

| 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<br>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 Farbarmstandsformeln . . . . .  | 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 Farbarmstandsformel . . . . .  | 35    |
| 6.4.3 Kategorisierung von Farbarmstandsformeln . . . . .  | 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 Farbäume . . . . .  | 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 Koordinatensprung . . . . .   | 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 |