

Kleurafstemming tussen sRGB-monitor en wide color gamut monitor

1. Inleiding

EIZO Nanao Corporation levert de ColorEdge-serie kleurenmonitoren sinds mei 2003. Deze monitoren worden intensief toegepast in grafische industrie, drukkerijen en fotostudio's.

Het kleurbereik van invoer- en uitvoerapparatuur is de afgelopen jaren sterk uitgebreid, zoals duidelijk wordt bewezen door de opkomst van monitoren, digitale camera's en printerinkt die Adobe RGB ondersteunen. Dit heeft geleid tot de brede verspreiding van Adobe RGB workflows. In december 2004 ontwikkelde en introduceerde EIZO een kleurenmonitor (ColorEdge CG220) die compatibel was met de kleuruimte Adobe RGB.

In het recente verleden is af en toe geconstateerd dat er kleurverschillen optreden tussen een sRGB-monitor met een conventionele kleuruimte en een monitor met een grotere kleuruimte (wide color gamut), zoals de genoemde Adobe RGB compatibele typen.

Dit artikel behandelt diverse onderwerpen die aan de orde komen bij het afstemmen van de kleurenweergave tussen sRGB-monitoren en monitoren met een grotere kleuruimte, bijvoorbeeld Adobe RGB. Bovendien bespreekt de tekst maatregelen die in monitor- en kalibratiesoftware zijn opgenomen.



2. sRGB-monitor en wide color gamut monitor

2-1. Verschillen in kleuruimte tussen sRGB-monitor en wide color gamut monitor

Tabel 1 geeft aan welk deel van de Adobe RGB-kleuruimte(*) wordt weergegeven door de EIZO ColorEdge-serie wide color gamut (gegevens van april 2008). Vergelijking tussen sRGB en Adobe RGB (een gangbare norm voor wide color gamut) toont aan dat de kleuruimte Adobe RGB bij groen breder is dan sRGB (zie tabellen 2 en 3). Daarom kan de wide color gamut monitor niet alleen groentinten nauwkeuriger weergeven, maar ook andere kleuren

met een diepe verzadiging, zoals cyaan, geel en oranje, die in sRGB onhaalbaar zijn (zie afb. 1).

* Het Adobe RGB-bereik geeft aan welk percentage van de Adobe RGB kleuruimte door de monitor wordt weergegeven.

Monitor	Adobe RGB-bereik
CG221	98%
CG241W	96%
CG222W	92%

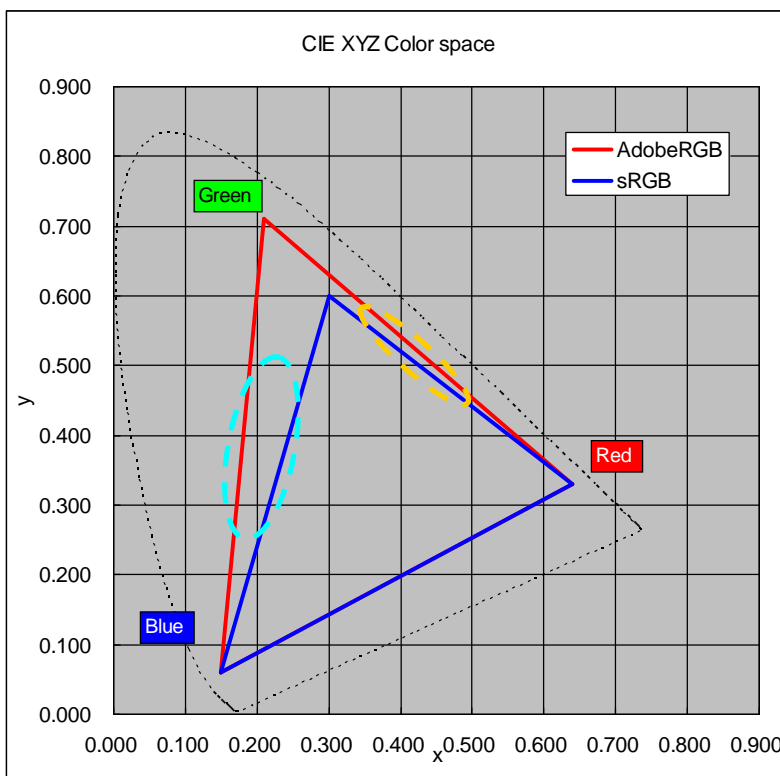
Tabel 1: Weergave van Adobe RGB op wide color gamut monitor

	X	y
R	0.640	0.330
G	0.210	0.710
B	0.150	0.060

Tabel 2: Adobe RGB kleurcoördinaten

	x	Y
R	0.640	0.330
G	0.300	0.600
B	0.150	0.060

Tabel 3: sRGB kleurcoördinaten



Afbeelding 1: Vergelijking kleuruimten

2-2. Visueel verschil tussen sRGB en wide color gamut monitoren

We vergelijken nu een sRGB-monitor met een wide color gamut monitor, terwijl ze beide met dezelfde referentiewaarden zijn gekalibreerd. Als we twee sRGB-monitoren zouden vergelijken, zien we op beide schermen dezelfde kleuren, maar welke verschillen zien we als we hetzelfde doen met een sRGB-monitor en een wide color gamut monitor?

Afb. 2 toont een sRGB-monitor (CG211) en een wide color gamut monitor (CG241W) die beide met dezelfde waarden zijn gekalibreerd (helderheid 100 cd/m², kleurtemperatuur 5000 K, gammawaarde: 2,2 en meetinstrument Eye-One Pro). Beide monitoren tonen een wit scherm, maar er is een duidelijk kleurverschil waarneembaar. Het beeld van de sRGB-monitor is blauwer. Toch zijn beide monitoren met dezelfde waarden gekalibreerd. Waar komt dat verschil vandaan?



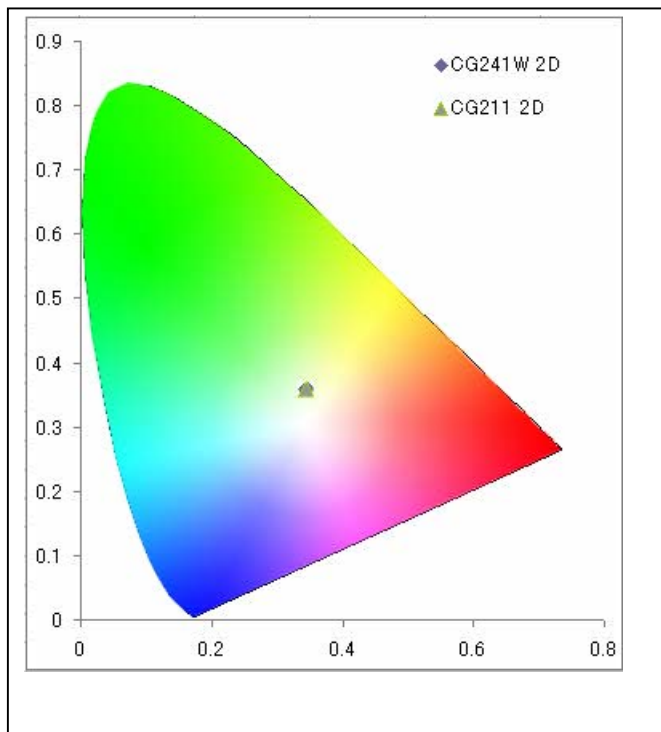
Afbeelding 2: Vergelijking van monitoren met verschillende kleuruimte

3. Beoordelingsverschillen tussen meetinstrumenten en visuele waarneming

Nu willen we nagaan waarom er verschillen zijn tussen een wit scherm op een sRGB en op een wide color gamut monitor die met dezelfde instellingen zijn gekalibreerd, zoals bij 2.2. beschreven.

3-1. Uitgevoerde metingen

Afbeelding 3 toont de resultaten van metingen aan de witte schermen (zie afb. 2) op de CG211 (sRGB) en de CG241W (wide color gamut), uitgevoerd met een meetinstrument (gezichtsveld 2 graden, kleuruimte XYZ). In deze meting blijken de resultaten op de CG211 en CG241W praktisch gelijk.



Afbeelding 3: Afwijking tussen subjectieve visuele beoordeling en meten met instrumenten

3-2. Op een monitor weergegeven kleuren meten met een meetinstrument

Het meten van de kleuren op een monitor gaat als volgt:

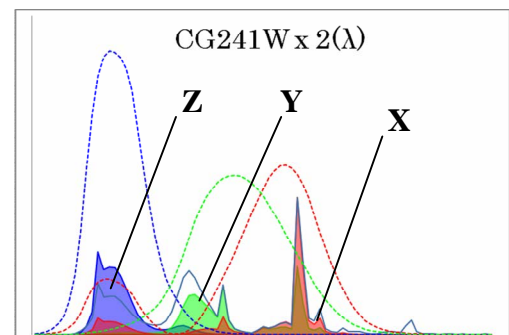
- (1) De waarden voor de spectrumverdeling van de monitor en de meetgevoeligheid (RGB) van de meetinstrumenten worden vermenigvuldigd (XYZ-waarde).
- (2) Deze berekende XYZ-waarde wordt gebruikt voor het berekenen van de kleurcoördinaten.

Afb. 4 geeft de spectrumverdeling bij de CG211 en de CG241W. Daaruit blijkt een significant verschil tussen een sRGB-monitor en een wide color gamut monitor bij golflengten van 450 tot 550 nm, het spectrum voor groen.

De gemeten kleuren zijn de superpositie van de spectraalverdeling van de monitor op de gevoeligheid (RGB) van het meetinstrument, zoals bij (1) hierboven vermeld. Daarom zal de meting (rode XYZ-waarden) in bepaalde gevallen hetzelfde zijn terwijl de vormen van de overlappende delen verschillen (gekleurde delen in curves rechtsonder).

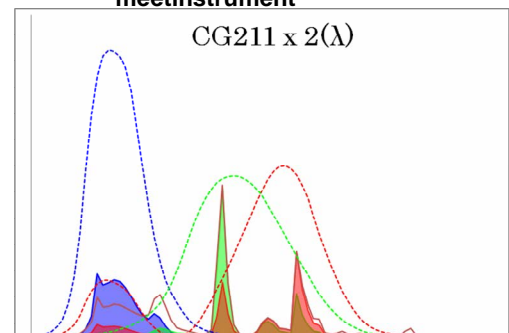
Omdat het meetresultaat (rode XYZ-waarden) bij de CG241W en CG211 hetzelfde is, moeten de door beide monitoren weergegeven kleuren als "dezelfde kleur" worden beschouwd als we het over waarden van een meetinstrument hebben.

Product van eigenschappen van CG241W en gevoeligheid van meetinstrument

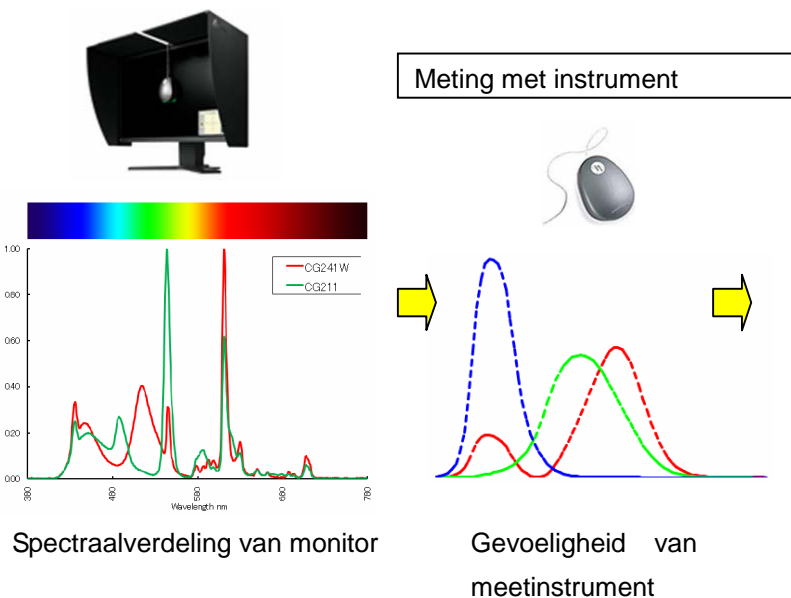


	X	Y	Z
CG241W	115	120	113

Product van eigenschappen van CG211 en gevoeligheid van meetinstrument



	X	Y	Z
CG211	115	120	113



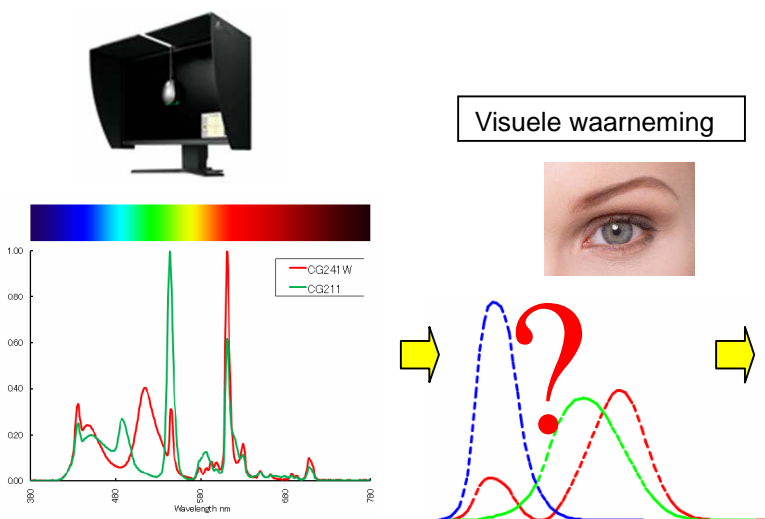
Afbeelding 4: Product van spectraalverdeling van CG211/CG241W en meetgevoeligheid van meetinstrument

3-3. Op een monitor weergegeven kleuren beoordelen met visuele waarneming

Het “meten” van de kleuren op een monitor via visuele waarneming gaat als volgt:

- (1) De waarden voor de spectrumverdeling van de monitor en de visuele gevoeligheid van de ogen (RGB: de LMS-kegels) worden vermenigvuldigd (gesuperponeerd).
- (2) Met de daaruit berekende RGB (LMS) worden de kleuren beoordeeld.

Het resultaat van deze methode is in feite geen “berekening” maar een “interpretatie”. Toch zijn de meetprincipes hetzelfde als bij toepassing van een meetinstrument. De meting is het resultaat van de superpositie van de spectraalverdeling van de monitor op de gevoeligheid van het menselijk oog. Als metingen met het meetinstrument verschillen van de resultaten van visuele waarneming (dus als A, B en C verschillen van resp. A', B' en C'), dan kunnen we concluderen dat de gevoeligheid van het meetinstrument verschilt van de gevoeligheid van het menselijk oog.

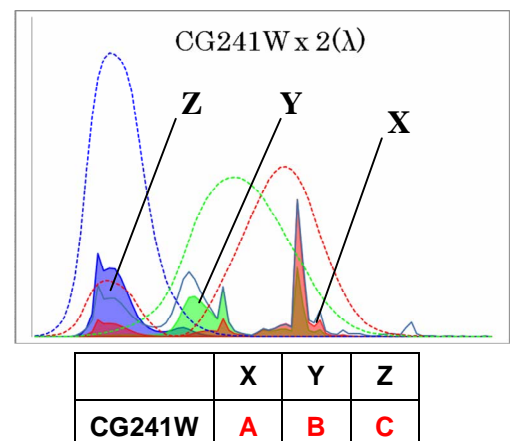


Spectraalverdeling van monitor

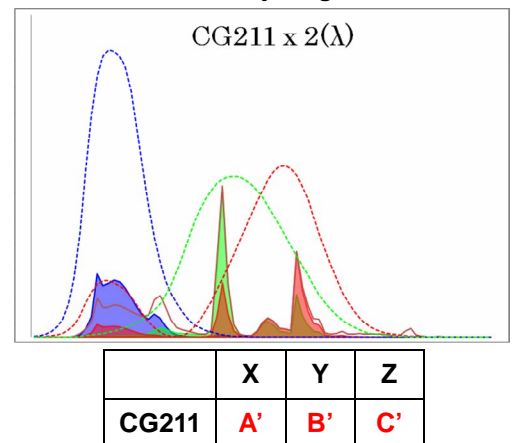
Gevoeligheid van menselijk oog

Afbeelding 5: Product van spectraalverdeling van CG211/CG241W en gevoeligheid van menselijk oog

Product van eigenschappen van CG241W en gevoeligheid van menselijk oog



Product van eigenschappen van CG211 en gevoeligheid van menselijk oog



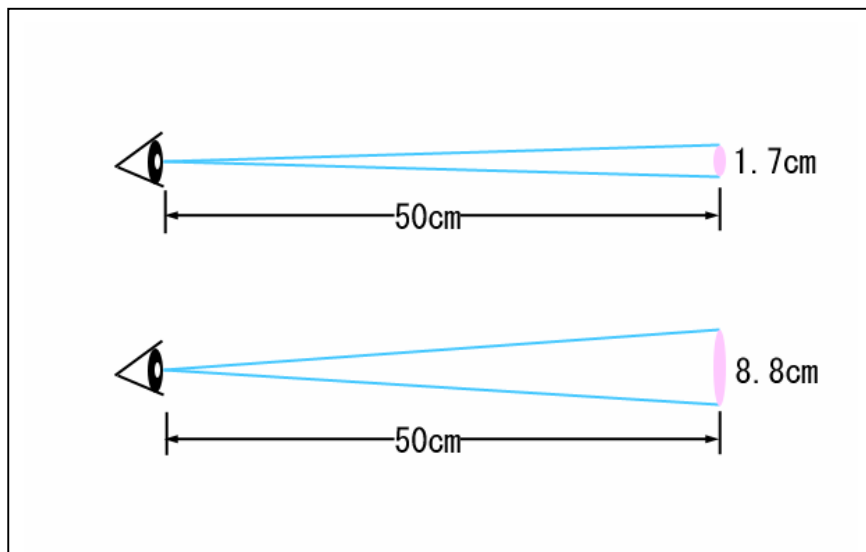
4. Kleurafstemming gebaseerd op meetinstrumenten en op visuele waarneming

Hieronder behandelen we methoden voor kleurafstemming gebaseerd op meetinstrumenten en op visuele waarneming.

4-1. XYZ-kleurruimte bij gezichtsveld van 2 graden en bij gezichtsveld van 10 graden

De algemeen toegepaste regels voor het meten van de kleurenweergave van apparatuur hanteren een XYZ-kleurruimte gebaseerd op een gezichtsveld van 2 graden (ook wel $X_2Y_2Z_2$ kleurruimte genoemd). Uiteraard wordt de XYZ-kleurruimte gebaseerd op een gezichtsveld van 2 graden ook gebruikt bij het kalibreren van monitoren en de vervaardiging van kleurenprofielen.

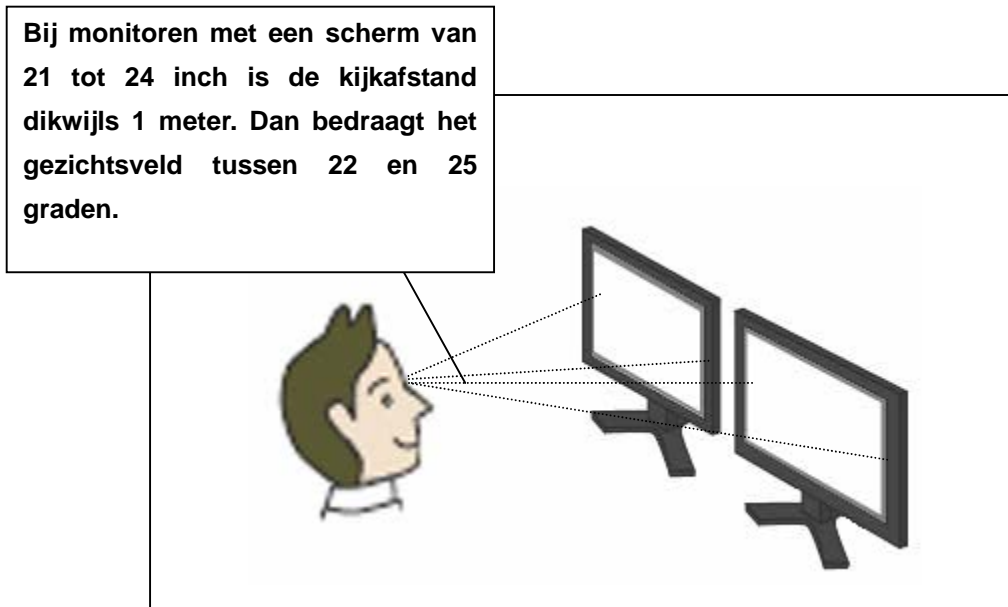
De XYZ-kleurruimte berust op een kleurafregelingsexperiment met een gezichtsveld van 2 graden. Die “2 graden” van het “gezichtsveld” verwijzen naar het gezichtsveld van de gebruiker die een voorwerp bekijkt. Zie afbeelding 6. Later uitgevoerde experimenten toonden echter aan dat de spectrale gevoeligheid varieert afhankelijk van de breedte van het beeld op de retina van het oog van de waarnemer. Op grond daarvan ontwikkelde de CIE (International Commission on Illumination) in 1964 de extra kleurruimte $X_{10}Y_{10}Z_{10}$, die gebaseerd is op een breder gezichtsveld van 10 graden. Toch is de XYZ kleurruimte gebaseerd op een gezichtsveld van 2 graden een *de facto* standaard voor kleurmetingen.



Afbeelding 6: Gezichtsveld van 2 graden en van 10 graden

4-2. Gezichtsveld in de praktijk

In de praktijk zal de gebruiker op een beeldschermwerkplek het hele scherm gebruiken en vergelijken, zoals in afbeelding 7. Daarom vinden we dat de daadwerkelijke observatie voor kleurafstemming sterker overeenkomt met de omstandigheden bij een gezichtsveld van 10 graden dan die bij een gezichtsveld van 2 graden.



Afbeelding 7: Gezichtsveld in dagelijkse praktijk

4-3. Kalibratie gebaseerd op gezichtsveld van 10 graden

Veel spectrofotometers zijn geschikt voor metingen gebaseerd op gezichtsvelden van zowel 2 als 10 graden. Hier hebben we gekalibreerd met een gezichtsveld van 10 graden, want metingen met een gezichtsveld van 10 graden sluiten beter aan bij de omstandigheden waarin monitoren in de praktijk worden gebruikt. Uit afbeelding 8 blijkt dat de schermen van de beide monitoren even wit lijken. Daaruit kunnen we afleiden dat kalibraties met een gezichtsveld van 10 graden subjectief nauwkeuriger zijn dan met een gezichtsveld van 2 graden, zodat de nauwkeurigheid van de kleurafstemming wordt verbeterd.

Dit bevestigt ook dat de kalibratie van het meetinstrument op een gezichtsveld van 10 graden betere subjectieve resultaten oplevert.



Afbeelding 8: Resultaten van kalibratie met gezichtsveld ingesteld op 10 graden

5. Maatregelen in ColorNavigator kalibratiesoftware

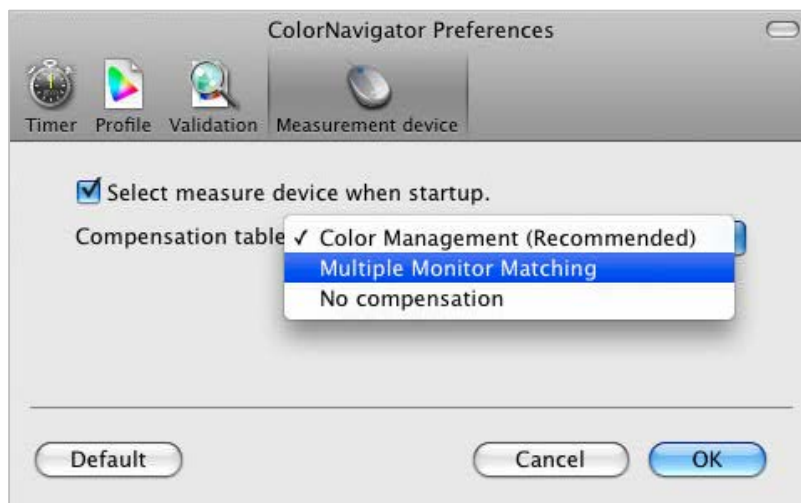
Hieronder worden diverse functies behandeld waarmee onze kalibratiesoftware ColorNavigator de kleurafstemming tussen sRGB en wide gamut (Adobe RGB) verbetert.

5-1. Witkalibratie gebaseerd op gezichtsveld van 10 graden

Zoals onder 4.1 vermeld, worden bij gangbare kalibratie, afregeling en meting van monitoren XYZ-waarden van de XYZ-kleurruimte met een gezichtsveld van 2 graden toegepast. In de praktijk zal een mens bij het beoordelen van de kleurenweergave echter het hele schermoppervlak bekijken, zoals afbeelding 5 toont. Daarom komen de praktijkomstandigheden beter overeen met de omstandigheden bij een gezichtsveld van 10 graden dan die bij een gezichtsveld van 2 graden. Voor het beoordelen van een gezichtsveld van meer dan 4 graden adviseert ook de CIE (International Commission on Illumination) de toepassing van de XYZ-kleurruimte gebaseerd op een gezichtsveld van 10 graden.

Onze ColorNavigator-kalibratiesoftware (versie 5.1 en hoger) bevat de functie Multiple Monitor Matching voor witkalibratie (zie afbeelding 9), gebaseerd op een gezichtsveld van 10 graden. Met deze functie verbetert ColorNavigator de kleurafstemming tussen sRGB en wide gamut monitoren.(*)

* Informatie over ICC-profiel is gebaseerd op gezichtsveld van 2 graden.



Afbeelding 9

6. Andere maatregelen voor kleurafstemming tussen monitoren

Kleurafstemming voor monitoren kan ook worden beïnvloed door de prestaties en de eigenschappen van een LCD, waaronder de verschillen in de contrastverhouding, kleurtoonweergave en uniformiteit. Die problemen heeft EIZO met de hieronder behandelde maatregelen opgelost.

Verschillen in contrastverhouding:

Bepaalde verschillen in de contrastverhouding zijn zelfs waarneembaar tussen twee verschillende LCD-modules of modellen uit de ColorEdge-serie. De contrastweergave verschilt per LCD-module of LCD-type. Dit is een factor die de kleurafstemming tussen monitoren beïnvloedt, vooral bij donkere tinten. In die gevallen kan men het effect van die verschillen tot een minimum beperken door bij beide monitoren in ColorNavigator dezelfde waarde voor het zwartniveau in te stellen. In de software is standaard de “minimale waarde” ingesteld en die wordt bij beide monitoren vervangen door dezelfde nieuwe waarde om het effect te beperken.

Kleurtoonverschillen:

Kleurtoonverschillen kunnen niet door de gebruiker worden verholpen. Daarom zorgt EIZO voor de afregeling van de kleurtoonweergave bij elke afzonderlijke ColorEdge-monitor, om de hoogste kwaliteit te waarborgen.

Uniformiteit:

De belangrijkste modellen uit de ColorEdge-serie, waaronder de CG211, CG221, CG301W, CG241W en CG222W, zijn uitgerust met de schakeling Digital Uniformity Compensation voor een uniforme helderheid en kleurenweergave.

Handmatige instelmogelijkheden:

Voor gebruikers die nog strengere eisen stellen heeft ColorNavigator handmatige instelfuncties, bijvoorbeeld voor het witpunt, de helderheid en de kleurtoonweergave en een 6-kleurenafregeling, waarmee extreem nauwkeurige kleurafstemming haalbaar is. Deze functies helpen bij het visueel optimaal afstemmen van kleuren.

7. Samenvatting

Bij de kleurafstemming tussen monitoren met een verschillende kleuruimte is het belangrijk na te gaan hoe de mens in de praktijk het beeld van monitoren vergelijkt en om de resultaten daarvan toe te passen bij daadwerkelijke metingen en analyses. We concluderen dat een van de effectiefste benaderingen is dat er een meetinstrument wordt toegepast dat gebruik maakt van een gezichtsveld van 10 graden in plaats van de conventionele waarde van 2 graden. Dat grotere gezichtsveld komt namelijk veel beter overeen met de daadwerkelijke praktijkomstandigheden. Voor kleurafstemming met de hoogste precisie hanteren onze ColorEdge-serie en onze kalibratiesoftware ColorNavigator een meetmethode gebaseerd op een gezichtsveld van 10 graden.