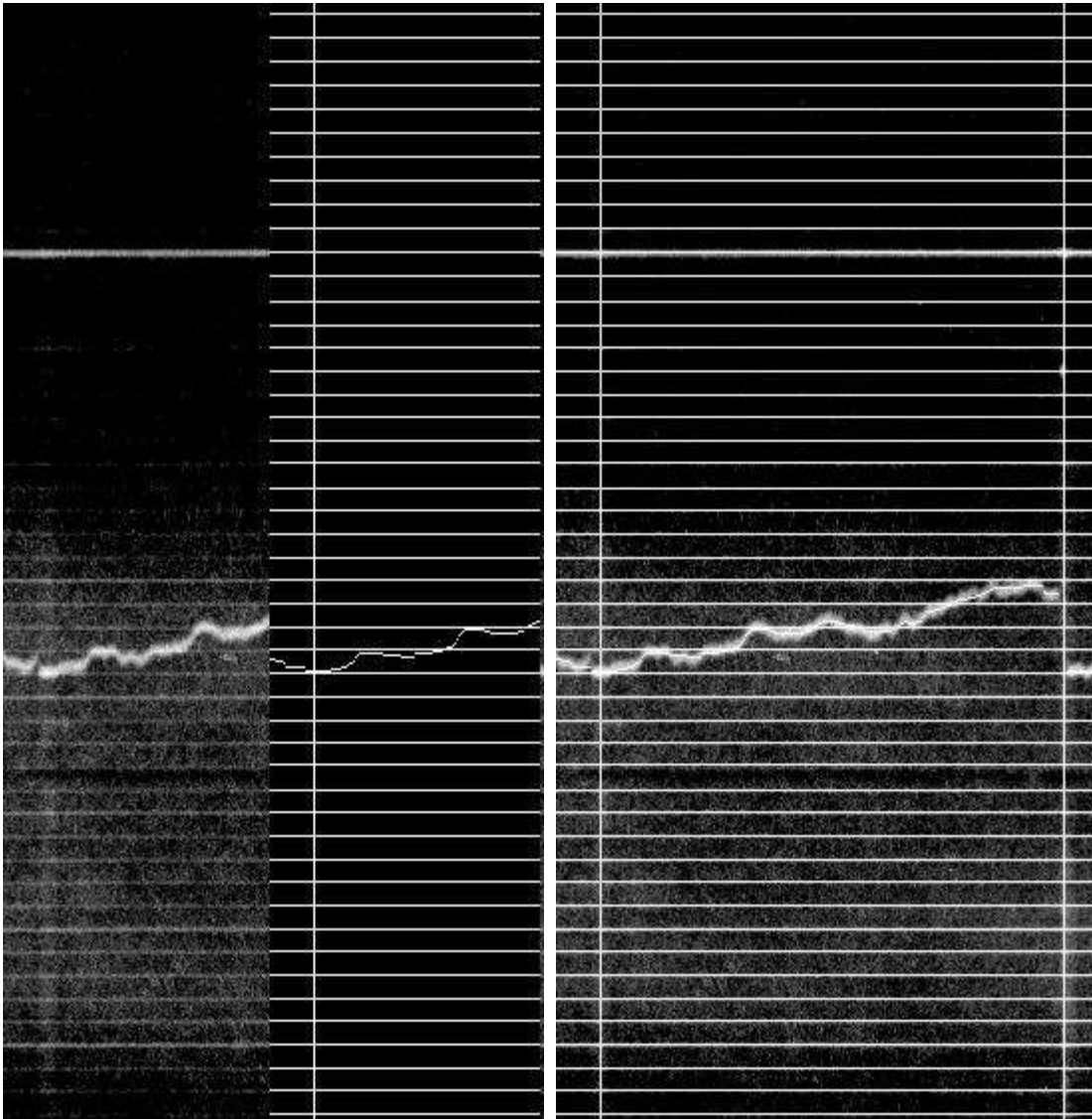
*Figuur A.27: Finale verbeterde beeld van CHEL1 (bo), HUAN (onder), uur 4 en 8.*



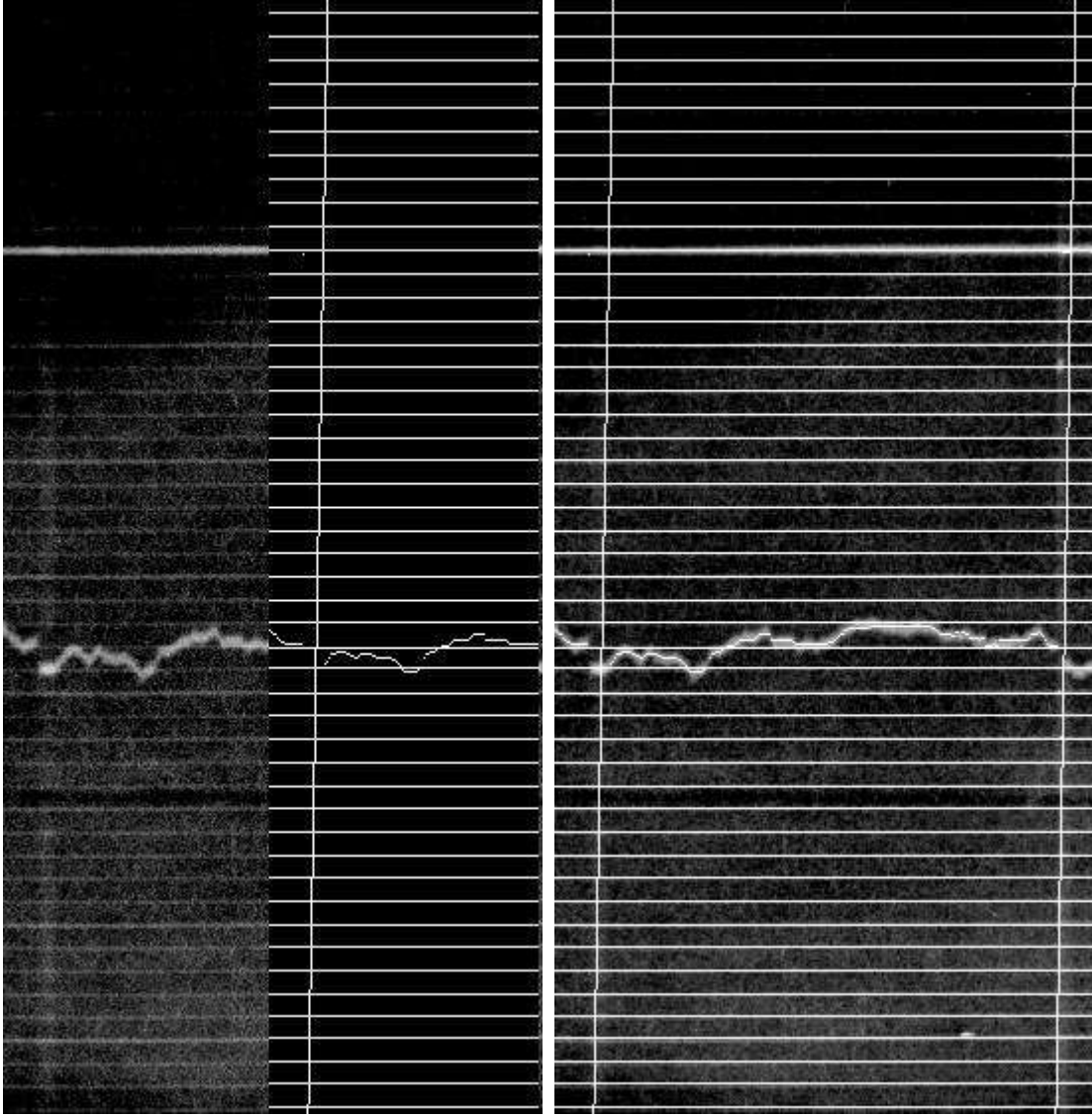
*Figuur A.28: Finale verbeterde beeld, uur 4 van CHEL3 en CHRS (bo), asook uur 7 en 9 van GHVN (onder).*

## A.7 Vergelyking

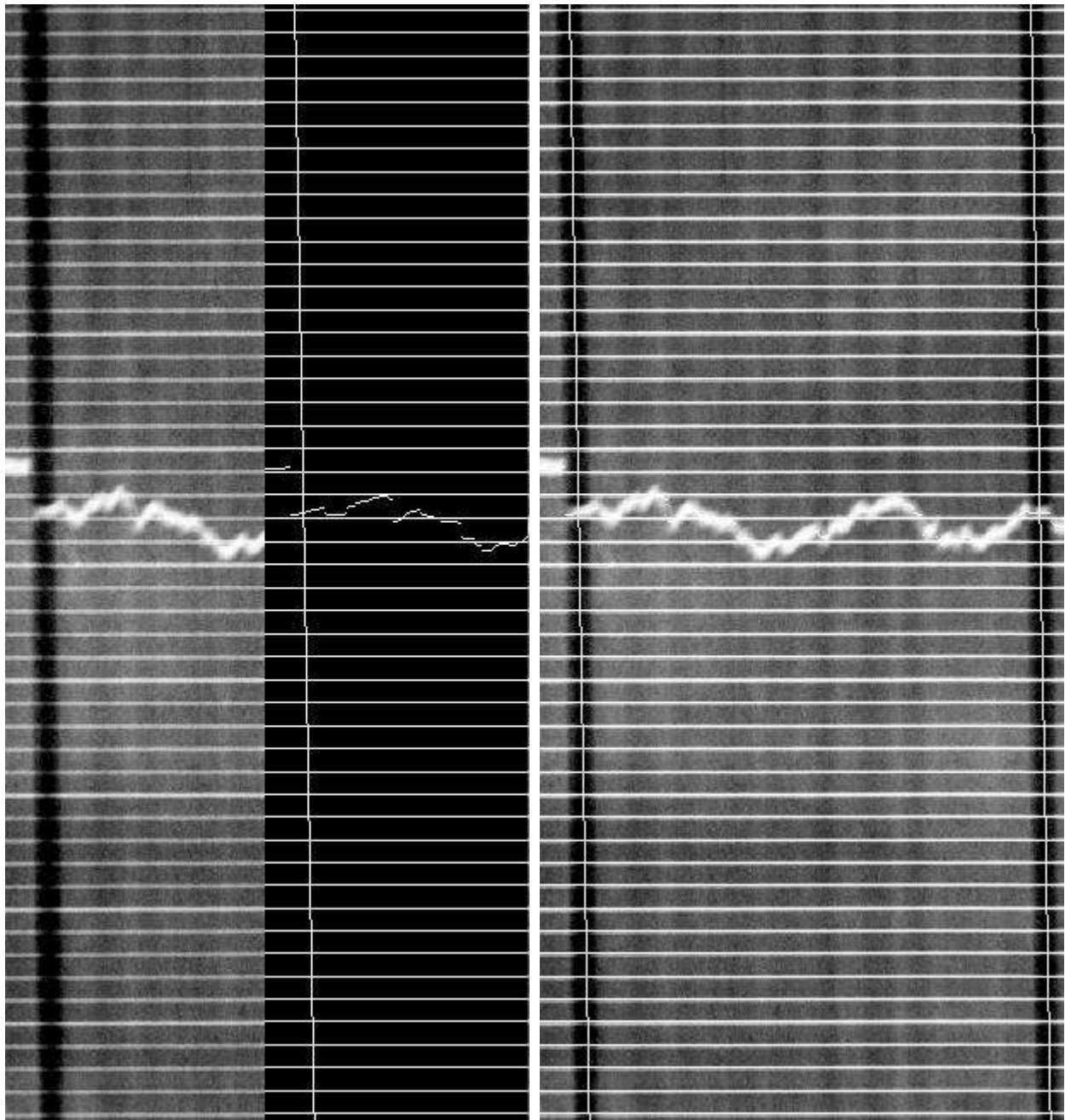
Na die beeldverbetering voltooi is, word die resultate vergelyk met die oorspronklike beeld om sukses te bepaal (hoofstuk 3.2.3.1 op bl. 44). Die volgende figure toon hierdie saamgevoegde beelde. Hierdie vergelyking word bespreek in hoofstuk 4.3.4 op bl. 81.



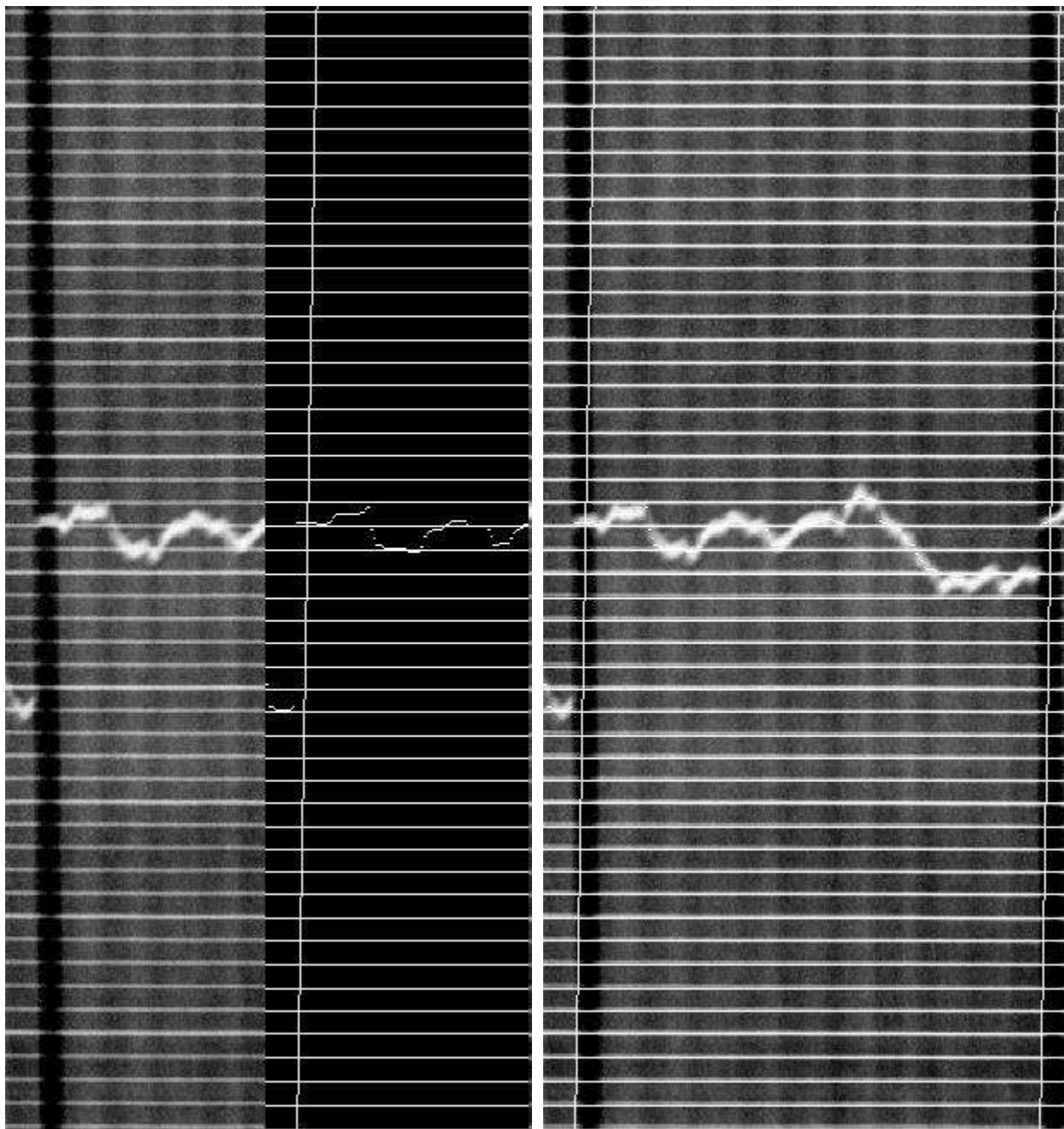
*Figuur A.29: Vergelyking van CHEL1, uur 4.*



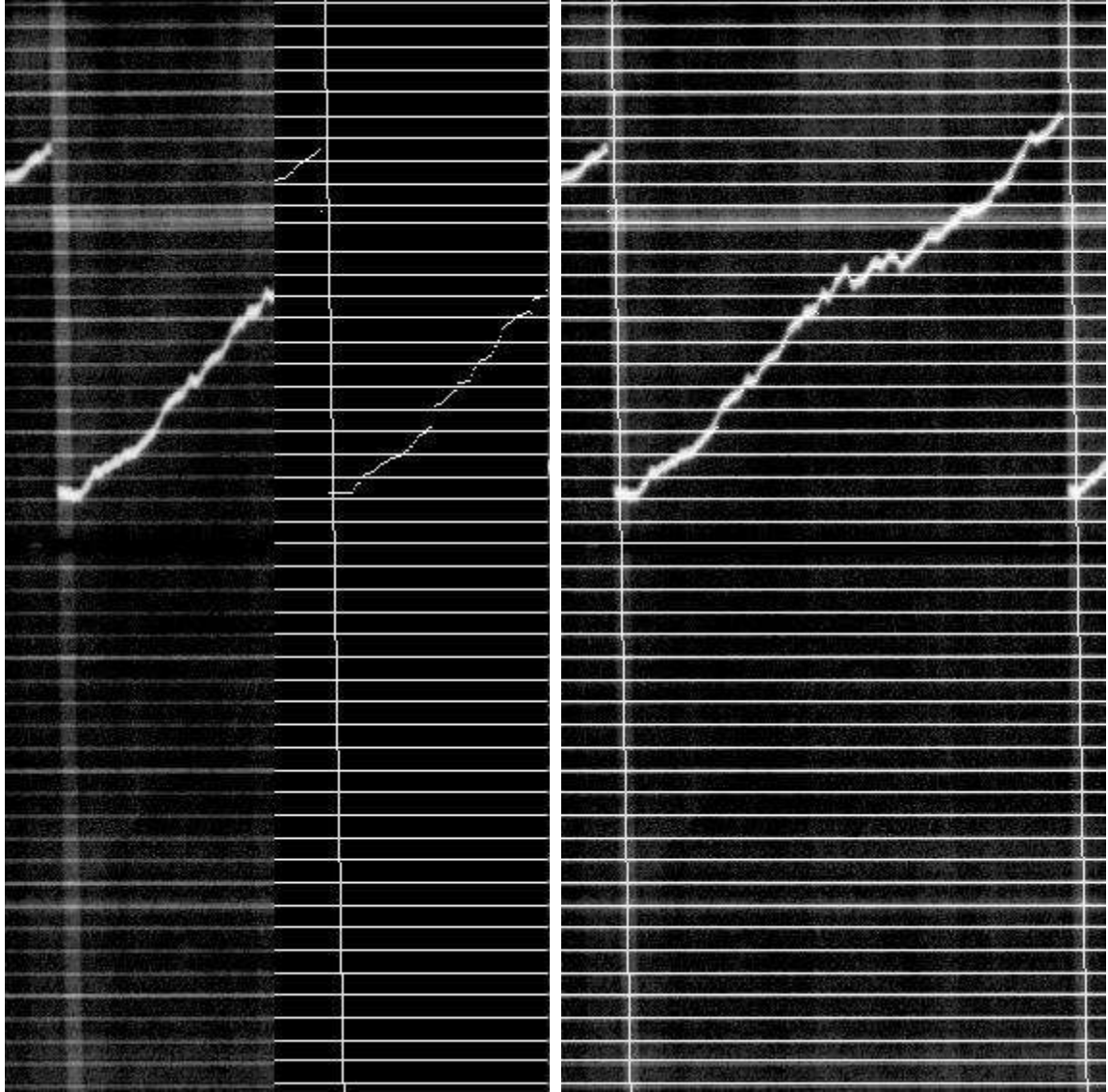
*Figuur A.30: Vergelyking van CHEL1, uur 8.*



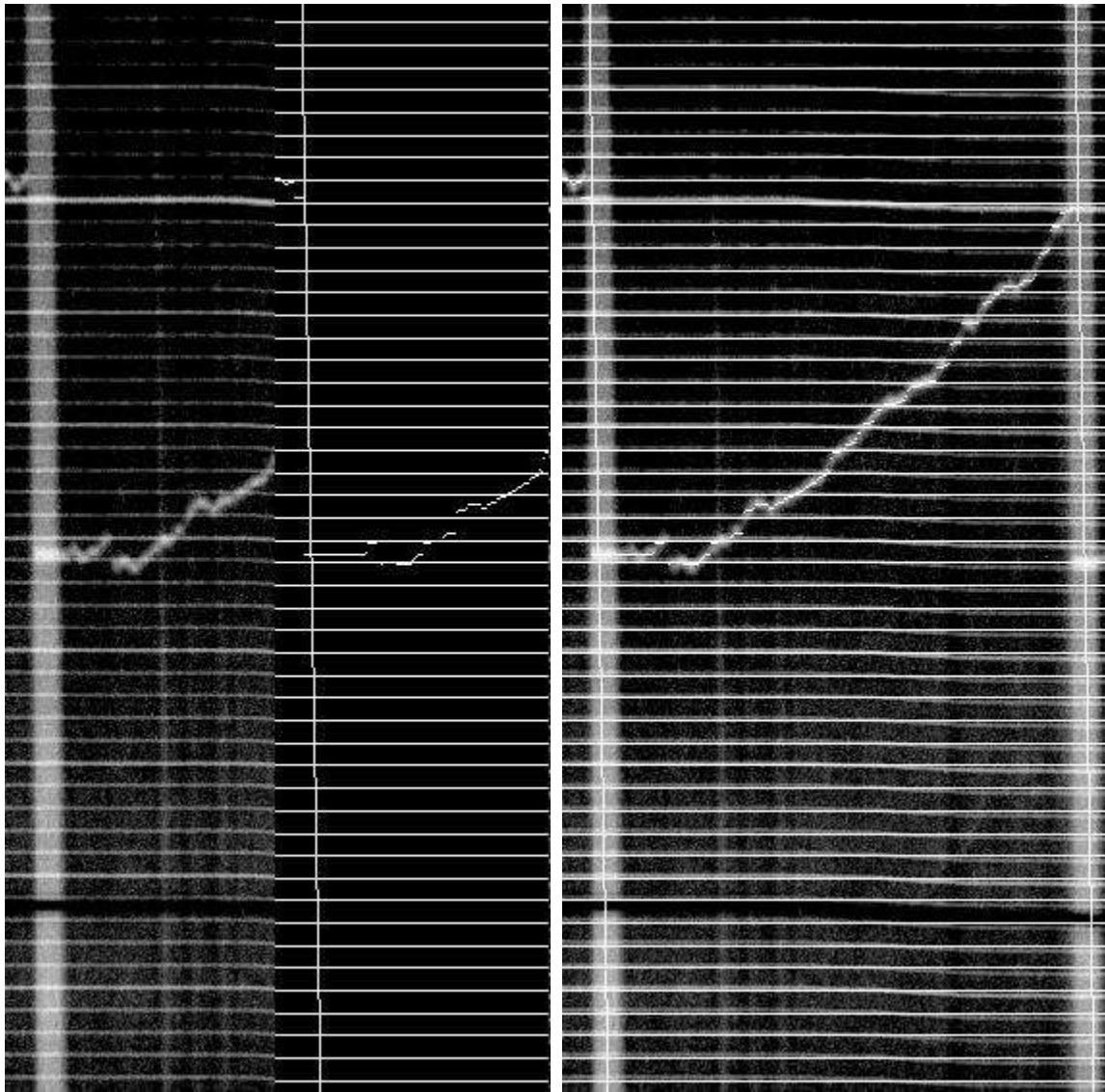
*Figuur A.31: Vergelyking van HUAN, uur 4.*



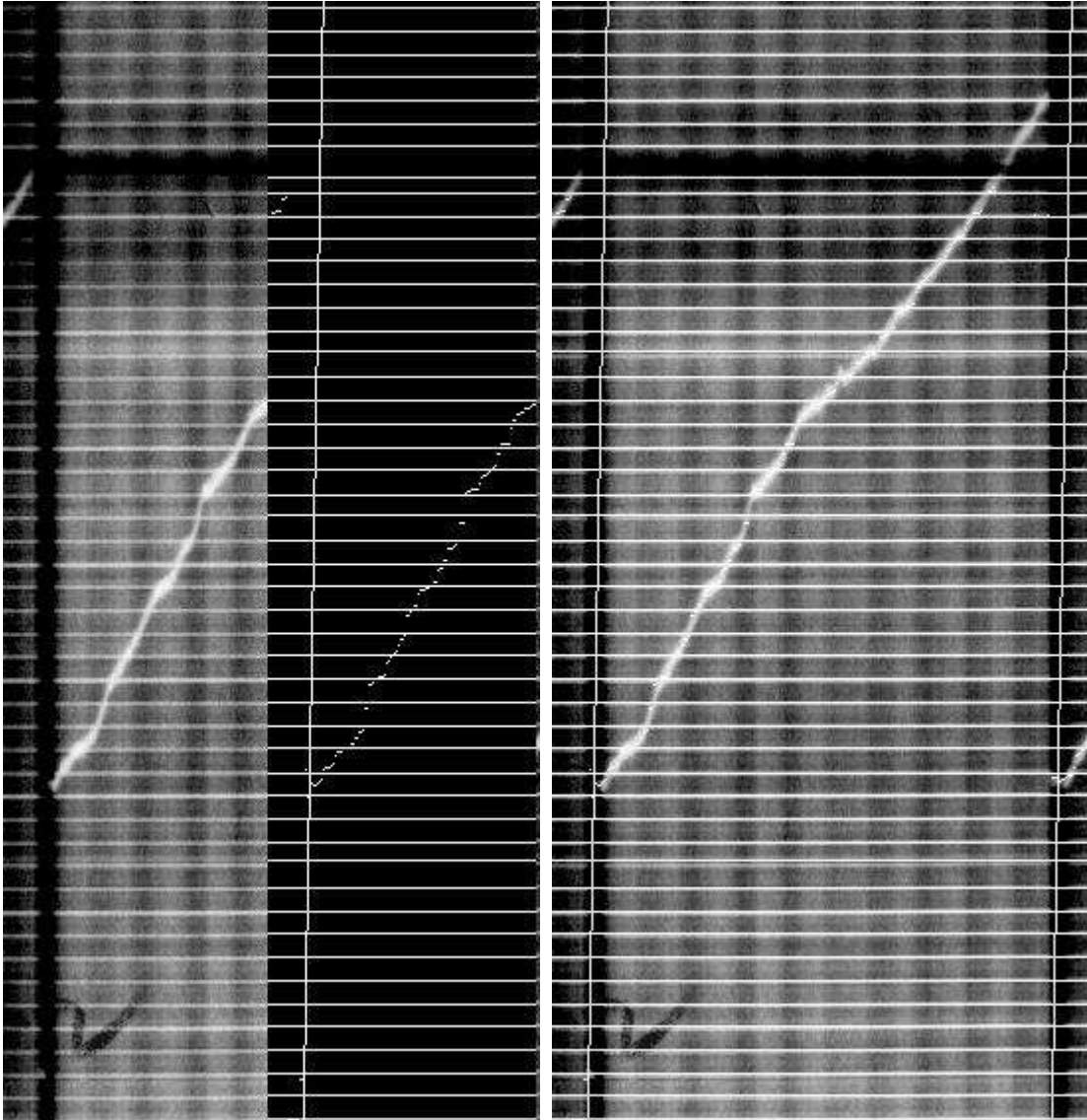
*Figuur A.32: Vergelyking van HUAN, uur 8.*



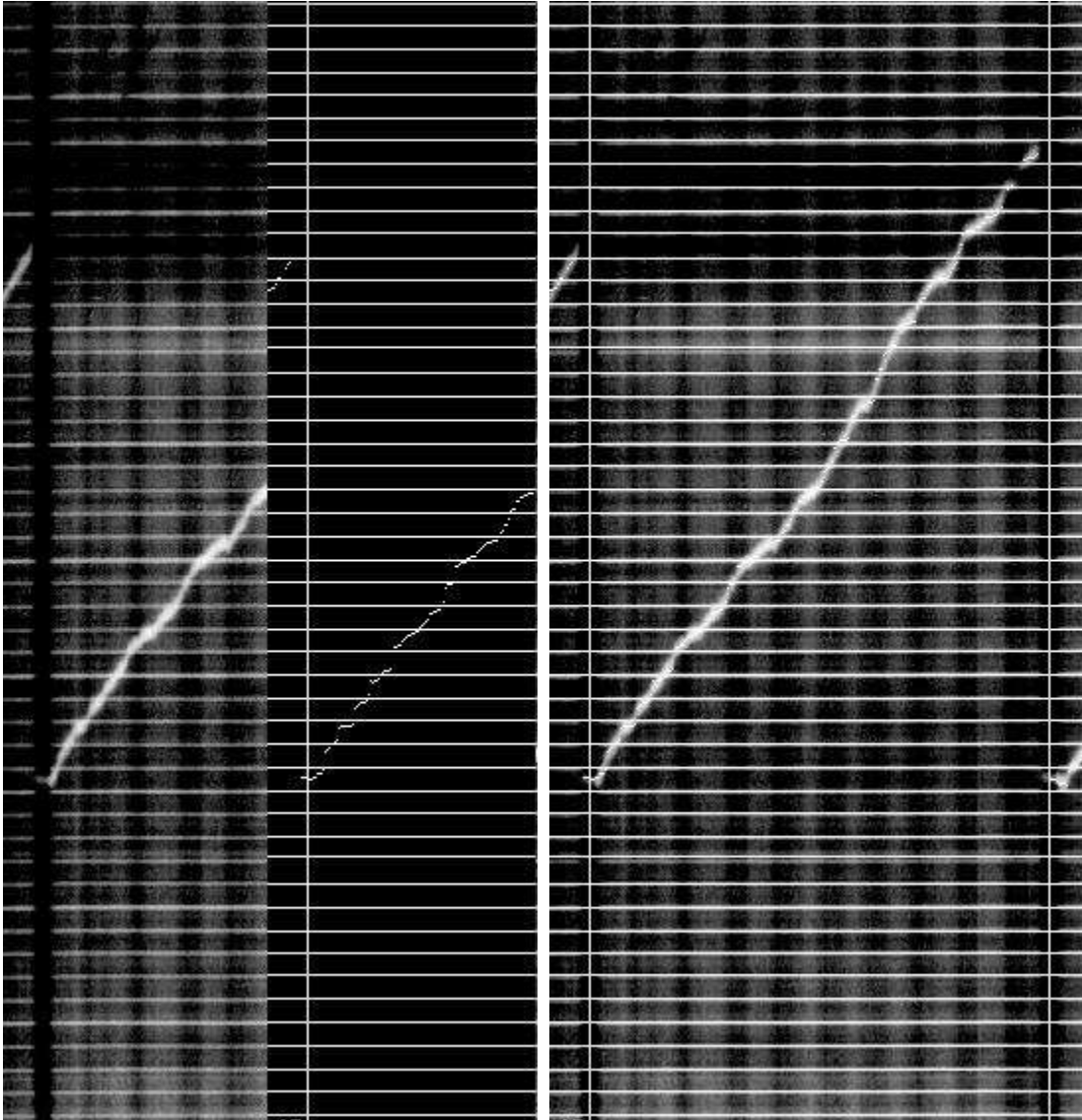
*Figuur A.33: Vergelyking van CHEL3, uur 4.*



*Figuur A.34: Vergelyking van CHRS, uur 4.*



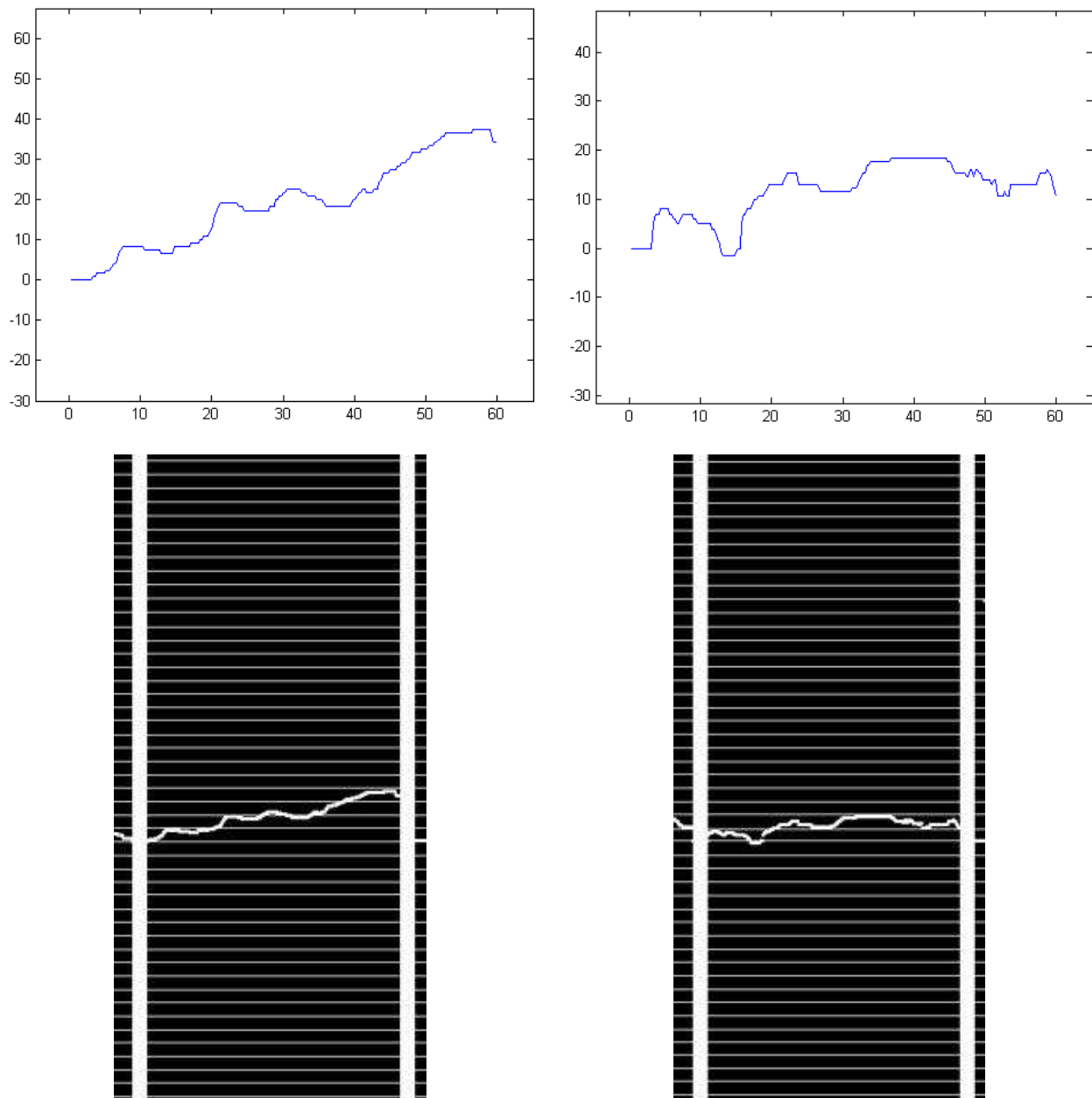
*Figuur A.35: Vergelyking van GHVN, uur 7.*



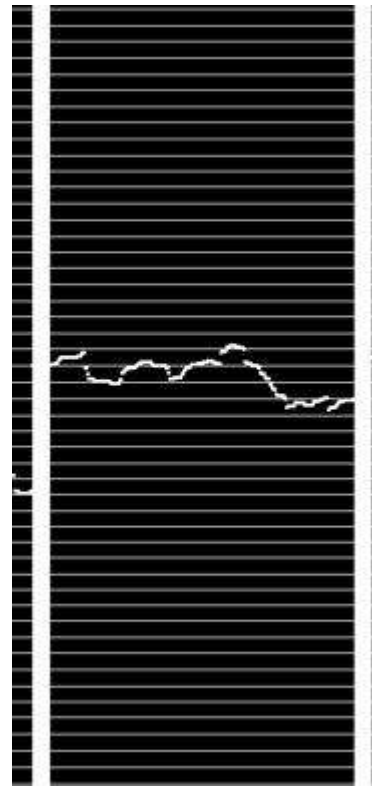
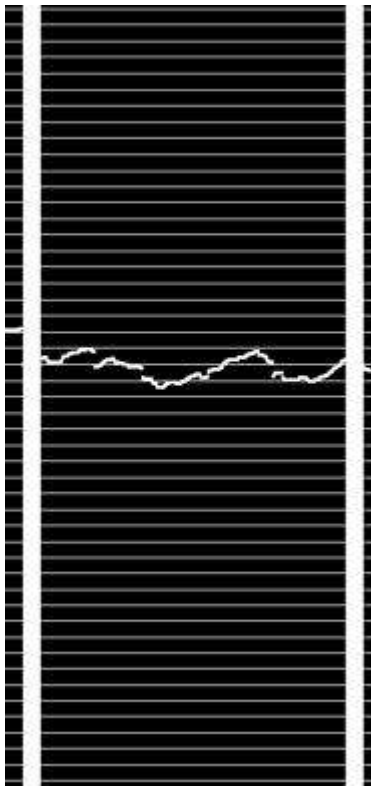
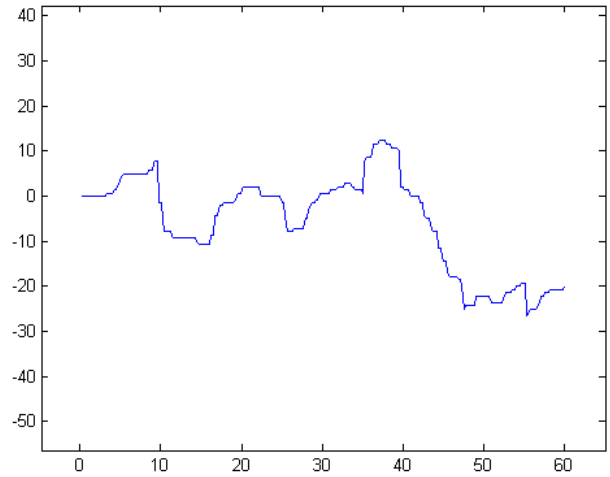
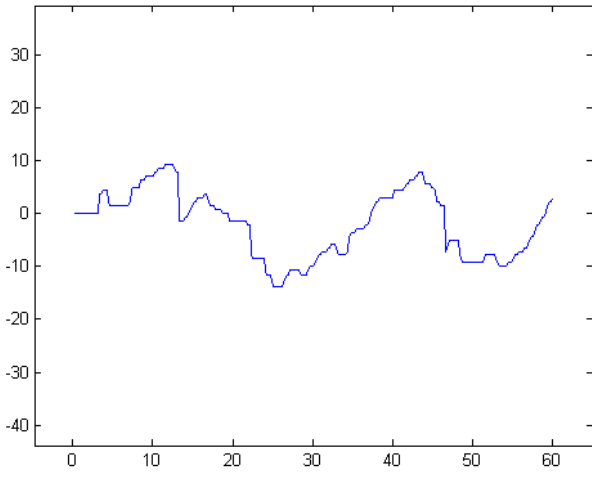
*Figuur A.36: Vergelyking van GHVN, uur 9.*

## A.8 Versyfering

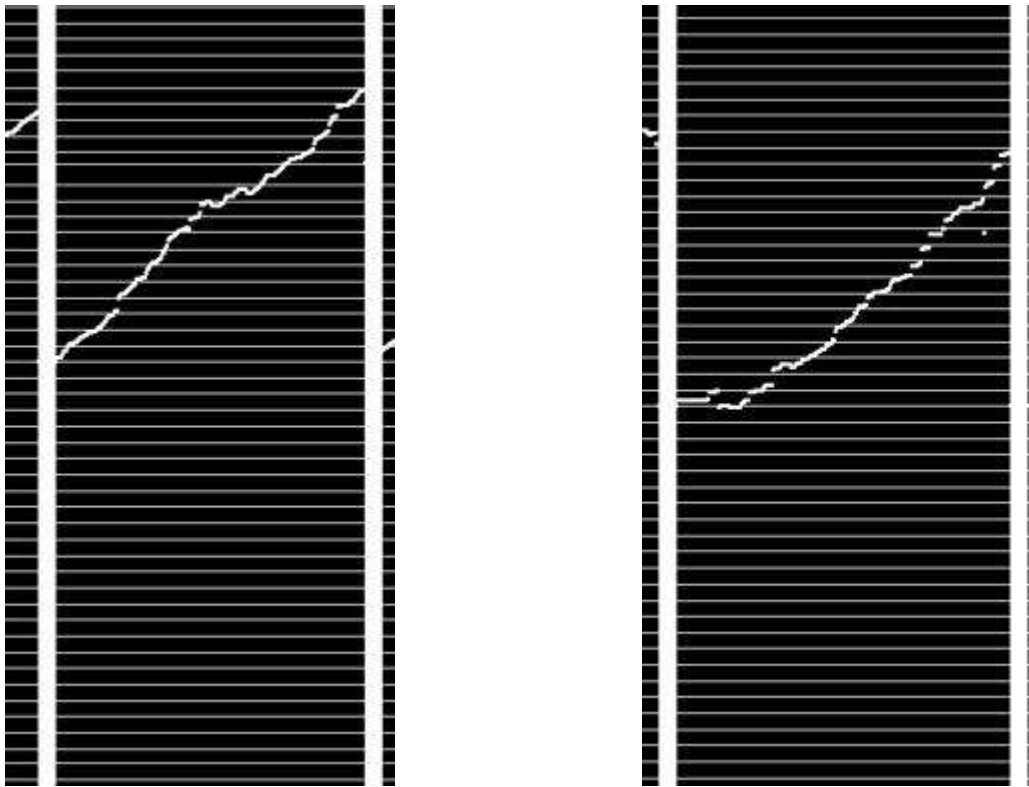
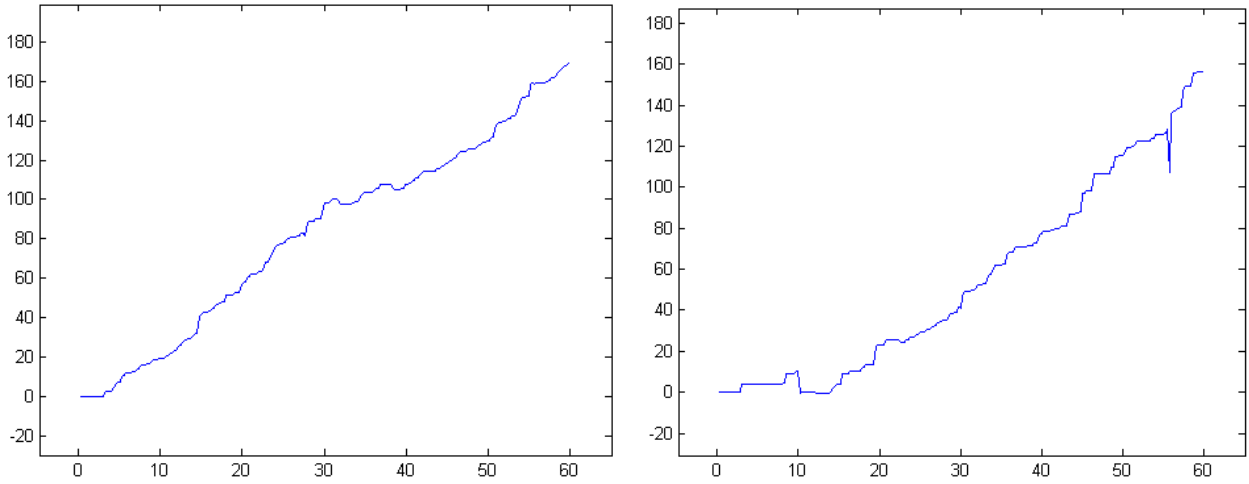
Die beelde is nou reg om versyfer te word. Hierdie versyferingsproses word in hoofstuk 3.6.1 op bl. 72 bespreek. Die volgende figure toon die datareeks soos dit versyfer is met 'n skaallynafstand van tien (vertikale as). Die horisontale as toon die minute van die onttrekte uur. Die onderste beeld van elke figuur toon die finale verbeterde beeld met dik uurmerkers, uit versyfering kan die uurmerkers verdik word aangesien daar kan bepaal word hoe wyd drie minute (die dikte van uurmerkers) is. Die resultate word bespreek in hoofstuk 4.4.1 op bl. 83.



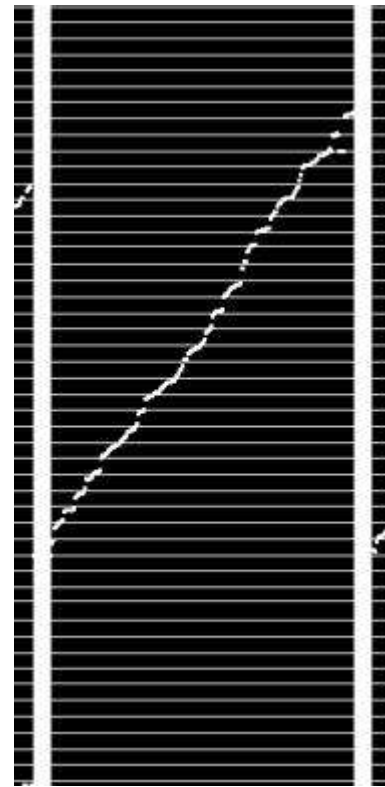
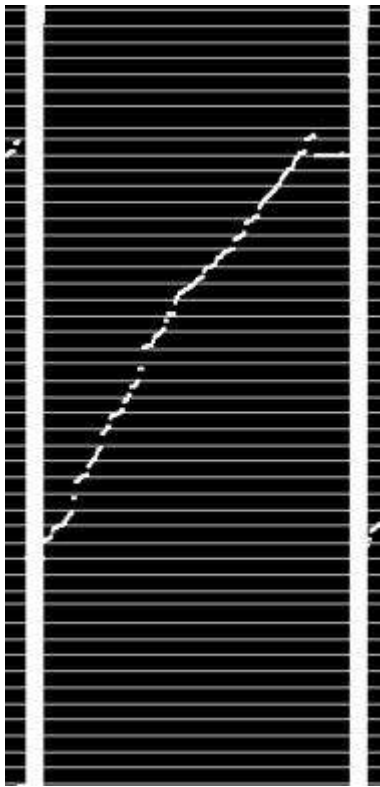
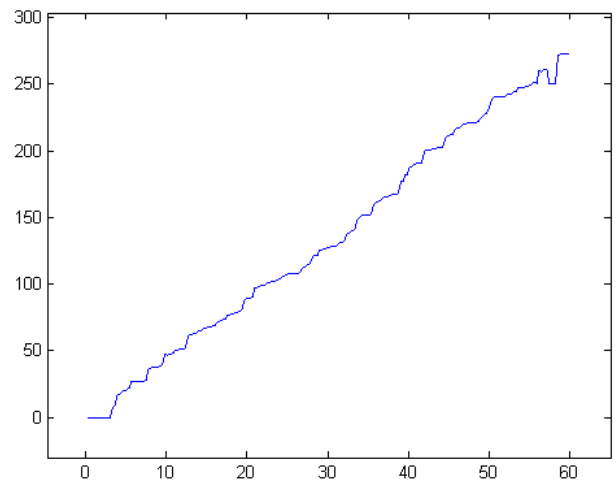
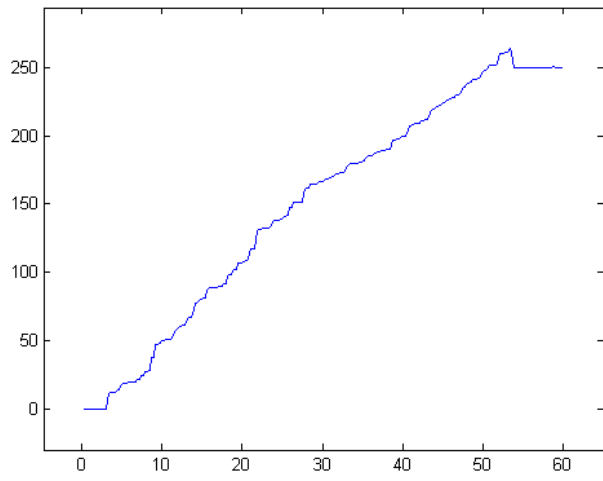
*Figuur A.37: Die versyfering van CHEL1, uur 4 en 8.*



*Figuur A.38: Die versyfering van HUAN, uur 4 en 8.*



*Figuur A.39: Die versyfering van uur 4 van CHEL3 en CHR3.*



*Figuur A.40: Die versyfering van GHVN, uur 7 en 9.*

# **Bylaag B – Artikel (PRASA 2008)**

# Evaluating techniques to binarize historic cosmic-ray data

## *ABSTRACT*

Two adaptive image binarization techniques are evaluated to find the algorithm best suited for the binarization of historic cosmic-ray data. The two techniques are implemented and their parameters are manipulated to find an optimal binarization for each of them. They are then compared to each other in order to choose the best suited technique.

## *1. INTRODUCTION*

Due to the research on cosmic-rays in the 1930's, the Carnegie Institute in Washington DC instigated the construction of cosmic-ray observation centres around the world [4]. Cosmic-ray activity was recorded using the model C cosmic-ray ionization chamber which uses a Lindemann electrometer. The shadow of the electrometer needle was projected onto a continuously moving strip of 60 mm photographic paper. Barometric pressure and temperature of the cosmic-ray meter was also recorded. Hour markers were recorded by dimming the lamp for 3 minutes at the start of each hour, while also grounding the ionization chamber. By grounding the ionization chamber the electrometer needle was returned to the zero position [2].

Six ionization chambers were built and installed at six stations around the world. Approximately 114 station-years of data were recorded. Photographic paper moved an inch an hour giving approximately a 25 km strip of photographic record.

Figure 1 shows one of these photographic recordings. It is important to digitize these recordings in order to preserve it for further research [7]. The first step in digitizing these recordings is to threshold a digital copy using adaptive document image binarization techniques. Two techniques will now be described.

## *2. ADAPTIVE BINARIZATION TECHNIQUES*

Adaptive image binarization is the process of thresholding a grey-level image to form an image containing only two values, black and white (thus, a binary image). It is adaptive in the sense that the threshold depends on the statistics of the image.

The general goal of adaptive binarization is to separate foreground regions from background regions [1]. We will now describe two techniques that seem to be promising to binarize historic cosmic-ray data.

### *2.1. SAUVOLA & PIETIKÄINEN*

Sauvola & Pietikäinen [6] suggested a binarization technique where the document is considered to be a collection of subcomponents such as text, background and image elements. Textual elements are typically bi-valued while image elements are multi-valued (grey-level). This is true for most applications of adaptive binarization, but for the purpose of binarizing historic cosmic-ray data the assumption is made that the document is bi-valued, therefore handled as text.

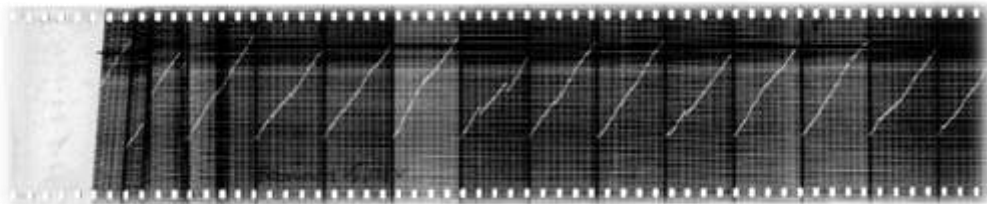


Figure. 1: Photographic paper with cosmic-ray recordings.

Their binarization of textual components is a modified version of Niblack's [5] algorithm. For each pixel the neighbouring pixels, called a window, are used to calculate a threshold for the pixel. The threshold is computed using the dynamic range of the standard deviation,  $R$ . The local mean,  $m$ , is also used to calculate a variable threshold:

$$T(x, y) = m(x, y) \cdot \left[ 1 + k \cdot \left( \frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

where  $s(x, y)$  is the local standard deviation and  $k$  is a user defined parameter usually set to 0.2 by Sauvola & Pietikäinen [6]. The window size is generally 10-20 pixels wide [6]. This provides a dynamic threshold and is the first adaptive binarization technique to be evaluated on historic cosmic-ray data.

## 2.2. GATOS, PRATIKAKIS & PERANTONIS

Gatos *et al.* [3] describe a technique that requires very little parameter manipulation. Although this might be true for textual binarization we will later see that parameter manipulation plays a big role in binarizing cosmic-ray data. The method consists of five steps which will now be described.

### Pre-processing

A Wiener filter is first implemented to eliminate noise and enhance the contrast between the foreground and the background:

$$I(x, y) = \mu + (\sigma^2 - v^2)(I_s(x, y) - \mu)/\sigma^2, \quad (2)$$

where  $\mu$  is the local mean,  $\sigma^2$  the variance of a  $3 \times 3$  neighbourhood around each pixel and  $v^2$  is the average of all estimated variances for each pixel in the neighbourhood [3].

### Rough estimation of foreground regions

A rough estimation of foreground regions is done. Sauvola and Pietikäinen's technique is used as described in section 2.1 [6].

### Background surface estimation

The background is extracted from the Wiener filtered image. The image,  $S(x, y)$ , obtained in the previous step is used. For every foreground element in  $S(x, y)$  a background value is computed using a neighbourhood average of background pixels [3]:

$$B(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{if } S(x, y) = 1, \\ \frac{\sum_{ix=x-dx}^{x+dx} \sum_{iy=y-dy}^{y+dy} (I(ix, iy)(1 - S(ix, iy)))}{\sum_{ix=x-dx}^{x+dx} \sum_{iy=y-dy}^{y+dy} (1 - S(ix, iy))} & \text{if } S(x, y) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Equation (3) is slightly different from the one used by Gatos *et al.* [3]. Gatos uses a value of 1 for black (foreground) and 0 for white (background) while this paper uses an image processing standard described by Gonzalez and Woods [8] where 0 is black and 1 is white, black is considered foreground. Notice the difference in the "if", having a 1 for background and a 0 for foreground.

### Final thresholding

Using the background image and once again the filtered image the final threshold is based on the difference between  $I(x, y)$  and  $B(x, y)$ . If the difference exceeds the threshold

$$d(B(x, y)) = q\delta \left( \frac{(1 - p_2)}{1 + \exp\left(\frac{-4B(x, y)}{b(1 - p_1)} + \frac{2(1 + p_1)}{(1 - p_1)}\right)} \right) \quad (4)$$

with  $q = 0.6$ ,  $p_1 = 0.5$  and  $p_2 = 0.8$  [3] it is considered background otherwise foreground, as in equation (5).

$$T(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } B(x, y) - I(x, y) > d(B(x, y)), \\ 1 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

The average background ( $b$ ) is calculated as follows:

$$b = \frac{\sum_x \sum_y (B(x, y))(1 - S(x, y))}{\sum_x \sum_y (1 - S(x, y))}, \quad (6)$$

and the average distance between the foreground and background ( $\delta$ ):

$$\delta = \frac{\sum_x \sum_y (B(x, y) - I(x, y))}{\sum_x \sum_y S(x, y)}. \quad (7)$$

The values of the constants  $q, p_1$  and  $p_2$  are not too sensitive in textual binarization. In our experiments it was clear that they do indeed play a big role in binarizing cosmic-ray data. More about this in section 3.

### Post-processing

Post-processing involves techniques like erosion and dilation to close gaps in foreground elements and depends on the result,  $T(x, y)$ . This step is beyond the scope of this paper.

## 3. EXPERIMENTS

The mean squared error (MSE) is used to compare the binarized image to a manually created binarization, see figure 3(b). MSE tells us what percentage of the binarized image is wrong.

Two images, CHEL01 (figure 3(a), recorded on 17 Nov. 1949) and CHEL02 (figure 6, recorded on 23 Feb. 1942), are used in our experiments. These images were obtained by scanning the photographic recordings at a resolution of 600 dpi and 8 bits per pixel using an Epson Perfection 4490 Photo scanner. Both these images are extracts of an hour's data from the cosmic-ray measurement station situated at Cheltenham. At first glance it is clear that CHEL01 is a little bit more detailed and lighter than CHEL02.

Our goal is to binarize CHEL01 to match it's manually created binarization (figure 3(b)) as closely possible. CHEL02 is used to test the optimal binarization with a different input. Both methods discussed in section 2 have parameters that can be manipulated to improve their performance. These parameters will be manipulated to achieve our goal. We will start by using different filters.

### 3.1. FILTERS

Gatos *et al.* [3] implements a  $3 \times 3$  Wiener filter before any binarization is done. The result of using this filter with Sauvola's method (figure 4(a)) and with Gatos's method (figure 5(a)) shows limited success. The blurring effect of the mask seems to degrade the binarization of cosmic-ray data. Table 1 shows an MSE of 25.8278 for Gatos and 27.8515 for Sauvola was obtained (table 1), therefore 25% of the image is binarized incorrectly, not something to get excited about! Increasing the Wiener filter's size resulted in even worse results. It is therefore clear that the Wiener filter is not an optimal choice.

A median filter was evaluated next. It, however, resulted in MSE's greater than 30. Better results were obtained using a Gaussian low-pass filter. Increasing the radii of the filter (in effect filtering the image less and less) resulted in better MSE's. It was concluded that using no smoothing filter and using the image in it's original form gives the best result. Using no filter resulted in a MSE of 25.1633 for Gatos and 28.7921 for Sauvola.

As an alternative the use of sharpening filters were also considered. A vertical Sobel operator was used to sharpen vertical edges. The mask used is given by Gonzalez and Woods [8] and is shown in figure 2. This resulted in an optimal filter with an MSE of 24.6936 for Gatos as seen in figure 5(b). Sauvola's best effort however was using the Wiener filter. Horizontal sharpening masks was also tested but with no success.

Therefore, the optimal filter to use with cosmic-ray data is a vertical sharpening spatial filter.

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

Figure 2: Vertical Sobel operator.

### 3.2. WINDOW SIZE

Sauvola computes each pixel threshold by looking at a neighbourhood of pixels around it, called the window. This window was originally set as a square window of size  $10 \times 10$  pixels. Our aim now is to experiment with the window size to determine the optimal size.

As we are mainly concerned with extracting lines it was decided to rather use a rectangular window than a square window. Experiments were done with a vertical window of size  $50 \times 10$  and a horizontal window of size  $10 \times 50$ . The best results were obtained with a vertical window although they were not better than results obtained with the normal  $10 \times 10$  square window. A smaller vertical window ( $20 \times 10$ ), however, resulted a MSE of 24.5329 for Gatos. For Sauvola, using a Wiener filter instead of a sharpening filter with this window resulted in an optimal threshold. The MSE for Sauvola was 27.5350. This result is shown in figure 4(c).

### 3.3. CONSTANT PARAMETERS

Both Gatos and Sauvola provide constant parameters. These are not very sensitive with normal binarization but proved to be useful for the binarization of cosmic ray data.

The first parameter ( $k$  in eq. (1)) is the only constant used by Sauvola. The default value of 0.2 was suggested by Sauvola. Changing the value of  $k$  resulted in poor thresholding. It was found that  $k = 0.2$  is optimal. This result is shown in the shaded cell in table 1.

Gatos has 3 parameters,  $q, p_1$  and  $p_2$  (eq. (4)). Gatos *et al.* [3] states that the method is not very sensitive regarding the values of these parameters. It was however found that his is not the case with cosmic-ray data. For CHEL01 increasing these constants to just less than 1 resulted in MSE's of less than 20. However, the opposite was true for CHEL02 where values close to 0 gave the best results.

Up to now what worked for CHEL01 worked for CHEL02, however, it is now clear that the average grey-level of an image influences the parameters of Gatos (CHEL01 and CHEL02 only differ in their average grey-level). The parameters was set to  $q = 0.8, p_1 = 0.9$  and  $p_2 = 0.6$  for CHEL01 and  $q = 0.1, p_1 = 0.2$  and  $p_2 = 0.3$  for CHEL02, therefore high values for the parameters where the mean grey-level of the image is low and low values where the mean grey-level of the image is high. These values were obtained by trial and error.

### 3.4. BACKGROUND WINDOW SIZE

The only parameter left to manipulate is the size of the window used to extract the background as in equation (3). Gatos suggests a square window size of  $20 \times 20$  pixels. Again rectangular windows were used but with no real success. This time using larger square windows gave better results. Using the whole image as a window, therefore doing the background extraction globally, gave the best result. This resulted in our most optimal binarization, a MSE of 19.0272, see figure 5(e). The background image extracted is seen in figure 5(d).

All the results are shown in section 4 and summarized in table 1. for CHEL01 and table 2 for CHEL02.

### 3.5. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The obvious conclusion is that Gatos *et al.* [3] provides the best method for binarizing historic cosmic-ray data. It is necessary to develop a method of automatically assigning values to the parameters using the statistics of the image. Because Gatos uses the method of Sauvola & Pietikäinen [6], their method is just as important.

The method of Gatos *et al.* [3] seems to be a good starting point to develop a method for accurately binarizing historic cosmic ray data.

As was mentioned earlier post-processing techniques such as erosion and dilation to close gaps in foreground elements should also be investigated.

The methods described in this paper were compared to a manually extracted binarization. This manually extracted binarization is however not necessarily perfect. A synthetic image should therefore also be developed. Such a synthetic image would be created starting with a binary image which is then degraded by the application of a point spread function and the addition of noise.

#### 4. RESULTS

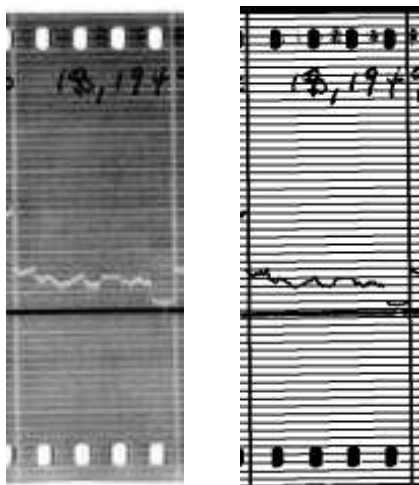


Figure 3: CHEL01 (a) & (b).

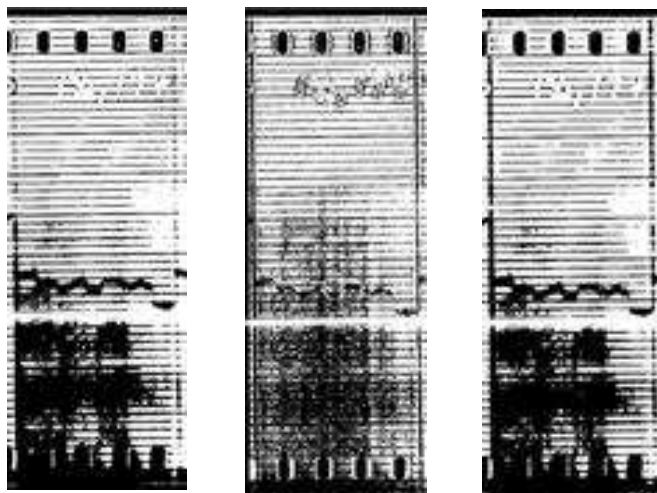


Figure 4: Sauvola & Pietikäinen (a), (b) & (c).

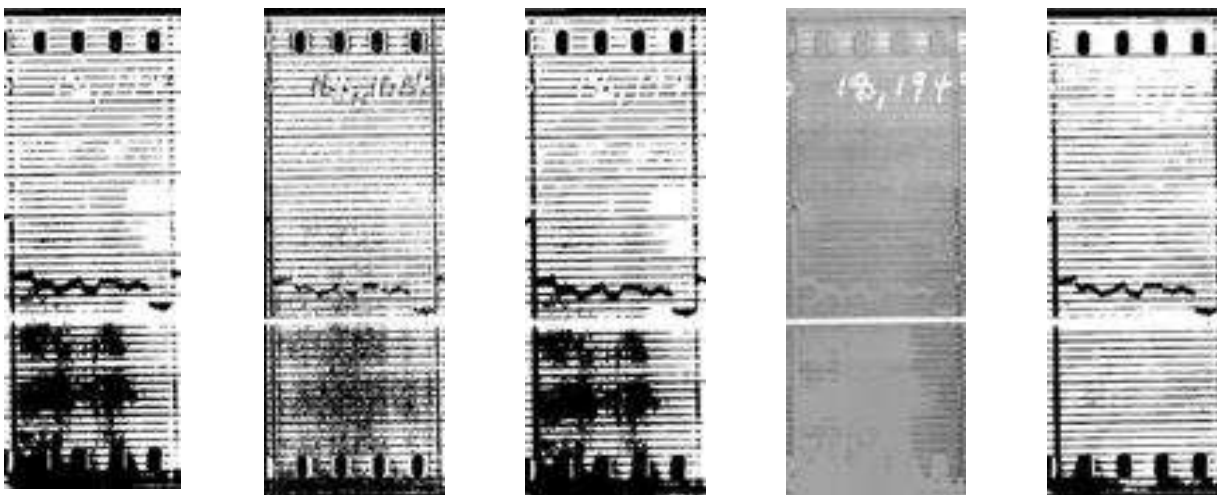


Figure 5: Gatos *et al.* (a), (b), (c), (d) & (e).

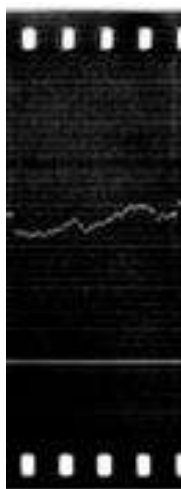


Figure 6: CHEL02.

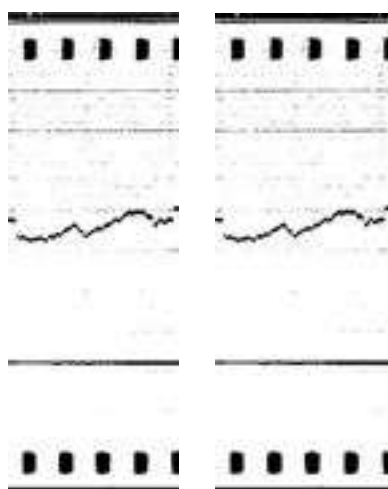


Figure 7: Sauvola & Pietikäinen (a) & (b).

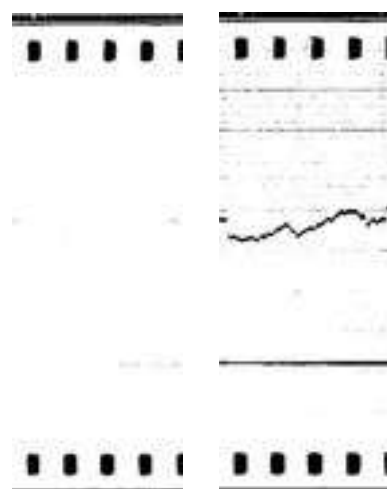


Figure 8: Gatos *et al.* (a) & (b).

Table 1: CHEL01 (Figure 4.1) binarization results.

| Parameters   |             |     |     |       |       |                        | MSE (%)               |              | Result figure             |
|--|-------------|-----|-----|-------|-------|------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|
| Filter   | Window size | $k$ | $q$ | $p_1$ | $p_2$ | Background window size | Sauvola & Pietikäinen | Gatos et al. |                           |
| 3 × 3 Wiener                                       | 10 × 10     | 0.2 | 0.6 | 0.5   | 0.5   | 20 × 20                | 27.8515               | 25.8278      | Fig 4.1 (a) & Fig 4.3 (a) |
| Sobel operator:<br>-1 0 1<br>-2 0 2<br>-1 0 1<br>, | 10 × 10     | 0.2 | 0.5 | 0.5   | 0.6   | 20 × 20                | 29.7636               | 24.6936      | Fig 4.1 (b) & Fig 4.3 (b) |
| Sobel operator                                     | 20 × 10     | 0.2 | 0.5 | 0.5   | 0.6   | 20 × 20                | 27.5350               | 24.9064      | Fig 4.1 (c) & Fig 4.3 (c) |
| Sobel operator                                     | 20 × 10     | 0.2 | 0.8 | 0.9   | 0.6   | Image size             | 28.4084               | 19.0272      | Fig 4.3 (e)               |

Table 2: CHEL02 (Figure 4.4) binarization results.

| Parameters     |             |     |     |       |       |                        | MSE (%)               |              | Result figure             |
|----------------|-------------|-----|-----|-------|-------|------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------|
| Filter         | Window size | $k$ | $q$ | $p_1$ | $p_2$ | Background window size | Sauvola & Pietikäinen | Gatos et al. |                           |
| Sobel operator | 20 × 10     | 0.2 | 0.5 | 0.5   | 0.6   | Image size             | 29.1682               | 39.4682      | Fig 4.5 (a) & Fig 4.6 (a) |
| Sobel operator | 20 × 10     | 0.2 | 0.1 | 0.2   | 0.3   | Image size             | 29.1682               | 28.8882      | Fig 4.5 (b) & Fig 4.6 (b) |

## 5. REFERENCES

- [1] H-D. Cheng, J. Chen and L-I. Jiguang, "Threshold selection based on fuzzy c-partition Entropy approach," *Pattern recognition*, vol. 31, no. 7, pp. 857-870, 1997.
- [2] A-H. Compton, E-O. Wollan and R-D. Bennett, "A precision recording cosmic ray meter," *The Review of Scientific Instruments*, vol. 5, pp. 415-422, Dec. 1934.
- [3] B. Gatos, I. Pratikakis and S-J. Perantonis, "Adaptive degraded document image binarization," *Pattern recognition*, vol. 39, no. 1, pp. 317-327, 2006.
- [4] S-E. Forbush and I. Lange, "Cosmic-Ray results from Huancayo observatory, Peru, June, 1936 – December, 1946," *Researches of the departement of terrestrial magnetism*, vol. 15, pp. 1-25, Dec. 1964.
- [5] W. Niblack, *An Introduction to Image Processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- [6] J. Sauvola and M. Pietikainen, "Adaptive document image binarization," *Pattern recognition*, vol. 33, no. 1, pp. 225-236, 2000.
- [7] National geophysical data center ([ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/COSMIC\\_RAY\\_S/ForbushArchives1935-1960/](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/COSMIC_RAY_S/ForbushArchives1935-1960/)).
- [8] R-C. Gonzalez and R-E. Woods, *Digital image processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.

# **Bylaag C – Artikel (EUROCON 2009)**

# EVALUATING METHODS TO BINARIZE HISTORIC COSMIC-RAY RECORDINGS

Tjaard du Plessis, Günther R Drevin

**ABSTRACT:** Three adaptive image binarization approaches are evaluated to find the method best suited for the binarization of historic cosmic-ray data. The methods are optimized by fine tuning their parameters and they are then compared to each other. Binarization of historic cosmic-ray data is essential to enhance foreground elements prior to their segmentation, extraction and digitization.

**INDEX TERMS:** Cosmic-Ray, Binarization.

## I. INTRODUCTION

Due to the research on cosmic-rays in the 1930's, the Carnegie Institute in Washington DC instigated the construction of cosmic-ray observation centres around the world [1]. Cosmic-ray activity was recorded using the model C cosmic-ray ionization chamber which uses a Lindemann electrometer. The shadow of the electrometer needle was projected onto a continuously moving strip of 60 mm photographic paper. Barometric pressure and temperature of the cosmic-ray meter was also recorded. Hour markers were recorded by dimming the lamp for three minutes at the start of each hour, while also grounding the ionization chamber. By grounding the ionization chamber the electrometer needle was returned to the zero position [2].

Six ionization chambers were built and installed at six stations around the world. Approximately 114 station-years of data were recorded. Photographic paper moved about 25 mm an hour giving approximately a 25 km strip of photographic record.

It is important to digitize these recordings in order to preserve them for further study of cosmic-rays from this time period. The digitizing of cosmic-ray recordings involves the process of transforming the recording image into numbers. The recording will be digitized to one minute accuracy. Binarizing these recordings will also preserve it in a clear format enabling future research [3].

The first step in digitizing these recordings is to threshold a digital copy using adaptive document image binarization methods, in this way the foreground elements can be enhanced prior to segmentation, extraction and finally digitization.

## II. ADAPTIVE BINARIZATION METHODS

The general goal of adaptive binarization is to separate foreground regions from background regions [4]. We will now describe three methods that seem to be promising to binarize historic cosmic-ray data.

### A. Sauvola & Pietikäinen

Sauvola & Pietikäinen [5] suggested a binarization method where the document is considered to be a collection of subcomponents such as text, background and image elements. Textual elements are typically bi-valued while image elements are multi-valued (grey-level). For the purpose of binarizing historic cosmic-ray data the assumption is made that the document is bi-valued, therefore handled as text.

Their binarization of textual components is a modified version of Niblack's [6] algorithm. For each pixel the neighbouring pixels, called a window, are used to calculate a threshold for the pixel:

$$T(x, y) = m(x, y) \cdot \left[ 1 + k \cdot \left( \frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

where  $m(x, y)$  is the local mean,  $s(x, y)$  is the local standard deviation,  $k$  is a user defined parameter,  $R$  is the dynamic range (difference of the maximum and minimum value) of the local standard deviations. This threshold is then used to obtain the binarized image  $S(x, y)$ .

Sauvola & Pietikäinen [5] suggested a value of 0.2 for the parameter  $k$ . Although they refer to the window as being a rectangular window it is set to a square window of 10-20 pixels wide [5]. This provides a dynamic threshold and is the first adaptive binarization method to be evaluated on historic cosmic-ray data.

### B. Gatos, Pratikakis & Perantonis

Gatos *et al.* [7] describe a method that requires very little parameter manipulation. Although this might be true for textual binarization we will later see that parameter manipulation plays a big role in binarizing cosmic-ray data. The method consists of five steps which will now be described.

The first step is implementing a Wiener filter to eliminate noise and enhance the contrast between the foreground and the background [7].

In the second step a rough estimation of foreground regions  $S(x, y)$  is obtained using Sauvola and Pietikäinen's method as described in section A [5].

The third step is a background surface estimation: The background is extracted from the Wiener filtered image. For every foreground element in  $S(x, y)$  a background value is computed by a neighbouring pixel interpolation [7]:

$$B(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{if } S(x, y) = 0, \\ \frac{\sum_{ix=x-dx}^{x+dx} \sum_{iy=y-dy}^{y+dy} (I(ix, iy)(1 - S(ix, iy)))}{\sum_{ix=x-dx}^{x+dx} \sum_{iy=y-dy}^{y+dy} (1 - S(ix, iy))} & \text{if } S(x, y) = 1, \end{cases} \quad (2)$$

where  $I(x, y)$  is the Wiener filtered image,  $S(x, y)$  is the rough estimation of foreground regions while  $dx$  and  $dy$  is the size of interpolation window.

In step four the final threshold is based on the difference between  $I(x, y)$  and  $B(x, y)$ . If the difference exceeds the threshold  $d(B(x, y))$  the specific pixel is considered background:

$$T(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } B(x, y) - I(x, y) > d(B(x, y)), \\ 1 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

where the threshold  $d(B(x, y))$  is computed as follows:

$$d(B(x, y)) = q\delta \left[ \frac{(1 - p_2)}{1 + \exp\left(\frac{-4B(x, y)}{b(1 - p_1)} + \frac{2(1 + p_1)}{(1 - p_1)}\right)} \right] \quad (4)$$

where  $q, p_1$  and  $p_2$  are constant parameters,  $\delta$  is the average distance between foreground and background,  $b$  is the average background value.

$\delta$  and  $b$  are calculated as described by Gatos *et al.* [7]. Gatos *et al.* [7] also suggests the following parameter values:  $q = 0.6$ ,  $p_1 = 0.5$  and  $p_2 = 0.8$ . The values of these parameters are not too sensitive in textual binarization. However, in our experiments it was clear that they do indeed play a big role in binarizing cosmic-ray data.

The last step involves techniques such as erosion and dilation to close gaps in foreground elements and depends on the result,  $T(x, y)$ . This step is beyond the scope of this paper.

### C. Drevin

Drevin [8] implemented an adaptive method in the frequency domain using the Lorentz curve [9] to determine a cut-off frequency for a low-pass filter. Rows and columns of the image are filtered individually to smooth hour markers and scale lines of the cosmic-ray recording respectively. These filtered images are then used to extract the hour markers and scale lines and ultimately binarize the cosmic-ray recording.

The filtering is done in the frequency domain and is based on the Lorentz curve. The Lorentz curve was used to measure inequality of income. Goel & Vidakovic [10] implemented the Lorentz curve and replaced the wealth of a population of individuals with the energy of wavelet transform coefficients:

$$S(0) = 0 \\ S(k) = \sum_{u=1}^k P(u), \quad u = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

where  $S(k)$  is the total power of the  $k$  coefficients with the lowest power,  $P(u)$  is the energy of coefficient  $u$ ,  $n$  is the number of coefficients which are sorted in increasing energy order.

Drevin [8] calculates  $S(k)$  by sorting the coefficients in decreasing frequency order. Now  $S(k)$  is the total power of the  $k$  highest frequencies. Plotting the points

$$(k/n, S_k/S_n), \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

will result in the Lorentz curve of the energy distribution of the transform. The point where the distance between the Lorentz curve and the diagonal is a maximum is used as the cut-off frequency [8].

The one-dimensional Fourier transforms of the median of the rows and the median of the columns of the image are calculated and filtered individually.

Consider the filtering of the row Fourier transforms: The cut-off frequency  $D_r$  is obtained from the power spectrum of the row median's Fourier transform. A Gaussian low-pass filter transfer function is used [8]. The Fourier transform of all the rows of the image is then filtered as follows:

$$G_r(u) = F_r(u)H_r(u), \quad (7)$$

where  $G_r(u)$  is the filtered Fourier transform of all the rows of the image,  $F_r(u)$  is the Fourier transform of all the rows of the image,  $H_r(u)$  is the Gaussian low-pass filter transfer function.

Using the inverse Fourier transform for all the rows results in an image in which the vertical lines have been smoothed. This image is then subtracted from the original image and the difference between them is used to calculate a threshold. The distribution of differences is used, where the threshold is the first gray level  $i$  where the slope  $s(i)$  is equal to -1. The slope is calculated as follows:

$$s(i) = N(i + 1) - N(i), \quad (8)$$

where  $s(i)$  is the slope,  $N$  is the number of pixels normalized to the interval  $[0, P]$  and  $P$  is the maximum positive gray level in the image [8].

The procedure is repeated for the columns of the image and the obtained result is combined with the thresholded row image using a logical OR. This results in the final binarization.

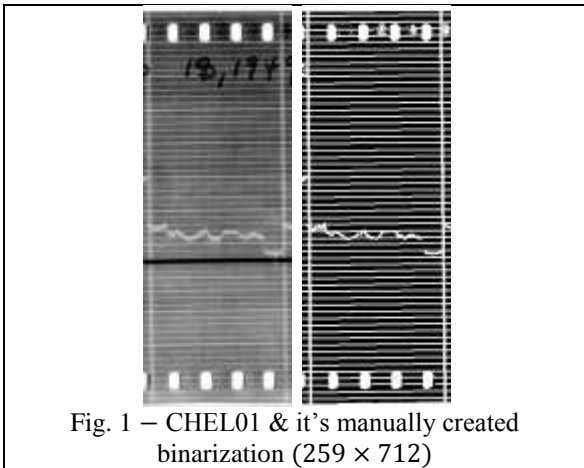
This concludes the description of the three binarization methods which will now be used in our experiments.

### III. EXPERIMENTS

The mean squared error (MSE) is used to compare the binarized image to a manually created binarization as in fig. 1. The MSE will tell us what percentage of the binarized image is incorrect.

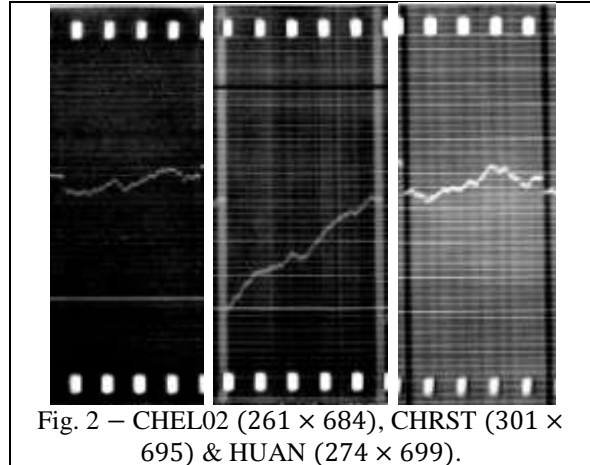
Four images (fig. 1 & 2), CHEL01 and CHEL02 recorded at Cheltenham, CHRST recorded at Christchurch and HUAN recorded at Huancayo are used in our experiments. These images were obtained by scanning the photographic recordings at a resolution of 600 dpi and 8 bits per pixel using an Epson Perfection 4490 Photo scanner. All these images are extracts of an hour's data.

The manually created binarizations were created by using a standard image editing program. A line tool was used to draw straight white (foreground) lines across the image over horizontal scale lines and vertical hour markers. The ionization current trace was drawn by hand using a brush tool. The remaining elements, with exception of the sprocket holes, were all coloured black (background).



Our goal is to find the best method to binarize each image to match its manually created binarization as closely possible.

The methods of Sauvola & Pietikäinen [5] and Gatos *et al.* [7] have parameters that we will manipulate to improve their performance, this will also guide the experiment. We will start by using different filters and then manipulate all the parameters to optimize Gatos *et al.* and Sauvola & Pietikäinen's methods. Changing Sauvola & Pietikäinen's parameters has an effect on Gatos *et al.*'s binarization, simply because Gatos *et al.* uses Sauvola & Pietikäinen's method to estimate a rough binarization of foreground regions. At the end we compare these optimized methods with Drevin's method. Drevin's method has no parameters to manipulate, fig. 4 shows Drevin's binarization of CHEL01, this binarization results in a MSE of 14.3%.



#### D. Filters

Gatos *et al.* [7] implements a  $3 \times 3$  Wiener filter before any binarization is done. The result of using this filter with Sauvola & Pietikäinen's method (fig. 3(a)) and with Gatos *et al.*'s method (fig. 5(a)) shows limited success. Table 1 shows an MSE of 23.3% for Gatos *et al.* and 26.0% for Sauvola & Pietikäinen in binarizing CHEL01. Therefore 26.0% of CHEL01 is binarized incorrectly which is not a desirable result. Increasing the Wiener filter's size resulted in even worse results.

A median filter was evaluated next. It, however, resulted in MSEs greater than 30%. Better results were obtained using a Gaussian low-pass filter. Still, the blurring effect of the masks seems to degrade the binarization of cosmic-ray data.

Using CHEL01 in its original form (not filtered) resulted in a binarization with a MSE of 26.9% for Sauvola & Pietikäinen (fig. 3(b)) and 22.7% for Gatos *et al.* (fig. 5(b)). Thus, the Wiener filter does improve Sauvola & Pietikäinen's method a little, but an optimal result is obtained using no filter with Gatos *et al.*'s method. Similar results were obtained in binarizing CHEL02, CHRST and HUAN.

As an alternative the use of sharpening filters were also considered. In particular vertical and horizontal Sobel operators were chosen in an attempt to sharpen the edges of foreground elements (hour markers and scale lines), as these elements lie vertical and horizontal across the image. The result was MSEs greater than 30%, mostly due to the amount of noise present in the recordings.

The overall conclusion is that filtering the recording before binarization has little effect and in most cases actually have a degrading effect. Even in the limited cases where the Wiener filter improves Sauvola & Pietikäinen's binarization it is not substantial enough to justify its use.

### E. Window size

Sauvola & Pietikäinen computes each pixel threshold by looking at a neighbourhood or window of pixels around it. As mentioned earlier, Sauvola & Pietikäinen refers to a rectangular window but sets the window as a square window of size 10-20 pixels [5].

As we are mainly concerned with extracting lines it was decided to rather use a rectangular window than a square window. Experiments were done with a vertical window of size  $50 \times 10$  and a horizontal window of size  $10 \times 50$  to see the effect of rectangular windows. The vertical window performed better. A smaller vertical window ( $20 \times 10$ ) resulted in a MSE of 26.4% for Sauvola & Pietikäinen (fig. 3(c)) and 21.9% for Gatos *et al.* (fig. 5(c)). These results are displayed in table 1.

Changing the window size has a degrading effect on Sauvola & Pietikäinen's method but improves Gatos *et al.*'s method. Using a vertical window of size  $20 \times 10$  pixels provides us with our most optimal binarization for Gatos *et al.* thus far. Similar results were obtained in binarizing CHEL02, CHRST and HUAN.

### F. Constant parameters

Using different filters and windows has little effect. We will now examine the role of the constant parameters used in Sauvola & Pietikäinen and Gatos *et al.*'s methods. These proved to be useful for the binarization of cosmic ray data.

The first parameter ( $k$  in eq. (1)) is the only constant used in Sauvola & Pietikäinen's method. The default value of 0.2 was suggested by Sauvola & Pietikäinen [5]. Changing the value of  $k$  resulted in poor binarization. It was found that  $k = 0.2$  is optimal.

It was however found that one of Gatos *et al.*'s [7] three constant parameters,  $q$  (eq. 4), greatly effects the binarization (the other two constant parameters,  $p_1$  and  $p_2$ , are not sensitive). This makes sense if one examines the multiplied effect of  $q$  in the logistic sigmoid function (eq. 4).

For CHEL01, setting  $q$  to a higher value, for example 0.8, resulted in a MSE of 18.4% (fig. 5(d), table 1). While this adjustment also binarized HUAN rather well, in binarizing CHEL02 and CHRST the MSEs increased greatly.

The only noticeable difference in the four experimental images is in their average grey-level. CHEL01 and HUAN are light with an average grey-level of over 100 while CHEL02 and CHRST are dark with an average grey-level under 40.

In experimenting with CHEL02 (table 2) it was found that for darker images the value of  $q$  should be closer to zero. This means that the threshold  $d(B(x,y))$  in eq. 4 also nears zero, therefore decreasing  $q$  just forces Gatos *et al.*'s final binarization closer to

Sauvola & Pietikäinen's binarization (the rough estimation of foreground regions). This explains the same MSE value for both Sauvola & Pietikäinen's and Gatos *et al.*'s method in table 2.

### G. Background window size

The only parameter left to manipulate is the size of the interpolation window used to extract the background as in equation (2). Gatos *et al.* [7] suggests the window should cover at least two image characters (their method is originally for the binarization of text). Until now we used a window size of  $20 \times 20$  pixels. However, doing the background extraction globally (not using a window at all) improved the binarization even further. This resulted in our most optimal binarization, a MSE of 17.0% (fig. 5(e), table 1). This works for all the experimental images.

## IV. COMPARING RESULTS

The binarization results obtained by using the optimized versions of Sauvola & Pietikäinen and Gatos *et al.*'s methods and the method proposed by Drevin will now be examined.

Table 3 summarizes the binarization of all four the experimental images. To further evaluate these methods, the MSE is broken up into two parts: Foreground pixels falsely identified as background (FB) and background pixels falsely identified as foreground (FF). The ultimate goal of binarizing cosmic-ray recordings is to enhance the scale and hour lines as well as the data trace prior to their segmentation and extraction to digitize the whole recording. Thus, false-foreground is much more critical than false-background.

CHEL01: Although Drevin's method gives the lowest MSE of 14.3%, Gatos *et al.*'s method has a lower FF value (4.4%). Still, Drevin's MSE is a great improvement while the FF is only a little worse than Gatos *et al.* Sauvola & Pietikäinen's binarization is unsatisfactory.

CHEL02: Being a darker image, Sauvola & Pietikäinen's method will always be better than Gatos *et al.*'s method (MSE of 14.7%). Drevin's method is in this case however worse (MSE of 30.0%).

CHRST: CHRST is similar to CHEL02 and again proves that darker images are binarized better by using Sauvola & Pietikäinen's method. Again Drevin's method is worse with a MSE of 45.2 % and a bad FF (42.3%) value.

HUAN: Gatos *et al.*'s method provides a better MSE (8.9%) as well as an excellent FF of 0.7%. Drevin's method gives a MSE of 46.6% and a FF of 39.9%.

The average MSE is 14.9% for Sauvola & Pietikäinen, 12.6% for Gatos *et al.* and 34.0% for Drevin.

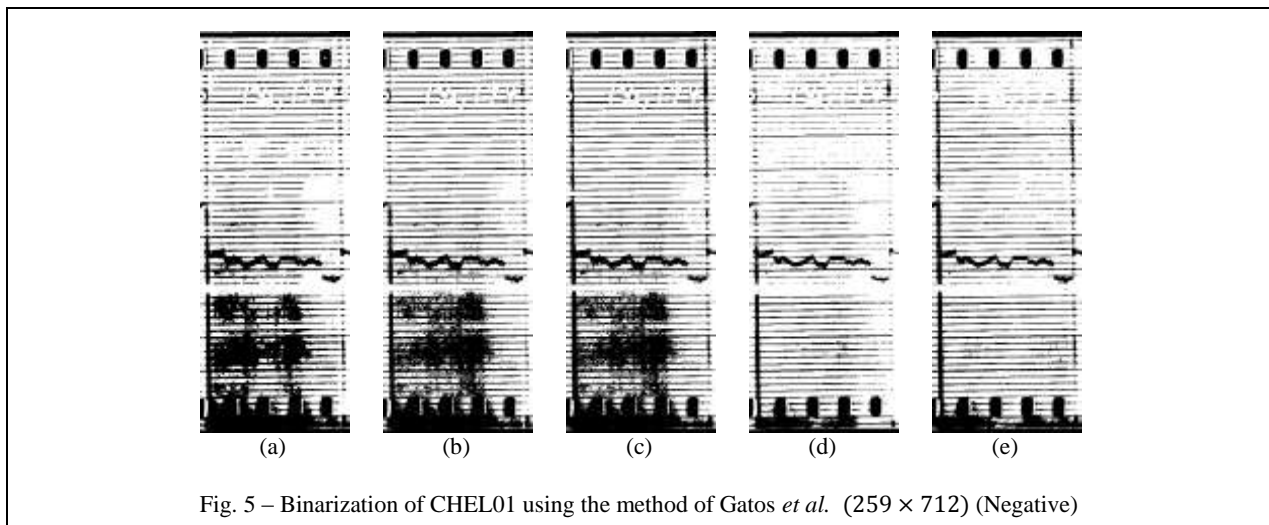
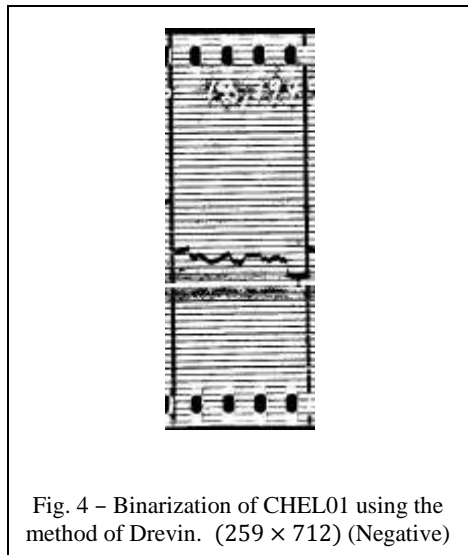
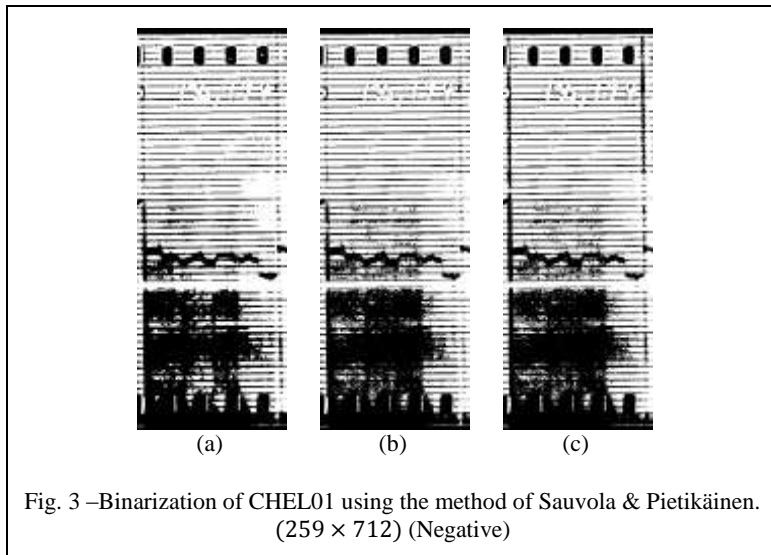


Table 1. Experimental results in the binarization of CHEL01, manipulating the parameters

| Parameters          |                |     |     |       |       |                        | MSE                   |                     | Result figures |
|---------------------|----------------|-----|-----|-------|-------|------------------------|-----------------------|---------------------|----------------|
| Filter              | Window size    | $k$ | $q$ | $p_1$ | $p_2$ | Background window size | Sauvola & Pietikäinen | Gatos <i>et al.</i> |                |
| $3 \times 3$ Wiener | $10 \times 10$ | 0.2 | 0.6 | 0.5   | 0.8   | $20 \times 20$         | 26.0 %                | 23.3 %              | Fig. 3 & 5 (a) |
| None                | $10 \times 10$ | 0.2 | 0.6 | 0.5   | 0.8   | $20 \times 20$         | 26.9 %                | 22.7 %              | Fig. 3 & 5 (b) |
| None                | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.6 | 0.5   | 0.8   | $20 \times 20$         | 26.4 %                | 21.9 %              | Fig. 3 & 5 (c) |
| None                | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.8 | 0.5   | 0.8   | $20 \times 20$         | 26.4 %                | 18.4 %              | Fig. 5 (d)     |
| None                | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.8 | 0.5   | 0.8   | Image size             | 26.4 %                | 17.0 %              | Fig. 5 (e)     |

Table 2. Experimental results in the binarization of CHEL02, the role of  $q$ ,  $p_1$  and  $p_2$

| Parameters |                |     |     |       |       |                        | MSE                   |                     |
|------------|----------------|-----|-----|-------|-------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Filter     | Window size    | $k$ | $q$ | $p_1$ | $p_2$ | Background window size | Sauvola & Pietikäinen | Gatos <i>et al.</i> |
| None       | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.8 | 0.5   | 0.8   | Image size             | 14.7 %                | 16.7 %              |
| None       | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.6 | 0.5   | 0.8   | Image size             | 14.7 %                | 15.9 %              |
| None       | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.3 | 0.5   | 0.8   | Image size             | 14.7 %                | 14.8 %              |
| None       | $20 \times 10$ | 0.2 | 0.2 | 0.5   | 0.8   | Image size             | 14.7 %                | 14.7 %              |

Table 3. Comparison of the three binarization methods

| Image  | Sauvola & Pietikäinen (Optimized) |        |       | Gatos <i>et al.</i> (Optimized) |        |        | Drevin |        |       |
|--------|-----------------------------------|--------|-------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
|        | MSE                               | FF     | FB    | MSE                             | FF     | FB     | MSE    | FF     | FB    |
| CHEL01 | 26.0 %                            | 17.3 % | 8.7 % | 17.0 %                          | 4.4 %  | 12.6 % | 14.3 % | 6.9 %  | 7.4 % |
| CHEL02 | 14.7 %                            | 14.1 % | 0.6 % | 14.7 %                          | 14.1 % | 0.6 %  | 30.0 % | 20.2 % | 4.8 % |
| CHRST  | 9.7 %                             | 2.9 %  | 6.7 % | 9.7 %                           | 2.9 %  | 6.7 %  | 45.2 % | 42.3 % | 2.9 % |
| HUAN   | 9.3 %                             | 4.5 %  | 4.8 % | 8.9 %                           | 0.7 %  | 8.2 %  | 46.6 % | 39.3 % | 7.3 % |

## V. CONCLUSION

The obvious conclusion is that Gatos *et al.* [7] provides the best overall method for binarizing historic cosmic-ray data. Gatos *et al.* uses the method of Sauvola & Pietikäinen [5] and sometimes cannot improve on their binarization, especially with images having a low grey-level average. Drevin's method seems to perform the best with high contrast images. Eliminating the sprocket holes before implementing Drevin's method might also improve the binarization, as this will influence the Fourier transform energies. Nevertheless, it is clear that not one of the three binarization methods can be discarded.

Our conclusion is that one of two techniques can be used. The first technique is to have a pool of methods to binarize the recordings and to choose the most appropriate method according to the specific recordings characteristics. The alternative is to use image enhancement techniques to enhance each recording and standardize the recording to enable the use of one single binarization method (e.g. Gatos *et al.*'s method). With both techniques it is necessary to develop a method for analysing a recording in order to automatically determine its characteristics.

As was mentioned earlier post-processing techniques such as erosion and dilation to close gaps in foreground elements should also be investigated.

The methods described in this paper were compared using manually created binarizations. This manually created binarizations is however not necessarily perfect. A synthetic image should therefore also be developed.

## VI. REFERENCES

**Tjaard du Plessis:** Currently busy with the degree M.Sc in Computer Science. Studies completed at the North-West University, South-Africa.

**Günther R Drevin:** Associate Professor in Computer Science at the North-West University, South-Africa.

- [1] Forbush S.E. Lange I. Cosmic-Ray results from Huancayo observatory, Peru, June, 1936 – December, 1946, Researches of the department of terrestrial magnetism **15** (1964). p. 1-25.
- [2] Compton A.H. Wollan E.O. Bennett R.D. A precision recording cosmic ray meter, The Review of Scientific Instruments **5** (1934) p. 415-422.
- [3] National geophysical data center ([ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/COSMIC\\_RRAY/ForbushArchives1935-1960/](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/COSMIC_RRAY/ForbushArchives1935-1960/)).
- [4] Cheng H.D. Chen J Jiguang L.I. Threshold selection based on fuzzy c-partition Entropy approach, Pattern recognition **31** (7) (1997). p. 857-870.
- [5] Sauvola J. Pietikainen M. Adaptive document image binarization, Pattern recognition **33** (1) (2000). p. 225-236.
- [6] Niblack W. An Introduction to Image Processing. Prentice-Hall. New Jersey, 1986. p. 115-116.
- [7] Gatos B. Pratikakis I. Perantonis S.J. Adaptive degraded document image binarization, Pattern recognition **39** (1) (2006). p. 317-327.
- [8] Drevin G.R. Adaptive frequency domain filtering of legacy cosmic ray recordings. 9<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition and Image Processing (CVPRIP'2008), in conjunction with the 11<sup>th</sup> Joint Conference on Information Sciences (JCIS'2008), Shenzhen, China 15-20 December 2008.
- [9] Lorentz M.O. Methods of measuring the concentration of wealth, Journal of the American Statistical Association **9** (1905). p. 209-219.
- [10] Goel P. Vidakovic B. Wavelet transformations as diversity enhancers. Discussion Paper (ISDS 95-04), Duke University 1995.



# Bylaag D – Bronkode

Die bronkode wat hier gegee word, is slegs die hoof funksie wat verskeie ander funksies roep in 'n biblioteek van funksies wat geskep is vir kosmiese straal-beeldverwerking. Om alle bronkode te lys is irrelevant, hierdie hoof funksie gee 'n goeie idee van hoe die algoritmes prakties geïmplementeer is.

```
function Beta(cosmicRayImageFileName, hourMarkersColour, hourNr, nrOfHourValues, calibrationSize)
% DESCRIPTION: Beta testing stage: Cosmic Rays
% AUTHOR: Tjaard du Plessis
% -----
% cosmicRayImageFileName = eg. 'GLE1CHELT001.bmp'
% hourMarkersColour = eg. 'black' or 'white'
% hourNr = use -1 to do all hours
% nrOfHourValues = Nr of elements to return in final matrix, eg. 60 for a data point for every
minute, use -1 for direct mapping
% calibrationSize = The calibration lines size, space between two scale lines

    % Read the image into memory
    sprintf('Reading image %s...', cosmicRayImageFileName);
    cosmicRayImage = imread(cosmicRayImageFileName);
    cosmicRayImage = Scale(cosmicRayImage, 256, 0);

    if (hourNr == -1)
        hourNr = 1;
    end
    doWhile = 1;

while hourNr <= 30 && doWhile == 1
    if (hourNr ~= -1)
        doWhile = 0;
    end

    % Segment the image to work with an hour at a time
    sprintf('Segmenting image into hour %i', hourNr);
    resultName = strcat('Resultate/H', int2str(hourNr), '_01_', cosmicRayImageFileName);
    hourlyImage =
SegmentByHour(cosmicRayImage, hourNr, 0.1875, 0.01, 0.03, hourMarkersColour, 0, resultName);

% ===== HOUR MARKERS =====
    disp('Retrieving the hour markers...');

    resultName = strcat('Resultate/H', int2str(hourNr), '_02_', cosmicRayImageFileName);
    if (hourMarkersColour == 'white')
        hourMarkerImage = Hough_HourMarkers(hourlyImage, [89 91], 0, resultName);
    else
        hourMarkerImage = Hough_HourMarkers(Negative(hourlyImage, 0), [89 91], 0, resultName);
    end

% ===== DATA =====
    disp('Retrieving the data line...');

    resultName = strcat('Resultate/H', int2str(hourNr), '_03_', cosmicRayImageFileName);
    dataImage = SegmentData(hourlyImage, 0, resultName);

% ===== BINARIZE =====
    disp('Adjusted Gatos`s Binarization...');

    resultName = strcat('Resultate/H', int2str(hourNr), '_04_', cosmicRayImageFileName);

    % Remove Hour markers and Data for calibration
    onlyCalibrationImage = hourlyImage;
    onlyCalibrationImage(find(hourMarkerImage > 0)) = 0;
    onlyCalibrationImage(find(imdilate(dataImage, [1 1 1 1 1; 1 1 1 1 1; 1 1 1 1 1; 1 1 1 1 1; 1 1
1 1 1]) > 0)) = 0;
```

```

% Get the negative
negativeImage = Negative(onlyCalibrationImage,0);
negativeImage = Scale(negativeImage,256,0);

% Filter - eliminating noise, smoothing background, contrastenhancement
I = negativeImage;

% Sauvola's Adaptive Thresholding
S = Threshold_Sauvola(I,[20,10],0.2,0);
% Background surface estimation
backgroundWindowSize = [size(negativeImage,1),size(negativeImage,2)];
B = ExtractBackground( S, I, backgroundWindowSize, 0 );
% Final thresholding
T = Threshold_Gatos(S, I, B, 0, resultName );

% ===== HOUGH =====
disp('Determine calibration lines with the Hough transform...');

resultName = strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_05_',cosmicRayImageFileName);

negativeT = Negative(T,0);
% Determine horizontal calibration lines
houghImage = AdaptiveHough(negativeT,[180 180],0,resultName);

% ===== INTERPOLATION =====
disp('Interpolate calibration lines...');

resultName = strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_06_',cosmicRayImageFileName);

% Interpolate horizontal calibration lines
calibrationImage = InterpolateCalibration3(houghImage,0,resultName);
calibrationImage = Scale(calibrationImage,256,0);

% ===== DIGITISE =====
resultName = strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_10_',cosmicRayImageFileName);

dataImage = Digitisation(hourlyImage,calibrationImage, hourMarkerImage, dataImage
,nrOfHourValues,calibrationSize,1,resultName);

% ===== SUM =====
disp('Preparing the final result...');

finalImage = zeros(size(hourlyImage,1),size(hourlyImage,2));

finalImage(find(calibrationImage > 0)) = 1;
finalImage(find(hourMarkerImage > 0)) = 2;
finalImage(find(dataImage > 0)) = 3;

finalImage = Scale(finalImage,256,0);
jpgFinalImage = finalImage;
jpgFinalImage(find(finalImage > 0)) = 255;

compareImage = hourlyImage;
jpgCompareImage = hourlyImage;
half = round((size(hourlyImage,2))/2) - 1;
compareImage(:,half:half*2) = finalImage(:,1:half+1);
jpgCompareImage(:,half:half*2) = jpgFinalImage(:,1:half+1);

overlayImage = hourlyImage;
overlayImage(find(finalImage > 0)) = 255;

compareImage = uint8(Scale(compareImage,256,0));
finalImage = uint8(Scale(finalImage,256,0));

imwrite(compareImage, strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_07_',cosmicRayImageFileName),'bmp');
jpgResultName = strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_07_',cosmicRayImageFileName);
jpgResultName = jpgResultName(1:find(jpgResultName == '.')-1);
imwrite(jpgCompareImage, strcat(jpgResultName ,'.jpg'),'jpg');

imwrite(overlayImage, strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_08_',cosmicRayImageFileName),'bmp');

```

```
jpgResultName = strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_08_',cosmicRayImageFileName);
jpgResultName = jpgResultName(1:find(jpgResultName == '.')-1);
imwrite(overlayImage, strcat(jpgResultName , '.jpg'), 'jpg');

imwrite(finalImage, strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_09_',cosmicRayImageFileName), 'bmp');
jpgResultName = strcat('Resultate/H',int2str(hourNr),'_09_',cosmicRayImageFileName);
jpgResultName = jpgResultName(1:find(jpgResultName == '.')-1);
imwrite(jpgFinalImage, strcat(jpgResultName , '.jpg'), 'jpg');

hourNr = hourNr + 1;
end
```

# Bronnelys

- ADELMANN, H.G. 1998. Butterworth equations for homomorphic filtering of images. *Computers in Biology and Medicine*, 28(2):169-181.
- ANCHORDOQUI, L., PAUL, T., REUCROFT, S. & SWAIN, J. 2003. Ultrahigh energy cosmic rays: The state of the art before the Auger Observatory. *International Journal of Modern Physics A*, 18(13):2229-2366.
- ARPANSA. 2008. What's background radiation? [http://www.arpansa.gov.au/pubs/baseline/bg\\_rad.pdf](http://www.arpansa.gov.au/pubs/baseline/bg_rad.pdf)  
Datum van gebruik: 26 Mar. 2008.
- BENETT, R.D., COMPTON, A.H. & WOLLAN, E.O. 1934. A precision recording cosmic ray meter. *The Review of Scientific Instruments*, 5:415-422.
- BHATTACHARYA, P., LIU, H., ROSENFELD, A. & THOMPSON, S. 2000. Hough-transform detection of lines in 3-D space. *Pattern Recognition Letters*, 21(9):843-849.
- CHA, J., COFER, R.H. & KOZAITIS, S.P. 2006. Extended Hough transform for linear feature detection. *Pattern Recognition*, 39(6):1034–1043.
- CHENG, H.D. & NHO, S. 1996. Transformation of gray level and color images. *Information Sciences*, 90(1-4):179 – 202.
- CHENG, H.D., CHEN, J. & JIGUANG L.I. 1998. Threshold selection based on fuzzy c-partition entropy approach. *Pattern recognition*, 31(7):857-870.
- DE CARVALHO, L.A.V. & BRUNO, O.M. 2005. Spatial and frequency domain techniques for segmentation of placido images and accuracy implications for videokeratography. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 79(2):111—119.
- DOERMANN, D., LIANG, J. & LI, H. 2003. Progress in camera-based document image analysis. (*In* Antonacopoulos, A., ed. *Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition* held in Edinburgh, Scotland. Vol. 1. Los Alamitos, CA.: IEEE Computer Society. p. 606-617.)
- DUDA, R.O. & HART, P.E. 1972. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 15(1):11-15.
- DU PLESSIS, T & DREVIN, G.R. 2009. Evaluating methods to binarize historic cosmic-ray recordings. (*Proceedings of IEEE Eurocon 2009* held in Saint Petersburg, Russia. Vol. 3. Los Alamitos, CA.: IEEE Computer Society. p. 1386-1391.)
- EJIRI, M., KASHIOKA, S. & UEDA, H. 1984. The application of image processing, technology to industrial automation. *Computers in Industry*, 5(2):107-113.

- FARAH, B.D. 2007. Image processing in the measurement of trash contents and grades in cotton. (*In* Liatsis, P. & Mertzios, B.G., *ed.* Proceedings of the 1996 IWISP held in Manchester, United Kingdom. Elsevier. p. 629-632.)
- LANGE, I. & FORBUSH, S.E. 1948. Cosmic-ray results from Huancayo observatory, Peru, June, 1936 December, 1946. Including summaries from observatories at Cheltenham, Christchurch, and Godhavn through 1946. Washington, D.C.: Carnegie Institution of Washington publication 175. 182 p. (Researches of the Department of Terrestrial magnetism, vol. 14.)
- GATOS, B., PRATIKAKIS, I. & PERANTONIS, S.J. 2006. Adaptive degraded document image binarization. *Pattern recognition*, 39(3):317-327.
- GONZALEZ, R.C. & WOODS, R.E. 2002. *Digital image processing*. New Jersey : Prentice-Hall. 793 p.
- GUREVICH, A.V. & ZYBIN, K.P. 2005. Runaway breakdown and the mysteries of lightning. *Physics today*, 58(5):37-43.
- HEIDENREICH, P., CIRILLO, L.A. & ZOUBIR, A.M. 2009. Morphological image processing for FM source detection and localization. *Signal Processing*, 89(6):1070–1080.
- IMMERKAER, J. 1998. Some remarks on the straight line Hough transform. *Pattern Recognition Letters*, 19(12):1133-1135.
- JAIN, A.K., RATHA, N.K., TRIER, O.D., YU, B. & ZHONG, Y. 1995. Document processing research at Michigan state university. (*In* Doermann, D., *ed.* Proceedings of the Symposium on document image understanding held in Bowie, Maryland. Center of automation research. p. 126-140.)
- KASEMIR, K.U. & BETZLER, K. 2003. Detecting ellipses of limited eccentricity in images with high noise levels. *Image and vision computing*, 21(2):221-227.
- LEEMANS, V. & DESTAIN, M.F. 2006. Application of the Hough transform for seed row localisation using machine vision. *Biosystems Engineering*, 94(3):325-336.
- MAK, K.L., PENG, P. & YIU, K.F.C. 2009. Fabric defect detection using morphological filters. *Image and Vision Computing*, 27(10):1585–1592.
- MARCH, S.T. & SMITH, G.F. 1995. Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15(4):251-266.
- MARMO, R., AMODIO, S., TAGLIAFERRI, R. & LONGO, G. 2005. Textural identification of carbonate rocks by image processing and neural network: Methodology proposal and examples. *Computers & Geosciences*, 31:649–659.
- MCCRACKEN, K.G., MORAAAL, H. & REINECKE, J.P.L. 2009. The ground level enhancements of solar cycle 23. (Proceedings of the 31st Cosmic Ray Conference held in Łódź, Poland.)
- MERIBOUT, M., NAKANISHI, M. & OGURA, T. 1999. A real-time Image segmentation on a massively parallel architecture. *Real-Time Imaging*, 5(4):279-291.

- MICHIGAN. 2009. Best practices for the capture of digital images from paper or microfilm. [http://www.michigan.gov/documents/hal\\_mhc\\_rms\\_bp\\_for\\_digitizing\\_125527\\_7.pdf](http://www.michigan.gov/documents/hal_mhc_rms_bp_for_digitizing_125527_7.pdf) Datum van gebruik: 25 Apr. 2009.
- MICROSOFT RESEARCH. 2008. F# at Microsoft research. <http://research.microsoft.com/en-us/um/cambridge/projects/fsharp/> Datum van gebruik: 27 Okt. 2009.
- NIBLACK, W. 1986. *An introduction to image processing*. New Jersey. Prentice-Hall.
- NICZYPORUK, M.A. & MILLER, D.C. 1991. Automatic tracking and digitization of multiple radiopaque myocardial markers. *Computers and Biomedical Research*, 24(2):129-142.
- NOORDWES-UNIVERSITEIT. 2009. Neutron monitor data. [http://www.puk.ac.za/fakulteite/natuur/nm\\_data/data/nmd\\_e.html](http://www.puk.ac.za/fakulteite/natuur/nm_data/data/nmd_e.html) Datum van gebruik: 4 Nov. 2009.
- O'GORMAN L. 1994. Binarization and multithresholding of document images using connectivity. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 56(6):494-506.
- OLIVIER, M.S. 2004. *Information technology research*. Pretoria : Van Schaik. 147 p.
- PAINE, S.H. & LODWICK, G.D. 1989. Edge detection and processing of remotely sensed digital images. *Photogrammetria*, 43(6):323-336.
- RAMESH, V., GLASS, R.L. & VESSEY, I. 2004. Research in computer science: An empirical study. *The Journal of Systems and Software*, 70(1-2):165–176.
- REALCLIMATE. 2006. Taking cosmic rays for a spin. <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2006/10/taking-cosmic-rays-for-a-spin> Datum van gebruik: 26 Mar. 2008.
- SAUVOLA, J. & PIETIKÄINEN, M. 2000. Adaptive document image binarization. *Pattern recognition*, 33(2):225-236.
- SEBASTIANI, G. & STRAMAGLIA, S. 1997. A Bayesian approach for the median filter in image processing. *Signal Processing*, 62(3):303-309.
- SIMPSON, J.A. 2000. The cosmic ray nucleonic component: The invention and scientific uses of the neutron monitor. *Space Science Reviews*, 93:11-32.
- TIME MAGAZINE. 1936. The weekly news magazine. <http://www.time.com/time/covers/0,16641,19360113,00.html> Datum van gebruik: 4 Nov. 2009.
- ZHANG, Y. & WEBBER, R. 1996. A windowing approach to detecting line segments using Hough transform. *Pattern Recognition*, 29(2):255-265.