Kleurbeoordelen in de Praktijk

DEEL 3
Sectorspecifieke Toepassingen

Een praktische gids voor professionals in productie en kwaliteitscontrole

1e druk
Mark Kotterink

Kleurbeoordelen in de Praktijk

DEEL 3

Sectorspecifieke Toepassingen

Een praktische gids voor professionals in productie en kwaliteitscontrole

Colofon

Ontwikkeling en productie

Stichting Nederlands Kleur Instituut
Uitgeverij SNKI
Van Allenstraat 110
1562 TN Krommenie

Email: info@nederlandskleurinstituut.nl
www.nederlandskleurinstituut.nl

Auteur: Mark Kotterink
1e druk, juni 2025
ISBN: 9789493058125
NUR: 656, additioneel: 100, 157

Dit boek is Deel 3 Sectorspecifieke Toepassingen van de driedelige reeks "Kleurbeoordelen in de Praktijk"

De complete reeks bestaat uit:
- Deel 1: Theoretische Grondslagen (ISBN: 978-94-93058-11-8)
- Deel 2: Meting en Beoordeling (ISBN: 978-94-93058-18-7)
- Deel 3: Sectorspecifieke Toepassingen (ISBN: 978-94-93058-12-5

Trefwoorden: Kleurbeoordeling, Kleurkwaliteit, Colorimetrie, Visuele waarneming, Kleurmanagement, Kwaliteitscontrole, Industriële toepassingen, Spectrofotometrie, Kleurconstantie, Lichtbronnen, Kleurverschil, Economische impact, Kleurharmonie, Textiel, Coatings, Kunststoffen, Grafische industrie, Voedingsindustrie, Kleurstandaardisatie
Metamerisme

© Copyright 2025 Nederlandse Kleurenschool. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Ondanks alle aan de samenstelling van dit boek bestede zorg kan noch de uitgever noch de auteur aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die het gevolg is van enige fout in deze uitgave.

Voorwoord

Met dit derde en laatste deel van de reeks *Kleurbeoordelen in de Praktijk* maken we de vertaalslag naar concrete, sectorspecifieke toepassingen. Waar deel 1 de theoretische grondslagen legde en deel 2 de meetmethoden en beoordelingstechnieken uiteenzette, biedt dit deel praktische implementatiestrategieën voor uiteenlopende industrieën.

In mijn consultancypraktijk merk ik dat organisaties vaak worstelen met de vertaling van algemene kleurprincipes naar hun specifieke materialen, processen en kwaliteitsnormen. Wat werkt voor textiel, is niet zomaar toepasbaar op voedingsmiddelen; wat relevant is voor automotive coatings, verschilt wezenlijk van de eisen in de grafische industrie. Deze sectorspecifieke nuances vereisen gerichte expertise en aangepaste methodieken.

Dit slotdeel biedt daarom een diepgaande analyse van de unieke uitdagingen én oplossingen binnen een aantal sleutelsectoren. Voor elke industrie worden zowel de technische bijzonderheden als de economische afwegingen behandeld, ondersteund door praktijkcases en implementatierichtlijnen. Bijzondere aandacht gaat uit naar innovatieve benaderingen die de grenzen van conventionele kleurbeoordeling verleggen.

De complete driedelige reeks vormt een integrale benadering: van fundamenteel begrip via betrouwbare meetmethoden naar praktische toepassing. Deze holistische aanpak stelt professionals in staat om kleurbeoordelingsprocessen te optimaliseren die werkelijk waarde toevoegen in hun specifieke context.

Mijn hoop is dat deze reeks niet alleen dient als referentiewerk, maar ook als katalysator voor innovatie en kwaliteitsverbetering in elke sector waarin kleur een kritische parameter vormt.

.— Mark Kotterink

Krommenie, juni 2025

Inhoudsopgave

Voorwoord 4

Inhoudsopgave 5

Inleiding 11

Sectie V: Sectorspecifieke toepassingen 12

Hoofdstuk 17: Kleurbeoordeling in textiel en kleding 13

17.1 Specifieke uitdagingen: textuur, vezeltypes, directionaliteit 13

17.1.1 Invloed van textuur op kleurwaarneming 13

17.1.2 Vezeltypes en hun invloed op kleur 15

17.1.3 Directionaliteit en oriëntatie-effecten 16

17.1.4 Praktische implicaties en oplossingsbenaderingen 17

17.2 Kleurveranderingsbeoordelingen: lichtechtheid, wasechtheid, wrijfechtheid 18

17.2.1 Principes van kleurveranderingsevaluatie 18

17.2.2 Lichtechtheid: testmethoden en evaluatie 19

17.2.3 Wasechtheid: beoordeling van kleurverandering en kleuroverdracht 21

17.2.4 Wrijfechtheid: droge en natte evaluatie 25

17.2.5 Geïntegreerde kleurduurzaamheidsevaluatie 26

17.3 Instrumentele metingen van textiel 27

17.3.1 Instrumentele configuraties voor textielmeting 27

17.3.2 Gespecialiseerde metrics voor textielkleurmeting 29

17.3.3 Instrumentele evaluatie van kleurverandering en kleuroverdracht 31

17.3.4 Textuurcorrectie in kleurmeting 33

17.4 Kwaliteitscontrolestrategieën in de textielindustrie 34

17.4.1 Kleurstandaarden en toleranties in textiel 34

17.4.2 Kwaliteitscontroleprocedures in verschillende productiefases 36

17.4.3 Instrumentele versus visuele beoordeling in praktijk 38

17.4.4 Kleurmanagement door de textieltoeleveringsketen 40

Hoofdstuk 18: Kleurbeoordeling in coatings en oppervlaktebehandelingen 49

18.1 Specifieke uitdagingen: glans, substraatinvloeden, dekking 51

18.1.1 Glanseffecten op kleurwaarneming 51

18.1.2 Substraatinvloeden op coatingkleur 53
18.1.3 Applicatie-effecten op kleuruniformiteit 55
18.2 Geavanceerde beoordelingsaspecten: metamerisme, special effects 56
18.2.1 Metamerisme in coatings 56
18.2.2 Special effect coatings 57
18.2.3 Structuureffecten en texturen 60
18.3 Instrumentele metingen van coatings 61
18.3.1 Geometrie-overwegingen voor coatingmetingen 61
18.3.2 Geavanceerde meetinstrumenten voor coatings 62
18.3.3 Kalibratie en standaardisatie van meetinstrumenten 64
18.3.4 Correlatie tussen instrumentele en visuele beoordelingen 65
18.4 Kwaliteitscontrolestrategieën in de coatingindustrie 67
18.4.1 Procesbewaking en statistische procescontrole 67
18.4.2 Tolerantiestrategieën en acceptatiecriteria 68
18.4.3 Interlaboratorium programma's en harmonisatie 71
18.4.4 Digitalisering en geavanceerde analytics in coatingkleurbeheer 72
Hoofdstuk 19: Kleurbeoordeling in kunststoffen 79
19.1 Specifieke uitdagingen: transparantie, verwerkingsomstandigheden 81
19.1.1 Fundamentele optische eigenschappen van kunststoffen 81
19.1.2 Impact van verwerkingsomstandigheden op kleur 82
19.1.3 Kleurmiddelen en additieven: Unieke overwegingen 85
19.1.4 Metallic en speciale effect kleuren 86
19.2 Geavanceerde beoordelingsaspecten: haze, UV-stabiliteit 87
19.2.1 Haze en transparantie-evaluatie 87
19.2.2 UV-stabiliteit en verouderingsbeoordeling 89
19.2.3 Glans en oppervlakte-esthetiek 91
19.2.4 Kleurhomogeniteit en distributie-evaluatie 92
19.3 Instrumentele metingen van kunststoffen 94
19.3.1 Instrumentconfiguraties voor kunststofmetingen 94
19.3.2 Speciale metingen voor kunststoftoepassingen 97
19.3.3 Data-analyse voor polymere materialen 98
19.3.4 Correlatie met visuele beoordeling 100
19.4 Kwaliteitscontrolestrategieën in de kunststofindustrie 102
19.4.1 Kleurstandaarden en -toleranties voor kunststoffen 102

19.4.2 Kwaliteitscontrole tijdens de verschillende verwerkingsfasen 104
19.4.3 Speciale overwegingen voor verschillende kunststofmarktsegmenten 105
19.4.4 Informatiemanagement voor kleurkwaliteitscontrole 107
Hoofdstuk 20: Kleurbeoordeling in voedsel en consumentenproducten 113
20.1 Specifieke uitdagingen: versheid, variabiliteit, wettelijke aspecten.....115
20.1.1 Natuurlijke variabiliteit als basisuitdaging 115
20.1.2 Versheid en kleurindicatoren 116
20.1.3 Wettelijke aspecten en voedselveiligheid.....116
20.1.4 Kleurstabiliteit en houdbaarheid 118
20.2 Geavanceerde beoordelingsaspecten: consumentperceptie, rijpheidsindicatie 118
20.2.1 Consumentenperceptie en verwachtingen 118
20.2.2 Rijpheidsindicatie en optimale oogsttijden.....119
20.2.3 Kleur en smaakperceptie 120
20.3 Instrumentele metingen van voedsel 120
20.3.1 Specifieke meetuitdagingen bij voedselproducten 121
20.3.2 Instrument- en methodeselectie.....122
20.3.3 Computer vision en digitale beeldanalyse 122
20.3.4 Correlatie tussen instrumentele metingen en visuele beoordeling ...123
20.4 Kwaliteitscontrolestrategieën in de voedselindustrie.....123
20.4.1 Ontwikkeling van productspecifieke beoordelingsprotocollen.....123
20.4.2 Integratie in productielijnen 124
20.4.3 Traceerbaarheid en documentatie 124
20.4.4 Economische overwegingen en kosten-batenanalyse 125
Sectie VI: 129
Toekomst en innovatie 129
Hoofdstuk 21: Nieuwe technologieën en benaderingen 131
21.1 Artificial intelligence en machine learning in kleurbeoordeling 133
21.1.1 Fundamentele principes en algoritmes 133
21.1.2 Dataverzameling en -verwerking 134
21.1.3 Toepassingen en implementaties.....136
21.1.4 Uitdagingen en ethische overwegingen.....137

21.2 Augmented en virtual reality toepassingen 139
21.2.1 Technologische fundamenten 139
21.2.2 Colorimetrische visualisatie-applicaties 141
21.2.3 Colorimetrische trainingssystemen 142
21.2.4 Uitdagingen en beperkingen 143
21.3 Mobiele en compacte meetapparatuur 144
21.3.1 Miniaturisatietechnologieën 144
21.3.2 Connectiviteit en dataverwerking 146
21.3.3 Toepassingsgebieden en use-cases 148
21.3.4 Uitdagingen en kalibratieparadigma's 149
21.4 Inline high-speed metingen en procesintegratie 151
21.4.1 High-speed meetinstrumentatie 151
21.4.2 Data management en integratiestrategieën 153
21.4.3 Closed-loop procescontrole 154
21.4.4 Applicatiedomeinen en implementatievoorbeelden 156
21.5 Conclusie: Convergentie en toekomstige richtingen 157
21.5.1 Technologische convergentie 157
21.5.2 Verschuivende paradigma's in colorimetrische praktijk 158
21.5.3 Implicaties voor de toekomst van het veld 159
Hoofdstuk 22: Duurzaamheid en kleurbeoordeling 163
22.1 Eco-friendly colorants en hun beoordelingsuitdagingen 165
22.1.1 Soorten milieuvriendelijke kleurmiddelen 165
22.1.2 Belangrijkste uitdagingen bij kleurbeoordeling 166
22.1.3 Aangepaste beoordelingsmethoden 167
22.1.4 Praktijktoepassingen en succesvolle implementaties 168
22.2 Recycled materials en kleurcontrole 169
22.2.1 Uitdagingen van gerecyclede materialen 170
22.2.2 Effectieve strategieën voor kleurcontrole 171
22.2.3 Materiaalspecifieke oplossingen 172
22.2.4 Toekomstgerichte benaderingen 173
22.3 Energie-efficiënte kleurprocessen 174
22.3.1 Energieverbruik van conventionele kleurprocessen 174
22.3.2 Innovatieve energiezuinige technologieën 175
22.3.3 Procesoptimalisatie voor energiebesparing 177

22.3.4 Meting en certificering 178
22.4 Levenscyclus-impact van kleurkeuzes 179
22.4.1 Life Cycle Assessment voor kleurformulaties 179
22.4.2 Supply chain aspecten van kleurkeuzes 180
22.4.4 End-of-life en circulariteit 182
Appendices 185
Appendix A: Standaard Testmethodes en Protocollen 187
A.1 ISO Standaarden voor kleurbeoordeling 187
A.1.1 Fundamentele colorimetrische standaarden 187
A.1.2 Applicatie-specifieke ISO standaarden 188
A.1.3 ISO Standaarden voor instrumentele specificatie en kalibratie 189
A.2 ASTM Testmethodes 189
A.2.1 Fundamentele colorimetrische ASTM-standaarden 190
A.2.2 Meetgeometrie en instrumentele specificaties 190
A.2.3 Applicatie-specifieke ASTM-standaarden 191
A.3 DIN en andere nationale/regionale standaarden 192
A.3.1 Duitse DIN standaarden 192
A.3.2 Britse Standaarden (BS) 193
A.3.3 CIE Technische rapporten en standaarden 194
A.3.4 Japanse Industriële Standaarden (JIS) 195
A.4 Sectorspecifieke standaarden en protocollen 195
A.4.1 Grafische kunsten en printing 195
A.4.2 Textiel en kleding 196
A.4.3 Automotive en transportation 197
A.4.4 Voedsel en verpakking 198
A.4.5 Medical en pharmaceutical 199
A.4.6 Architectuur en bouw 199
Appendix B: Verklarende Woordenlijst van Terminologie 201
B.1 Algemene kleurterminologie 201
B.4 Meertalige termenlijst (Engels, Duits, Frans, Nederlands) 209
Appendix C: Praktische Referentietabellen en Bronverwijzingen 211

C.1 Praktische Lichtbronreferenties 211
C.1.1 Veelgebruikte Standaard Lichtbronnen en Hun Toepassingen 211
C.2 Praktische Kleurverschilrichtlijnen 212
C.2.1 Vergelijking van kleurverschildrempels in verschillende industrieën 212
C.2.2 Praktische interpretatie van kleurverschilwaarden 212
C.3 Overzicht van Kleurverschilformules 213
C.4 Whiteness en Yellowness Indices 214
C.5 Belangrijke Bronnen voor Technische Colorimetrische Data 215

Inleiding

Dit **derde deel** van de reeks Kleurbeoordelen in de Praktijk behandelt de toepassing van kleurbeoordeling binnen specifieke sectoren. Waar **deel 1** de theoretische basis vormde en **deel 2** inging op methoden voor visuele en instrumentele beoordeling, richt dit deel zich op de implementatie van kleurbeheer in verschillende industriële omgevingen.

De manier waarop kleur wordt beoordeeld, verschilt per sector. Materialen, productieprocessen, toleranties en visuele eisen zijn contextgebonden. In dit deel worden **sectorspecifieke aanpakken** besproken voor onder meer textiel, coatings, kunststoffen, grafische productie en voedingsmiddelen. Ook wordt ingegaan op de rol van kleur in duurzaamheidsstrategieën.

Per sector worden de relevante beoordelingsmethoden, normen en procescondities besproken. Aandacht gaat uit naar de koppeling tussen praktijk en meetmethodiek, de rol van operators en kwaliteitsmedewerkers, en de economische en technische impact van **kleurbeheer**. De hoofdstukken zijn opgebouwd rond herkenbare situaties, referentiestandaarden en cases uit de praktijk.

Dit deel bouwt voort op de voorgaande delen. **Deel 1** behandelde de principes van kleurwaarneming, kleurordening en de rol van kleur in productkwaliteit. **Deel 2** ging in op de toepassing van beoordelingsprotocollen, meetinstrumenten, toleranties en correlatiemethoden. In dit derde deel komt de toepassing daarvan samen in sectorspecifieke praktijksituaties.

De reeks als geheel biedt daarmee een **integrale benadering**: van theoretisch inzicht via meetmethodiek naar implementatie. Deze opbouw maakt het mogelijk om kleurbeoordeling betrouwbaar, consistent en sectorspecifiek vorm te geven.

Sectie V: Sectorspecifieke toepassingen

Hoofdstuk 17: Kleurbeoordeling in textiel en kleding

De textiel- en kledingindustrie stelt unieke eisen aan kleurbeoordeling en kleurkwaliteitscontrole. Het vermogen om kleuren consistent te produceren, nauwkeurig te meten, en betrouwbaar te behouden gedurende de levenscyclus van textiele producten is een fundamentele vereiste voor commercieel succes.

Met wereldwijde toeleveringsketens en steeds hogere consumentenverwachtingen omtrent kleurconsistentie en duurzaamheid, zijn betrouwbare beoordelingsmethoden essentieel geworden. Dit hoofdstuk behandelt de specifieke uitdagingen, evaluatiemethoden en instrumentele benaderingen die relevant zijn voor textiel en kleding.

17.1 Specifieke uitdagingen: textuur, vezeltypes, directionaliteit

Textiel en kleding presenteren unieke uitdagingen voor kleurbeoordeling die voortvloeien uit hun inherente materiaaleigenschappen. Deze eigenschappen beïnvloeden zowel visuele perceptie als instrumentele metingen, en vereisen gespecialiseerde benaderingen voor nauwkeurige evaluatie.

17.1.1 Invloed van textuur op kleurwaarneming

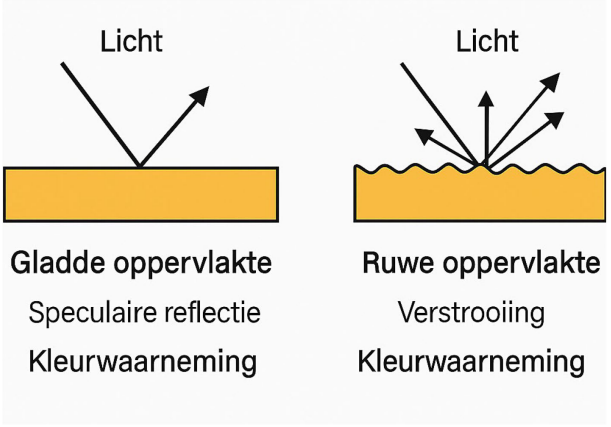
Textuur, gedefinieerd als de driedimensionale oppervlaktestructuur van een textielsubstraat, heeft een diepgaand effect op kleurwaarneming. Deze invloed manifesteert zich op verschillende manieren:

Licht-materiaal interactie wordt fundamenteel beïnvloed door textuur. Textuurrijke oppervlakken vertonen complexe lichtverstrooiingspatronen door schaduwvorming en meervoudige reflecties. Dit creëert variaties in waargenomen kleurverzadiging en helderheid over het oppervlak. Een gladde satijnen stof kan dezelfde kleurstof bevatten als een ruwe canvas, maar zal aanzienlijk intensere en meer verzadigde kleur vertonen door verminderde lichtverstrooiing en verhoogde directionele reflectie[^1].

Micro-schaduwen ontstaan wanneer licht invalt op textuurrijke textielmaterialen. Deze schaduwen creëren lokale donkere gebieden die de algehele waargenomen kleur beïnvloeden, typisch resulterende in lagere helderheid (L*-waarde) en soms verminderde chroma. Dit effect is bijzonder prominent in hoogpolige materialen zoals fluweel, tapijt en badstof[^2].

"Textuur, gedefinieerd als de driedimensionale oppervlaktestructuur van een textielsubstraat, heeft een diepgaand effect op kleurwaarneming door complexe lichtverstrooiingspatronen, schaduwvorming en meervoudige reflecties."

Textuur-kleur interacties variëren met kijkhoek en belichtingsgeometrie. Eenzelfde textiel kan significant verschillende kleuren vertonen afhankelijk van de relatieve oriëntatie van lichtbron, object en waarnemer. Dit fenomeen, bekend als geometrische metamerisme, is bijzonder uitgesproken in gestructureerde weefsels zoals ribfluweel, keperstoffen en jacquard-weefsels[^3].



Figuur 1 Invloed van oppervlaktestructuur op lichtreflectie en kleurwaarneming. Een glad oppervlak veroorzaakt speculaire reflectie, waarbij licht in één richting wordt weerkaatst. Bij een ruw oppervlak wordt het licht verstrooid in meerdere richtingen, wat leidt tot een diffuse en vaak minder verzadigde kleurindruk. Textuur speelt daarmee een directe rol in de visuele perceptie van kleur.

Een studie naar de impact van textuur op kleurperceptie in interieurtextiel toonde aan dat bij identieke kleurstofconcentraties, hoogpolige stoffen gemiddeld 6,3 CIELAB-eenheden donkerder (lagere L*) verschenen dan equivalente gladde weefsels. Belangrijk is dat deze verschuiving niet constant was over het kleurenspectrum, met grotere impact op donkere kleuren en blauwtinten[^4]. Zie Figuur 1 voor een schematische weergave van het effect van oppervlaktestructuur op lichtreflectie en kleurwaarneming.

17.1.2 Vezeltypes en hun invloed op kleur

Verschillende vezeltypes vertonen karakteristieke optische eigenschappen die de kleurwaarneming en kleurmeting fundamenteel beïnvloeden:

Reflectie-eigenschappen variëren aanzienlijk tussen vezeltypen. Natuurlijke vezels zoals katoen hebben typisch diffuse reflectiekarakteristieken door hun onregelmatige oppervlaktestructuur en interne morfologie. Synthetische vezels zoals polyester en nylon kunnen meer speculaire (spiegelende) reflectiecomponenten vertonen, wat resulteert in een 'koudere' kleurwaarneming. Dit fundamentele verschil draagt bij aan de uitdaging om kleurovereenstemming te bereiken tussen verschillende vezeltypen[^5].

Doorschijnendheid (transluciditeit) varieert tussen vezeltypes en beïnvloedt diepgaand hoe licht interageert met het materiaal. Vezels met hogere doorschijnendheid, zoals zijde en bepaalde synthetische vezels, vertonen aanzienlijke subsurface lichtverstrooiing, wat bijdraagt aan een rijkere, diepere kleurwaarneming. Meer opake vezels zoals wol vertonen beperktere lichtpenetratie en daardoor andere kleurkarakteristieken[^6].

Vezel-kleurstof interacties zijn specifiek voor verschillende vezel-kleurstofcombinaties. Dezelfde kleurstof zal verschillende kleurvarianten produceren wanneer toegepast op verschillende vezels. Dit komt door variaties in moleculaire interacties, bindingsmechanismen en de manier waarop het licht interageert met de vezel-kleurstofcombinatie. Een typisch voorbeeld is Reactive Blue 19, die een roodachtig blauwe kleur produceert op katoen maar een groenachtig blauwe kleur op zijde[^7].

"Verschillende vezeltypes vertonen karakteristieke optische eigenschappen die de kleurwaarneming fundamenteel beïnvloeden. Een typisch voorbeeld is Reactive Blue 19, die een roodachtig blauwe kleur produceert op katoen maar een groenachtig blauwe kleur op zijde."

Natuurlijke variabiliteit in natuurlijke vezels zoals katoen, wol en zijde introduceert een additionele uitdaging. Zelfs binnen eenzelfde vezeltype kunnen variaties in groeiomstandigheden, oogstseizoen, en genetische factoren leiden tot subtiele maar meetbare verschillen in kleurperceptie. Deze inherente variabiliteit vereist robuuste kleurmanagementstrategieën en realistische toleranties[^8].

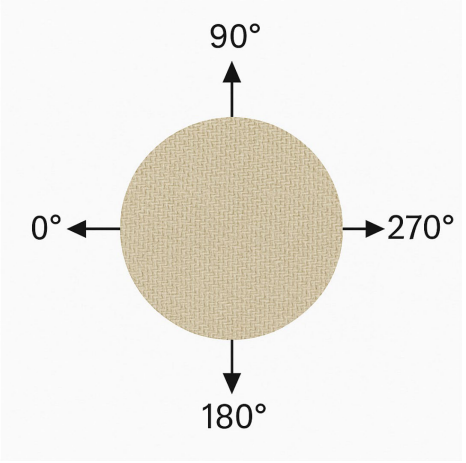
Een textielfabrikant die werkte aan een collectie menswear waarbij zowel katoenen als polyester stoffen kleurmatig moesten overeenstemmen, ontdekte dat traditionele receptformulering gebaseerd op spectrale metingen onvoldoende was. Zelfs met perfecte instrumentele matches, bleef er een waarneembaar verschil onder winkelverlichting. Door correctiefactoren te ontwikkelen

gebaseerd op uitgebreide visuele beoordelingsstudies van katoen-polyester paren, verbeterden ze hun eerste-keer-raak percentage van 68% naar 91%[^9].

17.1.3 Directionaliteit en oriëntatie-effecten

Vele textielmaterialen vertonen directionaliteit - variatie in optische eigenschappen afhankelijk van oriëntatie. Deze eigenschap presenteert significante uitdagingen voor zowel visuele als instrumentele kleurevaluatie:

Pile-oriëntatie effecten zijn bijzonder prominent in hoogpolige materialen zoals fluweel, velours en bepaalde tapijten. De richting waarin de polen of lussen zijn georiënteerd, kan dramatische verschillen in kleurwaarneming veroorzaken. Een fluwelen stof kan tot 15 CIELAB-eenheden verschil vertonen wanneer bekeken met of tegen de poolrichting in, wat een uitdaging vormt voor consistente kleurbeoordeling[^10].



Figuur 2 Directionele kleurbeoordeling van textielstaal.
Voor een betrouwbare beoordeling van kleur op geweven of gestructureerde materialen wordt de staal visueel of instrumenteel geëvalueerd vanuit meerdere richtingen (bijv. 0°, 90°, 180°, 270°). Variaties in oppervlakstructuur, draadrichting en lichtreflectie kunnen per hoek invloed hebben op de waargenomen kleur.

Weefselpatroon directionaliteit in materialen zoals satijn, keperstoffen en jacquards creëert systematische variaties in reflectie afhankelijk van de oriëntatie ten opzichte van lichtbron en waarnemer. De richting van de schering versus inslagdraden in een geweven structuur kan aanzienlijke verschillen in kleurwaarneming veroorzaken, zelfs in materialen met minimale oppervlaktetextuur[^11].

Figuur 2 illustreert hoe visuele en instrumentele beoordelingen vanuit meerdere richtingen worden toegepast om deze directionele kleurvariaties te detecteren.

Anisotrope reflectie treedt op wanneer een oppervlak verschillende hoeveelheden licht reflecteert in verschillende richtingen. Dit fenomeen is bijzonder uitgesproken in materialen met glanzende of gestructureerde oppervlakken, zoals bepaalde synthetische weefsels, laminaten of metallische bedrukkingen, en bemoeilijkt consistente kleurmeting aanzienlijk[^12].

Om deze uitdagingen te adresseren, heeft de textielindustrie specifieke beoordelingsprotocollen ontwikkeld:

Multi-hoek evaluatie is essentieel voor directionele materialen. AATCC Evaluation Procedure 9 specificeert dat directionele materialen moeten worden geëvalueerd in tenminste vier oriëntaties (0°, 90°, 180°, 270°) om representatieve beoordeling te verzekeren. Voor kritische toepassingen stelt deze standaard evaluatie voor in 45° incrementen om volledige karakterisatie te waarborgen[^13].

"Een fluwelen stof kan tot 15 CIELAB-eenheden verschil vertonen wanneer bekeken met of tegen de poolrichting in, wat een uitdaging vormt voor consistente kleurbeoordeling van directionele materialen."

Gestandaardiseerde monstervoorbereiding adresseert directionaliteitsproblemen door specifieke vouwing en montage van textielsamples. ASTM D1776 geeft gedetailleerde procedures voor de voorbereiding van textielmonsters voor kleurmetingen, inclusief specificaties voor omgaan met directionele materialen[^14].

Een autobekleder implementeerde een innovatief systeem voor het beheren van directionaliteit in fluwelen bekledingsmateriaal. Door fysieke directionele markers in te bouwen in hun productieproces, en laser-gestuurde montagestations die de juiste oriëntatie valideerden, reduceerden ze kleurafwijkingsgerelateerde defecten met 67%. Dit systeem omvatte ook oriëntatie-specifieke kleurspecificaties gebaseerd op multi-angle colorimetrische metingen[^15].

17.1.4 Praktische implicaties en oplossingsbenaderingen

De bovengenoemde uitdagingen hebben directe praktische implicaties voor kleurbeoordeling en kwaliteitscontrole in textiel. Effectieve strategieën om deze uitdagingen te adresseren omvatten:

Vezel-specifieke standaarden zorgen voor realistische vergelijkingspunten. In plaats van algemene kleurstandaarden te gebruiken, implementeren geavanceerde textielproducenten vezel-specifieke referentiematerialen, geverfd met dezelfde kleurstofklassen die in productie worden gebruikt, om relevante vergelijkingen te verzekeren[^16].

Sample rotatieprocedures neutraliseren directionele effecten. Bij zowel visuele evaluatie als instrumentele metingen kunnen systematische rotatie- en middelingsprocedures helpen om consistente resultaten te verkrijgen ondanks directionele variabiliteit. Deze aanpak vereist meerdere metingen in verschillende oriëntaties, gevolgd door gemiddelde berekening[^17].

Gemodificeerde meetgeometrieën kunnen worden geïmplementeerd om betere correlatie met visuele beoordelingen te bereiken voor getextureerde textielen. Hoewel standaard 45°/0° of d/8° geometrieën geschikt zijn voor vele materialen, zijn speciaal ontworpen geometrieën soms nodig voor hooggetextureerde of sterk directionele stoffen[^18].

Textuur-gecompenseerde formules passen colorimetrische berekeningen aan om te corrigeren voor textuurinvloeden. Een textielfabrikant ontwikkelde een aangepaste versie van de CIEDE2000 kleurverschilformule die additionele parameters bevatte om te corrigeren voor oppervlakteruwheid, wat resulteerde in 28% verbeterde correlatie tussen instrumentele metingen en visuele beoordelingen voor textuurvariabele materialen[^19].

Een producent van interieurstof implementeerde een uitgebreid systeem dat deze benaderingen integreerde voor hun hoogwaardige decoratieve stoffen. Hun protocol omvatte:

- Materiaal-specifieke standaarden voor zeven verschillende vezeltypen
- Een 8-hoek meetprotocol voor alle directionele materialen
- Aangepaste correctiefactoren voor textuurinvloeden, gekalibreerd per materiaalcategorie
- Kleurstofklasse-specifieke tolerantiegrenzen gebaseerd op empirische correlatiestudies

Dit systeem resulteerde in een 43% vermindering van kleurverschil-gerelateerde klachten en een 26% reductie in kleurmonster-herformuleringen, wat zowel verbeterde klanttevredenheid als operationele efficiëntie aantoont[^20].

17.2 Kleurveranderingsbeoordelingen: lichtechtheid, wasechtheid, wrijfechtheid

In tegenstelling tot vele andere industrieën waar initiële kleur de primaire zorg is, moet de textielindustrie diepgaand aandacht besteden aan kleurverandering over tijd. De duurzaamheid van kleur onder verschillende gebruiks- en onderhoudsomstandigheden is een kritische kwaliteitsparameter voor textiele producten.

17.2.1 Principes van kleurveranderingsevaluatie

Kleurveranderingsevaluatie in textiel is gebaseerd op enkele fundamentele principes:

Gestandaardiseerde verouderingscondities creëren reproduceerbare testomstandigheden die versnelde simulatie van werkelijke gebruiksomstandigheden mogelijk maken. Deze condities zijn zorgvuldig ontworpen om werkelijke degradatiemechanismen te repliceren zonder artificiële effecten te introduceren die in normale gebruik niet voorkomen[^21].

Referentiestandaarden dienen als beoordelingsbenchmarks. De meest gebruikte zijn de ISO- en AATCC-grijsschalen voor kleurverandering, die een visuele 5-puntsschaal bieden voor het classificeren van kleurveranderingsernst, waarbij 5 geen detecteerbare verandering aangeeft en 1 ernstige verandering vertegenwoordigt[^22].

Aspect-specifieke evaluatie richt zich op verschillende types kleurverandering. De belangrijkste aspecten die worden beoordeeld zijn:

- Verandering in helderheid (lichter/donkerder worden)
- Verandering in chroma (meer/minder verzadigd worden)
- Verandering in kleurtoon (verschuiving in dominante kleurtoon)
- Oppervlakteveranderingen (zoals glansverandering of witachtige uitslag)

"De grijsschaal voor kleurverandering biedt een visuele 5-puntsschaal voor het classificeren van kleurveranderingsernst, waarbij 5 geen detecteerbare verandering aangeeft en 1 ernstige verandering vertegenwoordigt."

Multi-component beoordeling erkent dat textielmaterialen vaak complex zijn, bestaande uit verschillende componenten zoals diverse vezels, garens, constructies, en afwerkingen. Een volledige evaluatie moet deze complexiteit in overweging nemen[^23].

17.2.2 Lichtechtheid: testmethoden en evaluatie

Lichtechtheid meet de weerstand van textiele kleuren tegen blootstelling aan licht, een kritische eigenschap voor producten die buitenshuis worden gebruikt of blootgesteld aan zonlicht door ramen.

Testmethoden voor lichtechtheid omvatten verschillende gestandaardiseerde procedures:

Xenon-arc testing (ISO 105-B02, AATCC TM 16) simuleert het volledige zonnespectrum, inclusief UV, zichtbaar en infrarood licht. Het is de meest realistische simulatie van natuurlijk zonlicht en wordt beschouwd als de *gold standard* voor textiele lichtechtheidtests. Monsters worden blootgesteld aan xenonlicht onder gecontroleerde temperatuur en vochtigheid, meestal met periodieke watersprays om buitenomstandigheden te simuleren[^24].

Koolstofboog testen (ISO 105-B04) was historisch belangrijk maar wordt nu minder gebruikt. Het levert een intenser UV-component dan xenon-tests, wat leidt tot snellere degradatie maar soms minder realistische resultaten. Het wordt voornamelijk gebruikt voor versnelde screening of voor specifieke soorten outdoor textiel[^25].

Mercury vapor en fluorescentie UV testen (AATCC TM 186) zijn snellere, economischere methoden die voornamelijk worden gebruikt voor screening en kwaliteitscontrole. Ze zijn echter minder representatief voor werkelijke gebruikscondities dan xenon-testen[^26].

Natuurlijke verwering (ISO 105-B03) omvat blootstelling aan werkelijke buitenomstandigheden op specifieke testlocaties. Hoewel tijdrovend, biedt dit de meest realistische evaluatie en dient vaak als validatie voor versnelde laboratoriumtesten[^27].

Evaluatie van lichtechtheidsresultaten gebeurt via verschillende methoden:

Grijsschaal evaluatie is de traditionele methode waarbij de kleurverandering wordt vergeleken met een standaard grijsschaal, resulterende in ratings van 1 (slechte echtheid) tot 5 (uitstekende echtheid).

Blue wool standaarden worden gebruikt in sommige testsystemen. Deze bestaan uit wollen doek geverfd met een reeks van 8 blauwe kleurstoffen met bekende lichtechtheidsratings. Het testmonster wordt vergeleken met deze standaarden om een equivalente rating te bepalen[^28].

Instrumentele evaluatie gebruikt spectrofotometrische metingen om kleurverandering te kwantificeren. Veranderingen worden gerapporteerd als ΔE-waarden volgens formules zoals CIEDE2000, wat objectiviteit en nauwkeurigheid verhoogd. Sommige systemen correleren instrumentele waarden met grijsschaalratings via vastgestelde conversiefactoren[^29].

Kritische interpretatie van lichtechtheidsresultaten vereist begrip van verschillende factoren:

- Testvariabelen zoals temperatuur en vochtigheid kunnen resultaten sterk beïnvloeden
- De correlatie tussen versnelde tests en werkelijke verwering varieert per vezel, kleurstof en constructie
- Verschillende kleuren binnen dezelfde stof kunnen verschillende lichtechtheid vertonen

Een modekledinglabel ontwikkelde een uitgebreid lichtechtheidsevaluatiesysteem voor hun premium denim collectie. Ze combineerden standaard xenon-arc testing met microklimaatmonsters die natuurlijke seizoensvariaties simuleerden, en correleerden deze data met uitgebreide natuurlijke verweringstests in vijf geografische locaties. Dit resulteerde in product-specifieke zonsuren-houdbaarheids-indicaties die klanten konden gebruiken om verwachte kleurverandering gedurende de levensduur van het kledingstuk te begrijpen[^30].

17.2.3 Wasechtheid: beoordeling van kleurverandering en kleuroverdracht

Wasechtheid evalueert twee kritische aspecten van kleurgedrag tijdens wassen: kleurverandering in het oorspronkelijke textiel en kleuroverdracht naar andere materialen.

Gestandaardiseerde testmethoden voor wasechtheid omvatten:

Laboratorium wasechtheidstests (ISO 105-C06, AATCC TM 61) simuleren huishoudelijke of commerciële wasprocessen onder gecontroleerde condities. Deze versnelde tests gebruiken specifieke detergentformuleringen, temperaturen, mechanische actie en testduur die zijn ontworpen om verschillende wasniveaus te representeren. Ze variëren in strengheid van milde huishoudelijke wasprocedures tot agressieve commerciële processen[^31].

Multi-fiber testdoek wordt gebruikt voor het evalueren van kleuroverdracht. Dit gestandaardiseerde materiaal bevat stroken van verschillende vezels (typisch katoen, wol, acryl, polyester, nylon en acetaat) in een enkele testdoek, wat evaluatie van kleuroverdracht naar verschillende materialen in één test mogelijk maakt[^32].

Gecorreleerde wassimulatietests (AATCC TM 172) zijn ontworpen om nauwere correlatie met werkelijke huishoudelijke wasprocessen te bieden. Ze gebruiken commerciële wasmachines en detergenten volgens gestandaardiseerde procedures om werkelijke consumentervaringen beter te voorspellen[^33].

Evaluatieaspecten voor was-echtheid omvatten:

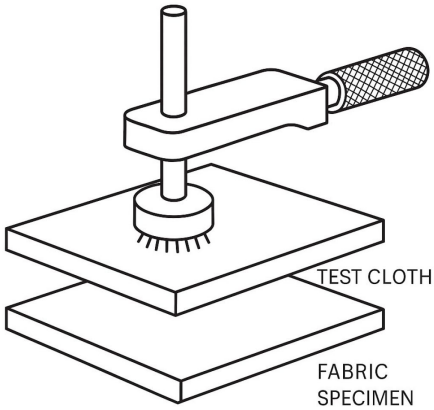
Kleurverandering in het oorspronkelijke materiaal wordt beoordeeld door vergelijking met het ongewassen origineel, gebruikmakend van grijsschalen of instrumentele metingen. Waargenomen veranderingen kunnen omvatten: verbleking, donkerder worden, tonale verschuivingen of oppervlakteveranderingen.

Kleuroverdracht naar andere materialen wordt geëvalueerd door de mate van verkleuring op de multi-fiber testdoek te beoordelen, weer gebruikmakend van grijsschalen of instrumentele metingen. Dit meet de neiging van een stof om andere materialen tijdens wasprocessen te verkleuren[^34].

Rapportage van wasechtheid gebruikt typisch een dubbel classificatiesysteem: het eerste cijfer vertegenwoordigt de kleurveranderingsrating (1-5) en het tweede een reeks cijfers die de kleuroverdracht naar elke vezel in de multi-fiber testdoek vertegenwoordigen. Een was-echtheidsrating van 4-5, 5, 4-5, 5, 4, 4-5 zou bijvoorbeeld uitstekende weerstand tegen kleurverandering (4-5) indiceren en variërende niveaus van kleuroverdracht naar verschillende vezels[^35].

Factoren die was-echtheid beïnvloeden zijn divers en omvatten:

- Kleurstoftype en applicatiemethode
- Aanwezigheid en type nabehandelingen
- Wastemperatuur en -duur
- Detergent type en concentratie
- Mechanische actie tijdens wassen
- Vezeltype en constructie



Figuur 3 Schematische weergave van een crockmeter voor wasechtheids- en wrijvingsbestendigheidstests. Het textielmonster wordt onder gecontroleerde druk en beweging in contact gebracht met een standaard testdoek. De mate van kleurafgifte of verkleuring wordt beoordeeld aan de hand van een grijsschaal. Deze test simuleert slijtage en contact tijdens gebruik of reiniging.

Een producent van kindersportkleding implementeerde een uitgebreid was-echtheidsevaluatiesysteem dat laboratoriumtests combineerde met werkelijke wasprocessen en consumentengebruiksstudies. Ze ontdekten dat terwijl hun producten uitstekende ratings behaalden in standaard tests, werkelijke consumentenbeoordeling lager was. Verdere analyse onthulde dat combi-wasbundels van verschillende kledingtypen en gebruik van vlekverwijderende voorbehandelingen door ouders een significant effect hadden. Dit leidde tot het ontwikkelen van aangepaste testprotocollen en productverpakkingsinstructies die kleuroverdrachtsrisico's voor consumenten specifiek adresseerden[^36].

KLEURKWALITEIT ONDER CONTROLE - Wetenschap en praktijk van kleurbeoordeling in de industrie

In een markt waar visuele consistentie direct samenhangt met merkwaarde en klantbeleving, is kleurbeoordeling uitgegroeid tot een strategische vaardigheid. Dit boek biedt een complete routekaart voor het begrijpen, toepassen en verbeteren van kleurbeoordelingsprocessen in uiteenlopende industrieën. Gebaseerd op zowel wetenschappelijke inzichten als jarenlange praktijkervaring, brengt dit werk theorie en dagelijkse praktijk samen. Van de natuurkundige basis en menselijke waarneming tot moderne meetmethoden en sectorspecifieke toepassingen – alles komt aan bod.

Deze driedelige reeks helpt u onder andere om:

- De theoretische grondslagen van kleur te begrijpen (behandeld in deel 1).
- Meetmethoden en beoordelingstechnieken toe te passen (behandeld in deel 2).
- In dit derde deel branchespecifieke uitdagingen te overwinnen: met op maat gemaakte oplossingen voor uw sector.
- In dit derde deel nieuwe technologieën te integreren: zoals AI, machine learning en geavanceerde beeldanalyse voor kleurbeoordeling.
- In dit derde deel duurzame oplossingen te ontwikkelen: voor langdurige kleurstabiliteit met minimale milieubelasting.
- In dit derde deel supply chain kleurkwaliteit te waarborgen: door effectieve communicatie en controle over toeleveringsketens.

Of u nu werkzaam bent in textiel, coatings, kunststoffen, grafische industrie, voedingsmiddelen of een andere sector – dit derde deel biedt u direct toepasbare strategieën en sectorspecifieke inzichten om kleurkwaliteit te optimaliseren binnen uw unieke bedrijfscontext.

Mark Kotterink is kleurenspecialist en consultant in kleurbeoordeling, toegepaste kleurtechniek en colormetrie. Met ruim twintig jaar ervaring helpt hij bedrijven hun kleurprocessen te optimaliseren, en verzorgt hij trainingen voor professionals in productie, ontwerp en kwaliteitscontrole.

STICHTING NEDERLANDS KLEUR INSTITUUT

9 789493 058125