

Schwarzmessung – neu gedacht



KOLORISTIK // OB BEI AUTOMOBILEN, BEI DER INNENEINRICHTUNG ODER GEGENSTÄNDEN DES TÄGLICHEN BEDARFS, LÄNGST IST SCHWARZ NICHT MEHR WEGZUDENKEN UND AUCH AKTUELLE BERICHTE VERSCHIEDENER AUTOMOBILLACKHERSTELLER BESTÄTIGEN DIESEN TREND [1]. DAMIT KOMMT DEM ZUVERLÄSSIGEN UND REPRODUZIERBAREN MESSEN VON SCHWARZEN FARBTÖNEN EINE IMMER GRÖßERE BEDEUTUNG ZU.

Sarah Finder, David Momper, Orion Engineered Carbons und Anita Fehr, Byk Instruments

Bereits vor vielen Jahren wurden für die Charakterisierung von schwarzen Lacken und den hieraus resultierenden besonderen Anforderungen an die Messtechnik spezielle Farbindizes für die Schwarzmessung von Orion, ehemals Degussa, entwickelt [2], die mittlerweile auch in die Normung eingeflossen sind. So lassen sich die koloristischen Eigenschaften eines schwarzen Lacksystems nach DIN EN ISO 18314-3 durch die farntonunabhängige Schwarzzahl M_Y (Blackness), den absoluten Farbtonbeitrag dM (Unterton) sowie die farntonabhängige Schwarzzahl M_C beschreiben.

$$M_Y = 100 \cdot \log \frac{Y_n}{Y} \Rightarrow M_Y = 100 \cdot \log \frac{100}{Y} = 100 \cdot (2 - \log Y) \quad [\text{Gl. 1}]$$

$$dM = 100 \cdot \left(\log \frac{X_n}{X} - \log \frac{Z_n}{Z} \right) \quad [\text{Gl. 2}]$$

$$M_C = M_Y + dM = 100 \cdot \left(\log \frac{X_n}{X} - \log \frac{Z_n}{Z} + \log \frac{Y_n}{Y} \right) \quad [\text{Gl. 3}]$$

Die farntonunabhängige Schwarzzahl M_Y ist ein Maß für die Schwarztiefe (Gl. 1). Die farntonabhängige Schwarzzahl M_C (Gl. 3) berücksichtigt den absoluten Farbtonbeitrag dM (Gl. 2). Dieser kann als blauer oder brauner Farbstich wahrgenommen werden. Der berechnete Wert des Untertons dM ist für blaustichige Schwarztöne positiv ($dM > 0$) und für braunstichige negativ ($dM < 0$). Dabei sind X , Y , Z die CIE-Normfarbwerte der gemessenen Probe und X_n , Y_n und Z_n die der idealmattweißen Fläche ($X_n = 94,811$, $Y_n = 100,000$, $Z_n = 107,304$, bei $D65/10^\circ$ -Bedingungen).

Neben der Verwendung spezieller Indizes zur Beschreibung der Koloristik schwarzer Lacke werden auch besondere Anforderungen an die Qualität und Bauart von Spektralphotometern gelegt, die zur Messung schwarzer Farbtöne geeignet sind. So ist laut DIN 5033-10: 2022-03 ein Messgerät der $45^\circ\text{c}:0^\circ$ Messgeometrie zu bevorzugen, da diese Geometrie am besten mit dem visuellen Eindruck korreliert. Auch kommt der Kalibrierung des Gerätes eine besondere Rolle zu, da die resultierende Reflexion bei schwarzen Proben nur sehr gering ist.

Instrumentelle Farbmessung bei tiefschwarzen Farbtönen

Bei der Qualitätskontrolle von Carbon Black Pigmenten ist die Koloristik des fertigen Lacksystems der entscheidende Parameter. Nur wenn diese reproduzierbar und sicher gemessen werden kann, ist eine korrekte Aussage über die Produktqualität möglich. Insbesondere bei sehr farb tiefen schwarzen Lacken liegt die Reflexion bei $< 0,5\%$. Die entsprechenden XYZ-Normfarbwerte liegen ebenfalls bei $< 0,5$.

Wie am Beispiel in *Tab. 1* zu erkennen ist, haben kleine Schwankungen des Y-Normfarbwertes für wenig farb tiefe Proben nur geringe Auswirkungen auf den resultierenden M_Y -Wert. Dies ändert sich jedoch bei farb tiefen Proben, da dort der Unterschied aufgrund der logarithmischen Abhängigkeit der Schwarzzahl M_Y vom Normfarbwert, wesentlich größer ist (*Abb. 1*). Daraus resultiert für die Messung des Y-Normfarbwertes eine sehr hohe Anforderung an die Wiederholbarkeit der Messung von $\leq \pm 0,0005$. Für die Vergleichbarkeit mehrerer Messgeräte untereinander ist eine Abweichung des Y-Normfarbwertes von $\leq \pm 0,003$ erforderlich.

Die Anforderung des Marktes an immer schwärzere Lacksysteme führte zur Entwicklung von neuen, optimierten Pigmenten. Zur Messung dieser tiefschwarzen Lacksysteme werden Farbmessgeräte der $45^\circ\text{c}:0^\circ$ -Geometrie eingesetzt. Diese erfüllen weiterhin die Anforderungen an die Messtechnik. Jedoch werden sie noch mit herkömmlichen Lichtquellen betrieben. Dies erfordert einen häufigen Lampenwechsel, damit die Lichtintensität möglichst konstant bleibt. Die Verwendung der LED-Technologie dagegen liefert langzeitstabile Lichtintensität.

Tab. 1 // Einfluss Schwankung des Y-Normfarbwertes auf Schwarzzahl M_Y .

Y-Normfarbwert	ΔY	Schwarzzahl M_Y	ΔM_Y
0,5219		228,2	
0,5269	0,005	227,8	0,4
0,0199		370,1	
0,0249	0,005	360,4	9,7

Tab. 2 // Visuelle Abmusterung der Proben 1–6.

Muster	Schwarztiefe (heller = +, dunkler = - ; 0-5)	Farbstich (bräunlich = - , bläulich = +; 0-5)
Muster 1 Referenz	0	- 5
Muster 2	-1	- 3-4
Muster 3	-2	- 4-5
Muster 4	-3	- 4
Muster 5	-4	+ 5
Muster 6	-4/-5	+ 4

Ziel war es nun, diese neue LED-Technologie mit der hohen Anforderung an die Messgenauigkeit im Bereich der Schwarzmessung zu kombinieren. Trotz intensiver Suche konnte kein bisher auf dem Markt erhältliches Messgerät diesen Ansprüchen genügen.

Byk-Gardner hat deshalb in Zusammenarbeit mit Orion ein Gerät spezifisch für die Messung von tiefstem Schwarz entwickelt. Hierzu wurden als Prüfmittel verschiedene Pigmente in einem lösemittelhaltigen Lacksystem aneigeben und anschließend auf $68 \times 68 \times 1$ mm große Glasplatten lackiert. Bei den Glasplatten handelt es sich um spezielles 1 mm dünnes Mikroskopie-Glas ohne Eigenfarbe. So ergaben sich sechs verschiedene Testplatten (Test 1 bis 6), die den gesamten „Schwarzraum“ abdecken (niedrigere Schwarztiefe/hohe Schwarztiefe sowie bläulich/bräunlicher Unterton) (*Tab. 2*). Das Probenmaterial wurde ebenfalls visuell in einer Lichtkabine unter $D65$ sowie Streiflicht abgemustert.

Ergebnisse auf einen Blick

- Tiefschwarze Farben können mit neuem Messgerät objektiv, wiederholbar und zuverlässig gemessen werden.
- Die im optimierten „Jetness-Modus“ erzielten Messergebnisse korrelieren sehr gut mit der visuellen Abmusterung der Proben.
- Das Tischspektralphotometer zeigt exzellente Wiederholgenauigkeit ($\sigma = 0,0001$) für tiefschwarze Proben ($M_Y > 300$; Reflexion $< 0,1\%$).
- Die Abweichung zwischen drei geprüften Messgeräten lag in der Messreihe unter dem geforderten Wert von $Y \leq \pm 0,003$.

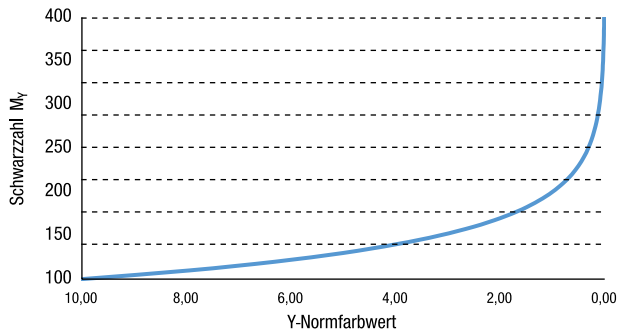


Abb. 1 // Abhängigkeit der Schwarzzahl M_Y vom Y-Normfarbwert.

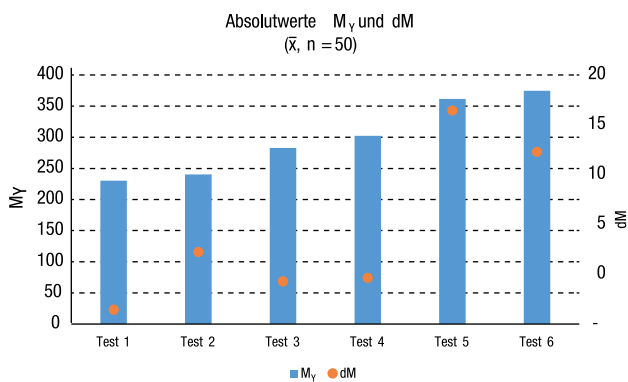


Abb. 2 // Mittelwert M_Y und dM nach 50 Einzelmessungen.

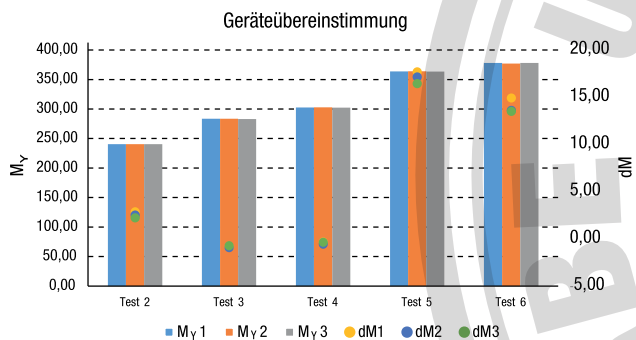


Abb. 4 // Mittelwert M_Y und dM nach 50 Einzelmessungen.

Umsetzung der Kundenanforderungen

Seit Jahrzehnten werden zur Farbmessung LEDs als Lichtquelle verwendet, die aufgrund spezieller Produktionsverfahren von einem einfachen Leuchtmittel in Hochleistungs-LEDs verwandelt werden und so eine außergewöhnliche Kurzzeit- als auch Langzeitstabilität garantieren. Die damit verbundene homogene Ausleuchtung des Messflecks und eine für jedes Gerät spezifische Temperaturkontrolle der elektronischen Bauteile gewährleisten höchst reproduzierbare Ergebnisse.

Mit einer Wiederholbarkeit von $0,01 \Delta E^*$ (10 Messungen auf weiß) und einer ausgezeichneten Geräteübereinstimmung von $0,1 dE94$ (individuelle Toleranzen für jede Farbe zur besseren visuellen Übereinstimmung) können unbesorgt digitale Standards verwendet werden.

Um tiefste Schwarztöne mit der geforderten Wiederholbarkeit von $Y \leq \pm 0,0005$ und Geräteübereinstimmung von $Y \leq \pm 0,003$ zu messen, wurden die Grenzen der technologischen Machbarkeit nicht nur ausgelotet, sondern mit neuen Innovationen erweitert.

Wiederholbare Farbmessung bei geringster Reflexion

Wie bereits erläutert, liegt die Reflexion bei sehr farbtiefen schwarzen Lacken bei $< 0,5\%$. Die entsprechenden XYZ-Normfarbwerte liegen ebenfalls bei $< 0,5$. Selbst marginales thermisches Rauschen, von elektronischen Bauteilen, kann dieses geringe Signal verfälschen und das Messergebnis entsprechend beeinflussen. Um das sog. „Signal-Rausch-Verhältnis“ zu verbessern, werden die leistungsverstärkten Hochleistungs-LEDs mit mehr Energie über eine längeren Beleuchtungszeit eingesetzt. Die daraus resultierende höhere Lichtintensität führt zu einer Verstärkung des Signals und einem exzellenten Signal-Rausch-Verhältnis.

Schwarzkalibrierung mit „perfekter“ Lichtfalle

In Ermangelung perfekt absorbierender Oberflächen war es in der Vergangenheit gängige Praxis, Schwarzglas als Standard für die Nullkalibrierung zu verwenden. Daraus entstand bei der Messung von hochglänzenden Proben jedoch Streulicht, das unter 0° im Detektor mitgemessen wurde. Zur Kompensation wurde der Streulichtanteil bestimmt und bei den Folgemessungen abgezogen. Als Resultat ergab sich eine limitierende, untere Grenze für den Messbereich, die dem Streulichtanteil entsprach.

Die Optik der Pro-Geräte-Familien wurde optimiert, sodass bei der Kalibrierung kein messbares Streulicht mehr auftritt. Die Messung der Lichtfalle und des Schwarzglas-Standards ergibt Null. Somit wird bei hochglänzenden, tiefschwarzen Proben nur noch die tatsächliche Reflexion der Lackschicht gemessen. Daraus ergeben sich niedrigere Y- und höhere M_Y -Werte, die sowohl der physikalischen Realität als auch dem visuellen Eindruck entsprechen. Diese Weiterentwicklung führt dazu, dass nur eine einmalige Schwarz-Kalibrierung mit Lichtfalle während der Produktion des Messgerätes erfolgen muss. Die Kalibrierung auf einer Lichtfalle kundenseitig entfällt.

Spezieller Kalibriermodus für Schwarz

Zusätzlich zu der für Farbe üblichen Kalibrierung auf einem Weißstandard erfolgt eine weitere Kalibrierung für die Messung von farbtiefem Schwarz auf einem dunkelgrauen Kalibrierstandard. Durch den grauen Kalibrierstandard wird die maximale Helligkeit für die Schwarzmessung definiert und der Messbereich für schwarz entsprechend aufgespreizt. Dies erfolgt werksseitig in der Produktion sowie durch den Kunden anhand der beigelegten Standards für die Schwarzmessung.

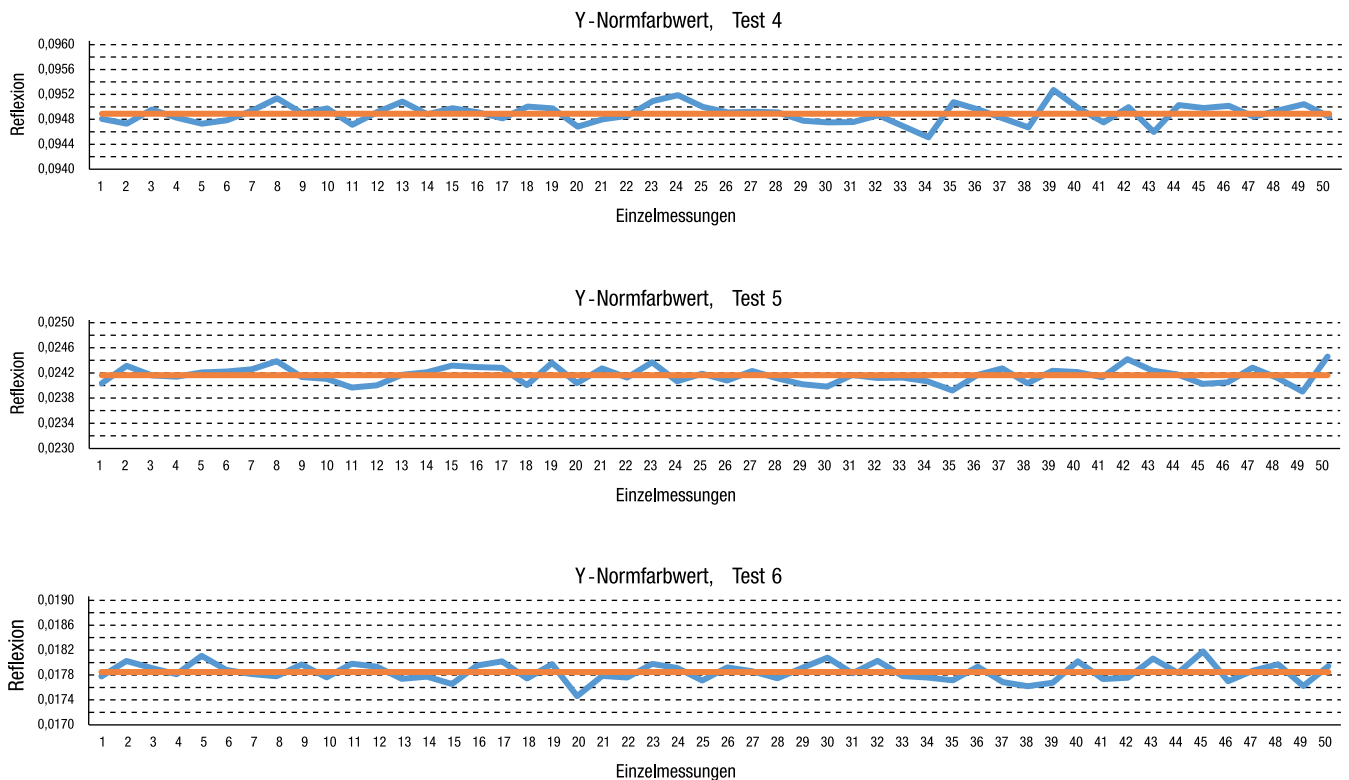


Abb. 3 // Normfarbwert-Y von Test 4–6.

Stabile und reproduzierbare Farbkontrolle von Schwarz

Die oben beschriebenen Optimierungen wurden sowohl in der neuen Pro-Version des Labormessgeräts als auch in der bestehenden, portablen Geräte-Familie durch einen neuen „Jetness-Modus“ umgesetzt. Durch Aktivierung der entsprechenden Indizes für die Schwarzmessung wechseln die Messgeräte automatisch in den „Jetness-Modus“ mit erhöhter Messgenauigkeit für tiefes Schwarz.

Doch nicht nur an das Messgerät, sondern auch an die Präparation der Prüfmittel sind hohe Anforderungen zu stellen, da bereits kleinste Verunreinigungen auf den zu vermessenden Prüfplatten zu starken Abweichungen der Messergebnisse führen können. Nur eine sehr sorgfältige, mehrmalige Reinigung mit destilliertem Wasser und fusselfreien Labortüchern – ggf. Isopropanol bei starken Verunreinigungen/Schlieren – ermöglicht eine korrekte Messung, die zur Überprüfung der Modifikationen geeignet ist. Das Reinigungsergebnis wird mittels einer LED-Taschenlampe unter starkem, gerichtetem Licht bewertet, da unter normalem/diffusem Licht leichte Schlieren nicht zu erkennen sind. Details zur Probenpräparation können dem Artikel „Schwarz der feine Unterschied“ entnommen werden [3].

Die gereinigten Proben wurden unter Laborbedingungen mittels Online-Messung durch 50 unmittelbar aufeinanderfolgenden Einzelmessungen im „Jetness-Modus“ geprüft. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte in der hauseigenen Datenanalyse-Software.

Ziel eines jeden Spektralphotometers sollte es sein, so zu messen, wie das menschliche Auge sieht. Vergleicht man die Messergebnisse für die farntonunabhängige Schwarzzahl M_V und absoluten Farbtonbeitrag dM aus Abb. 2 mit der visuellen Abmusterung in Tab.2, korrelieren die Ergebnisse des neuen Labormessgerätes sehr gut mit der visuellen Wahrnehmung. Die gemessene Schwarzzahl nimmt von Test 1 bis 6 stetig zu, beginnend mit einem M_V von 230 bis zu einem maximalen M_V von rund 375. Die Proben der Tests 5 und 6 weisen mit einem dM von 16,4 und 12,3 einen eindeutig bläulichen Unterton auf, während die Proben von Test 1 bis 4 in einem bräunlichen bis neutralen Bereich liegen.

Abb. 3 zeigt den Normfarbwert Y der Proben von Test 4 bis 6 in je 50 Einzelwerten sowie den berechneten Mittelwert. Obwohl es sich bei den Prüfkörpern von Test 4 bis 6 um tiefschwarze Proben mit einem $M_V > 300$ und einer Reflexion $< 0,1\%$ handelt, zeigt das optimierte Tischspektralphotometer für alle drei Proben eine unübertroffene Wiederholgenauigkeit ($\sigma = 0,0001$). Die sehr hohe Anforderung an die Wiederholbarkeit der Messung von $Y \pm 0,0005$ konnte in dieser Messreihe zweifelsfrei bestätigt werden.

Um die Geräteübereinstimmung zu ermitteln, wurden mit drei Labormessgeräten die zur Verfügung gestellten Prüfkörper von Test 1 bis 6 wiederum durch 50 unmittelbar aufeinanderfolgende Einzelmessungen im „Jetness-Modus“ geprüft. Die Proben wurden hierzu vor der ersten Messung gereinigt, blieben jedoch beim Wechsel zwischen den

Messgeräten unverändert, um Schwankungen durch erneute Reinigung auszuschließen. Die exzellente Übereinstimmung aller drei Geräte hinsichtlich der farntonunabhängigen Schwarzzahl M_V (Abb. 4) lässt sich nur durch absolut stabile und vergleichbare Werte für den Y-Normfarbwert erzielen. Die Abweichung lag für alle drei getesteten Messgeräte unter dem geforderten Wert $Y \leq \pm 0,003$.

Fazit

Die Herausforderung, tiefschwarze Farben objektiv, wiederholbar und zuverlässig zu messen, wurde gemeistert. Die technische Performance ist sehr gut, selbst bei tiefschwarzen Proben mit einer farntonunabhängigen Schwarzzahl M_V von nahe 400. Die neuen, optimierten Gerätefamilien eröffnen völlig neue Perspektiven zur Kontrolle der Farbharmonie jeder Farbe, selbst bei tiefstem Schwarz, mit einer unübertroffenen Genauigkeit, die für eine zuverlässige Qualitätskontrolle erforderlich ist, sowie einer guten Korrelation zur visuellen Wahrnehmung. Dies ermöglicht die sichere Messung aller heute schon verfügbaren sehr farbtiefen Specialty-Carbon-Black-Pigmente als auch zukünftigen Neuentwicklungen im High-Jetness-Bereich.

Literatur

- [1] Global Automotive 2021 Color Popularity Report, Axalta Coating Systems, 2021
- [2] Lippok-Lohmer, Farbe und Lack 92 (11), 1986, Mandelbrot im Nanokosmos, 1024
- [3] Krauß, Farbe und Lack 125 (01), 2019, Schwarz der feine Unterschied, 64–70

Kontakt // Anita.Fehr@altana.com

ANITA FEHR

Jahrgang 1983, studierte Druck- und Medientechnik an der Hochschule München und erhielt ihr Diplom (FH) im Jahr 2008. Zunächst war sie als Projekt Ingenieur F&E bei der Schreiner Group an der Produktentwicklung von Photovoltaik Kennzeichnung und laserbeschriftbaren Etiketten beteiligt. 2010 wechselte sie zu Océ-Deutschland und war dort als Account Managerin für Wide Format Printing Systems im Vertrieb tätig. 2012 übernahm sie die Position als Produktmanagerin für Unifarben bei der Byk-Gardner. Sie ist globale Ansprechpartnerin für Kunden und Vertrieb für Fragen rund um Theorie und Praxis der Uni-Farbmessung sowie Spektralphotometer von Byk Instruments.



DAVID MOMPER

Jahrgang 1988, absolvierte eine Ausbildung zum Lacklaboranten bei den Deutschen Amphibolin Werken (DAW) und studierte im Anschluss Lackingenieurwesen an der Hochschule Niederrhein in Krefeld. Nach seinem Masterabschluss arbeitete er zunächst bei Evonik in der Entwicklung für Netz- und Dispergieradditive, bevor er 2017 zu Orion Engineered Carbons wechselte, wo er seitdem den Bereich Innovation Coating Solutions leitet. Hierzu zählen die Produktentwicklung sowie Anwendungstechnik für den Lackbereich. In seinem Verantwortungsbereich fällt auch das koloristische Referenzlabor.



SARAH FINDER

Jahrgang 1990, studierte Restaurierung und Konservierung von Kunst und Kulturgut an der TH Köln und absolvierte im Anschluss daran ein Studium zur Lackingenieurin an der Hochschule Niederrhein. Seit 2020 leitet sie bei Orion Engineered Carbons das koloristische Referenzlabor. Sie ist globale Ansprechpartnerin für alle Fragen rund um die Koloristik schwarzer Beschichtungen und ist damit auch für die Einführung und Bewertung neuer Prüf- und Messgeräte zuständig.



Mehr zum Thema!



107 Ergebnisse für Messtechnik!
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360

