

Inhalt	Seite
Vorwort . . . . .	6
Einleitung . . . . .	8
1 Anwendungsbereich . . . . .	10
2 Normative Verweisungen . . . . .	10
3 Begriffe . . . . .	10
4 Farbarmusterung . . . . .	11
4.1 Allgemeines . . . . .	11
4.2 Allgemeine Farbarmusterungsbedingungen . . . . .	11
4.2.1 Übersicht . . . . .	11
4.2.2 Farbarmusterungslichtart . . . . .	11
4.2.3 Geometrische Farbarmusterungsbedingungen . . . . .	13
4.2.4 Physiologische Farbarmusterungsbedingungen . . . . .	15
4.3 Zusammenfassung . . . . .	16
5 Mess- und Auswertetechnik . . . . .	17
5.1 Allgemeines . . . . .	17
5.2 Probeneigenschaften . . . . .	17
5.2.1 Allgemeines . . . . .	17
5.2.2 Begrifflichkeiten in Bezug auf Probeneigenschaften und Erläuterungen . . . . .	17
5.2.3 Reflexion aus dem Probeninneren . . . . .	18
5.2.4 Reflexion an der Probenoberfläche . . . . .	19
5.3 Messgeometrien/Messgeräte-Geometrien . . . . .	19
5.3.1 Allgemeines . . . . .	19
5.3.2 Kugelmessgeräte . . . . .	20
5.3.3 Gerichtete (45°:0°)-Geometrien . . . . .	21
5.3.4 Mehrwinkel-Geometrien (am Beispiel einer Einstrahlung unter 45°) . . . . .	22
5.4 Praktische Anwendung . . . . .	24
5.4.1 Allgemeines . . . . .	24
5.4.2 Verfahren A, empfohlen für Farbmittelprüfung . . . . .	24
5.4.3 Verfahren B, empfohlen für Qualitätskontrolle inklusive des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	25
5.4.4 Entscheidungshilfe für das anzuwendende Verfahren . . . . .	26
5.5 Besonderheiten . . . . .	27
5.5.1 Metalleffektpigmente . . . . .	27
5.5.2 Interferenzpigmente . . . . .	27
5.5.3 Fluoreszenz . . . . .	28
5.5.4 Thermochromie . . . . .	29
5.6 Empfehlung für die optimale Messgeometrie . . . . .	29
6 Farbabstandsformeln . . . . .	31
6.1 Allgemeines . . . . .	31
6.2 CIELAB-System . . . . .	32
6.3 CIELAB-Formel . . . . .	32
6.4 Modifikationen der CIELAB-Formel . . . . .	35
6.4.1 Allgemeines . . . . .	35
6.4.2 Allgemeine Farbabstandsformel . . . . .	35
6.4.3 Kategorisierung von Farbabstandsformeln . . . . .	36
6.4.4 CMC( <i>l:c</i> )-Formel . . . . .	36
6.4.5 CIE94-Formel . . . . .	36
6.4.6 CIEDE2000-Formel . . . . .	37
6.4.7 Spezielle individuelle Anpassungen . . . . .	37
6.5 Weitere gängige relevante euklidische Farb Räume . . . . .	38
6.5.1 Allgemeines . . . . .	38

6.5.2	DIN99-Farbraum . . . . .	38
6.5.3	DIN99o-Farbraum . . . . .	38
6.6	Erweiterungen für den Mehrwinkel-Fall . . . . .	38
6.6.1	Allgemeines . . . . .	38
6.6.2	DIN 6175-2:2001-03 . . . . .	38
6.6.3	DIN 6175:2019-07 . . . . .	41
6.7	Einflussfaktoren für die Größe von Toleranzwerten . . . . .	42
7	Ermittlung der Unsicherheit bei der Farbprüfung . . . . .	42
7.1	Allgemeines . . . . .	42
7.2	Messunsicherheit bei der Farbmessung . . . . .	42
7.2.1	Allgemeines . . . . .	42
7.2.2	Messunsicherheit . . . . .	42
7.2.3	Farbabstand . . . . .	44
7.2.4	Streuung von Farbörtern und Beschreibung der Prozesslage . . . . .	44
7.3	Signifikanz von Farbabständen . . . . .	54
7.4	Messunsicherheit von Farbabständen . . . . .	57
8	Toleranz bei der instrumentellen Farbarmusterung . . . . .	58
8.1	Allgemeines . . . . .	58
8.2	Toleranzvereinbarungen . . . . .	58
8.3	Angabe von Farbtoleranzen . . . . .	59
8.3.1	Allgemeines und grundlegende Fälle . . . . .	59
8.3.2	Farbstandards . . . . .	64
8.3.3	Prozessfähigkeit der Probenherstellung (Messunsicherheit) . . . . .	65
8.4	Ermittlung der Grenzen der Akzeptierbarkeit . . . . .	65
8.4.1	Mustersammlungen und ihre Bewertung . . . . .	65
8.4.2	Ermittlung der Toleranzgrenze . . . . .	65
9	Prüfung der Farbe von Farbmitteln . . . . .	66
9.1	Vorbemerkungen über optische Kenngrößen . . . . .	66
9.1.1	Allgemeines . . . . .	66
9.1.2	Notwendigkeit von Eingangsprüfungen . . . . .	68
9.1.3	Toleranzen der optischen Kenngrößen . . . . .	69
9.1.4	Zeitliche Stabilität des Bezugs . . . . .	69
9.1.5	Relative Farbstärke und Restfarbabstand . . . . .	69
9.2	Prüfungen, Messungen und deren Probleme . . . . .	70
9.2.1	Allgemeines (Messung, Auswertung) . . . . .	70
9.2.2	Mess- und Prüfunsicherheit in der Anwendung . . . . .	70
9.2.3	Bestimmung des Restfarbabstandes . . . . .	70
9.2.4	Einfluss der Farbstärke auf die Farbabweichung des Endproduktes . . . . .	70
9.3	Prüfung von Farbstoffen . . . . .	71
9.3.1	Allgemeines . . . . .	71
9.3.2	Bestimmung der relativen Farbstärke . . . . .	71
9.3.3	Probe . . . . .	71
9.4	Prüfung von Pigmenten . . . . .	72
9.4.1	Allgemeines . . . . .	72
9.4.2	Anforderungen an die koloristisch zu messenden Proben . . . . .	72
9.4.3	Vollton- und Purton-Systeme . . . . .	72
9.4.4	Schwarzpigmente (DIN 55985-2 oder DIN 55979) . . . . .	73
9.4.5	Weißabmischungen von Pigmenten in Lacken, Dispersionsfarben und Kunststoffen . . . . .	74
9.4.6	Bewertung von Pigmenten bei Bewitterungsprüfungen . . . . .	75
9.4.7	Prüfung von Metalleffekt- und Interferenzpigmenten . . . . .	75
10	Anwendungsspezifische Themen . . . . .	75
10.1	Lacke und Dispersionsfarben . . . . .	75
10.1.1	Allgemeines . . . . .	75
10.1.2	Einflussfaktoren auf die Probenbeschaffenheit . . . . .	75
10.1.3	Herstellung und Prüfung der Proben unter Laborbedingungen . . . . .	77
10.1.4	Festlegung des Bezugs (Referenz, Standard, Vorlage, Typ) . . . . .	78
10.1.5	Prüfung und Toleranzvereinbarung . . . . .	79

10.1.6	Besonderheiten bei Pulverlacken . . . . .	80
10.2	Druckfarben . . . . .	80
10.2.1	Allgemeines . . . . .	80
10.2.2	Pigmente in Druckfarben . . . . .	81
10.2.3	Dicke der Druckfarbenschicht . . . . .	81
10.2.4	Herstellung von Druckproben . . . . .	81
10.2.5	Bedruckstoffe (Druckträger, Substrat, Untergrund) . . . . .	82
10.2.6	Farbmessung von Drucken und deren Auswertung . . . . .	84
10.3	Eingefärbte Kunststoffe . . . . .	84
10.3.1	Allgemeines . . . . .	84
10.3.2	Proben . . . . .	84
10.3.3	Farbmessung . . . . .	86
10.4	Textilien . . . . .	87
10.4.1	Allgemeines . . . . .	87
10.4.2	Akzeptierbarkeitsprüfung . . . . .	87
10.4.3	Spezielle messtechnische Hinweise . . . . .	89
	Literaturhinweise . . . . .	93

## Bilder

Bild 1	— Schematische Darstellung der 0°:45° Beobachtung . . . . .	14
Bild 2	— Unterschiedliche Augenhöhen verursachen unterschiedliche Beobachtungswinkel und müssen ausgeglichen werden . . . . .	15
Bild 3	— Schematische Darstellung der diffus: 8° Geometrie, Glanzeinschluss (di:8°) . . . . .	20
Bild 4	— Schematische Darstellung der diffus: 8° Geometrie, Glanzausschluss (de:8°) . . . . .	20
Bild 5	— Schematische Darstellung der diffus: 0° Geometrie (d:0°) . . . . .	21
Bild 6	— Schematische Darstellung der 45°a:0° annular Geometrie (45°a:0°) . . . . .	21
Bild 7	— Schematische Darstellung der 45°c:0° zirkular-Geometrie (45°c:0°) . . . . .	22
Bild 8	— Schematische Darstellung der 45°x:0° einseitig gerichteten Geometrie (45°x:0°) . . . . .	22
Bild 9	— Übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Oberflächen- oder Metalleffekten . . . . .	23
Bild 10	— Übliche Geometrien zur Charakterisierung von Proben mit Interferenz- oder Beugungseffekten . . . . .	24
Bild 11	— CIELAB-Farbsystem . . . . .	32
Bild 12	— Aufspaltung des Farbabstandes zwischen P und B nach $\Delta a^*$ , $\Delta b^*$ im CIELAB-System . . . . .	33
Bild 13	— Aufspaltung des Farbabstandes zwischen Probe und Bezug nach $\Delta C_{ab}^*$ , $\Delta H_{ab}^*$ im CIELAB-System . . . . .	35
Bild 14	— Typen von Farbabstandsformeln . . . . .	36
Bild 15	— Exemplarische Orientierung und Größe der Toleranzellipsoide im CIELAB-Farbraum . . . . .	37
Bild 16	— Bereich chromatischer Farben im Helligkeit über Buntheit Diagramm . . . . .	39
Bild 17	— Verschmierfunktion $\sigma$ in Abhängigkeit vom Chromawert relativ zu $C_0$ (a)) und Lage von $C_0$ im Helligkeit über Buntheit Diagramm (b)) . . . . .	40
Bild 18	— Messergebnis, Messabweichung und Messunsicherheit (nach DIN 1319-1) . . . . .	43
Bild 19	— Streuung von Farbörtern im CIELAB-Farbraum und im Differenzkoordinatensystem mit mittlerem Farbort (rotes Kreuz) im Koordinatenursprung . . . . .	45
Bild 20	— Streuung von Farbörtern um den Mittelwert einer Farbproduktion (blaue und rote Punkte) in Differenzkoordinaten . . . . .	50
Bild 21	— Histogramme der mit Gleichung (27) normalisierten Mahalanobis-Distanzen vor (oben links) und nach der Elimination von Ausreißern (oben rechts) sowie den entsprechenden QQ-Plots von normalisierten empirischen Farbörtern einer Messreihe [15] über den theoretischen Quantilen der F-Verteilung vor (links unten) und nach der Elimination der Ausreißer (rechts unten) . . . . .	51
Bild 22	— Zweidimensionale Projektion der Farbörter einer Messreihe mit zwei Ausreißern A und B . . . . .	52

Bild 23 — Fließschema der Ausreißerprüfung (hier mit der Beta-Verteilung) und Ermittlung der kritischen Mahalanobis-Distanz $T_{krit}^2$ . . . . .	53
Bild 24 — Farbkoordinaten der Referenz und der Messreihe einer Probe mit dem Konfidenzellipsoid . . . . .	55
Bild 25 — Lassen sich die mittleren Farbörter von Probe und Referenz beide nur mit einer Messunsicherheit ermitteln, dann addiert man die Kovarianzmatrizen und ermittelt damit die quadratische Mahalanobis-Distanz zur Referenz $T_{Ref}^2$ . . . . .	56
Bild 26 — Die Ausdehnung des Konfidenzellipsoids der Probe in Richtung der Referenz entspricht der Messunsicherheit des Farbabstandes . . . . .	57
Bild 27 — Form von Toleranzräumen für ein brillantes (obere Reihe) und ein pastelliges Rot (untere Reihe) . . . . .	60
Bild 28 — Toleranzräume in zwei Farbsystemen, Fall b) . . . . .	61
Bild 29 — Ellipsoidischer Toleranzraum mit konstantem $\Delta E_{CMC}$ im $(\Delta L^*; \Delta C_{ab}^*; \Delta H_{ab}^*)$ -Differenzkoordinatensystem (links) und der identische kugelförmige Toleranzraum in $(\Delta L^*/(l \cdot S_L), \Delta C_{ab}^*/(c \cdot S_C), \Delta H_{ab}^*/S_H)$ -Koordinaten . . . . .	62
Bild 30 — Helligkeit $L^*$ und Schwarzzahl $M_Y$ (Black value) in Abhängigkeit vom Normfarbwert $Y$	63
Bild 31 — Verteilung der Farbabstände zum mittleren Farbort der durch Wiederholungsmessung auf einem typischen Farbmuster ermittelten Farbörter . . . . .	64
Bild 32 — Beispielhafte Darstellung des Bruchteils der n. i. O.-Bewertungen über dem zugehörigen Farbabstand aufgetragen . . . . .	66
Bild 33 — Schema Verarbeitungsschritte für Farbmittel . . . . .	67

## Tabellen

Tabelle 1 — Auswahlkriterien für die Messgeometrie in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Probeninneren (I) . . . . .	29
Tabelle 2 — Auswahlkriterien für die Messgeometrie in Abhängigkeit von der Probenart und der Oberflächenbeschaffenheit (II) . . . . .	30
Tabelle 3 — Quantile $\chi_{n,(1-\alpha)}^2$ der Chi-Quadrat-Verteilung [11] . . . . .	47