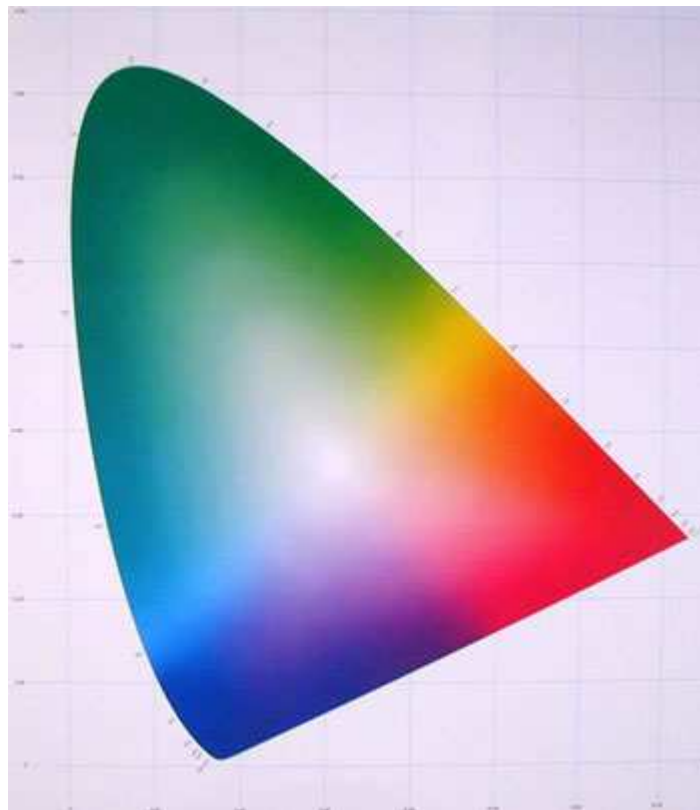


***NANOCOLOR*[®] Spektrometer-Software**

Version 4.5

Rev. 13 (23. Juli 2012)



Anleitung Farbmessung

Ergänzung I zum Softwarehandbuch



Inhalt

Wichtiger Hinweis

Achtung

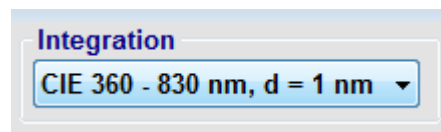
1	Einleitung	1
1.1	Farbmessung	1
1.1.1	Farbskalen	1
1.1.2	Benannte Farben	2
1.1.3	Geräteabhängige Farbräume	2
1.1.4	Absolute Farbräume	3
1.2	Messung eines Absoluten Farbraumes	5
1.2.1	Das verwendete Licht	5
1.2.2	Die Probe	7
1.2.3	Das Auge	7
1.2.4	Der Beobachter	8
1.3	Berechnung der Normfarbwerte XYZ	8
1.3.1	Der CIE -L*a*b* Farbraum	10
1.3.2	Der CIE-L*u*v* Farbraum	11
1.3.3	Der Hunter-Lab Farbraum	11
1.3.4	Interpretation des CIE -L*a*b* Farbraums	12
1.3.5	Farbabstände	13
2	Durchführung von Farbmessungen	15
2.1	Durchführbare Bestimmungen	15
2.2	Grundeinstellungen	15
2.3	Die Messung	18
2.3.1	Messung von Farbabständen	25
2.3.2	Farbabstände zu gespeicherten Referenzen	27
2.3.2.1	Farbreferenz aus einer Einzelmessung	27
2.3.2.2	Farbreferenz manuell anlegen	28
2.3.2.3	Farbreferenz aus DE-Analyse	29
2.3.3	Messen gegen eine Farbreferenz	34
2.4	Berechnung von Farbskalen	35
2.4.1	Farbskalen, berechnet aus Extinktionen	35
2.4.1.1	Bierfarbe EBC und ASBC	36
2.4.1.2	Hess-Ives Farbzahl	36
2.4.1.3	ICUMSA Zuckerfarbe	36
2.4.1.4	Klett-Farbzahl	37
2.4.2	Farbskalen, berechnet aus Lab oder XYZ Werten	37



2.4.2.1	Gardner-Farbzahl	37
2.4.2.2	ASTM-Farbzahl	37
2.4.2.3	Saybolt-Farbzahl	38
2.4.2.4	ADMI-Farbzahl	38
2.4.2.5	Yellowness-Index	39
2.4.2.6	Hazen/APHA/PtCo-Farbzahl	39
2.4.3	Visuelle Farbskalen	39
2.4.3.1	Iod-Farbzahl	39
2.4.3.2	Ph. Eur. Farbzahl	40
2.5	Bestimmung einer visuellen Farbskala	40
2.6	Besonderheiten der Farbzahl nach Ph. Eur.	42
2.7	Besonderheiten der Klett-Farbzahl	42
3	Anhang	45
3.1	Messmethoden und Referenz	45
3.2	Unterschiede zu anderen Farbmessgeräten	46
3.3	Messgeschwindigkeit	46
3.4	Kombinationen von Lichtart, Beobachter und Küvettengröße	47
3.5	Verwendung eigener Lichtarten	48
3.6	Visualisierung der Tristimulus Funktionen	49

Wichtiger Hinweis

Alle Farbzahlen wurden von MACHEREY-NAGEL kalibriert. Die Kalibrierungen wurden streng nach den Normen der Internationalen Beleuchtungskommision CIE (*CIE 15:2004 3rd Ed.*) durchgeführt. Für die Berechnung wird ein Wellenlängenbereich **von 360 nm bis 830 nm im Intervall von 1 nm** verwendet, siehe Abbildung.



Die Verwendung anderer Scan-Bereiche und –intervalle kann die Bestimmung von Farbzahlen beeinflussen und das Messergebnis verfälschen.

Alle Kalibrierungen wurden gegen den NULL-Standard dest. Wasser durchgeführt.



ACHTUNG! Bei Farbmessungen bitte den Küvettenschacht abdecken!

Alle **NANOCOLOR®** Photometer wurden für Küvettenschnellteste entwickelt und messen ohne Schachtabdeckung. Mögliche Einflüsse von Außenlicht werden so kompensiert, das eine Schnelltestmessung fehlerfrei erfolgt.



Bei einer Farbmessung addieren sich die normalerweise unbedeutenden Restfehler 4500 mal je Farbmessung!

Dadurch können Gesamtfehler in der Größenordnung von 5% entstehen, speziell wenn unter Leuchtstoffröhren gearbeitet wird!

Bitte decken Sie den Küvettenschacht daher bei jeder Farbmessung ab! Eine passende Abdeckung für den Küvettenschacht ist bei MACHERY-NAGEL erhältlich.

Allgemeine Fehlerbetrachtung

Die **NANOCOLOR® Spektrometer**-Software berechnet für alle Farbparameter den mittleren Messfehler nach dem Gauss'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz. Dieser mittlere Fehler wird in runden Klammern hinter dem Messwert in der Form 1,52(0,04) angegeben. Die Software **rundet** automatisch alle Messwerte auf die signifikante Anzahl an Nachkommastellen.

Grundlage der Fehlerberechnung ist der in den Spezifikationen des Photometers angegebene maximale Messfehler von 0,005 E bei einem Messwert von 1,000 E. Ausgehend von diesem maximalen Fehler darf von einem mittleren Messfehler von etwa 0,003 E ausgegangen werden.

Dadurch muss mit folgenden mittleren Fehlern gerechnet werden:

L* : (±0,05)	a*, b* : (±0,3)	X,Y,Z : (±0,04)	x,y,z : (±0,0007)
u*, v* : (±1)	ICUMSA : (±1)	EBC : (±0,08)	ASBC : (±0,03)
Hess-Ives : (±0,9)	Yellowness-Index : (±0,4)		Klett : (±5)



1 Einleitung

Seit der Version V 3.1 der **NANOCOLOR®^{UV/VIS} PC-Software** bietet MACHEREY-NAGEL die Durchführung von Farbmessungen an. Bei einer Farbmessung wird die Eigenfarbe einer Lösung im Durchlicht mit Hilfe eines Spektralphotometers ermittelt. So einfach die Messung der Farbe für den Anwender auch ist, die Ermittlung der Farbkennzahl ist ein aufwendiger und komplizierter mathematischer Prozess. Um alle Funktionen der Software richtig anzuwenden, sind spezielle Kenntnisse über Farbmessungen nötig. Kapitel 1 dieser Anleitung erläutert diese Grundlagen. Anwender, die mit Farbmessungen vertraut sind und nur die Funktionen dieser Software nachlesen möchten, lesen bitte ab Kapitel 2, weiter.

1.1 Farbmessung

In der Produktion wird Farbe vor allem aus zwei Gründen gemessen. Im ersten Fall ist die Farbe des Produktes ein Qualitätskriterium. Das Produkt muss immer innerhalb sehr enger Grenzen eine bestimmte Farbe haben (z. B. Bier). Im zweiten Fall sind die Produkte theoretisch farblos und jegliche Färbung wird als Qualitätsmangel (Verschmutzung, Oxidation, Vergilbung) gesehen, die nur in Grenzen toleriert werden (z.B. Zucker, Benzin, geklärtes Abwasser). Die Farbmessung versucht nun, die Färbung des Produktes durch eine oder mehrere Zahlen zu beschreiben und zu quantifizieren. In der Praxis werden dazu verschiedene Wege beschritten, a) Farbskalen, b) benannte Farben und c) Farbräume.

1.1.1 Farbskalen

Farbskalen sind die älteste und einfachste Methode, um die Farbe einer Probe zu ermitteln. Dabei wird die Probe mit einer Reihe von farbigen Standardlösungen oder auch Farbgläsern verglichen. Als Ergebnis wird der Standard angegeben, dessen Farbe der Probe am nächsten kommt bzw. es wird angegeben, die Probenfarbe „liegt zwischen Standard 3 und Standard 4“. Farbskalen dieser Art gibt es viele, z.B. die Färbung nach US Pharmacopoe und Ph. Eur., die Iod-Farbzahl, die Hazen/PtCo-Farbzahl, die Gardnerfarbzahl usw.

Farbskalen haben entscheidende Nachteile. Auch wenn der Einfluss, den das individuelle Auge beim Farbvergleich auf das Ergebnis hat, durch Photometer ausgeschlossen wird, bleiben Farbskalen „visuelle“ Vergleiche. Auch ein Photometer berechnet den Wert einer Farbskala in der Regel nicht, sondern vergleicht photometrische Messwerte mit einer Kalibriertabelle und zeigt den „nächsten passenden“ Wert an (siehe Kapitel 2.4). Nur wenige Farbskalen, wie z. B. die Gardner-Farbzahl und die ADMI-Farbzahl sind überhaupt photometrisch definiert. Für viele Skalen, darunter die bekannte Hazen/PtCo-Farbzahl, existiert keine verbindliche Norm über die photometrische Auswertung. Weiterhin muss streng genommen die Färbung der Probe genau der Färbung der Kalibrierlösung



entsprechen. In der DIN Vorschrift für die Iod-Farbzahl heißt es etwa „Entspricht die Färbung der Probe nicht der Iod-Färbung, darf die Iod-Farbzahl nicht angewendet werden“.

Andere Farbskalen, wie die Bierfarbe EBC oder die ICUMSA-Zuckerfarbe berechnen sich aus der Extinktion bei einer oder wenigen Wellenlängen. Der Nachteil dieser Skalen ist, dass sie Veränderungen bei Wellenlängen, die außerhalb der Testwellenlänge liegen, nicht mitbekommen.

Für eine absolute Bestimmung der Farbe einer Probe sind Farbskalen daher nicht geeignet.

1.1.2 Benannte Farben

Es wurden verschiedene Klassifizierungssysteme für Farben entwickelt. Am bekanntesten sind die Munsell-, NCS[®]-, Pantone[®]-, RAL[®]-, HKS[®]-Farben. Für alle Farbsysteme gibt es Musterbücher oder –Karten. Die Farbe wird durch visuellen Vergleich ermittelt. Der Vorteil der Farbsysteme ist, dass man jeder Farbe einen Namen zuweisen kann, z. B. **7.5 R 6/16** für eine Munsell-Farbe. Viele dieser Systeme sind von Farbenherstellern entwickelt worden, daher kann man z. B. eine HKS[®]-Farbe als „Dose“ kaufen. Wie Sie an den [®] Zeichen sehen können, handelt es sich bei diesen Farbsystemen oft um kommerzielle Systeme. Die jeweiligen Hersteller bieten in der Regel kleine Auflicht-Photometer an, die durch eine Farbmessung eines festen Körpers die jeweils ähnlichste Farbe des Hersteller-Systems anzeigen können.

Einzig das Munsell-System aus den USA ist dort von der Standardisierungs-Behörde ASTM als Farbvergleichsstandard festgelegt. Die Kalibrierdaten für die etwa 1900 Munsell-Farben sind veröffentlicht, daher kann die **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** die jeweils ähnlichste Munsell-Farbe einer Farbmessung angeben. Für alle anderen Farbsysteme sind entweder keine Kalibrierdaten verfügbar oder die Daten dürfen aus Urheberrechtsgründen nicht verwendet werden. Allen Farbsystemen gemein ist der sehr beschränkte Umfang der Farben von etwa 2000. Für eine Farbmessung sind diese Systeme daher nicht geeignet. Die Angabe einer „ähnlichsten“ Farbe aus einem Farbsystem kann aber dann sinnvoll sein, wenn die gemessene Farbe in einer Druckerei gedruckt werden soll.

1.1.3 Geräteabhängige Farbräume

Farbräume sind 3-Dimensionale Räume, die auf jeder Achse eine Farbkomponente zeigen. Durch Kombination der drei Elemente entsteht die Farbe des Objektes. Jedem Computeranwender wird der RGB-Farbraum ein Begriff sein. Im Monitor entsteht durch Mischen von rotem, grünem und blauem Licht jede darstellbare Farbe. Eine RGB-Farbe {150, 220, 60} ist eine Farbe, die aus 150 Anteilen Rot, 220 Anteilen Grün und 60 Anteilen Blau besteht. Diese Farbe entsteht durch additives



Mischen von den drei Grundlichtern (additives Verfahren = Farbe entsteht durch zufügen von Licht). Leider kann man mit Licht nicht drucken. Drucker verwenden Farbpigmente oder Farbstoffe in ihren Tinten, welche Licht absorbieren. Beim Mischen von Druckfarben entsteht der Farbeindruck durch die „Wegnahme“ von Licht (subtraktives Verfahren). Am bekanntesten dürfte der CMYK-Farbraum sein. Durch mischen der Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb (beim Vierfarb-Druck wird noch Schwarz = K verwendet) entstehen alle darstellbaren Farben.

Die Menge der durch Lichtmischung darstellbaren Farben ist nicht mit der Menge der durch Druckfarben mischbaren Farben identisch, RGB- und CMYK-Farbraum weisen große Unterschiede auf.

Warum geräteabhängig? Der Grund hierfür ist, dass niemand einen Standard darüber aufgestellt, was Rot, Grün und Blau bzw. Cyan, Magenta und Gelb ist. Daher unterscheidet sich die Darstellung einer Farbe wie {150, 220, 60} von Monitorhersteller zu Monitorhersteller. In der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** sind alleine 15 verschiedene RGB-Farbräume hinterlegt (und es gibt noch mehr).

Für eine objektive Bestimmung der Farbe einer Probe kann also nur ein absoluter Farbraum in Frage kommen.

1.1.4 Absolute Farbräume

Absolute Farbräume enthalten alle von Menschen wahrnehmbare Farben innerhalb eines dreidimensionalen Koordinatensystems. Jede Farbe kann eindeutig einem Punkt im Koordinatensystem zugeordnet werden. Die Position einer Farbe innerhalb des Farbraums ist nur von der spektralen Zusammensetzung des zur Beleuchtung verwendeten Lichtes und den Absorptionseigenschaften der Probe abhängig. Allen absoluten Farbräumen liegt der von der internationalen Beleuchtungskommission CIE entwickelte XYZ-Farbraum zu Grunde.

Abbildung 1 zeigt eine Darstellung des XYZ-Farbraumes in der xyY-Transformation (siehe Kap. 1.3).

Die Werte X, Y und Z werden Normfarbwerte oder auch Tristimulus-Werte genannt.

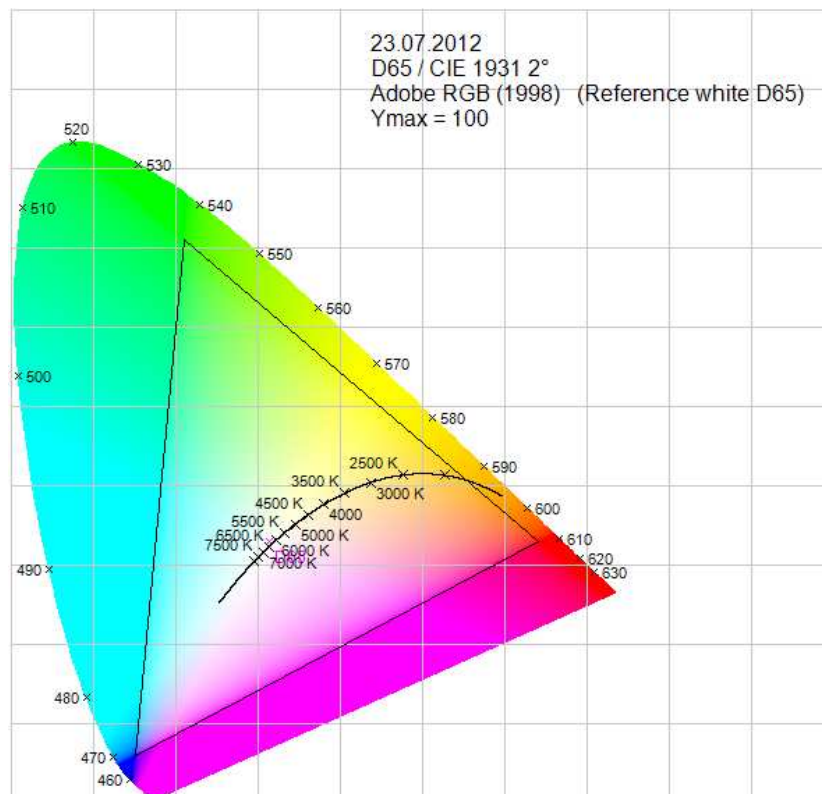


Abb. 1 : Der XYZ-Farbraum in xyY-Projektion

Die x-Koordinate gibt vereinfacht rote Anteile der Farbe wieder, die y-Koordinate grüne Farbanteile. Die Y-Koordinate steht senkrecht auf der x,y-Ebene und gibt die Helligkeit wieder. Diese Darstellung enthält (schematisch) alle sichtbaren Farben. Die reinen Spektralfarben, also z.B. die Farbe von 560 nm, liegen auf der parabel-förmigen Grenze der Figur. Das schwarze Dreieck gibt schematisch einen RGB-Farbraum wieder. Auf dem Monitor lassen sich also wesentlich weniger Farben darstellen, als das Auge sehen kann. Die schwarze Kurve gibt die Farben eines „schwarzen Körpers“ (Planckscher Strahler) mit der zugehörigen Farbtemperatur wider.

Achtung: Diese Darstellung führt immer wieder zu Missinterpretationen! Die Darstellung ist sehr schematisch. Natürlich können Sie am Monitor oder im Ausdruck auch Farben dieses Bildes außerhalb des schwarzen Dreiecks sehen. Das liegt daran, dass man keine digitalen Bilder erstellen kann, die echte XYZ-Farben enthalten. Das Bild ist ein GIF oder JPG und enthält den RGB-Farbraum. Könnte man XYZ-Farben in die JPG Datei packen, wäre auf Ihrem Monitor alles außerhalb des schwarzen Dreiecks schwarz! Die dort verwendeten Farben sollen lediglich symbolisieren, von welcher Art die XYZ-Farbe ist, die Sie in der Natur sehen können, die aber kein Monitor anzeigen kann.

1.2 Messung eines absoluten Farbraumes

Bei der Bestimmung der Farbe im XYZ-Farbraum wird die visuell wahrgenommene Farbe eines Prüfkörpers im Auflicht oder, wie in der Photometrie üblich, im Durchlicht bestimmt. Ziel der Messung ist „die visuell wahrgenommene Farbe“, d. h., der Farbeindruck des menschlichen Auges soll reproduzierbar und eindeutig in Zahlenform bestimmt werden.

An der Wahrnehmung von Farbe sind mehrere Faktoren maßgeblich beteiligt. Abbildung 2 zeigt eine einfache Versuchsanordnung.

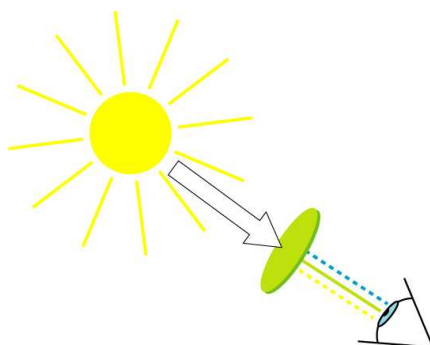


Abb. 2 : Durchlichtmessung

Drei der an der Farbwahrnehmung beteiligten Faktoren werden in obiger Abbildung gezeigt.

1.2.1 Das verwendete Licht

Nach Abbildung 2 hat als erstes die Lichtquelle einen Einfluss. Die Energieverteilung des Lichtes beeinflusst das Farbempfinden des Auges. Ein rein weißer Prüfkörper wird unter Tageslicht weiß erscheinen, unter Glühlampenlicht leicht gelblich und bei Sonnenuntergang rötlich. Für die Farbmessung spielt also die spektrale Energieverteilung des zur Beleuchtung (oder Durchleuchtung) verwendeten Lichtes eine Rolle. Die Internationale Beleuchtungskommission CIE hat zwei standardisierte Lichtarten festgelegt, *Lichtart A* und *Lichtart D65*. *Lichtart A* ist das Licht einer 100 W Glühbirne mit Wolframwendel (Farbtemperatur etwa 2856 K) und *Lichtart D65* (D = Daylight) steht für Tageslicht mit einer Farbtemperatur von 6500 K. Daneben existieren noch weitere Tageslichtarten wie *D50*, *D55* und *D75* sowie *Lichtart C* (durchschnittliches Tageslicht, Farbtemperatur 6800 K) und *Lichtart E* (energiegleiches Spektrum), die aber alle **kein** CIE-Standard sind.

Alle hier genannten Lichtarten können von der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** verwendet werden, man kann sogar eigene Lichtarten verwenden (siehe Kap. 3.5)!



Wie können unterschiedliche Lichtarten verwendet werden, das Photometer besitzt doch nur eine Halogenlampe?

Photometer messen Extinktion oder Transmission, sie geben nur einen relativen Messwert an, d. h. x Bruchteile der Energie bei abc nm gehen durch die Probe durch bzw. werden absorbiert. Sie geben keine Information darüber, wie viel Energie bei abc nm vorhanden ist oder vor der Probe vorhanden war. Das Messprinzip, den NULL-Wert vom Messwert abzuziehen (bzw. bei Zweistrahngeräten den Referenzstrahl vom Messstrahl), eliminiert sämtliche Informationen über die Energieverteilung des Lichtes. Sollen photometrische Messdaten für Farbmessungen verwendet werden, muss die Information über die spektrale Energieverteilung aus tabellarischen Daten wieder zurückgerechnet werden. Die Tabellen der Lichtarten sind in der Software hinterlegt.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die spektrale Energieverteilung $S(\lambda)$ der Lichtarten A, D65 und C. Die relativen Energiewerte wurden so normiert, dass die rel. Energie bei 560 nm 100 entspricht.

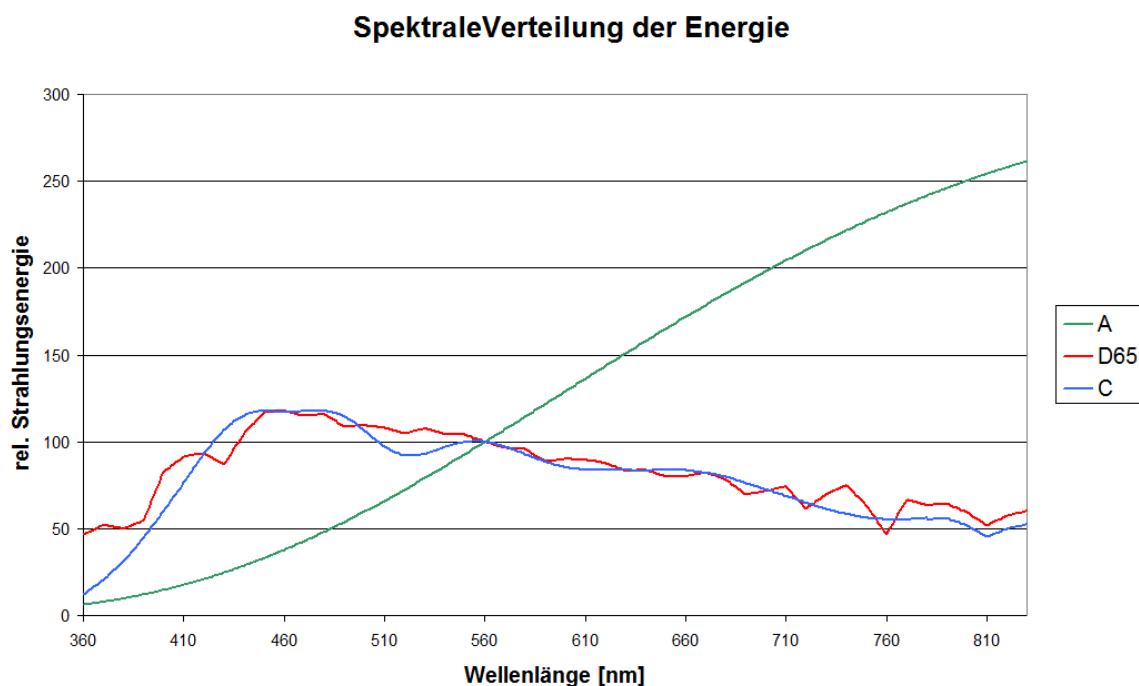


Abb. 3 : Spektrale Energieverteilung der Lichtarten A, D65 und C

Die spektralen Energieverteilungsfunktionen $S(\lambda)$ sind für alle Lichtarten im 1 nm Raster tabelliert und Teil der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software**.

1.2.2 Die Probe

Den zweiten und wichtigsten Einfluss, gemäß Abbildung 2, auf die visuelle Farb-Wahrnehmung hat die Probe selbst. Die Probe absorbiert je nach ihrer chemischen Beschaffenheit mehr oder weniger Energie bei unterschiedlichen Wellenlängen. Liegen diese Absorptionsbereiche im sichtbaren Spektrum, erscheint die Probe farbig. Diese wellenlängenabhängige Absorptionsfunktion $T(\lambda)$ wird mit den **NANOCOLOR® Spektrometern** in Transmission (also I / I_0) von 360 bis 830 nm gemessen.

1.2.3 Das Auge

Als dritter Faktor ist das Auge an der Farbwahrnehmung beteiligt. In der Netzhaut des Auges befinden sich die Sehzellen. Man unterscheidet zwischen Stäbchen und Zäpfchen. Die Stäbchen sind für das Hell-Dunkel sehen verantwortlich und tragen nicht zum Farbsehen bei. In erster Näherung gibt es von den Zäpfchen drei verschiedene Arten, rote, grüne und blaue, die unterschiedliche Sehpigmente (Iodopsin) enthalten. Die wellenlängenabhängigen Absorptionskurven dieser drei Sehpigmente wurden gemessen und sind genau bekannt. Auch sie liegen in Tabellenform vor. In der Literatur wird die Empfindlichkeitsfunktion („color-matching-functions“) der roten Zapfen $x(\lambda)$ genannt, die der grünen $y(\lambda)$ und die der blauen $z(\lambda)$. Abbildung 4 zeigt die relativen Empfindlichkeiten der drei Sehzapfen.

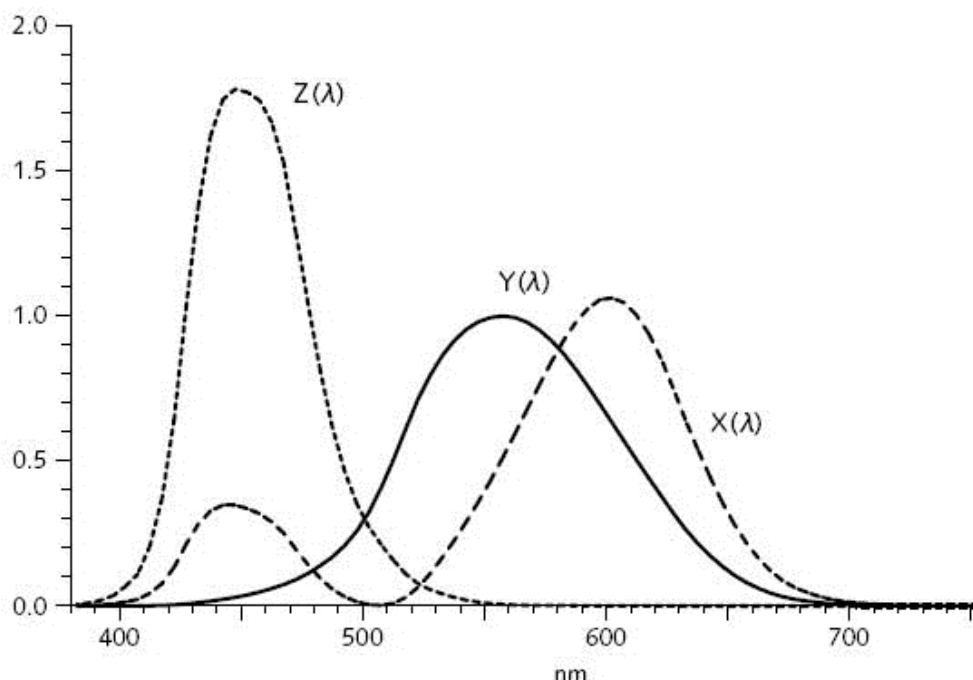


Abb. 4 : rel. Empfindlichkeit der roten, grünen und blauen Sehzapfen in den Zäpfchen



Der Einfluss des Auges bezeichnet nicht individuelle Farbeindrücke und –unterschiede! Es wird nur der – physikalisch messbare – Einfluss der SehfARBstoffe beschrieben!

1.2.4 Der Beobachter

Der vierte Faktor, der Einfluss auf die Farbwahrnehmung hat, ist der Beobachter. Oder anders gesagt: das, was der Beobachter sieht. Bei Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Größe des betrachteten farbigen Gegenstandes die Farbwahrnehmung beeinflusst. Liegen zwei identisch farbige Flächen von etwa 1x1 cm Größe und 10x10 cm Größe nebeneinander und werden sie aus dem gleichen Abstand beobachtet, erscheinen sie dem menschlichen Auge unterschiedlich. Das liegt daran, dass die Verteilung der Sehzapfen auf der Netzhaut nicht gleichmäßig ist: im Zentrum ist die Dichte höher als am Rand. Die Internationale Beleuchtungskommission hat daher zwei Standardbeobachter definiert, den *CIE 1931 2°* Beobachter und den *CIE 1964 10°* Beobachter. Mit 2° bzw. 10° ist der Sehwinkel gemeint, unter dem die farbige Probe betrachtet wird, 2° entspricht dem 1x1 cm großen Farbfeld, 10° dem 10x10 cm großen Farbfeld. In der Praxis bedeutet das, dass es unterschiedliche Zäpfchen-Empfindlichkeiten gibt, man unterscheidet zwischen $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ und $z(\lambda)$ sowie $x(\lambda)_{10}$, $y(\lambda)_{10}$ und $z(\lambda)_{10}$. Die Internationale Beleuchtungskommission empfiehlt bei allen Größen, die mit dem 10° Beobachter berechnet werden, den tiefgestellten Index 10 zu verwenden.

Beide Messvarianten lassen sich in der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** einstellen.

1.3 Berechnung der Normfarbwerte XYZ

Der Anfang jeder Farbmessung ist die Bestimmung der Normfarbwerte. Dabei wird ein Wellenlängenscan von 360 nm bis 830 nm (siehe *CIE 15:2004 3rd Ed., 6.1*) durchgeführt und die Transmission im Abstand von 1 nm gemessen. Das ergibt direkt die Funktion $T(\lambda)$. Die Funktion $S(\lambda)$ hängt wie beschrieben von der Lichtart ab und ist für jede Lichtart in der Software hinterlegt. Je nach eingestelltem Beobachter werden die Funktionen $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ und $z(\lambda)$ oder $x(\lambda)_{10}$, $y(\lambda)_{10}$ und $z(\lambda)_{10}$, verwendet. Daraus lassen sich die Normfarbwerte wie folgt berechnen (Beispiele gelten für den 2° Beobachter, siehe Formeln 1 bis 3).



$$X = K * \int_{360}^{830} S(\lambda) * T(\lambda) * x(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K * \int_{360}^{830} S(\lambda) * T(\lambda) * y(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K * \int_{360}^{830} S(\lambda) * T(\lambda) * z(\lambda) d\lambda$$

Formeln 1 - 3 : Berechnung der Normfarbwerte

Die Integrale werden dabei so normiert, dass der Y-Wert ohne jede Absorption ($T(\lambda) = 1$) 100% ergibt. Der Faktor K berechnet sich daher wie folgt (siehe Formel 4)

$$K = 100 / \int_{360}^{830} S(\lambda) * y(\lambda) d\lambda$$

Formel 4 : Berechnung des Normierungsfaktors

Sehr häufig wird nicht mit den Normfarbwerten gearbeitet, sondern mit **Normfarbwertanteilen** oder Farbkoordinaten (beachten Sie die **Kleinschreibung**). Die Berechnung erfolgt nach den Formeln 5 bis 7.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Formeln 5-7 : Normfarbwertanteile

Da definitionsgemäß $x + y + z = 1$ bzw. $z = 1 - x - y$ gilt wird der z-Wert in der Literatur häufig nicht angegeben.

Die durch eine derartige Farbmessung erhaltenen Werte **X**, **Y** und **Z** bzw. **x**, **y**, und **z** geben also die mathematisch exakte Beschreibung des Seheindrucks eines durchschnittlichen menschlichen Auges wieder. Zur eindeutigen Beschreibung oder Definition einer Farbe reichen diese Werte völlig aus.



Sie haben nur **einen entscheidenden Nachteil**: Kein Mensch kann sich unter 34.12, 12.45, 45.64 eine Farbe **vorstellen**. Um diesen Nachteil zu umgehen, werden in der Regel Farbmessungen aus dem Normfarbwertraum in einen Farbraum transformiert, der der Farbenlehre entspricht und unter deren Koordinaten eine Vorstellung von Farbe möglich wird. Es sind mehrere Farbräume gebräuchlich, die sich im Wesentlichen nur in ihrer mathematischen Transformation unterscheiden.

1.3.1 Der CIE-L^{*}a^{*}b^{*} Farbraum

Der bekannteste und am häufigsten verwendete Farbraum ist der CIE-L^{*}a^{*}b^{*} Farbraum, auch CIELAB oder kurz Lab genannt. Bei diesem dreidimensionalen Farbraum stellt L die farbunabhängige Helligkeit dar, auf der positiven a-Achse liegen rote Farben, auf der negativen a-Achse grüne Farben. Auf der b-Achse wurde das ebenfalls komplementäre Farbenpaar Gelb (positiv) und Blau (negativ) angeordnet.

Für die Berechnung der L^{*}a^{*}b^{*}-Werte werden die Normfarbwerte der verwendeten Lichtart benötigt. Sie werden durch einen tiefgestellten Index n (z. B. **X_n**) bezeichnet. Die Farbwerte der verwendeten Lichtart entsprechen also der „Farbe“ des NULL-Standards. Die Normfarbwerte der Lichtarten sind tabelliert und in der PC-Software hinterlegt. Gegebenenfalls werden sie nach den Formeln 1 bis 3 und 4 bis 7 berechnet. Für die Parameter L^{*}, a^{*} und b^{*} gelten die Formeln 8 bis 12. Die Bedingung für (**X/X_n**) gilt analog für (**Y/Y_n**) und (**Z/Z_n**). Da der verwendete Formelgenerator es nicht erlaubt, Sterne hochzustellen, wird in den Formeln ein hochgestelltes Grad-Zeichen (°) verwendet, L° entspricht also L^{*}.

$$L^{\circ} = 116 * f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^{\circ} = 500 * [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^{\circ} = 200 * [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{(1/3)} \text{ wenn } (X/X_n) > (24/116)^3$$

$$f(X/X_n) = (841/108) * X/X_n + 16/116 \text{ wenn } (X/X_n) \leq (24/116)^3$$

Formeln 8 bis 12 : CIE-L^{*}a^{*}b^{*} System

f(Y/Y_n) und f(Z/Z_n) berechnen sich völlig analog zu f(X/X_n).



1.3.2 Der CIE-L*u*v* Farbraum

Für die Parameter L*, u* und v* gelten die Formeln 13 bis 17.

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$$L^\circ = 116 * f(Y/Y_n) - 16$$

$$u^\circ = 13 * L * (u' - u'_n)$$

$$v^\circ = 13 * L * (v' - v'_n)$$

*Formeln 13 bis 17 : CIE-L*u*v* System*

f(Y/Y_n) berechnet sich wie in 4.7.1 angegeben.

1.3.3 Der Hunter-Lab Farbraum

Für die Parameter L, a und b gelten die Formeln 18 bis 20. Auch hier stellt L die Helligkeit dar, rot-grün befindet sich auf der a-Achse und gelb-blau auf der b-Achse.

$$L = 100 * \sqrt{Y/Y_n}$$

$$a = K_a * \frac{X/X_n - Y/Y_n}{\sqrt{Y/Y_n}}$$

$$b = K_b * \frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{\sqrt{Y/Y_n}}$$

Formeln 18 bis 20 : Hunter-Lab System

Die Faktoren K_a und K_b sind von der Lichtart abhängig. Sie sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Lichtart	K _a	K _b
A	185,20	38,40
C	175,00	70,00
D65	172,30	67,20
D50	173,51	58,48
D60	172,47	64,72
D75	172,22	71,30

Tab.2 : Faktoren K_a und K_b

1.3.4 Interpretation des CIE-L^{*}a^{*}b^{*} Farbraumes

Die Farbräume sollen am Beispiel des CIE- L^{*}a^{*}b^{*} Systems erläutert werden. Die drei Normfarbwerte werden in die Koordinaten L^{*}, a^{*} und b^{*} umgerechnet. L^{*} ist dabei normiert auf die Werte 0 bis 100, entspricht also einer %-Skala. Mit der Koordinate L^{*} wird die Helligkeit der Farbe beschrieben. Sie enthält keine Farbinformation, L^{*}=100 bedeutet also *100% Licht* und L^{*}=0 bedeutet *kein Licht*, d. h. Schwarz.

Die Koordinaten a^{*} und b^{*} sind nicht normiert und können prinzipiell von –unendlich bis +unendlich gehen, in der Praxis, also bei realen Farben, treten Werte zwischen -120 und +120 auf. In diesen Koordinaten ist die eigentliche Farbinformation enthalten. Bei a^{*}=0 und b^{*}=0 gibt es keine Farbe, d. h. die Farbe der Probe ist in Abhängigkeit von L^{*} ein neutrales Grau irgendwo zwischen Weiß (L^{*}=100) und Schwarz (L^{*}=0).

Auf der a^{*}-Achse sind die Komplementärfarben rot-grün angeordnet, und zwar rot im positiven Bereich der Achse, grün im negativen Bereich : Je positiver a^{*} ist, desto roter ist die Probe, je negativer a^{*} ist, desto grüner.

Analog ist auf der b^{*}-Achse das komplementäre Farbenpaar Gelb-Blau angeordnet. Das Zahlenpaar (a^{*}, b^{*}) beschreibt also den Farbton (die spektrale Energieverteilung) und L^{*} die Lichtmenge (viel Licht/wenig Licht).

Abbildung 5 zeigt das CIE-L^{*}a^{*}b^{*} System.

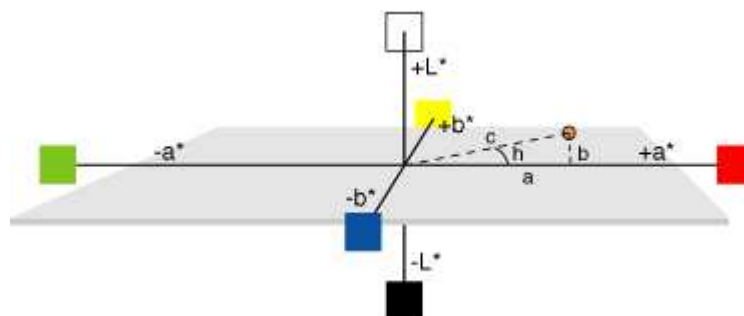


Abb. 5 : Der CIE-L^{*}A^{*}b^{*} Farbraum

Sehr häufig wird das Lab System in Polarkoordinaten transformiert. Man spricht dann vom LCh System. h ist der Farbwinkel (oder Hue) und C die Chromazität, siehe Abbildung 5. h gibt also die Art der Farbe an, C die Stärke der Farbe und L die Helligkeit.

1.3.5 Farbabstände

In der Qualitätskontrolle werden häufig nicht absolute Farben gemessen, von Interesse ist vielmehr, wie weit ein Produkt von einer Referenzfarbe entfernt ist. Dazu werden Farbabstände gemessen. Im Gegensatz zu der Farbe, die immer mit drei Zahlen beschrieben wird, ist für den Farbabstand nur eine Maßzahl nötig. Diese Maßzahl wird ΔE genannt.



Es gibt mehrere Definitionen für die Berechnung des ΔE -Wertes! Standardmäßig wird die Formel nach CIE 1976 verwendet, die im Beispiel weiter unten beschrieben wird. Die PC-Software erlaubt aber auch andere ΔE -Werte wie CIE 1994, CIE 2000, CMC sowie DIN99, siehe Kapitel 2.2.

Da die Farbräume 3-dimensionale Koordinatensysteme sind, bietet sich im einfachsten Fall als Farbabstand die Länge des Abstandsvektors zweier Farbpunkte an. Die Definition des sog. ΔE -(CIE 1976) Wertes ist in den Formeln 21 bis 24 angegeben.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{\circ 2} + \Delta a^{\circ 2} + \Delta b^{\circ 2}}$$

$$\Delta L^{\circ} = L^{\circ}_{Probe} - L^{\circ}_{Ref}$$

$$\Delta a^{\circ} = a^{\circ}_{Probe} - a^{\circ}_{Ref}$$

$$\Delta b^{\circ} = b^{\circ}_{Probe} - b^{\circ}_{Ref}$$

Formeln 21 bis 24 : Farbabstand ΔE

Abbildung 6 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Im rechten Bereich der Abbildung sehen Sie zwei Farben, die Punkte ● und ●. ΔE ist dort als Vektor (grüner Strich) eingezeichnet. In der Praxis wird aber nur die Länge des Vektors angegeben, nicht seine Orientierung.

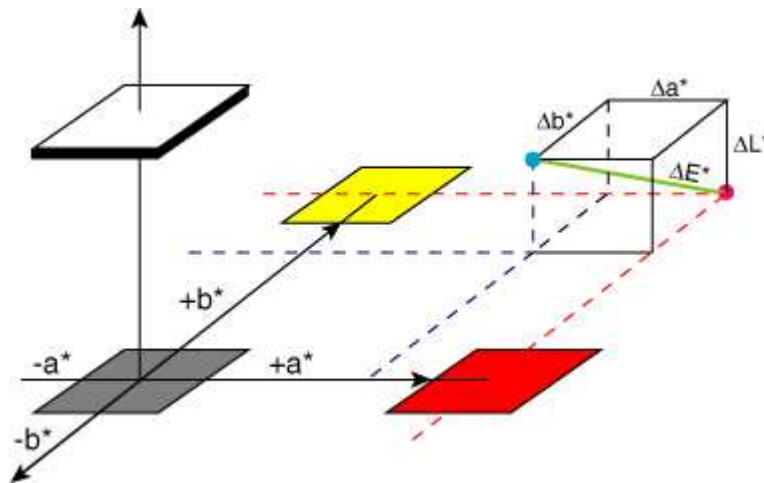


Abb. 6 : Farbabstand ΔE

Die Formeln 21 bis 24 berechnen den Farbabstand ΔE für das CIE- $L^*a^*b^*$ Farbsystem nach CIE 1976. Analoge Farbabstände ΔE lassen sich natürlich auch für das CIE- $L^*u^*v^*$ und das Hunter-Lab System angeben und werden bei Auswahl des entsprechenden Farbsystems von der PC-Software berechnet.



2 Durchführung von Farbmessungen

Das Kapitel 2 zeigt Ihnen, wie Sie mit der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** die Farbe flüssiger, durchscheinender Proben messen können. Die Farbmessung benötigt keine umfangreiche Probenvorbereitung und keine Reagenzien. Allerdings muss die Probe absolut klar sein, das bedeutet in der Regel, das alle Proben, deren Farbe gemessen werden soll, durch ein 0,45 µm Membranfilter (z.B. **CHROMAFIL®**) filtriert werden müssen. Die eigentliche Farbe der Probe kann dadurch beeinflusst werden, da zumindest ein Teil der visuell wahrgenommenen Farbe von den Trübungspartikeln verursacht werden kann.

2.1 Durchführbare Bestimmungen

Die Version 4.5 der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** erlaubt Ihnen die Bestimmung folgender Parameter:

Farbräume : Normfarbwerte X, Y, Z, Normfarbwertanteile x, y, z, CIE-L*a*b*, CIE-L*Ch, CIE-L*u*v*, Hunter-Lab, RGB, CMYK, HSB, HSL, YUV

Farbsysteme : Munsell

Farbdifferenzen : ΔE CIE 1976, ΔE CIE 1994, ΔE CIE 2000, ΔE CMC(1:1), ΔE CMC(2:1), ΔE DIN99, Messung gegen beliebig viele Standards, ΔE-Analyse

Farbskalen : Hazen/APHA/PtCo-Farbzahl, Iod-Farbzahl, ICUMSA Zucker-Farbe, Bierfarbe nach EBC und ASBC, Yellowness-Index, Hess-Ives Farbzahl, Färbung nach Ph. Eur., Gardner-Farbzahl, ADMI-Farbzahl, ASTM-Farbzahl, Saybolt-Farbzahl, Klett-Farbzahl, Kolorimetrische Dichte, wahre Färbung nach EN ISO 7887-3.

Folgende für die Farbmessung wichtige Parameter können eingesetzt werden:

CIE-Beobachter : CIE 1931 2°, CIE 1964 10°

Lichtarten : A, C, D65, D50, D55, D75, E, anwenderspezifisch (Kapitel 3.5)

2.2 Grundeinstellungen

Bevor Sie mit einer Farbmessung anfangen, müssen einige Grundeinstellungen vorgenommen werden. Die Farbmessung verwendet einige Parameter, die nicht mehr geändert werden können, wenn das Fenster *Farbmessung* geöffnet ist. Die Einstellungen lassen sich bei geschlossenem Farbfenster über die Menüfunktion

System/Farbmanagement verändern. Nach dem Aufruf der Menüfunktion öffnet sich das Fenster der Farbgrundeinstellungen, siehe Abbildung 7.

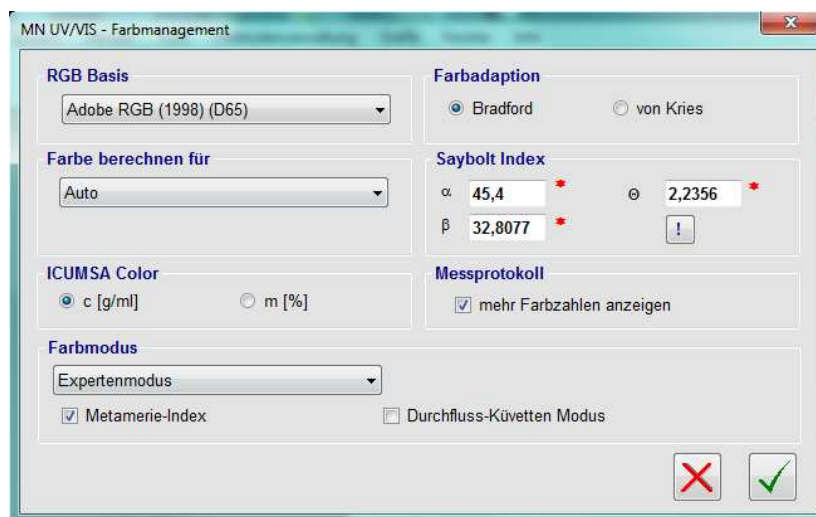


Abb. 7 : Farbgrundeinstellungen

Im ersten Rahmen **RGB Basis** können Sie das zu verwendende RGB-System einstellen. In der Technik gibt es eine Reihe von unterschiedlichen RGB-Systemen, als Quasi-Standard hat sich das Adobe RGB (1998) etabliert. **Diese Einstellung beeinflusst nur die Umrechnung von CIE-XYZ Werten in RGB-Farben und CMYK-Farben. Diese Einstellung ist nur dann von Bedeutung, wenn gemessene Farben gedruckt werden sollen.** Die RGB-Systeme unterscheiden sich sowohl in der Definition der Grundfarben als auch im verwendeten Referenzlicht. Adobe RGB (1998) ist ein D65 RGB-System.

Die zweite Einstellung **Farbadaption** bestimmt das Berechnungsverfahren, mit dem gemessene Farbwerte umgerechnet werden, wenn die Lichtart gewechselt wird. In der Praxis haben sich zwei Berechnungsvarianten bewährt, die nach **von Kries** und nach **Bradford**. Die Methode nach Bradford gilt als etwas genauer und ist die Standardmethode.

Im dritten Rahmen **Farbe berechnen für** können Sie die Schichtdicke der Lösung einstellen, deren Farbe gemessen werden soll. Der Küvettenschacht der **NANOCOLOR® Spektrometer** kann 10 mm, 14 mm, 20 mm, 40 mm und 50 mm Küvetten aufnehmen. Mit Hilfe dieser Funktion können aber auch Farben für 60 mm bis 150 mm Schichtdicke berechnet werden. Steht die Funktion auf **Auto** (Standardeinstellung) wird die Schichtdicke der verwendeten Küvette für die Berechnung verwendet. **Diese Funktion hat nur dann einen Einfluss auf die Farbmessung, wenn im Fenster Farbmessung die Funktion **RGB** eingeschaltet ist, siehe Kap. 2.3.**



Mit den Feldern im Rahmen **Saybold Index** kann die Berechnung der Saybolt-Farbzahl bei Bedarf angepasst werden. Über den kleinen Schalter mit dem Ausrufezeichen können die Standardparameter wieder hergestellt werden. **Im Allgemeinen müssen hier keine Änderungen vorgenommen werden.**

Im Rahmen **ICUMSA Color** legen Sie fest, ob Sie bei der Messung der ICUMSA Zuckerfarbe die Konzentration der Zuckerlösung in g/ml (Option **c [g/ml]**) angeben oder den Feststoffgehalt (Option **m [%]**).

Über die Funktion **mehr Farbzahlen anzeigen** im Rahmen **Messprotokoll** können Sie einstellen, das bei der Messung einer Farbzahl auch andere Farbzahlen im Protokoll ausgegeben werden.

Im Rahmen **Farbmodus** können Sie zwischen Basismodus, erweiterter Modus und Expertenmodus wählen. Damit wird lediglich die Menge an Farbinformationen im Messprotokoll festgelegt. So werden beispielsweise im Basismodus keine XYZ-, xyz- und C, h Daten ausgegeben. Ist die Option **Metamerie-Index** eingeschaltet, wird der Metamerie-Index im Protokoll ausgegeben, wenn eine ΔE -Messung durchgeführt wird. Ist die Option **Durchfluss-Küvetten Modus** aktiv, wird der Anwender nach der Durchführung einer Messung nicht aufgefordert, die Küvette zu ziehen. Diese Funktion ist speziell für die Verwendung mit Durchflussküvetten vorgesehen.

2.3 Die Messung

Klicken Sie im Hauptmenü der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** auf den Befehl **Messen/Farbmessung** (siehe Abbildung 8).



Abb. 8 : Menübefehl Farbmessung

Die Software öffnet das Fenster *Farbmessung*, siehe Abbildung 9. Im rechten Bereich des Fensters sehen Sie das Textfeld für das Messprotokoll. Links sehen Sie fünf Rahmen, in denen Sie Einstellungen vornehmen können. Unter den Rahmen befinden sich die Schalter zum Ausführen verschiedener Aktionen.

Die Grundeinstellungen der Farbmessung werden am rechten unteren Rand des Fensters angezeigt, im Beispiel *Expertenmodus, Adobe RGB (1998), (D65), dE:CIE-76, auto*. Siehe Kapitel 2.2.

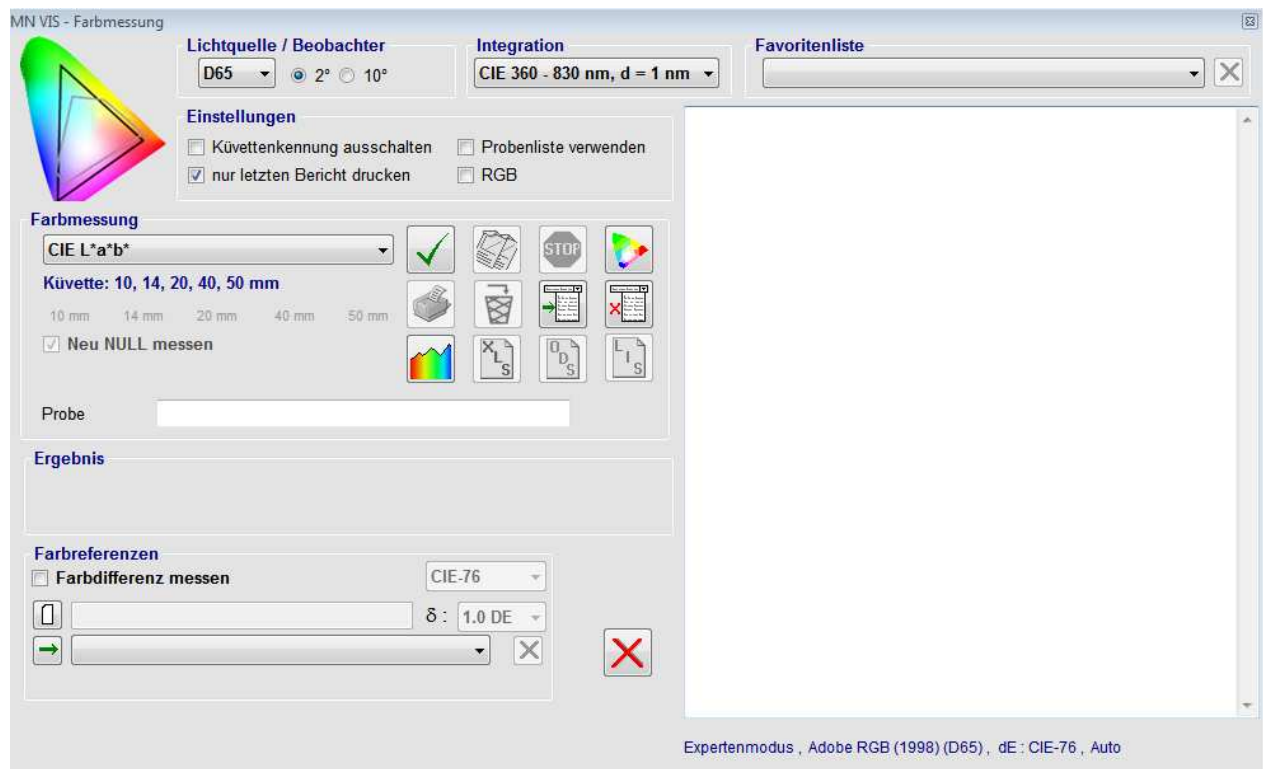


Abb. 9 : Fenster Farbmessung

Im Rahmen **Integration** am oberen Rand können Sie den Integrationsbereich der Farbmessung festlegen. Standardmäßig wird den Empfehlungen der CIE folgend der Integrationsbereich 360 nm bis 830 nm verwendet. Diese Einstellung wird empfohlen und ist **fett** gedruckt. Alternativ können Sie auch 360 nm bis 780 nm einstellen. Der Geschwindigkeitsvorteil ist aber nur gering. Um eine direkte Vergleichsmöglichkeit mit anderen Farbmessgeräten zu ermöglichen, können andere Einstellungen verwendet werden. Diese Einstellungen **entsprechen aber nicht** den Empfehlungen der CIE.

Der zweite Rahmen **Lichtquelle / Beobachter** enthält die Optionen **2°** und **10°** sowie die Auswahlliste der Lichtart. Damit können Sie den CIE Standard-Beobachter ändern und die benötigte Lichtart auswählen (siehe Kapitel 1.2.1). Die wichtigsten Lichtarten bzw. die CIE Standard-Lichtarten werden in **fetter Schrift** hervorgehoben. Die Funktion **Custom** ermöglicht die Verwendung eigener Lichtquellen. Lesen Sie dazu Kapitel 3.5.

Darunter sehen Sie den Rahmen **Einstellungen**. Hier sind die vier Optionen **Küvettenkennung ausschalten**, **Probenliste verwenden**, **nur letzten Bericht drucken** und **RGB** angeordnet. Wenn Sie mit Einmal-Halbmikroküvetten oder Einmalküvetten mit eingekerbten oder „hohlen“ Seitenflächen arbeiten, müssen Sie die Option **Küvettenkennung ausschalten** verwenden, **da diese Küvetten die Schalter der Küvettenerkennung im**

Photometer nicht auslösen. Haben Sie eine Probenliste erstellt (Softwarehandbuch Kapitel 8.10), aktivieren Sie bitte die Option **Probenliste verwenden**.

Bei jeder Messung wird ein unabhängiges Messprotokoll erstellt. Führen Sie mehrere Messungen nacheinander durch, werden die einzelnen Messprotokolle aneinander gehangen und im Textfeld auf der rechten Seite angezeigt. Wenn das Protokoll gedruckt oder in die Zwischenablage kopiert wird, werden alle Protokolle gedruckt bzw. kopiert. Haben Sie die Option **nur letzten Bericht drucken** aktiviert, wird nur das Messprotokoll der letzten Farbmessung gedruckt/kopiert.

Weiter sehen Sie hier die Funktion **RGB**. Ist diese Funktion aktiviert, werden im Unterschied zur normalen Farbmessung die XYZ-Normfarbwerte in die Farbsysteme RGB, HSB, HSL, YUV und CMYK umgerechnet und, wenn möglich, die ähnlichste Munsell-Farbe bestimmt. Bei dieser Messung können auch Schichtdicken der Probe berechnet werden, die zwischen den Standard-Küvettengrößen liegen bzw. deutlich größer als 50 mm sind, siehe Kapitel 2.2. Ist die Funktion aktiv, erscheint nach einer Messung im Rahmen **Farbmessung** eine weitere Schaltfläche, welche die gemessene Farbe anzeigt.

Im Rahmen **Farbmessung** legen Sie fest, welche Farbskalen/Farbräume bestimmt werden sollen, siehe Abbildung 10.

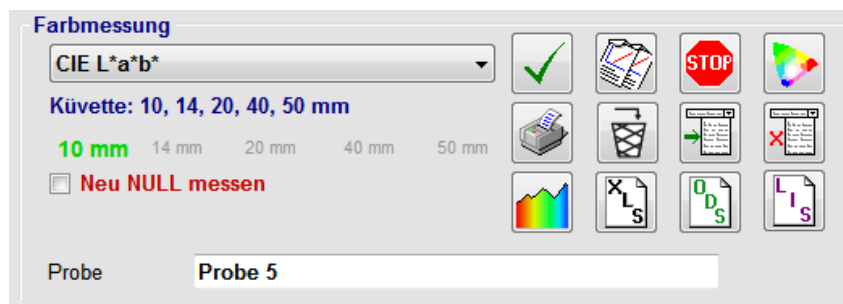


Abb. 10 : Auswahl der Farbskala

Einige Listeneinträge sind möglicherweise noch nicht aktiv, diese Farbwerte befinden sich in Vorbereitung für spätere Softwareversionen.



Das Einstellen einer Farbzahl/Farbmessung beeinflusst gegebenenfalls die Einstellungen der Rahmen **Lichtquelle / Beobachter.**

Unterhalb der Auswahlliste für die Farbzahl wird Ihnen in blauer Farbe angezeigt, welche Küvettengrößen für diese Farbzahl erlaubt sind. Darunter wird in grüner Farbe angezeigt, für welche Küvettengrößen bereits eine NULL-Kalibrierung durchgeführt wurde. Im Beispiel wurde die NULL-Messung mit einer 10 mm Rundküvette durchgeführt.

Haben Sie eine Farbzahl gewählt, geben Sie in das Feld **Probe** eine Probenbezeichnung, Probennummer oder ähnliches an. Das Feld **Probe** ist ein Pflichtfeld, wenn die Einstellung der Softwaresicherheit auf **hoch** steht, wird ohne Probenbezeichnung keine Farbmessung ausgeführt. Wenn Sie mit einer Probenliste arbeiten, wird dieses Feld automatisch gefüllt. Ist die Softwaresicherheit auf normal gestellt, wird das Feld **Probe** automatisch mit dem Messzähler gefüllt, wenn Sie keine Bezeichnung angeben.

Die Option **Neu NULL messen** ist erst nach der ersten Messung aktiv. Solange Sie den Küvettentyp nicht ändern oder aus anderen Gründen einen neuen NULL-Bezug für die folgende Messung benötigen, können Sie alle Messungen einer Messreihe mit einer NULL-Kalibrierung durchführen. Benötigen Sie eine neue NULL-Kalibrierung, aktivieren Sie einfach die Option **Neu NULL messen**.

Weiterhin befinden sich im Rahmen **Farbmessung** noch eine Reihe von Schaltern, siehe Abbildung 11.



Abb. 11 : Schalter und die Funktion CERT

Soll das Protokollfeld gelöscht werden, klicken Sie auf den Schalter . Die Speicherung als Original-Datei wird davon nicht beeinflusst.

Der Schalter  druckt das Messprotokoll aus. Er ist erst aktiv, nachdem eine Messung durchgeführt wurde.

Der zweite Schalter  kopiert das Messprotokoll in die Zwischenablage. Er ist erst aktiv, nachdem eine Messung durchgeführt wurde.

Der Schalter  startet die Farbmessung. Bei der ersten Messung werden Sie aufgefordert, eine NULL-Küvette in das Photometer zu setzen. Nach der NULL-Messung setzen Sie die erste Proben-Küvette ein. Sobald das Ergebnis angezeigt wird, können Sie eine weitere Probe messen. Alternativ zu diesem Schalter können Sie auch im Feld **Probe** die [ENTER] –Taste an Ihrem PC drücken, wenn das Textfeld **Probe** den Focus hat.



Auch die Schalter  und  sind erst nach einer Messung aktiv. Damit können Sie alle durchgeführten Farbmessungen bequem nach Excel oder OpenOffice/LibreOffice kopieren.



Mit dem Schalter  beenden Sie eine laufende Probenlisten-Messung.

Um immer wiederkehrende Messabläufe zu vereinfachen, verfügt die **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** über eine Favoritenliste. Sie sehen die Favoritenliste oben rechts, siehe Abbildung 12:

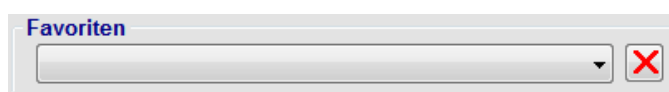


Abb. 12 : Favoritenliste

Stellen Sie einfach alle Einstellungen so ein, wie sie für Ihre Messung benötigt

werden und klicken Sie auf den Schalter . Es öffnet sich ein Fenster, in das Sie den Namen Ihres Favoriten eingeben müssen, siehe Abb. 13:

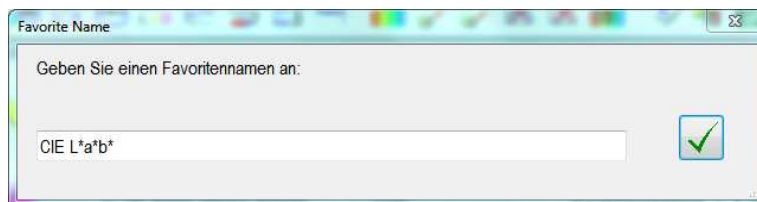


Abb. 13 : Namen für Favoriten erstellen

Ein Klick auf den Schalter mit dem grünen Häkchen speichert den Favoriten. Wenn Sie einen Favoriten aus der Liste, siehe Abbildung ggg, auswählen, werden alle Einstellungen vorgenommen und die Schaltflächen gesperrt. So wird verhindert, dass versehentlich bei einer Messung eine falsche Einstellung verwendet wird.

Der kleine Schalter mit dem roten X in Abbildung ggg deselektiert den Favoriten wieder und entsperrt alle Schaltflächen.



Mit dem Schalter  kann ein gespeicherter Favorit wieder gelöscht werden. Die Funktion benötigt Admin-Rechte.



Der Schalter  zeigt eine CIE-Normfarbtafel an, siehe Abbildung 14. Diese Farbtafel ist von der verwendeten Lichtart und dem Beobachter abhängig. In die Farbtafel wird das verwendete RGB-System als schwarzes Dreieck und dessen

Weißpunkt eingetragen. Haben Sie bereits eine Farbmessung durchgeführt, wird zusätzlich Ihr letzter Messwert als kleines Kreuz, markiert mit einem S für „Sample“, eingetragen. Wenn Sie die Maus über die Normfarbtafel bewegen, werden in der Titelzeile des Fensters die Farbkoordinaten und die RGB-Werte der Mausposition angezeigt.

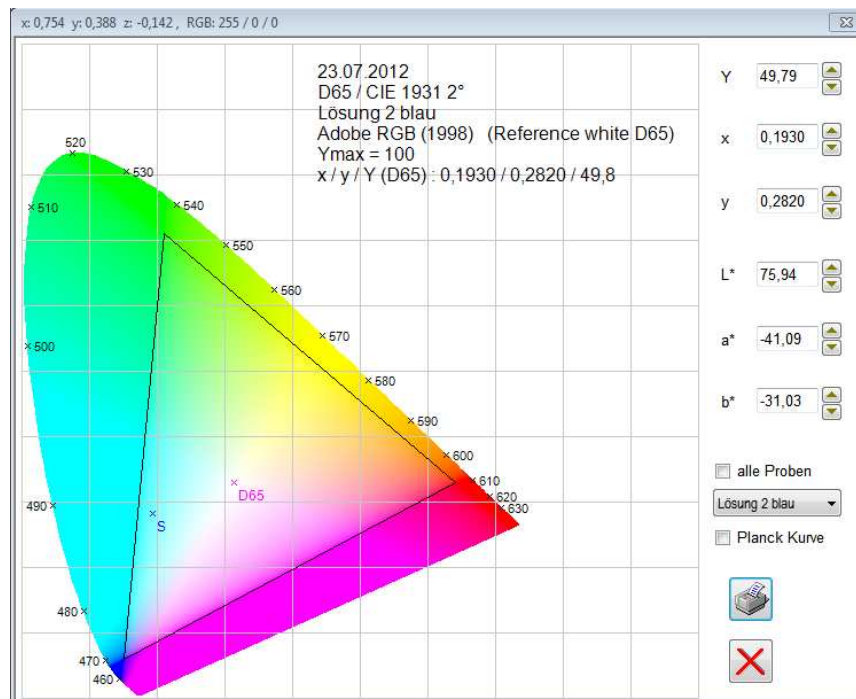


Abb. 14 : Die CIE-Normfarbtafel

Sie können die Normfarbtafel ausdrucken und über die Menüfunktion **Grafik** in die Zwischenablage kopieren oder als Datei speichern. Welche Auswirkung eine Änderung der $L^*a^*b^*$ oder Yxy auf Ihren Messpunkt hat, können Sie durch ändern der im rechten Bereich angezeigten Werte ausprobieren. **Durch Änderungen in diesem Fenster wird keine Änderung an den Messdaten vorgenommen!**

Wenn Sie mehrere Proben gemessen haben, können Sie über die Option **alle Proben** alle Proben anzeigen lassen oder eine Probe aus der Liste darunter auswählen.

Die Option **Planck Kurve** blendet zusätzlich die Farben des schwarzen Strahlers ein.

Unterhalb des Rahmens **Farbmessung** sehen Sie den Rahmen **Ergebnis**. Hier wird das Ergebnis der eingestellten Farbmessung zweizeilig angezeigt.

Darunter befindet sich der Rahmen **Farbpräferenzen**. Diese Funktionen dienen der Messung von Farbdifferenzen und werden in Kapitel 2.3.2 erläutert.



Der Schalter ist nur sichtbar, wenn vor dem Auslösen der Farbmessung die Option **RGB** aktiviert wurde. Die Farbe des Schalters hängt von der Farbe Ihrer Probe ab. Wenn Sie auf diesen Schalter klicken, wird ein Messprotokoll mit den RGB, HSB, HSL, YUV und CMYK Werten erstellt und gedruckt. Dieses Protokoll enthält auch ein graphisches Farbfeld. Bei Ausdruck auf einem Farbdrucker kann die gemessene Farbe direkt visuell verglichen werden. Mit dieser Funktion können z. B. sehr einfach Farbkarten erstellt werden.



Die gedruckte Farbe kann von der wahren Farbe abweichen, annähernd genaue Ergebnisse erhalten Sie nur mit speziell kalibrierten Druckern und Monitoren!
Die gedruckte Farbe ist von der Einstellung des RGB-Farbraumes abhängig.



Der Schalter schließt das Fenster Farbmessung. Wird das Fenster geschlossen, werden alle Messprotokolle als Originaldatei gespeichert (siehe Software Handbuch, Kapitel 3.11).

Wenn Sie mit der Option **Küvettenkennung ausschalten** arbeiten müssen, müssen



Sie jeden Schritt der Messung mit dem Schalter bestätigen.

Das Ergebnis einer Farbmessung könnte wie in Abbildung 15 gezeigt, aussehen, das Messprotokoll einer anderen Messung wird in Abbildung 16 gezeigt.

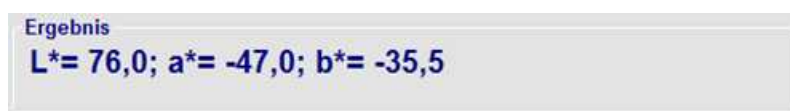


Abb. 15 : Ergebnis der Farbmessung



MACHEREY-NAGEL NANOCOLOR® UV/VIS

Farbmessung

Geometrie: 0/180, Messmethode: integral, 360 - 830 nm, d = 1 nm
Lichtquelle: C, Beobachter: CIE 1931 standard colorimetric observer (2°)

Anwender : WieczorrekC
Computername : NB-VISTA
Photometer : NUV0027
Datum : 13.08.2007, Uhrzeit : 10:28:03
Küvette : 14 mm, Messung Nr. : 2
Probe : Iod-Kaliumjodid, 40 mg/100 ml

CIE 1976 (L*a*b*) Color Space nach DIN 5033, CIE S 002, CIE Publikation 15:2004
Normfarbwerte X : 62,3 (0,1), Y : 62,7 (0,1), Z : 5,66 (0,01)
Normfarbwertanteile x : 0,477 (0,002), y : 0,48 (0,002), z : 0,0433 (0,0001)
L* : 83,3 (0,1), a* : 2 (0,6), b* : 98,5 (0,2)
Cab* : 98,6 (0,2), Hab : 88,8° (0,4) °

Abb. 16 : Messprotokoll einer Einfachmessung

Sie können, ohne eine neue Messung durchzuführen, das Messergebnis in andere Farbzahlen umrechnen (soweit physikalisch möglich/sinnvoll), indem Sie einfach eine andere Farbzahl aus dem Rahmen **Farbmessung** auswählen, siehe Abbildung 17.



Abb. 17 : Umrechnung von L*a*b* nach Hess-Ives

Auf die gleiche Weise können Sie L*a*b* Farben zwischen den verschiedenen Lichtarten umrechnen, klicken Sie nach einer Messung einfach auf den Schalter einer anderen Lichtart.

2.3.1 Messung von Farbabständen

Um einen Farbabstand zu berechnen, gehen Sie bitte wie folgt vor:

Stellen Sie in den Funktionsrahmen **Integration**, **Beobachter / Lichtquelle** die von Ihnen benötigten Parameter ein. Stellen Sie im Rahmen **Farbmessung** eine der Messungen CIE-L*a*b*, CIE-L*u*v*, Hunter-Lab oder DIN99 ein. Geben Sie in das

Textfeld **Probe** eine Probenbezeichnung ein und klicken Sie auf den Schalter  oder drücken Sie die [ENTER] Taste Ihres Computers. Die PC-Software startet die Messung und fordert Sie auf, eine NULL-Küvette in das Photometer zu stecken. Nach der NULL-Messung werden Sie aufgefordert, die NULL-Küvette zu entfernen

und eine Proben-Küvette einzusetzen. Führen Sie die Farbmessung der ersten Probe durch. Um die Farbdifferenz zu einer zweiten Probe zu bestimmen, müssen Sie einen ΔE -Type auswählen (im Beispiel CIE-76) und die Option **Farbdifferenz messen** oberhalb des Rahmens **Farbreferenzen** aktivieren, siehe Abbildung 18.

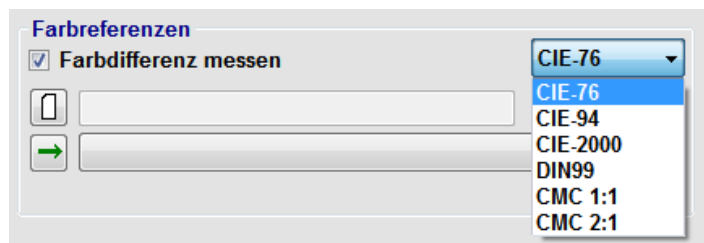


Abb. 18: Farbabstand messen

Geben Sie nun eine Probenbezeichnung für die zweite Probe ein und klicken Sie erneut auf . Die zweite Messung wird durchgeführt und das Ergebnis berechnet, siehe Abbildung 19.

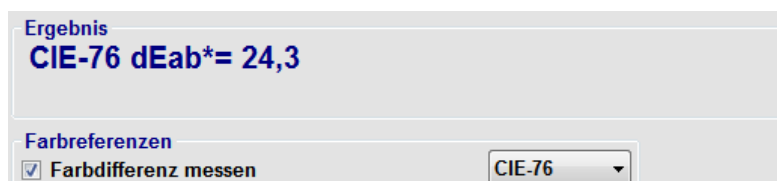


Abb. 19 : Ergebnis der Abstandsmessung

Um Verwechslungen zu vermeiden, wird die Methode der ΔE -Wertbestimmung immer mit angegeben, hier wurde ein Wert nach CIE-76 bestimmt. Sie können aber die Berechnung des ΔE -Wertes (auch nachträglich) ändern, in dem Sie einfach einen anderen ΔE -Wert aus der Liste auswählen, siehe Abbildung 20.



Abb. 20 : Anzeige anderer ΔE -Werte

Sie können nun weitere Proben messen, deren Farbabstand wird immer zu der ersten Probe bestimmt, die erste Probe ist immer die Referenzprobe.

2.3.2 Farbabstände zu gespeicherten Referenzen

Wenn Sie regelmäßig Farbabstände einer Probe zu einer Referenzfarbe messen müssen, beispielsweise eine Chargen-Farbe zu einer Produktspezifikation, ist das Vorgehen nach Kapitel 2.3.1 zu arbeitsintensiv: Bei jeder Messreihe muss einmal die Referenz gemessen werden. Für diese Anwendungen sind die Farbreferenzen gedacht. Es stehen drei unterschiedliche Verfahren zur Erstellung von Farbreferenzen zur Verfügung.

2.3.2.1 Farbreferenz aus einer Einzelmessung

Führen Sie eine normale Farbmessung Ihrer Referenzprobe durch. Sobald das Ergebnis vorliegt, siehe Abbildung 15, geben Sie in das Feld rechts neben der Funktion **Farbdifferenz messen** einen eindeutigen Namen für Ihre Farbreferenz an, siehe Abbildung 21.

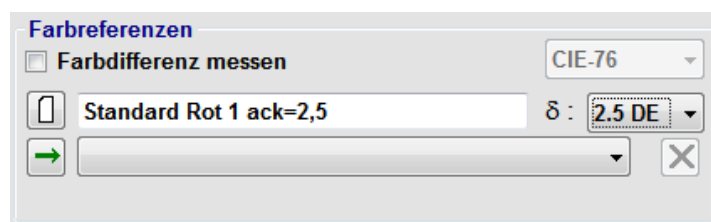


Abb. 21 : Namen für Referenz vergeben

Wenn Sie nach der Eingabe des Namens aus der Liste δ einen ΔE –Wert auswählen, fügt die PC-Software den Text „ack=“ und den gewählten ΔE –Wert an den Referenznamen an. Damit können Sie einen Schwellenwert definieren. Ist der ΔE -Wert einer Messung kleiner als dieser „ack“ Wert, wird das Ergebnis in **grüner Farbe** angezeigt, sonst in **roter Farbe**. Den Wert können Sie auch an Ihre Anforderungen anpassen. Anschließend klicken Sie auf den kleinen Schalter mit dem grünen Pfeil unterhalb des Textfeldes, siehe Abbildung 19. Dadurch wird die Farbmessung in die Referenzdatenbank sowie in die Liste neben dem Schalter eingetragen und aktiviert, siehe Abbildung 22. Die $L^*a^*b^*$ -Werte der gewählten Referenz werden angezeigt.

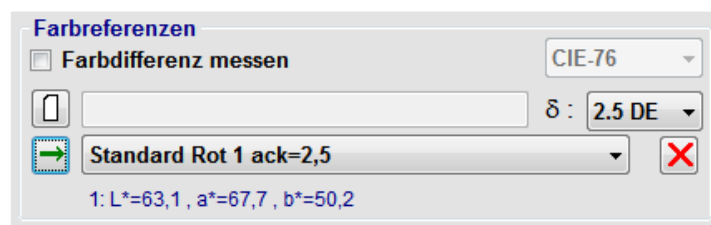


Abb. 22 : Auswählen einer Referenz

Auf diese Weise können Sie beliebig viele Farbreferenzen anlegen. Der Schalter mit dem grünen Pfeil wird automatisch deaktiviert, nachdem die Referenz gespeichert wurde. Nach einer weiteren Farbmessung ist der Schalter wieder aktiv. Dafür ist der

zweite Schalter mit dem roten X  jetzt aktiv. Dieser Schalter erlaubt es Ihnen, die aktuell eingestellte Referenz aus der Datenbank zu löschen. **Für diese Funktion benötigen Sie Administrator-Rechte!** 

2.3.2.2 Farbreferenz manuell anlegen

Wenn Sie über die Farbkennzahlen verfügen, können Sie eine Farbreferenz auch manuell anlegen. Klicken Sie dazu auf den kleinen Schalter mit dem leeren Blatt Papier  im Rahmen **Farbreferenzen**. Das Fenster *Farbstandard bearbeiten* wird geöffnet, siehe Abbildung 23:

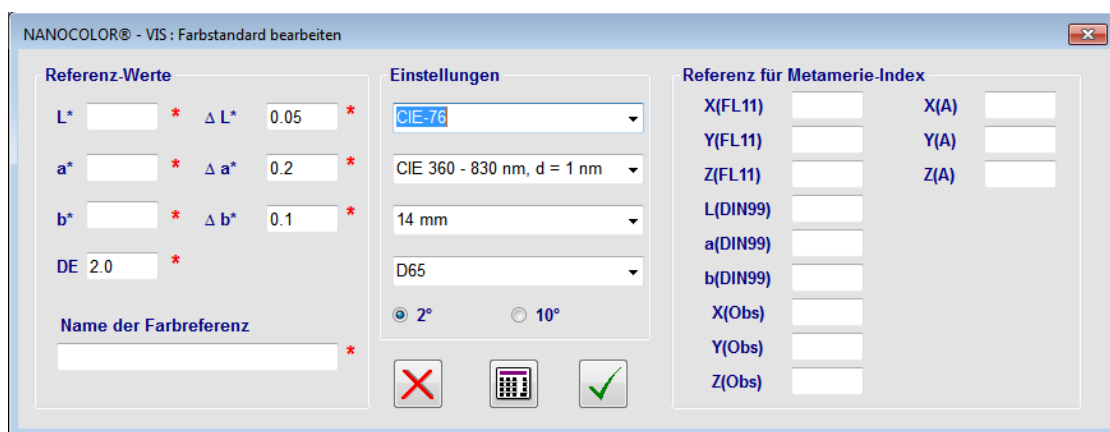


Abb. 23 : Das Fenster Farbstandard bearbeiten

Alle mit einem roten Stern * markierten Felder müssen gefüllt werden. Geben Sie die Farbkennzahlen L^* , a^* und b^* Ihrer Probe in die entsprechenden Datenfelder des Rahmens **Referenz-Werte** ein. Stellen Sie nun die erlaubte Farbabweichung als DE-Wert in das Feld **DE** ein und drücken Sie die [ENTER] Taste. Die Software berechnet automatisch die Inhalte der Felder ΔL^* , Δa^* und Δb^* .

Alternativ können Sie Ihre individuellen Fehlergrenzen in die Felder ΔL^* , Δa^* und Δb^* eingeben und durch drücken der  Taste den DE-Wert berechnen lassen.

Die Einstellungen des Rahmens **Einstellungen** werden von den Einstellungen des Fensters Farbmessungen übernommen und können nach Bedarf geändert werden.

Die Daten des Rahmens **Referenz für Metamerie-Index** werden nur benötigt, wenn Sie Metamerie-Indices berechnen müssen. Dazu führen Sie am besten eigene Messungen Ihrer Standardproben durch.

Speichern Sie die Farbteferenz mit einem Klick auf die Taste .

2.3.2.3 Farbreferenzen aus DE-Analyse erstellen

Gerade bei Naturprodukten muss man immer mit einer Schwankung der Färbung rechnen. Einen Absoluten Farbstandard kann es bei Proben dieser Art nicht geben. In diesem Fall muss man einen geeigneten Mittelwert der Farbkordinaten bestimmen und die zulässige Abweichung um diesen Mittelwert vorgeben.

Für diesen Fall ist die Funktion DE-Analyse der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** vorgesehen. Um diese Funktion zu nutzen, gehen Sie wie folgt vor:

Vor der Messung sollten Sie die Einstellungen der Farbmessung an Ihr Produkt optimieren. Wird das Produkt hauptsächlich bei Tageslicht betrachtet, sollte Lichtart D65 verwendet werden. Wird das Produkt hauptsächlich unter Leuchtstoffröhren gesehen, empfiehlt sich Lichtart FL11, bei Glühlampenlicht Lichtart A. Die Einstellung des Beobachters ist weniger relevant. Bei ganz kleinen Produkten sollte der 2° Beobachter verwendet werden.



Wichtig ist, dass Sie immer die gleichen Einstellungen für Ihre Farbdifferenz-Messung verwenden.

Messen Sie im Auftrag einer dritten Partei, ist die Einstellung nach deren Vorgabe vorzunehmen.

Messen Sie z. B. 10 Proben, die den Umfang Ihrer akzeptierten Farbabweichungen widerspiegeln. Erstellen Sie z. B. eine Probenliste und messen die 10 Proben nacheinander.

Drücken Sie nach der Messung der letzten Probe die [ALT] Taste. Im Farb-Fenster ändert sich ein Schalter, von



Klicken Sie auf diesen Schalter. Das Fenster DE-Analyse wird geöffnet, siehe Abbildung 24.

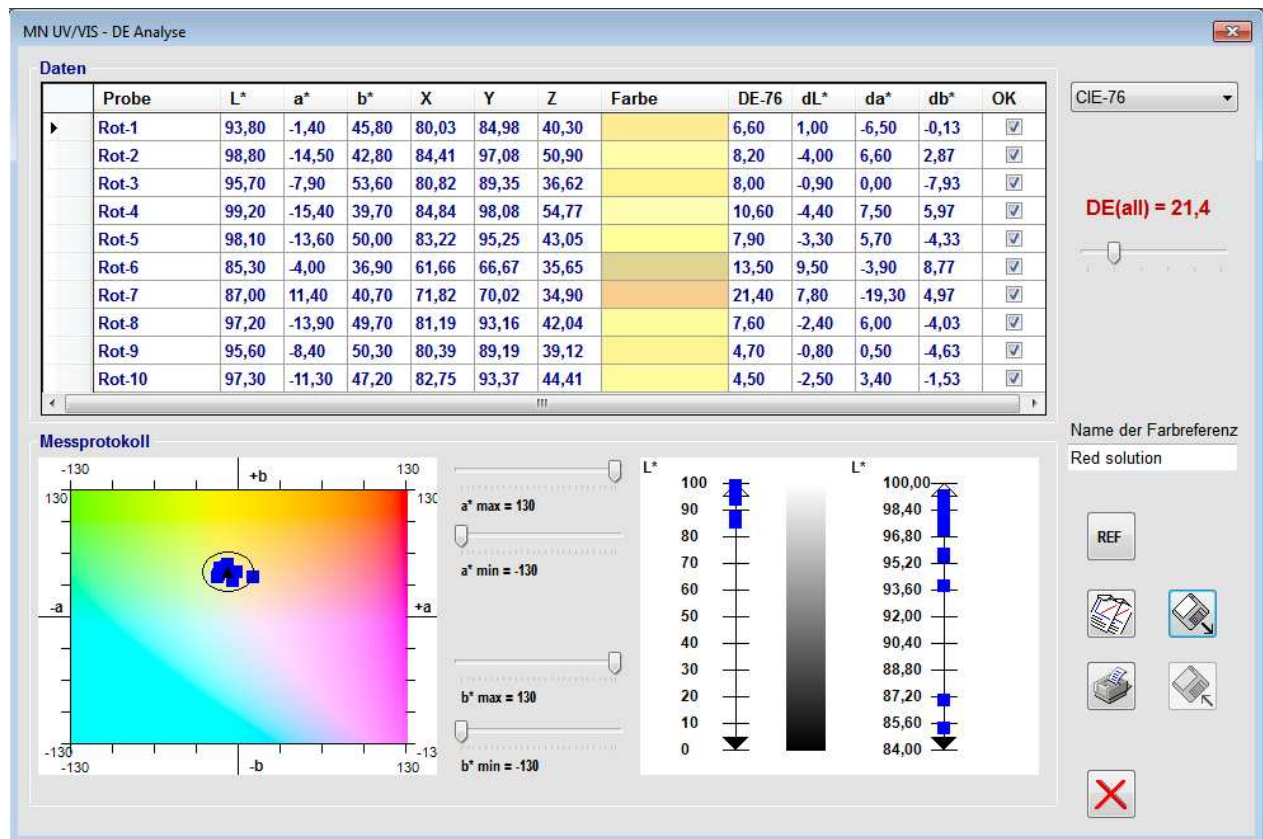


Abb. 24 : DE-Analyse

Oben im Rahmen **Daten** sehen Sie eine Tabelle mit den Messwerten gefüllt ist. Etwa in der Mitte der Tabelle befindet sich die Spalte **Farbe**. Dort wird die gemessene Farbe in etwa dargestellt. Rechts daneben befindet sich die Spalte **DE-76**. Dort wird der berechnete DE-Wert angezeigt. Die Art der DE-Berechnung können Sie hier noch ändern, indem Sie aus der Auswahlliste am rechten Rand einfach eine andere DE-Skala auswählen, sie Abbildung 25:

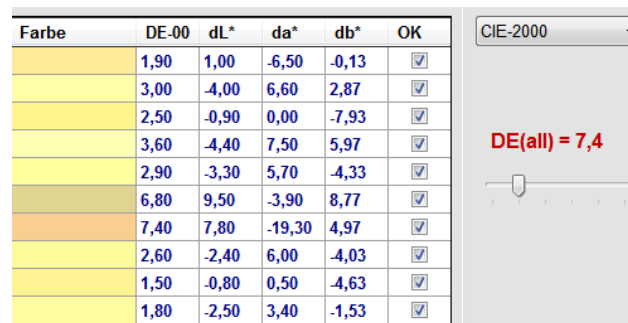


Abb. 25 : Änderung der DE-Skala

Der Mittelwert aller DE-Werte wird rechts in roter Farbe als **DE(all)** dargestellt.

Links unten werden die gemessenen Proben im Lab-Farbraum dargestellt, siehe Abbildung 26:

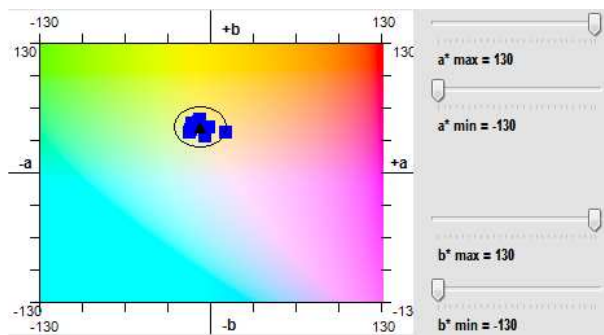


Abb. 26 : Darstellung der a,b-Ebene

Der DE-Wert kann über den Schieberegler am rechten Fensterrand angepasst werden, siehe Abbildung 27:

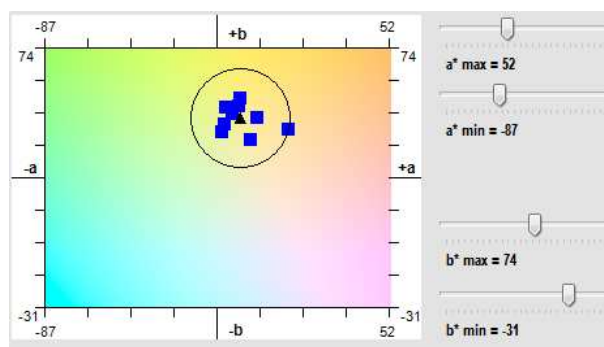


Abb. 27 : gespreizte Darstellung der a,b-Ebene

Der schwarze Kreis zeigt den Radius des gemittelten DE-Wertes an. Angezeigt wird die a,b-Ebene. Mit Hilfe der Schieberegler lässt sich das Bild geeignet spreizen, siehe Abbildung 28:

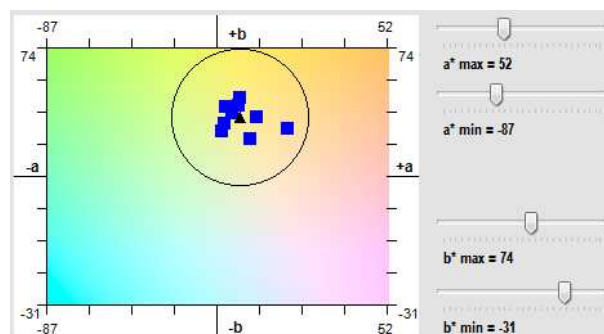


Abb. 28 : Veränderung der erlaubten DE-Abweichung

Rechts neben der a,b-Ebene wird die Helligkeit L als Zahlenstrahl von 0 % – 100 % und in einer gespreizten Darstellung angezeigt, siehe Abbildung 29:

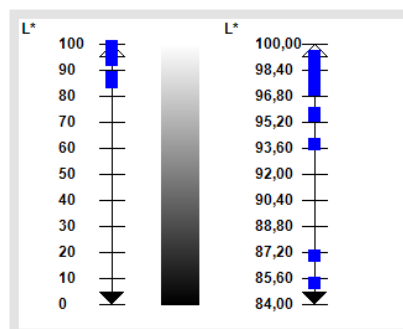


Abb. 29 : Darstellung der Helligkeit L^*

In diesem Beispiel fällt ein Messwert am rechten Rand des DE-Kreises auf, bei dem es sich offensichtlich um einen Ausreißer handelt. Der lässt sich einfach aus der Berechnung entfernen, indem in der Tabelle in der Spalte OK das Häkchen entfernt wird. Um zu bestimmen, welcher Messpunkt der a, b-Ebene welcher Zeile der Tabelle entspricht, markieren Sie einfach in der Tabelle den Zeilen-Kopf durch einen Klick mit der Maus, siehe Abbildung 30:

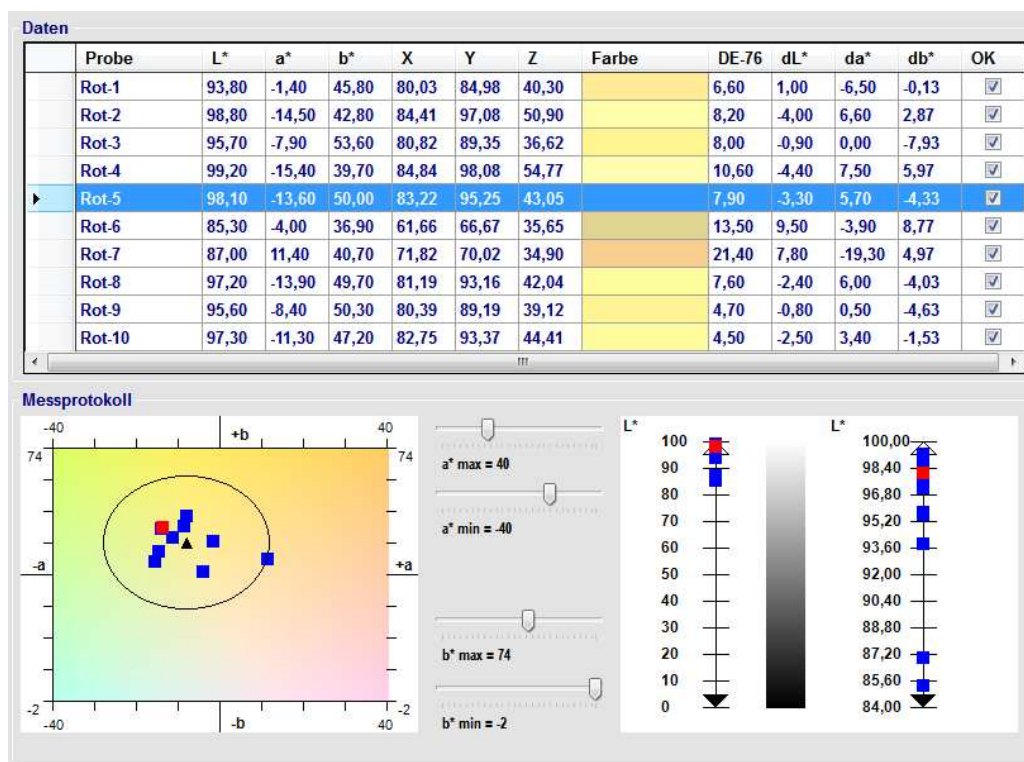


Abb. 30: Markieren einer Zeile markiert den zugehörigen Messpunkt

Der zu der markierten Zeile gehörige Messpunkt wird nun in **rot** gezeichnet. Auf diese Weise ist der Ausreißer schnell identifiziert und aus der Berechnung ausgeschlossen, siehe Abbildung 31:

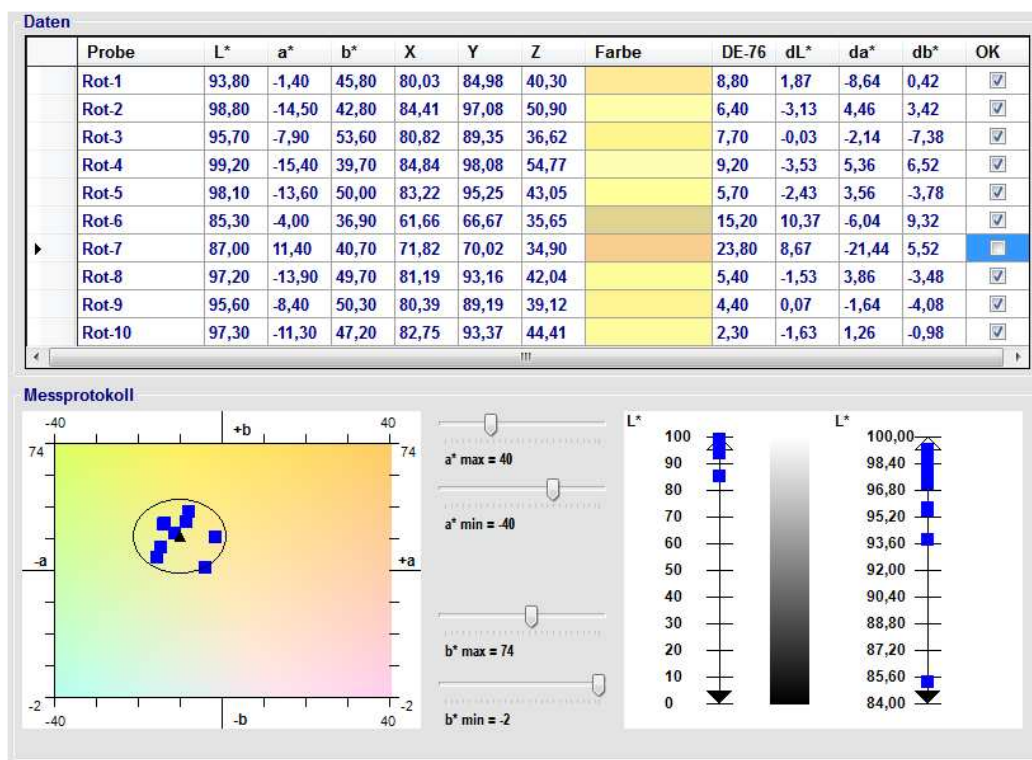


Abb. 31 : Ausreißereliminierung

Haben Sie den benötigten DE-Wert auf diese Weise ermittelt, speichern Sie die

Farbreferenz mittels des Schalters . Dazu müssen Sie einen Namen für Ihre Farbreferenz in dem Feld Name der Farbreferenz angegeben haben.

Der Schalter  kopiert das Messprotokoll in die Zwischenablage,  druckt das Protokoll aus.

Eine DE-Analyse läßt sich mittels der Schalter  und  auf dem PC speichern und wieder laden.

Ist die Farbreferenz gespeichert, kann sie über die Auswahlliste im Rahmen Farbreferenzen des Farbmessung-Fenster gewählt werden.

2.3.3 So messen Sie gegen eine Farbreferenz:

Starten Sie die PC-Software und öffnen Sie das Fenster der Farbmessung über den Menüpunkt **Messung/Farbmessung**. Aktivieren Sie die Option **Farbdifferenz messen**, siehe Abbildung 32. Öffnen Sie im Rahmen **Farbreferenzen** die Liste der gespeicherten Referenzen, siehe Abbildung 33.

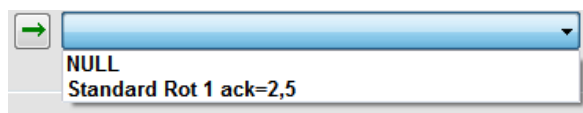


Abb. 32 : Farbreferenzen

Standardmäßig existiert eine Referenz mit dem Namen NULL. Sie entspricht der Farbe von destilliertem Wasser bei Lichtart C, 2° Beobachter, Integration von 360 nm bis 830 nm und der L*a*b* Messung. Die Farbwerte der gewählten Referenz werden am unteren Rand des Rahmens angezeigt.

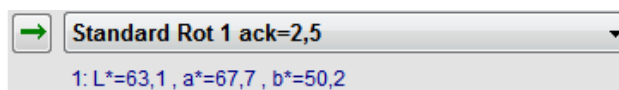


Abb. 33 : Messung gegen Referenz

Geben Sie nun in das Textfeld **Probe** die Bezeichnung Ihrer Probe ein und klicken



Sie auf den Schalter. Setzen Sie die NULL-Küvette in das Photometer und nach der NULL-Messung die Proben-Küvette. Das Ergebnis wird wie in Abbildung 34 und 35 gezeigt dargestellt.

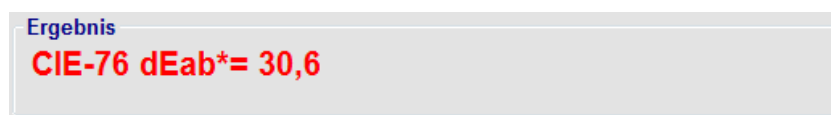


Abb. 34 : Anzeige des Ergebnisses



Farbmessung

Geometrie : 0/180, Messmethode : integral (CIE), 360 - 830 nm, d = 1 nm
Lichtquelle : D65 , Beobachter : CIE 1931 standard colorimetric observer (2°)

Anwender : WieczorrekC
Computername : NB-VISTA
Photometer : NUV0027
Datum : 04.06.2008, Uhrzeit : 14:04:20
Küvette : 14 mm, Messung Nr. : 2
Probe : Blau 8 mg

CIE 1976 (L*a*b*) Color Space nach DIN 5033, CIE S 002, CIE Publikation 15:2004
Normfarbwerte X: 50,5 (0,1000) ; Y: 66 (0,1000) ; Z: 105,7 (0,1000)
Normfarbwertanteile x: 0,2271 (0,0006) ; y: 0,2971 (0,0007) ; z: 0,4758 (0,0009)
L* : 85 (0,1000) ; a* : -30,5 (0,6000) ; b* : -23,9 (0,2000)
Cab* : 38,7 (0,6000) ; hab : 218,1° (0,7000) °

REF : Referenz 1 : Blau 10 mg/l
dL* : 6,3 ; da* : 8,7 ; db* : 7,4
dCab* : -11,5; dhab : -0,5° ; dHab* : -0,2
CIE-76 dEab* : 13,04

Abb. 35 : Messung gegen Referenz

Der Name der verwendeten Referenz wird im Messprotokoll angegeben.

2.4 Berechnung von Farbzahlen

Die Farbzahlen, die Sie mit dieser PC-Software verwenden können, werden auf unterschiedliche Weise ermittelt. Es gibt Farbzahlen, die sich einfach aus der Extinktion bei einer oder mehreren Wellenlängen berechnen lassen. Einige Farbzahlen werden aus CIE-L*a*b* oder XYZ Werten berechnet. Weiterhin gibt es Farbzahlen, für die keinerlei mathematische Definition vorliegt, da sie nur visuell definiert sind.

2.4.1 Farbzahlen, berechnet aus Extinktionen

Die europäische Bierfarbe EBC, die US-Bierfarbe ASBC, der Hess-Ives Index, die ICUMSA Zuckerfarbe und die Klett-Farbzahl (**siehe auch Kapitel 2.7**) werden aus Extinktionen berechnet.



2.4.1.1 EBC und ASBC

Die Bierfarbe nach EBC MEBAK 2.13.2 berechnet sich wie folgt aus der Extinktion bei 430 nm, gemessen in 10 mm Küvetten:

$$\text{EBC} = E_{430} * 25 * F$$

Formel 25

Dabei ist F der Verdünnungsfaktor der Bierprobe. Die US-Amerikanische Bierfarbe ASBV wird wie folgt aus der EBC-Farbe berechnet:

$$\text{ASBC} = \text{EBC} * 0,375 + 0,46$$

Formel 26

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.1.2 Hess-Ives Farbzahl

Die Hess-Ives Farbzahl wird aus vier Extinktionen bei den Wellenlängen 640 nm, 560 nm, 470 nm und 460 nm wie folgt berechnet:

$$H-I = \frac{(R + G + B) * 6}{d}$$

$$R = 43,45 * E_{640}$$

$$G = 162,38 * E_{560}$$

$$B = 22,89 * \frac{E_{460} + E_{470}}{2}$$

Formeln 27 - 30

Dabei ist d die Schichtdicke in mm.

2.4.1.3 ICUMSA Zuckerfarbe

Die Färbung von Zuckerlösungen wird nach ICUMSA GS1/3-7 wie folgt aus der Extinktion bei 420 nm berechnet:



$$ICUMSA420 = 1000 * \frac{E_{420, 50\text{ Brix}}}{c * b}$$

Formel 31

Dabei ist c die Konzentration der Zuckerlösung in g/mL und b die Schichtdicke in cm.
NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.1.4 Klett-Farbzahl

Die Farbe nach Klett wird aus der Extinktion bei 417 nm und einer Schichtdicke von 50 mm wie folgt berechnet. **Siehe auch Kapitel 2.7.**

$$\text{Klett} = 484,23 * E_{417}$$

Formel 32

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.2 Farbskalen, berechnet aus Lab oder XYZ Werten

Für die Gardner-Farbzahl besteht eine DIN EN ISO Umrechnungsmethode aus CIE-L*a*b* Werten. **Damit ist sie die einzige Farbzahl, für die normierte Rechenvorschriften existieren!** Weiterhin werden die ASTM-Farbzahl und die Saybolt-Farbzahl aus L*a*b* Werten berechnet. Die ADMI-Farbzahl ist über ΔE-Werte von Platin-Kobalt-Lösungen gegen Wasser definiert.

2.4.2.1 Gardner-Farbzahl

Die Gardner-Farbzahl kann für alle Färbungen angewendet werden und reicht von 1 (hellster Wert) bis 18 (dunkelster Wert) und wird in 10 mm Küvetten gemessen. Die Gardner-Farbzahl wird über die CIE-Normfarbwertanteile x und y definiert. Die ganzen Farbzahlen werden über eine Kalibrierung definiert und die Nachkommastellen über eine komplizierte Berechnung aus den x- und y-Werten des folgenden und des zurückliegenden Messpunktes berechnet. Genauere Informationen entnehmen Sie bitte EN ISO 4630-2.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.2.2 ASTM-Farbzahl

Die ASTM-Farbzahl wird über CIE-Normfarbwerte X, Y, Z definiert und ist daher für alle Färbungen geeignet. Sie geht von 0,5 (hellster Wert) bis 8 (dunkelster Wert) in Schrittweiten von 0,5. Liegt der Messwert zwischen zwei Werten wird als Farbwert



der dunklere Wert mit einem vorangestelltem „L“ (für lower) angeben. Die vorliegende Kalibrierung gilt für 32,5 mm Küvetten. Sie können 20 mm oder 50 mm Küvetten verwenden, die Software rechnet die Messwerte automatisch auf 32,5 mm Schichtdicke um.

$$ASTM = 0,25 + 0,8695 * (\Delta X + \Delta Y + \Delta Z)$$

$$\Delta X = -\log\left(\frac{X}{98,074}\right)$$

$$\Delta Y = -\log\left(\frac{Y}{100}\right)$$

$$\Delta Z = -\log\left(\frac{Z}{118,232}\right)$$

Formeln 33 - 36

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.2.3 Saybolt-Farbzahl

Die Saybolt-Farbzahl kann für alle Färbungen angewendet werden und reicht von -16 (hellster Wert) bis +30 (dunkelster Wert) und wird in 50 mm Küvetten gemessen. Die Saybolt-Farbzahl wird aus CIE $L^*a^*b^*$ -Werten wie folgt berechnet.

$$Saybolt = \alpha + \left(\frac{\beta}{\log_{10} \Delta E - \Theta}\right)$$

$$\alpha = 51,1 \quad \beta = 44,5 \quad \Theta = 2,55$$

$$\Delta E = \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Formeln 37 - 40

Dabei hat der Anwender die Möglichkeit, die Parameter α , β , Θ durch eigene Kalibrierungen zu ersetzen, siehe Kapitel 2.2, Seite 14.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.2.4 ADMI-Farbzahl

Die ADMI-Farbzahl ist wie die PtCo Farbskala auf die Färbung von Hexachloroplatinat-Lösungen definiert. Sie wird in 50 mm Küvetten gemessen. Um aber auch Färbungen messen zu können, die nicht im gelb-orange Bereich liegen, werden für die Kalibrierung nicht die CIE $L^*a^*b^*$ -Werte genommen, sondern die ΔE -Werte der PtCo Lösungen gegen Wasser. Eine Lösung mit 50 ADMI-Einheiten weißt



also den gleichen ΔE -Wert wie eine Hazen/APHA/PtCo Standardlösung mit 50 mg/l Pt auf, kann aber auch rot, grün oder blau gefärbt sein. Dabei werden die ADMI-Werte nicht durch Vergleiche mit der PtCo Kalibrierung gewonnen, sondern über ein Polynom 4. Grades berechnet.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.2.5 Yellowness-Index

Der Yellowness-Index berechnet sich aus CIE-XYZ Werten. Obwohl er damit für alle Färbungen berechnet werden kann, ist er nur für gelbe Farbtöne definiert. Für den Yellowness-Index gilt :

$$Y-I = \frac{100 * (C_X * X - C_Z * Z)}{Y}$$

Formel 41

Rein „weiße“ Proben haben einen Y-I Wert von 0. Gelb-Rote Farbtöne geben positive Y-I Werte. Die Parameter C_X und C_Z sind dabei von der gewählten Lichtart und dem Beobachter abhängig.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.2.6 Hazen/APHA/PtCo-Farbzahl

Die Hazen/APHA/PtCo-Farbzahl erfasst den Farbbereich von farblos (< 1) bis hell gelb-orange (500). Sie ist über Lösungen von Hexachloroplatinat in salzsaurem Wasser definiert und wird in mg/l Pt angegeben. Die Messung erfolgt in 50 mm Küvetten. Photometrisch wird die Platin-Kobalt Farbzahl nach ASTM D 5386-05 aus dem Yellowness-Index nach ASTM E 313 berechnet.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.3 Visuelle Farbskalen

Die Farbzahlen Hazen/APHA/PtCo, Iod-Farbzahl und die Ph. Eur. Farbzahl sind nur visuell definiert. Die PC-Software führt eine Annäherung der gemessenen CIE- $L^*a^*b^*$ Werte an eine Kalibriertabelle durch („Schätzung“).

2.4.3.1 Iod-Farbzahl

Die Iod-Farbzahl erfasst den Farbbereich von farblos über gelblich bis dunkelbraun und wird in 10 mm Küvetten gemessen. Die Werte nach DIN 6162 gehen von 10 (hellgelb) bis 100 (braun). Dabei werden Proben mit Lösungen verglichen, die 10 mg, 20 mg, 30 mg, 40 mg usw. Iod in 100 ml Kaliumiodidlösung enthalten. Zwischenwerte



werden nicht angegeben, können aber vereinbart werden. Die Verwendung der Iod-Farbzahl setzt voraus, dass die Probe eine Färbung aufweist, die der Iodfarbe „ähnlich“ ist. Die Iod-Farbzahl wird in mg Iod / 100 ml Lösung angegeben.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.4.3.2 Ph. Eur. Farbzahl

Die europäische Pharmacopoe definiert drei Farbstandards für rot (Kobaltchlorid/HCl), blau (Kupferchlorid/HCl) und gelb (Eisen(III)chlorid/HCl). Daraus werden fünf Farbreihen für die Farben rot, braun, braun-gelb, gelb und gelb-grün gemischt. Diese werden dann weiter verdünnt. Erfasst werden eher helle Färbungen. Die Farbe wird z.B. als R3 oder GG5 angegeben. Dabei beschreiben die Buchstaben die Farbreihe: R = rot, B = braun, BG = braun-gelb, G = gelb, GG = gelb-grün und die Nummer die Lösung nach Ph. Eur. 2.02.02. Die kräftigste Farblösung hat immer die Ziffer 1. B geht von B1 bis B9, alle anderen Farblösungen nur bis 7. Eine Unterscheidung der hellen Lösungen B9, GG7 und G7 ist auch mit einem Photometer schwierig. Die Ph. Eur.-Farbzahl wird in 50 mm Küvetten gemessen.

NULL-Referenz ist dest. Wasser.

2.5 Bestimmung einer visuellen Farbskala

Im Folgenden wird beispielhaft beschrieben, wie die **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** Proben mit visuellen Farbskalen vergleicht. Als Beispiel soll die Iod-Farbzahl (IFZ) dienen. Analoges gilt auch für die Pt/Co-Farbzahl und die Pharmacopoe-Färbungen (siehe 2.4.3).

Abbildung 36 zeigt die Kalibrierfunktion der Iod-Farbzahl nach CIE-L*a*b* Werten. Die blauen Punkte entsprechen den durch die DIN bestimmten Lösungen, die Konzentration in mg I₂ pro 100 ml Kaliumiodidlösung ist neben den Punkten als Zahl angegeben. Die Zeichnung ist eine Projektion auf die a*,b*-Ebene. Die Kalibrierfunktion ist eine Spirale im Raum, L* steigt von Werten um 50 bei IFZ 100 bis auf Werte um 100 bei IFZ 1.

Iodfarbzahl 20 mm CIE-Lab

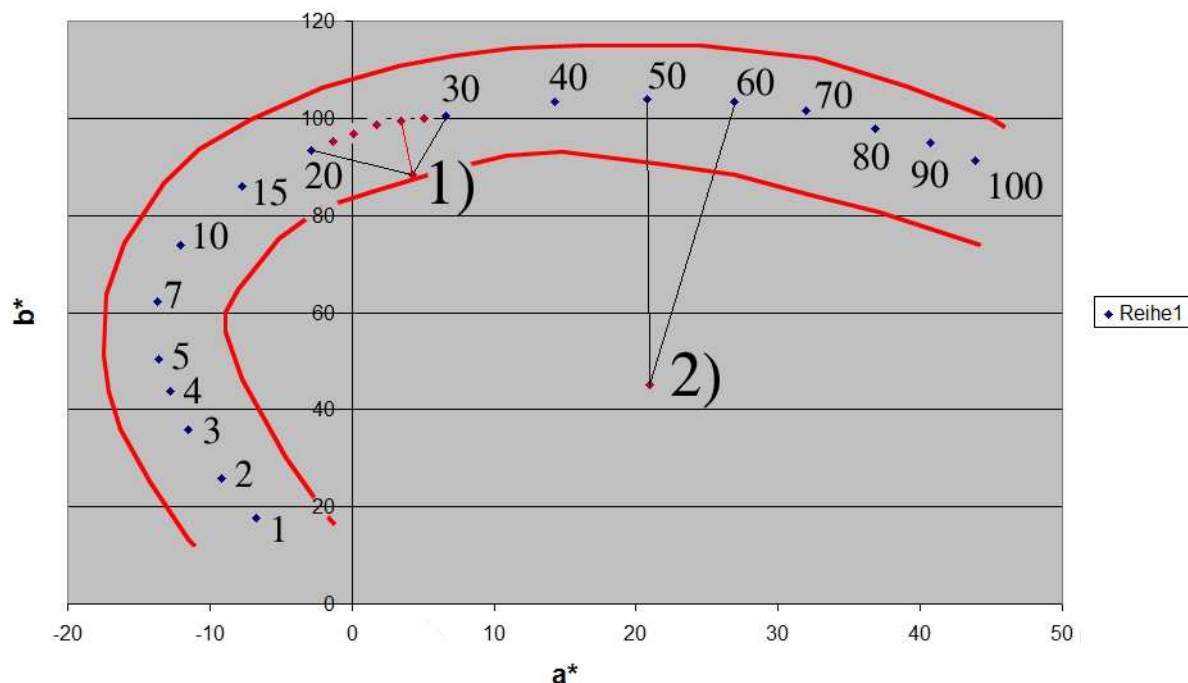


Abb. 36 : Kalibrierung der Iod-Farbzahl nach CIE-L*a*b* Werten

Die **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** bestimmt um die Kalibrierfunktion einen 20%-Schlauch, der in der Grafik als rote Linien dargestellt ist. Liegen die gemessenen Farbwerte der Probe innerhalb dieses Schlauches, bestimmt die Software die zwei vektoriell nächsten Punkte der DIN Kalibrierung. Das ist in der Grafik durch die zwei schwarzen Linien bei Punkt 1) dargestellt. Die Farbe der Probe liegt also zwischen IFZ 20 und IFZ 30. Dann wird der Abstand zwischen IFZ 20 und IFZ 30 in 10 gleich lange Teilstücke geteilt (angedeutet durch die roten Punkte) und der kürzeste Abstand zu diesen Punkten gesucht (rote Linie). Dieser Punkt wird als Ergebnis in der Form „**IFZ = 26**“ zurückgegeben.

Liegt der Messpunkt außerhalb des 20% Schlauches, wie bei Punkt 2), wird die Iod-Farbzahl in der Form „**Färbung entspricht nicht der Jodfarbe, nächste Übereinstimmung IFZ = 50**“ zurückgegeben. In wie weit es Sinn macht, für eine Färbung wie Punkt 2) eine Iod-Farbzahl anzugeben, muss der Anwender selber entscheiden. Die DIN EN Vorschriften für die Jod- und Hazen-Farbzahl geben an, dass die Farbzahl nicht verwendet werden soll, wenn die Färbung der Probe von der Färbung der Kalibrierreihe abweicht.

Werden Farbwerte $b^* < 0$ und/oder $a^* < -25$ gemessen, wird „**außerhalb des Messbereichs**“ zurückgegeben.

2.6 Besonderheit der Farbzahl nach Ph. Eur. Kap. 2.2.2

Wenn Sie die Ph. Eur. Farbskala ausgewählt haben, erscheint nach dem Klicken auf den Schalter  ein Fenster, in dem Sie die für den Vergleich zu verwendende Farbreihe auswählen können (Abbildung 37).

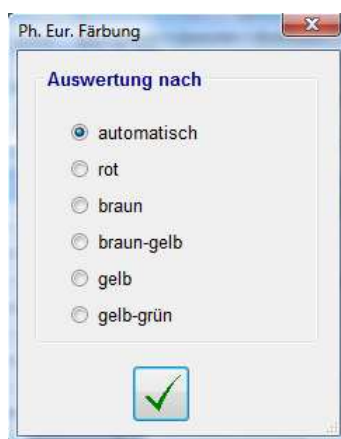


Abb. 37 : Auswahl der Ph. Eur. Farbreihe

Sie können mit der Option **automatisch** über alle Farbreihen vergleichen oder eine einzelne Reihe über die Optionsschalter **rot** , **braun** , **braun-gelb** , **gelb** und **gelb-grün** auswählen. Ein Ergebnis wird in Abbildung 38 gezeigt.



Abb. 38 : Ph. Eur. Farbmessung

Die Probe aus obigem Beispiel liegt also zwischen der Ph. Eur. Farblösung Braun-Gelb 6 und Gelb 6, der kürzeste Abstand zu Lösung BG6 oder G6 beträgt 1,0 ΔE Einheiten. Liegt die Prüflösung deutlich näher BG6 (oder G6) wird das Ergebnis in der Form **Ph. Eur. = BG-6, delta = 1,25** angezeigt (Beispiel).

2.7 Besonderheiten der Klett-Farbzahl

Die Klett-Farbzahl ist eine der ältesten photometrischen Farbzahlen überhaupt. Sie wird mit einem amerikanischen Klett-Summerson Photometer gemessen. Diese Photometer werden seit etwa 1930 nahezu unverändert gebaut und sind auch heute noch als Neugerät erhältlich. Diese Photometer arbeiten mit einfachen Glasfiltern. Im Gegensatz zu den ersten europäischen Photometern wird als Messwert nicht die Transmission oder Extinktion, sondern ein Wert auf einer **willkürlichen logarithmischen Skala** von 1 bis 1000, der Klett-Skala, angegeben. Diese Skala folgt dem Lambert-Beer Gesetz und ist somit proportional der Konzentration. Die

Glasfilter der Klett-Summerson Photometer sind nach der Wellenlänge ihrer größten Transmission sortiert und werden z. B. mit „KS-42“ bezeichnet. Wenn Sie die Klett-Farbzahl ausgewählt haben, erscheint unterhalb der Liste mit den Farbzahlen eine weitere Liste, aus der Sie den Klett-Filter auswählen können, siehe Abbildung 39.

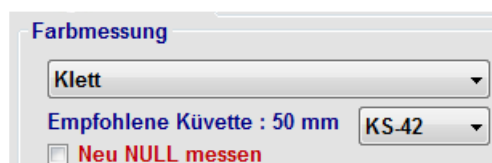


Abb. 39 : Einstellen des Klett-Summerson Filters

Der Filter KS-42 hat bei etwa 420 nm seine größte Lichtdurchlässigkeit und ist gleichzeitig der Klett-„Standardfilter“.

Aufgrund der Eigenschaften von Farbgläsern haben diese Filter einen relativ großen Durchlassbereich, der Filter KS-42 etwa lässt Licht im Bereich von 400 bis 450 nm durch. **Die originale Klett-Zahl ist also ein integraler Messwert über einen Bereich von etwa 50 nm.**

Die **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** versucht, diese Filtereigenschaft durch unsymmetrische Gauss-Kurven anzunähern.

Gängige Farbmessgeräte des Handels bestimmen die Klett-Zahl dagegen aus der Extinktion bei der Wellenlänge der größten Transmission des jeweiligen Klett-Summerson Filters (bei KS-42 sind das 417 nm).

Daher wird die Klett-Farbzahl nach beiden Verfahren angegeben, siehe Abbildung 40:

Klett 417 nm = 357 , KS-42 = 361

Abb. 40 : Anzeige der Klett-Farbzahl

Der erste Wert, *Klett 417 nm = 357* entspricht der Extinktionsmessung, der zweite Wert, *Klett KS-42 = 361* entspricht der Integralmessung. In obigem Beispiel liegen beide Messwerte extrem nah beieinander. Hier wurde eine Pt-Co Lösung gemessen, damit wurden beide Verfahren kalibriert. Liegt eine von Platin-Kobalt abweichende Färbung vor, können deutlich unterschiedliche Werte auftreten, wie Abbildung 41 am Beispiel einer Chromatlösung zeigt.

Klett 417 nm = 708 , KS-42 = 739

Abb. 41 : Extinktionsmessung und Integralmessung



Klett Photometer werden bis heute in der Bioanalytik zur Wachstumskontrolle von Zellkulturen verwendet. Dabei handelt es sich nicht um eine Absorptionsmessung sondern um eine Streulichtmessung. Da die Messung von Streulicht von der Geometrie des Messgerätes abhängt, kann die mit der **NANOCOLOR® Spektrometer-Software** bestimmte Klett-Zahl nicht für die Kontrolle von Zellkulturen verwendet werden!



3 Anhang

3.1 Messmethoden und Referenz

Bei jeder Farbbestimmung werden die Normfarbwerte und Normfarbwertanteile nach Vorgabe der Internationalen Beleuchtungskommission CIE, Publikation *CIE 15:2004, 3rd Edition*, berechnet. **Folgende Farbwerte werden direkt aus X, Y, Z oder x, y, z Daten berechnet :**

XYZ, xyz, $L^*a^*b^*$ und $L^*u^*v^*$ nach *CIE 15:2004, 3rd Edition*.

Hunter-Lab nach *HunterLab Application Note „Hunter Lab Color Scale“, August-1-15, 1996 Vol. 8, No. 9*

Gardner-Farbzahl nach *DIN EN ISO 4630-2*

Yellowness-Index nach *ASTM E313* und *ASTM D1925* (veraltet)

RGB, CMYK, YUV, HSB, HSL nach www.bruceindbloom.com

ASTM-Farbzahl nach *ISO 2049*

Saybolt-Farbzahl nach *ASTM D156, D6045*

Hazen/APHA/Pt-Co Farbzahl nach *ASTM D 5386-05*

Folgende Farbwerte werden aus Extinktionen bei bestimmten Wellenlängen berechnet:

ICUMSA Zuckerfarbe nach *ICUMSA Methode GS1/3-7, GS2/3-9 und GS2/3-10*

Bierfarbe EBC (*Brautechnische Analysenmethoden Bd. 2, EBC 9.4, MEBAK 2.16.2*) und ASBC.

Hess-Ives nach DGK- Prüfmethode F 050.2

Folgende Farbzahlen sind auf CIE- $L^*a^*b^*$ - Farbwerte kalibriert:

Iodfarbzahl nach *DIN 6162*

Ph. EUR. Färbung nach *Ph. Eur. 2.2.2*



3.2 Unterschiede zu anderen Farbmessgeräten

Die meisten kommerziellen Farbmessgeräte messen aus Geschwindigkeitsgründen nur den Wellenlängenbereich 360 nm bis 780 nm, teilweise nur bis 720 nm, bei einer Schrittweite von 10 nm.

Die **NANOCOLOR® Spektrometer** hält sich streng an die Empfehlungen der CIE: 360 nm bis 830 nm, Schrittweite 1 nm. Daher können **geringfügig** andere Werte für $L^*a^*b^*$ gemessen werden als mit anderen kommerziellen Geräten. Diese Werte sind nicht falsch, sie sind genauer. Im Mittel wurden folgende Unterschiede beobachtet

- L* unter 1%
- a* bis 2% bei roten Lösungen, sonst unter 1%
- b* bis 5% bei grünen Lösungen, 2% bei gelben Lösungen, sonst um 1%

3.3 Messgeschwindigkeit

Die **NANOCOLOR® Spektrometer** sind keine Farbmessgeräte sondern vollwertige Spektralphotometer, Farbmessgerät und Nephelometer. Diese Geräte wurden nicht auf Geschwindigkeit sondern auf Präzision und Vielseitigkeit entwickelt. Da die **NANOCOLOR® Spektrometer** auch die CIE Empfehlungen korrekt umsetzen, dauert die Messung länger als bei anderen Farbmessgeräten. Eine Farbmessung (NULL oder Probe) dauert bei einer Integration von 360 bis 830 nm etwa 30 s.

3.4 Kombinationen von Lichtart, Beobachter und Küvettengröße

Für eine absolute Farbmessung sind alle Küvettengrößen, Lichtarten und Beobachter erlaubt, solange die eingestellten Parameter im Messprotokoll aufgeführt werden (siehe CIE Publikation).



Unterschiedliche Lichtarten, Beobachter oder Küvettengrößen führen natürlich zu unterschiedlichen Messergebnissen!

Tabelle 1 gibt für jede Farbzahl/Farbskala die erlaubten Werte für Lichtart, Beobachter und Küvettengröße an. Die Küvettengröße gibt den Innendurchmesser bzw. die Schichtdicke an. Bei der 14 mm Küvette handelt es sich um die **NANOCOLOR®** Rundküvette, alle anderen Küvettengrößen bezeichnen Rechteckküvetten. Die letzte Spalte der Tabelle „nach Norm“ bezeichnet die in der entsprechenden Norm (siehe 3.1) vorgeschriebene Schichtdicke. Einige Farbzahlen können mit allen Küvettengrößen gemessen werden, auch wenn die Norm eine spezielle Größe vorschreibt. Ist als Norm-Größe ein Minus (-) eingetragen, wird entweder in der Norm keine Größe vorgeschrieben oder bei der Berechnung wird das Ergebnis durch die Schichtdicke geteilt. Ist in der Spalte *Beobachter* oder *Lichtart* ein Minus (-) eingetragen, wird die Farbzahl aus Extinktionen und nicht aus Farbwerten berechnet, diese Einstellung spielt dann keine Rolle.



Für exakte Farbmessungen kann die 14 mm Rundküvette nicht empfohlen werden.



Farbmessung	Beobachter	Lichtart	Küvette mm ID	nach Norm mm ID
Normfarbwerte	2°, 10°	A, C, D65, D50, D55, D75	10, 14, 20, 50	-
Normfarbwertanteile	2°, 10°	A, C, D65, D50, D55, D75	10, 14, 20, 50	-
CIE-L*a*b*	2°, 10°	A, C, D65, D50, D55, D75	10, 14, 20, 50	-
CIE-L*u*v*	2°, 10°	A, C, D65, D50, D55, D75	10, 14, 20, 50	-
Hunter-Lab	2°, 10°	A, C, D65, D50, D55, D75	10, 14, 20, 50	-
PtCo/Hazen/APHA	2°	C	10, 14, 20, 50	50
Jod	2°	C	10, 14, 20, 50	10
Gardner	2°	C	10	10
Hess-Ives	-	-	10, 14, 20, 50	-
Yellowness-Index	2°	C	10, 14, 20, 50	-
Yellowness-Index E313	2°, 10°	D65, C	10, 14, 20, 50	-
Bierfarbe EBC	2°	C	10	10
Bierfarbe ASBC	2°	C	10	10
ICUMSA Zuckerfarbe	-	-	10, 14, 20, 50	10, 20, 50
ADMI Color	2°	D65	10, 14, 20, 50	10, 50
ASTM Farbzahl	2°	C	10, 14, 20, 50	32,5
Saybolt Farbzahl	2°	C	10, 14, 20, 50	50
Ph. Eur.	2°	C	50	12, 16
Klett	2°	C	10, 50	-

Tab. 1 : Erlaubte Kombinationen von Lichtart, Beobachter und Küvettentyp

3.5 Verwendung eigener Lichtarten

Die **NANOCOLOR® Spektrometer Software** ermöglicht Ihnen die Verwendung selbstdefinierter Lichtarten. Um eine eigene Lichtart zu verwenden, müssen Ihnen die spektralen Daten dieser Lichtart im 1 nm Raster zur Verfügung stehen. Sie finden im Unterverzeichnis *cielab* Ihrer Software die Datei *custom_radiation.txt*. Öffnen Sie die Datei mit einem Texteditor. Im Folgenden sind die ersten Zeilen dieser Datei angegeben.

```
ILLUMINANT_INFORMATION_FILE
ILLUMINANT_NAME: D65
CIE_1931_OBSERVER: 95.04;100;108.88
CIE_1964_OBSERVER: 94.81;100;107.32
360; 46.6383
361; 47.1834
362; 47.7285
363; 48.2735
364; 48.8186
365; 49.3637
```

Die Datei enthält die Daten der Lichtart D65 als Beispiel. Ersetzen Sie das D65 durch den Namen, den Sie verwenden möchten. In der dritten Zeile müssen Sie die Zahlen 95.04; 100; 108.88 durch die Normfarbwerte Ihrer Lichtart für den 2° Beobachter ersetzen. In der vierten Zeile werden die Normfarbwerte des 10° Beobachters eingesetzt.

Nun folgen 470 Zeilen, in die Sie die relative spektrale Energie Ihrer Lichtart eintragen müssen.

Um Ihre Lichtart für eine Farbmessung zu verwenden, aktivieren Sie einfach die Funktion **Custom** im Rahmen **Lichtquelle** Ihrer Software.

Wenn die Software die Datei *custom_radiation.txt* im Verzeichnis *cielab* findet, werden die Daten dieser Datei für die Berechnung verwendet.

3.6 Visualisierung der Tristimulus Funktionen

Mit dieser Funktion lässt sich das Prinzip der Farbmessung an einem realen Beispiel gut visualisieren. Um diese Funktion zu nutzen, führen Sie bitte eine beliebige



Farbmessung durch und klicken dann auf den Schalter . Es öffnet sich das Farbspektrum-Fenster, siehe Abbildung 42:

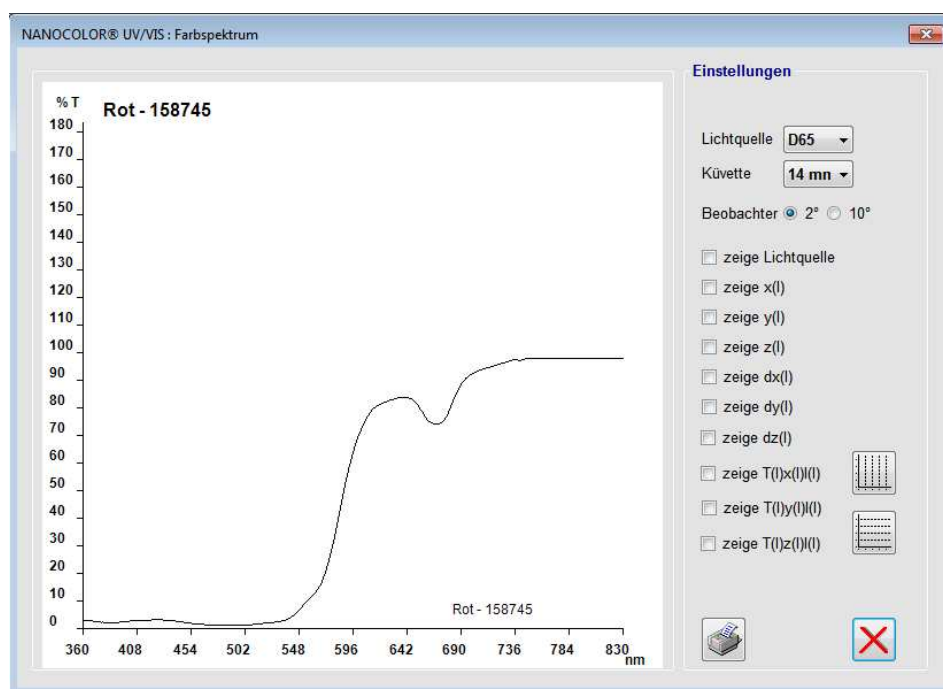


Abb. 42 : Farbspektrum

Die angezeigte Kurve ist die Transmissionskurve der letzten Farbmessung. Hier wurde eine rote Farblösung gemessen : hohe Transmission im roten Spektralbereich, niedrige Transmission im grün-blauen Bereich. Aktivieren Sie die Funktion **zeige Lichtquelle** . In der Grafik wird nun zusätzlich die relative Energiekurve der verwendeten Lichtquelle eingeblendet, siehe Abbildung 43.

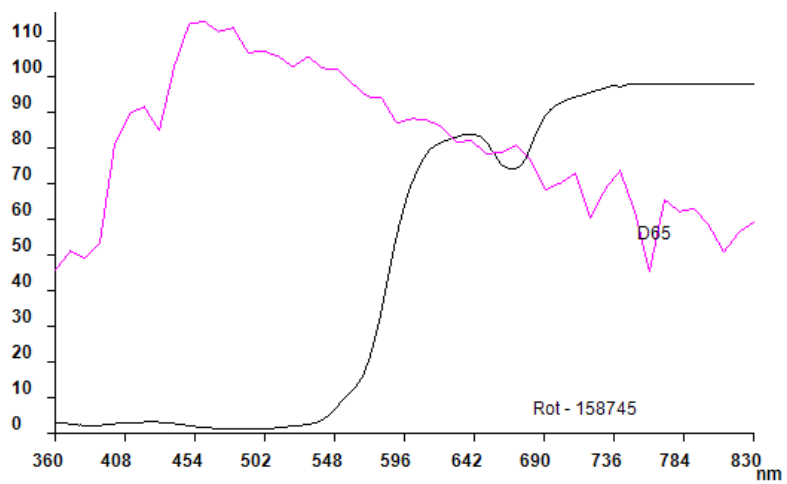


Abb. 43 : Einblenden der Lichtquelle

Wenn Sie unterschiedliche Lichtquellen miteinander vergleichen möchten, können Sie aus der Liste Lichtquelle eine andere Lichtart zu der bei der Messung verwendeten Lichtart einblenden, siehe Abbildung 44.

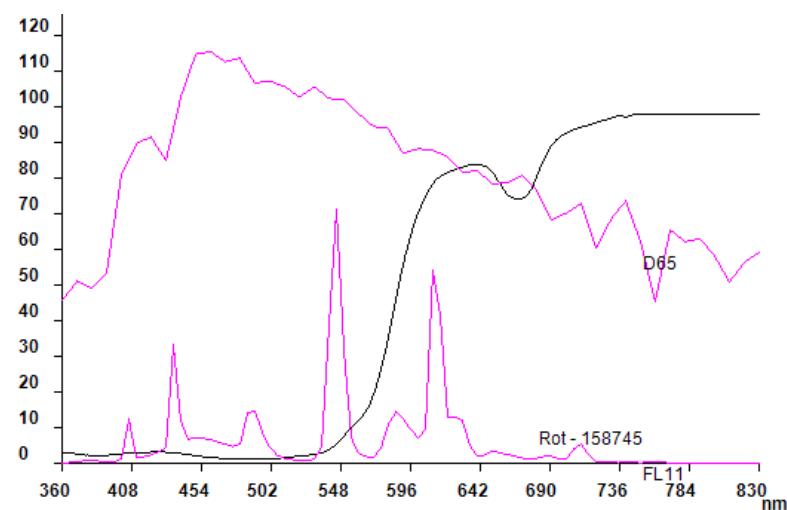


Abb. 44 : Einblenden weiterer Lichtquelle, hier FL11

Mit den Funktionen zeige x(i), zeige y(i) und zeige z(i) werden die Tristimulus-Funktionen der Seh-Zäpfchen eingeblendet, siehe Abbildung 45:

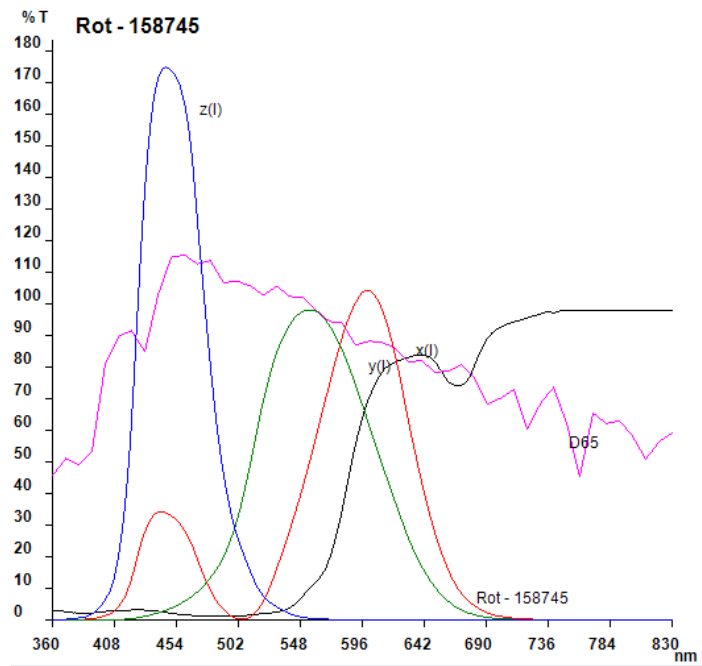


Abb. 45 : Einblenden der Tristimulus-Funktionen

Die Farbkoordinaten X, Y, Z sind die Integrale über die Funktionen

Tristimulus-Funktion-a(l) X Transmission(l) X relative Lichtenergie(l).

Auch diese Funktionen können eingeblendet werden über die Optionsschalter **zeige $T(l)x(l)I(l)$** , **zeige $T(l)y(l)I(l)$** und **zeige $T(l)z(l)I(l)$** , siehe Abbildung 46.

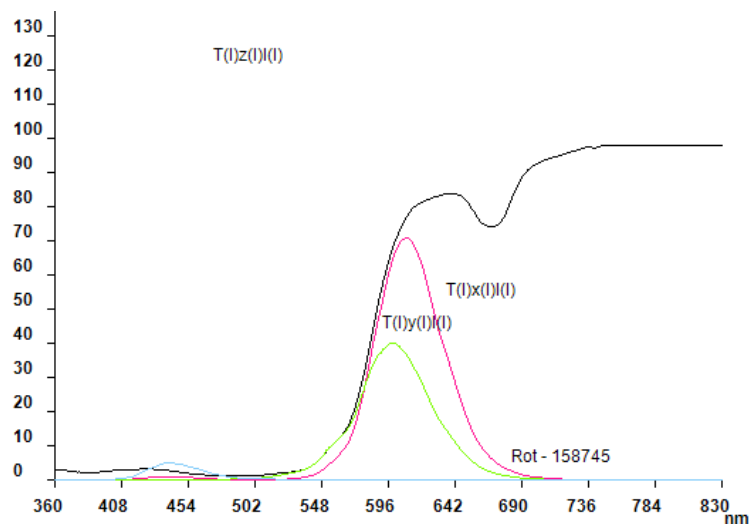


Abb. 46 : Einblenden der Produktfunktionen