

# Farbortstreuung und Akzeptierbarkeit der Farbe von Lacken

Renate Hiesgen und Georg Meichsner, Hochschule Esslingen

## 1 Farbunterschiede bei Lacken

Da es sich um technische Produkte handelt, ist die Farbe zweier Lacke oder Lackierungen nie exakt gleich. Abgesehen davon, unterliegen Messwerte immer einer natürlichen Schwankung, die sich nicht beseitigen lässt.

Entlang der Prozesskette, angefangen bei der Rohstoffproduktion bis zum fertigen Produkt, gibt es zahlreiche Einflüsse auf die Farbe. Abbildung 1 zeigt die Prozesskette bei Pulverlacken, die wegen zahlreicher Beteiligter sehr stark aufgefächert sein kann. Ganz ähnlich ist die Situation bei den flüssigen Industrielacken, mit dem Unterschied, dass dort eine noch größere Anzahl von Lackherstellern und Kunden auftritt.

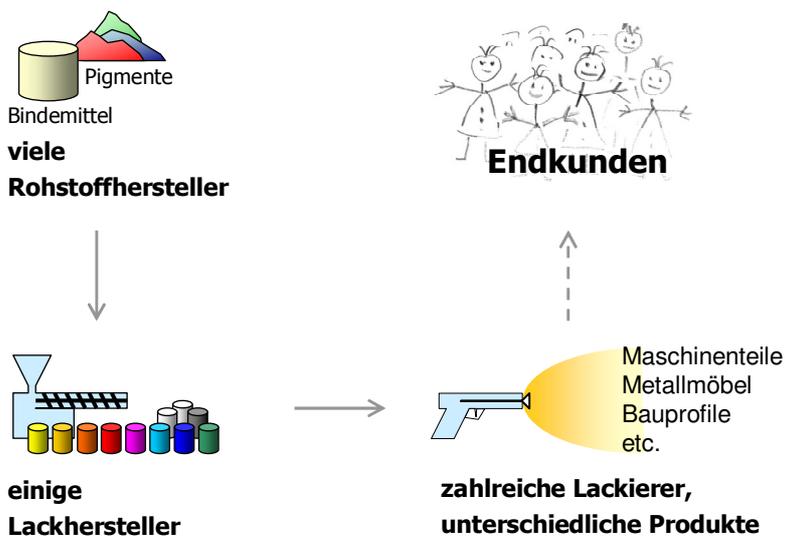


Abbildung 1: Prozesskette bei der Pulverlackierung

## 2 Wann ist eine Farbe akzeptierbar?

Bei den Farben unterscheidet man die Grenze der Wahrnehmbarkeit (Perzeptanz) und die Grenze der Akzeptierbarkeit [1, 2]. Ein Farbunterschied, der kleiner ist als die Perzeptanzgrenze, lässt sich nicht wahrnehmen. Im CIELAB-Farbenraum ist die Perzep-

tanzgrenze vom Farbort abhängig. Kleine Farbunterschiede werden oft erst dann wahrgenommen, wenn sich das Augenmerk des Beobachters gezielt auf die Farbe konzentriert, z. B. bei der Abmusterung. Ob eine Probe typkonform ist, wird in der Praxis häufig durch eine Toleranzformel wie  $\Delta E_{ab}^*$  [3],  $\Delta E_{CMC}$ ,  $\Delta E_{94}$ ,  $\Delta E_{CIE2000}$  [4-6] oder  $\Delta E_{99}$  [7] entschieden.  $\Delta E_{ab}^*$  bildet im CIELAB-Farbenraum eine Kugel.  $\Delta E_{CMC}$ ,  $\Delta E_{94}$ ,  $\Delta E_{CIE2000}$  oder  $\Delta E_{99}$  bilden im CIELAB-Farbenraum ein Ellipsoid.  $\Delta E_{99}$  liegt daneben der DIN99-Farbenraum zu Grunde, in dem  $\Delta E_{99}$  eine Kugel ist. Für die Entscheidung, ob eine Probe i. O. ist, setzt man einen bestimmten Zahlenwert für  $\Delta E$  fest. Nicht immer werden dabei in der Praxis sinnvolle oder praktikable Werte verwendet.

Die Vergleichbarkeit der Farbmessung wird von Messgeräteherstellern durch das Inter-Instrument-Agreement angegeben, es liegt bei den marktverfügbaren Farbmessgeräten zwischen 0,1 und 0,3 (die Kurzzeit-Wiederholgenauigkeit liegt bei 0,01 bis 0,02). Die kleinste visuell wahrnehmbare Farbdifferenz liegt bei  $\Delta E_{ab}^* = 0,1$  für unbunte dunkle Farben und bei  $\Delta E_{ab}^* = 0,5$  für brillante gelbe bis rote Körperfarben [6]. Vor diesem Hintergrund sollte in einer Kunden-Lieferanten-Vereinbarung  $\Delta E_{ab}^*$  entsprechend größer gewählt werden.

### **3 Die „Allianznorm“ DIN 6175-1**

Für Automobile sind Farbtoleranzen von Unilackierungen genormt [8]. Zahlreiche vor Gericht ausgetragene Auseinandersetzungen über die Farbtonübereinstimmung reparierter Teile mit dem Rest der Automobilkarosse führten bereits 1973 unter Federführung der Versicherungsgesellschaft Allianz zur Gründung eines Ausschusses „Erarbeitung der Zumutbarkeit von Farbdifferenzen bei Serien- und Reparaturlackierungen von PKW“, der die sogenannte Allianznorm (DIN 6175-1) erarbeitete, deren Basis die CIE-Normfarbtafel war.

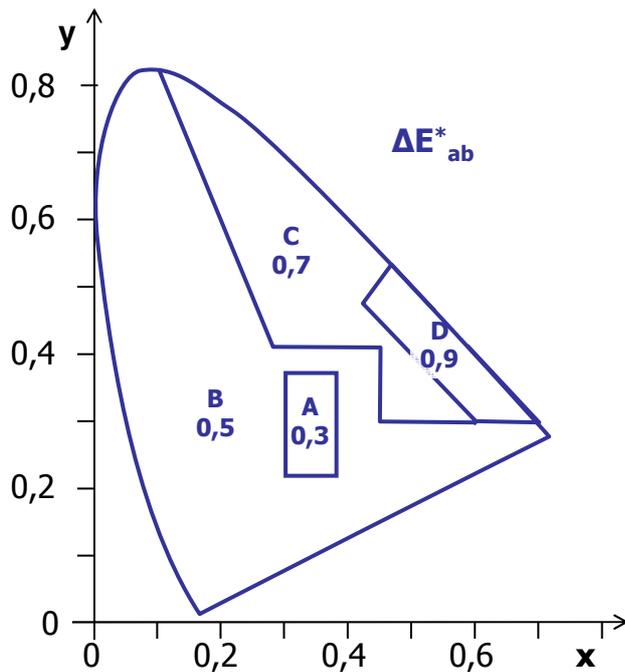


Abbildung 2: In der CIE-Normfarbtafel sind durch DIN 6175-1 von 1986 [8] unterschiedliche Bereiche der Toleranz definiert.

Tabelle 1: Farbtoleranzen in DIN 6175-1 von 1986, 2009 und in der VdL-Richtlinie Nr.10.

Bereich	$\Delta L^*$	$\Delta E^*_{ab}$ nach DIN 6175-1 (1986) <sup>a)</sup>			$\Delta E_{99}$ nach DIN 6175-1 (2009) <sup>a)</sup>			$\Delta E^*_{ab}$ nach VdL-Richtlinie Nr. 10		
		Lacklieferung <sup>b)</sup>	Lackierung		Lacklieferung <sup>b)</sup>	Lackierung		Lacklieferung	Lackierung (60°-Glanz)	
			OEM	Rep. <sup>c)</sup>		OEM	Rep. <sup>c)</sup>		≥ 65	< 65
A	>85	0,3	0,45	0,6				0,5	0,8	1,0
	60-80							0,7	1,0	1,3
	<60				0,3	0,45	0,6	1,0	1,4	1,8
B		0,5	0,75	1,0				1,5	2,0	2,6
C		0,7	1,05	1,4				2,0	2,8	3,6
D		0,9	1,35	1,8				2,5	3,6	4,7

a) Bedingungen: D65, 10°-Normalbeobachter. - b) gleiche Größen für den Metamerieindex zwischen Rep.-OEM bei Lichtart A. – c) bei Trennung der Flächen durch Zierleisten, Sicken oder Hohlräume darf der Wert nochmals verdoppelt werden.

2009 wurde DIN 6175-1 auf die DIN99-Farbabstandsformel [7] mit einem zugehörigen, für kleine Farbabstände gleichabständigen DIN99-Farbenraum umgestellt. In DIN 6175-1 werden nun Farbabstände von  $dE_{99} = 0,3$  für die Abnahme ausgelieferter Lackprodukte vorgeschlagen. Bei der Lackierung dürfen die verschiedenen Stellen eines Autos mit Originallackierung eine Farbdifferenz von  $dE_{99} = 0,45$  nicht überschreiten. Bei der Reparaturlackierung wird ein Farbabstand  $dE_{99} = 0,6$  zur vorhandenen Lackierung akzeptiert.

tiert, der bei einer optischen Trennung der lackierten Flächen durch Sicken, Zierleisten oder Hohlräume nochmals verdoppelt werden darf. Die VdL-Richtlinie 10 „Zulässige Farbtoleranzen für unifarbene Pulverlacke bei Architekturanwendungen“ lehnt sich an die alte DIN 6175-1 von 1986 an [8], die zurück gezogen und in der alten Form nicht mehr verfügbar ist.

#### 4 Was ändert sich bei der Umstellung der DIN 6175-1

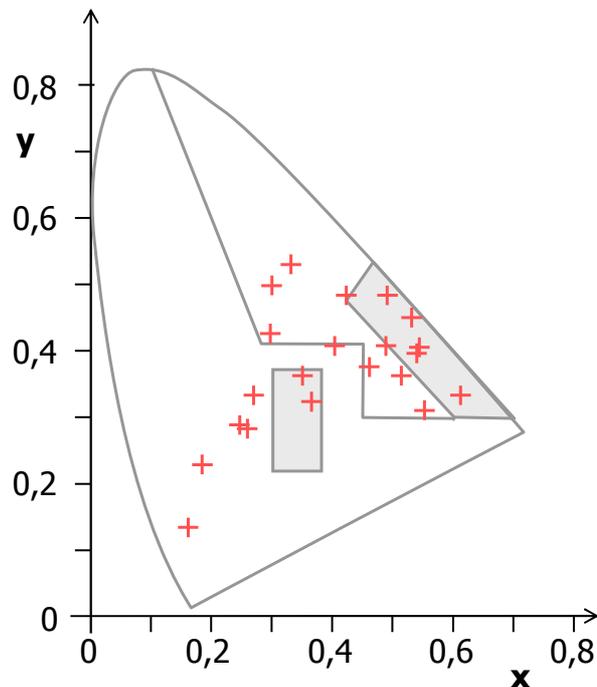
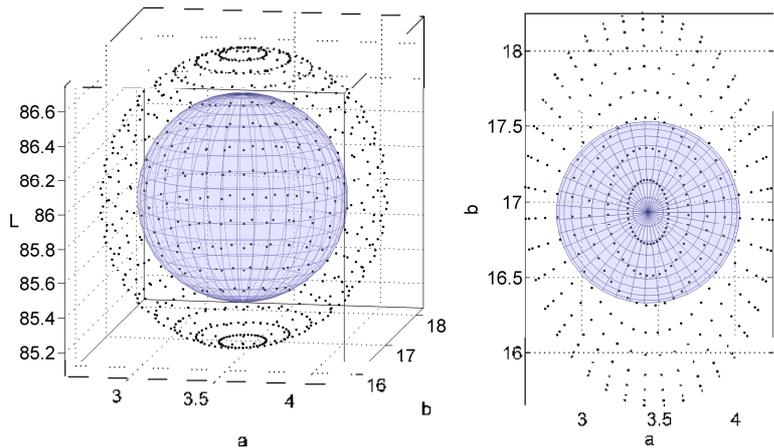


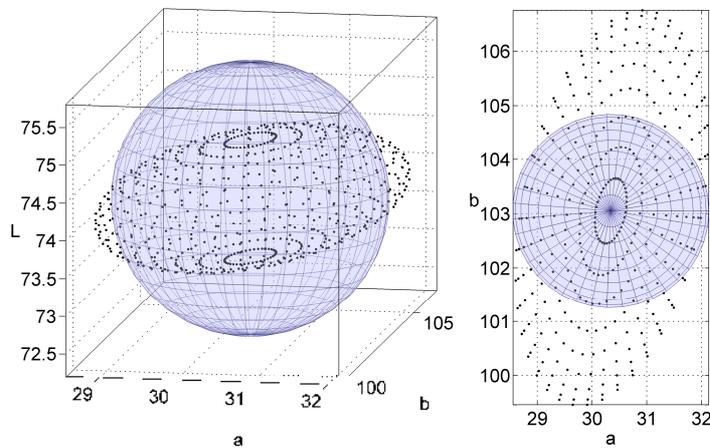
Abbildung 3: Farbörter von RAL-Farben.

Um zu prüfen, wie sich der „Toleranzraum“ einer Farbe ändert, wenn von der Variante der DIN 6175-1 von 1986 auf die neue Variante von 2009 umgestellt wird, wählte man als repräsentative Vorlagen 22 RAL-Farben (Abbildung 3). Diese decken den mit Pigmenten erzielbaren Farbenraum relativ gut ab. Man erstellte im DIN99-Farbenraum den kugelförmigen Toleranzraum der Reparaturlackierung ( $\Delta E_{99} = 0,6$ ) und transformierte diesen nach CIELAB. Dabei wurde er zu einem Ellipsoid verzerrt, das mit dem in CIELAB kugelförmigen Toleranzraum aus der Version DIN 6175-1 von 1986 verglichen wurde. Abbildung 4 zeigt drei typische Vergleiche.

Hellelfenbein RAL 1015



Melonengelb RAL 1028



Tannengrün RAL 6009

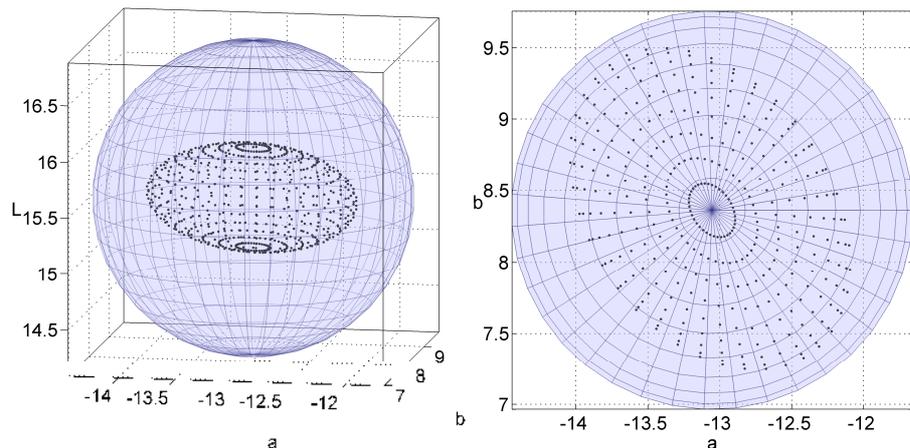


Abbildung 4: Drei typische Vergleiche der Toleranzräume aus DIN 6175-1 von 1986 und von 2009, dargestellt im CIELAB-Farbenraum.

Mit zwei Ausnahmen (Hellelfenbein RAL 1015 und Hellrosa RAL 3015 GL) waren die Helligkeitsachsen der Ellipsoide kleiner als die entsprechende Kugel nach DIN 6175-1 von 1986. In der Regel ist eine der Ellipsoidachsen in der  $a^*/b^*$ -Ebene kleiner oder gleichgroß, die andere Ellipsoidachse der  $a^*/b^*$ -Ebene ist größer als der kugelförmige Toleranzraum der alten DIN 6175-1 von 1986 (eine typische Verhaltensweise zeigt Melonengelb RAL 1028). In zwei Fällen, bei den dunklen Farben Tannengrün RAL 6009 und Mahagonibraun RAL 8016, ist das aus DIN99 transformierte Ellipsoid kleiner als der kugelförmige Toleranzraum der alten DIN 6175-1 von 1986.

Die im DIN99-Farbenraum geringere Helligkeitstoleranz bei dunklen Farben entspricht der Wahrnehmbarkeit von Helligkeitsunterschieden besser als in der alten DIN 6175-1 von 1986. Außerdem wird die größere Toleranz bei brillanten Farben berücksichtigt.

## **5 Beispiele zur Farbortstreuung**

Einflussfaktoren auf die Streuung von Farbörtern sind Farbschwankungen der Rohstoffe, Inhomogenität des Lackes, Bedingungen der Applikation und Streuung bei der Messung. Eine Inhomogenität des Lackes kann durch Flockulation, Sedimentation oder mangelhafte Mischung auftreten. Bei der Applikation führen besonders Schichtdicken unterhalb des Deckvermögens, Wolkigkeit oder Streifigkeit der Lackierung und unterschiedlich strukturierte Oberflächen sowie die Einbrennbedingungen zur Farbortstreuung. Bei der Messung führt eine falsche oder fehlende Kalibration, Schwankungen von Proben- und Gerätetemperatur, Staub auf der Probenoberfläche, Fingerabdrücke oder Fehlbedienung des Messgerätes zur Streuung der Farbörter.

Im Folgenden wird an drei Beispielen (zwei Pulverlacke, ein wässriger Industrielack, marktverfügbare RAL-Farben) die typische Streuung von Farbörtern gezeigt. Auf jeder Probetafel wurden 20 Punkte gemessen.

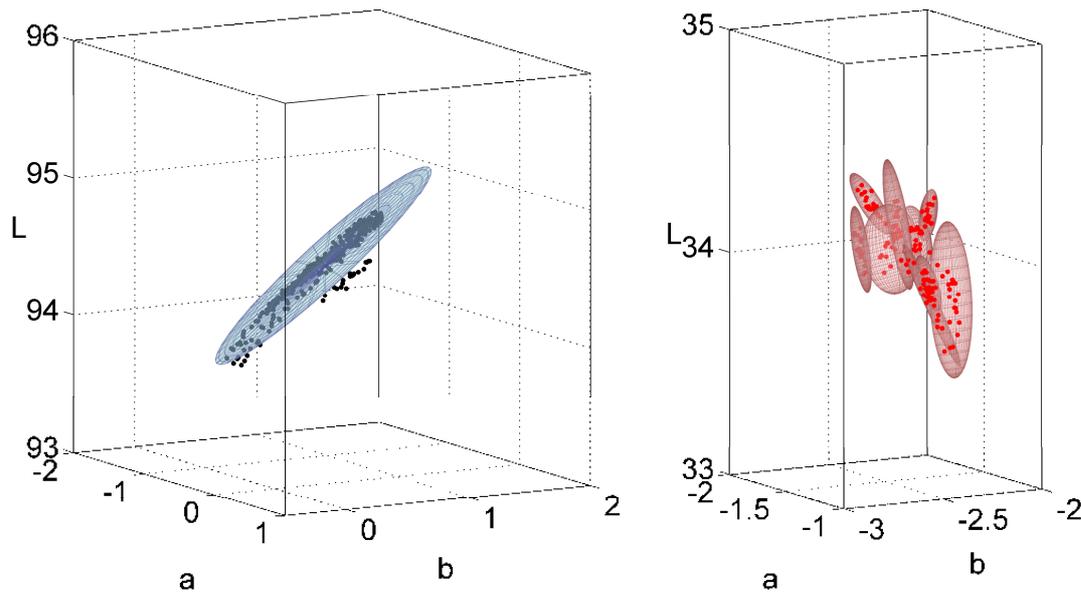


Abbildung 5: Zur Ermittlung der Prozesslage betrachtet man das Prognoseellipsoid über alle Messwerte einer Produktion (links, Weiß) oder auf den einzelnen Probetafeln (rechts, Dunkelgrau)

Ein Prognoseellipsoid zeigt die Prozesslage. Es umschließt den Raum, in dem man mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (hier 95%) einen Messwert erwartet. Probetafeln können eine sehr ähnliche Farbortstreuung oder eine deutlich verschiedene Streuung haben, was die Prognoseellipsoide im folgenden Beispiel zeigen.

Das Prognoseellipsoid 21 weißer pulverlackierter Probetafeln (Abbildung 5 links) umfasst 420 Messwerte. Die Prognoseellipsoide einzelner Probetafeln hatten nur geringfügig kleinere Ellipsoidachsen. Bei Dunkelgrau unterschieden sich die Prognoseellipsoide dagegen deutlich, weshalb für jede Probetafel ein eigenes Streuellipsoid gezeigt ist (Abbildung 5, rechts). Hier zeigen die Prognoseellipsoide die Streuung der Farbörter einzelner Probetafeln.

Diese Information über Lage und Streubreite der Pulverlackproduktion ist Voraussetzung für ihre Optimierung. Auch in die Vereinbarung der Lieferspezifikation und die Preisgestaltung muss die Prozesslage einbezogen werden.

In einem früheren Beispiel zeigten wir die Streuung marktverfügbarer Industrielacke mit RAL-Farben [9], an dem die Vorteile der DIN99-Farbabstandsformel [7] ausgenutzt wurden. Die Streuung marktverfügbarer RAL-Farben untersuchte man an 58 tauchlackierten Proben von sieben RAL-Farben anhand des Farbabstandes  $\Delta E_{99}$  und der Beiträ-

ge  $\Delta L_{99}$ ,  $\Delta a_{99}$  und  $\Delta b_{99}$  von der jeweiligen RAL-Farbmusterkarte. In DIN99 konnten die Farbabstände in unterschiedlichen Regionen des Farbenraumes direkt verglichen werden.

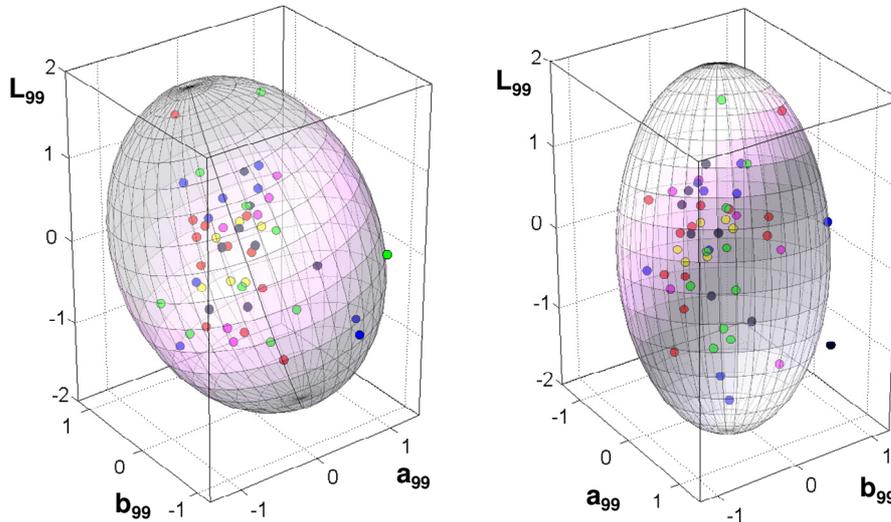


Abbildung 6: Lage der Farbörter marktverfügbarer RAL-Farben relativ zu einer jeweiligen RAL-Farbmusterkarte (Mittelpunkt) und das Prognoseellipsoid für  $(1-\alpha) = 95\%$  [9].

Oft stellt sich die Frage, wie präzise lässt sich ein Farbton unter Wiederholbedingungen applizieren. Um dies zu untersuchen, verwendete man einen handelsüblichen wässrigen Lack, RAL 5013, Kobaltblau, der auf 108 Probetafeln durch einmaliges Tauchen appliziert wurde. Die Streuung in der  $a_{99}/b_{99}$ -Ebene lag bei weniger als 0,05, in der Helligkeit bei  $\Delta L_{99} = 0,3$

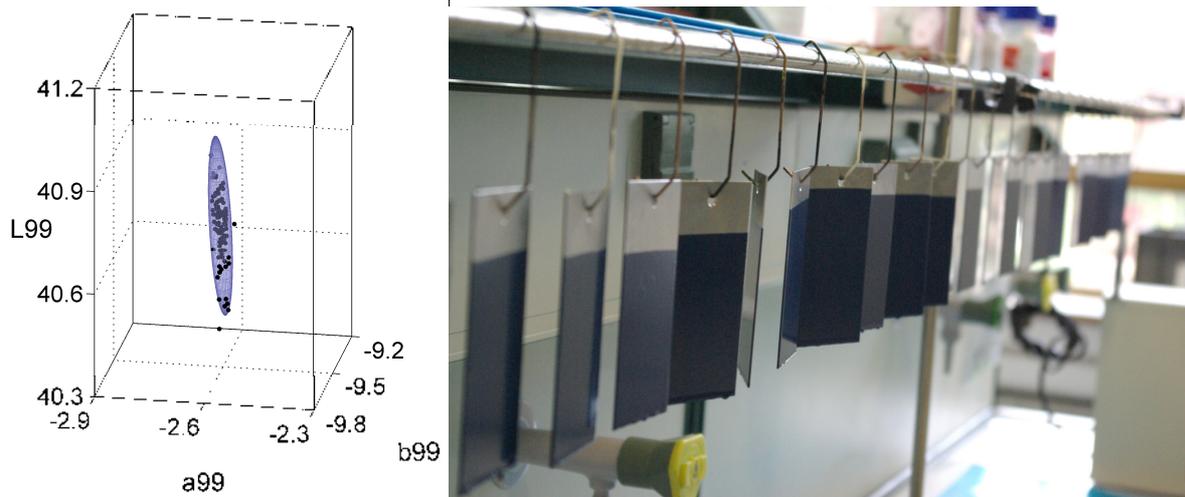


Abbildung 7: Streuung von 108 Probestreifen tauchlackierter Proben eines handelsüblichen wässrigen Lackes, RAL 5013, Kobaltblau.

## 6 Fazit

Die Grenzen der Akzeptierbarkeit von Farben lehnt man in der Praxis gerne an die Grenzen der Wahrnehmbarkeit an, wie sie durch die Farbabstandsformeln realisiert sind (CMC, CIE94, CIEDE2000, DIN99). Kunde und Lieferant müssen dort über einen Faktor die Größe des Toleranzraumes/Akzeptanzraumes festlegen. Toleranzgrenzen unterhalb der Wahrnehmbarkeit oder der Messwertstreuung sind dabei allerdings nicht sinnvoll. Legt man Grenzen für die Akzeptierbarkeit fest, so darf man seinen Blick nicht nur auf Form und Größe des Perzeptanzraumes richten, man muss auch prüfen, wie stark die Farbörter der Produkte schwanken. Die Prozessstreuung lässt sich aus den Prognoseellipsoiden [9] ermitteln. Je enger die Toleranzen im Verhältnis zur Prozessstreuung sind, umso höher sind Ausschuss und Kosten.

Die DIN 6175 normt Grenzen für die Akzeptierbarkeit von Farben. Das Deutsche Institut für Normung ist unabhängig und vertrauenswürdig und schafft im Normungsprozess grundsätzlich einen Ausgleich unterschiedlicher Interessen. Bezüge man die Prozessstreuung für unterschiedliche Industrielacke in die Betrachtung ein, ließen sich verallgemeinerte Akzeptierbarkeitsgrenzen - ähnlich wie bei der DIN 6175 - vereinbaren.

[1] G. Wyszecki, W. S. Stiles, Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae, 2 ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1982.

- [2] H. G. Völz, Industrielle Farbprüfung, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1990.
- [3] DIN 6174.
- [4] L. Gall, in H. Kittel: Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Vol. 5 (Ed.: J. Spille), S. Hirzel Verlag, Stuttgart, Leipzig, 2003.
- [5] R. S. Hunter, R. W. Harold, The Measurement of Appearance, 2 ed., John Wiley & Sons, New York, 1987.
- [6] G. A. Klein, Farbenphysik für industrielle Anwendungen, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004.
- [7] DIN 6176.
- [8] DIN 6175, Teil 1: Unilackierungen.
- [9] R. Hiesgen, G. Meichsner, Farbe & Lack 2009, 115, 132