

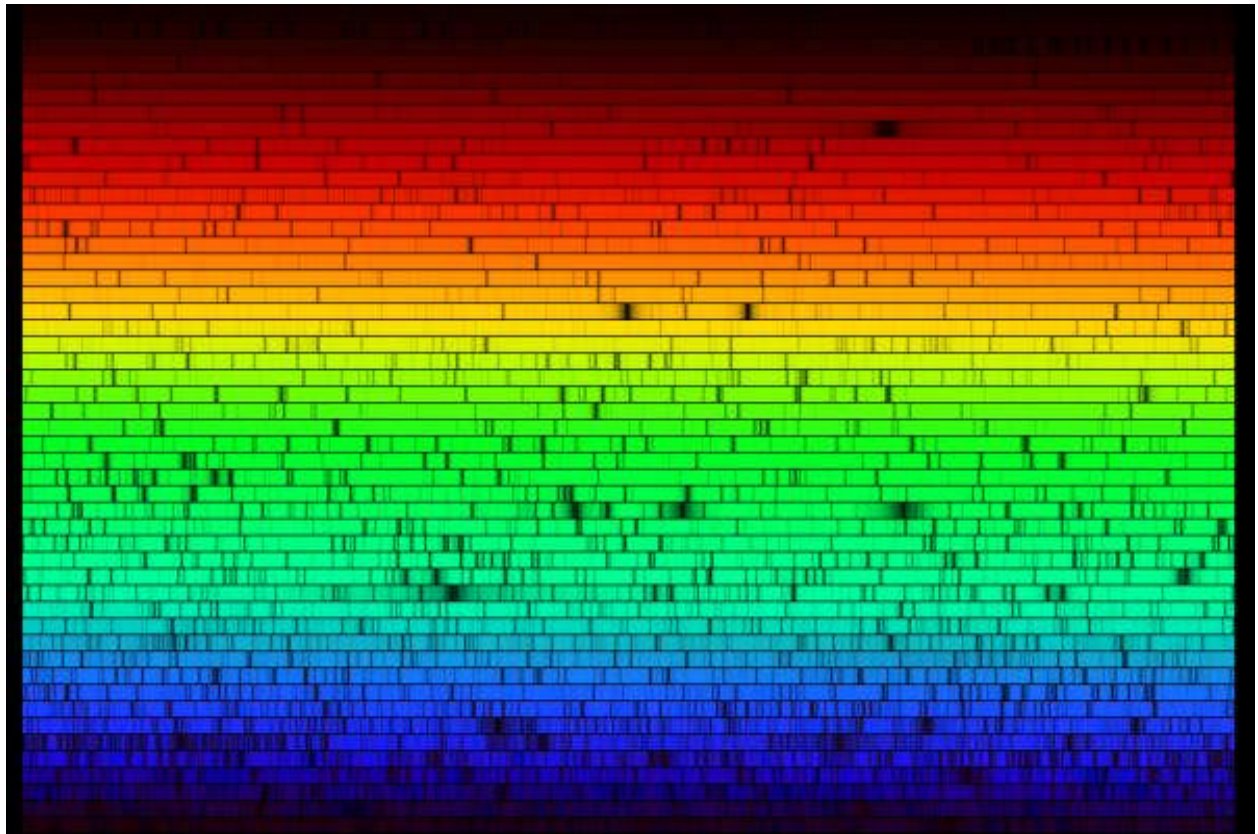


ISSN 1860-2835

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

Verantwortlich: Dr. Gerhard Rösler





*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe*

Inhaltsverzeichnis Report 01 2007

<i>Impressum.....</i>	<i>2</i>
<i>Liebe Farbgemeinde,.....</i>	<i>3</i>
<i>Protokoll der Mitgliederversammlung der DfwG am 27. September 2006 in Dresden.....</i>	<i>4</i>
<i>Kassenbericht 2006.....</i>	<i>7</i>
<i>Kassenprüfprotokoll 2006.....</i>	<i>8</i>
<i>Vergleich der instrumentellen Weißgradmessung, insbesondere von optisch aufgehellten Proben (Ringversuch der AG Fluoreszenz).....</i>	<i>9</i>
<i>Anwendungsrelevante Aspekte und Beispiele der spektralbildgebenden Farbmessung in der industriellen Qualitätssicherung im Automobilbereich.....</i>	<i>22</i>
<i>Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten.....</i>	<i>29</i>
<i>Stellar Spektrografie - Die Farben der Sterne.....</i>	<i>42</i>
<i>Vorschau DfwG Report 02 2007.....</i>	<i>56</i>

Impressum

ISSN 1860-2835

Titelbild: Sichtbares Sonnenspektrum (aus dem Beitrag Stellar Spektrografie; Hacker S.42)

Verleger und Herausgeber: Deutsche Farbwissenschaftliche Gesellschaft e. V.

Redaktion: Dr. Gerhard Rösler, Dipl.-Ing. Christina Hacker

Einzelheft: 10 Euro + Versandkosten

Der Bezugspreis der Zeitschrift ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.



**Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e. V.
im Deutschen Verband Farbe**

Präsident: Dr. Gerhard Rösler, Tel: 0172 89 44 173, E-Mail: Roesler_Gerhard@t-online.de

Vizepräsident: Prof. Dr. Bernhard Hill, Tel: 0241 802 7703, E-Mail: hill@ite.rwth-aachen.de

Amtierender Schatzmeister: Dr.-Ing. Carsten Steckert, Tel: 030 8104 3530, Fax: 030 8104 3047, E-Mail: carsten.steckert@bam.de

Sekretär: Dipl.-Ing. Frank Rochow, Tel: 030 393 4028, Fax: 030 391 8001, E-Mail: offices@rochow-berlin.de

Geschäftsstelle: Gralsburgsteig 35, 13465 Berlin

Bankverbindung: Kto.-Nr.: 206 002 3583, Berliner Sparkasse, BLZ 100 500 00

Arbeitsgruppenleiter:

Farbbildverarbeitung: Prof. Dr. Bernhard Hill; siehe oben

Farbmetrik und Grundlagen: Dr. Wilhelm H. Kettler, Tel.: 0202 529 2282, 0173 2825 173
E-Mail: Wilhelm.Kettler@deu.dupont.com

Fluoreszenz: Dr. Claudio Puebla, Tel. 0 76 21 17 47 29, E-Mail: claudio.puebla@axiphos.com

Industrielle Farbtoleranzen: Dr. Gerhard Rösler, siehe oben

Multigeometrie Farbmessung: Dr. Gerhard Rösler, siehe oben

Internet: www.dfwg.de

Februar 2007

Liebe Farbgemeinde,

das Jahr 2007 wird einige Tagungs-Höhepunkte bringen. In Deutschland findet die LiTG Tagung Licht und Lebensqualität LiLe2007 am 19.- 20. April in Lüneburg unter Mitträgerschaft der DfwG statt (siehe Beilage 1). Vom 4.-11. Juli 2007 lädt die CIE nach Peking, China zur CIE Session ein (siehe Beilage 2 und 3), im Anschluss daran veranstaltet die AIC vom 12.-14. Juli in Hangzhou, China ihr AIC Mid-Term Meeting (www.aic-colour.org). Und im Herbst würde ich mich freuen, Sie bei unserer DfwG Jahrestagung in Darmstadt von 9.-11. Oktober 2007 begrüßen zu dürfen. Bitte reichen Sie die Kurzfassung Ihres Vortrags für die DfwG Jahrestagung bald ein (roesler_gerhard@t-online.de) damit wir wieder eine interessante Veranstaltung, diesmal in Darmstadt, erleben können.

Die Verbindung mit der LiTG ist seit einigen Jahren sehr konstruktiv, ich werde sogar als Gast zu den LiTG Vorstandsklausuren und Sitzungen des TWA (Technisch wissenschaftlicher Ausschuss) eingeladen. Es ist interessant die Themen der doch deutlich größeren LiTG mit denen der DfwG zu vergleichen. Im März finden

in Berlin die DIN FNF Sitzungen des Beirats, des FNF 2 und des FNF 24 statt. Im FNF 2 werden zurzeit die DIN 5033 in einigen Teilen sowie die DIN 6174 aktualisiert. Im FNF 24 wird an der Aktualisierung der DIN 6175-1 und -2 sowie Plänen für einen Teil 3 gearbeitet. Neue Mitglieder sind herzlich willkommen. Im Januar haben in Florida, USA wieder die ASTM E12 Sitzungen stattgefunden. Die deutsche Präsenz bei den ASTM E12 Sitzungen in USA, die halbjährlich stattfinden, ist beachtlich und aktiv (neben mir als Liaison zu DIN typischerweise Herr Dr. Gabel, Herr Cramer, Herr Lessmann, neu Frau Weixel) sowie Herr Frank bei den Verkehrssicherheitssitzungen. Wir versuchen zusammen (wenn auch manchmal mit unterschiedlichen Schwerpunkten), die Normung weltweit aktiv zu synchronisieren, speziell beim Thema Messgeometrien für Effektmaterialien, das seit vielen Jahren auch im DIN FNF 24 bearbeitet wird.

Bis zum nächsten Mal verbleibe ich mit freundlichen Grüßen

Ihr Gerhard Rösler

*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe*

*Geschäftsstelle c/o Dipl.-Ing. Frank Rochow, Gralsburgsteig 35, 13465 Berlin
Tel: 030 393 4028, Fax: 030 391 8001, e-mail: offices@rochow-berlin.de*



**Protokoll
der Mitgliederversammlung der DfwG
am 27. September 2006 in Dresden**

Ort der Versammlung: TU Dresden, Institut für Angewandte Photophysik, Beyerbau
Beginn der Versammlung: 17.30 Uhr
Ende der Versammlung: 18.55 Uhr

Anwesende Mitglieder lt. Anwesenheitsliste:

Herr Boosmann	Herr Dr. Kettler
Herr Dietz	Frau Lippok-Lohmer
Herr Dr. Döring	Frau Dr. Lübbe
Herr Dr. Dörsam	Herr Olschewski
Herr Eker	Herr Dr. Neudeck
Herr Dr. Gabel	Herr Pryor
Herr Gläser	Herr Dr. Puebla
Herr Gliese	Herr Dr. Richter
Herr Grambow	Herr Rochow
Herr Günther	Herr Dr. Rösler
Frau Hacker	Herr Schwingeweitzen
Herr Helling	Herr Selnigow
Herr Herold	Herr Dr. Steckert
Herr Dr. Hill	Herr Dr. Welsch
Herr Dr. Hubner	Herr Dr. Witt
Frau Hupp	Herr Wobser
Herr Dr. Kaufmann	

Der DfwG Präsident und Versammlungsleiter, Herr Dr. Rösler, begrüßt die Mitglieder zur Mitgliederversammlung und stellt ausdrücklich fest, dass es sich nicht um eine Hauptversammlung handelt.

Die vorgeschlagene Tagesordnung:

- 1) Genehmigung der Tagesordnung
- 2) Genehmigung des Berichts der Mitgliederversammlung 2005 in Berlin
- 3) Bericht des Vorstands
- 4) Aussprache
- 5) Kassenbericht
- 6) Entlastung des Vorstands
- 7) Erklärung des Schatzmeisters
- 8) Kurz- und mittelfristige Finanzplanung für die DfwG
- 9) Statusberichte der Arbeitsgruppen
- 10) Statusberichte DfwG Report, Zeitschrift Color Research and Application
- 11) Berichte, Stellungnahmen und Anregungen von Mitgliedern
- 12) Diskussion, Beschlussfassungen

zu TOP 1: Die Tagesordnung wird wie vorgeschlagen genehmigt.

zu TOP 2: Zum Bericht über die DfwG-Hauptversammlung am 05. Oktober 2005, welcher vorab per Post verschickt wurde, bemängelt Herr Dr. Döring das späte Versenden. Nach so langer Zeit sei die Erinnerung an die Versammlung nur noch lückenhaft.

Der Sekretär, Herr Rochow, und der Präsident, Dr. Rösler, stimmen Herrn Dr. Döring zu und entschuldigen sich für die späte Veröffentlichung.

Der Bericht wird nun einstimmig genehmigt.

Zu TOP 3: Dr. Rösler berichtet über den Status der Arbeit der DfwG Arbeitsgruppen.

Er berichtet über den hier in Dresden gestarteten ersten Versuch einer zeitlichen Koordination der Jahrestagungen von DfwG und DFZ. Da auf Nachfrage nur wenige Mitglieder die Gelegenheit zur kombinierten Teilnahme an beiden Tagungen nutzten, hält Dr. Rösler die Koordination mit dem DFZ für nicht vordringlich bei der Planung der nächsten DfwG Jahrestagungen.

Herr Rochow berichtet über die Aktivität der DfwG für die Grabstelle Prof. Manfred Richter.

Auf Anregung von Dr. Witt hatte die DfwG 2005 die Instandsetzung der Grabstelle beschlossen.

Nun ist ein würdiges Aussehen der Bepflanzung wiederhergestellt und die Pflege bis zum Jahresende 2006 gesichert. Herr Rochow bittet bei den Teilnehmern der Tagung um Spenden zur weiteren Pflege der Grabstelle. *)

zu TOP 4: Es erfolgen keine Wortmeldungen.

zu TOP 5: Herr Grambow präsentiert an Hand von Folien den Kassenbericht für das Jahr 2005. Die Kassenführung ist von den Herren Günther und Dr. Steckert am 16.05.2006 geprüft worden und wurde von ihnen als korrekt testiert.

Um den Sachzusammenhang besser zu gewährleisten, wird TOP 8 nun bei allgemeiner Zustimmung vorgezogen.

zu TOP 8: Herr Grambow erwartet für das Jahresende 2006 einen Kontostand, der sich etwa in der Größenordnung der Einnahmen durch die Jahresmitgliedsbeiträge bewegt. Somit ist für die bis Mai 2007 fällige Prüfung zur Erneuerung der Gemeinnützigkeit durch das Finanzamt für Körperschaften die wesentlichste Forderung des Finanzamtes aus der letzten Bewilligung erfüllt. In den folgenden Jahren sollte dann auf ein ausgeglichenes Einnahmen/Ausgaben-Verhältnis geachtet werden, insbesondere unter Berücksichtigung der Kosten für die Tagungen und Reports.

zu TOP 6: Auf Antrag wird der Vorstand einstimmig entlastet.

zu TOP 7: Der Schatzmeister, Herr Grambow, gibt seinen vorzeitigen Rücktritt bekannt und verliest hierzu eine persönliche Erklärung. In dieser Erklärung begründet er den Rücktritt mit für ihn nicht zu überbrückenden Differenzen im Verhältnis zu Dr. Rösler. Herr Grambow hält eine weitere gedeihliche Zusammenarbeit mit dem Präsidenten für nicht mehr möglich, da er sich durch verschiedene Mails Dr. Röslers persönlich gekränkt, mitunter auch beleidigt fühlt. Er dankt den Mitgliedern und den übrigen Vorstandsmitgliedern für das bisherige Vertrauen und erklärt sich bereit, sowohl noch den Jahresabschluss 2006 zu erledigen, als auch einen etwaigen Nachfolger bei der Einarbeitung zu unterstützen.

Dr. Rösler nimmt den Rücktritt des Schatzmeisters an und erklärt, dass sich aus seiner Sicht die angesprochenen Dinge zum Teil anders darstellen.

Der Vizepräsident, Herr Prof. Hill, dankt Herrn Grambow für sein langjähriges Engagement und erinnert die Versammlung daran, dass Herr Grambow ohne Rücksicht auf seine eigene

Gesundheit den Posten des Schatzmeisters übernahm, als der damalige Schatzmeister, Prof.

Kunz, wegen seiner schweren Krankheit das Amt nicht mehr ausführen konnte. Neben der

Wiederherstellung der Ordnung in der Kassenführung war Herr Grambow auch bei der Akquisition von Förderpreisträgern erfolgreich.

Die Versammlung dankt mit einem herzlichen Applaus. **)

zu TOP 8: vorgezogen vor TOP 6, siehe oben

zu TOP 9: wurde bereits unter TOP 3 mit abgehandelt

zu TOP 10: Dr. Döring berichtet, dass das Jahrbuch mit wissenschaftlichen Beiträgen endlich zu dieser DfwG-Jahrestagung 2006 vorliegt. Er dankt der DfwG-Mitgliederversammlung 2005 und den Vorstandsmitgliedern, die das Erscheinen des Jahrbuchs erst möglich gemacht haben. Sein Dank geht auch an die Mitglieder der DfwG, die das Projekt durch ihre Gutachtertätigkeit unterstützt haben: die Herren Lutz Grambow, Dr. Heinwig Lang, Dr. Klaus Witt. Dr. Döring erklärt, im Report 1-2006 sei durch das Vorwort von Dr. Rösler der Eindruck entstanden, der fehlende Fortschritt beim Projekt „wissenschaftlicher DfwG-Report“ sei auf die ausschließliche Konzentration Dr. Dörings auf „sein“ Jahrbuch zurückzuführen. Dr. Döring erklärt, es handle sich nicht um „sein“ Jahrbuch und zwischen seiner Tätigkeit für das Jahrbuch und dem schleppenden Start des Projektes „wissenschaftlicher DfwG-Report“ bestünde kein Zusammenhang. Er lege Wert auf eine Richtigstellung im nächsten Report. Dieses wird ihm zugesagt. ***)

Prof. Hill führt aus, die DfwG sei zu klein, um eine eigene wissenschaftliche Zeitschrift dauerhaft erfolgreich zu tragen. Wir sollten dem Vorschlag von Dr. Rösler aus dem Vorjahr folgen und uns an die Zeitschrift Color Research and Application anhängen, um Vorteile beim Abonnementpreis für unsere Mitglieder zu erlangen. Dem Vorschlag wird bei einer Gegenstimme zugestimmt. ****)

zu TOP 11: Es erfolgen keine Wortmeldungen.

zu TOP 12: Es erfolgen keine Wortmeldungen.

Dr. Rösler erklärt die Mitgliederversammlung für beendet.

Berlin, den 27.12.2006



Dipl.-Ing. Frank Rochow
(Sekretär)
(Protokollführer)

Fürstenfeldbruck, den 27.12.2006



Dr.-Ing. Gerhard Rösler
(Präsident)

Hinweise außerhalb des Protokolls:

- *) Von den Teilnehmern der Jahrestagung sind EUR 120,00 für die Grabpflege gespendet worden. Herzlichen Dank.
- **) Noch im Laufe der Jahrestagung 2006 hat sich Herr Dr. Carsten Steckert bereit erklärt, das Amt des Schatzmeisters ab 2007 zu übernehmen.
- ***) Da das Thema in der Mitgliederversammlung ausreichend besprochen wurde, hat Herr Dr. Döring zwischenzeitlich gegenüber Dr. Rösler auf eine Gegendarstellung im Report verzichtet.
- ****) Dr. Rösler hat inzwischen vom Verlag Wiley die Zustimmung erhalten, dass CR&A als offizielles Organ der DfwG für englische Fachbeiträge fungiert.

Kassenbericht 2006

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe
www.dfwg.de



Einnahmen- und Ausgabenrechnung
für die Zeit vom
1.1.2006 bis zum 31.12.2006

Einnahmen		Ausgaben	
Mitglieder Beiträge	6.140,00 €	Verwaltungskosten	927,50 €
Tagungseinnahmen	3.945,00 €	Tagungskosten	3.619,93 €
Spenden	507,00 €	Förderpreis/Spend	1.200,00 €
		Reportkosten/ Sonderh	10.456,01 €
		Sonst. Ausgaben	1.346,86 €
Summe Einnahmen	10.592,00 €	Summe Ausgaben	17.550,30 €
		Mehrausgaben	6.958,30 €
Kontostände			
Saldo 31.12.05	10.825,88 €		
Saldo 31.12.06	3.867,58 €		
Mehrausgaben	6.958,30 €		

Berlin, den 11.01.2007

Dipl.-Ing. Bernd Günther
(Kassenprüfer)

Dipl.-Ing. Lutz Grambow
(Schatzmeister bis 2006)

Dipl.-Ing. Klaus Dieter Reißmann
(Kassenprüfer)

Dr.-Ing. Carsten Steckert
(Schatzmeister ab 2007)

Kassenprüfprotokoll 2006

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe
www.dfwg.de



Protokoll zur Kassenprüfung für 2006

Am 11.01.2007 wurde in der Firma Lichtmesstechnik GmbH Berlin durch die Kassenprüfer

Herrn Dipl.-Ing. Klaus Dieter Reißmann und Herrn Dipl.-Ing. Bernd Günther die Prüfung der DfwG-Kasse für das Jahr 2006 durchgeführt. Anwesend waren auch Herr Dr.-Ing. Carsten Steckert als DfwG-Schatzmeister ab 2007 und Herr Dipl.-Ing. Lutz Grambow als DfwG-Schatzmeister bis 2006. Somit ist diese Kassenprüfung gleichzeitig die Übergabepfung an den neuen Schatzmeister.

Ergebnis:

Die Einnahmen- und Ausgabenübersicht der Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft e.V. wurde für den Zeitraum vom 31.12.2005 bis 31.12.2006 überprüft und für ordnungsgemäß befunden. Die Belegbuchungen nach Kostenarten wurden durch Stichproben geprüft.

Die Geldmittel der DfwG per 31.12.2006 stimmen lt. Auszügen der Berliner Sparkasse mit dem Endstand, der sich aus dem Anfangsbestand per 31.12.2005 und den Einnahmen und Ausgaben im Geschäftsjahr 2006 ergibt, überein.

Zusammenfassend wird aufgrund der Prüfung der Belege die Ordnungsmäßigkeit der Kassenführung der DfwG bescheinigt.

Berlin, den 11.01.2007

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bernd Günther'.

Dipl.-Ing. Bernd Günther
(Kassenprüfer)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Klaus Reißmann'.

Dipl.-Ing. Klaus Dieter Reißmann
(Kassenprüfer)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lutz Grambow'.

Dipl.-Ing. Lutz Grambow
(Schatzmeister bis 2006)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carsten Steckert'.

Dr.-Ing. Carsten Steckert
(Schatzmeister ab 2007)

Vergleich der instrumentellen Weißgradmessung, insbesondere von optisch aufgehellten Proben (Ringversuch der AG Fluoreszenz)

Dipl.-Ing. Christina Hacker und Dr. Siegfried Kaufmann

Ausgangspunkt:

Ausgangspunkt der nachfolgenden Arbeit ist der 2003 in den Melliand Textilberichten erschienene TEGEWA-Artikel mit dem provokanten Titel „Belügt uns die instrumentelle Weißgradmessung?“ [7].

Hieraus ergaben sich folgende Fragestellungen, denen sich in der DfwG die AG Fluoreszenz stellte:

Gibt es besonders ausgezeichnete **Kalibriermethoden**, die den Abgleich des Weißgrades für verschieden fluoreszierende Proben, gemessen an unterschiedlichen Geräten, den TEGEWA-Ergebnissen gegenüber verbessern ?

Gibt es besondere **Proben** zu berücksichtigen?

Gibt es besondere **Messgeräte** und/oder Messgerätebedingungen zu beachten ?

Angewandte Kalibriermethoden und ihre Standards:

0 – Hausintern (Diese Methoden sind uns im Detail wegen der anonymen Versuchs-Durchführung nicht bekannt. Grundsätzlich wurde aber die Anpassung der Beleuchtung beachtet, sowohl im VIS als im UV [2])

1 – STFI-Standard (Es wurde mit Beleuchtungs-Anpassung gearbeitet [2])

2 – GG, TITV-Standard (Hier wurden sowohl die Beleuchtungs- als auch die Formelanpassung berücksichtigt [2, 6])

3 – GG, HOH-Standard. (Sowohl Beleuchtungs- als auch Formelanpassung [2]).

Es wurden über 17 Proben mit mehr als acht Geräten in die Auswertung einbezogen.

Verwendete Proben (Textil-, Papier- und Kunststoff-Basis):

Kunststoff-Proben	01_ und 02_Axiphos
Textilien	TITV_01 bis TITV_05
sowie	09_ bis 12_HOH
Papier	03_ bis 06_Gimpel
sowie	STFI_DX und STFI_F.

Verwendete Messgeräte:

Messgeometrie 45/0: BAM und Messgerät G
Messgeometrie d/8: Messgeräte A, B, C, D, E, F, H und I.

Kugelabmessungen, Anzahl und Größe der Kugelöffnungen sind uns wegen der schon oben genannten anonymen Versuchs-Durchführung unbekannt, desgleichen die Art der Beleuchtung. Bei den anfänglichen Auswertungen zeigte sich, dass das **Messgerät G** (Messgeometrie 45/0) keine besonderen Abweichungen gegenüber den anderen Geräten aufwies, weshalb bei der Auswertung die verschiedenen Messgeometrien **nicht** unterschieden wurden.

Weil beim Messgerät C nur die hausinterne Kalibrierung vorlag und damit ein Vergleich mit den anderen Kalibriermethoden gar nicht möglich war, wurde auf die Diskussion mit den Ergebnissen des Messgerätes C verzichtet.

Letztlich wurde von jeder Probe an jedem Messgerät der **CIE-Weißgrad für die Lichtart D 65 und für den 10°-Beobachter** ermittelt, d.h.

WCIE = Y - 800x - 1700y + 813,74
Gültigkeitsbereich: 40 < WCIE < 5Y - 280.

Lichtart D65, 10°-Beobachter,

$x_0 = 0,3138$ und $y_0 = 0,3310$

mit den Bezugswerten:

$X = 94,81$; $Y = 100,00$; $Z = 107,34$.

Verwendete statistische Maßzahlen (Definitionen):

- Mittelwert für WCIE und Standardabweichung σ (genau genommen gibt es bei kleinen Stichprobenzahlen keine Standardabweichung σ , sondern nur den mittleren Fehler s des Einzelwertes. Im Text werden zum Teil beide Bezeichnungen verwendet, aber es ist immer nur der mittlere Fehler s des Einzelwertes gemeint).

- Spannweite R als Differenz des größten und des kleinsten Messwertes von WCIE.

Abweichung zwischen dem Weißgrad WCIE, gemessen am Messgerät A oder einem anderen verwendeten Gerät, und dem Weißgrad, gemessen bei der BAM (als Sollwert), d.h. $\Delta WCIE = W(A) - W(BAM)$.

In einigen wenigen Abschnitten werden statistische Prüfverfahren angewendet.

Grenzen für die weitere Beurteilung der Messwerte WCIE:

Ungeschulte **Beobachter** können nicht mehr als eine CIELab-Einheit unterscheiden. Geschulte Coloristen sollen dagegen 0,2 CIELab-Einheiten schaffen [3].

Bei **Farbdifferenzmessungen** (Probe im Vergleich zum Standard) an verschiedenen Geräten ist andererseits mit Ungenauigkeiten von 0,1 bis 0,2 CIELab-Einheiten zu rechnen [3].

Daraus kann die visuelle (mit Einschränkung) und instrumentelle Wahrnehmungsgrenze für den Weißgrad abgeschätzt werden.

Einem $\Delta E = 0,2$ entspricht dann im willkürlich vorgegebenen speziellen Fall:

$$(\Delta L = \Delta a = \Delta b = 0,2 / \sqrt{3}) = 0,12$$

der in der folgenden Tabelle berechnete Weißgrad-Unterschied $\Delta WCIE$ (Bei den Textilproben sind die Normfarbwerte angegeben):

Textilprobe \ (X/Y/Z)	WCIE (L,b)	WCIE (L+0,12 ,b-0,12)	$\Delta WCIE$
TITV_01 (85,85 / 90,82 / 93,48) L = 96,34; b = 2,69	78,8	79,6	0,8
TITV_02 (86,19 / 90,55 / 98,68) L = 96,22; b = - 0,98	94,8	95,6	0,8
TITV_03 (88,20 / 92,14 / 106,5) L = 96,88; b = - 4,86	113,6	114,3	0,7
TITV_04 (89,49 / 93,07 / 113,51) L = 97,26; b = - 8,49	130,3	131,1	0,8

Damit liegt die visuelle und instrumentelle Wahrnehmungsgrenze für den Weißgrad unter idealen Bedingungen (s.o.) in der Größenordnung von $\Delta WCIE = 1$.

Die Ungenauigkeit kann nur > 1 sein!

Zur Auswertemethodik:

Die **beste Kalibriermethode** zeichnet sich durch die **geringste Streuung** der Weißgradwerte WCIE von Gerät zu Gerät aus. In jeder Einzeltabelle (in jedem Pkt.) ist deshalb zum eben genannten Mittelwert für WCIE auch die Standardabweichung s, die Spannweite R und die Abweichung vom Sollwert (WCIE der BAM) angegeben.

Außerdem erreicht die beste Kalibriermethode die **geringste Differenz** zwischen dem am jeweiligen Messgerät ermittelten Weißgrad WCIE und dem Sollwert (BAM). Das gleiche Verfahren wird auch für die **Proben** angewendet.

Hinweis für die Benutzung der Tabellen im Pkt. 1 und die weitere Auswertung:

In allen Tabellen der nachfolgend genannten Punkte sind die **Weißgradwerte WCIE** zusammengestellt, wie sie an den unterschiedlichen Geräten (BAM, A, B bis I) mit den verschiedenen Kalibriermethoden (0, 1, 2, 3) an **einer** Probe ermittelt worden sind (deshalb „Probenbezogen“).

Es soll damit spezifisch an jeder einzelnen Probe gezeigt werden, wie sich **die vier verschiedenen Kalibriermethoden (s.o.)** auf den **Abgleich der Weißgrad-Messgeräte** auswirken (Auswertung in den Punkten 2 und 3).

Der **Vergleich mit den TEGEWA – Ergebnissen** erfolgt im Pkt. 4.

1. Statistische Auswertung (Probenbezogen)

1.1. Nichtfluoreszierende Proben (WCIE < 100)

1.1.1. TITV_01 (Nr. 13)

Textil (nichtfluoresz.)

Kalibrier-methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	77,0	80,0	77,7	80,0	78,4	77,6	76,0	75,4	79,5
1		78,8	77,7	77,9	78,3	77,2	75,9	74,8	77,3
2		79,0	77,6	79,8	78,0				
3		79,2	77,4	80,3	78,2				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung (Mittelwert und Standardabweichung, Spannweite R und Abweichung vom BAM-Wert) sind folgende:

DfwG Report 2007 / 1

N = 8 (A bis I)

W(0) = 78,1 +/- 1,7

R = 80,0 – 75,4 = 4,6

W0 – WBAM = 1,1

N = 8

W(1) = 77,2 +/- 1,3

R = 78,8 – 74,8 = 4,0

W1 – WBAM = 0,2

N = 8

Weil die Kalibriermethoden (2) und (3) nur für die Geräte A bis E durchgeführt werden konnten, werden nachfolgend alle Ergebnisse noch mal für die Anzahl N = 4 angegeben:

N = 4 (A bis E)

W(0) = 79,0 +/- 1,2

R = 80,0 – 77,7 = 2,3

W0 – WBAM = 2,0

N = 4

W(1) = 78,2 +/- 0,5

R = 78,8 – 77,7 = 1,1

W1 – WBAM = 1,2

N = 4

W(2) = 78,6 +/- 1,0

R = 79,8 – 77,5 = 2,2

W2 – WBAM = 1,6

N = 4

W(3) = 78,8 +/- 1,2

R = 79,2 – 77,4 = 1,8

W3 – WBAM = 1,8

N = 4

1.1.2. TITV 02 (Nr.14)

Textil (nichtfluoresz.)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	94,0	96,2	94,0	96,4	-	93,5	93,4	92,6	93,5
1		95,0	95,5	94,8	93,7	95,1	93,9	91,1	-
2		94,4	94,1	95,6	92,8				
3		96,2	94,6	97,3	94,1				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung sind folgende

N = 7(A bis I ohne E):

W(0) = 94,2 +/- 1,5

R = 96,4 – 92,6 = 3,8

W0 – WBAM = 0,2

N = 7

N = 7(A bis H):

W(1) = 94,2 +/- 1,5

R = 95,5 – 91,1 = 4,4

W1 – WBAM = 0,1

N = 7

Für N = 3 sowie N = 4 (Geräte A, B, D, E) ergeben sich folgende statistische Werte:

N = 3 (A bis D)

W(0) = 95,5 +/- 1,3

R = 96,4 – 94,0 = 2,4

W0 – WBAM = 1,5

N = 3

N = 4 (A bis E)

W(1) = 94,7 +/- 0,8

R = 95,5 – 93,7 = 1,8

W1 – WBAM = 0,7

N = 4

W(2) = 94,2 +/- 1,1

R = 95,6 – 92,8 = 2,8

W2 – WBAM = 0,2

N = 4

W(3) = 95,6 +/- 1,5

R = 97,3 – 94,1 = 3,2

W3 – WBAM = 1,5

N = 4

1.1.3. Hohenstein (Nr.9)

Textil (nichtfluoresz.)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	82,3	84,1	82,8	84,5	83,8	83,5	83,4	84,2	83,4
1		82,7	82,7	82,6	82,7	82,9	84,7	83,4	82,3
2		83,1	82,6	84,6	82,7				
3		83,1	82,6	84,7	82,6				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung sind folgende

(für N = 8):

W(0) = 83,7 +/- 0,5

R = 84,5 – 82,8 = 1,7

W0 – WBAM = 1,4

N = 8

W(1) = 83,0 +/- 0,8

R = 84,7 – 82,3 = 2,4

W1 – WBAM = 0,7

N = 8

Für N = 4 (Geräte A, B, D, E) ergeben sich folgende statistische Werte:

W(0) = 83,8 +/- 0,7

R = 84,5 – 82,8 = 1,7

W0 – WBAM = 1,5

N = 4

W(1) = 82,7 +/- 0,05

R = 82,7 – 82,7 = 0,1

W1 – WBAM = 0,4

N = 4

W(2) = 83,3 +/- 0,9

R = 84,6 – 82,5 = 2,0

W2 – WBAM = 1,0

N = 4

W(3) = 83,3 +/- 1,0

R = 84,7 – 82,6 = 2,1

W3 – WBAM = 1,0

N = 4

1.1.4. Gimpel (Nr. 6)**Papier (nichtfluoresz.)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I	(Geräte/Teiln.)
0	81,8	86,9	83,9	86,6	77,1	83,9	82,2	89,1	85,8	
1		86,2	85,3	85,0	85,2	85,0	84,2	88,0	75,9	
2		85,5	83,8	86,0	84,1					
3		86,8	84,8	87,5	85,4					

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung sind folgende
(für N = 8):

$$W(0) = 84,4 \pm 3,7 \quad R = 89,1 - 77,1 = 12,0 \quad W_0 - WBAM = 2,6 \quad N = 8$$

$$W(1) = 84,4 \pm 3,6 \quad R = 88,0 - 75,9 = 12,1 \quad W_1 - WBAM = 2,6 \quad N = 8$$

Für N = 4 (Geräte A, B, D, E) ergeben sich folgende statistische Werte:

$$W(0) = 83,6 \pm 4,6 \quad R = 86,9 - 77,1 = 9,8 \quad W_0 - WBAM = 1,8 \quad N = 4$$

$$W(1) = 85,4 \pm 0,5 \quad R = 86,2 - 85,0 = 1,2 \quad W_1 - WBAM = 3,6 \quad N = 4$$

$$W(2) = 84,9 \pm 1,1 \quad R = 86,0 - 83,8 = 2,2 \quad W_2 - WBAM = 3,1 \quad N = 4$$

$$W(3) = 86,1 \pm 1,2 \quad R = 87,5 - 84,8 = 2,7 \quad W_3 - WBAM = 4,3 \quad N = 4$$

Im Gegensatz zu den bereits genannten nicht optisch aufgehellten Proben (Punkte. 1.1.1. bis 1.1.3) sind die Streuungen der Papierprobe Gimpel Nr.6 sowohl ohne als auch mit STFI - Kalibrierung sehr hoch! Erst durch die Reduzierung der Anzahl der Geräte von 8 auf 4 wird mit den Methoden 1, 2 und 3 (siehe Ausgangszeilen auf der ersten Seite oben) die Streuung der Weißgradwerte (von Gerät zu Gerät) verbessert. Die Kalibriermethode 1 (STFI-Standards) ist wahrscheinlich beim Gerät I nicht korrekt durchgeführt worden. Allerdings sind wir hier schon im normalen Streubereich der Weißgradwerte (Nachweisgrenze) angekommen.

Die Gimpelprobe Nr.6 (Papier) muss wahrscheinlich trotzdem als relativ problematische Probe eingeschätzt werden. Es ist im Moment unklar, woher speziell diese hohen Schwankungen des Weißgrades von Gerät zu Gerät kommen, die bei den anderen Proben so nicht vorhanden sind. Es deuten sich hier schon Verhältnisse an, wie wir sie erst bei den fluoreszierenden Proben wieder finden (Fehlerbehaftete hauseigene Kalibrierung (0) bei Gerät E und fehlerbehaftete Anwendung der STFI-Kalibrierung (1) bei Gerät I).

Wiederholen wir die statistische Auswertung und nehmen dazu die Geräte E (bei Kalibrierung 0) und Gerät I (bei Kalibrierung 1) heraus, stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar:

N = 7(A bis I ohne E):

$$W(0) = 85,5 \pm 2,3 \quad R = 89,1 - 82,2 = 6,9 \quad W_0 - WBAM = 3,7 \quad N = 7$$

N = 7(A bis H):

$$W(1) = 85,6 \pm 1,2 \quad R = 88,0 - 84,2 = 3,8 \quad W_1 - WBAM = 3,8 \quad N = 7$$

N = 3 (A bis D)

$$W(0) = 85,8 \pm 1,6 \quad R = 86,9 - 83,9 = 3,0 \quad W_0 - WBAM = 4,0 \quad N = 3$$

N = 4 (A bis E)

$$W(1) = 85,4 \pm 0,5 \quad R = 86,2 - 85,0 = 1,2 \quad W_1 - WBAM = 3,6 \quad N = 4$$

$$W(2) = 84,9 \pm 1,1 \quad R = 86,0 - 83,8 = 2,2 \quad W_2 - WBAM = 3,1 \quad N = 4$$

$$W(3) = 86,1 \pm 1,2 \quad R = 87,5 - 84,8 = 2,7 \quad W_3 - WBAM = 4,3 \quad N = 4$$

1.1.5. STFI DX (Nr. 18)**Papier, nichtfluoresz.**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I	(Geräte/Teiln.)
0	87,6	87,6	86,1	88,1	-	86,7	85,7	86,8	87,1	
1		86,4	85,9	-	-	86,1	85,7			
2		86,7	85,9	88,6						
3		86,6	85,9	88,1						

DfwG Report 2007 / 1

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung sind folgende:

N = 7 bis 3 (A bis I)

W(0) = 86,9 +/- 0,8	R = 88,1 – 85,7 = 2,4	W0 – WBAM = - 0,6	N = 7
W(1) = 86,0 +/- 0,3	R = 86,4 – 85,7 = 0,7	W1 – WBAM = - 1,6	N = 4
W(2) = 87,1 +/- 1,4	R = 88,6 – 85,9 = 2,7	W2 – WBAM = - 0,5	N = 3
W(3) = 86,9 +/- 1,1	R = 88,1 – 85,9 = 2,2	W3 – WBAM = - 0,7	N = 3

Im Gegensatz zu den optisch aufgehellten Proben (siehe Punkt 1.2) ist hier die Anfangs-Streuung der Werte (Hausinterne Kalibrierung, Nr. 0, s. o, STFI-DX: s = 0,8, ΔWCIE = -0,6) wesentlich kleiner! Die hausinternen Kalibrierungen der Geräte sind für die nicht fluoreszierenden Proben (hier die Probe STFI_DX) in Ordnung. **Die neuen Abgleichmethoden** (Kalibrierungen 1, 2 und 3, z.B.: bei STFI läuft s von 0,3 bis 1,4, ΔWCIE läuft von -0,5 bis -1,6) **verbessern das Ergebnis nicht. Das ist auch in Ordnung, sind die neuen Kalibriermethoden doch in erster Linie für die optisch aufgehellten Proben entwickelt.**

Für den Vergleich der verschiedenen Kalibriermethoden ist es wichtig, die bei den gleichen Messgeräten ermittelten Messwerte zu verwenden, d.h. im vorliegenden Falle nur A, B und D.

N = 3 bis 2 (A bis D)

W(0) = 87,3 +/- 1,0	R = 88,1 – 86,1 = 2,0	W0 – WBAM = - 0,4	N = 3
W(1) = 86,2 +/- 0,4	R = 86,4 – 85,9 = 0,5	W1 – WBAM = - 1,4	N = 2
W(2) = 87,1 +/- 1,4	R = 88,6 – 85,9 = 2,7	W2 – WBAM = - 0,6	N = 3
W(3) = 86,9 +/- 1,1	R = 88,1 – 85,9 = 2,2	W3 – WBAM = - 0,7	N = 3

Hier (N = 2 bis 3) ergeben sich keine grundsätzlich anderen Gesichtspunkte zur Auswertung für N = 3 bis 7.

1.2. Fluoreszierende Proben

1.2.1. 01 Axiphos (Nr. 1) (Kunststoff)

Kalibrier- methode	(Geräte/Teiln.)								
	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	114,3	117,3	116,3	117,5	97,1	114,8	112,3	114,3	115,5
1		116,8	119,2	116,7	115,7	117,7	114,8	111,4	94,5
2		115,0	-	116,3	113,2				
3		118,2	117,6	119,6	116,0				

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt:

N = 8 (A bis I)

W(0) = 113,1 +/- 6,7	R = 117,5 – 97,1 = 20,4	W0 – WBAM = - 1,2	N = 8
W(1) = 113,4 +/- 8,0	R = 119,2 – 94,5 = 24,7	W1 – WBAM = - 0,9	N = 8

N = 4 (A,B,D,E)

W(0) = 112,1 +/- 10,0	R = 117,5 – 97,0 = 20,4	W0 – WBAM = - 2,2	N = 4
W(1) = 117,1 +/- 1,5	R = 119,2 – 115,7 = 3,5	W1 – WBAM = 2,8	N = 4
W(2) = 114,8 +/- 1,6	R = 116,3 – 113,2 = 3,1	W2 – WBAM = 0,5	N = 3
W(3) = 117,9 +/- 1,5	R = 119,6 – 116,0 = 3,6	W3 – WBAM = 3,6	N = 4

Es fallen hier sofort die großen Schwankungen von s und R von Gerät zu Gerät auf, wie sie sich für die N = 8 Proben ergeben und wie sie für N = 4 auch noch nach der hausinternen Kalibrierung 0 vorhanden sind (für N = 8 und W(0) z.B. s = 6,7!). **Noch schlimmer: Bei der Reduzierung der Zahl der Messwerte von 8 auf 4 nehmen die Schwankungen (charakterisiert durch s) von 6,7 auf 10 zu!!!** Bei den nichtfluoreszierenden Proben lag im Gegensatz dazu die Standardabweichung viel niedriger (Pkt. 1.1.).

Die problematischen Ergebnisse (d.h. die WCIE-Werte 97,1 und 94,5) sind in der Tabelle dieses Abschnittes „rot“ geschrieben (s.o.). Es soll jetzt mathematisch statistisch gezeigt werden, dass diese Werte nicht in die Auswertung einbezogen werden dürfen.

Kalibrierung 0:

Der WCIE-Wert von **97,1** in der ersten Zeile hebt sich zunächst beim **Mittelwert** nicht von den anderen WCIE-Werten ab. Dies zeigt der **t-Test**:

$$\begin{array}{llll}
 N = 8 & \text{A bis I} & \text{WCIE} = 113,1 \pm 6,7 & n_1 = N_1 - 1 = 7 \\
 N = 7 & \text{A bis I (ohne E)} & \mathbf{WCIE} = \mathbf{115,4 \pm 1,8} & n_2 = N_2 - 1 = 6 \quad (\Delta\text{WCIE} = 1,1).
 \end{array}$$

Für den t-Test folgt [1] $t_{\text{exp}} = \mathbf{0,877}$, aber theoretisch ergibt sich der Tafelwert für den Freiheitsgrad $n = N_1 + N_2 - 2 = 13$ nach [1] (mit $S = 95\%$ als statistische Sicherheit) zu $t_{\text{theo}} = \mathbf{2,16}$. Wegen $t_{\text{exp}} < t_{\text{theo}}$ sind die Unterschiede der beiden Mittelwerte zufällig und nicht statistisch gesichert.

Ganz anders sieht das für die **Standardabweichung s** aus. Mit dem **F-Test** ergibt sich hier folgendes: $F_{\text{exp}} = (6,7 / 1,8)^2 = \mathbf{13,85}$.

Der theoretische F-Wert ergibt sich für die Freiheitsgrade $n_1 = N_1 - 1 = 7$ und $n_2 = N_2 - 1 = 6$ aus der Tabelle für $S = 95\%$ nach [1] (statistische Sicherheit) zu $F_{\text{theo}} = \mathbf{4,2}$.

Wegen $F_{\text{exp}} > F_{\text{theo}}$ sind die Unterschiede der beiden Standardabweichungen nicht zufällig, d.h. der Unterschied ist statistisch gesichert. Das bedeutet, dass der „rot“ markierte Wert von **97,1** nicht der Grundgesamtheit angehört.

Das ist im Prinzip ein Ausreißertest unter Anwendung des F-Testes.

Kalibrierung 1:

Für den Wert **94,5** lässt sich dasselbe zeigen, worauf hier nicht näher eingegangen wird, d.h. dieser Wert ist auch ein Ausreißer.

Lediglich der statistische Wert wird angegeben: **WCIE (1) = 116 ± 2,5, ΔWCIE = 1,7.**

Gegenbeispiel: Man kann für die Kalibrierung 0 zeigen, dass sich beispielsweise der Wert beim Gerät G (also 112,3) nach dem F-Test nicht aus der Menge abhebt, also dazugehört und nicht weg gestrichen werden darf.

Damit ist im mathematisch-statistischen Sinn ein Test angegeben worden, mit dem es möglich ist, bestimmte Ergebnisse zu verwerfen oder nicht!

Warum diese beiden fraglichen WCIE-Werte überhaupt existieren, lässt sich nicht genau angeben. Es lässt sich nur sagen, dass die hauseigene Kalibrierung (0) beim Gerät E mit der Probe 01_Axiphos fehlerhaft ausgeführt worden ist. Dagegen sind die Kalibrierungen 1, 2 und 3 richtig ausgeführt worden.

Andererseits ist die STFI-Kalibrierung (1) beim Gerät I mit der Probe 01_Axiphos ebenfalls fehlerhaft durchgeführt worden; bei den anderen Kalibrierungen (0, 2, 3) nicht.

Es sind also weder die Probe 01_Axiphos noch die Geräte E oder I nicht in Ordnung, sondern nur die Kalibrierung 0 bei Gerät E und die Kalibrierung 1 bei Gerät I sind absolut fehlerhaft ausgeführt worden.

Es hat sich gezeigt, dass dieser Effekt bei allen Proben an allen Geräten auftritt, weshalb es auf Grund der durchgeführten statistischen Tests mehr als gerechtfertigt ist, die beiden rot markierten WCIE-Werte von allen weiteren Auswertungen zu entfernen.

Zum Vergleich mit den Kalibrierungen 2 und 3 ist es zum Teil sinnvoll, bei den Kalibrierungen 0 und 1 auch nur $N = 3$ oder $N = 4$ Geräte auszuwerten (aber für die Kalibrierung 0 ohne E und für die Kalibrierung 1 ohne I):

$$\begin{array}{llll}
 N = 3 \text{ (A,B,D)} & & & \\
 W(0) = 117,0 \pm 0,6 & R = 117,5 - 116,3 = 1,2 & W_0 - \text{WBAM} = -2,2 & N = 3 \\
 N = 4 \text{ (A bis E)} & & & \\
 W(1) = 117,1 \pm 1,5 & R = 119,2 - 115,7 = 3,5 & W_1 - \text{WBAM} = 2,8 & N = 4.
 \end{array}$$

1.2.2. 02 Axiphos (Nr. 2) (Kunststoff)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	125,6	130,7	128,2	130,6	-	126,6	123,1	125,1	128,5
1		130,4	132,2	130,2	129,3	131,0	128,4	123,4	
2		127,9	-	128,9	126,0				
3		132,3	130,3	133,6	130,1				

(Geräte/Teiln.)

DfwG Report 2007 / 1

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt (Entsprechend 1.2.1 fehlen für Kalibrierung 0 der Wert des Gerätes E und für Kalibrierung 1 der Wert des Gerätes I):

N = 7 (A bis I ohne E)	W(0) = 128,5 +/- 2,0	R = 130,7 – 123,1 = 7,6	W0 – WBAM = 2,9	N = 7
N = 7 (A bis H)	W(1) = 129,3 +/- 2,9	R = 132,2 – 128,4 = 7,0	W1 – WBAM = 3,7	N = 7
N = 3 (A bis D)	W(0) = 129,8 +/- 1,4	R = 130,7 – 128,2 = 4,2	W0 – WBAM = 2,5	N = 3
N = 4 (A bis E)	W(1) = 130,5 +/- 1,2	R = 132,2 – 129,3 = 2,9	W1 – WBAM = 4,9	N = 4
	W(2) = 127,6 +/- 1,5	R = 128,9 – 126,0 = 2,9	W2 – WBAM = 2,0	N = 3
	W(3) = 131,6 +/- 1,7	R = 133,6 – 130,1 = 3,5	W3 – WBAM = 6,0	N = 4

1.2.3. TITV 03 (Nr. 15)

(Textil)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	112,5	114,9	114,1	114,9	-	113,2	111,0	109,3	112,7
1		113,8	116,9	114,0	112,6	116,0	112,6	107,1	
2		112,4	114,1	113,8	111,0				
3		116,2	115,6	117,6	113,3				

(Geräte/Teiln.)

Das sind die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung:

N = 7 (A bis I ohne E)	W(0) = 112,9 +/- 2,1	R = 114,9 – 109,3 = 5,6	W0 – WBAM = 0,4	N = 7
N = 7 (A bis H)	W(1) = 110,7 +/- 7,8	R = 116,9 – 107,1 = 9,8	W1 – WBAM = 0,8	N = 7
N = 3 (A bis D)	W(0) = 114,6 +/- 0,5	R = 114,9 – 114,1 = 0,8	W0 – WBAM = 2,1	N = 3
N = 4 (A bis E)	W(1) = 114,3 +/- 1,8	R = 116,9 – 112,6 = 4,3	W1 – WBAM = 1,8	N = 4
	W(2) = 112,8 +/- 1,4	R = 114,1 – 111,0 = 3,1	W2 – WBAM = 0,3	N = 4
	W(3) = 115,7 +/- 1,8	R = 117,6 – 113,3 = 4,3	W3 – WBAM = 3,2	N = 4

1.2.4. TITV 04 (Nr. 16)

(Textil)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	129,5	131,1	130,1	130,9	-	128,8	126,2	122,3	128,4
1		130,6	133,7	130,5	129,2	132,6	129,9	120,7	
2		128,4	130,2	129,4	126,4				
3		132,6	132,0	134,0	129,7				

(Geräte/Teiln.)

Nachfolgend die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung:

N = 7 (A bis I ohne E)	W(0) = 128,3 +/- 3,1	R = 131,1 – 122,3 = 8,8	W0 – WBAM = - 1,2	N = 7
N = 7 (A bis H)	W(1) = 129,6 +/- 4,2	R = 133,7 – 120,7 = 13,0	W1 – WBAM = 0,1	N = 7
N = 3 (A bis D)	W(0) = 130,7 +/- 0,5	R = 131,1 – 130,1 = 1,0	W0 – WBAM = 1,2	N = 3
N = 4 (A bis E)	W(1) = 131,0 +/- 1,9	R = 133,7 – 129,2 = 4,5	W1 – WBAM = 1,5	N = 4
	W(2) = 128,6 +/- 1,6	R = 130,2 – 126,4 = 3,8	W2 – WBAM = - 0,9	N = 4
	W(3) = 132,1 +/- 1,8	R = 134,0 – 129,7 = 4,3	W3 – WBAM = 2,6	N = 4

1.2.5. TITV 05 (Nr. 17)**(Textil)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	148,1	146,7	145,0	146,5	-	143,2	142,4	133,6	144,1
1		146,5	149,8	146,4	146,2	147,9	147,7	130,8	
2		143,4	145,2	144,4	142,0				
3		149,0	147,7	150,2	146,9				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt:

N = 7 (A bis I ohne E)

$W(0) = 146,1 \pm 4,5$ $R = 146,7 - 133,6 = 13,1$ $W0 - WBAM = - 5,0$ N = 7

N = 7 (A bis H)

$W(1) = 147,3 \pm 6,4$ $R = 149,8 - 130,8 = 19,0$ $W1 - WBAM = - 3,8$ N = 7

Außer Gerät H liegen alle Geräte ganz gut beieinander.

N = 3 (A bis D)

$W(0) = 146,1 \pm 0,9$ $R = 146,7 - 145,0 = 1,7$ $W0 - WBAM = -2,0$ N = 3

N = 4 (Abis E)

$W(1) = 147,3 \pm 1,7$ $R = 149,8 - 146,2 = 3,7$ $W1 - WBAM = -0,8$ N = 4

$W(2) = 143,8 \pm 1,4$ $R = 145,2 - 142,0 = 3,2$ $W2 - WBAM = -4,3$ N = 4

$W(3) = 148,5 \pm 1,5$ $R = 150,2 - 146,9 = 3,3$ $W3 - WBAM = 0,4$ N = 4

1.2.6 Hohenstein (Nr. 10)**(Textil)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	106,2	109,5	107,7	110,3	-	107,7	107,6	114,0	108,3
1		108,5	109,5	109,0	108,5	109,7	110,3	112,0	
2		107,7	107,8	109,5	106,9				
3		109,7	108,5	111,6	109,0				

(Geräte/Teiln.)

Nachfolgend die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung:

N = 7 (A bis I ohne E)

$W(0) = 109,3 \pm 2,3$ $R = 114,0 - 107,6 = 6,4$ $W0 - WBAM = 3,1$ N = 7

N = 7 (A bis H)

$W(1) = 109,6 \pm 1,2$ $R = 112,0 - 108,5 = 3,5$ $W1 - WBAM = 3,4$ N = 7

N = 3 (A bis D)

$W(0) = 109,2 \pm 1,3$ $R = 110,3 - 107,7 = 2,6$ $W0 - WBAM = 3,0$ N = 3

N = 4 (A bis E)

$W(1) = 108,9 \pm 0,5$ $R = 109,5 - 108,5 = 1,0$ $W1 - WBAM = 2,7$ N = 4

$W(2) = 108,0 \pm 1,1$ $R = 109,5 - 106,9 = 2,6$ $W2 - WBAM = 1,8$ N = 4

$W(3) = 109,7 \pm 1,4$ $R = 111,6 - 108,5 = 3,1$ $W3 - WBAM = 3,5$ N = 4

1.2.7. Hohenstein (Nr. 11)**(Textil)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	131,5	134,8	132,1	135,7	-	131,4	132,3	139,3	132,8
1		134,4	135,4	135,0	134,2	135,6	137,2	136,5	
2		132,2	131,9	134,2	131,3				
3		136,3	133,6	138,2	135,0				

(Geräte/Teiln.)

DfwG Report 2007 / 1

Das sind wie im Pkt.1 die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung:

N = 7 (A bis I ohne E)	W(0) = 134,1 +/- 2,8	R = 139,3 – 131,4 = 7,9	W0 – WBAM = 2,6	N = 7
N = 7 (A bis H)	W(1) = 135,5 +/- 1,1	R = 137,2 – 134,2 = 3,0	W1 – WBAM = 4,0	N = 7
N = 4 (A bis D)	W(0) = 134,2 +/- 1,9	R = 135,7 – 132,1 = 3,6	W0 – WBAM = 2,7	N = 4
N = 4 (A bis E)	W(1) = 134,8 +/- 0,55	R = 135,4 – 134,2 = 1,2	W1 – WBAM = 3,3	N = 4
	W(2) = 132,4 +/- 1,3	R = 134,2 – 131,3 = 2,9	W2 – WBAM = 0,9	N = 4
	W(3) = 135,8 +/- 2,0	R = 138,2 – 133,6 = 4,6	W3 – WBAM = 4,3	N = 4

1.2.8. Hohenstein (Nr. 12)

(Textil)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	155,1	158,5	154,9	159,2	-	152,7	155,4	157,0	155,7
1		158,3	159,6	159,1	158,4	158,0	161,8	154,0	
2		155,4	154,9	157,0	154,0				
3		160,9	157,2	163,0	159,4				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt:

N = 7 (A bis I ohne E)	W(0) = 156,2 +/- 2,2	R = 159,2 – 152,7 = 6,5	W0 – WBAM = 1,1	N = 7
N = 7 (A bis H)	W(1) = 158,5 +/- 2,3	R = 159,6 – 154,0 = 5,6	W1 – WBAM = 3,3	N = 7
N = 3 (A bis D)	W(0) = 157,5 +/- 2,3	R = 159,2 – 154,9 = 4,4	W0 – WBAM = 2,4	N = 3
N = 4 (A bis E)	W(1) = 158,8 +/- 0,6	R = 159,6 – 158,3 = 1,3	W1 – WBAM = 3,7	N = 4
	W(2) = 155,3 +/- 1,2	R = 157,0 – 155,4 = 3,0	W2 – WBAM = 0,2	N = 4
	W(3) = 160,1 +/- 2,4	R = 163,0 – 157,2 = 5,7	W3 – WBAM = 5,0	N = 4

1.2.9. Gimpel (Nr. 3)

(Papier)

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	155,2	160,7	155,8	160,8	-	154,0	156,8	157,0	159,0
1		160,7	160,3	160,6	160,7	158,9	162,4	156,5	
2		157,8	155,9	158,8	156,4				
3		163,0	158,1	164,3	161,5				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt:

N = 7 (A bis I ohne E)	W(0) = 157,7 +/- 2,5	R = 160,8 – 154,0 = 6,8	W0 – WBAM = 2,6	N = 7
N = 7 (A bis H)	W(1) = 159,9 +/- 2,0	R = 162,4 – 156,5 = 5,9	W1 – WBAM = 4,7	N = 7
N = 3 (A bis D)	W(0) = 159,1 +/- 2,9	R = 160,8 – 155,8 = 5,0	W0 – WBAM = 4,0	N = 3
N = 4 (A bis E)	W(1) = 160,5 +/- 0,2	R = 160,7 – 160,3 = 0,4	W1 – WBAM = 5,4	N = 4
	W(2) = 157,0 +/- 1,5	R = 158,8 – 155,9 = 2,9	W2 – WBAM = 1,9	N = 4
	W(3) = 161,3 +/- 3,1	R = 164,3 – 158,1 = 6,2	W3 – WBAM = 6,1	N = 4

1.2.10. Gimpel (Nr.4)**(Papier)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	119,1	117,5	119,0	117,8	-	117,9	115,6	114,7	115,7
1		116,1	121,0	116,5	115,8	119,2	119,1	111,8	
2		115,5	118,9	117,3	114,4				
3		117,1	119,9	119,3	116,2				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie:

N = 7 (A bis I ohne E)

W(0) = 116,9 +/- 1,5

R = 119,0 – 114,7 = 4,3

W0 – WBAM = -2,2

N = 7

N = 7 (A bis H)

W(1) = 117,2 +/- 3,3

R = 121,0 – 111,8 = 9,2

W1 – WBAM = -1,8

N = 7

N = 3 (A bis D)

W(0) = 118,1 +/- 0,8

R = 119,0 – 117,5 = 1,5

W0 – WBAM = -1,0

N = 3

N = 4 (Abis E)

W(1) = 117,8 +/- 2,8

R = 121,0 – 115,8 = 5,2

W1 – WBAM = -1,3

N = 4

W(2) = 116,9 +/- 2,3

R = 118,9 – 114,4 = 4,5

W2 – WBAM = -2,2

N = 4

W(3) = 118,4 +/- 2,0

R = 119,9 – 116,2 = 3,7

W3 – WBAM = -0,6

N = 4

1.2.11. Gimpel (Nr. 5)**(Papier)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	158,4	161,4	157,1	162,2	-	155,3	157,9	157,4	159,7
1		161,3	162,3	162,1	162,0	160,1	164,2	155,8	
2		158,2	157,6	160,1	157,6				
3		163,8	159,8	165,9	162,9				

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt:

N = 7 (A bis I ohne E)

W(0) = 158,7 +/- 2,5

R = 162,2 – 155,3 = 7,0

W0 – WBAM = 0,3

N = 7

N = 7 (A bis H)

W(1) = 161,1 +/- 2,9

R = 164,2 – 155,8 = 8,4

W1 – WBAM = 2,7

N = 7

N = 3 (A bis D)

W(0) = 160,3 +/- 2,7

R = 162,2 – 157,1 = 5,1

W0 – WBAM = 1,9

N = 3

N = 4 (Abis E)

W(1) = 162,1 +/- 0,1

R = 162,3 – 161,3 = 1,0

W1 – WBAM = 3,8

N = 4

W(2) = 158,4 +/- 1,4

R = 160,1 – 157,6 = 2,5

W2 – WBAM = 0,1

N = 4

W(3) = 118,4 +/- 3,0

R = 165,9 – 159,8 = 6,1

W3 – WBAM = 4,5

N = 4

1.2.12. STFI F**(Papier)**

Kalibrier- methode	BAM	A	B	D	E	F	G	H	I
0	142,6	146,9	142,5	147,1	-	141,4	142,8	146,5	144,8
1		146,8	146,9	-	-	145,9	146,4		
2		144,1	142,8	145,4					
3		148,7	144,9	150,5					

(Geräte/Teiln.)

Die Ergebnisse der einfachsten statistischen Auswertung lauten wie folgt:

DfwG Report 2007 / 1

N = 7 (A bis I ohne E)

W(0) = 144,6 +/- 2,3 R = 147,1 – 141,4 = 5,7 W0 – WBAM = -2,0 N = 7

N = 4 (A bis G, ohne D und E)

W(1) = 146,5 +/- 0,5 R = 146,9 – 145,9 = 1,0 W1 – WBAM = -3,9 N = 4

Außer Gerät H liegen alle Geräte ganz gut beieinander.

N = 3 (A bis D)

W(0) = 145,5 +/- 2,6 R = 147,1 – 141,4 = 5,7 W0 – WBAM = 2,9 N = 3

N = 2 (A bis B)

W(1) = 146,9 +/- 0,1 R = 146,9 – 146,8 = 0,1 W1 – WBAM = 4,3 N = 2

W(2) = 144,1 +/- 1,3 R = 145,4 – 142,8 = 2,6 W2 – WBAM = 1,5 N = 3

W(3) = 148,0 +/- 2,9 R = 150,5 – 144,9 = 5,6 W3 – WBAM = 5,4 N = 3

Sollwert STFI F = 146,8

2. Zusammenstellung der Ergebnisse in einer Tabelle

Standardabweichung s und $\Delta WCI E = WCI E - W(BAM)$ für den Weißgrad WCI E von Gerät zu Gerät, angegeben für einige ausgewählte Proben (**alle Geräte**, d.h. von A bis I, aber für W(0) ohne E und für W(1) ohne I), aufgeteilt für nicht optisch aufgehellte (n.o.a) und optisch aufgehellte Proben (o.a.). Grundlage: Tabellen in den Abschnitten 1.1 und 1.2

Mittelwerte von s → **Farbe Rot**

Mittelwerte von $\Delta WCI E$ → **Farbe Grün**

Tabelle 1: Ringversuch Weißgrad WCI E 2005/2006 (Kunststoff, Papier und Textilien)

	0 Hausintern		1 STFI		2 GG-TITV		3 GG-Hohenstein	
<u>n.o.a. Proben</u>	s	$\Delta WCI E$	s	$\Delta WCI E$	s	$\Delta WCI E$	s	$\Delta WCI E$
TITV_01	1,7	1,1	1,3	0,2	1	1,6	1,2	1,8
TITV_02	1,5	0,2	1,5	0,1	1,1	0,2	1,5	1,5
09_HOH	0,5	1,4	0,8	0,7	0,9	1	1	1
06_Gimpel	2,3	3,7	1,2	3,8	1,1	3,1	1,2	4,3
STFI_DX	0,8	-0,6	0,3	-1,6	1,4	-0,5	1,1	-0,7
Mittelwert	1,4	1,2	1,0	0,6	1,1	1,1	1,2	1,6
<u>o.a. Proben</u>								
<u>Kunststoffe</u>								
Axiphos_01	1,8	1,1	2,5	1,7	1,6	0,5	1,5	3,6
Axiphos_02	2	2,9	2,9	3,7	1,5	2	1,7	6
<u>Textilien</u>								
TITV_03	2,1	0,4	7,8	0,8	1,4	0,3	1,8	3,2
TITV_04	3,1	-1,2	4,2	0,1	1,6	-0,9	1,8	2,6
TITV_05	4,5	-5	6,4	-3,8	1,4	-4,3	1,5	0,4
10_Hohenstein	2,3	3,1	1,2	3,4	1,1	1,8	1,4	3,5
11_Hohenstein	2,8	2,6	1,1	4	1,3	0,9	2	4,3
12_Hohenstein	2,2	1,1	2,3	3,3	1,2	0,2	2,4	5
<u>Papier</u>								
03_Gimpel	2,5	2,6	2	4,7	1,5	1,9	3,1	6,1
04_Gimpel	1,5	-2,2	3,3	-1,8	2,3	-2,2	2	-0,6
05_Gimpel	2,5	0,3	2,9	2,7	1,4	0,1	3	4,5
STFI_F	2,3	-2	0,5	-3,9	1,3	1,5	2,9	5,4
Mittelwert	2,5	0,31	3,1	1,2	1,5	0,2	2,1	3,7
	+/- 0,8		+/- 2,2		+/- 0,3		+/- 0,6	
Anzahl Geräte(N)	7 – 8	7 – 8	7 – 8	7 – 8	3 – 4	3 – 4	3 – 4	3 – 4

3. Auswertung des vorliegenden Rundversuches

3.1 Nicht optisch aufgehellte Proben

Die Ergebnisse der fünf nicht optisch aufgehellten Proben sind im oberen Teil der Tabelle 1 zusammengestellt.

Die WCIE-Werte liegen in einem Bereich von 77 bis 94, die Mittelwerte der Standardabweichungen s (pro Probe) im Bereich von 0,3 bis 1,7 und die mittleren Abweichungen $\Delta WCIE$ (pro Probe) im Bereich von 0,1 bis 4,3, gerechnet jeweils für die N Geräte, unabhängig von der Kalibrierung!

Die ermittelten Unterschiede der Weißgradwerte und der Schwankungen (s und R) sind statistisch gesehen für eine Probe rein zufällig (Die statistischen Rechnungen sind hier nicht wiedergegeben).

- Speziell für die **Kalibriermethoden** folgt, dass diese sich nicht auf die genannten Kennwerte (Standardabweichung s und Abweichung vom Sollwert $\Delta WCIE$) auswirken (In Tabelle 1 liegen die Gesamtmittelwerte für s in einer Größenordnung: 1,4; 1,0; 1,1; 1,2. Das gleiche gilt für die Abweichungen vom Sollwert: 1,2; 0,6; 1,1; 1,6). Das liegt in der Natur der Sache: Die Kalibriermethoden sind speziell für optisch aufgehellte Proben ausgearbeitet worden und „greifen“ hier nicht.

- Bei den **Proben** wurde lediglich die **Probe Gimpel Nr.6** als kritisch erkannt. Bei ihr liegen Verhältnisse vor, wie wir sie im Pkt. 1.2.1 vorfinden: Die Geräte E und I ergeben sehr extreme Weißgrad-Werte. Ein plausibler Grund konnte bisher für nicht optisch aufgehellte Proben nicht gefunden werden.

- Bei den **Geräten** wurden keine besonderen Auffälligkeiten nachgewiesen, abgesehen von den zu Beginn dieser Arbeit gemachten Äußerungen zu den Geräten C und G.

3.2 Auswertung für die optisch aufgehellten Proben

Die Ergebnisse der zwölf optisch aufgehellten Proben sind im unteren Teil der Tabelle 1 zusammengestellt.

Die WCIE-Werte liegen in einem Bereich von 106 bis 158,0 die Gesamtmittelwerte der Standardabweichungen s liegen im Bereich von 0,5 bis 7,8

und die Gesamtmittelwerte $\Delta WCIE$ im Bereich von 0,2 bis 4,3 (Diese Kennwerte beziehen sich auf die N Geräte).

- Zur verbesserten Auswertung wurde ein **Ausreißertest unter Anwendung des F-Testes** angegeben, mit dem es möglich ist, im mathematisch-statistischen Sinn anzugeben, bestimmte Messergebnisse zu verwerfen oder nicht! Dies gilt besonders für die fehlerhafte Kalibrierung 0 beim Gerät E und für die fehlerhafte Kalibrierung 1 beim Gerät I (Pkt. 1.2.1).

- Die Kalibriermethoden 0, 1, 2 und 3 führen zu sehr verschiedenen Ergebnissen, wie die nachfolgende Zusammenstellung für den t-Test der Gesamtmittelwerte der Standardabweichungen zeigt (N = 12 Einzelwerte für die Standardabweichungen in Tabelle 1, siehe vorletzte Reihe, rote Zahlen):

Kalibriermethode	Mw	s	t	Q
0	2,5	0,77		
0 Vergleich mit 1	3,1	2,20	0,892	-0,57
0 Vergleich mit 2	1,5	0,30	4,192	1,02
0 Vergleich mit 3	2,1	0,60	1,419	-0,32

$Q = t/t_{95\%} - 1$

Danach ist nur die **Kalibriermethode 2** (Anpassung der Beleuchtungs- und Formel-Parameter) **gegenüber der hausinternen Kalibrierung 0 statistisch gesehen gesichert**.

Dieser Vorteil der Kalibriermethode 2 verschwindet, wenn nur die 4 Geräte zur Auswertung herangezogen werden (A bis E), die bei allen Methoden (0, 1, 2 und 3) verwendet worden sind. Dann sind alle Mittelwerte als ähnlich zu betrachten. Allerdings kann man dann noch von einer tendenzmäßig besseren Kalibriermethode 2 gegenüber den anderen beiden Methoden 1 und 3 sprechen!

Die Kalibriermethode 1 berücksichtigt nur die Anpassung der Beleuchtung und könnte deshalb etwas schlechter abschneiden als Methode 2, vgl. auch [2].

Bei Methode 3 könnten bei vorausgesetzt fehlerfreiem Arbeiten eventuell noch Unterschiede im Ganz-Griesser-Rechenprogramm gegenüber anderen Einrichtungen vorliegen. Für die Abweichungen vom Sollwert $\Delta WCIE$ gelten ähnliche Überlegungen.

4. Vergleich mit den TEGEWA Ergebnissen

Textilprobe/(X/Y/Z)	WCIE (X,Y,Z)	WBerger
TITV_01 (85,85/90,82/93,48) L = 96,34 b = 2,69	78,8	78,0
TITV_02 (86,19/90,55/98,68) L = 96,22 b = - 0,98	95,0	94,3
TITV_03 (88,20/92,14/106,50) L = 96,88 b = - 4,86	113,8	115,0
TITV_04 (89,49/93,07/113,51) L = 97,26 b = - 8,49	130,6	135,1

Für den Vergleich werden nur die Ergebnisse der hausinternen Kalibrierung der AG Fluoreszenz herangezogen, weil in der TEGEWA-Veröffentlichung nur diese eine Rolle spielen [7]. In der TEGEWA-Veröffentlichung sind allerdings nur die „Bergerwerte“ enthalten. Die nachfolgende Tabelle zeigt, dass die von uns benutzten WCIE-Werte und die Bergerwerte für die angewandten Proben annähernd vergleichbar sind:

Die Ergebnisse der vier optisch aufgehellten Muster der TEGEWA in [7] ergeben für die 16 Prüfstellen für:

Muster 6 WBerger = 152,3 +/- 8,7
 Muster 7 WBerger = 150,8 +/- 9,0
 Muster 9 WBerger = 134,7 +/- 9,0 und
 Muster 10 WBerger = 112,2 +/- 7,0, d.h.

Die mittleren WBerger-Werte liegen in einem Bereich von 112 bis 152 und die mittleren Standardabweichungen s liegen im Bereich von 7 bis 9.

Beim Vergleich der in den Abschnitten 3.2 und 4 angegebenen fettgedruckten Stellen ergibt sich, **dass die maximal aufgetretenen Standardabweichungen für den DfwG-Ringversuch** (AG Fluoreszenz, Tabelle 1, mittleres s geht für **Kalibrierung 0** von **1,5 bis 4,5**) **gegenüber dem TEGEWA-Versuch** (Pkt.4, s geht hier von **7 bis 9**) **tendenzmäßig niedriger liegen.**

Bei Anpassung von Beleuchtung und Formeln ist es so, dass die Kalibriermethode 2 **wesentlich kleinere Standardabweichungen** ergibt. Sie liegen im Bereich von **1,1 bis 2,3**, und damit günstiger als die anderen Methoden, auch günstiger gegenüber den TEGEWA – Ergebnissen.

Für die Abweichungen vom Sollwert wurden keine Vergleiche angestellt, weil nicht ganz klar ersichtlich war, welcher Wert als Sollwert

bei der TEGEWA vereinbart wurde. Sollte es der Wert vom DTNW sein, dann wären ebenfalls viel größere Abweichungen vom Sollwert (bis 10) vorhanden als beim Rundversuch der DfwG, AG Fluoreszenz.

5. Vorschläge für weitere Maßnahmen oder Arbeiten

5.1 Im Prinzip sollte bei jeder **Kalibrierung auf die Korrektheit** geachtet werden, damit solche Kalibrierungen wie die am Gerät E (bei Kalibrierung 0) oder/und I (bei Kalibrierung 1) sich nicht wiederholen. Zur Kontrolle der Kalibrierung sollten zusätzlich ein oder zwei bekannte Vergleichs-Standards vermessen werden, um sicherzustellen, dass richtig kalibriert wurde.

5.2 Bei Vergleichen sollten **unterschiedlichen Geräteeinstellungen und deren Angabe** Beachtung finden, die besonders bei der Kugelgeometrie sehr wichtig sind! [4]. Nur gleichgroße Messflächen und gleiche Kugelgeometrien dürfen miteinander verglichen werden (Der relative Lichtverlust bei transluzenten Proben ist z.B. proportional zur Dicke der Probe und umgekehrt proportional zum Durchmesser der Messfläche [4]).

5.3 Bei Vergleichen von gealterten Lampen soll in Zukunft die Möglichkeit der einfachen **Kontrolle der UV-Intensitätsverteilung** geschaffen werden, indem zwei bis drei im UV verschieden absorbierende fluoreszierende Standards entwickelt werden.

5.4 Bei der Berechnung der WCIE- und GG-Weißgradwerte spielt auch die dabei **verwendete Software** eine Rolle. Verschiedene Programme verwenden unterschiedliche ASTM Tabellen (5 oder 6) zur Ermittlung der Normfarbwerte, was bei stark aufgehellten Proben zu Unterschieden von bis zu einer Einheit bei WCIE und bis zu 3 Einheiten bei der GG-Weißheit führt. Dazu sollten zusätzliche Tests durchgeführt werden.

5.5 Notwendigkeit des Einsatzes von **Korrelationen** für Geräte, bei denen sich der UV-Anteil apparativ nicht verstellen lässt [5].

5.6 Die Erkenntnisse zur Fluoreszenzmessung sollten in einem „**Weißbuch**“ zusammengetragen werden, das eine Zusammenstellung empfohlener Praktiken, Fehlergrößen, Formeln und andere Faktoren enthält, die bei der Weißmessung eine Rolle spielen, wobei vorhandene Zusammenstellungen beachtet werden.

6. Literatur

[1] Graf, U.; und Henning, H. – J.:
Statistische Methoden bei textilen Untersuchungen. Springer – Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1957.

[2] Griesser, R.:
CIE Whiteness und Tint: Mögliche Verbesserungen. 2.1 Vortrag AIC Interim Meeting 95 Colorimetry, Berlin, 4. – 6. 09.1995.
2.2 Appita, 49 (1996) 2, page 105 – 112.
2.3 Wochenblatt für Papierfabrikation, 124 (1996) 19, Seite 842 – 853.

[3] Huff, K.:
Visuelle Abmusterung und praktische Farbmessung in der Kunststoffindustrie. Bayer AG, Leverkusen, Geschäftsbereich Kunststoffe, Technische Redaktion, 1993 (KU 40.254).

[4] Kaufmann, S.:
Reflexionsspektrometrie fluoreszierender polymerer Proben in Abhängigkeit von der Messfeld – Blende mit der Messgeometrie d/8. DfwG Report (2005) 3, Seite 6 – 16.

Vgl. auch: Melliand – Text. – Ber., 83 (2002) 9, Seite 656 – 659 oder Farbe interdisziplinär, Jahrbuch (2006), Seite 17 – 21.

[5] Kaufmann, S.:
Abgleich von Farbmessgeräten für blau fluoreszierende Proben mittels Korrelationen. DfwG Report (2006) 1, Seite 32 – 37.
Vgl. auch: Melliand – Text. – Ber., 87 (2006) 6, Seite 458 – 462 oder 85 (2004) 5, Seite 340 – 343.

[6] Mensak, B.:
Melliand – Text. – Ber., 80 (1999) Seite 756 – 757.

[7] TEGEWA – Arbeitsgruppe „Textile Vorbehandlung“: Belügt uns die instrumentelle Weißgradmessung ? Melliand – Text. – Ber., 84 (2003) 6, Seite 534 – 538.

[8] TEGEWA – Arbeitsgruppe „Textile Vorbehandlung“: Weißgradmessung – Einflussfaktor Nuancierung. Melliand – Text. – Ber., 86 (2005) 10, Seite 722 – 72

Anwendungsrelevante Aspekte und Beispiele der spektralbildgebenden Farbmessung in der industriellen Qualitätssicherung im Automobilbereich

Stefan Jäger, BAM; Berlin

Inhalt

- Motivation
- Herausforderung und Ziele
- Systemüberblick
- Systemleistung
- Zusammenfassung und Ausblick
- Diskussion

Motivation

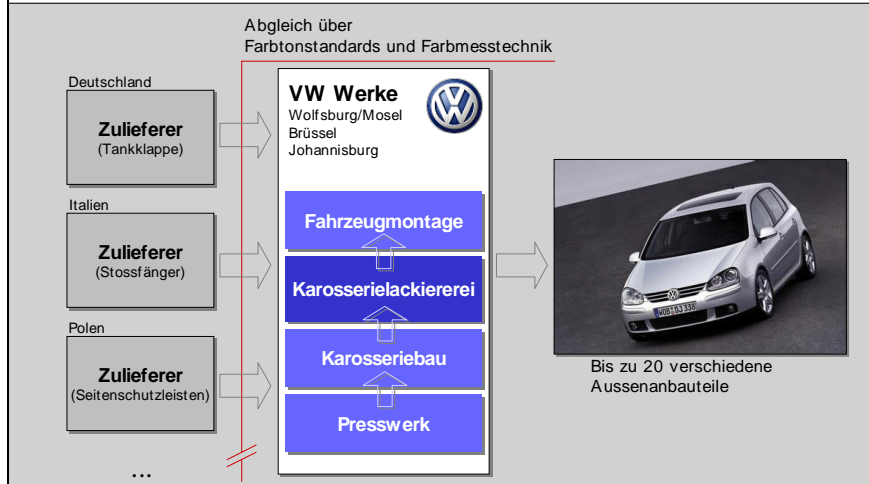
- Die Oberflächen- und Farbqualität eines Fahrzeugs haben einen großen Einfluss auf die Kundenzufriedenheit und Kaufentscheidung
- Qualitätsprobleme führen zu signifikanten Kosten
 - In der Produktion (Sortierung, Logistik, Nacharbeit, Entsorgung)
 - Im Feld (Gewährleistung, Imageverlust)
- Erreichung von Qualitätszielen durch Farbmesstechnik
 - Vor Serieneinsatz
 - Im Serieneinsatz

Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Motivation



Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Motivation

Farbübereinstimmung von Karosserie und Anbauteil



Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Herausforderung und Ziele (Probe)

- Proben mit multiplen Krümmungsradien
 - Messunsicherheit
 - ↳ Geeignete Fixierung und Vergleich zu einem Standard (physikalisch oder gemittelte Proben)
- Effektlackbeschichtete Proben
 - Anisotrope Streuung, Goniochromasie
 - ↳ Mehrwinkelgeometrie (Betrachtungswinkel: 15°, 25°, 45°, 75°, 110°)
- Verschiedene Lacklieferanten zwischen Zulieferindustrie und Fahrzeuglackiererei (mit verschiedenen Pigmenten)
 - Metamerie
 - ↳ Spektralverfahren notwendig

Stefan Jäger,
6.10.05

DfwG Jahrestagung 2005



Herausforderung und Ziele (Bewertung)

- Wunsch nach ganzheitlicher Bewertung



Stefan Jäger,
6.10.05

DfwG Jahrestagung 2005



Herausforderung und Ziele (Produktion)

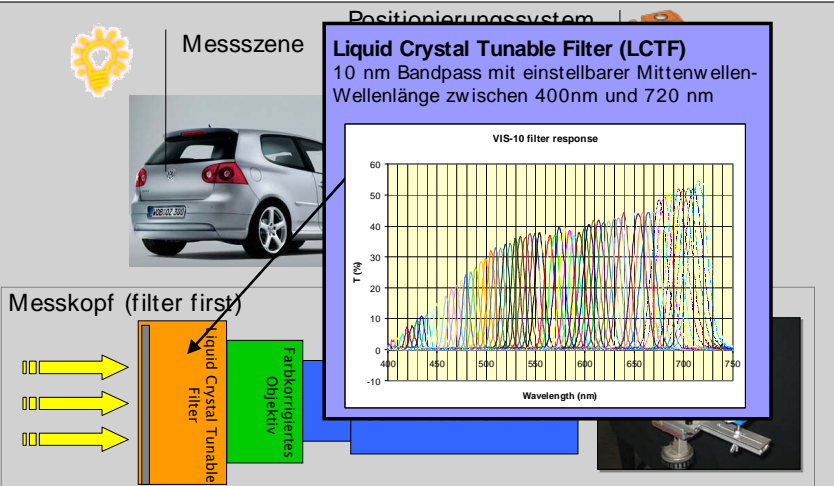
- Wunsch nach serienbegleitender 100% Messung zur Prozesskontrolle, -steuerung und Ausgangskontrolle
 - Taktzeit
 - Betriebskosten
 - Stabilität und Kalibrierung
 - Komponentenverfügbarkeit und -wechsel
 - Auswerteverfahren und Datenmengen
 - Integration der Transporttechnik

Stefan Jäger,
6.10.05

DfwG Jahrestagung 2005



Systemüberblick – Messstation

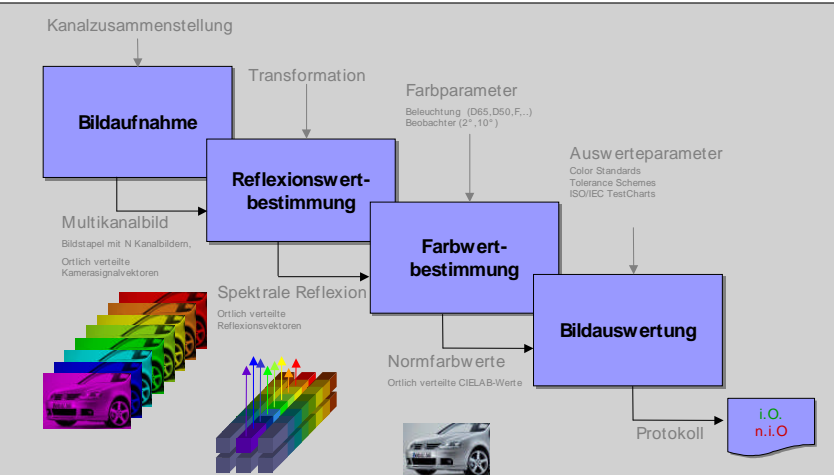


Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Systemüberblick – Messprozess

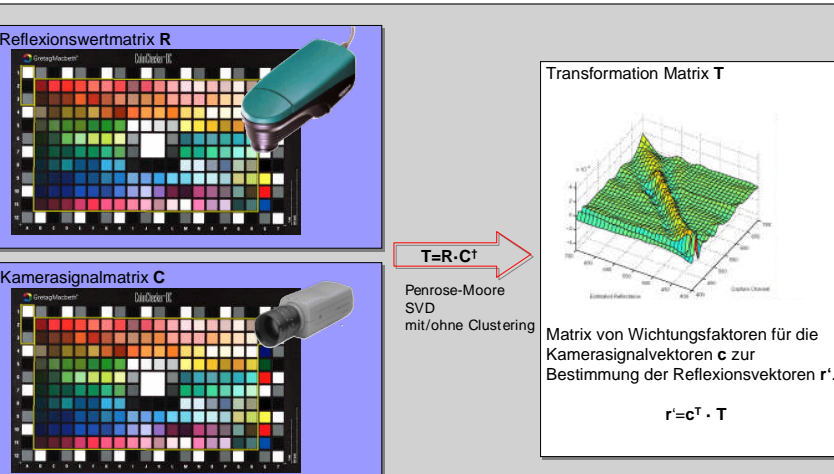


Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Systemüberblick – Transformationserstellung

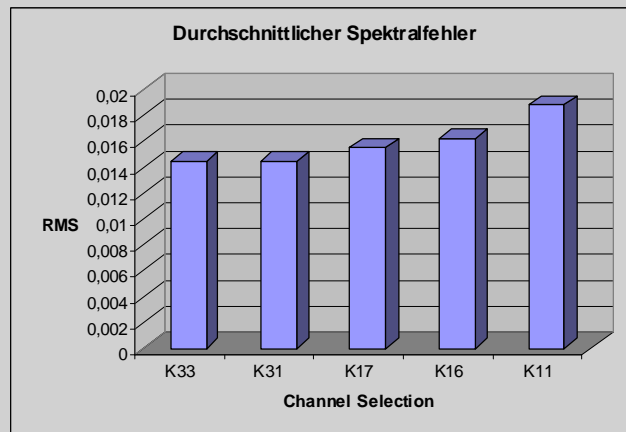


Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Systemleistung – Spektralfehler

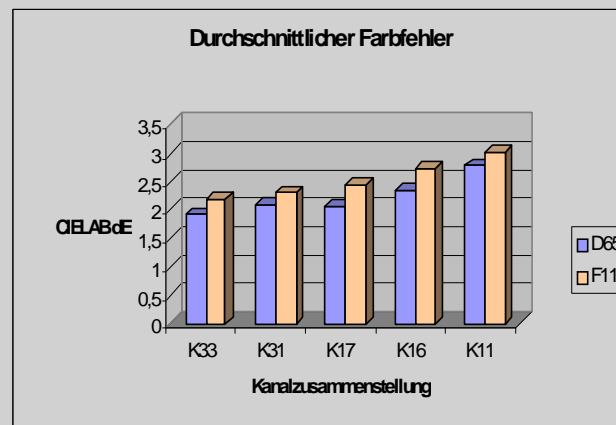


Stefan Jäger,
6.10.05

DfwG Jahrestagung 2005



Systemleistung – Farbmetrischer Fehler

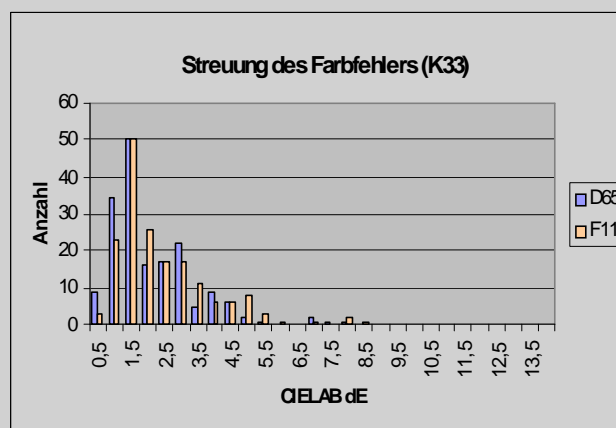


Stefan Jäger,
6.10.05

DfwG Jahrestagung 2005



Systemleistung – Farbmetrischer Fehler

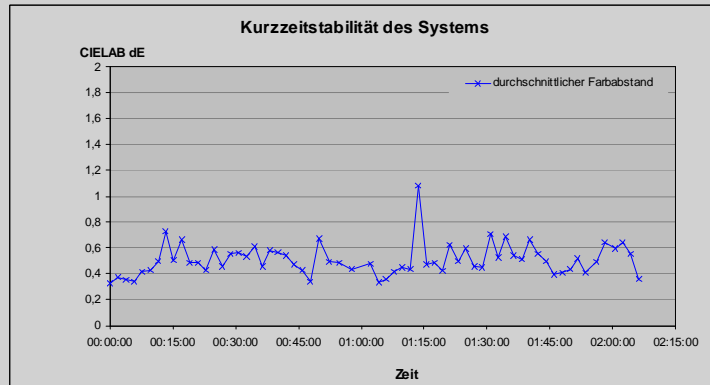


Stefan Jäger,
6.10.05

DfwG Jahrestagung 2005



Systemleistung – Stabilität

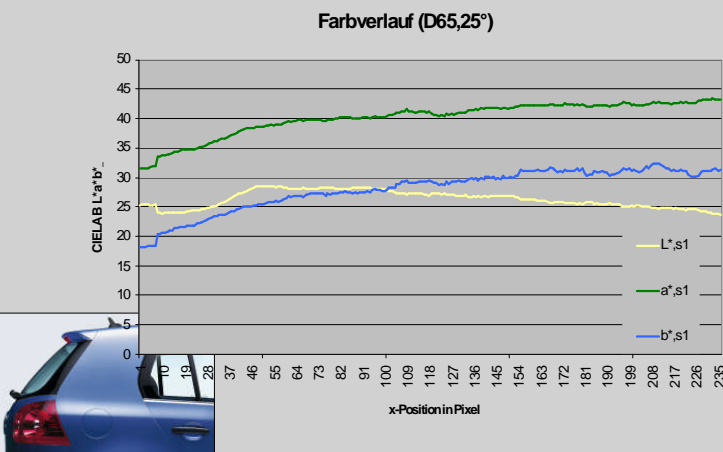


Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



Systemleistung – Beispiel Tankklappe

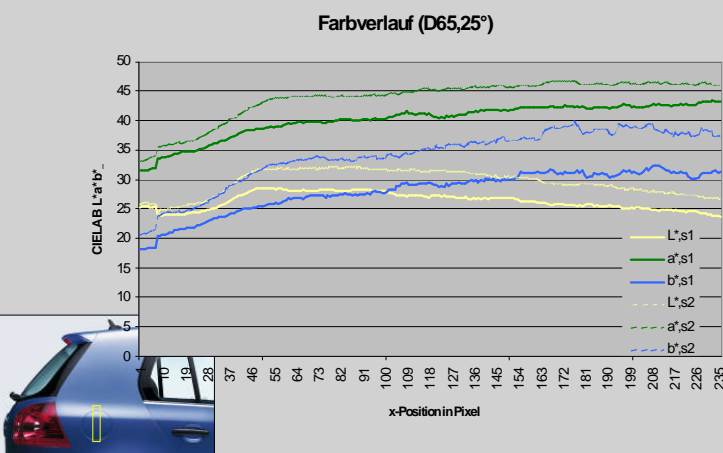


Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005



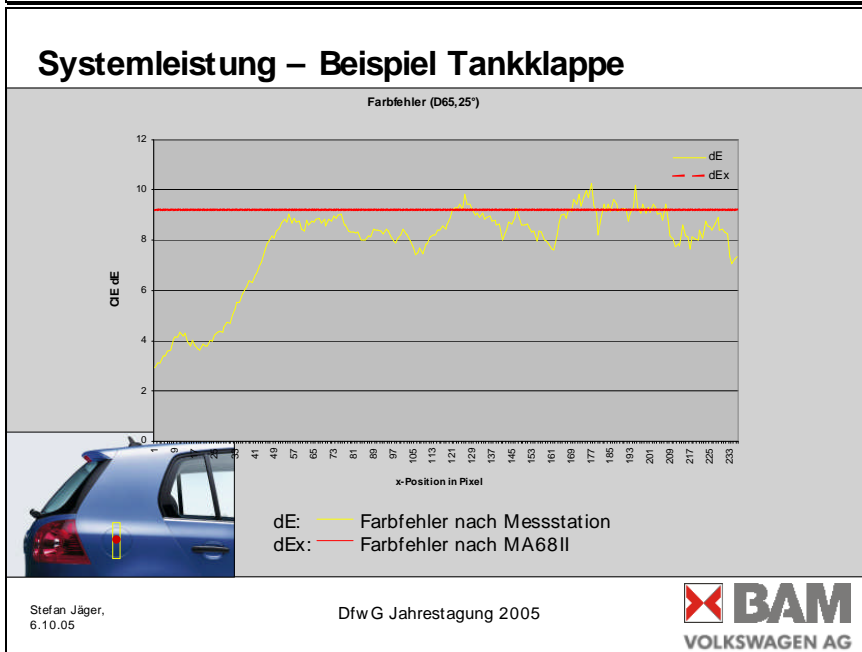
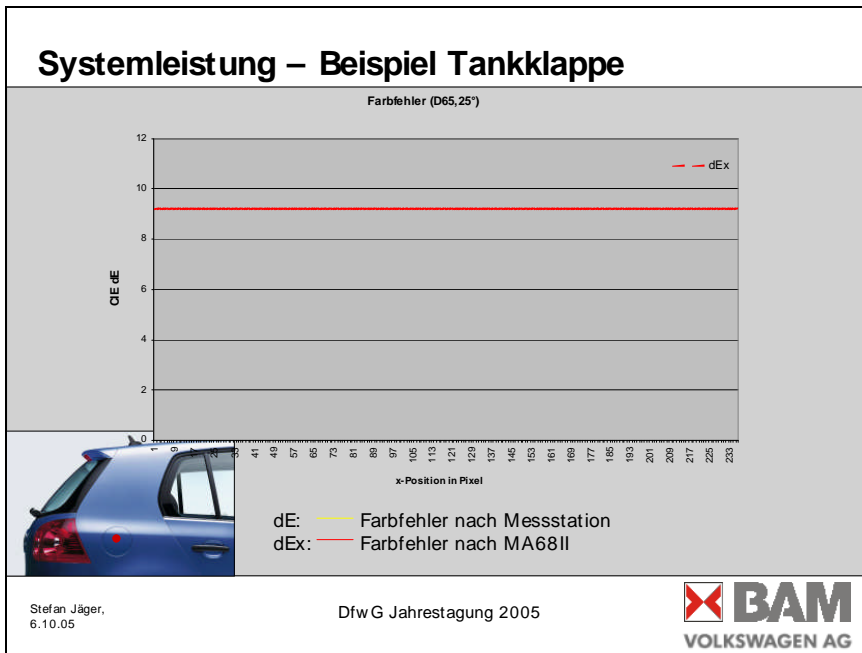
Systemleistung – Beispiel Tankklappe



Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005





Zusammenfassung und Ausblick

- Verfahren eröffnen neue Chancen bei der 100% Serienkontrolle von effektlackbeschichteten Karosserien und Anbauteilen
- Prototyp ausreichend genau für Serienkontrolle und Prozessüberwachung, Detailbewertung bei Auffälligkeiten mit anderen Geräten (z.B. MA68II)
- Messstand muss in Serienprozess implementiert und die Messmittelfähigkeit nachgewiesen werden


Stefan Jäger,
6.10.05

Dfw G Jahrestagung 2005

Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten

Dr. Gerhard Rösler, Gretag Macbeth


	<h2>Outline</h2> <ul style="list-style-type: none">• Vorschlag für neue Geometrien• Vorschlag for neue Terminologie zur Geometriebeschreibung• Visuelle Methoden• Portable vs Tischgeräte• Meßergebnisse• Normung <p>Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 2 </p>
	<h2>Ziel</h2> <ul style="list-style-type: none">• Instrumentelle Messung von Interferenzeffekt Proben mit Korrelation zum visuellen Eindruck• Instrumentelle Identifikation von Interferenzeffekt Pigmenten z.B. zur Reparaturlackierung und Farbrezeptur• Bessere Characterisierung unbekannter Effektpigmente in der Reparaturlackierung (Identifizierung der richtigen Pigmente) <p>Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 3 </p>
	<h2>Klassifizierung von Automobil Lackierungen</h2> <ul style="list-style-type: none">• Uni Farbton• Metallic Farbton• Interferenz Farbton• Mischungen (alle möglichen Kombinationen) <p>Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 4 </p>



Problem:
Messungen mit den 3-5 genormten Geometrien kann sichtbare Effekte verbergen, die von Interferenzpigmenten herrühren.

- Der visuelle Eindruck zeigt Farben, die mit den genormten 3-5 Winkel Geräten nicht gemessen werden.
- Identifizierung von Interferenzpigmenten in Mischungen ist nicht möglich
- Quantifizierung von Interferenzpigmenten in Mischungen ist nicht möglich

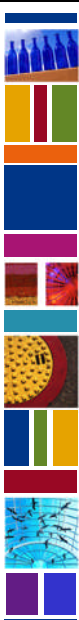
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 5
Farbmessung von Interferenzpigmenten gretamacbeth



Neue erforderliche Terminologie

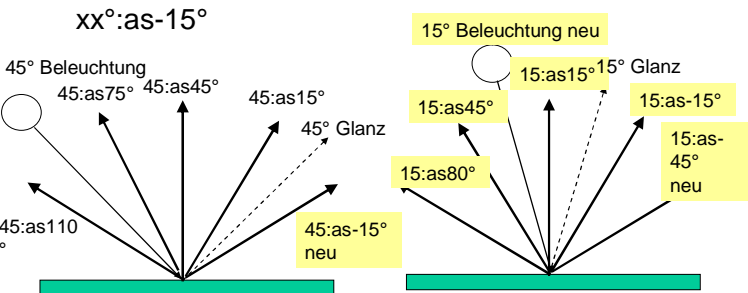
- Vorschlag:
(Beleuchtungswinkel): as (aspecularer Beobachtungswinkel)
- Beispiele:
 $45^\circ:as15^\circ$, $45^\circ:as-15^\circ$, $45^\circ:as110^\circ$

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 6
Farbmessung von Interferenzpigmenten gretamacbeth

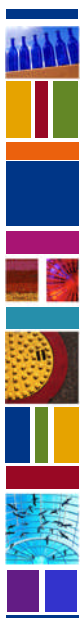


Vorgeschlagene neue Geometrien für die Messung von Interferenzpigmenten

- Zweite Beleuchtung unter 15°
- Beobachter auf der anderen Seite des Glanzes $xx^\circ:as-15^\circ$



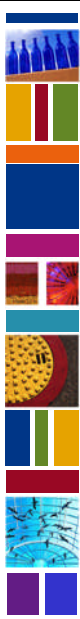
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 7
Farbmessung von Interferenzpigmenten gretamacbeth



Gründe für die neue Terminologie

- Winkel werden von der Probenoberfläche aus gemessen? **NEIN**
- Alle Winkel werden auf die Probennormale bezogen (CIE convention) und nicht von der Probenebene aus (Konsistenzgründen (Kugelgeometrie wäre sonst **d:82°** statt **d:8°**))
- 45:0 wäre **45:90**
- Aspecular (Winkel vom Glanz) muß eingeschlossen sein zum einfacheren Verständnis wie weit vom Glanz gemessen wird.
- Die Ersetzung des Beobachtungswinkels durch den Winkel vom Glanz mit der Kennzeichnung "as" = aspecular davor: **45°:as110°**

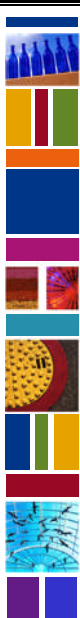
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 8 [gretagmacbeth](http://gretagmacbeth.com)



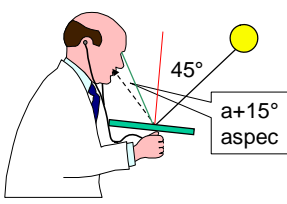
Visuelle Methoden für Effect Lackierungen

- Wenn wir Übereinstimmung zwischen dem visuellen Eindruck und den Meßergebnissen haben wollen, müssen wir die gleichen Geometrien benutzen – normal oder invers, aber die gleichen.
- Instrumentelle Multigeometrie Farbmessungen haben schon viel geleistet, aber ist ein nächster Schritt erforderlich?
- Interferenz Lack stellt deutlich höhere Anforderungen an die visuelle Abmusterung, da der Winkel vom Glanz allein nicht mehr ausreicht sondern der Beleuchtungswinkel ebenso wichtig ist.
- Der Interferenzeffekt tritt nur nahe am Glanz auf, also bei kleinen Winkeln vom Glanz
- Die instrumentellen Definitionen sind klar
- Instrumentelle Geometrien basieren auf der systematischen Abdeckung der Probencharakteristik

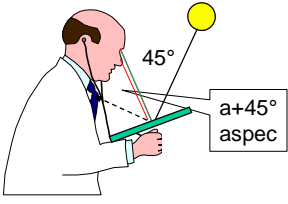
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 9 [gretagmacbeth](http://gretagmacbeth.com)



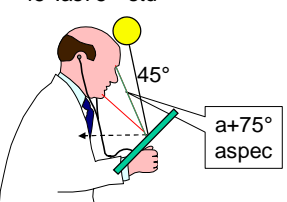
45°:as15° std



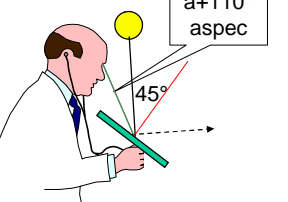
45°:as45° stc



45°:as75° std



45°:as110° stc



Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 10 [gretagmacbeth](http://gretagmacbeth.com)

15°:as15° neu 15°:as-15° neu

15° a+15° aspect

15° a-15° aspect

45°:as15° stc 45°:as-15° neu

45° a+15° aspect

45° a-15° aspect

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 11

Farbmessung von Interferenzpigmenten gretamacbeth

Visuell und instrumentell schwierige Geometrien

65°:as15° Problem 65°:as-15° Problem

a+15° aspect a-15° aspect

65° 65°

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 12

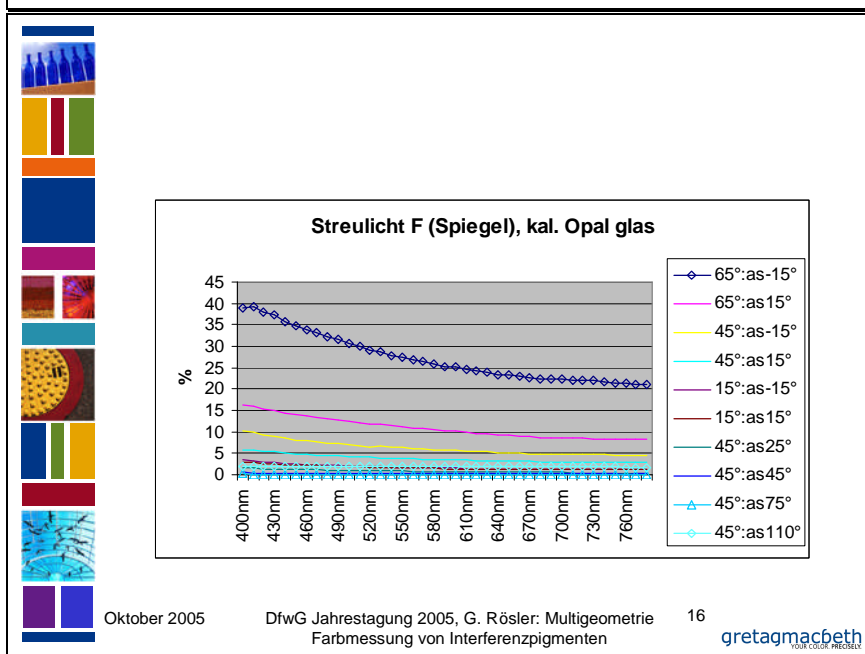
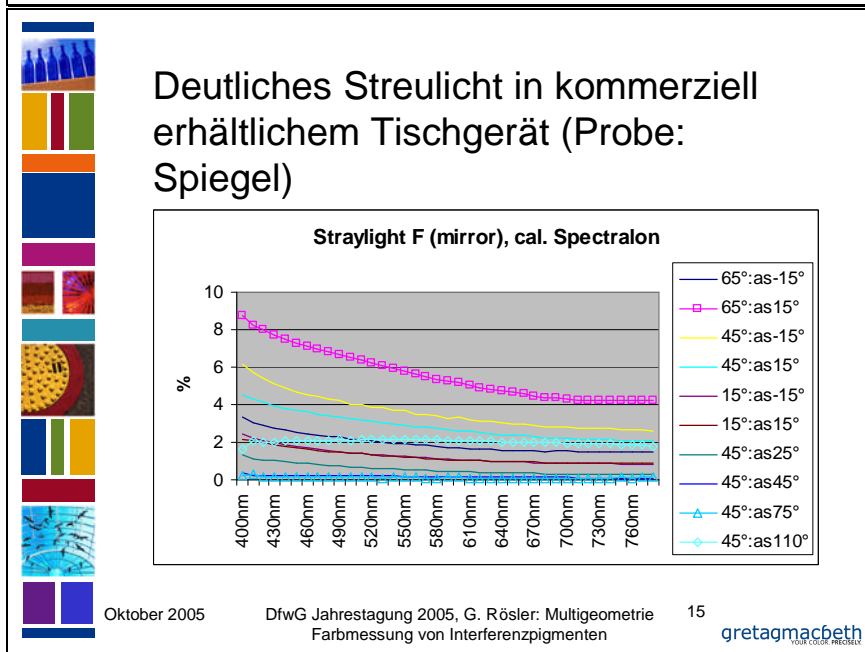
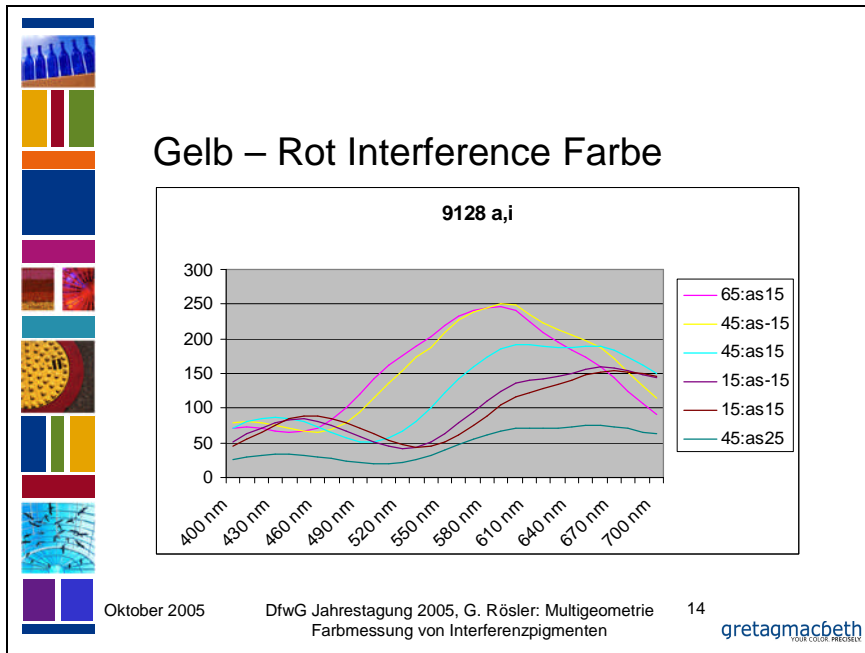
Farbmessung von Interferenzpigmenten gretamacbeth

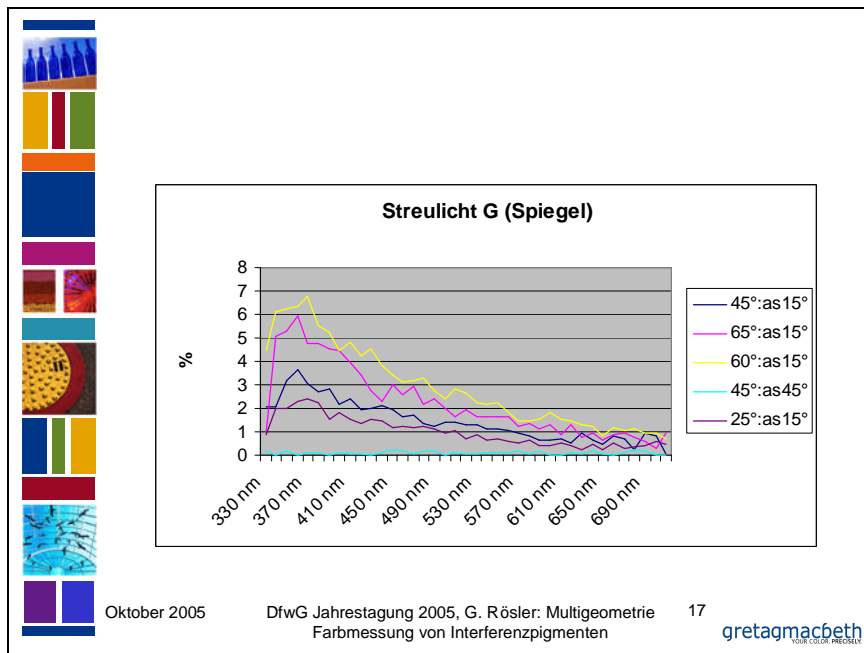
Portable vs Tischgeräte

- Sogar in großen Tischgeräten gibt es deutliche Streulichtprobleme bei flacher Beleuchtung und 15° aspecularer Beobachtung (z.B. 65°:as15 and 65°:as-15), die zu großen Messfehlern führen.
Der Gewinn an zusätzlicher Information ist gering, das Fehlerrisiko aber groß > sollte keine hohe Priorität haben.
- Die Vielzahl von Messgeometrien in einigen Tischgeräten die auch für eine neue ASTM Norm vorgeschlagen wurde kann in portablen Geräten nicht realisiert werden und macht sogar in Tischgeräten ernste Schwierigkeiten.
- Kurze Messzeiten sind erforderlich in portablen Geräten.

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 13

Farbmessung von Interferenzpigmenten gretamacbeth





Minimierung der Zahl der zusätzlichen Geometrien

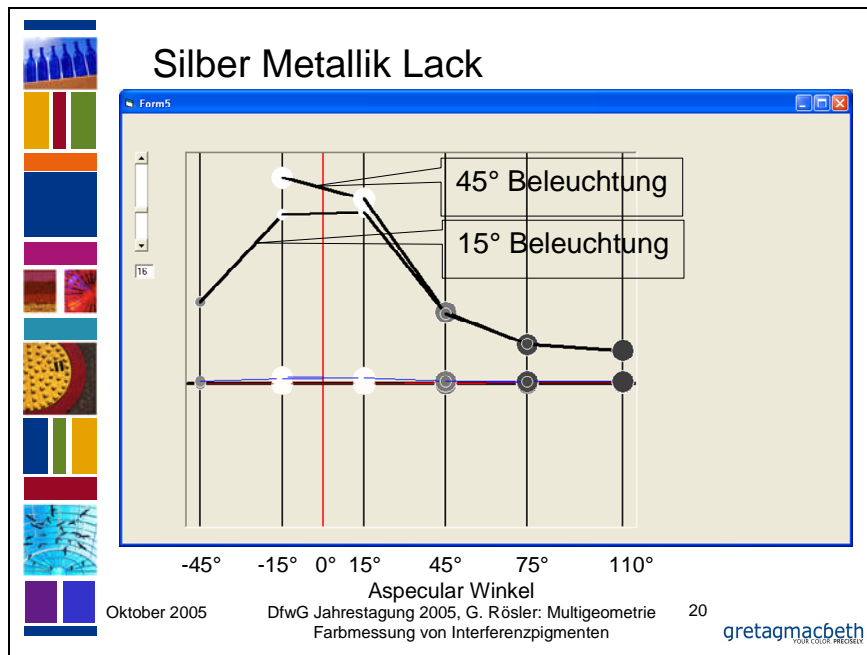
- Neue Untersuchungen waren die Grundlage für die Empfehlung folgender Messgeometrien zur Charakterisierung von Interferenzpigmenten
- Mindestens 5 Winkel:
45°:as-15° neu, 45°:as+15° std,
 45°:as+45° std, 45°:as+75° std,
 45°:as+110° std
- Zusätzliche Winkel:
15°:as-15° neu, 15°:as+15° neu, 15°:as+45° neu,
 15°:as-45° neu, 15°:as-80° neu

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 18 gretamacbeth

Wie werden die Ergebnisse dargestellt?

- Absolut (eine Probe)
- $L^*a^*b^*$ (C^*,h) Daten vs aspecular Winkel
- Gute kompakte Darstellung der visuell korrelierenden Daten

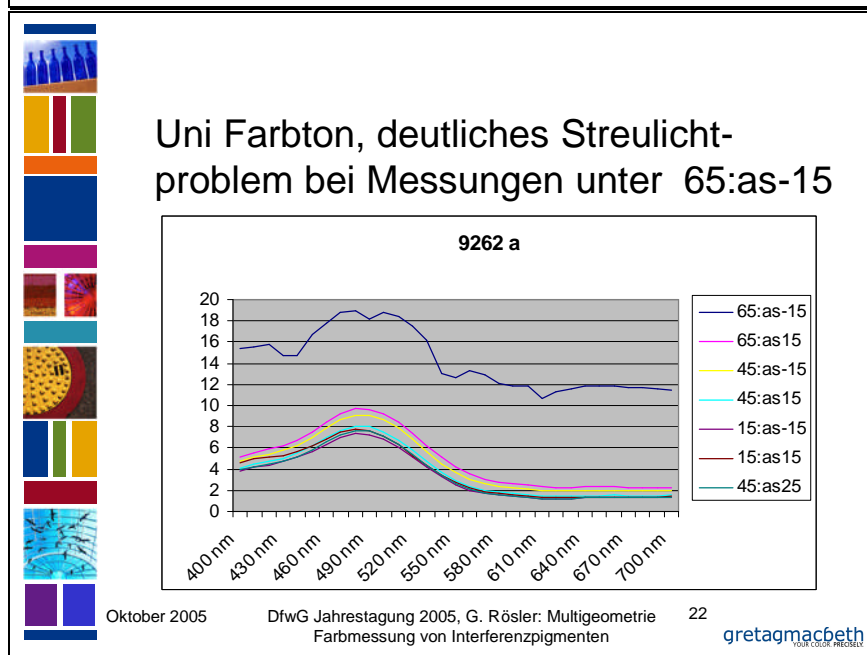
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 19 gretamacbeth




Mehrfache Reflexionskurven für unterschiedliche Messgeometrien

- Gute Übersicht
- Nicht möglich die farbmtrischen Effekte zu sehen
- Informationsgewinn durch 65° Beleuchtung ist gering gegenüber 45°.
- Das Streulichtproblem bei 65° Beleuchtung ist deutlich sichtbar in allen Messungen

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 21 gretagmacbeth







Kombinierte Darstellung von Messdaten

- a*b* Diagramm und Echtfarbdarstellung für mehrere Geometrien
- Visuell sind diese Farben nicht gleichzeitig sichtbar sondern nur nacheinander

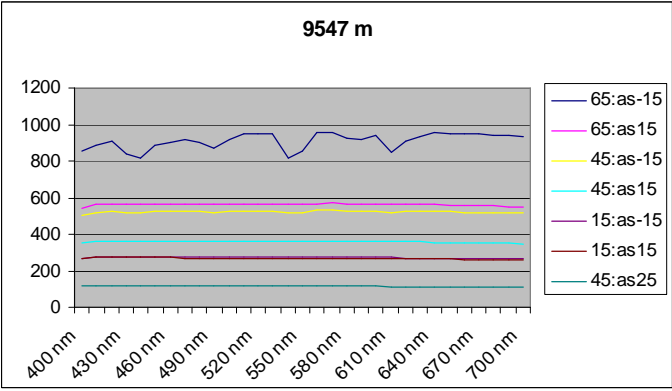
Oktober 2005
DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie
Farbmessung von Interferenzpigmenten
23







Silber Metallik

9547 m

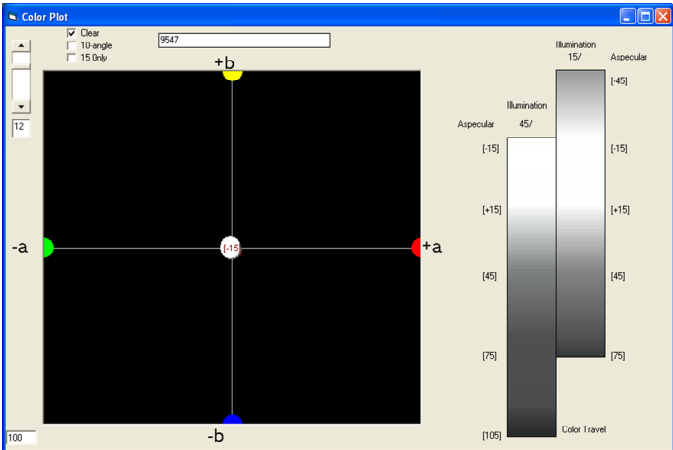


Oktober 2005
DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie
Farbmessung von Interferenzpigmenten
24




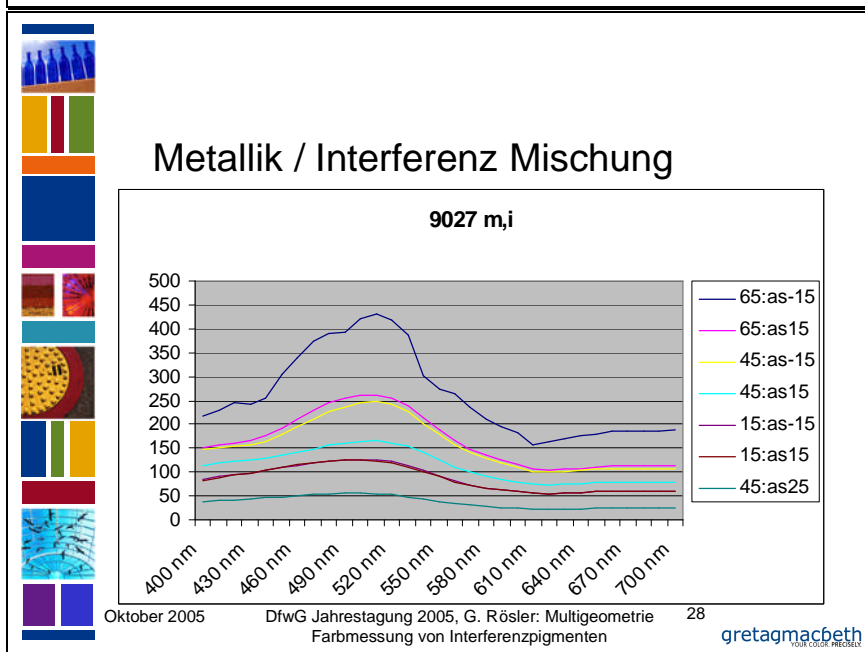
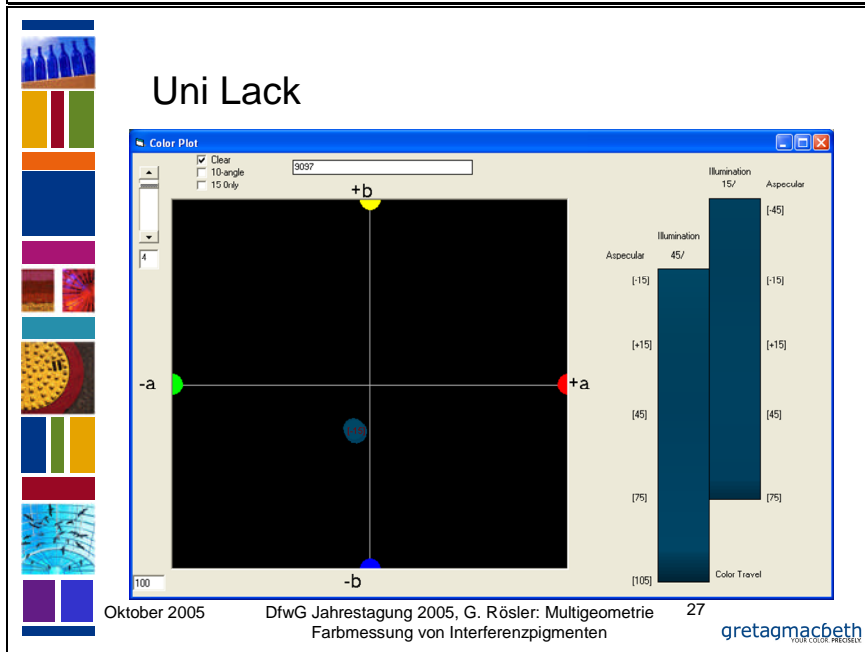
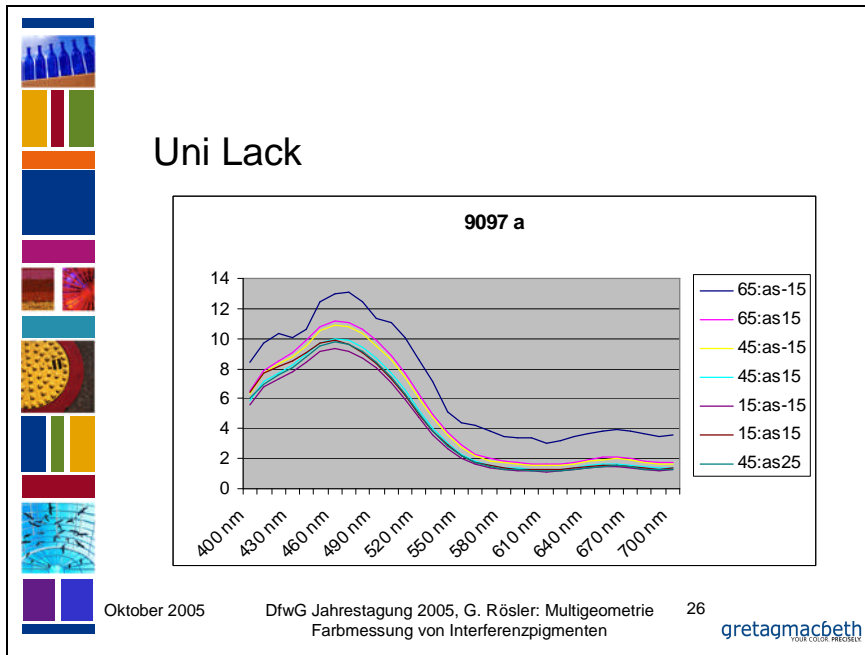


Silber Metallik Lack



Oktober 2005
DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie
Farbmessung von Interferenzpigmenten
25





Metallik / Interferenz Mischung

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 29

Farbmessung von Interferenzpigmenten [gretagmacbeth](http://www.gretagmacbeth.com)

Interferenz und absorbierende Pigmente

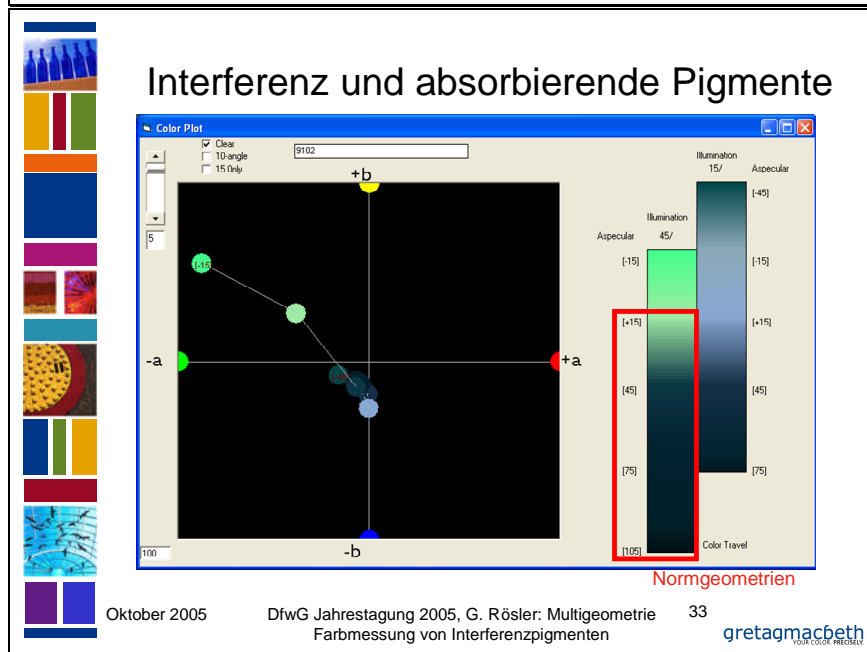
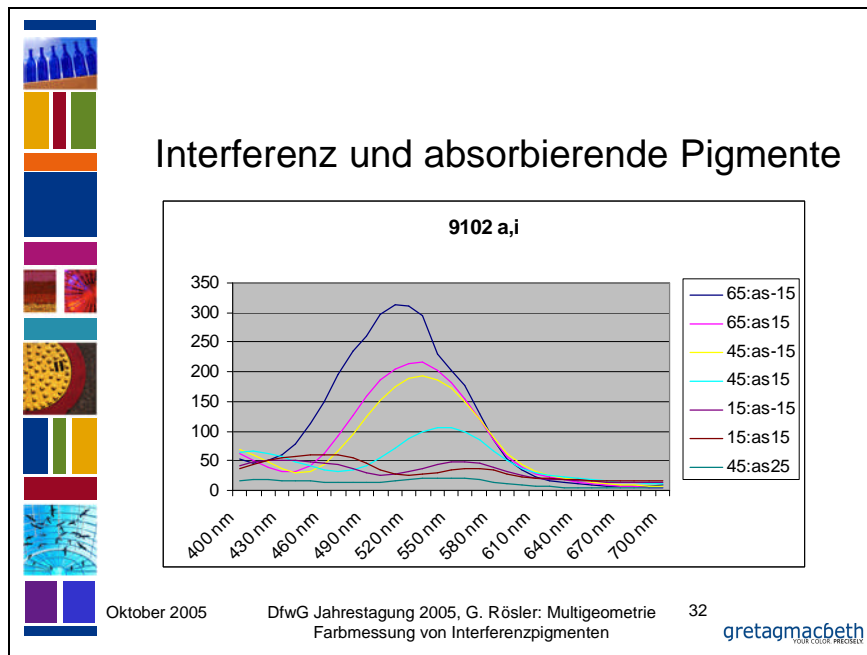
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 30

Farbmessung von Interferenzpigmenten [gretagmacbeth](http://www.gretagmacbeth.com)

Interferenz und absorbierende Pigmente

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 31

Farbmessung von Interferenzpigmenten [gretagmacbeth](http://www.gretagmacbeth.com)

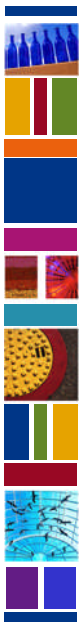


Normungs Status

- 15°, 25°, 45°, 75°, 110° aspecular Winkel mit einer 45° Beleuchtung (bzw. Beobachtung in inverser Anordnung) erfüllen beide existierenden Normen
ASTM E 2194 (15°, 45°, 110°) und
DIN 6175-2 (25°, 45°, 75° or 110°)
- Die Definition des aspecular Winkels (Winkel vom Glanz) ist bei Metallik Lacken sehr vorteilhaft. Für zusätzliche Geometrien ist zusätzliche Information erforderlich.

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 34

gretagmacbeth
YOUR COLOR REFERENCE



Neue ASTM Aktivitäten

- Neue Norm für Interferenz Lacke in Arbeit
- Hauptinteressenten sind die Effect Pigment Hersteller
- Characterisierung der Purttöne extremer Pigmente
- Heftige Diskussionen um den Entwurf

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 35 [gretagmacbeth](http://gretagmacbeth.com)

Neue DIN Aktivitäten

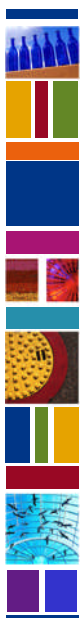
- Überprüfung des Toleranzmodells DIN 6175-2 für Metallik Lacke
- Ein neues Toleranzmodell, das von Unilacken bis Metalliklacke gültig ist wird gebraucht.
- Diskussionen über die nächste Generation von Meßgeometrien zur Charakterisierung von Interferenz Pigmenten (wird DIN 6175-3)

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 36 [gretagmacbeth](http://gretagmacbeth.com)

CIE

- TC 2-53: Multigeometry color measurement of effect materials
- Sammlung von Fakten
- Weltweites Interesse
- Report zur Beschreibung des Bedarfs und der Anwendung
- Letztes Treffen war in Leon in May 2005 zur CIE Sitzung

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie Farbmessung von Interferenzpigmenten 37 [gretagmacbeth](http://gretagmacbeth.com)



ISO

- „ISO 7724 Colorimetry“ wird komplett überarbeitet
- Multigeometry wird eingeschlossen
- ISO wartet auf mehrere CIE Standards, inklusiv Multigeometrie
- Einige Beiträge über die Applikation und spezielle Indizes sind in Deutschland in Arbeit.

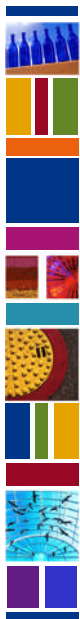
Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 38
Farbmessung von Interferenzpigmenten [gretagmacbeth](http://www.gretagmacbeth.com)



Ausblick

- Eine nächste Generation portabler Geräte scheint erforderlich mit:
 - Neuen Geometrien
 - Mehr Flexibilität
 - Kleiner Bauform
 - Einfacher Anwendung
 - Einfacher Darstellung und Interpretation der Daten, die komplexer sind aufgrund der Natur der Interferenz Effekte.

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 39
Farbmessung von Interferenzpigmenten [gretagmacbeth](http://www.gretagmacbeth.com)



Danksagungen

- Harold Vanaken, GretagMacbeth
- Bob Hart, GretagMacbeth
- Dave Battle, GretagMacbeth
- Werner Rudolf Cramer, Münster
- ASTM, DIN, CIE Ausschußmitglieder

Oktober 2005 DfwG Jahrestagung 2005, G. Rösler: Multigeometrie 40
Farbmessung von Interferenzpigmenten [gretagmacbeth](http://www.gretagmacbeth.com)

Stellar Spektrografie – Die Farben der Sterne

Christina Hacker

Der Himmel ist strukturiert

Sehen wir zum nächtlichen Himmel hinauf, sehen wir eine Unzahl kleiner Lichtpunkte. Nicht alle davon sind Sterne. Einige davon scheinen ruhig, viele jedoch flimmern. Die Wenigen die ruhig am Himmel stehen, sind meist Planeten unseres Sonnensystems, die vielen flackernden Lichter aber sind ferne Sterne, deren Parallaxe so klein ist, dass uns thermische Störungen in der Erdatmosphäre und unser Auge ein Flackern und Flimmern vorgaukeln. Aber es gibt auch Nebel, ferne Galaxien und dunkle Molekülwolken, die den Nachthimmel bevölkern. Das scheinbare Chaos jedoch ist strukturiert. Sterne sowie Nebel, als auch Galaxien lassen sich klassifizieren. Spektrum heißt das Zauberwort und besonders auf die Spektren der fernen Sonnen will ich in den folgenden Kapiteln näher eingehen.

Was uns Spektren über die Natur der fernen Sonnen verraten

Viele die sich zum ersten Mal mit stellarer Spektrografie beschäftigen, sind überrascht und beeindruckt, welche Informationen sich aus einem einfachen Sternenspektrum interpretieren lassen. Chemische Zusammensetzung, Temperatur, Alter und Größe sind nur die offensichtlichsten. Aber mittels Spektren lassen sich auch das Vorhandensein und die Stärke von Magnetfeldern bestimmen, Doppelsterne identifizieren, Entfernungen messen und auf das Alter des Universums schließen. Dabei eröffnet sich eine Vielfalt und Struktur, die den Laien als auch den Forscher immer wieder in Erstaunen und Ehrfurcht versetzt.

Ich beschäftige mich schon seit einigen Jahren mit dem Thema, wenn auch nur im amateurhaften Sinne. Obwohl es ein sehr komplexes Hobby ist, bin ich immer wieder erstaunt und fasziniert, was sich hinter den kleinen Lichtpunkten am Himmel alles verbirgt. Und hin und wieder beschleicht mich das ehrfürchtige Gefühl, dass das alles viel zu komplex ist, um ein Zufall zu sein.

In dem Sinne: Lassen Sie sich anstecken!

Das Spektrum unserer Sonne

Der Stern über den wir am besten Bescheid wissen, ist unsere Sonne. Sie ist ein eher mittelmäßiger Typ. Auch ihr Spektrum wirkt eher unspektakulär wie man im Bild 1.1 erkennen kann.



Bild 1.1: Das Linien-Spektrum der Sonne im sichtbaren Spektralbereich (gekürzte Form).

Sie gehört zum Spektraltyp G2V. (Was das im einzelnen bedeutet, wird in späteren Kapiteln erläutert.) Und doch birgt dieses Spektrum eine enorme Komplexität in sich. Besonders sichtbar wird dies, wenn man den gesamten Verlauf des elektromagnetischen Spektrums der Sonne betrachtet, und sieht wie viele Informationen darin verborgen sind (Bild 1.2).

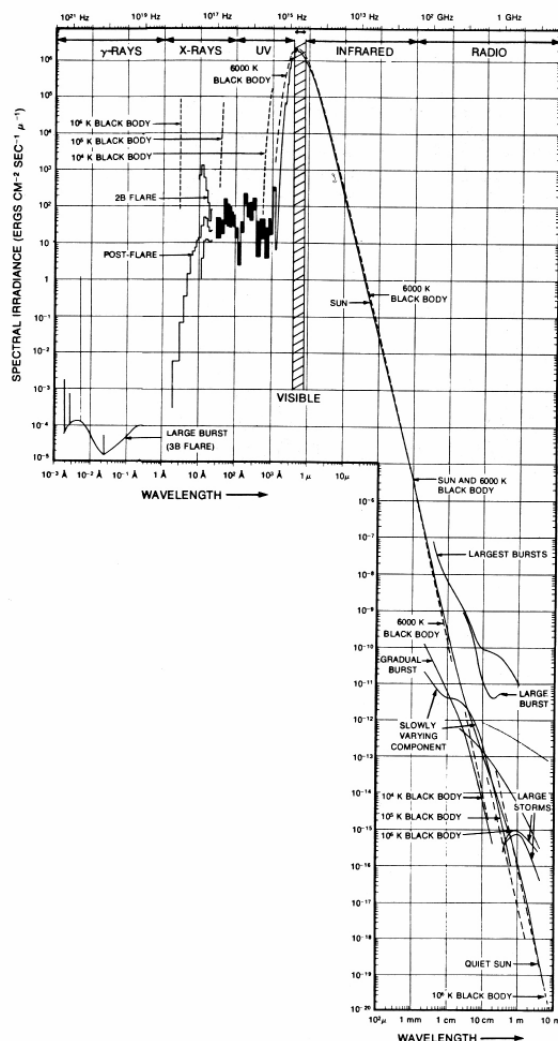


Bild 1.2: Vollständiges elektromagnetisches Spektrum der Sonne (Quelle: Aktive Sterne).

Eines wissen wir ganz sicher, unsere Sonne ist ein eher unscheinbarer Zwerg in der Vielfalt des Kosmos. Völlig durchschnittlich was Umfang, Masse und Strahlungsverhalten betrifft. Stellt man es den Spektren anderer Sterne gegenüber, so sehen wir, wie sich die Sonne in die große Vielfalt der Sterne einordnet (Bild 1.3).

Das bemerkenswerte an der Sonne jedoch ist, dass sie intelligentes Leben hervorgebracht hat. Vielleicht ist ihre Durchschnittlichkeit ein entscheidender Faktor dafür, warum auf der Erde das Leben so entstehen konnte, wie wir es kennen...

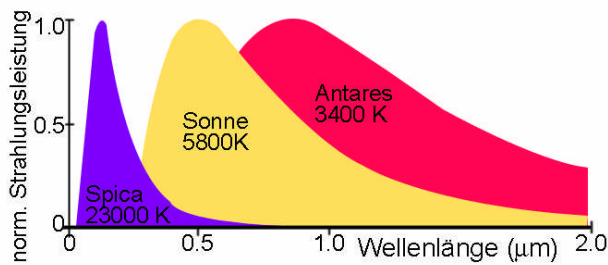


Bild 1.3 Spektrvergleich

Jedem, der sich im weitestgehenden Sinne schon einmal mit Licht und Farbe beschäftigt hat, dem ist der Begriff D65 bekannt. Als Lichtart D65 bezeichnet man gemeinhin das genormte Tageslicht. Genormt, weil man es überall zur Beurteilung von Farben heranzieht, da das Tageslicht auf der Erde genau genommen nicht überall gleich ist. Wie verhält es sich aber zum echten Sonnenlicht?

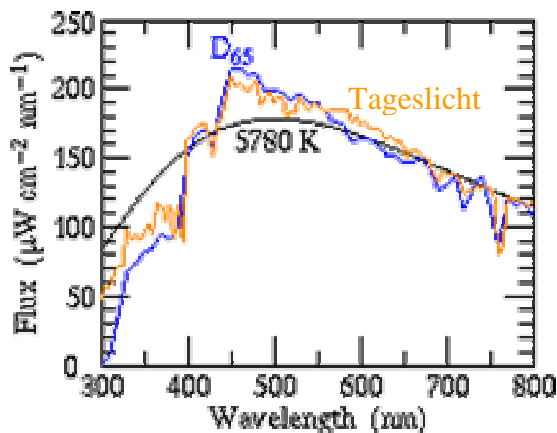


Bild 1.4: Spektrum des Sonnenlichts zu D65 (Quelle: Solar Flux Atlas von 296 bis 1300 nm)

1963 von der CIE als Tageslicht Standard eingeführt, repräsentiert D65 die Farbtemperatur die bei sich bei einem schwarzen Strahler bei 6500°K ergibt.

Die Sonne hat eine effektive Oberflächentemperatur von 5780°K, aber die Sonne ist kein idealer schwarzer Körper. Das Diagramm zeigt das Spektrum der Sonne wie man es bei bedecktem Himmel innerhalb der

Atmosphäre beobachten kann, zusammen mit dem idealen Spektrum eines Schwarzen Körpers und dem CIE D65 Spektrum auf 560nm normalisiert. Wie man sieht, gibt es kleine Unterschiede.

Wir und unsere Sonne

Unsere Detailkenntnis von der Sonne ist so groß, dass sich daraus auch Probleme ergeben. Einige der Daten die im Laufe von Jahrzehnten angesammelt wurden, verstehen wir bisher nicht genau und viele Forscher rund um den Globus sind Jahr für Jahr bestrebt, die Geheimnisse die uns die Sonne stellt, zu lösen.

Wie verbunden unsere Entwicklung mit der Sonne ist, zeigt sich wiederum am Spektrum der Sonne, so wie es sich in Bild 1.5 darstellt.

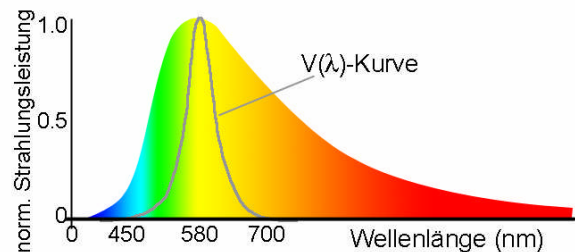


Bild 1.5: V(λ)-Kurve

Betrachtet man nur den sichtbaren Bereich und legt darüber die V(λ)-Kurve des menschlichen Auges, stellt man überraschend fest, dass beide Kurven ihr Maximum an fast der gleichen Stelle haben. Das macht deutlich, dass wir Menschen eindeutig Kinder der Sonne sind und somit alles Leben auf der Erde in diesem Sonnensystem entstand. Es zeigt uns aber auch, wie abhängig wir vom Licht der Sonne sind.

Grundlagen der Stellaren Spektrografie

Man unterscheidet Spektroskopie und Spektrografie. Während ersteres nur auf die Auswertung mit dem menschlichen Auge am Teleskop begrenzt ist, wird bei der Spektrografie ein Bildspeicherndes Element hinter dem Beugungsgitter angebracht. Entweder ein Film oder ein CCD-Chip. Da ich in diesem Vortrag auf aufgezeichnete Spektren zurückgreife, konzentriere ich mich im folgenden hauptsächlich auf die Spektrografie.

Spektrografen

Die Zerlegung des Lichts nach Wellenlängen erfolgt durch ein Prisma oder ein Gitter. Ein Teleskop dient dabei dazu, die Strahlung ei-

ner kosmischen Lichtquelle durch einen Spalt in das Innere des Spektrografen zu werfen. Ein Kollimator erzeugt zunächst parallele Lichtstrahlen und wirft sie auf das Gitter. Wichtig ist, dass man die Brennweite des Kollimators so groß wählt, dass das Gitter voll ausgeleuchtet ist. Das spektral zerlegte Licht gelangt dann weiter zur Abbildung in die Spektrografenkamera.

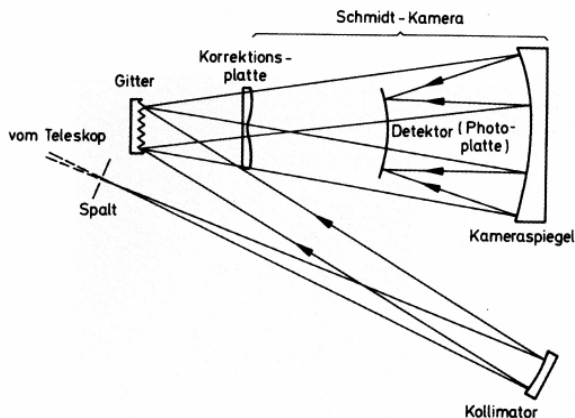


Bild 2.1: Schematischer Aufbau eines Spektrografen (Quelle: Der neue Kosmos)

Früher wurden Fotoplatten als Detektoren verwendet. Im digitalen Zeitalter wurden sie aber durch CCD-Sensoren ersetzt. Seit man Beugungsgitter mit beliebiger Strichzahl anfertigen kann, verwendet man fast nur noch Gitterspektrografen. Beugungseffekte sind in der astronomischen Spektrografie meist zu vernachlässigen, da $\Delta\lambda$ durch die räumliche Auflösung des Detektors, z. B. durch das Bildelement des CCD bestimmt wird. Man sollte sich aber vor Augen führen, dass die Belichtungszeiten die Dispersion (bzw. Strichzahl des Gitters) bestimmen. Denn Licht das von Sternen zu uns kommt, ist meist so schwach, da es Stunden braucht, um ein brauchbares Bild auf dem Detektor zu hinterlassen. Belichtungszeiten von >5 h sind in der Praxis meist zu aufwendig.

Bei hochauflösenden Spektrografen, wie dem des Hubbleteleskops, reicht die spektrale Empfindlichkeit vom Ultraviolett bis ins nahe Infrarot (115 nm - 1 mm).

Früher verwendete man für die Spektraldurchmusterung ganzer Sternfelder Objektivprismen oder Objektivgitter. Man setzte dabei vor das Teleskop ein Prisma (Gitter) in das Minimum der Auslenkung und erhielt so in der Brennebene von jedem Stern ein Spektrum. So wurde zum Beispiel am Harvard Observatory der Henry-Draper-Katalog erstellt, der neben Position und fotografischer Helligkeit den Spektraltyp von rund einer vier-tel Millionen Sternen enthält. Heute nimmt

man mit einem Teleskop den Bereich des Himmels auf, den man spektrografisch erfassen will und erstellt eine Karte von den gewünschten Objekten. Diese Karte überträgt man auf eine Metallplatte, so dass sie später in den Brennpunkt des Teleskops eingesetzt werden kann und bohrt an den Stellen mit den Objekten kleine Löcher in die Platte, in die man Lichtwellenleiter einsteckt, die an einen Detektor angeschlossen werden. Und richtet nun das Teleskop mit der Platte wieder exakt auf den gewünschten Bereich des Himmels aus. So erhält man nur von einzelnen Objekten die Spektren, ohne dass sie sich mit denen anderer Objekte überlagern. Dieses Verfahren setzt man heute vorwiegend beim Bestimmen von Galaxienspektren ein.

Die Arten der Spektren

Spektroskopie ist die Wissenschaft vom Verhältnis zwischen Strahlung und Materie. Atome und Moleküle erzeugen und verschlucken Licht und andere elektromagnetische Strahlung mittels ihrer Elektronen. Entsprechend ihrer Temperatur bewegen sich Atome im gasförmigen Zustand mit großen Geschwindigkeiten und stoßen miteinander zusammen. Bei jedem Stoß können Elektronen von einem niedrigen Energiezustand in einen höheren wechseln. Auch Lichtphotonen können, wenn sie auf ein Atom treffen, dieses auf ein höheres Energieniveau heben. Aufgrund der unterschiedlichen erlaubten Energieniveaus in den Atomen sind dazu Photonen unterschiedlicher Wellenlänge notwendig. Nicht alle Lichtphotonen werden also ein Atom anregen. Das bedeutet auch, dass man zum Anregen eines Wasserstoffatoms Photonen anderer Wellenlänge benötigt als bei einem Heliumatom. Die Entstehung von Spektren ist in Bild 2.2 dargestellt.

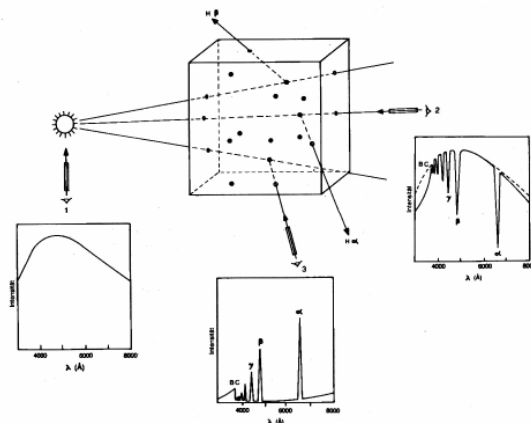


Bild 2.2: Entstehung von Spektren (Quelle: Sterne und ihre Spektren)

Man unterscheidet zwischen kontinuierlichen Spektren, Absorptionsspektren, Emissionsspektren und ihren Mischformen.

Kontinuierlich



Bild 2.3 (Quelle: Spectral Sequence of Stars).

Kontinuierlich nennt man Spektren ohne Spektrallinien, wie z. B. das einer Glühlampe (Bild 2.3). Es entsteht in den tiefen mit dichtem und undurchsichtigem Gas gefüllten Schichten der Sonnen. Astronomen bezeichnen es auch als Kontinuum.

Absorptionsspektrum



Bild 2.4: (Quelle: Spectral Sequence of Stars)

Fällt ein kontinuierliches Spektrum, in dem Photonen aller Wellenlängen verfügbar sind, in einen Kasten mit gasförmigem atomarem Wasserstoff, tritt aus der anderen Seite des Kastens Licht aus, in dessen Spektrum Photonen fehlen. Hier war die Energie der Photonen gleich der Energiedifferenz zweier erlaubter Zustände des Wasserstoffatoms (Balmer-Serie). Das so erzeugte Spektrum bezeichnet man als Absorptionsspektrum (Bild 2.4), da Photonen des Lichts durch die Wasserstoffatome absorbiert wurden. In den äußeren Schichten der Sterne entstehen solche Absorptionsspektren in den Atomen in ihrer Gashülle dem Kontinuum ihre Linien aufprägen, benannt nach ihrem Entdecker Joseph von Fraunhofer.

Emissionsspektrum



Bild 2.5 (Quelle: Spectra of Gas Discharges)

Wenn nun die durch die Absorptionsprozesse in höhere Niveaus gehobenen Elektronen wieder in ihren Grundzustand zurückfallen, was zwangsläufig passiert, geben sie die Energie wieder als Photonen ab. Diese Photonen mit einem Spektroskop eingefangen, erzeugen ein reines Emissionsspektrum (Bild 2.5). Emissionsspektren erhalten Astronomen vorwiegend von planetaren Nebeln (Reste von Supernovas). Sie sind aber auch in der Sonne vorhanden, lassen sich dort jedoch nur schwer beobachten (z.B. bei Sonnenfinsternis).

Mischformen

Am Sternenhimmel jedoch überwiegen meist die Mischformen. Viele Sterne sind von Gaswolken umgeben oder das Licht des Sterns durchquert auf seiner langen Reise zur Erde Molekülwolken. Selbst das Licht der Sonne muss auf seinem Weg von der Oberfläche der Photosphäre noch mehrere Schichten atomares Gas durchqueren. Die Kunst der Astronomen besteht darin, die falschen Linien herauszufiltern.

Größen

Astronomen verwenden nicht „nm“ sondern Ångström als Bezeichnung für die Wellenlänge. 1 nm entsprechen 10 Å. Dies dient zur genaueren Identifizierung der vielen Linien in den Spektren.

Helligkeit

Neben der Wellenlänge gibt es noch die Größen der Helligkeit. Man unterscheidet absolute, visuelle und bolometrische Helligkeit. Letztere entspricht der gesamten Strahlung eines Sterns, also dem Integral seiner Strahlung über alle Wellenlängen. Die absolute Helligkeit ist definiert als die scheinbare Helligkeit die ein Stern in der willkürlich festgelegten Standardentfernung von 10 Parsec (32,6 Lj) haben würde. Die visuelle scheinbare Helligkeit dagegen lehnt sich an die Farben der Sterne an, d. h. ihren Spektralverlauf.

Farbe

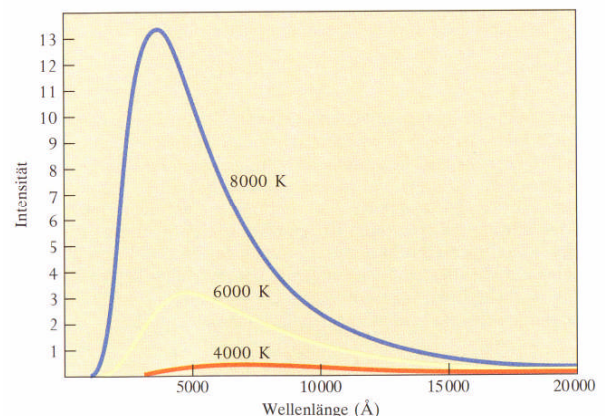


Bild 2.6: Spektren schwarzer Körper (Quelle: Sterne)

Die Farben der Sterne sind eng mit den Spektraltypen und den Oberflächentemperaturen verknüpft. Dies begründet sich daraus, dass man einen Stern als einen idealen Strahler, also einen schwarzen Körper bezeichnen kann. Der Helligkeitsverlauf im Spektrum eines solchen Körpers ist charakteristisch: Von hohen Wellenlängen zu nied-

rigen steigt die Energie stetig bis zu einem Maximum an und fällt dann auf Null ab. Bei steigender Temperatur behält die Strahlungskurve ihre Gestalt, sie wird nur höher und weitet sich zu niedrigen Wellenlängen hin aus.

Die Messung der Sternfarbe ist aber unabhängig von diesem physikalischen Hintergrund. Da wir Farbe als Sinneseindruck eines visuellen Beobachters kennen, ist es weitaus schwieriger die Farbe der Sterne genau zu identifizieren.

Die wahrgenommene Helligkeit eines Sterns ist abhängig von der Menge der sichtbaren Strahlung, die in unser Auge fällt. Die empfundene Farbe ist Ausdruck von deren Verteilung über das sichtbare Spektrum. Normales Sternenlicht ist stets eine Mischung aus allen Spektralfarben (siehe Kontinuum), abgesehen von Sternen die extrem kühl sind oder hinter dicken Staubwolken stehen. Der Farbton eines Sterns entsteht durch das Überwiegen der einen oder anderen Spektralfarbe in der von ihm emittierten Strahlung.

Wie wir wissen ist das menschliche Auge für gelbes Licht am empfindlichsten (genau bei 5480 Å), darum erzeugt Licht einer anderen Wellenlänge (z.B. blau) einen schwächeren Sinneseindruck - bei gleicher Energiemenge. Auf diesem Zusammenhang zwischen Farbe und Helligkeitsempfindung beruht die messtechnische Definition der Sternfarben: Eine Helligkeitsmessung des gleichen Objekts in zwei wohldefinierten Wellenlängenbereichen. Dieses Maß für die Farbe bezeichnet man üblicherweise als Farbenindex. Es ist der Helligkeitsunterschied ausgedrückt in Größenklassen. Die verwendeten Wellenlängenbänder heißen V (5480 Å) für visuell, B (4500 Å) für blau und U (3500 Å) für ultraviolett. Die gemessenen Helligkeiten werden ebenso benannt. Die daraus abgeleiteten Farbenindizes heißen U-B und B-V, wobei letztere in der Astronomie am häufigsten verwendet wird, mit Werten zwischen -0,4 mag (Magnitude) Blau und +2,0 mag Tiefrot. So ist der Farbindex weißer Sterne fast Null.

Außerdem gibt es noch weitere Farbindices im roten und infraroten Bereich, auf die ich hier nicht weiter eingehen möchte.

Im Bild 2.7 sind schwarze Körper verschiedener Temperaturen auf gleiche Höhen normiert. Der heißeste (23000°K) ist in B heller als in V, der kühlste (3400°K) ist heller in V. Da die Größenklasse kleiner wird, wenn die Helligkeit steigt, muss der Farbenindex B – V für den heißen Körper negativ und für den kühlen positiv sein. Für die Sonne mit rund

5800°K ist er nur leicht positiv.

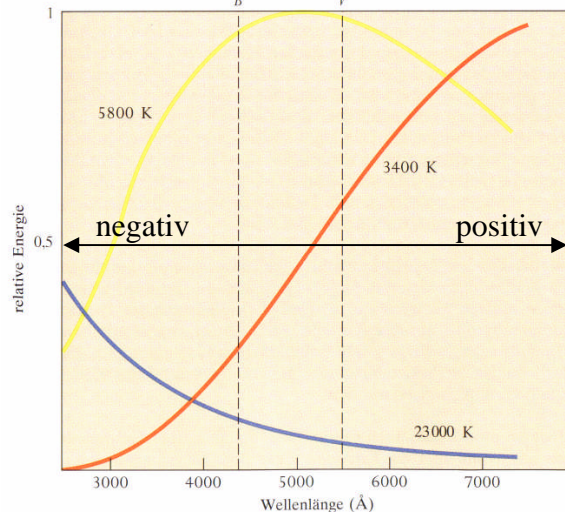


Bild 2.7: Farbenindizes (Quelle: Kahler-Sterne)

Fraunhoferlinien

Nur mit Helligkeiten und Farben bleibt die wahre Natur der Sterne aber unerkannt. Die wirklichen Informationsquellen sind die Spektren selbst.

Nachdem Isaac Newton entdeckte, dass sich Sonnenlicht in seine Spektralfarben zerlegen lässt, stellte 1802 der englische Wissenschaftler William Wollaston fest, dass das Sonnenspektrum von einigen dunklen Lücken unterbrochen ist. Joseph von Fraunhofer nahm diesen Gedanken auf und hatte bis 1815 bereits 300 solcher Linien katalogisiert. Jahrzehnte später konnte man bereits viele dieser Linien verschiedenen Atomarten zuordnen. Doch als man die primitiven Spektroskope auf die Sterne richtete, zeigten nur wenige ein solches Absorptionsspektrum wie die Sonne. Einige waren einfacher, andere dagegen viel komplexer. Und diese Komplexität schien mit der Sternfarbe einherzugehen. So kam man zu dem Schluss, dass Sterne unterschiedlicher Temperatur auch eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung besitzen.

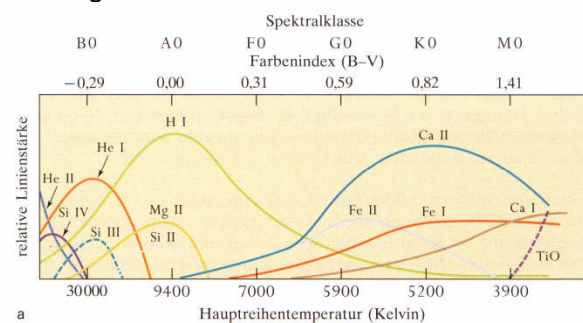


Bild 3.1: Unterschiedliche Atome, Ionen und Moleküle erzeugen ihre Spektren bei unterschiedlichen Temperaturen. (Quelle: Sterne) Interpretation der spektralen Frequenz

Die Klassifizierung der Sterne

Ende des 19. Jh begannen mehrere Astronomen die unterschiedlichen Absorptionsspektren zu klassifizieren. E.C. Pickering Direktor des Harvard College Observatory (eigentlich seine Assistentinnen) entwickelte 1890 ein System, das noch heute Gültigkeit besitzt. Er bezeichnete die Sterne entsprechend der Stärke ihrer Wasserstofflinien mit Buchstaben - die stärksten mit A, die nächsten mit B und so weiter bis O. Nach einer groß angelegten spektralen Durchmusterung des Himmels, stellte sich heraus, dass einige der Klassen unnötig waren oder auf fehlerhaften Belichtungen beruhten. So fielen die Klassen C, D, E und andere weg. Außerdem stellte man fest, dass wenn man B vor A und O vor die Klasse B setzte auch die Farbfolgen übereinstimmte.

Spektral- und Leuchtkraftklassen

Das Ergebnis der Klassifizierung war eine Spektralsequenz mit 7 Grundtypen von Sternen. O B A F G K M von Blauweiß bis Rot. Diese Unterteilung stellte sich aber nach Verbesserung der Beobachtungsmethoden, als zu grob heraus, und es wurde eine zusätzliche Nummerierung hinzugefügt. So dass die A-Sterne von A0 am heißeren Ende bis A9 am kühleren laufen, gefolgt von F0 usw. So wurden bis 1920 bis zu 225.000 Sterne klassifiziert; bis 1940 waren es dann sogar schon 359.000.

Es gibt jedoch noch eine weitere Kategorie in die Sterne unterteilt werden, abgeleitet von der Sterngröße. Sie wird als Leuchtkraftklasse bezeichnet und an die Spektralklasse angehängt. Am Beispiel der Sonne: Spektraltyp G2; Leuchtkraftklasse V (Hauptreihenstern).

In Tabelle 1 sind alle Leuchtkraftklassen abgebildet.

Klasse	Sterntyp	Beispiele
0	Extrem leuchtkräftige Überriesen;	ρ Cas ¹ ; S Dor
	Hyperriesen	
la	Leuchtkräftige Überriesen	Beteigeuze, Deneb
lb	Weniger leuchtkräftige Überriesen	Antares, Canopus
II	Helle Riesen	Polaris, θ Lyrae

III	Riesen	Aldebaran, Arktur, Capella
IV	Unterriesen	Procyon
V	Hauptreihensterne (Zwerge)	Sonne, α Cen, Sirius; Wega, 61 Cyg
sd	Unterzwerge	... ²
D	Weißer Zwerge	Sirius B, Procyon B, 40 Eri B

¹ O-Ia

² alle sehr schwach

Tabelle 1: Leuchtkraftklassen

Das Hertzsprung Russel Diagramm

Da die Leuchtkraft eines Sterns so stark von seiner Temperatur abhängt, gibt es eine deutliche Korrelation zwischen absoluter Helligkeit und der Spektralklasse. Erste Untersuchungen dazu führten anfangs des 20. Jahrhunderts unabhängig voneinander der Däne Ejnar Hertzsprung und Henry Russell durch. Sie trugen die absolute visuelle Helligkeit von Sternen mit bekannter Entfernung gegen ihre Spektralklasse auf. Man bezeichnet es auch als Hertzsprung Russell-Diagramm in Anlehnung an ihre Entdecker. Die entstehende Kurve zeigt, dass die meisten Sterne auf einem breiten Streifen liegen, der von rechts unten nach links oben verläuft und als Hauptreihe bezeichnet wird.

Aber es gibt einen weiteren Streifen, der nach rechts oben verläuft. Das bedeutet, dass die Helligkeit mit sinkender Temperatur steigt. Dies ist aber nur möglich, wenn die Sterne größer werden. So benannte man diese Kurve als "Riesenast". Während man die Sterne der Hauptreihe als Zwerge bezeichnet. Das diese Bezeichnungen gar nicht mal so weit hergeholt sind, verdeutlicht folgendes Beispiel. Mira ein kühler M7-Stern ist 300-mal größer als die Sonne und würde ungefähr bis zur Marsbahn reichen. Doch es gibt noch weitaus größere Sterne. Hertzsprung entdeckte sie, indem er die Wasserstofflinien in ihrem Spektrum miteinander verglich. Sterne mit schmalen Linien wiesen weitaus weniger Eigenbewegung auf, als Sterne mit breiten Linien, was bedeutet, dass sie sehr viel weiter entfernt und heller waren. Es stellte sich heraus, dass diese Sterne noch 10- bis 100-mal leuchtkräftiger und bis zu 10-mal größer als die Riesensterne waren.

Im HR-Diagramm befinden sie sich am oberen Rand. Ein Vertreter dieser Sternengruppe ist μ Cephei der "Granatstern" (So benannt

nach seiner Farbe.) Er hat einen unvorstellbaren Radius von 11,8 AE (dies entspricht in etwa der Strecke von der Sonne bis zur Umlaufbahn des Saturn) und sein Volumen würde eine Milliarde Sonnen fassen.

Auf die in Tabelle 2 abgebildeten Absorptionslinien und ihre Elemente, wird im Folgenden mehrfach zurückgegriffen.

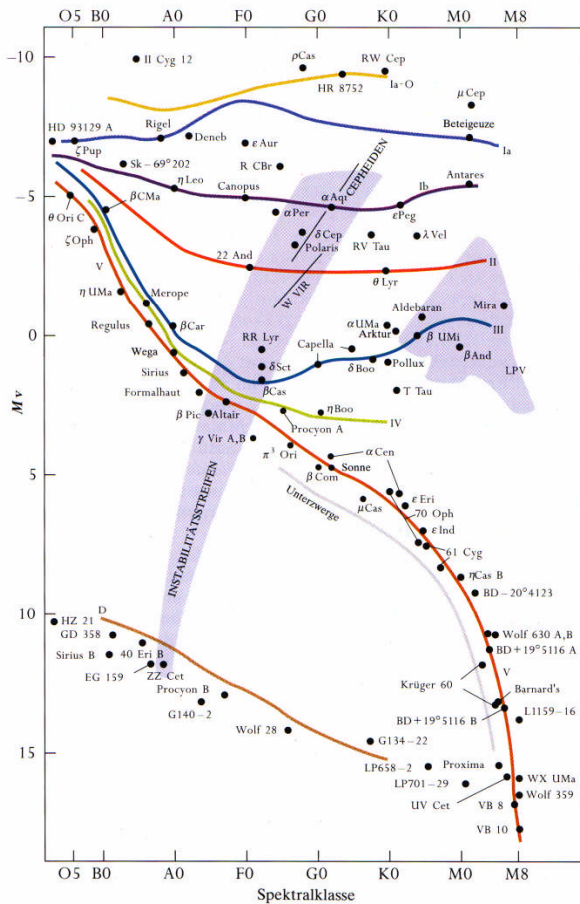


Bild 3.2 Das HR-Diagramm (Quelle: Sterne).

Das HR-Diagramm aber zeigt noch mehr. Könnte man die Entwicklung der Sonne im Zeitraffer beobachten, würde man sehen, wie sie die Hauptreihe hinaufwandert und dann nach rechts auf den Riesenast einbiegt, um am Ende auf der Reihe der weißen Zwerge (links unten) zu enden. Sie würde zwar nie die Größe eines Überriesen erreichen, sich aber dennoch voraussichtlich einmal bis zur Erdbahn als Riese aufblähen und in einer gewaltigen Detonation explodieren und ihren kleinen kompakten weiß strahlenden Kern zurücklassen. Woher wir das wissen? Aus den Spektren der vielen Sterne um uns herum. Einige davon werde ich im folgenden näher vorstellen und die Besonderheiten ihrer Spektren hervorheben.

Die Spektralklassen im Detail

Wie bereits erläutert, regen Photonen bestimmter Wellenlängen Elektronen bestimmter Energieniveaus an und werden absorbiert.

Wellenlänge Å	Ursprung
6563	Wasserstoff (H)
5893	Neutrales Natrium (Na I)
5876	Neutrales Helium (He I); heiße Sterne
5270	Neutrales Eisen (Fe I)
5167, 5173, 5184	Neutrales Magnesium (Mg I)
4655	Titanoxid (TiO); kühle Sterne
4861	Wasserstoff (H)
4686	Ionisiertes Helium (He II); sehr heiße Sterne
4384	Fe I
4300	CH-Molekül
4340	Wasserstoff (H)
4227	Neutrales Calcium (Ca I)
4101	Wasserstoff (Hδ)
3968	Ionisiertes Calcium (Ca II)
3934	Ionisiertes Calcium (Ca II)

Tabelle 2: Einige bekannte Spektrallinien

Typ M



Bild 3.3: M0V



Bild 3.4: M5V

Merkmale: Molekülbanden und Titaniumoxid dominieren. Keine Wasserstofflinien.

Der Spektraltyp M versinnbildlicht wie kein anderer die ungeheure Unterschiedlichkeit von Sternen: Die hellsten M-Sterne sind mehr als 50 Milliarden-mal so hell wie die lichtschwächsten. Alle mit bloßem Auge sichtbaren M-Sterne sind Riesen oder Überriesen. Diese Sterne haben Durchmesser in der Größenordnung von ganzen Sonnensystemen. Doch sie sind äußerst selten und eine, astronomisch gesehen, nur sehr flüchtige Erscheinung, da sie aus viel heißeren Hauptreihensternen hervorgegangen sind. Sie werden sehr schnell ihre Masse verlieren und nach ein paar Dutzend Millionen Jahren in einer

gewaltigen Explosion verlöschen. Im Gegensatz dazu sind M-Zwerg klein und erstaunlich langlebig. Manche haben nur die Größe von Jupiter und ein M-Zwerg der so alt ist wie die Milchstrasse (ca. 13 Milliarden Jahre) hat sich über die Zeit kaum verändert und wird noch viele weitere Jahrtausende still vor sich hin leuchten.

Die kältesten Sterne besitzen die kompliziertesten Spektren. Zerschnitten von tausenden von Absorptionslinien. Viele dieser Linien sind stark und tief, die meisten sind jedoch nur bei hoher spektraler Auflösung zu erkennen. In einigen Spektralbereichen sind die Linien so dicht, dass vom dazwischenliegenden Kontinuum nichts mehr zu erkennen ist. Die Molekülbanden charakterisieren das Erscheinungsbild der M-Spektren. Moleküle sind leicht durch Stöße mit anderen Gasteilchen zu zerstören, ein Grund dafür, dass sie nur bei Sternen mit niedrigen Temperaturen vorkommen. Der Dominator im Spektrum ist Titanoxid. Dieses Molekül ist bis zur Spektralklasse K5 sichtbar. Bei späten M-Sternen sind große Bereiche des optischen Spektrums von molekularen Absorptionen quasi verschluckt. Abbildung 3.3 und 3.4 zeigen die Spektren zweier M-Sterne, deutlich sichtbar die Zunahme der Absorption.

Zur Leuchtkraftklassifikation dienen bei verschiedenen Spektraltypen unterschiedliche Linien. Bei den M-Sternen eignet sich die Linie des neutralen Kalziums bei 4227 Å sehr gut. Sie ändert sich nur wenig mit der Temperatur, aber sehr stark mit dem Gasdruck. Das bezeichnet man auch als negativen Leuchtkrafteffekt, d. h. ihre Stärke nimmt mit zunehmender Sternhelligkeit ab. Bei Überriesen ist sie sehr schwach, wegen der geringen Gasdichte in deren Atmosphären. Wasserstofflinien verhalten sich genau umgekehrt, sie besitzen einen positiven Leuchtkrafteffekt. Bei Spektren von frühen M-Riesen sind sie gerade noch erkennbar, verschwinden aber zur Hauptreihe hin vollständig. Darüber hinaus können verschiedene Linienverhältnisse des neutralen Eisens zur Leuchtkraftklassifikation herangezogen werden.

Typ K



Bild 3.5: K0V



Bild 3.6: K5V

Merkmale: Starke Metalllinien und CH- und CN Molekülbanden

K-Sterne sind meist an ihrer charakteristischen orangen Färbung gut am Himmel zu erkennen. Bekanntester Vertreter ist Arkturus ein Riese vom Spektraltyp K1 III.

Die Atmosphären der K-Sterne sind wesentlich wärmer als die der M-Sterne. Wenn man die Unterklassen von den späten zu den frühen Typen durchwandert, verschwinden die TiO-Banden bei K5 und die Wasserstofflinien erscheinen in allen Leuchtkraftklassen. Die mächtige Linie des neutralen Kalziums wird stetig schwächer, weil die Atome allmählich in den ionisierten Zustand übergehen. Entsprechend erscheinen die Linien des Ca II im schnell heller werdenden violetten Teil der Spektren. Auch die sehr starken Linien des Na I verhalten sich wie ihr Kalzium Gegenstück. Neben diesen werden noch weitere Metalllinien bzw. ihre Verhältnisse untereinander zur Klassifizierung genutzt. Die hohen Temperaturen führen zum Aufbrechen der meisten Moleküle nur die Banden des CH-Moleküls können noch widerstehen. Bei K-Riesen finden sich auch noch starke optische Banden von CN und infrarote von CO.

Typ G



Bild 3.7: G0V

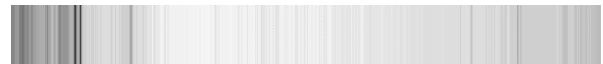


Bild 3.8: G4V

Merkmale: Starke Ca⁺ Linien Fe⁺ und andere Metalle dominieren. Wasserstofflinien werden stärker über die Gruppe.

Mit den G-Sternen erreichen wir nun den Bereich der mittleren Temperaturen in der Sternwelt. Die Linien der neutralen Metalle werden allmählich schwächer, die prominentesten Na I, Ca I und Fe I bleiben jedoch tief und breit. Die Fraunhoferschen Linien des Ca II erreichen ihr Maximum schon an der Grenze der Spektralklassen K und G, und dominieren den violetten Spektralbereich bis in die frühen G Sterne hinein. Die hohen Temperaturen bringen immer mehr Wasserstoffatome in den zweiten Energiezustand, so dass die Wasserstofflinien im optischen Bereich an Stärke zunehmen. Das Verhältnis von H δ zur Fe I Linie bei 4144Å ist ein wichtiges Kriterium zur Festlegung der Unterklassen innerhalb des Typ G. Der positive Leuchtkrafteffekt der Wasserstofflinien in den Klassen K und M verschwindet bei G praktisch vollständig.

In der Klasse G begegnen uns letztmals Molekülbanden in merklicher Stärke, da bei 5000°–6000°K nur noch die widerstandsfä-

higsten Verbindungen gegen die mit steigender Temperatur immer härteren Stöße der Gasatome und Elektronen bestehen.

Die am besten verstandene und erforschte Klasse ist die der G-Zwerg. Gleichzeitig ist sie die Klasse, die uns am meisten Rätsel aufgibt; aufgrund der Menge an Daten die uns die Sonne jeden Tag liefert und von dem wir einen Teil nicht verstehen. Auch die hellste Komponente unseres nächsten Nachbarn im Weltall α Centauri A ist ein G2-Zwerg.

Typ F



Bild 3.9: F0V



Bild 3.10: F5V

Merkmale: Wasserstofflinien werden stärker, ebenso wie die Ca^+ Linien, die Häufigkeit der Metalllinien nimmt ab.

Wenn man die Spektralklasse F mit der von G vergleicht stellt man schnell fest, dass die Spektren einfacher und linienärmer werden, je weiter man sich von F9 zu F0 bewegt. Linien einfach ionisierter Metalle verschwinden allmählich und werden durch Linien zweifach ionisierter Atome ersetzt, die allerdings alle im UV-Bereich liegen. Die Wasserstofflinien werden stärker und dominieren zusammen mit den schwächer werdenden Ca II Linien das gesamte optische Spektrum. Das Band des CH-Moleküls nimmt bei steigender Temperatur rasch ab und ist bei F3 völlig verschwunden. Die spektrale Unterklasse kann man am leichtesten aus dem Stärkeverhältnis der Ca I Linie (4227 \AA) zu H δ (4102 \AA) bestimmen.

Die F-Sterne stellen den Übergang von den kühlen Sternen zu den heißen Sternen der folgenden Spektralklassen dar. Die Rotationsgeschwindigkeit auf der Hauptreihe wird plötzlich viel größer und andere Kernreaktionen übernehmen die Energieerzeugung. Auch die Spektralklasse F besitzt ein eigenes Charakteristikum: Sie ist die Domäne der Cepheiden, jener pulsierender Sterne, die für unser Verständnis der Sternentwicklung und der kosmischen Entfernung so entscheidend sind. Der leuchtkräftigste bekannte F-Cepheide ist ρ Cassiopeiae, er ist um mehr als 2 Größenklassen veränderlich. Bei seiner Maximalhelligkeit besitzt er den Spektraltyp F8 Ia, seine scheinbare Helligkeit beträgt dann 4 mag, seine absolute Helligkeit dagegen enorme -10 mag. Im Minimum besitzt er dagegen den Spektraltyp K.

Berühmtester Vertreter der Spektralklasse F ist der Polarstern, ein F8 Überriese, der zufällig am Himmelsnordpol steht.

Typ A



Bild 3.11: A1V



Bild 3.12: A5V

Merkmale: Beste Ausprägung der Wasserstofflinien aller Spektraltypen. Linien des neutralen Kalziums.

Sirius, der hellste Stern am Himmel, ist ein A-Hauptreihenstern des Spektraltyps A1. Seine Leuchtkraft ist zwar 50 mal so groß wie die der Sonne, aber nur seine unmittelbare Nähe von 8,7 Lichtjahren lässt ihn für uns so hell erstrahlen.

Wie bei den vorangegangenen Spektralklassen haben sich die Wasserstofflinien so nach und nach in den Vordergrund geschoben und erlangen in nun bei den A-Sternen ihre Dominanz über das Spektrum. Keine andere Spektralklasse lässt sich so leicht auch mit den dürrtigiten Spektren und bei geringer Auflösung noch identifizieren. Hier treten auch die sonst so mächtigen Ca II Linien in den Hintergrund und Ca I ist völlig unsichtbar geworden. Da die Ca II Linien zu heißeren Sternen rasch abnimmt, eignet sie sich gut für die Festlegung der Spektralen Unterklasse. Der große Wagen enthält eine bemerkenswerte Gruppe von A-Hauptreihensternen, die alle etwa 25 Parsec von der Sonne entfernt sind.

Der Spektraltyp A ist auch die klassische Region der weißen Zwerge, daher auch der Name. Es gibt zwar auch Zwergsterne in allen anderen Spektralklassen, aber die bekanntesten und zuerst entdeckten sind tatsächlich weiß.

Typ B



Bild 3.13: B0V



Bild 3.14: B5V

Merkmale: Charakteristisch die Linien des neutralen Helium. Bei Temperaturen über 9500K nehmen die Balmerlinien des Wasserstoffs stark ab, von B9 zu B0, wo sie kaum noch sichtbar sind.

Keiner der 100 sonnennächsten Sterne ist ein B-Stern, aber ein Drittel der hundert hellsten Sterne sind B-Sterne. Keine andere Spektral-

klasse stellt so viele Glanzlichter am Himmel. B-Sterne hängen astronomisch eng mit den O-Sternen zusammen und haben viele gemeinsame Eigenschaften. Beide sind heiß und blau, beide produzieren eine Menge UV-Strahlung, bei beiden nimmt die Stärke der Wasserstofflinien mit zunehmender Temperatur ab, und beide besitzen Helium-Linien im sichtbaren Bereich. Aufgrund dessen werden beide Klassen auch sprachlich zusammengefasst und als OB-Sterne bezeichnet. Sie liegen alle innerhalb von hundert Parsec um die Mittelebene der Milchstrasse, während sich die M-Sterne über die ganze Galaxie und den sie umgebenden Halo erstrecken. Das liegt vor allem daran, dass die leuchtstarken OB-Sterne ihren Energievorrat schnell aufbrauchen und sich daher im Laufe ihres Lebens nicht weit von ihrem Geburtsort, den Dunkelwolken in der galaktischen Scheibe, entfernen. Schönstes Beispiel für B-Sterne sind die Plejaden, auch Siebengestirn genannt.

Typ O



Bild 3.15: O5V

Charakteristisch sind hier die starken He⁺ Linien und das fast nicht Vorhandensein von Wasserstoff. Außerdem die Emissionslinien die durch extreme Sonnenwinde erzeugt werden und das starke Ultraviolette Kontinuum. Je nach Alter des Sterns kommen Elemente hinzu, die sich nach der Phase des Wasserstoffbrennens bilden, wie Kohlenstoff und Silizium.

Sterne vom Typ O sind extrem selten und ihre Spektralklasse reicht bis Unterklasse O3. Das entspricht einer ungefähren Oberflächentemperatur von 50 000 Kelvin. Sterne mit Unterklasse O1 oder O2 wurden noch nicht entdeckt, was jedoch nicht heißt, dass sie nicht existieren. Möglicherweise sind solche Sterne noch in den Nebeln ihrer Geburtsstätten verborgen.

O-Sterne sind meist sehr jung, massereich und heiß. Die meisten bekannten O-Sterne sind deswegen Über- und Hyperriesen. Ein Umstand, der ihnen ein nur sehr kurzes Leben beschert. Massereiche Sterne sterben früher als Sterne mit geringerer Masse, aufgrund des großen Strahlungsdrucks auf der Oberfläche (erkennbar an den starken Emissionslinien im Spektrum). Das macht die O-Sterne für die Struktur und Entwicklung der Galaxien sehr wichtig. Am Ende ihres kurzen Lebens (immerhin nur 10 Millionen Jahre bei einer Masse von 20 Sonnenmassen; die Sonne dagegen strahlt mehr als 10 Milliarden

Jahre) enden sie in einer spektakulären Supernovaexplosion. Ihre Masse ist aber zu groß, um als weißer Zwerg zu verkümmern. Ihr Kern kollabiert innerhalb kürzester Zeit direkt zu einem Neutronenstern und wenn die Masse noch größer ist, zu einem schwarzen Loch. In der letzten Phase dieser Sterne werden jede Menge Elemente gebildet, die dann in einer gewaltigen Explosion in den stellaren Raum hinausgeschleudert werden. Man kann sagen, dass alle Elemente die wir kennen - außer Wasserstoff - Helium und ein wenig Lithium, durch Supernovae entstanden sind. Wir sind also Kinder der Sterne im wahrsten Sinn des Wortes.

Untertypen

Wolf-Rayet Sterne (W)

Wolf-Rayet Sterne sind ähnlich zu Sternen des O-Typs, aber sie zeigen breite Emissionslinien, dabei jedoch keine Spur des häufigsten aller Elemente, Wasserstoff, wohl aber reichlich Helium. Der Ionisationsgrad ist bei diesen Sternen sehr hoch, so dass Linien des He⁺, C⁺ und N⁺ vorherrschen, die dazu nötigen Temperaturen verknüpfen sie deshalb eng mit der Spektralklasse O. Der Masseverlust dieser Sterne scheint so stark zu sein, dass diese Sterne ihre gesamte Wasserstoffhülle verloren haben. Sie treten in zwei sehr unterschiedlichen Formen auf: kohlenstoffreich und stickstoffreich. Man nimmt an, dass Wolf-Rayet Sterne meist Mitglieder eines sehr engen Doppelsystems sind, bei dem der Begleitstern die äußeren Schichten des Wolf-Rayet-Sterns abgesogen hat.

T-Tauri Sterne (T)

T-Tauri-Sterne sind sehr junge Sterne, die sich typischerweise in den hellen oder dunklen interstellaren Wolken verbergen, aus denen sie entstanden sind. Ihr Spektrum enthält dadurch meist helle Emissionslinien und eine Anzahl von "verbotenen Linien" (so benannt, weil sie unter Laborbedingungen nicht zu beobachten sind); das deutet auf extrem niedrige Dichten hin. Die Spektrallinien zeigen auch Dopplerverschiebungen, was auf abströmendes Gas hinweist. T-Tauri-Sterne gehören meist den Spektralklassen G und K an, weisen aber eine beträchtliche Instabilität auf, so dass sie nicht genau zugeordnet werden können. Dass diese Sterne sehr jung sein müssen, darauf deutet auch die Lithiumhäufigkeit in den Spektren hin. Lithium wird bereits von Kernreaktionen zerstört, die bei Temperaturen unterhalb der eigentlichen Fu-

sionsprozesse ablaufen. So findet man im Spektrum unsere Sonne nur noch sehr schwache Lithiumlinien.

weitere Typen

N-, C- und S-Sterne

Die Unterklassen von N-, C- und S-Sternen laufen in der Temperaturskala parallel zu denen der M-Sterne. Die Unterschiede liegen in der chemischen Zusammensetzung und in der Tatsache, das alle N- und S- Sterne Riesen sind. Die bei den M-Sternen charakteristischen TiO-Banden sind bei den N- und C-Sternen durch die von Kohlenstoff ersetzt. S-Sterne zeigen dagegen auffällige ZrO-Banden (Zirkoniumoxid).

L und T Sterne

In den letzten Jahren wurden in stetig wachsender Zahl so genannte ultrakühle Zwergsterne entdeckt. Dabei handelt es sich um sehr massearme Sterne, Braune Zwerge und Riesenplaneten. Durch ihre extrem niedrige Oberflächentemperaturen haben sie Spektren, die sich von denen anderer Sterne deutlich unterscheiden. Um diese Spektren zu beschreiben und zu klassifizieren wurden die beiden neuen Spektralklassen L und T eingeführt, welche die traditionelle Reihe O-BAFGKM über M hinaus fortsetzen.

L-Sterne zeichnen sich durch Liniensysteme von Metallhydriden (z. B. CrH and FeH) und von neutralen Alkaliatomen (Na, K, Rb, Cs) im roten und nahen-infraroten Spektralbereich (0.6 mm bis 1.0 mm) aus. Die noch kühleren T-Zwerge zeigen hingegen starke Ban-

den von Wasser (H₂O) und vor allem Methan (CH₄) im Infraroten zwischen 1.0 mm und 2.5 mm Wellenlänge. Also weit außerhalb des sichtbaren Spektrums.

Spektralsequenz

In der zusammengesetzten Spektralsequenz kann man gut beobachten, wie die Wasserstofflinien der Balmerreihe zwischen den Spektralklassen auftauchen und wieder verschwinden.

Tabelle 3 fasst die Informationen der einzelnen Spektralklassen noch einmal zusammen. Und gibt auch den Farbindex mit an.

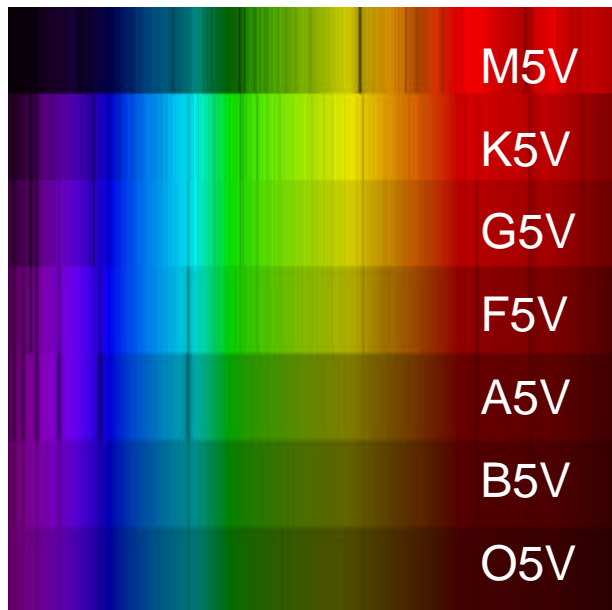


Bild 3.16 Spektralsequenz

Klasse	Charakteristische Spektren	Farbe	Farbenindex	Effektivtemperatur (K)	Beispiele
O	He II; He I	blau	-0,3	28000-50000	χPer; εOri
B	HeI; H	blau-weiß	-0,2	9900-28000	Rigel, Spica
A	H	weiß	0,0	7400-9900	Wega, Sirius
F	Metalle; H	gelb-weiß	0,3	6000-7400	Procyon
G	Ca II; Metalle	gelb	0,7	4900-6000	Sonne, αCen A
K	Ca II; Ca I; andere Moleküle	orange	1,2	3500-4900	Arktur
M	TiO; andere Moleküle; Ca I	orange-rot	1,4	2000-3500	Beteigeuze
L	Metallhydriden	rot		1900-2000	...
T	H ₂ O; CH ₄	braun		>1900	...

R ¹	CN; C ₂	Orange-rot	1,7	3500-5400
S ²	ZrO; andere Moleküle	Orange-rot	1,7	2000-3500	R Cyg
N ¹	C ₂	rot	>2	1900-3500	R Lep

¹ Kohlenstoffsterne

² Sterne mit etwas geringerer Kohlenstoffhäufigkeit als bei R- und N-Sternen; dafür treten Zirkoniumoxid-Molekülbanden auf.

Tabelle 3: Spektralklassen

Was Spektren noch verraten

Wie aus dem vorangegangenen Kapitel hervorgeht, gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Sterntypen die sich auf Grund ihrer Spektren wunderbar klassifizieren lassen. Aber das ist nicht das einzige, was uns Spektren über die Sterne erzählen. Es lauern noch viele weitere Erkenntnisse.

Chemische Zusammensetzung

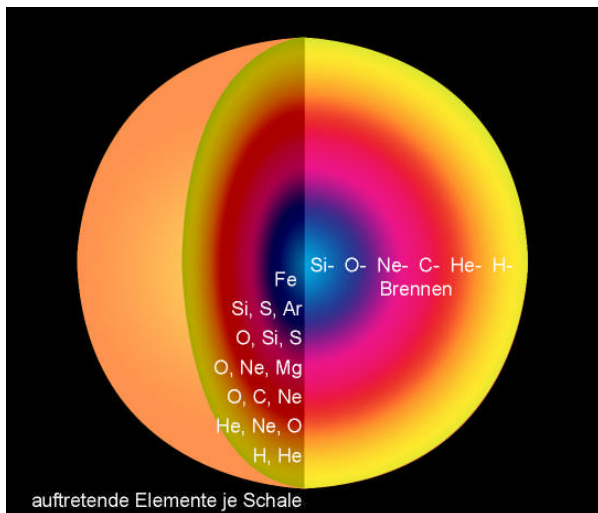


Bild 4.1 Zwiebelschalenstruktur eines O-Sterns; von rechts nach links die Fusionen von H bis Si; von unten nach oben die in der jeweiligen Schale vorhandenen Elemente.

Das offensichtlichste, was wir den Spektren entnehmen können, ist die chemische Zusammensetzung der Sterne. Die Elementhäufigkeiten verraten sehr viel über die ablaufenden Fusionsprozesse und bestätigen damit die Theorien über die Sternentstehung. Im Laufe seines Ablebens reichert der Stern mehr und mehr schwerer Elemente an. Bei den großen OB-Riesen bildet sich durch die verschiedenen Fusionsprozesse eine Zwiebelschalenstruktur dessen Endprodukt Eisen ist. Schwere Elemente können nicht durch Fusion entstehen, ohne dass Energie zugeführt wird.

Alter

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, machen Sterne eine Entwicklung durch. Sie werden als Hauptreihensterne geboren, leuchten dort lange Zeit, schwellen im letzten Abschnitt ihres Lebens zu Riesen an und ihr Kern wird - nachdem er von den Resten seiner Wasserstoffhülle in einer großen Explosion entledigt wurde - zu einem weißen Zwerg, der langsam verlischt.

Allein aus den Elementhäufigkeiten lässt sich nicht immer auf das Alter schließen, da es unterschiedliche Populationen von Sternen im Universum gibt. Sterne die kurz nach dem Urknall entstanden, bestanden nur aus den Elementen Wasserstoff und Helium. Sie werden gemeinhin als Population-III-Sterne bezeichnet. Es ist aber bisher kein solcher Stern ohne Metallgehalt entdeckt worden. Da diese Sterne sehr alt sind, sind die meisten wahrscheinlich schon in den Tiefen des Universums verloschen oder zumindest so weit abgekühlt, dass wir ihr schwaches Licht nicht mehr beobachten können; dass es sie aber gegeben haben muss, beweist die nächste Generation, die schon einen geringen Anteil schwerer Elemente in sich trägt. Die OB-Sterne dieser Generation sind auch schon längst verschwunden. Übrig geblieben sind kleine rote Sterne, die noch in den Kugelhaufen und im Halo unserer Galaxie zu beobachten sind. Diese Population-II-Sterne sind die ältesten uns bekannten Sterne mit einem Metallgehalt 10⁻⁴-mal weniger als der der Sonne. Als Population-I-Sterne bezeichnet man schließlich die blau-weißen OB-Stern Assoziationen in der Ebene der Spiralgalaxien. Diese neu entstandene und noch entstehende Generation von Sternen hat einen deutlich höheren Metallgehalt. Astronomen bezeichnen im Übrigen alle Elemente deren Atomgewicht schwerer als das von Helium ist, als Metalle.

Mit den Einteilungen in die Spektralklassen und dem Wissen über ihren Zustand, Riese oder Zwerg, kann man ungefähr das Alter der Sterne abschätzen. Bei unserer Sonne wissen wir es fast genau: Nämlich 4,5 Milliarden

Jahre, da die Planeten zusammen mit ihr entstanden sind, und wir in etwa sagen können, wie alt die Erde ist.

Entfernungen

Zur Bestimmung der Entfernung bei weit entfernten Objekten nimmt man den Dopplereffekt zu Hilfe. Der Umstand, dass die Frequenz einer sich vom Beobachter fortbewegenden Schall- oder Lichtquelle zu längeren Frequenzen hin verschoben erscheint, hilft zu deuten wie weit das Objekt entfernt ist. Bei einem aufeinander zu bewegen, kommt es zu einer Verschiebung zu kürzeren Frequenzen. Das bedeutet dass eine Quelle, die stark rotverschoben ist, sich von uns weg bewegt. Ist sie blauverschoben, bewegt sie sich auf uns zu. Da sich im Universum Objekte die weit von uns entfernt sind, umso schneller von uns fortbewegen, sind stark rotverschobene Objekte auch meist sehr weit von uns entfernt. Diese so genannte Fluchtgeschwindigkeit hängt eindeutig mit dem Abstand (zu uns) zusammen. Diese Beziehung ist sogar linear: Verdoppelt sich die Geschwindigkeit, verdoppelt sich auch der Abstand. Also lässt sich aus der Größe der Verschiebung der Spektrallinien die ungefähre Entfernung bestimmen. Dieses Verfahren wird aber meist bei entfernten Galaxien angewandt. Für Sterne in unserer Galaxie gibt es genauere Methoden.

Magnetfelder

Nicht jeder Stern besitzt ein ihn umgebendes starkes Magnetfeld. Das hat vor allem mit der Rotation des Sterns zu tun. Es ist aber noch nicht genau erforscht, warum einige Sterne Magnetfelder von extremer Stärke besitzen und andere wiederum überhaupt keine. Pieter Zeeman entdeckte 1897, dass wenn sich ein Atom in einem Magnetfeld befindet, die möglichen Energieniveaus der Elektronen verschmiert werden und es zu einer Verbreiterung oder Aufspaltung der Linien im Spektrum kommt.



Bild 4.2 Ausschnitt aus dem Spektrum des magnetischen Zwergs PG1533-057. Das Magnetfeld das hier zur Aufspaltung der Linien führt, ist etwa 60 Millionenfach stärker, als das Erdmagnetfeld. (Quelle: Sterne)

Einige A-Hauptreihensterne haben ein bis zu einigen tausendmal stärkeres Magnetfeld als

die Erde. In Spektren solcher Sterne führt der Zeeman-Effekt zu einer Aufspaltung der Absorptionslinien von einigen zehntel Ångström. Bei einigen weißen Zwergen mit sehr starken Magnetfeldern dagegen, kann die Aufspaltung so stark werden, dass die Linien nicht mehr identifizierbar sind und sich über den gesamten sichtbaren Spektralbereich erstrecken. Um solch starke Aufspaltungen zu verursachen, müssen die Magnetfelder mehrere hundert Millionen-Mal stärker sein, als das Erdmagnetfeld.

Doppelsterne

Mindestens die Hälfte aller Sterne sind Mitglieder von Doppel-, Dreifach- oder Mehrfachsystemen noch höherer Ordnung. Eine Vielzahl von ihnen sind optisch nicht auflösbar weil sie viel zu eng stehen. Hier spricht man von spektroskopischen Doppelsternen, da sie nur über ihre Spektren als Doppelsterne identifiziert werden können. Wenn sie so nahe zueinander stehen, müssen sie sich zwangsläufig sehr schnell bewegen um ihre Bahnen aufrechtzuerhalten. Daher sind Veränderungen ihrer Radialgeschwindigkeiten zu beobachten. Da wir beide Sterne aber nur als einen sehen, beobachten wir im Spektrum zwei Liniengruppen, die sich auf Grund des Dopplereffekts hin und her verschieben, während sich die beiden Sterne umkreisen und dabei ihre Bewegungsrichtung ändern. Mit etwas Glück sehen wir genau in die Bahnebene eines Doppelsterns und erhalten bei einer Bedeckung der einen Komponente nur das Spektrum des einen Sterns.

Zusammenfassung

Das war ein kleiner Einblick in das Reich der Sterne. Ich hoffe, es hat Sie als Leser ebenso beeindruckt wie mich. Denn es ist eigentlich kaum zu glauben, was uns das Licht ferner Sonnen verrät. Und dabei gäbe es noch weit mehr über sie zu erzählen und vieles, was wir heute noch nicht wissen. Eines jedoch steht fest. Nur durch die Interpretation von Spektren ist es uns gelungen, so viel über die fernen Sterne zu erfahren. Doch wir dürfen nicht vergessen, dass das was wir momentan sehen, nur ein Blick in die Vergangenheit ist. Zeitabläufe und Entfernungen sind im Universum so groß, dass wir sie uns nicht im mindesten vorstellen können. Denn das Licht der Sterne und Galaxien ist viele (mitunter Hunderte) Lichtjahre zu uns unterwegs gewesen und bisweilen ist ein Stern der

heute an unserem Nachthimmel funkelt, bereits seit langer Zeit in einer Supernova verglüht. So ist das was wir sehen, nur ein kurzer Blick in die Vergangenheit. Es wäre also kaum vorstellbar wenn wir zu den Sternen reisen könnten! Was würde uns

dort erwarten? Gestaltet sich die Wirklichkeit so, wie in unseren Theorien? Zumindest wären wir dann in der Lage unsere Erkenntnisse, die wir auf Grund der Spektrografie gewonnen haben zu überprüfen.
....

...Denn vielleicht ist ja auch alles ganz anders!...

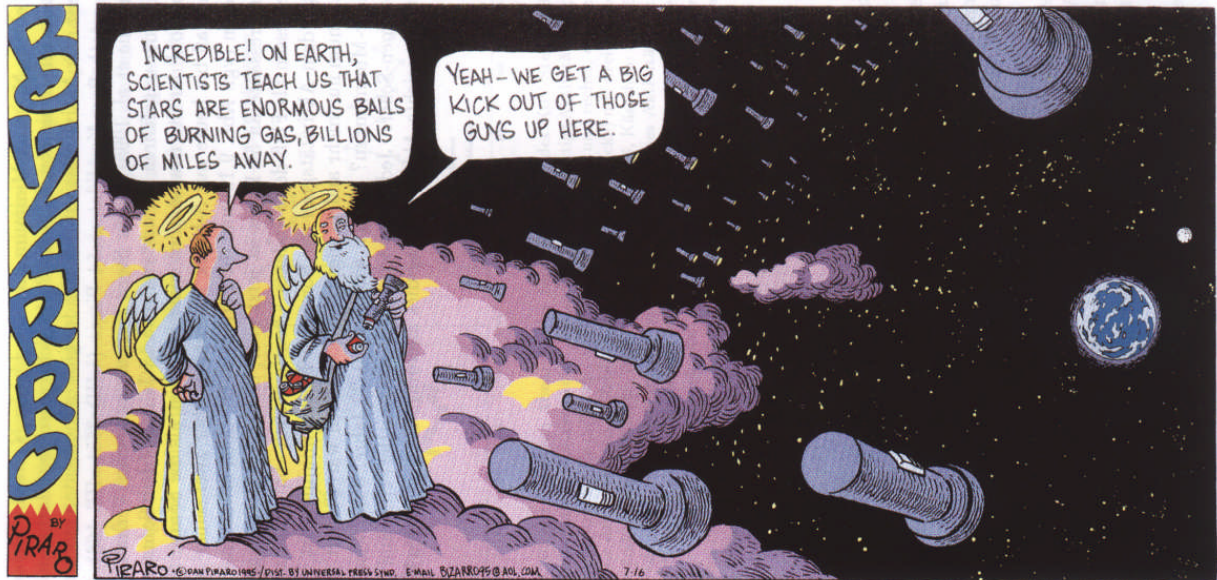


Bild 5.1: Ohne Worte (Quelle: Aktive Sterne

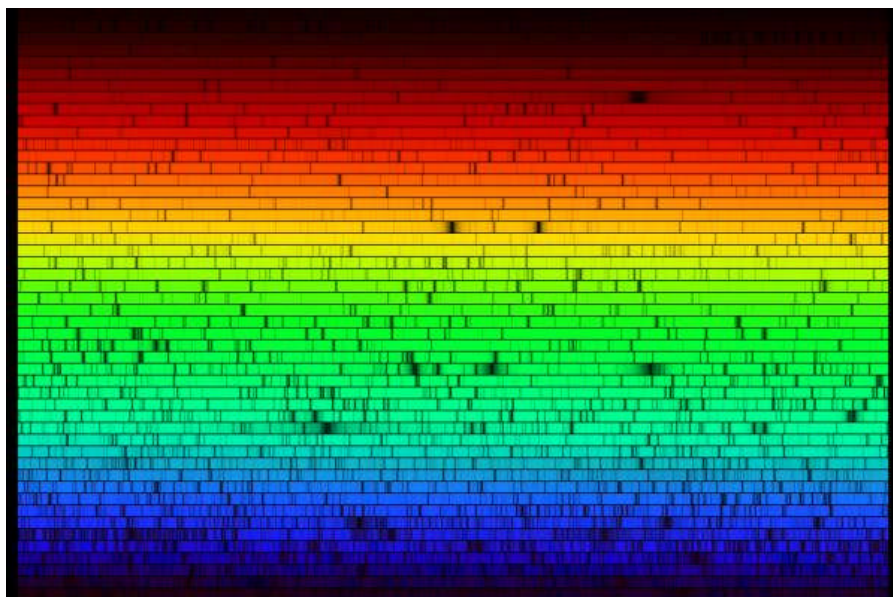
Quellennachweis/Literaturempfehlung

James B. Kaler, Sterne und ihre Spektren; Spektrum Akademischer Verlag

James B. Kaler, Sterne – Die physikalische Welt der kosmischen Sonnen; Spektrum Akademischer Verlag

Unsöld/Bascheck, Der neue Kosmos, Springer Verlag

Klaus G. Strassmeier, Aktive Sterne, Springer Verlag Wien



Sonnenspektrum - gesamter sichtbarer Bereich



*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe*

Vorschau DfwG Report 02 2007

Im nächsten DfwG Report erwarten Sie voraussichtlich folgende Beiträge:

Jungnitsch: Subjektive Bewertung der Farbwiedergabeeigenschaften von Lampen mit unterschiedlichen Spektren

DfwG Jahrestagung 2007 in Darmstadt: Programm

Khanh/Haferkemper: Farbmetrische Untersuchungen an hochqualitativen Digitalprojektoren und Monitoren für digitale Referenzkinos und Postproduktionshäuser

Neudeck/Mensak/Puebla/Günther/Steckert/Möhring: Verfahren zur farbmetrischen Bewertung von fluoreszierenden Materialoberflächen

Boosmann: Optimierte Bildwiedergabe für einen Satz normalsichtiger Beobachter mittels eines multispektralen Sechskanaldisplays

Lübbe: Gestalter arbeiten mit geschlossenen Farbräumen

Urban: Euclideanization of the CIEDE2000 Color Distance Formula

Gall/Frankenthal/Unterforsthuber: FARBENRÄUME