

DIN/TR 5020



ICS 17.180.20

Einsprüche bis 2022-09-29
Vorgesehen als Ersatz für
DIN-Fachbericht 49:1995

Entwurf**Einführung in die farbmetrische Praxis für das Qualitätsmanagement**

Introduction to colorimetric principles for quality management

Introduction à la pratique colorimétrique pour la gestion de la qualité

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-07-29 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fnf@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Farbe (FNF), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 93 Seiten

DIN-Normenausschuss Farbe (FNF)
DIN-Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB)
DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)
DIN-Normenausschuss Pigmente und Füllstoffe (NPF)

Inhalt

	Seite
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Farbabmusterung	10
4.1 Einleitung	10
4.2 Allgemeine Farbabmusterungsbedingungen	10
4.2.1 Übersicht	10
4.2.2 Farbabmusterungslichtart	11
4.2.3 Geometrische Farbabmusterungsbedingungen	12
4.2.4 Physiologische Farbabmusterungsbedingungen	14
4.3 Zusammenfassung	15
5 Mess- und Auswertetechnik	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Probeneigenschaften	16
5.2.1 Allgemeines	16
5.2.2 Begrifflichkeiten in Bezug auf Probeneigenschaften und Erläuterungen	16
5.2.3 Reflexion aus dem Probeninneren	17
5.2.4 Reflexion an der Probenoberfläche	18
5.3 Messgeometrien/Messgeräte-Geometrien	18
5.3.1 Allgemeines	18
5.3.2 Kugelmessgeräte	19
5.3.3 Gerichtete (45°:0°)-Geometrien	20
5.3.4 Mehrwinkel-Geometrien (am Beispiel einer Einstrahlung unter 45°)	21
5.4 Praktische Anwendung	23
5.4.1 Allgemeines	23
5.5 Besonderheiten	25
5.5.1 Metalleffektpigmente	25
5.5.2 Interferenzpigmente	25
5.5.3 Fluoreszenz	26
5.5.4 Thermochromie	27
5.6 Empfehlung für die optimale Messgeometrie	27
6 Farbabstandsformeln	29
6.1 Allgemeines	29
6.2 CIELAB-System	30
6.3 CIELAB-Formel	31
6.4 Modifikationen der CIELAB-Formel	33
6.4.1 Allgemeines	33
6.4.2 Allgemeine Farbabstandsformel	33
6.4.3 Kategorisierung von Farbabstandsformeln	33
6.4.4 CMC(<i>l:c</i>)-Formel	34
6.4.5 CIE94-Formel	34
6.4.6 CIEDE2000-Formel	34
6.5 Weitere gängige relevante euklidische Farbräume	35
6.5.1 Allgemeines	35
6.5.2 DIN99-Farbraum	36
6.5.3 DIN99o-Farbraum	36
6.6 Erweiterungen für den Mehrwinkel-Fall	36
6.6.1 Allgemeines	36
6.6.2 DIN 6175-2:2001-03	36

6.6.3	DIN 6175:2019-07	39
7	Ermittlung der Unsicherheit bei der Farbprüfung	39
7.1	Einleitung	39
7.2	Mess- und Prüfunsicherheit bei der Farbmessung	40
7.2.1	Mess- und Prüfunsicherheit	40
7.2.2	Farbabstand	40
7.2.3	Streuung von Farbbörtern und Beschreibung der Prozesslage	41
7.3	Signifikanz von Farbabständen	50
7.4	Messunsicherheit von Farbabständen	53
7.5	Zusammenfassung und Ausblick	54
8	Toleranz bei der instrumentellen Farbabmusterung	54
8.1	Allgemeines	54
8.2	Toleranzvereinbarungen	54
8.3	Angabe von Farbtoleranzen	55
8.3.1	Allgemeines	55
8.3.2	Farbstandards	60
8.3.3	Prozessfähigkeit der Probenherstellung (Prüfstreuung)	61
8.4	Ermittlung der Grenzen der Akzeptierbarkeit	61
8.4.1	Mustersammlungen und ihre Bewertung	61
8.4.2	Ermittlung der Toleranzgrenze	61
9	Prüfung der Farbe von Farbmitteln	62
9.1	Vorbemerkungen über optische Kenngrößen	62
9.1.1	Allgemeines	62
9.1.2	Notwendigkeit von Eingangsprüfungen	64
9.1.3	Toleranzen der optischen Kenngrößen	65
9.1.4	Zeitliche Stabilität des Bezugs	65
9.1.5	Relative Farbstärke und Restfarbabstand	65
9.2	Prüfungen, Messungen und deren Probleme	66
9.2.1	Allgemeines (Messung, Auswertung)	66
9.2.2	Mess- und Prüfunsicherheit in der Anwendung	66
9.2.3	Bestimmung des Restfarbabstandes	66
9.2.4	Einfluss der Farbstärke auf die Farbabweichung des Endproduktes	66
9.3	Prüfung von Farbstoffen	67
9.3.1	Allgemeines	67
9.3.2	Bestimmung der relativen Farbstärke	67
9.3.3	Probe	67
9.4	Prüfung von Pigmenten	68
9.4.1	Allgemeines	68
9.4.2	Anforderungen an die koloristisch zu messenden Proben	68
9.4.3	Vollton- und Purton-Systeme	68
9.4.4	Schwarzpigmente (nach DIN 55985-2 oder DIN 55979)	69
9.4.5	Weißabmischungen von Pigmenten in Lacken, Dispersionsfarben und Kunststoffen	70
9.4.6	Bewertung von Pigmenten bei Bewitterungsprüfungen	71
9.4.7	Prüfung von Metalleffekt- und Interferenzpigmenten	71
10	Anwendungsspezifische Themen	71
10.1	Lacke und Dispersionsfarben	71
10.1.1	Allgemeines	71
10.1.2	Einflussfaktoren auf die Probenbeschaffenheit	72
10.1.3	Herstellung und Prüfung der Proben unter Laborbedingungen	73
10.1.4	Festlegung des Bezugs (Referenz, Standard, Vorlage, Typ)	74
10.1.5	Prüfung und Toleranzvereinbarung	75
10.1.6	Besonderheiten bei Pulverlacken	76
10.2	Druckfarben	76
10.2.1	Allgemeines	76
10.2.2	Pigmente in Druckfarben	77
10.2.3	Dicke der Druckfarbenschicht	77
10.2.4	Herstellung von Druckproben	77

10.2.5	Bedruckstoffe (Druckträger, Substrat, Untergrund)	78
10.2.6	Farbmessung von Drucken und deren Auswertung	80
10.3	Eingefärbte Kunststoffe	80
10.3.1	Allgemeines	80
10.3.2	Proben	81
10.4	Textilien	83
10.4.1	Allgemeines	83
10.4.2	Akzeptierbarkeitsprüfung	84
10.4.3	Spezielle messtechnische Hinweise	85
	Literaturhinweise	90

Bilder

Bild 1	— 0°:45° Beobachtung	13
Bild 2	— Unterschiedliche Augenhöhen verursachen unterschiedliche Beobachtungswinkel und müssen ausgeglichen werden	14
Bild 3	— Diffus: 8° Geometrie, Glanzeinschluss (di:8°)	19
Bild 4	— Diffus: 8° Geometrie, Glanzausschluss (de:8°)	19
Bild 5	— Diffus: 0° Geometrie (d:0°)	20
Bild 6	— 45°a:0° annular Geometrie (45°a:0°)	20
Bild 7	— 45°c:0° zirkular-Geometrie (45°c:0°)	21
Bild 8	— 45°x:0° einseitig gerichtete Geometrie (45°x:0°)	21
Bild 9	— Übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Oberflächen- oder Metalleffekten	22
Bild 10	— Übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Interferenz- oder Beugungseffekten	22
Bild 11	— CIELAB-Farbsystem	30
Bild 12	— Aufspaltung des Farbabstandes zwischen P und B nach Δa^* , Δb^* im CIELAB-System	31
Bild 13	— Aufspaltung des Farbabstandes zwischen P und B nach ΔC_{ab}^* , ΔH_{ab}^* im CIELAB-System	32
Bild 14	— Typen von Farbabstandsformeln	34
Bild 15	— Exemplarische Orientierung und Größe der Toleranzellipsoide im CIELAB-Farbraum	35
Bild 16	— Bereich chromatischer Farben im Helligkeit über Chroma Diagramm	37
Bild 17	— Verschmierfunktion σ in Abhängigkeit vom Chromawert relativ zu C_0 (links) und Lage von C_0 im Helligkeit über Chroma Diagramm (rechts)	38
Bild 18	— Messergebnis, Messabweichung und Messunsicherheit (nach DIN 1319-1)	40
Bild 19	— Streuung von Farbbörtern im CIELAB-Farbenraum und im Differenzkoordinatensystem mit mittlerem Farbbort (rotes Kreuz) im Koordinatenursprung	42
Bild 20	— Streuung von Farbbörtern um den Mittelwert einer Farbproduktion (blaue und rote Punkte) in Differenzkoordinaten	46
Bild 21	— Histogramme der mit Gleichung (45)(45)(27) normalisierten Mahalanobis-Distanzen vor (oben links) und nach der Elimination von Ausreißern (oben rechts) sowie den entsprechenden QQ-Plots der normalisierten empirischen Mahalanobis-Distanzen der Farbbörter aus Bild 19 über den theoretischen Quantilen der F-Verteilung vor (links unten) und nach der Elimination der Ausreißer (rechts unten)	47
Bild 22	— Zweidimensionale Projektion der Farbbörter einer Messreihe mit zwei Ausreißern A und B	48
Bild 23	— Fließschema der Ausreißerprüfung (hier mit der Beta-Verteilung) und Festlegung der Prozessgrenze T_{krit}^2	49
Bild 24	— Farbkoordinaten der Referenz und der Messreihe einer Probe mit dem Konfidenzellipsoid	51
Bild 25	— Lassen sich die mittleren Farbbörter von Probe und Referenz beide nur mit einer Messunsicherheit ermitteln, dann addiert man die Kovarianzmatrizen und ermittelt damit die quadratische Mahalanobis-Distanz zur Referenz T_{Ref}^2	52
Bild 26	— Die Ausdehnung des Konfidenzellipsoids der Probe in Richtung der Referenz entspricht der Messunsicherheit des Farbabstandes	53

Bild 27 — Form von Toleranzräumen für ein brillantes (obere Reihe) und ein pastelliges Rot (unter Reihe)	56
Bild 28 — Toleranzräume in zwei Farbsystemen, Fall b)	57
Bild 29 — Ellipsoidischer Toleranzraum mit konstantem ΔE_{CMC} im $(\Delta L; \Delta C_{ab}^*; \Delta H_{ab}^*)$ -Differenzkoordinatensystem (links) und der identische kugelförmige Toleranzraum in $(\Delta L/(1 \cdot S_L), \Delta C_{ab}^*/(c \cdot S_C), \Delta H_{ab}^*/S_H)$ -Koordinaten	57
Bild 30 — Helligkeit L^* und Schwarzzahl M_Y (Black value) in Abhängigkeit vom Normfarbwert Y	58
Bild 31 — Absoluter Beitrag des Buntons dargestellt im CIE a^*b^* -Farbkoordinatensystem	59
Bild 32 — Verteilung der Farbabstände zum mittleren Farbort der durch Wiederholungsmessung auf einem typischen Farbmuster ermittelten Farbörter	60
Bild 33 — Beispielhafte Darstellung des Bruchteils der n. i. O.-Bewertungen über dem zugehörigen Farbabstand aufgetragen	62
Bild 34 — Schema Verarbeitungsschritte für Farbmittel	63

Tabellen

Tabelle 1 — Auswahlkriterien für die Messgeometrie in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Probeninneren (I)	27
Tabelle 2 — Auswahlkriterien für die Messgeometrie in Abhängigkeit von der Probenart und der Oberflächenbeschaffenheit (II)	28
Tabelle 3 — Quantile $\chi^2_{n,(1-\alpha)}$ der Chi-Quadrat-Verteilung [18]	44

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom NA 025-00-02 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss FNF/FNL „Farbmetrik“ des DIN-Normenausschusses Farbe (FNF) erarbeitet.

Technische Reporte sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Erfahrungen mit diesem Technischen Report sind erbeten:

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an fnf@din.de in einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden oder
- in Papierform an den DIN-Normenausschuss Farbe (FNF), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Dieses Dokument ersetzt DIN-Fachbericht 49:1995.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN-Fachbericht 49:1995 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Dokument wurde vollständig überarbeitet, deutlich erweitert und aktualisiert;
- b) neue Entwicklungen bei Farbmitteln (z. B. Interferenzpigmente), bei Messgeräten (z. B. Mehrwinkelmessgeräte) und bei der statistischen Auswertung (z. B. Hotellings T^2) wurden ergänzt;
- c) die in den letzten Jahren neu eingeführten bzw. standardisierten Farbdifferenzformeln zur Modifikation der CIELAB-Formel (z. B. CIE94, CIEDE2000) und neue Farbräume (z. B. DIN99o) wurden hinzugefügt;
- d) die Erweiterungen zum Mehrwinkel-Fall wurden neu eingefügt;
- e) redaktionelle Änderungen.

Einleitung

Bei der Übermittlung von Farbdaten und Farbbewertungen sollte ein einheitliches Verständnis über die ausgetauschten Werte bestehen. Für die gelieferten Produkte verlangt beispielsweise das Qualitätsmanagement zwischen Lieferanten und Kunden ein einheitliches Bewerten der Farbmaßzahlen der gelieferten Produkte und der Genauigkeit bzw. der Signifikanz dieser Zahlen. Grundsätzlich erstreckt sich Farbbewertung von einer subjektiven visuellen Bewertung über standardmäßige Spektralanalysen bis zu einer Mehrwinkel-Farbmessung. Die untersuchten Produkte umfassen hier den sehr breiten Bereich von Farbmitteln (Farbstoffe, Pigmente oder Füllstoffe) über Zwischenprodukte (Lacke, Druckfarben, Kunststoff-Masterbatches, usw.) bis zu den eingefärbten Endprodukten.

Die Vorgabe einer einfachen maximalen Farbdifferenz reicht nicht als Angabe einer zulässigen Toleranz. Der Bericht zeigt auf, dass zusätzlich Vereinbarungen über die zulässige Probenpräparation und die Mess- und Auswertebedingungen getroffen werden müssen. Entsprechend wird es keine einheitliche allgemeingültige Farbtoleranz für alle Anwendungen geben, sondern immer spezifische Abstimmungen zwischen Lieferanten und Kunden.

Die Farbe eines Gegenstandes ist durch seine Position im Farbraum bestimmt. Entsprechend sind daher farbmétrische Bewertungen im Unterschied zu vielen anderen Qualitätskennzahlen und -Toleranzen grundsätzlich dreidimensional, wobei die Farbstärke als weitere Dimension noch hinzukommen kann. Statistische Betrachtungen und Auswertungen der Messungen mit dem Ziel von Toleranzvereinbarungen sind daher eine herausfordernde Aufgabe. Sie erfordert eine gute mathematische Aufarbeitung der vorhandenen Daten.

Der Bericht lehnt sich am Konzept des alten DIN-Fachberichtes 49 von 1995 an. Aber er bildet die in den vergangenen 26 Jahren erfolgten deutlichen Weiterentwicklungen speziell in den Bereichen der Messtechnik, der Farbdifferenzmetrik und der statistischen Auswertung ab. So gab es damals kaum mehr als das CIELAB-System von 1976 und z. B. keine einheitlichen Mehrwinkelmessungen. Computerisierte Auswerteverfahren der Messungen und die anschließende statistische Aufbereitung standen erst am Anfang. Neu sind jetzt auch z. B. die Betrachtungen zu Effektpigmenten bzw. -Lacken.

Abschnitt 4 behandelt die Bedingungen für eine korrekte visuelle Farbbewertung. Die visuelle Bewertung der Proben ist trotz ihrer Subjektivität meistens noch die erste oder alternativ abschließende Beurteilung einer Probe. Daher müssen die Abmusterungsbedingungen klar definiert sein.

Abschnitt 5 gibt Anleitungen zur korrekten Mess- und Auswertetechnik. Schwerpunkt ist hier die Messung in Reflexion. Die verschiedenen Messgeometrien, inklusive der wichtigen Behandlung der Oberflächenreflexion, wird beschrieben. Außerdem wird auf proben- und materialspezifische Besonderheiten eingegangen. In den abschließenden Tabellen werden die zu bevorzugenden Messgeometrien für verschiedene Probenarten genannt.

Abschnitt 6 beschreibt die wichtigsten, aktuellen Farbabstandsformeln und Farbenräume. In diesem Bereich hat es seit 1994 einige Weiterentwicklungen gegeben, speziell um die Gleichabständigkeit von Farbdifferenzen zu verbessern.

Abschnitt 7 beschreibt die theoretischen Hintergründe der Ermittlung der Unsicherheit bei der dreidimensionalen Farbmessung. Dies ist eine essenzielle Grundlage zur sinnvollen Vereinbarung von Farbtoleranzen. Zur Bewertung der Streuellipsoide wird hier die T^2 -Statistik eingesetzt. Am Ende des Kapitels wird die Signifikanz der Farbabstände diskutiert.

Abschnitt 8 behandelt die sich daraus ergebenden Themen für die Toleranzen der industriellen Farbmessung in der Praxis. Die verschiedenen Möglichkeiten der Angabe von Farbtoleranzen werden vorgestellt. Das Kapitel endet mit dem Abschnitt zur Ermittlung der Grenzen der Akzeptierbarkeit. Dies ergibt die Grundlage für die Vereinbarung von Farbtoleranzen.

Die Prozesskette zur Einfärbung von Produkten beginnt mit den jeweiligen Farbmitteln. Abschnitt 9 gibt ausführliche praktische Hilfen zur korrekten Prüfung von Pigmenten und Farbstoffen sowohl in Vollton-Systemen als auch in Weißabmischungen. Auch auf das Thema Farbstärke wird hier eingegangen.

Der praxisbezogene Teil setzt sich in Abschnitt 10 fort. Hier werden detailliert verschiedene anwendungsspezifische Aspekte aus den Bereichen Lacke und Farben, Druckfarben, Kunststoff und Textilien behandelt. Nur durch eine möglichst korrekte Prüfung der Proben werden die Grundlagen für sinnvolle Toleranzvereinbarungen gelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument fasst in seinem ersten Teil das über verschiedene Normenbereiche verstreute Wissen zur Farbmessung und ihrer Auswertung im Hinblick auf die Vereinbarung von Farbtoleranzen zusammen. Im zweiten Teil werden praktische anwendungsbezogene Hinweise vorgestellt. Diese reichen von der Probenherstellung über geeignete Messverfahren bis zur Datenauswertung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1319-1, *Grundlagen der Messtechnik — Teil 1: Grundbegriffe*

DIN 5033-7, *Farbmessung — Teil 7: Meßbedingungen für Körperfarben*

DIN 6160, *Anomaloskop nach Nagel*

DIN 6173-2, *Farbabmusterung — Teil 2: Beleuchtungsbedingungen für künstliches mittleres Tageslicht*

DIN 6175:2019-07, *Farbtoleranzen für Automobillackierungen — Teil 1: Unilackierungen*

DIN 53145-2, *Prüfung von Papier und Pappe — Meßgrundlagen zur Bestimmung des Reflexionsfaktors — Teil 2: Messung an fluoreszierenden Proben*

DIN 53236, *Prüfung von Farbmitteln — Meß- und Auswertebedingungen zur Bestimmung von Farbunterschieden bei Anstrichen, ähnlichen Beschichtungen und Kunststoffen*

DIN 55600, *Prüfung von Pigmenten — Bestimmung der Signifikanz von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIELAB-Formel*

DIN 55978, *Prüfung von Farbstoffen — Bestimmung der relativen Farbstärke in Lösungen — Spektral-photometrisches Verfahren*

DIN 55979, *Prüfung von Pigmenten — Bestimmung der Schwarzzahl von Pigmentrußen*

DIN 55981, *Bestimmung des Farbstichs von nahezu weißen Proben*

DIN 55985-1, *Prüfung von Pigmenten — Vergleich der Farbe von Buntpigmenten in Purton-Systemen*

DIN 55985-2, *Prüfung von Pigmenten — Vergleich der Farbe in Purton-Systemen — Teil 2: Schwarzpigmente*

DIN EN ISO 2813, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85°*

DIN EN ISO 18314-2, *Analytische Farbmessung — Teil 2: Saunderson-Korrektur, Lösungen der Kubelka-Munk-Gleichung, Farbstärke, Farbtiefe, Deckvermögen*

DIN EN ISO 18314-3, *Analytische Farbmessung — Teil 3: Spezielle Indices*

DIN EN ISO 18451-1, *Pigmente, Farbstoffe und Füllstoffe — Begriffe — Teil 1: Allgemeine Begriffe*

ISO 2834-1, *Graphic technology — Laboratory preparation of test prints — Part 1: Paste inks*

ISO 2834-2, *Graphic technology — Laboratory preparation test prints — Part 2: Liquid printing inks*

3 Begriffe

In diesem Dokument werden keine Begriffe aufgeführt.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

4 Farbabmusterung

4.1 Einleitung

Eine wichtige Aufgabe in der farbgebenden Industrie ist die Herstellung farbiger Produkte, die in ihrem farbigen Aussehen mit vorgegebenen Produkten übereinstimmen sollen oder deren farbiges Aussehen im Verhältnis zu dem anderer farbiger Produkte bestimmt werden soll. Die Farbabmusterung hat daher bei der Vereinbarung von Farbtoleranzen einen hohen Stellenwert.

Sie ist ein unverzichtbarer Teil der Verbindung messtechnischer Festlegungen mit visuellen Beurteilungen. Da die visuelle Beurteilung von Farbunterschieden von verschiedenen Nebenbedingungen bei der Farbabmusterung beeinflusst wird, müssen diese Nebenbedingungen klar definiert sein. Hierzu dienen die Normen DIN 6173 (die in Teil 1 allgemeine Farbabmusterungsbedingungen und in Teil 2 Beleuchtungsbedingungen für künstliches mittleres Tageslicht beschreibt) oder DIN EN ISO 3668, welche alle relevanten Informationen und Vorgaben zur visuellen Farbbewertung von Beschichtungen enthält und in wesentlichen Teilen auch in anderen Branchen verwendet werden kann. Für den Druckbereich, für den abweichende Konditionen gelten (z. B. D50 anstatt D65), sei an dieser Stelle auf die ISO 3664 verwiesen. Die genannten Normen gelten für den direkten Farbvergleich zweier Farbmuster in Aufsicht. Im folgenden Text werden einige Hintergrundinformationen bezüglich Farbabmusterung gegeben.

Hinweis: in diesem Text wird nicht näher auf die Probenvorbereitung oder -konditionierung eingegangen. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass für eine korrekte Abmusterung auch die Grundvoraussetzungen für ein einwandfreies Ergebnis gegeben sein müssen.

Hierzu zählen neben der korrekten Probenvorbereitung (z. B. Vorbereitung von Musterplattenmaterialien für Abmusterungen von Beschichtungen siehe DIN EN ISO 1514) auch oft in der visuellen Abmusterung unterschätzte Effekte wie z. B. die Thermochromie (Farbänderung in Abhängigkeit der Objekttemperatur), gerade beim Vergleich unterschiedlicher Materialien. Des Weiteren wird an dieser Stelle die Bedeutung von neutraler (d. h. unbunter/grauer) Bekleidung während der Abmusterung hervorgehoben, um störende Reflexionen zu vermeiden.

4.2 Allgemeine Farbabmusterungsbedingungen

4.2.1 Übersicht

Drei wesentliche Bedingungen sind bei der Beurteilung von Farbunterschieden zwischen Farbmustern zu beachten:

- die Farbabmusterungslichtart;
- die geometrischen Farbabmusterungsbedingungen;
- die physiologischen Farbabmusterungsbedingungen.

4.2.2 Farbabmusterungslichtart

4.2.2.1 Übersicht

Zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten der Vereinbarung einer Farbabmusterungslichtart sind gegeben:

- natürliches Tageslicht;
- künstliche Lichtarten.

4.2.2.2 Natürliches Tageslicht

Die Vereinbarung von natürlichem Tageslicht hat den Vorteil, eine praxisbezogene Festlegung zu sein, bietet jedoch den schwerwiegenden Nachteil, aufgrund veränderlicher spektraler Zusammensetzung des Tageslichtes je nach Witterung, Tages- und Jahreszeit auch sehr unpräzise zu sein.

Sollte trotz allem eine Abmusterung unter natürlichem Tageslicht angestrebt werden, so ist darauf zu achten, dass vorzugsweise diffuses Tageslicht wie bei einem teilweise bewölkten Himmel zu verwenden ist, welches nicht durch Rückreflexion von bunten Objekten im Umfeld, wie z. B. einer roten Ziegelwand oder grünen Bäumen, oder aber durch die Eigenfarbe eines geschlossenen Fensters verfälscht wird.

Das Umfeld der abzumusternden Flächen muss gleichmäßig beleuchtet sein, wobei direktes Sonnenlicht zu vermeiden ist.

Diese Bedingungen sind zu beachten, wenn unter natürlichem Tageslicht ähnlich D65 abgemustert werden soll.

4.2.2.3 Künstliche Lichtarten

4.2.2.3.1 Künstliches Tageslicht

Um von den meist unbekannten spektralen Eigenschaften des natürlichen Tageslichtes freizukommen, wurden künstliche Lichtquellen entwickelt, welche mittleres natürliches Tageslicht simulieren sollen.

Hierbei bezieht man sich in der Industrie auf die CIE-Normlichtart D65, mit einer spektralen Strahlungsverteilung ähnlich der des nördlichen Himmelslichtes bei bedecktem Himmel in den Mittagsstunden im Jahresmittel, und die eine ähnlichste Farbtemperatur von 6 504 K aufweist (genormt in DIN EN ISO/CIE 11664-2).

Da es jedoch keine 100 %-ige Reproduktion dieser Strahlungsverteilung gibt, behilft man sich mit Abmusterungsleuchten, welche in ihren spektralen Eigenschaften unterschiedlich sein können. Daher wird in DIN 6173-2 festgelegt, dass die D65-Farbabmusterungsleuchte (also die in einer Farbabmusterungskabine eingebaute Lampe mit allen wirksamen Reflexionen von umliegenden Bauteilen) daraufhin zu prüfen ist, ob sie den Beleuchtungsbedingungen für künstliches mittleres Tageslicht (Normlichtart D65) entspricht.

Hierzu ist eine Messung der spektralen Strahlungsverteilung in der Farbabmusterungskabine und deren Bewertung mit Hilfe bestimmter Testfarbenpaare erforderlich. Ergebnis dieser Bewertung ist die Einstufung in eine von drei Güteklassen für die Anpassung einer Farbabmusterungsleuchte im sichtbaren Spektralbereich und in eine von zwei Güteklassen für die Anpassung im ultravioletten Spektralbereich an die Strahlungsverteilung der Normlichtart D65.

Der ultraviolette Spektralbereich ist nur dann wichtig für die Farbabmusterung, wenn die Farbproben fluoreszieren, wie z. B. optisch aufgehellte Papiere und Textilien oder Warnkleidung.

4.2.2.3.2 Weitere künstliche Lichtarten

Zur Vermeidung von Metamerie (siehe unten), wird empfohlen, die Farbabmusterung durch mindestens eine weitere künstliche Lichtart (z. B. Glühlampe, Leuchtstofflampen, LEDs usw.) zu ergänzen. Bewährt haben sich

in der Vergangenheit zu diesem Zweck die F-Leuchtstofflampentypen, welche durch die relative spektrale Leistungsverteilung charakterisiert werden (z. B. F2 (Standardlampe), F7 (Breitbandlampe) und F11 (Schmalbandlampe), siehe DIN 5033-7 bzw. CIE 15.

ANMERKUNG In der CIE 15 werden die Bezeichnungen FL2, FL7 und FL11 verwendet.

Da den in den Normen aufgeführten Lichtarten und deren Leistungsverteilungen (z. B. Leuchtstofflampen oder LEDs) keine handelsüblichen Lichtquellen zugeordnet werden können, sollten diese Lampentypen für die Farbabmusterung genau festgelegt werden (neben international genormter Lichtartencharakterisierung wie FL11 oder LED-B1 auch im Bedarfsfall die korrekte Hersteller- und Typbezeichnung). Bei der Farbnachstellung von Farbvorlagen wird meist die genaue Nachbildung der spektralen Reflexionseigenschaften der Farbvorlage angestrebt. Wenn das nicht gelingt, ist mit dem Auftreten von Metamerie zu rechnen.

4.2.2.4 Metamerie

Der Begriff Metamerie bezeichnet das Phänomen, dass zwei Farben (= ein Probenpaar) visuell zum gleichen Farbeindruck, d. h. zu gleichen Farbvalenzen, führen, obwohl deren spektrale Verteilungen der Farbreizfunktionen unterschiedlich sind (siehe hierzu DIN 5033-1, DIN EN ISO 18314-4). Farbmusterpaare, die stark metamer sind, können einen Qualitätsentscheid unmöglich machen, da sie auch bei der Bezugslichtart durch verschiedene Betrachter unterschiedlich bewertet werden können.

Grundsätzlich gibt es mehrere Arten von Metamerie.

Die wichtigste und bekannteste Form der Metamerie ist die Lichtarten-Metamerie. Sie tritt auf, wenn zwei Farben bei Beleuchtung mit einer bestimmten Lichtart zu gleichen Farbwerten führen, bei Wechsel der Lichtart aber zu unterschiedlichen Farbwerten. Hintergrund ist die Summation der spektralen Augenempfindlichkeit (Spektralwertfunktionen) und der Farbreizfunktion. Bei einer Lichtart kann diese Summation bei beiden Proben zur gleichen Summe und demnach zum gleichen Farbeindruck führen, bei einer anderen Lichtart aber nicht.

Weiterhin unterscheiden wir Feldgrößen-Metamerie (tritt beim Wechsel der Beobachter-Feldgröße auf, z. B. beim Wechsel vom 2°- zum 10°-Beobachter) und Beobachter-Metamerie (bedeutet, dass die spektrale Empfindlichkeit der Zapfen in der Netzhaut der beiden Beobachter unterschiedlich ist).

Zur Vermeidung von Lichtarten-Metamerie wird empfohlen, die Farbabmusterung durch mindestens zwei künstliche Lichtarten (z. B. Kombination von „Tageslicht“ D65 mit Glühlampen, Leuchtstofflampen, LEDs usw.) durchzuführen. Bewährt haben sich zu diesem Zweck die Halogenlampe Lichtart A sowie die Leuchtstofflampentype F11 (siehe DIN 5033-7).

Um Lichtarten-Metamerie zu erkennen, werden Farbabmusterungskabinen angeboten, die mit verschiedenen, getrennt schaltbaren Lampen bestückt sind, z. B. einer Tageslicht-Lampe, einer Glühlampe, einer Leuchtstofflampe, oder aber mehrkanaligen LEDs. Beim Einsatz von Leuchtstofflampen ist zu beachten, dass sich deren spektrale Strahlungsverteilung in Abhängigkeit von der Betriebsdauer in der Regel verschiebt, bei LEDs, dass diese zur Vermeidung temperaturbedingter Alterung und Leistungsvariation entsprechend gekühlt und kontrolliert geregelt werden.

Abschließend gilt anzumerken, dass unter Zuhilfenahme von Messtechnik als Maß für die Lichtarten-Metamerie ein Metamerie-Index M_t (t steht dabei für die verwendete Testlichtart) berechnet werden kann (M_t ist eine Art „ ΔE durch Lichtart-Wechsel“). Nach DIN EN ISO 18314-4 gibt es drei verschiedene Varianten von M_t zu berechnen. Informationen zur farbmetrischen Bewertung der Lichtarten-Metamerie finden sich in DIN EN ISO 18314-4. Dabei werden Farbabstandsformeln aus Abschnitt 6 dieses Dokumentes verwendet und ggf. rechnerische Modifikationen an der Probe vorgenommen.

4.2.3 Geometrische Farbabmusterungsbedingungen

4.2.3.1 Übersicht

Zu den geometrischen Farbabmusterungsbedingungen zählen:

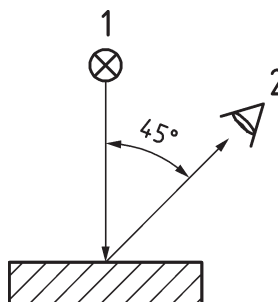
- Beobachtungsgeometrie;
- Beleuchtungsgeometrie;
- Abmessung von Bezug und Probe;
- Abstand zwischen Bezug und Probe.

4.2.3.2 Lichteinfalls- und Beobachtungsrichtung

Das farbige Aussehen der meisten farbigen Produkte ändert sich mehr oder weniger stark, wenn die Richtungen von Lichteinfall und Beobachtung verändert werden. Eine der Hauptursachen ist die Art der Oberflächenbeschaffenheit: z. B. sind matte Farbmuster weniger geometrieabhängig in ihrem Farbeindruck als glänzende. Die zu vergleichenden Farbmuster müssen daher in einer Ebene liegen. Sowohl die Richtung des Lichteinfalls als auch die Richtung der Beobachtung sind zu vereinbaren. Bei Probenpaaren unterschiedlicher Oberflächenstruktur ist eine farbliche Gleichheit meist nur bei einer einzigen Geometrie festzustellen (geometrische Metamerie).

ACHTUNG — Bei freihändiger Drehung der Probenpaare ist auf die korrekte planare Lage und auf die Gleichwertigkeit der optisch geometrischen Bedingungen für beide Proben zu achten. Besonders für Effektfarbtöne, z. B. Metallic- oder Interferenzlacke, sollten eigens dafür konzipierte Aufnahmen verwendet werden, welche Drehungen in definierten Positionen bei gleichbleibender Beobachtungsrichtung ermöglichen.

Ansonsten ist bei Abmusterung von nicht-metallischen Farbtönen bzw. Oberflächen, welche ihren Farbton nicht in Abhängigkeit des Blickwinkels ändern, nach jeglicher Norm (z. B. DIN EN ISO 3668) standardmäßig darauf zu achten, dass die Abmusterung unter $0^\circ:45^\circ$ erfolgt, d. h. die Beleuchtungsrichtung entspricht der Probenormalen (senkrecht zur Probenoberfläche) und die Beobachtungsrichtung befindet sich im 45° -Winkel zu dieser, siehe Bild 1.

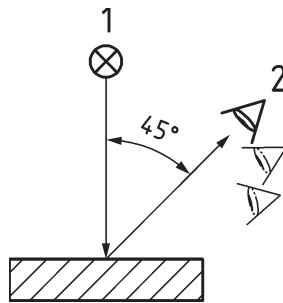


Legende

- 1 Lichtquelle
- 2 Beobachter

Bild 1 — $0^\circ:45^\circ$ Beobachtung

Generell ist es zu empfehlen, dass bei Abmusterungen auf die Augenhöhe von beobachtenden Personen geachtet wird, da unterschiedliche Körpergrößen auch unterschiedliche Beobachtungsrichtungen bedeuten, siehe Bild 2. Hierzu bieten sich entweder höhenverstellbare Tische für die Positionierung der Lichtkabine oder Stehhilfen (Trittleitern) an, um unterschiedlich großen Personen einheitliche Beobachtungskonditionen zu ermöglichen.



Legende

- 1 Lichtquelle
- 2 Beobachter

Bild 2 — Unterschiedliche Augenhöhen verursachen unterschiedliche Beobachtungswinkel und müssen ausgeglichen werden

4.2.3.3 Beleuchtungsgeometrie

Die Beleuchtungsgeometrie ist abhängig von den Abmessungen der leuchtenden Fläche der Lichtquelle (z. B. Abschlussglas), von deren Abstand zur Probenebene und von den Abmessungen der Proben. In den meisten praktischen Fällen ist ein endlicher, kleiner Öffnungswinkel der Beleuchtung anzustreben, der eine überwiegend gerichtete Beleuchtung erzeugt.

Auch in einer Farbabmusterungskabine mit hellen neutralgrauen Wänden überwiegt die gerichtete Beleuchtung gegenüber dem diffusen Anteil, weshalb die Beleuchtung durch eine Streuscheibe möglichst diffus gehalten werden sollte. Keinesfalls herrschen in einer Abmusterungskabine jedoch rein diffuse Beleuchtungsverhältnisse, wie oftmals fälschlich angenommen wird.

Es gilt zu beachten, dass je nach Art der Anforderung eine diffuse Beleuchtung auch gar nicht gewünscht ist, z. B. im Fall von Effektlackierungen zur Beurteilung von „Sparkle“ (Glitzereffekt), da dadurch der zu beurteilende Effekt verfälscht wird. Sollte dies der Fall sein, so muss durch entsprechende Zusatzbeleuchtungen zusätzlich zu dem (standardmäßigen) diffusen Beleuchtungskonzept eine gerichtete Beleuchtung geschaffen werden (z. B. optionaler Strahler).

4.2.3.4 Abstand zwischen Muster und Probe

Das Farbunterscheidungsvermögen hängt unter anderem davon ab, ob Farbflächen eng aneinandergrenzen oder durch einen mehr oder weniger breiten Spalt voneinander getrennt sind. Die größte Empfindlichkeit für Farbunterschiede ist gegeben, wenn die Farbflächen eine scharfe Kante haben und auf direkten Kontakt zusammengelegt sind.

4.2.4 Physiologische Farbabmusterungsbedingungen

4.2.4.1 Übersicht

Die von farbigen Produkten ausgelöste subjektive Farbempfindung eines Beobachters hängt von einigen Bedingungen ab, die den Funktionszustand des Auges beeinflussen:

- individuelle Seheigenschaften;
- Beleuchtungsstärke-Niveau;
- Umfeldbedingungen;
- Gesichtsfeldgröße.

4.2.4.2 Individuelle Seheigenschaften

Zur Farbabmusterung sollen nur farbnormalsichtige Personen eingesetzt werden, deren Normalsichtigkeit entweder mit Hilfe von Farbtafeln (z. B. dem Ishihara-Test) oder besser mit einem Anomaloskop nach Nagel (DIN 6160) untersucht wurden.

Die spektralen Empfindlichkeitsfunktionen normalsichtiger Beobachter unterscheiden sich in gewissem Umfang, so dass Urteile über Farbgleichheiten an Probenpaaren mit nicht identischen spektralen Eigenschaften von Beobachter zu Beobachter etwas unterschiedlich ausfallen können. Dieser Effekt wird oft als Beobachter-Metamerie bezeichnet. Daneben kann das Farbunterscheidungsvermögen auch bei farbnormalsichtigen Beobachtern unterschiedlich ausgeprägt sein. Es wird empfohlen, Personen, welche in diesem Segment tätig werden sollen, mittels Farbsehtest (z. B. Farnsworth-Munsell-FM100-HueTest) auf Tauglichkeit zu überprüfen.

4.2.4.3 Beleuchtungsstärke-Niveau

Das Beleuchtungsstärke-Niveau in der Abmusterungsebene muss so hoch sein, dass für den Beobachter das Tagessehen voll aktiviert ist (mindestens 1 000 lx), darf aber andererseits auch nicht in den Bereich der Blendung (über 4 000 lx) hineinreichen. Höhere Werte zu diesen Anforderungen können gefordert werden, sobald die abzumusternden Objekte im hochabsorbierenden Bereich (Schwarzpigmente) liegen.

Weiterhin soll die Ausleuchtung eines Abmusterungsfeldes von mindestens 300 mm × 400 mm so gleichmäßig sein, dass das lokale Minimum der Beleuchtungsstärke mindestens 80 % des lokalen Maximums beträgt und keine sichtbaren Leuchtdichteunterschiede (z. B. Streifen, Punkte) auftreten.

4.2.4.4 Umfeldbedingungen

Das Umfeld (Hintergrund, Untergrund) bzw. die Innenwände einer Farbabmusterungskabine für allgemeine Verwendung müssen in einer matten, grauen (unbunten) Farbe beschichtet sein. Dies entspricht in etwa CIELAB-Koordinaten a^* und b^* (entsprechend DIN EN ISO/CIE 11664-4) $< 1,0$, mit einer Helligkeit L^* von etwa 45 bis 55 (gemessen mit $45^\circ:0^\circ$ bzw. $de:8^\circ$).

Da das Farbunterscheidungsvermögen am empfindlichsten ist, wenn das Umfeld der Helligkeit der abzumusternden Proben entspricht, können für nahezu weiße oder nahezu schwarze Farbtöne andere Werte gewählt werden (siehe DIN EN ISO 3668).

4.2.4.5 Gesichtsfeldgröße

Die spektralen Empfindlichkeitskurven des Auges hängen von der Gesichtsfeldgröße ab. Für kleine Öffnungswinkel bis 2° gilt ein reines Zapfensehen. Üblicherweise wird jedoch unter wesentlich größeren Öffnungswinkeln abgemustert, die zu anderen spektralen Empfindlichkeitskurven des Auges gehören.

Als Richtwert für eine Großfeldabmusterung kann ein Öffnungswinkel von 10° gelten, der entsprechend große Proben erforderlich macht.

Bei wesentlich größeren Proben ist mit der Lokaladaptation des Auges auf die Farbe der Probe zu rechnen, wodurch die Farbstimmung des Auges nicht mehr vom (neutralen) Umfeld bewirkt wird.

4.3 Zusammenfassung

Für eine vereinbarte Farbabmusterung sind

- die zu verwendende(n) Lichtart(en),
- die Beleuchtungs-/Beobachtungsgeometrie,
- die Art der Probenpräsentation,

- das Beleuchtungsstärke-Niveau,
- die Umfeldbedingung und
- die Gesichtsfeldgröße

festzulegen.

Weitere Einzelheiten, wie z. B. Details zur Farbabmusterungskabine, Referenz auf nationale oder internationale Normen, Namen der Prüfer und finales Ergebnis entsprechend einer Bewertungsskala wie in DIN EN ISO 3668 runden einen Bericht in seiner Gesamtheit ab und vermeiden Probleme und Rückfragen.

5 Mess- und Auswertetechnik

5.1 Allgemeines

Das Ziel, numerische Farbtoleranzen vereinbaren zu können, setzt Reflexions- oder Transmissionsmessungen an Farbmustern voraus. Die folgende Übersicht orientiert sich exemplarisch an der Reflexionsmessung.

Farbtoleranzen werden als Grenzwerte von zulässigen Farbunterschieden zwischen einer Probe und einem Bezug festgelegt. Deshalb müssen aus den Reflexionsgraden bzw. -faktoren von Probe und Bezug Farbabstände nach Abschnitt 6 berechnet werden. Für die Messung der Reflexion stehen Messgeräte zur Verfügung, die sich durch die Art und Weise, wie Proben beleuchtet und beobachtet werden, unterscheiden können. Welcher Gerätetyp gewählt wird, hängt sowohl von der Beschaffenheit der Proben als auch vom Prüfzweck ab, für den Toleranzen festgelegt werden sollen. Auch die Forderung, dass Farbtoleranzen möglichst genau der visuellen Akzeptierbarkeit entsprechen sollten, beeinflusst die Wahl des Gerätes.

Die folgenden Ausführungen sollen eine Hilfe bei der Auswahl von geeigneten Messbedingungen sein, ausgerichtet auf unterschiedliche Toleranzanforderungen.

5.2 Probeneigenschaften

5.2.1 Allgemeines

Verschiedene physikalische Parameter wie z. B. Absorption und Streuung des gefärbten Mediums sowie die Struktur seiner Oberfläche bestimmen das optische Erscheinungsbild der Probe. Bei geschlossenen Oberflächen, z. B. bei homogenen Beschichtungen oder Kunststoffen, muss zwischen der Reflexion an der Oberfläche und der Reflexion aus dem Probeninneren unterschieden werden, weil für diese unterschiedliche physikalische Bedingungen gelten. Bei nicht geschlossenen Oberflächen (z. B. Textilien, Putze oder ungestrichene Papiere) ist diese Unterscheidung in vielen Fällen aber gar nicht möglich.

5.2.2 Begrifflichkeiten in Bezug auf Probeneigenschaften und Erläuterungen

5.2.2.1 Oberflächenreflexion

Fällt Licht auf einen Körper, wird in der Regel ein Teil davon direkt an der Oberfläche des Körpers reflektiert — noch bevor Absorption und Streuung im Inneren der Schicht stattfinden. Wird der an der Oberfläche reflektierte Anteil als Indikatritz dargestellt, d. h. als Funktion vom Beobachtungswinkel, so lassen sich zwei Extremfälle unterscheiden:

- es wird nur gerichtet reflektiert (hochglänzend),
- es wird nur diffus reflektiert (stumpfmatt).

Der erste Fall entspricht der regulären Spiegelreflexion, im zweiten Fall sorgen zahlreiche statistisch verteilte, mikroskopisch kleine Störungen an der Oberfläche für eine winkelunabhängige Rückstreuung. Die Indikat-

rix folgt hier dem Lambertschen Gesetz. Reale Oberflächen weisen meist eine Charakteristik zwischen beiden Extremfällen auf.

Die an der Oberfläche reflektierte gesamte Strahlungsleistung ist bei geschlossenen Oberflächen näherungsweise unabhängig von der Oberflächenstruktur, d. h. davon, ob die Probe glänzend, halbmatt oder matt aussieht. Sie nimmt aber mit der Brechzahl zu. Deshalb können auch hochglänzende Proben unterschiedliche Oberflächenreflexionswerte aufweisen.

Dieser an der Oberfläche reflektierte Anteil steht im weiteren Verlauf nicht mehr für die Absorptions- und Streuvorgänge im Inneren des Mediums zur Verfügung. Folglich muss die Wirkung der Oberflächenreflexion bei der Farbbeurteilung in entsprechender Weise berücksichtigt werden.

5.2.2.2 Glanz nach DIN EN ISO 2813

Glanz ist die optische Eigenschaft einer Oberfläche, Licht gerichtet zu reflektieren.

Messtechnisch erfasst wird Glanz durch Reflektometer, deren Aufbau und Handhabung in der DIN EN ISO 2813 behandelt wird. Das Prinzip der Glanzmessung beruht auf der Messung des gerichtet reflektierten Lichtes, dessen Intensität in einem definierten Winkelbereich um den (gerichteten) Reflexionswinkel herum gemessen wird.

Vornehmlich bildgebende Messverfahren, die über den Ansatz von DIN EN ISO 2813 hinausgehen und den Einfluss der jeweiligen Struktur des Glanzpeaks bei Reflexion an unterschiedlichen Materialien berücksichtigen sollen, werden zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Berichts im Komitee CIE JTC 17 (D1/D2/D8): "Gloss measurement and gloss perception: A framework for the definition and standardization of visual cues to gloss" diskutiert und es wird ein technischer Report zu einer verbesserten Definition der Messgröße Glanz erarbeitet.

Je nach Höhe des gerichteten Anteils unterscheidet man Glanzstufen zwischen hochglänzend bis stumpfmatt. Unter diesen Bezeichnungen wird aber nicht nur das rein physikalische Phänomen der Oberflächenreflexion verstanden, sondern es wird damit auch ein visueller Eindruck ausgedrückt. Somit enthält der Begriff "Glanz" eine physiologische und darüber hinaus eine psychologische Komponente.

Unter dem Begriff der glanznahen Effekte bzw. diffusem Glanz versteht man die messtechnische Analyse von Bereichen nahe dem Reflexionswinkel. Als Beispiel sei hier der Begriff des Glanzschleiers (Reflexions-Haze) genannt, eine durch mikroskopische Oberflächenstörungen verursachte Streuung (z. B. Lichthof) nahe dem Reflexionswinkel. Glanz und glanznahe Effekte werden in dieser Übersicht nicht weiter behandelt. Weitere Informationen zu diesem Thema finden sich in DIN EN ISO 2813.

5.2.2.3 Medium

Ein Medium ist ungefärbtes Trägermaterial, in das die Farbmittel eingearbeitet oder auf das die Farbmittel aufgebracht werden, z. B. Bindemittel, Kunststoffe, Textilfasern etc. In manchen Farbmetriprogrammen wird dieses auch Substrat benannt.

5.2.3 Reflexion aus dem Probeninneren

Die Reflexion aus dem Probeninneren wird bestimmt durch die Absorptions- und Streueigenschaften der eingesetzten Farbmittel, der Füllstoffe sowie durch die optischen Eigenschaften des Mediums.

Ist die Konzentration der Streuzentren im Inneren einer Probe groß (z. B. Weißpigmente oder streuende Buntpigmente), dann findet Mehrfachstreuung statt, wobei die gemittelte Streuung isotrop und nahezu ideal diffus ist. Solche Proben haben, abgesehen vom Einfluss der Oberfläche, unter allen Beobachtungsgeometrien gleiches Aussehen.

Im Falle von geringer Konzentration der Streuzentren, geometrischer Metamerie (siehe 4.2.3.2), bei Metallics (siehe 5.5.1) oder Perlglanzpigmenten (siehe 5.5.2) ist die Streuung anisotrop. Solche Proben ändern ihr Aussehen bei Änderung der Beleuchtungs- und Beobachtergeometrie (Helligkeits-, Farbflop, Silking).

5.2.4 Reflexion an der Probenoberfläche

Ändert sich an einer Grenzfläche der Brechungsindex, dann wird ein Teil des auffallenden Lichtes reflektiert. Besteht die Oberflächenschicht der Probe aus farbmittelfreiem Medium, dann wird die Reflexion durch den Brechungsindex des Mediums bestimmt. Bei einem Brechungsindex von 1,5 ergibt sich nach den Fresnelschen Gleichungen ein Reflexionsfaktor von 4 % bei nahezu senkrechtem Strahlungseinfall. Sind dagegen Farbmittel sehr nahe der Oberfläche eingelagert (z. B. bei hoher Pigmentvolumenkonzentration oder Ausschwimmen), dann wird die Oberflächenreflexion in brauchbarer Näherung durch den komplexen Misch-Brechungsindex aus Medium und Farbmittel bestimmt. Da die optischen Konstanten der meisten Farbmittel wellenlängenabhängig sind, erscheint die Oberfläche farbig.

Bei hochglänzenden Proben schließen einfallender und reflektierter Strahl mit der Probennormalen den gleichen Winkel ein (Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel). Bei ebenen Proben oder Probenpaaren mit unterschiedlichen Brechungsindizes kann diese Oberflächenreflexion bei Bedarf durch die Benutzung einer Messgeometrie mit Glanzfalle eliminiert werden.

Matte Oberflächen besitzen meist recht komplizierte räumliche Strahlungsverteilungen, welche je nach Bedarf durch spezielle Messapparaturen (z. B. BRDF-Goniospektralphotometer) charakterisiert werden können.

Bei Medien mit gleichem Brechungsindex unterscheiden sich glänzende, matte, seidenmatte oder geprägte Oberflächen hauptsächlich durch die räumliche Verteilung des an der Oberfläche reflektierten Lichtes (Reflexionsindikatrix). Der Anteil des an der Oberfläche in den Halbraum reflektierten Lichtes bleibt annähernd konstant.

Schwierigkeiten bei der Farbmessung von Materialien ergeben sich also, wenn die Oberflächen der Proben nicht mehr homogen oder glatt sind, sondern mehr oder weniger regelmäßige Strukturen aufweisen und dazu noch variabel im Glanzgrad sind (z. B. Textilien, genarbte Kunststoffe).

ANMERKUNG Derzeit wird im Komitee CIE TC 2-85: „Recommendation on the geometrical parameters for the measurement of the Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)“ ein technischer Report mit Empfehlungen zu BRDF-Messungen an verschiedenen Materialien erarbeitet.

5.3 Messgeometrien/Messgeräte-Geometrien

5.3.1 Allgemeines

Unter der Messgeometrie eines Farbmessgerätes sollen die Beleuchtungsgeometrie, d. h. das geometrische Konzept, wie die Probe beleuchtet wird, und die Beobachtergeometrie verstanden werden, d. h. die geometrische Anordnung der Optik, mit der das von der Probe reflektierte Licht detektiert wird.

Für die Geometriebezeichnung wird folgende Nomenklatur verwendet:

- an erster Stelle steht die Bezeichnung der Beleuchtungsgeometrie;
- an zweiter Stelle, durch einen Doppelpunkt getrennt, die Bezeichnung der Empfängergeometrie.

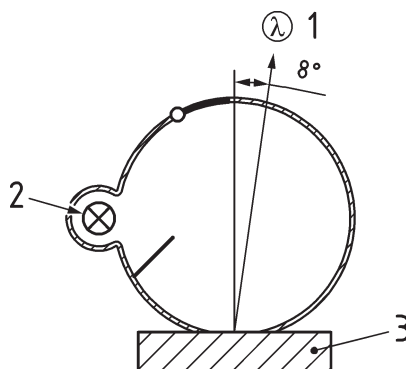
Die Entscheidung, ob und wie die Oberflächenreflexion berücksichtigt werden soll, ist ein außerordentlich wichtiger Punkt bei der Messung von Körperfarben. Wird dieser Punkt nicht berücksichtigt, kann es zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

Nach DIN 5033-7 wird zwischen diffus beleuchtenden Kugelmessgeräten und Messgeräten mit gerichteter Beleuchtung unterschieden.

5.3.2 Kugelmessgeräte

5.3.2.1 Ohne Glanzfalle: $8^\circ:di$ oder $di:8^\circ$

Bei diesem Verfahren, auch bekannt als SCI (Specular Component Included), wird die Oberflächenreflexion miterfasst. Eine schematische Darstellung des Verfahrens ist in Bild 3 enthalten.



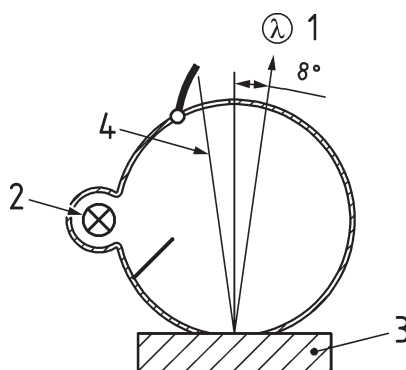
Legende

- 1 (spektraler) Empfänger
- 2 Lichtquelle
- 3 Probe

Bild 3 — Diffus: 8° Geometrie, Glanzeinschluss ($di:8^\circ$)

5.3.2.2 Mit Glanzfalle $de:8^\circ$ oder $d:0^\circ$ sowie deren Umkehrungen

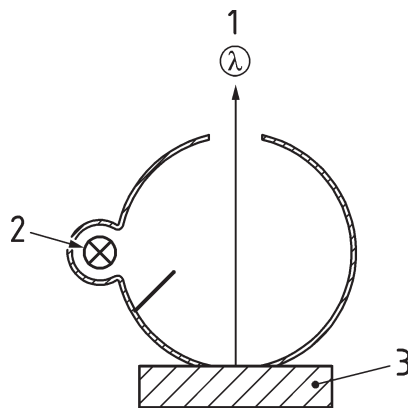
Bei diesem Verfahren, auch bekannt als SCE (Specular Component Excluded), werden die gerichteten Anteile der Oberflächenreflexion nicht spezifisch miterfasst. Eine schematische Darstellung des Verfahrens ist in Bild 4 bzw. Bild 5 enthalten



Legende

- 1 (spektraler) Empfänger
- 2 Lichtquelle
- 3 Probe
- 4 Spekulare Reflexion (Spiegelglanz)

Bild 4 — Diffus: 8° Geometrie, Glanzausschluss ($de:8^\circ$)



Legende

- 1 (spektraler) Empfänger
- 2 Lichtquelle
- 3 Probe

Bild 5 — Diffus: 0° Geometrie (d:0°)

5.3.3 Gerichtete (45°:0°)-Geometrien

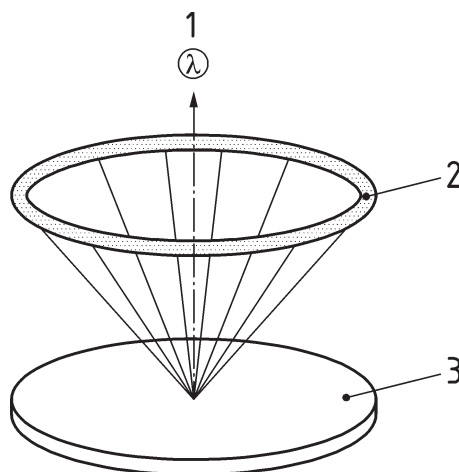
5.3.3.1 Allgemeines

Aus physikalischen Gründen ist bei diesen gerichteten Geometrien die spekulare Reflexion immer ausgeschlossen.

Je nach Bauweise wird in die folgenden Varianten der 45°:0°-Geometrie unterschieden.

5.3.3.2 45° annular: 0° Geometrie (45°a:0° bzw. 0°:45°a, ringförmige Beleuchtung bzw. Detektion)

Bei einer 45°a:0°-Geometrie wird die Probe gleichförmig aus allen Richtungen ringförmig unter 45° zur Probensenkrechten beleuchtet, die Achse des Messstrahlengangs liegt in der Probensenkrechten, siehe Bild 6.



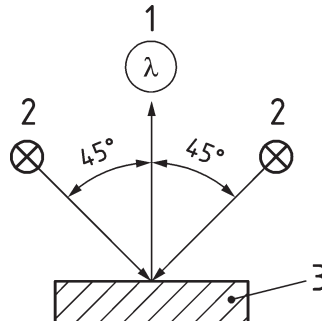
Legende

- 1 (spektraler) Empfänger
- 2 Lichtquelle
- 3 Probe

Bild 6 — 45°a:0° annular Geometrie (45°a:0°)

5.3.3.3 45° zirkular: 0° Geometrie (45°c:0° bzw. 0°:45°c, punktuelle Beleuchtung bzw. Detektion)

Bei einer 45°c:0°-Geometrie wird die Probe punktuell aus mehreren Richtungen unter 45° zur Probensenkrechten beleuchtet, die Achse des Messstrahlengangs liegt in der Probensenkrechten, siehe Bild 7.



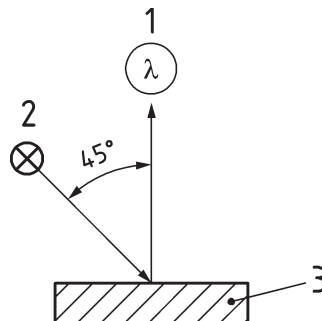
Legende

- 1 (spektraler) Empfänger
- 2 Lichtquelle
- 3 Probe

Bild 7 — 45°c:0°zirkular-Geometrie (45°c:0°)

5.3.3.4 45° einseitig gerichtet: 0° Geometrie (45°x:0° bzw. 0°:45°x)

Bei einer 45°x:0°-Geometrie wird die Probe aus einer Richtung unter 45° zur Probensenkrechten beleuchtet, die Achse des Messstrahlengangs liegt in der Probensenkrechten, siehe Bild 8.



Legende

- 1 (spektraler) Empfänger
- 2 Lichtquelle
- 3 Probe

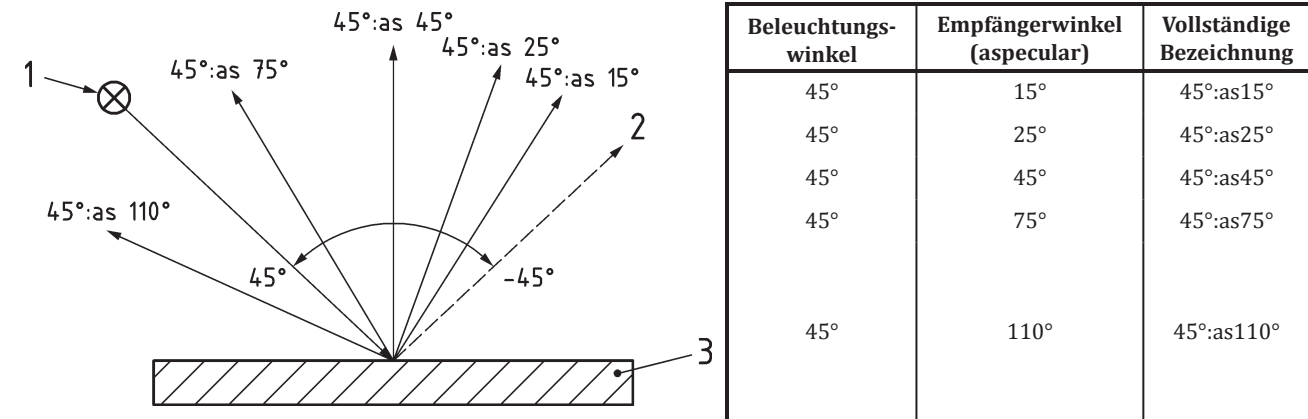
Bild 8 — 45°x:0° einseitig gerichtete Geometrie (45°x:0°)

ANMERKUNG Einen Sonderfall der einseitig gerichteten 45°:0°-Geometrie stellt die Mehrwinkelmessung dar, deren prinzipielle Basis die 45°x:0°-Geometrie bzw. deren Umkehrung ist.

5.3.4 Mehrwinkel-Geometrien (am Beispiel einer Einstrahlung unter 45°)

Die Beurteilung der richtungsabhängigen Farbeigenschaften von Materialien mit Oberflächeneffekten (z. B. Metall- und Interferenzeffekte) erfordert die Messung bei mehreren Winkeln. Die Beleuchtung erfolgt gerichtet unter 45° (45°x) zur Probennormalen. Die spekulare Reflexion ergibt sich daher unter -45° zur Probennormalen und bildet den Bezugswinkel für die Angabe der Gerätegeometrie.

Entsprechend DIN 5033-7 wird der Winkel vom Glanz mit „as“ (Abkürzung für Englisch „aspecular“) bezeichnet. Bild 9 zeigt übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Oberflächen- oder Metalleffekten und ihre Benennung.

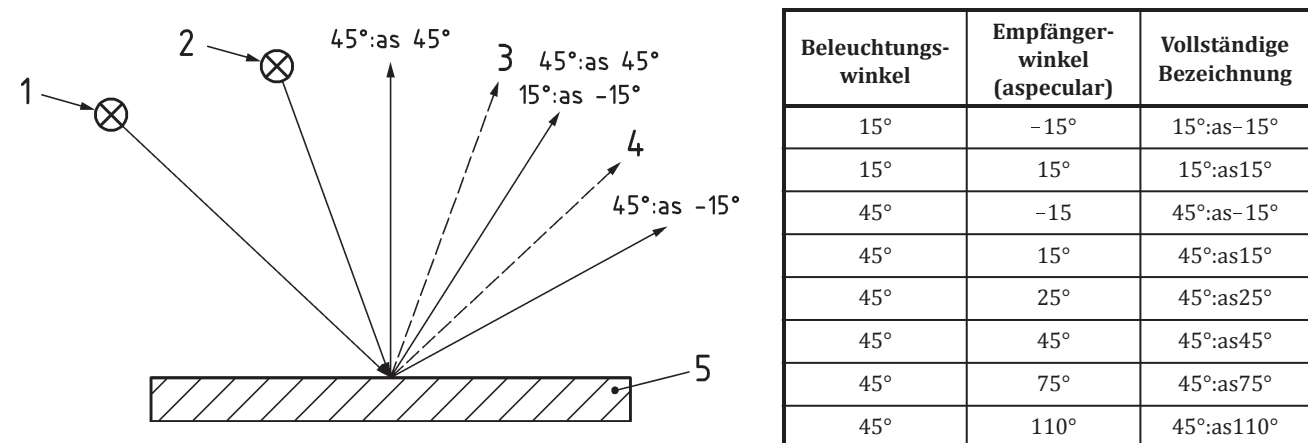


Legende

- 1 Lichtquelle unter 45°
- 2 spekulare Reflexion
- 3 Probe
- 45°:as γ° aspekulare Empfängerwinkel

Bild 9 — Übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Oberflächen- oder Metalleffekten

Für die Charakterisierung von Interferenz- und Beugungseffekten ist mindestens ein weiterer Winkel vom Glanz unter as-15° erforderlich, für spezielle Anwendungen kann eine weitere Beleuchtungsrichtung unter 15° zur Probennormalen mit as15° bzw. as-15° sinnvoll sein. Bild 10 enthält übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Interferenz- oder Beugungseffekten.



Legende

- 1 Lichtquelle unter 45°
- 2 Lichtquelle unter 15°
- 3 spekulare Reflexion unter 15°
- 4 spekulare Reflexion unter 45°
- 5 Probe

Bild 10 — Übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Interferenz- oder Beugungseffekten

5.4 Praktische Anwendung

5.4.1 Allgemeines

Im Folgenden werden Mess- und Auswertebedingungen zur Bestimmung und Bewertung von Farbänderungen, die bei physikalischer oder chemischer Beanspruchung von pigmentierten, nichtpigmentierten oder auch mit löslichen Farbmitteln eingefärbten Materialien auftreten, exemplarisch aufgezeigt.

Dieses Vorgehen ist analog zu den in DIN 53236 genannten Verfahren.

5.4.1.1 Verfahren A, empfohlen für Farbmittelprüfung

Verfahren A nach DIN 53236 entspricht den Anforderungen bei der Qualitätsprüfung von Pigmenten und erfasst Farbunterschiede zwischen Probe und Bezug. Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der Probe beeinflussen bei diesem Verfahren das Messergebnis im Allgemeinen nicht.

Zum Einsatz kommen die Messgeometrien 8°:di oder di:8° (SCI, ohne Glanzfalle). Bei diesem Verfahren wird die Oberflächenreflexion miterfasst, und bei der folgenden Berechnung des Farbabstandes nach DIN EN ISO/CIE 11664-4 oder einem anderen Verfahren nach Abschnitt 6 ist von den Messwerten ein Betrag für die Oberflächenreflexion abzuziehen (im Allgemeinen 4 %).

Bei Anwendung von Verfahren A stimmen die auf unterschiedlichen Messgeräten bestimmten Farbabstände im Allgemeinen gut überein.

ANMERKUNG Die Geometrien 0°:d oder d:0° enthalten bereits Glanzfallen, deren Wirkung aber nicht genau definiert ist, so dass sie sich für das Verfahren A nicht eignen.

Beim Verfahren A werden Farbunterschiede zwischen Probe und Bezug erfasst, die aus farbmittelbedingten Farbdifferenzen resultieren. Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der Probe beeinflussen bei diesem Verfahren das Messergebnis im Allgemeinen nicht. Deshalb ist das Verfahren A z. B. für die Farbmittelprüfung besonders geeignet. Eine Ausnahme bilden die Purtonbestimmung von Schwarzpigmenten (siehe DIN 55985-2) sowie die in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführten Fälle.

Im Falle einer Glanzänderung bleibt bei Messung nach Verfahren A die gesamte Oberflächenreflexion, die sich aus einem gerichteten und einem diffusen Anteil zusammensetzt, annähernd konstant. Wegen der Miterfassung der gesamten Oberflächenreflexion bei der Messung und dem hier bei geschlossenen Oberflächen vorgeschriebenen rechnerischen Abzug der Oberflächenreflexion vom Messwert enthalten so gewonnene Farbdifferenzen praktisch nur noch die Unterschiede oder Änderungen im Systeminneren.

Würden bei geschlossenen Oberflächen die gemessenen Werte direkt, d. h. ohne Abzug der Oberflächenreflexion, zur Berechnung von Farbdifferenzen verwendet, so werden wegen der konvexen Krümmung der Kubikwurzelkurven für $f(X/X_n)$, $f(Y/Y_n)$, $f(Z/Z_n)^*$ zu kleine Farbunterschiede berechnet. Das gilt besonders für farbgesättigte oder dunkle Proben.

Grundsätzlich bewirkt die rechnerische Ausschaltung der Oberflächenreflexion, dass Farbunterschiede etwa denen entsprechen, die ein Beobachter sieht, wenn er hochglänzende Proben „glanzfrei“ beobachtet, d. h., wenn er die Oberflächenreflexion beim Betrachten „wegspiegelt“. Bei matten Proben entsprechen die Farbunterschiede solchen, die ein Beobachter sehen würde, wenn er sie frei von ihrer diffusen Oberflächenreflexion beobachten könnte. Diese Art der Beobachtung kann er simulieren, wenn er die Probe überlackiert, um Hochglanz zu erhalten, und diese Probe dann glanzfrei betrachtet. Die farbmimetrische Bewertung nach diesem Verfahren hat demnach nur bei hochglänzenden, nicht strukturierten Proben eine direkte visuelle Entsprechung.

Bei stark strukturierten matten bis glänzenden Proben (z. B. Textilien, stark genarbte Kunststoffe, Putze etc.) kann die Oberflächenreflexion häufig empirisch bestimmt werden. In anderen Fällen (z. B. bei matten Textilien oder Putzen) ist es üblich, die Farbabstände ohne Abzug der Oberflächenreflexion zu bestimmen.

5.4.1.2 Verfahren B, empfohlen für Qualitätskontrolle inklusive des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit

Dieses Verfahren eignet sich für die Erfassung von Farbunterschieden zwischen Probe und Bezug, resultierend aus Farbdifferenzen, die durch Farbmittel und/oder unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit bedingt sind. Deshalb wird Verfahren B in der allgemeinen Qualitätskontrolle, z.B. bei Fertigprodukten, eingesetzt.

Zum Einsatz kommen die Messgeometrien $45^\circ:0^\circ$ bzw. $8^\circ:de$ mit Glanzfalle oder $0^\circ:d$ sowie deren Umkehrungen. Für die Qualitätskontrolle ist die Geometrie $45^\circ x:0^\circ$ im Allgemeinen ungeeignet, die Geometrie muss für die Erfassung von verlässlichen Unterschieden mindestens zirkular sein. Bei diesem Verfahren wird die spekulare Reflexion (Oberflächenglanz) nicht mit erfasst.

Für die Auswertung wird der Farbabstand nach DIN EN ISO/CIE 11664-4 oder einem anderen Verfahren nach Abschnitt 6 direkt (d. h. ohne Abzug der Oberflächenreflexion) aus den Messwerten errechnet.

ANMERKUNG Die Geometrien $8^\circ:de$, $de:8^\circ$ (ohne Glanz, „mit Glanzfalle“) und $0^\circ:d$ oder $d:0^\circ$ schließen nur bei ideal hochglänzenden, ebenen Proben (z. B. Glasplatten) die Oberflächenreflexion vollständig aus. Bei anderen, nicht idealen Proben besteht die Gefahr, dass je nach Konstruktion der Glanzfalle unterschiedliche Anteile der Oberflächenreflexion miterfasst werden und das Ergebnis unkontrollierbar beeinflussen. Grundsätzlich sind dann Messungen auf unterschiedlichen Geräten nicht mehr oder nur sehr schlecht zu vergleichen.

Beim Verfahren B werden Farbunterschiede zwischen Probe und Bezug erfasst, die aus Farbdifferenzen resultieren, welche durch Unterschiede der Farbmittel zusammen mit Unterschieden der Oberflächenbeschaffenheit bedingt sind. Farbunterschiede von Proben werden demnach näherungsweise so erfasst, wie bei visueller Abmusterung unter Glanzausschaltung. Verliert eine Probe an Glanz, z. B. im Verlauf einer Beständigkeitsprüfung, so erhöht sich der diffuse Anteil an der Oberflächenreflexion und damit der Messwert nach Verfahren B. Daher werden bei diesen Messbedingungen die integralen Unterschiede erfasst, bei denen Farbunterschiede der Farbmittel zusammen mit Unterschieden der Oberfläche eingehen. Für die Farbmittelprüfung ist dieses Verfahren aus diesem Grunde nicht geeignet, da der Vergleich von Farbmitteln frei sein muss von Einflüssen der Schichtoberfläche. Andererseits ist es bei Beständigkeitsprüfungen meist geboten, die Glanzänderung allein, d. h. durch eine separate Glanzmessung zu erfassen.

Auch nach Verfahren B können sich noch deutliche Abweichungen vom visuellen Urteil ergeben. Das liegt dann häufig an der starken Änderung der Oberflächenreflexion mit dem Beobachtungswinkel bei halbmatten Proben, strukturierten Proben oder am Glanzschleier glänzender Proben.

Besonders deutliche Abweichungen treten auf, wenn bei der visuellen Abmusterung von Proben mit Glanzschleier die Geometrie $45^\circ:0^\circ$ nicht eingehalten wird: die Abmusterungsbeleuchtung ist dann häufig nicht gerichtet bzw. der Beleuchtungswinkel ist nicht 45° oder der Beobachtungswinkel weicht von 0° ab (z. B. durch Größe und/oder Position der abmusternden Person).

5.4.1.3 Entscheidungshilfe für das anzuwendende Verfahren

In jedem Fall muss sich das Messverfahren nach der angestrebten Information richten. Ist eine Aussage über den Unterschied im Inneren von zwei Proben (das ist meist der durch Pigmente oder Farbstoffe verursachte) oder ist der Gesamtunterschied (d. h. mit Einschluss der Oberflächeneffekte) erwünscht? Je nach Glanzunterschieden ergeben sich somit verschiedene Farbabstände, nicht nur bei Vergleichen von Verfahren A mit B, sondern auch bei verschiedenen Messgeräten, je nachdem, wie deren Messgeometrie ausgelegt ist.

Für die Farbmittelprüfung ist im Allgemeinen die Geometrie $di:8^\circ$ oder $8^\circ:di$ (SCI, ohne Glanzfalle) vorteilhaft (Verfahren A), bei matten Proben (Textilien, Papiere) auch $d:0^\circ$ oder $0^\circ:d$.

Auf die Azimutabhängigkeit (d. h. Messwertänderung beim Drehen der Probe) ist zu achten, idealerweise werden Messwerte an mehrfach gedrehten Proben durch Mittelwertbildung generiert.

In der Praxis sind oft Farbmusterpaare (Bezug und Probe) zu beurteilen, deren Oberflächen messtechnisch keineswegs ideal gestaltet sind, d. h., sie sind nicht plan und weder ideal hochglänzend noch ideal matt. Sie

sind mehr oder weniger strukturiert und weisen verschiedene Glanzgrade auf. Die Oberflächenreflexion ist teils gerichtet, teils diffus. Für die Messung derartiger Proben werden vorzugsweise die Messgeometrien entsprechend Verfahren B eingesetzt. Entgegen den oben ausgesprochenen Empfehlungen finden aber auch Geometrien des Verfahrens A Anwendung (allerdings ohne rechnerischen Abzug der Oberflächenreflexion). Es ist zu beachten, dass bei der Messung solcher Proben immer ein Anteil der Oberflächenreflexion mitgemessen wird. Deshalb sind — wie oben ausgeführt — Messergebnisse von Messgeräten verschiedener Geometrie nur bedingt vergleichbar.

Wenn Proben mit sehr unterschiedlichen Oberflächen zu vergleichen sind (z. B. Textilien aus dem Automobil-Interieur gegen eine Kunststoffverkleidung), ist es von Vorteil, einen visuell akzeptierten Sekundärstandard zu schaffen, der die gleichen Oberflächeneigenschaften aufweist wie das zu prüfende Material.

Bei Vereinbarungen zwischen den interessierten Parteien ist unbedingt Folgendes zu beachten:

- Es ist möglichst der gleiche Messgerätetyp einzusetzen, wenigstens aber die gleiche Messgeometrie. Wenn möglich, ist zu prüfen, ob die gewählte Messgeometrie Farbwerte liefert, die mit der visuellen Beurteilung kompatibel sind.
- Akzeptierbarkeiten können nur aufgrund von Farbmustersammlungen, die von geübten Koloristen visuell beurteilt worden sind, ermittelt werden. Der Umfang einer Farbmustersammlung muss groß genug sein, damit die messtechnische Auswertung zu statistisch gesicherten Abstufungen bzw. Begrenzungen der akzeptierten Farbabstände führt.

Eine Hilfe für die richtige Auswahl von Gerät und Geometrie bieten Tabelle 1 und Tabelle 2 (siehe 5.6).

5.5 Besonderheiten

5.5.1 Metalleffektpigmente

Die optischen Eigenschaften von Metalleffekt-Lackierungen — oder kurz Metallics genannt — werden hauptsächlich durch die Spiegelreflexion an plättchenförmigen, weitgehend parallel zur Lackoberfläche orientierten Pigmentteilchen bestimmt. Es handelt sich dabei meist um Aluminium oder Goldbronze Pigmente, die dem Lack ein metallisches Aussehen verleihen. Zu den an pigmentierten Schichten beobachtbaren Grundvorgängen Absorption und Streuung kommt als weiterer physikalischer Elementarprozess die Spiegelreflexion hinzu. Die Richtungsverteilung der zurückgeworfenen Strahlung ist von der Beschaffenheit der Probe und vom Beleuchtungswinkel abhängig. Je nach Beobachtungswinkel können beträchtliche Änderungen in der Helligkeit auftreten. Dabei erscheinen glanznahe Winkel ($\alpha_s 15^\circ$, $\alpha_s 25^\circ$) heller als glanzferne Winkel ($\alpha_s 75^\circ$, $\alpha_s 110^\circ$). Man spricht auch vom so genannten „Hell-Dunkel Flop“. Je größer der Helligkeitsunterschied ist, desto mehr werden Konturen eines Gegenstandes betont.

Bei der Farbmessung von Metallics sind Mehrwinkel-Messgeräte zu verwenden, um das richtungsabhängige Streuverhalten zu erfassen (siehe 5.3.35.3.35.3.4). Es hat sich gezeigt, dass mindestens drei und optimalerweise fünf Betrachtungswinkel notwendig sind. Bei Flächen, die üblicherweise senkrecht stehen, sollte das Messgerät so aufgesetzt werden, dass die Beleuchtung von oben kommt. Dies kommt einer visuellen Abmusterung um die Mittagszeit, bei der die Sonne senkrecht bspw. über dem Auto steht, sehr nahe.

5.5.2 Interferenzpigmente

Interferenzpigmente finden in vielfältigen Bereichen, wie z. B. bei Automobillackierungen, in kosmetischen Produkten, bei der Ausführung von Häuserfassaden und auch im Lebensmittelbereich Anwendung. Der Einsatz solcher Pigmente soll Gegenständen eine höhere Attraktivität verleihen und durch ein ansprechendes und Aufmerksamkeit erregendes Äußeres die Kaufbereitschaft von Kunden anregen. Es handelt sich dabei um Effektpigmente, bisweilen auch „Flakes“ genannt, deren optischer Effekt auf Mehrfachreflexion von Licht an dünnen, hochbrechenden Schichten beruht. Ausgangsmaterial kann natürlicher oder synthetischer Glimmer oder Glas sein. Dünne Plättchen dieser Rohstoffe werden z. B. mit Titandioxid, Eisenoxid oder anderen Metalloxiden beschichtet. Die Beschichtung bewirkt eine Mehrfachbrechung des Lichtes an den verschiedenen Grenzflächen. Auf Grund dieser Phasenverschiebungen des Lichts entstehen sogenannte Interferenzfar-

ben. Durch Variation der Beschichtung, der Schichtdicke und der Teilchenform können individuelle Farbeffekte erzeugt werden. Interferenzpigmente ändern nicht nur die Helligkeit, wenn sie unter verschiedenen Winkeln betrachtet werden, sondern auch Buntheit und Buntton. Bei einigen dieser Pigmente wandert der Farbart über einen weiten Bereich im Farbenraum. Deshalb sind zur messtechnischen Erfassung zusätzliche Messwinkel, wie sie in 5.3.4 beschrieben sind, zu verwenden [1].

Der visuelle Eindruck von Effektlacken wird nicht nur durch unterschiedliche Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel beeinflusst, sondern auch durch die Lichtverhältnisse. Bei direkter Sonneneinstrahlung wird ein Glitzereffekt wahrgenommen, der auch als Sparkle oder Micro-Brillanz [2], [3] beschrieben wird. Dieser wird durch das Reflexionsverhalten der Effektpigmente verursacht. Bei bedecktem Himmel mit diffuser Beleuchtung ändert sich der visuelle Eindruck völlig. Man nimmt eine optische Textur wahr, wodurch die Beschichtung körnig erscheint und fast einem sogenannten Salz- und Pfeffermuster, auch Graininess oder Coarseness genannt, ähnelt. Die Körnigkeit ist abhängig von Flake-Größe oder Flake-Orientierung.

Herkömmliche 5- oder 6-Winkelfarbmessgeräte können diese beiden Effekte weder erfassen noch ausreichend charakterisieren, da sie die spektrale Reflexion über den gesamten Messfleck mitteln. Es ist deshalb eine zusätzliche bildbasierte Messmethode notwendig.

ANMERKUNG Zum aktuellen Zeitpunkt wird im Komitee CIE JTC 12 (D1/D2/D8): „The measurement of sparkle and graininess“ ein technischer Report zur Methodik der Sparkle- und Graininess Messungen und zu deren Auswertung erarbeitet.

5.5.3 Fluoreszenz

Materialien bzw. Beschichtungen, die fluoreszierende Farbmittel enthalten, wandeln kurzwelliges beleuchtendes Licht in längerwellig emittiertes Licht um (Stokes Shift). Um den Einfluss der Fluoreszenz auf die Transmission bzw. Reflexion zu bestimmen, ist eine Messung mit spektraler Auflösung sowohl im Beleuchtungs- als auch im Detektionsstrahlengang durchzuführen. Wenn solche Proben mit Standardfarbmessgeräten gemessen werden, werden sie wie Körperfarben behandelt, d. h. auf die mattweiße Fläche bezogen. Aufgrund der zuvor genannten Effekte können Reflexionsgrade $> 100\%$ auftreten. Um diese Effekte im Bereich der Weißmessung reproduzierbar zu charakterisieren, wird für Standardfarbmessgeräte im Allgemeinen eine UV-Sperrfilter-Technologie verwendet, um den Anteil der UV-Energie in der Probenbeleuchtung definiert zu reduzieren.

Bei einigen Farbmitteln kann auch sogenannte interne Fluoreszenz auftreten, bei der absorbierte kurzwellige Strahlung nicht nur aus dem UV-Bereich sondern auch im sichtbaren Bereich im langwelligen Bereich wieder emittiert wird.

Anders als bei normalen Körperfarben sind bei fluoreszierenden Körperfarben Reflexions- und Farbwerte auch davon abhängig, ob die beleuchtende Lichtart genügend Anregungsstrahlung enthält. Deswegen müssen solche Proben mit der Lichtart beleuchtet werden, auf die sich die Messwerte beziehen sollen, d. h., bei der sie visuell abgemustert werden. In vielen Normen ist Normlichtart D65 vorgeschrieben.

Der Einfluss von Spiegeln und Linsen im Gerät, besonders aber der Ulbrichtkugel, sowie der spektralen Zusammensetzung der beleuchtenden Lichtart ist zu berücksichtigen. Auch wenn beim Vorliegen von Fluoreszenz es theoretisch empfohlen wird, mit $45^\circ:0^\circ$ -Geometrie zu messen, so ist es allgemeine Praxis, die Fluoreszenz mit Kugelmessgeräten zu bestimmen.

Oftmals werden Relativmessungen an fluoreszierenden Proben mit der Geometrie $d:8^\circ$ oder $d:0^\circ$ ausgeführt (siehe z. B. DIN 53145-2). Hierbei ist zu beachten, dass die zusätzliche Ausleuchtung der Kugel durch die Fluoreszenzstrahlung Fehlmessungen erzeugt (chromatischer Kugelfehler), die zu einer Erniedrigung der spektralen Reflexionsfaktoren im Fluoreszenzbereich führen kann. Solche Messwerte dienen nur zur groben Orientierung über die Richtung von Farbunterschieden und dürfen nicht als absolute Kenngrößen interpretiert werden.

Eine Ausnahme bildet die Weißmetrik (z. B. bei den Anwendungen in der Textil- oder Papierindustrie). Hier werden im Allgemeinen $d:8^\circ$ bzw. $d:0^\circ$ Messgeräte mit spezieller UV-Filter-Technologie verwendet, welche

unter Zuhilfenahme von speziell ISO IR3 kalibrierter Referenzstandards den Anteil der UV-Energie in der Beleuchtung regulieren können, umso vergleich- und reproduzierbarere Messergebnisse zu erzielen. Dieses Vorgehen ermöglicht eine für die Industrie akzeptable Einstellung der integralen Anregungsenergie entsprechend der CIE Normlichtart D65. Dies stellt jedoch keine exakte spektrale Nachstellung der UV-Strahlung entsprechend D65 dar, was das exaktere Verfahren wäre.

ANMERKUNG IR3 ist die Referenz für die Industrie, um damit Messinstrumente wie z. B. Spektralfotometer täglich bzw. bei Inbetriebnahme mit einem Arbeitsstandard zu kalibrieren.

5.5.4 Thermochromie

Thermochromie ist das Verhalten von Farbmitteln, ihr Reflexionsvermögen mit der Temperatur zu ändern. Bei der Farbmessung thermochromer Proben ist Temperatenausgleich abzuwarten, wenn die Probe durch die Messvorrichtung erwärmt wird. Besser ist die Verwendung einer Beleuchtungseinrichtung, die die Probe nicht erwärmt (monochromatische Beleuchtung oder Blitzlampenbeleuchtung).

Weiterhin ist für diese Art von Materialien darauf zu achten, dass die Proben in einer konstant temperierten (klimatisierten) Umgebung vermessen werden. In jedem Fall sollte die Temperatur der Probe bei der Messung protokolliert werden (z. B. durch Messung mit einem Infrarotthermometer).

5.6 Empfehlung für die optimale Messgeometrie

Probleme treten bei Farbvergleichen von Proben immer dann auf, wenn sie sich im Streuverhalten des Probeninneren und/oder in den Reflexionseigenschaften der Probenoberfläche (Glanz-, Strukturunterschiede usw.) unterscheiden. Solche Unterschiede sind häufig die Ursache für Diskrepanzen zwischen visueller und messtechnischer Bewertung. Eine Entscheidungshilfe, wie beim Auftreten oben erwähnter Unterschiede zu messen ist, wird hier angegeben. Sie enthält auch die weit überwiegenden problemlosen Fälle.

Unterschieden wird zwischen (I) Eigenschaften des Probeninneren und (II) Eigenschaften der Probenoberfläche; weiter erfolgt eine Aufspaltung durch die Fragestellung: Gesamtprüfung (Endprüfung, Verfahren B) oder Prüfung des Probeninneren (Pigment-, Farbstoffprüfung, Verfahren A). Einzusetzen ist diejenige Messgeometrie, die nach Tabelle 1 und Tabelle 2 sowohl in I als auch in II empfohlen wird. (Beispiel: Aus I isotrop, II strukturiert und Prüfung des Probeninneren folgt: Messgeometrie $d:8^\circ$ mit rechnerischem Glanzabzug oder $d_e:8^\circ$).

Neben den hier erwähnten Geometrien sind auch deren Umkehrungen zugelassen; z. B. $45^\circ:0^\circ$ und $0^\circ:45^\circ$. Die Geometrie $d:0^\circ$ oder $0^\circ:d$ darf nur angewendet werden, wenn dies ausdrücklich erwähnt ist.

Tabelle 1 — Auswahlkriterien für die Messgeometrie in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Probeninneren (I)

I	Eigenschaften des Probeninneren	Geeignete Messanordnungen
1	isotrop streuend, opak (deckende Lacke, Textilien, Kunststoffe)	$d:8^\circ$, $45^\circ:0^\circ$ ($d:0^\circ$ bei Papieren und Textilien)
2	anisotrop streuend (Effektoberflächen wie z. B. Metallics)	Mehrwinkelmessgeräte ($45^\circ:0^\circ$ und $d:8^\circ$ mit beschränkter Aussagekraft)
3	transparent (Folien, Filme, Drucke)	Idealerweise ist in Transmission zu messen bei Drucken oder Applikation auf streuendem Untergrund auch $d:8^\circ$ oder $45^\circ:0^\circ$

Tabelle 1 (*fortgesetzt*)

I	Eigenschaften des Probeninneren	Geeignete Messanordnungen
4	transluzent (Folien, Blaskörper)	d:8°, 45°:0° Bei dicken Proben Fehler durch Randverlust, Minimierung des Fehlers durch möglichst kleinen Messfleck im Verhältnis zum Beleuchtungsfleck empfehlenswert, oder Einbringen der Probe in die Kugel. Je nach Anforderung kann in Reflexion oder Transmission gemessen werden. Bei Transmissionsmessung muss die Klärung der Frage vorgenommen werden, ob Gesamttransmission oder gerichtete Transmission gefragt ist. Das Verfahren muss vereinbart werden.
5	inhomogen, wolkig, fleckig	d:8°, 45°:0°. große Messöffnung und Es muss eine Mittelung über Messung an verschiedenen Orten erfolgen. Die Eigenschaften 1 bis 4 dieser Tabelle sind zu beachten.
6	fluoreszierend	45°:0° evtl. d:8° (bei Papieren d:0°) mit tageslichtähnlicher Beleuchtung, idealerweise Normlichtart D65. Die Eigenschaften 1 bis 4 dieser Tabelle sind zu beachten
7	thermochrom	d:8°, 45°:0° Empfohlen: Monochromatische Beleuchtung oder Blitzbeleuchtung, bei kontinuierlicher Beleuchtung muss das Temperaturgleichgewicht abgewartet werden. Die Eigenschaften 1 bis 4 dieser Tabelle sind zu beachten
8	wenig reflektierend	45°:0° (de:8°, wenn Applikation hinter Glas und Messung durch Glas). Empfohlen: Polychromatische Beleuchtung. Der rechnerische Glanzabzug der Oberflächenreflexion ist problematisch.

Tabelle 2 — Auswahlkriterien für die Messgeometrie in Abhängigkeit von der Probenart und der Oberflächenbeschaffenheit (II)

II	Oberflächenbeschaffenheit	Geeignete Messanordnungen	
		Qualitätskontrolle/ Endkontrolle Oberfläche	Farbmittelkontrolle/Bewertung des Probeninneren
1	glänzend und eben (Lacke)	de:8°; 45°:0°	di:8° mit rechnerischem Abzug der Oberflächenreflexion, de:8°, 45°:0°
2	ideal matt (Textilien, Papiere)	bei identischer Oberfläche alle Geräte	di:8°, mit rechnerischem Abzug der Oberflächenreflexion, de:8°, d:0°, 45°:0°
3	matt, seidenglänzend, strukturiert (Prägefolien, Gewebe)	bei identischer Oberfläche alle Geräte, sonst 45°:0° oder de:8°	di:8° mit rechnerischem Abzug der Oberflächenreflexion nur bei geschlossenen Oberflächen (Lacken usw.), de:8
4	glänzend aber bronzierend (Drucke, Textilien)	45°:0°, Mehrwinkelmessgerät	45°:0°