

Beoordeling van de uitwendige
kwaliteit van uien met behulp
van computerbeeld-analyse

R.M.P.J. Willems

ato-dlo



225 2556

© ATO-DLO, Haagsteeg 6, Postbus 17, 6700 AA Wageningen, April 1992.

Niets uit dit rapport mag worden overgenomen zonder schriftelijke toestemming van de directeur
en uitdrukkelijke bronvermelding

INHOUD

Inhoudsopgave	i
Samenvatting	ii
1 Inleiding	1
2 Beeldopname	2
2.1 Materiaal	2
2.2 Methoden	3
3 Beeldanalyse	4
3.1 Segmentatie	4
3.2 Histogram	4
3.3 Beeldalgoritmen	5
3.4 Vormfactoren	6
4 Classificatie	8
4.1 Koppeling sensorische beoordeling	8
5 Conclusie en vervolgonderzoek	9
Bijlagen	10
A Experimenten opzet	10
B Resultaten	12
B.1 Proef met 60 uien door zes mensen beoordeeld	12
B.2 Proef met 80 bakjes met elk 10 uien	21
B.3 Beoordeling op kleur	23

Samenvatting

Dit rapport doet verslag van het onderzoek dat aan uien met Computer Beeld Analyse is gedaan. Het onderzoek heeft zich gericht op het verkrijgen van een objectieve uitwendige kwaliteitsbeoordeling. De uitwendige kwaliteit van een ui wordt niet alleen bepaald door vorm, afmeting en grondkleur maar met name door de donkere vlekken, de verwerking.

In hoofdstukken 1 t/m 4 zullen de verschillende aspecten die bij CBA een rol spelen worden besproken. Tevens zal de specifieke toepassing van CBA op het uienonderzoek worden toegelicht. De onderwerpen die aan bod komen zijn achtereenvolgens:

* het verkrijgen van een goed beeld:

- het gebruikte materiaal
- de gekozen beeldopname-omstandigheden

* het analyseren van het beeld door:

- scheiden van de uien met de achtergrond en bepalen van de positie voor het apart kunnen meten
- een grijswaarden meting per ui uit te voeren
- detectie van vlekken door gebruik te maken van twee beeldbewerkings algoritmen: Laplace filter en MaxMin filtering
- het corrigeren van het gedetecteerde verweringsoppervlak door gebruik te maken van een radieel afhankelijke vergrotingsfactor

* het classificeren van de ui op uitwendige kwaliteit door het koppelen van CBA gegevens met de menselijke beoordeling van een ui

De conclusie die in hoofdstuk 5 wordt getrokken is dat de MaxMin filtering de beste overeenstemming met de menselijke beoordeling geeft (ca. 85%). De richtlijnen voor het vervolgonderzoek zijn:

- 1) optimalisatie in de belichting
- 2) de detectie van de verweringsvlekken.

In de bijlagen wordt dieper ingegaan op de gevolgde meetmethoden en worden de concrete resultaten vermeld.

1 Inleiding

Computer Beeld Analyse lijkt een goede methode om uitwendige kwaliteitseigenschappen van uien objectief te kunnen beoordelen. De doelstelling van het onderzoek is het verkrijgen van een objectief beoordelingsstelsel voor de mate en omvang van verwerking op de uieschil.

Wanneer het stelsel voldoet kan het ingezet worden in een sorteermachine. Momenteel worden uien in sorteer- en pakstation handmatig uitgelezen. De snelheid waarmee dit proces kan worden uitgevoerd wordt bepaald door de inzet van arbeid. De brutomarge van de sorteer- en verpakkingsactiviteiten kan worden vastgesteld op Hfl. 0,10 per kg uien. In het seizoen 1990/1991 bedroeg de productstroom van uienteeltbedrijven in Nederland 425.000 ton zaaiuien en 92.000 ton plantuien (Bron: De distributie en vermarkting van Nederlandse uien, A. Hoogerwerf, J.P. Stehouwer en A.E. Simons interne notitie).

Men kan bij de toepassing van CBA drie fasen onderscheiden. De eerste fase is het verkrijgen van een goed beeld. De tweede fase is het analyseren van het beeld, en de laatste stap is het analyseren van de data die men met CBA verkregen heeft, zodanig dat de uien geclassificeerd kunnen worden.

2 Beeldopname

Een voorwaarde voor een goede analyse van een beeld is dat het beeld onder goede omstandigheden opgenomen is. Om analyses van verschillende beelden met elkaar te kunnen vergelijken moeten deze onder dezelfde belichtingsomstandigheden zijn opgenomen. Omdat de schil van een ui invallend licht sterk reflecteert zijn er nog speciale eisen te stellen aan de belichtingsomstandigheden. Door het verkrijgen van een uniforme diffuse belichting kan men voorkomen dat de lichtbron via directe reflectie op de schil in het beeld zichtbaar is. Daarom werden de beelden in een daarvoor ontwikkelde belichtingskast opgenomen.

2.1 Materiaal

Voor het onderzoek is een Quantimet 520 beeldverwerkingsysteem gebruikt. Deze heeft een framegrabber die uit 512 bij 512 beeldpunten bestaat, en wordt door de fabrikant ook wel greystore genoemd. Elk beeldpunt, ofwel pixel, kan een grijswaarde tussen 0 (zwart) en 255 (wit) hebben. Daarnaast wordt de

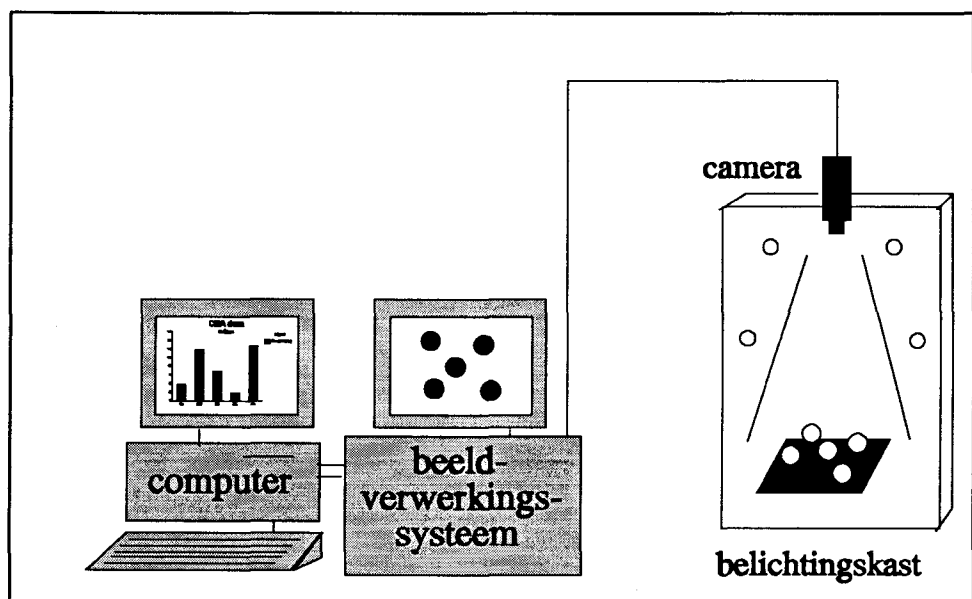


fig. 1

Quantimet aangestuurd door een Olivetti M380 PC. Met een zwart/wit CCD camera worden beelden opgenomen en, via een omzetting van het analoog naar een digitaal signaal, opgeslagen in de greystore. Hoe het beeld wordt gedigitaliseerd wordt bepaald door twee helderheidsinstellingen. De gain regelt de mate van versterking van het analoog signaal, en de offset bepaald de achtergrond intensiteit van het grijswaardenbeeld. Beide factoren hebben een schaalindeling van 0 tot 15 eenheden. Vervolgens kan men het beeld dat in de greystore gedigitaliseerd is bewaren op een harde schijf van de PC.

2.2 Methoden

Er werd gekozen voor een gain van 10 en een offset van 0. De afstand van camera tot het object bedroeg ca 55 cm., en de achtergrond was matzwart. Er werd een 13 mm. Canon lens TV 16 gebruikt met een diafragma instelling van 5.6.

De uien werden in twee oriëntaties opgeslagen. Om veel onnodig typewerk te voorkomen is er programmatuur ontwikkeld zodat uienbeelden naar code en oriëntatie automatisch naar de harde schijf worden opgeslagen. Aangezien een 512 bij 512 beeld uit 262 kByte bestaat is het aan te raden wanneer men veel beelden wil opnemen, deze naar een backup device te kopiëren. Tot dusverre zijn er ca. 400 Mbyte aan beelden op tape opgeslagen. Deze beelden zijn afkomstig van uien die per bakje aan een andere bewaarconditie (temperatuur en luchtvochtigheid) werden blootgesteld.

3 Beeldanalyse

Zoals bij de beeldopname is bij de beeldanalyse ook programmatuur ontwikkeld zodat het systeem automatisch beelden inleest, analyseert en data naar een codenaam afhankelijke file schrijft. Bij het inlezen wordt gebruik gemaakt van een file die de namen van de beelden (images) bevat.

3.1 Segmentatie

Wanneer het beeld is ingelezen volgt het analyseren van het beeld. De eerste stap is het scheiden van de uien van de achtergrond. Dit gebeurt door het drempelen van het grijswaardenbeeld. Het resultaat daarvan is een binair beeld (waarden 0 en 1), dat later als een masker gebruikt kan worden. Aangezien er een matzwarte achtergrond was kan men deze weglaten door een drempelniveau van 10 te nemen. Alle beeldpunten die een grijswaarde lager dan 10 hebben (dus de achtergrond) worden niet in het binaire vlak geplaatst. Het aantal objecten wordt geteld en de plaats in het beeld bepaald. Op die manier kunnen de uien afzonderlijk worden gemeten.

3.2 Histogram

De volgende stap is het bepalen van het histogram van de gehele (voor de helft zichtbare) ui. Dit gebeurt door een grijswaardenmeting uit te voeren met het binaire vlak als masker. Er is gekozen om bij elke grijswaardenmeting het

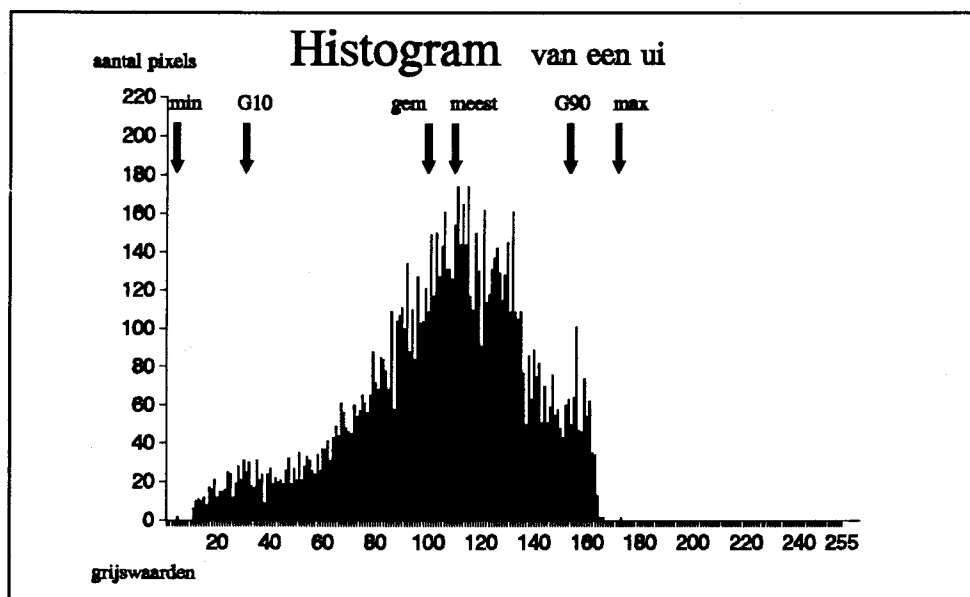


fig. 2

minimum -, gemiddelde -, meest voorkomende- en het maximum niveau naar een file te schrijven. Tevens werden 2 grijswaardenniveaus, die de grijswaarden bij respectievelijk 10 en 90 % van het totale aantal pixels vertegenwoordigen,

telkens mee weggeschreven. Deze waarden worden verder als G10 en G90 aangeduid. Hiervoor was gekozen omdat de minima en maxima vaak maar één pixel betreffen.

3.3 Beeldalgoritmen

Aangezien de rand van een bolvormig object, zoals een ui is, in het beeld donkerder verschijnt, is het niet mogelijk de eveneens donkere verwerking direct te detecteren door een drempeling van het grijswaardenbeeld. Anders zou de donkere rand eveneens met de donkere verwerking worden meegedrempeld. Daarom is het noodzakelijk beeldalgoritmen toe te passen.

Deze algoritmen berekenen per beeldpunt een nieuw grijswaardenniveau waardoor er een nieuw beeld ontstaat. Dit nieuwe beeld wordt vaak aangeduid met het gefilterde beeld. Hoe de nieuwe grijswaarde van elk beeldpunt wordt berekend is afhankelijk van het gebruikte algoritme. Maar bij elke convolutie of filtering van het originele grijswaardenbeeld is er een vierkante matrix (ook wel kernel genoemd) van oneven grootte, die over het beeld wordt verschoven. Deze heeft op elke i, j -de plaats een gewichtsfactor. Bij een convolutie wordt dan per beeldpunt een nieuwe grijswaarde berekend afhankelijk van de grijswaarden waarboven de matrix ligt, en deze wordt dan in het centrale punt van die matrix in het nieuwe beeld weggeschreven.

Onderzoek is gedaan naar de inzetbaarheid van twee beeldbewerkingsalgoritmen, te weten Laplace convolutie enerzijds en Maximum en Minimum filtering anderzijds, om objectief de verwerking van uien te meten.

Een 3 bij 3 Laplace kernel ziet er als volgt uit:

Laplace kernel

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

Het resultaat van een Laplace convolutie is in feite een afgeleide van het originele beeld in twee richtingen. Op die plaatsen waar het grijswaardenbeeld in intensiteit verandert licht het geconvolutioneerde beeld sterk op. Bij verweerde uien zullen dus de overgangen van normale grondkleur van de ui naar verweerde plekken versterkt worden. Door het verkregen gefilterde beeld opnieuw te drempelen naar een binair vlak, kan men later dit vlak weer als masker voor grijswaardenmetingen gebruiken, wanneer men het originele beeld weer inleest.

Bij Maximum en Minimum filtering maakt men eveneens gebruik van kernels. De waarde die aan het centrale pixel wordt toegekend is dan de maximale ofwel minimale grijswaarde die voorkomt in het gebied die de kernel omvat ($x1$ t/m $x9$). Een 3 bij 3 Maximum kernel ziet er dan als volgt uit:

Maximum kernel

x1	x2	x3
x4	x5	x6
x7	x8	x9

Bij het toepassen van een Maximum filter verdwijnen dan donkere vlekjes. De grootte van de vlekken die verdwijnen is afhankelijk van de kernelgrootte. Een bijkomend gevolg is dat het gefilterde beeld-object groter wordt. Dit komt doordat er aan de rand nog een maximale grijswaarde toegerekend wordt van het object zelf, wat buiten het oorspronkelijke beeld-object ligt. Door het gebruik van een Minimum filter met een gelijke kernelgrootte kan de oorspronkelijke afmetingen terugverkregen worden. Het resultaat is dan een object zonder donkere vlekjes. Wanneer dan het oorspronkelijke beeld afgetrokken wordt blijven alleen de donkere vlekjes over. Deze kunnen weer gedrempeld worden naar een binair vlak voor grijswaardenmetingen.

3.4 Vormfactoren

Wanneer er naar een bolvormig object zoals een ui is gekeken wordt is het raadzaam om vormfactoren in de berekeningen mee te nemen. Een vlek in het midden van een ui zal kleiner worden wanneer deze meer aan de rand ligt. In de programmatuur is daar dan ook rekening mee gehouden door gebruik te maken van een radieel afhankelijke vergrotingsfactor. Deze kan verkregen worden door

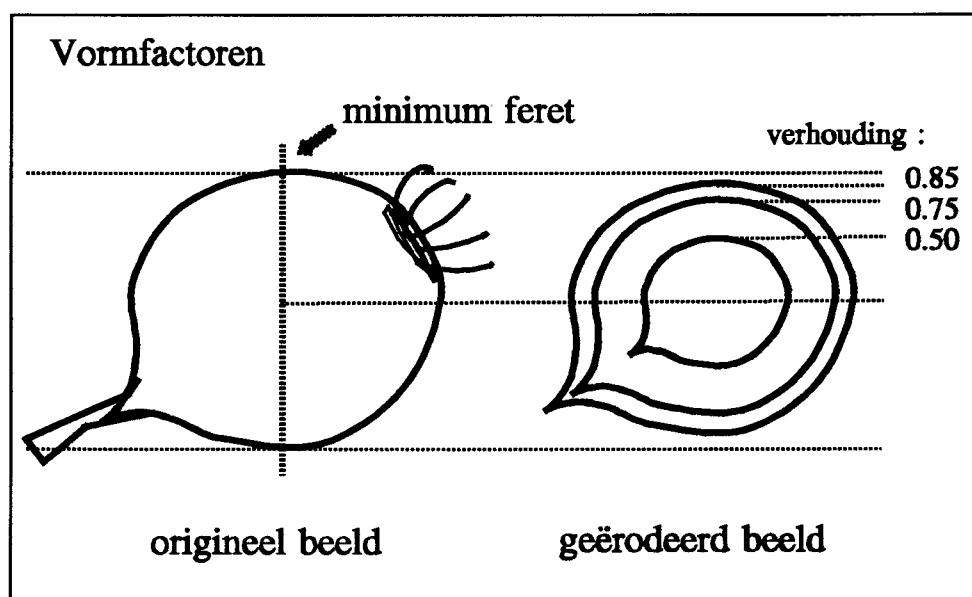


fig. 3

de bepaling van de kleinste diameter van het binaire masker onder acht vastliggende richtingen, de zogenaamde minimum feret. Door de minimum feret van het gedrempelde oorspronkelijke beeld vast te leggen en vervolgens telkens te eroderen (weghalen van randpixels in het binaire beeld), en opnieuw de minimum feret te meten kan gevolgd worden hoeveel er reeds geërodeerd is. Er is gekozen voor eroderen totdat de verhouding gemeten minimum feret na eroderen met de oorspronkelijke minimum feret 0.85 bedroeg. Dit heeft een tweetal redenen. Eén reden is het niet willen meten van de wortel uiteinden van de ui. Deze zijn donkerder dan de ui zelf en zou door de beeldalgoritmen als verwerping worden beoordeeld. Een andere reden is het willen gebruiken van de Laplace convolutie. Deze werkt zodanig dat overgangen van achtergrond naar object ook worden opgelicht. Door het kiezen van bovengenoemde verhouding werd dat probleem opgelost. Door het gebruik maken van 3 verschillende binaire vlakken kan men de ui in 3 gedeelten opdelen. Er is gekozen voor een feret verhouding van respectievelijk 0.85, 0.75 en 0.50. Het resultaat is dan twee ringvormen en een cirkelvorm. In binnenste cirkelvorm blijft de oppervlakte gelijk, ofwel een vergrotingsfactor van 1. In de op daarna volgende ringen zijn de vergrotingsfactoren 2 en 4.5. In hoeverre deze gecorrigeerde data beter de sensorische beoordelingen benaderen zal worden besproken in de Resultaten bijlagen.

4 Classificatie

De CBA data die door de programmatuur naar files werden geschreven zijn in eerste instantie met behulp van het pakket Lotus 123 geanalyseerd. Het bleek echter al snel noodzakelijk om een uitgebreider statistisch pakket te gaan gebruiken. Vooral voor het vergelijken van sensorische waarnemingen en CBA data zijn statistische routines nodig. Er werd Genstat gekozen om CBA data te analyseren.

Een nadeel van Genstat is dat het nogal gebruikers-onvriendelijk is. Er is programmatuur ontwikkeld zodat Genstat één voor één CBA datafiles in combinatie met sensorische beoordelingen kan inlezen.

4.1 Koppeling sensorische beoordeling

De doelstelling van het onderzoek was het verkrijgen van een objectief beoordelingssysteem voor de mate en omvang van verwerking op de uieschil. Het is echter belangrijk te kijken hoe goed het systeem in overeenstemming is met de sensorische beoordeling.

In de experimenten-opzet-bijlage zal blijken dat 10 uien in een bakje één enkele sensorische beoordeling kregen. In de resultaten bijlage zal blijken dat de overeenstemming van de CBA gegevens met de sensorische niet meer dan 10 tot 15 procent bedroeg. Afhankelijk van het aantal termen waarmee de sensorische beoordeling voorspeld werden kon dat percentage verbeterd worden naar 50 procent. Maar dit gaf toch geen afdoende overeenstemming.

Er werd daarom besloten een nieuwe proef op te zetten met 60 uien die per stuk door zes verschillende mensen op verwerking werden beoordeeld. Het bleek dat de sensorische gegevens voor omstreeks 90 procent in overeenstemming met elkaar zijn. Afhankelijk van het gebruikte model en het aantal gefitte termen is de overeenstemming van de CBA gegevens 80-85 procent. In de bijlagen zal daar verder op ingegaan worden.

5 Conclusie en vervolgonderzoek

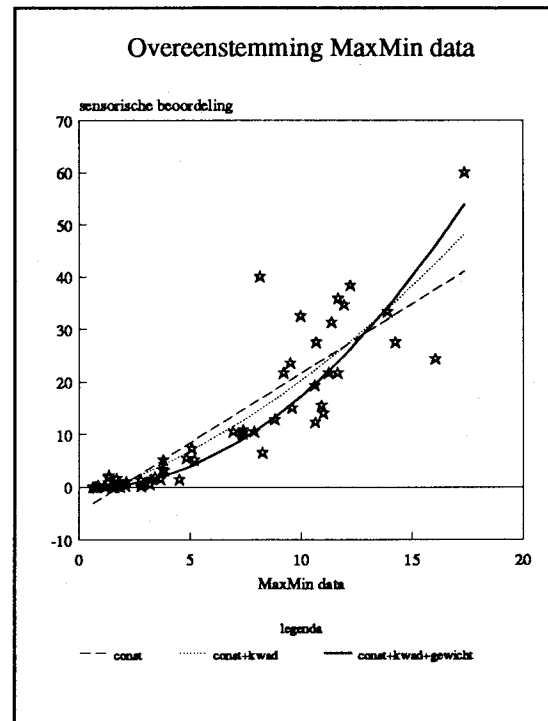
De doelstelling van het onderzoek was het verkrijgen van een objectief beoordelingssysteem voor de mate en omvang van verwerking op de uieschil. Het onderzoek heeft aangetoond dat het gebruik van Maximum en Minimum filtering de beste overeenstemming met de sensorische beoordeling geeft. Afhankelijk van het aantal termen waarmee de sensorische beoordeling wordt voorspeld, èn afhankelijk van het gebruik van gewichtsfactoren in het model ligt de overeenstemming tussen 74 en 87 procent. De overeenstemming met de kleurbeoordeling is minder goed te noemen.

Ondanks de slechte overeenstemming met de sensorische beoordeling per bakje zullen de nog resterende beelden die op tape zijn opgeslagen (320 MByte) nog gemeten worden met Maximum en Minimum filtering. De matrix data, die een betere voorspelling te zien gaf, zal dan ook worden meegenomen.

Tijdens een vervolg onderzoek zal de Maximum en Minimum filter techniek gebruikt gaan worden, eventueel in combinatie met vormfactoren. Onderzocht moet worden welke helderheidsinstelling (gain en offset) de

beste overeenstemming met de sensorische beoordeling geeft. Tevens moet de hoogte instelling van de camera tot de uien geoptimaliseerd worden. Ook de oriëntatie van de ui t.o.v. de camera moet getest worden om na te gaan of de worteluiteinden een nadelige invloed hebben. Voor een sorteersysteem zal het noodzakelijk zijn de programmatuur aan te passen zodat het mogelijk is te calibreren t.o.v. de achtergrond. Bij een volgend onderzoek zal, indien mogelijk, gebruik worden gemaakt van een kleurencamera, zodat de overeenstemming van kleurbeoordeling wellicht beter zal worden.

Wanneer de kleurbeoordeling beter voorspelbaar is zal deze gebruikt worden om de filterbreedte van de convolutie matrix èn, na convolutie van het originele beeld, het drempelniveau dynamisch in te stellen.



Bijlagen

A Experimenten opzet

In eerste instantie werden 10 uien in een bakje sensorisch beoordeeld op verwerking. Dit leverde dus één beoordeling voor 10 uien. Tevens werden de uien op kleur beoordeeld. Later is er een nieuwe proefopzet gedaan met 60 aselekt getrokken uien die door zes mensen per ui op verwerking en kleur werden beoordeeld.

Onderzoek is gedaan naar de inzetbaarheid van Maximum en Minimum filtering en Laplace convolutie om objectief de verwerking van uien te meten. Zoals eerder vermeld onder 3.2 Histogram worden bij elke grijswaardenmeting data naar een file weggeschreven. Om te voorkomen dat de achtergrond (mee)gemeten wordt worden binaire maskers gebruikt. Per oriëntatie van de ui worden achtereenvolgens naar file weggeschreven:

identificatie:	orientatie; uinummer;
grijswaarden:	minimum, G10, gemiddelde, meest voorkomende, G90, maximum;
oppervlakte:	oppervlakte hele ui;
% verwerking:	door Maximum en Minimum filter gedetecteerd;
grijsw. verw.:	minimum, G10, gemiddelde, meest voorkomende, G90, maximum;
% verwerking:	door Laplace convolutie gedetecteerd;
grijsw. verw.:	minimum, G10, gemiddelde, meest voorkomende, G90, maximum;
% verwerking:	door beide filters gedetecteerd;

Het programma leest een beeld van file naar greystore in, segmenteert het beeld, en voert een grijswaardenmeting uit van de gehele (halve) ui. Tevens wordt het aantal pixels (dus de oppervlakte) weggeschreven.

Vervolgens wordt een Maximum en Minimum filtering (kernel grootte 11 x 11 pixels) uitgevoerd waarna het originele beeld afgetrokken wordt. Het dan onstane beeld wordt dan gedrempeld (drempelniveau 10), waardoor de verweringsplekken in een binair vlak gevisualiseerd worden. Dit drempelniveau bepaald dus in feite de omvang van de verwerking en is dus cruciaal. De omvang van de verwerking bepaald door MaxMin filtering wordt dan berekend en weggeschreven als oppervlakte binaire masker na filtering gedeeld door de oppervlakte van de totale ui maal 100. Na het inlezen van het originele beeld wordt het binaire beeld als masker gebruikt voor een nieuwe grijswaardenmeting, om zodoende de mate van verwerking vast te stellen.

Daarna wordt een Laplace convolutie (kernel grootte 11 x 11 pixels) uitgevoerd, gedrempeld (drempel niveau 45), origineel beeld ingelezen, en ook weer grijswaardenmeting verricht. Net als bij MaxMin filtering worden dan het percentage verweerd oppervlak en de grijswaarden weggeschreven.

Als laatste stap wordt er een logical and functie uitgevoerd op het MaxMin, en het Laplace binaire vlak. Het resultaat is dan ook weer een binair vlak dat als masker gaat dienen voor een laatste grijswaardenmeting.

Per halve ui worden er in totaal 30 getallen weggeschreven. De eerste twee getallen dienen ter identificatie, de andere 28 beschrijven oppervlakten en grijswaarden.

In het geval waarbij vormfactoren werden meegenomen in de berekeningen is een andere presentatie gekozen. Ook hier werd weggeschreven oriëntatie, uiennummer, minimum, G10, gemiddelde, meestvoorkomende, G90 en de maximale grijswaarde. Vervolgens de verwerking door MaxMin filter gedetecteerd, en de gecorrigeerde verwerking. Tevens nog de Laplace verwerking en zijn gecorrigeerde percentage. In totaal dus 12 getallen. Er zijn hier geen grijswaardenmetingen meer uitgevoerd na het bepalen van het histogram van de ui omdat er enkel interesse was in de wel dan niet betere overeenstemming met de sensorische beoordeling.

B Resultaten

B.1 Proef met 60 uien door zes mensen beoordeeld:

In de nu volgende tabellen staan de resultaten die met behulp van Genstat zijn verkregen. De eerste tabel behandelt de overeenstemming tussen de afzonderlijke sensorische beoordelingen van de omvang van verwerking van de uien. Per kolom wordt een beoordelaar als model genomen en per rij de andere beoordelaars zo goed mogelijk gepast. In de tabel staan twee getallen per beoordelaar. Het linker getal is de overeenstemming uitgedrukt in procenten wanneer er geen gewichtsfactoren in het model werden gebruikt. Het rechter getal is de overeenstemming wanneer er in het model wèl gewichtsfactoren werden gebruikt. Naarmate de verwerking groter wordt ingeschat treden er ook grotere verschillen op in de afzonderlijke beoordelingen. De gewichten zijn berekend als $1/(\text{standaarddeviatie van de zes beoordelingen} + 0.01)$. In het model zijn geen constanten meegenomen.

Tabel 1: Overeenstemming tussen de sensorische beoordelingen

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Pgem
P1	-	92.6/94.5	86.1/90.0	91.3/93.7	86.6/89.5	87.9/91.7	95.1/96.6
P2	92.5/94.5	-	92.2/93.3	92.8/94.4	90.5/91.4	93.0/94.6	97.7/98.0
P3	86.7/90.0	92.7/93.4	-	93.9/94.3	84.8/88.8	94.0/94.4	95.7/96.4
P4	90.9/93.7	92.7/94.4	93.4/94.3	-	84.5/88.4	92.7/94.4	96.3/97.3
P5	86.9/89.6	90.8/91.4	84.4/88.8	85.4/88.5	-	87.9/89.7	93.3/94.5
P6	87.3/91.7	92.8/94.6	93.5/94.4	92.6/94.4	87.1/89.7	-	96.2/97.3

De tabellen die nu besproken worden behandelen de overeenstemming met CBA data. In elke tabel staan een aantal termen die Genstat heeft berekend, uitgaande van de gemiddelde sensorische beoordeling (Pgem) van verwerking van 60 uien. Deze gemiddelde waarden worden als model gebruikt voor het zoeken van de best passende CBA data. De term die het beste wordt gepast levert een geschatte parameter (estimate) met standaard fout (s.e.) en een student t waarde (t.) op. Deze t waarde geeft aan of de estimate significant van 0 verschilt. Voor een goed model moet de t waarde groter zijn dan 2. In aantal procenten (%) staat uitgedrukt in hoeverre de variantie in de sensorische gegevens wordt verklaard. De kolom met rmsp (residual mean square prediction error) is het gemiddelde kwadraat van de som van de verschillen van sensorische data en de voorspelling van het model, door telkens een ui weg te nemen en voor die ui de voorspelling uit te rekenen. Verder wordt, wanneer aangegeven, de best passende fit uitgerekend door toekennen van gewichtsfactoren aan de sensorische waarden in het model.

Onderstaande tabel geeft weer in welke mate de naar vormfactoren gecorrigeerde verwerking beter in overeenstemming is met de sensorische data.

Tabel 2: overzicht CBA data v. gecorrigeerde CBA data

CBA data	%	rmsp	term	estimate	s.e.	t
model	72.0	56.11	maxmin	1.753	0.103	17.00
zonder	73.3	53.48	corrmax	1.770	0.101	17.50
gewicht	72.2	56.07	laplace	1.0623	0.0622	17.07
	72.6	55.33	corrlap	1.0808	0.0628	17.21
	74.5	51.32	constant maxmin	-3.71 2.072	1.43 0.157	-2.59 13.16
	76.2	48.02	constant corrmax	-3.93 2.109	1.39 0.53	-2.83 13.77
	73.3	53.68	constant laplace	-2.59 1.1928	1.40 0.0935	-1.84 12.76
	73.8	52.70	constant corrlap	-2.72 1.2206	1.40 0.0943	-1.95 12.94
model	45.0	124.2	maxmin	0.848	0.121	7.02
met	45.0	123.1	corrmax	0.852	0.121	7.03
gewicht	51.8	105.5	laplace	0.5934	0.0739	8.03
1/(std+0.01)	50.1	109.4	corrlap	0.5833	0.0751	7.77
	71.9	65.12	constant maxmin	-1.505 1.486	0.198 0.120	-7.59 12.34
	73.0	61.72	constant corrmax	-1.544 1.513	0.196 0.199	-7.88 12.67
	69.0	69.62	constant laplace	-1.084 0.8512	0.186 0.0740	-5.82 11.51
	68.0	70.43	constant corrlap	-1.118 0.8544	0.192 0.761	-5.82 11.23

Het blijkt dat de overeenstemming beter wordt wanneer vormfactoren in de berekeningen worden meegenomen. De kleine verbetering echter doet vermoeden dat de verwerking over het oppervlak uitmiddelt. Aangezien het erodatie proces echter veel rekentijd vergt is in het verdere verloop van het onderzoek deze meetmethode niet meer gebruikt.

Om te achterhalen wat het beste beeldalgoritme is voor het bepalen van de

verwerking volgt een overzicht van maxmin filtering, laplace convolutie en een combinatie van beide.

Tabel 3: overzicht CBA data van geërodeerde uien

CBA data	%	rmsp	term	estimate	s.e.	t.
model	76.3		constant	-3.91	1.38	-2.83
			maxmin	2.103	0.152	13.82
zonder	74.4		constant	-2.74	1.38	-1.99
			laplace	1.2103	0.0922	13.13
gewicht	71.5		constant	-1.77	1.41	-1.25
			beide	3.108	0.255	12.19
	76.9	53.42	constant	-2.06	1.79	-1.15
			maxmin	1.326	0.509	2.60
			kwadmax	0.0443	0.0278	1.60
	75.6	56.23	constant	-0.70	1.69	-0.41
			laplace	0.557	0.342	1.63
			kwadlap	0.0240	0.0121	1.98
	71.9	64.92	constant	-0.63	1.62	-0.39
			beide	2.032	0.812	2.50
			kwadbeide	0.1069	0.0767	1.39
model	83.9	52.78	constant	-0.241	0.244	-0.99
			maxmin	0.116	0.218	0.53
			kwadmax	0.1092	0.0159	6.85
met	81.2	54.13	constant	-0.107	0.219	-0.49
			laplace	0.027	0.143	0.19
			kwadlap	0.04115	0.00650	6.33
gewicht	79.8	63.15	constant	-0.070	0.132	-0.53
			beide	0.821	0.454	1.81
			kwadbeide	0.2010	0.0549	3.66

De uien waren geërodeerd tot een verhouding van 0.85 van gemeten kleinste doorsnede tot oorspronkelijke kleinste doorsnede. Dit was zoals eerder vermeld gekozen om twee redenen. De eerste was omdat de Laplace convolutie de overgang van achtergrond naar de ui zou detecteren als verwerking. De andere was om te voorkomen dat de donkerdere worteluiteinden als verwerking gerekend zou worden. Het blijkt dat de verwerking door Maximum en Minimum filtering gedetecteerd in alle geprobeerde combinaties van gefitte termen een betere voorspelling oplevert.

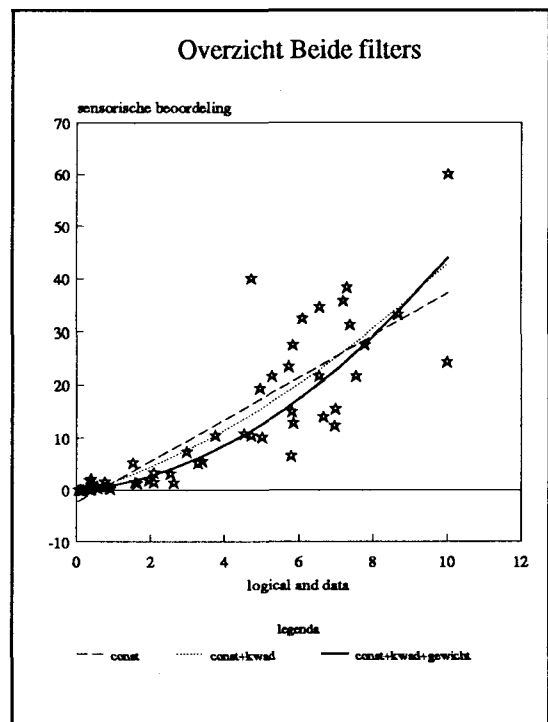
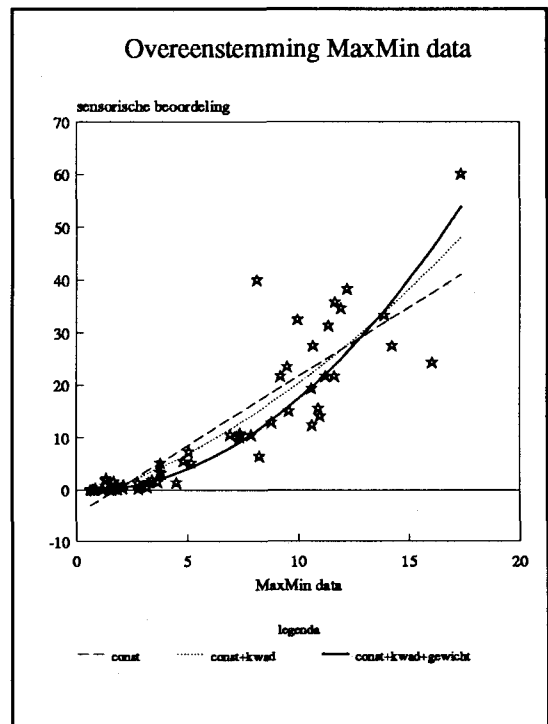
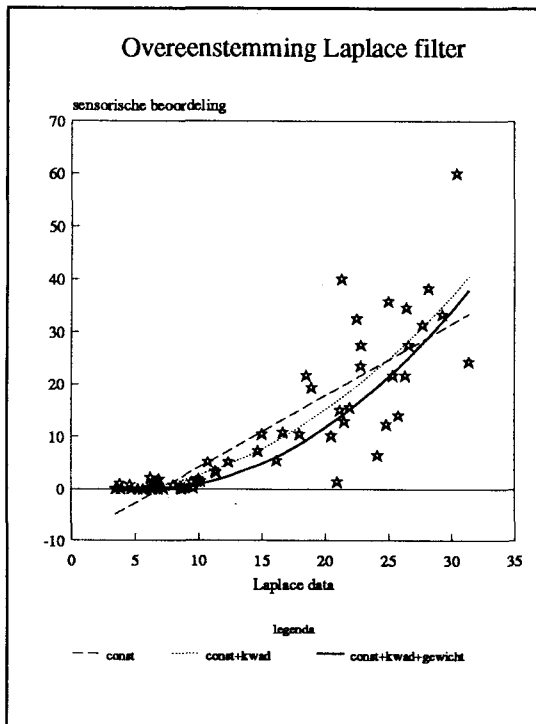
Om te kijken in hoeverre het eroderen invloed heeft op de resultaten werden de beelden opnieuw gemeten maar dan zonder de uien te eroderen. De volgende tabel geeft het overzicht. Het blijkt dat inderdaad de overeenstemming van de

Laplace convolutie met de sensorische beoordeling minder goed werd dan de metingen waar de uien wel werden geërodeerd. De voorspelling van de Maximum en Minimum filtering werd beter. Daar moet echter wel nog een kanttekening bij geplaatst worden. De uien werden op een zo goed mogelijke manier onder de camera geplaatst zodat het niet zeker is of de worteluiteinden een negatieve invloed hebben

Tabel 4: overzicht CBA data van niet geërodeerde uien.

CBA data	%	rmsp	term	estimate	s.e.	t.
model	78.4		constant	-4.76	1.35	-3.52
			maxmin	2.639	0.180	14.69
zonder	71.2		constant	-9.65	1.95	-4.94
			laplace	1.372	0.113	12.11
gewicht	74.0		constant	-2.37	1.37	-1.73
			beide	3.961	0.305	12.99
	79.7	47.70	constant	-2.07	1.83	-1.13
			maxmin	1.334	0.641	2.08
			kwadmax	0.0900	0.0426	2.11
	73.9	56.30	constant	-0.66	3.85	-0.17
			laplace	-0.133	0.575	-0.23
			kwadlap	0.0460	0.0172	2.67
	74.9	59.60	constant	-0.82	1.60	-0.51
			beide	2.22	1.03	2.61
			kwadbeide	0.214	0.121	1.77
model	86.7	46.38	constant	-0.102	0.255	-0.40
			maxmin	-0.122	0.232	-0.52
			kwadmax	0.1864	0.0208	8.95
met	77.0	57.18	constant	1.784	0.606	2.94
			laplace	-0.665	0.137	-4.87
			kwadlap	0.05792	0.00594	9.75
gewicht	83.0	56.52	constant	-0.114	0.143	-0.80
			beide	0.693	0.518	1.34
			kwadbeide	0.3699	0.0777	4.76

Om de getallen in bovenstaande tabel meer toe te lichten volgen nu drie grafieken.



Voorgaande tabellen en grafieken duiden aan dat de Maximum en Minimum filtering de beste methode is om objectief de verwerking van uien te detecteren. Vervolgens werd er onderzoek gedaan welke filtergrootte en drempelinstelling het beste resultaat geeft. De nu volgende tabellen proberen dit te achterhalen. In de linker kolom staan de instellingen. De F geeft de filterbreedte aan, T het drempelniveau en E de verhouding van kleinste gemeten doorsnede na eroderen en oorspronkelijke kleinste doorsnede. Wanneer E=1 is er dus niet geërodeerd. Alle Modellen gebruiken slechts één term en dus geen constante of kwadratische term.

Tabel 5: MaxMin verwerking, Model zonder gewicht.

CBA data	%	rmsp	estimate	s.e.	t.
F=11;T=10;E=0.85	73.5	53.26	1.767	0.101	17.55
F=11;T=10;E=1.0	74.3	51.58	2.138	0.120	17.88
F=11;T=15;E=1.0	71.4	57.53	3.404	0.203	16.77
F=11;T=10;E=	72.0	56.12	1.753	0.103	17.00
0.85;0.75;0.50	73.3	56.05	1.770	0.101	17.50
F= 9;T=15;E=1.0	73.6	53.32	3.816	0.217	17.60

Tabel 6: MaxMin verwerking, Model met gewicht.

CBA data	%	rmsp	estimate	s.e.	t.
F=11;T=10;E=0.85	43.6	127.3	0.822	0.120	6.83
F=11;T=10;E=1.0	34.9	154.4	0.794	0.139	5.70
F=11;T=15;E=1.0	60.7	88.68	2.203	0.229	9.62
F=11;T=10;E=	45.0	124.2	0.848	0.121	7.02
0.85;0.75;0.50	45.0	123.7	0.852	0.121	7.03
F= 9;T=15;E=1.0	67.9	73.07	2.745	0.244	11.26

Het blijkt dat wanneer de sensorische beoordeling voorspeld worden met het gebruik van gewichtsfactoren in het model, en maar één term (MaxMin verwerking) de overeenstemming minder goed wordt. Opvallend is de minder slechter wordende verklaring bij de laatste instelling. Vandaar zijn de beste en slechtste instellingen met meerdere termen verder onderzocht.

Tabel 7: Model met en zonder gewichtsfactoren en meerdere termen

CBA	%	rmsp	term	estimate	s.e.	t.
F=9 T=15	74.8	50.90	constant	-2.68	1.36	-1.97
			maxmin	4.29	0.324	13.28
gewicht	76.0	60.58	constant	-0.66	0.146	-4.57
			maxmin	3.209	0.234	13.71
F=9 T=15	75.4	59.93	constant	-1.23	1.64	-0.75
			maxmin	2.70	1.08	2.50
			kwadmax	0.205	0.132	1.55
gewicht	83.7	56.35	constant	-0.162	0.153	-1.06
			maxmin	0.728	0.503	1.45
			kwadmax	0.428	0.080	5.34

Tabel 8: Model met en zonder gewichtsfactoren en meerdere termen

CBA	%	rmsp	term	estimate	s.e.	t.
F=11 T=10	78.4	43.67	constant	-4.76	1.35	-3.52
			maxmin	2.64	0.180	14.69
gewicht	68.6	65.57	constant	-1.91	0.239	-8.01
			maxmin	1.75	0.154	11.39
F=11 T=10	79.7	47.70	constant	-2.07	1.83	-1.13
			maxmin	1.33	0.641	2.08
			kwadmax	0.09	0.043	2.11
gewicht	86.7	46.38	constant	-0.102	0.255	-0.40
			maxmin	-0.122	0.232	-0.52
			kwadmax	0.186	0.002	8.95

Tot dusverre waren de modellen volgens een normale distributie verdeling, met of zonder gewichtsfactoren opgesteld. Er is ook gekeken naar een verdeling die in het model niet normaal maar binomiaal is.

Tabel 9: Model met binomiale distributie verdeling

CBA data	rmsp	mean dev.	dev. ratio	residu	term	estimate	s.e.	t.
F=11 T=10	58.28	877	231	3.797	constant maxmin	-4.43 0.282	0.237 0.021	-18.71 13.02
	41.77	950	374	2.536	constant logmax	-7.45 2.54	0.448 0.186	-16.65 13.69
F=9 T=15	59.93	845	194	4.341	constant maxmin	-4.21 0.468	0.238 0.039	-17.66 11.99
	50.57	924	310	2.982	constant logmax	-6.07 2.492	0.384 0.202	-15.00 12.36

De twee tabellen die nu volgen behandelen de invloed van verschillende gewichtsfactoren die in het model zijn gebruikt.

Tabel 10: Model met verschillende gewichtsfactoren

CBA data	%	term	estimate	s.e.	t
F=11	72.0	maxmin	1.753	0.103	17.00
T=10	73.3	correct	1.770	0.101	17.50
E=0.85; 0.75;0.5	74.9	maxmin kwadmax	0.889 0.062	0.324 0.022	2.75 2.80
	77.0	correct kwadcorr	0.797 0.070	0.315 0.022	2.53 3.23
gewicht	45.0	maxmin	0.848	0.121	7.02
	45.0	correct	0.852	0.121	7.03
1/(std + 0.01)	82.5	maxmin kwadmax	-0.058 0.1184	0.105 0.010	-0.55 11.31
	84.4	correct kwadcorr	-0.073 0.1228	0.099 0.010	-0.73 12.22
gewicht	72.0	maxmin	1.549	0.116	13.34
	72.8	correct	1.560	0.115	13.59
1/(maxmin + 0.001)	79.2	maxmin kwadmax	0.504 0.0896	0.247 0.019	2.04 4.62
	81.0	correct kwadcorr	0.443 0.0964	0.237 0.018	1.87 5.14

Tabel 11: Model met verschillende gewichtsfactoren

CBA data	%	term	estimate	s.e.	t
F=11;	71.2	maxmin	2.871	0.172	16.70
T=10 E=0.85	72.3	maxmin kwadmax	1.818 0.1219	0.593 0.066	3.07 1.85
gewicht	74.6	maxmin	2.305	0.174	13.26
1/(std + 0.01)	80.0	maxmin kwadmax	0.725 0.210	0.414 0.051	1.75 4.11
gewicht	77.1	maxmin	2.678	0.187	14.31
1/(maxmin 0.001)	79.4	maxmin kwadmax	1.436 0.166	0.483 0.060	2.98 2.77

B.2 Proef met 80 bakjes met elk 10 uien:

De resultaten die verkregen zijn waarbij de sensorische beoordeling over 10 uien in een bakje geschat werden volgen nu. In totaal waren 76 bakjes (82 MByte image data) van elk tien uien gemeten en met Genstat de CBA data geanalyseerd.

Tabel 12: Model Sensorische beoordeling met constante

Gefitte termen	% verklaring
maxmin verwerking	8.3
laplace verwerking	12.6
beide filters	4.6
minimum histogram	31.9
G10 histogram	32.6
mean histogram	31.5
mode histogram	34.9
G90 histogram	23.9
maximum histogram	13.9
maxmin verwerking mean histogram	31.9
maxmin verwerking mode histogram	34.9
matrix data	27.9
dataplus kwadratisch mode histogram	50.8

Het is duidelijk een minder goede overeenstemming dan wanneer de sensorische beoordeling per ui apart ging. Opvallend is dat de CBA data die het histogram van de hele ui beschrijft meer over verwerking verklaard dan de CBA data die de verwerking proberen te beschrijven. Ook Principal Component Analysis gaf eenzelfde resultaat te zien.

De matrix data vraagt een nadere uitleg. Deze zijn verkregen door de mate van verwerking mee te rekenen afhankelijk van de G10 grijswaarde van de verwerking die door beide filters is gedetecteerd. Allereerst werd naar de gemiddelde grijswaarde van het histogram gekeken. Was deze hoger dan 114 was de ui licht en wanneer het G10 niveau van beide filters lager dan 53 bedroeg werd de verwerking als zwaar gerekend. Onafhankelijk van het percentage verwerking kwam deze dan in de negatieve kant van de matrix terecht.

Kleur ui: Verwerking zwaar wanneer:

mean histogram	G10 beide filters
> 114 : licht	< 52
98 - 114 : middel	< 46
< 98 : donker	< 41

Lichte verwerking

Zware verwerking

verwerking	<2	<4	<6	<8	<10	>10	<2	<4	<6	<8	<10	>10
gewicht	+6	+5	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3	-4	-5	-6

Wel afhankelijk van het percentage verwerking is de plaats in de matrix waar een hit werd bijgeschreven. In het geval dat de (halve) ui donker was, G10 niveau > 41, en een percentage (maxmin) verwerking < 2, kwam de hit in vakje +6. Voor een bakje met 10 uien werden dus 20 halve uien-hits in de matrix geplaatst. De matrix data werden dan per uien code gerekend als zijnde de som van de hits maal de gewichtsfactor, gedeeld door het aantal (halve) uien. Een bakje uien met veel lichte verwerking hebben dus een grote (maximaal 6) matrix data, integenstelling tot een bakje met veel zwaar verweerde uien (maximaal -6). Om een kwadratische fit te kunnen maken is dataplus berekend als zijnde de matrix data, plus de grootst negatieve matrix data die voorkwam in de 76 onderzochte bakjes.

De matrix-indeling geeft wel een betere overeenstemming met de sensorische gegevens, maar het vermoeden bestaat dat die benaderingswijze altijd op een percentage rond de 50% neerkomt.

B.3 Beoordeling op kleur:

De laatste twee tabellen behandelen de overeenstemming op kleurbeoordeling.

Bij de proef waarbij 10 uien in een bakje tegelijk werden beoordeeld werden de uien in tien klassen ingedeeld, aangeduid met letters. Met de in Genstat aanwezige functie ORDINALLOGISTIC werden van drie grijswaarde-niveaus de grenzen tussen de klassen berekend.

Tabel 13: Kleurbepaling per bakje

grijswaarde	deviance	mean deviance	estimate	boundaries
mean	341.2	3.749	0.23	19.16;20.41;21.80;- 22.66;23.85;24.38; 26.41;27.54;30.04
G90	368.6	4.050	0.15	18.62;19.77;20.99;- 21.74;22.73;23.17; 24.85;25.77;28.06
mode	350.6	3.853	0.17	14.12;15.33;16.64;- 17.46;18.62;19.14; 21.08;22.15;24.60

Doordat de gemiddelde grijswaarde (mean) de kleinste mean deviance vertoonde is bij het opstellen van eerder genoemde matrix data deze gebruikt om de grenzen aan te geven tussen lichte, middel en donkere uien. Deze zijn bepaald door de 4-de en 7-de grens als volgt te berekenen:

$$\text{estimate} * x = \text{bound}[i]$$

Dus voor bound[4] geldt een mean grijswaarde $x = 22.66 / 0.23 = 98.52$

en voor bound[7] volgt $x = 26.41 / 0.23 = 114.83$.

Een ui werd geclassificeerd als licht wanneer mean grijswaarde >114 , middel 98-114, en donker wanneer mean < 98 .

Bij de sensorische beoordeling van 60 uien werden de uien in vijf klassen ingedeeld, aangeduid door cijfers 1 (licht) t/m 5 (donker). De grijswaarden in onderstaande tabel beschrijven het histogram van de gehele (halve) ui. Met P wordt de beoordelaar aangeduid, P 1-6 is de gemiddelde kleurbeoordeling.

Tabel 14: Kleurbepaling per ui

grijswaarde	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 1-6
minhis	0.3	<	0.2	<	<	<	<
G10his	24.3	11.8	25.9	19.2	13.1	8.6	22.7
meanhis	35.5	29.3	38.2	30.0	25.7	16.4	39.0
modehis	19.4	10.5	20.3	13.3	15.4	3.7	17.9
G90his	39.2	36.0	42.6	33.2	30.3	22.0	45.7
maxhis	40.6	32.5	44.5	30.8	30.5	24.4	45.4

Het blijkt dat in de gemiddelde beoordeling het G90 en het maximale niveau het beste de kleur beschrijven, maar de overeenstemming is niet groot te noemen.