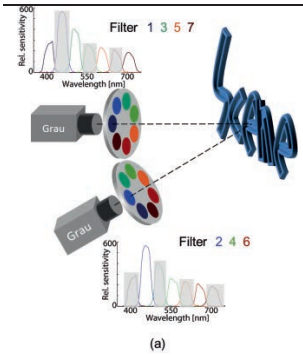
Report 1 2013

ISSN 1860-2835

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

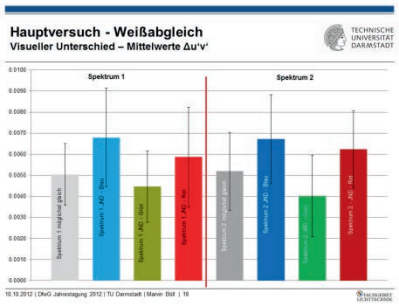
Verantwortlich: Prof. Dr. Bernhard Hill



Julie Klein

Farbgenauigkeit bei Stereo-Multispektralaufnahmen

ab Seite 11



Peter Bodrogi et al.

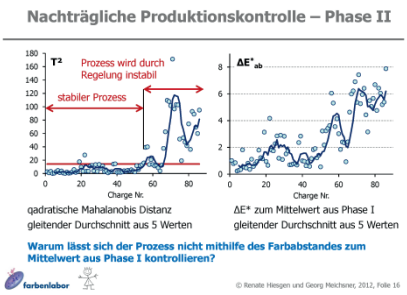
Toleranzbereiche beim Weißabgleich mit unterschiedlichen Spektren

ab Seite 16

Renate Hiesgen et al.

Farbmetrische Untersuchungen an Holzoberflächen

ab Seite 35



Georg Meichsner et al.

Methoden der farbmetrischen Prozesskontrolle

ab Seite 47

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe

Inhaltsverzeichnis Report 01 2013

Impressum ..... ***Fehler! Textmarke nicht definiert.***
Vorwort an die Farbgemeinde *3*
Nächste Tagungen *4*
Nachruf Dr. Gerhard Rösler *5*
Protokoll der Mitgliederversammlung 10. Oktober 2012 ..... *6*
Kassenbericht mit Einnahmen-/Ausgabenrechnung *8*
Protokoll der Kassenprüfung für 2012 ..... *9*
Farbgenauigkeit bei Stereo-Multispektralaufnahmen *11*
Toleranzbereiche beim Weißabgleich mit unterschiedlichen Spektren *16*
Farbmetrische Untersuchungen an Holzoberflächen *35*
Methoden der farbmetrischen Prozesskontrolle *47*

Präsident:	*Prof. Dr. Bernhard Hill*
	Tel: 0241 802 7703, E-Mail: hill@ite.rwth-aachen.de
Schatzmeister:	*Dr. Carsten Steckert*
	Tel, Fax: 030 6032554, E-Mail: carsten.steckert@gmx.de
Sekretär:	*Dipl.-Ing. Frank Rochow*
	Tel: 030 401 02 618, Fax: 030 401 42 49
	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:	*PD Dr. habil. Peter Bodrogi*
	Tel. 061511675095
	E-Mail: bodrogi@lichttechnik.tu-darmstadt.de
Fluoreszenz:	*Dr. Claudio Puebla*
	Tel. 0 76 21 17 47 29, E-Mail: claudio.puebla@axiphos.com

Internet: www.dfwg.de
ISSN 1860-2835

Verleger und Herausgeber: Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e. V.
Einzelheft: 10 Euro + Versandkosten; der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Liebe Farbgemeinde!

Das Ende des vergangenen Jahres haben wir nun doch mit großer Trauer erlebt. Unsere im letzten Report geäußerten Wünsche der Hoffnung haben sich nicht mehr erfüllt und unser Vorsitzender, Herr Dr. Rösler, ist von uns gegangen. Eine Würdigung seines Lebenswerkes und der verdienstvollen Arbeit in unserer Gesellschaft finden Sie in einem Nachruf in diesem Report. Wir werden ihn noch lange und dankbar in Erinnerung behalten.

Die Lücke, die sich nun aufgetan hat, werden wir versuchen, so gut wie möglich zu überbrücken. Während der nächsten DfwG-Jahresversammlung finden die Neuwahlen des Vorstandes statt und ich möchte hierzu auch alle Mitglieder aufrufen, über Vorschläge zu dem notwendigen Nachwuchs im Vorstand nachzudenken.

Wie schon im letzten Report dargestellt, hat sich auch die Organisation der Herstellung des Reports geändert. Herr Cramer hat sich bereit erklärt, die Gestaltung des Reports zu übernehmen und Herr Kraushaar kümmert sich um die Herstellung und den Druckauftrag. Der Report wird dann in Zukunft direkt von der Druckerei aus versandt.

An dieser Stelle möchte ich Frau Christina Hacker unseren besonderen Dank aussprechen. Frau Hacker hat die Gestaltung und Herstellung des Reports zusammen mit Dr. Rösler über viele Jahre durchgeführt und organisiert. Sie hat sehr viel Mühe und neue Ideen hineingesteckt und den Report als wesentlichen Informationsträger unserer Gesellschaft getragen und weiterentwickelt.

In der Aufgabe des Informationsträgers sollte das Schwergewicht des Reports auch in Zukunft liegen. Weitere Informationen zu Vorträgen der letzten DfwG-Jahrestagung in Aachen sind in diesem Heft zusammengetragen. Die Redaktion wird sich aber auch sehr freuen, wenn darüber hinaus spontane Einzelbeiträge aus der Tätigkeit von Mitgliedern im universitären oder industriellen Bereich zu neuen Ideen oder Entwicklungen im Farbbereich eingereicht werden. Es besteht hier die Möglichkeit, neue Gedanken zuerst schon einmal im Kreise unserer Gesellschaft auf kurzem Wege bekannt zu machen und Diskussionen dazu auszulösen, bevor dann in größerem Rahmen international veröffentlicht wird und es würde mich sehr freuen, wenn diese Möglichkeit von allen Mitgliedern genutzt und ausgebaut würde.

Erinnern möchte ich auch daran, dass auf der nächsten Jahresversammlung in Ilmenau wieder ein Förderpreis vergeben werden kann. Vorschläge hierzu sollten dem Vorstand bis Anfang August d.J. eingereicht werden.

Nach dem Grau der vergangenen Monate blicken wir nun wieder einer zunehmend farbigen Jahreszeit entgegen und oft regen die ersten Farbtupfer im Frühling ja zu neuen Ideen und Plänen an. Diese Anregungen wünsche ich der Entwicklung unserer Gesellschaft, Ihnen allen in Ihrer beruflichen Tätigkeit und grüße herzlich

Mai 2013

Ihr Bernhard Hill

Die nächsten Tagungen mit Themen aus der Farbwissenschaft

1. AIC 2013, The Sage, Gateshead bei Newcastle, England: July 8-July 12, 2013
   The 12th International AIC Congress
   www.aic2013.org

2. ICVS, the 22nd Symposium of the International Colour Vision Society , July 14 -July 18, 2013,
   University of Winchester, Hampshire, UK

3. NIP - Non Imapact Printing, September 29 - October 3, 2013, Seattle, Washington,USA
   www.imaging.org/conferences

4. DfwG Jahrestagung 2013, 8. Oktober bis 10. Oktober 2013, Ilmenau
   www.dfwg.de

5. Color & Imaging CIC 2013, November 4- November 8, 2013, Albequerqui, New Mexico,USA
   www.imaging.org/conferences

Dr. Gerhard Rösler

* 17.05.1950

† 21.12.2012

Der Präsident der Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft, Herr Dr. Gerhard Rösler, ist in der Vorweihnachtszeit nach kurzer schwerer Krankheit verstorben.

Mit großem Respekt und Dank blicken wir auf die Leistung zurück, die er in den 14 Jahren der Leitung unserer Gesellschaft vollbracht hat. Das Amt des Vizepräsidenten übernahm er im Jahre 1998 und wurde im Jahre 2001 zum Präsidenten der DfwG gewählt. Er folgte damit als dritter Präsident den Herren Prof. Manfred Richter, der 1974 die Gründung der DfwG leitete, und Prof. Heinz Terstiege.

Durch seinen beruflichen Werdegang, der sowohl im wissenschaftlichen als auch im praktischen Anwendungsbereich angesiedelt war, verstand er es immer besonders gut, die sich ihm bietenden Gelegenheiten zur Verbindung der Farbwissenschaft mit der Industrie zu nutzen.

Dr. Gerhard Rösler schloss sein Studium der Elektrotechnik / Kybernetik an der TU München als Diplom-Ingenieur ab. Seine Diplomarbeit entstand bei Osram. Nach ersten Berufserfahrungen bei dem Messtechnik-Hersteller Johne+Reilhofer ging er als wissenschaftlicher Assistent an die Ruhruniversität Bochum, wo er 1979 zum Dr.-Ing. promovierte. Das Thema war „Schnelle Farbmessung nach dem Spektralverfahren“. Er bekam die Chance, bei Johne+Reilhofer eine neue Abteilung „Elektrooptik“ aufzubauen. Neben neuen hochauflösenden Farbmessgeräten wurde 1982 das weltweit erste mobile Farbmessgerät für Metallic Lacke vorgestellt, das in der Folge bei großen Automobilherstellern eingesetzt wurde. 1989 wurde die Abteilung von Macbeth, einer bekannten US Firma für Farbmessgeräte, gekauft und wurde unter dem Namen Kollmorgen Instruments die Europazentrale von Macbeth. Die eigenen Produkte wurden ebenfalls aktiv weiterentwickelt. 1997 gab es den Zusammenschluss von Gretag CCS und Macbeth zu Gretag-Macbeth und die Schwerpunkte seiner Arbeit verlagerten sich zur Farbmessung in der Produktion. 2006 gab es den Zusammenschluss mit X-Rite. Unter seiner Leitung wurde er im Bereich Online-Farbmessung weltweit verantwortlich für die Farbmessung in der Produktion.

Neben seinen beruflichen Tätigkeiten und dem Amte des DfwG-Präsidenten war er in Normungsgremien als Obmann des FNF/FNL 2 „Farbmetrik“ sowie des FNF 24 „Farbtoleranzen in der KFZ-Lackierung“ aktiv und wirkte als Mitarbeiter in der Normung bei ASTM, der CIE und beim VDA mit. Seit 2001 war er auch Vorsitzender des Normenausschusses Farbe (FNF) im DIN.

Wir werden seine offene Persönlichkeit, sein außerordentliches Fachwissen und die Ausstrahlung, die von seiner Liebe zur Farbe geprägt war, vermissen und fühlen mit seiner Frau, seinen zwei Kindern und zwei Enkeln.

Protokoll der Mitgliederversammlung der DfwG am 10. Oktober 2012 in Aachen

Ort der Versammlung:	RWTH Aachen, Aditec Gebäude, Steinbachstr. 25
Beginn der Versammlung:	17.00 Uhr
Ende der Versammlung:	17.25 Uhr

Anwesende Mitglieder lt. Anwesenheitsliste:

Herr Barbieri
Frau Dr. Bieske
Herr Dr. Bodrogi
Herr Brumm
Herr Cramer
Herr Dietz
Herr Dr. Dörsam
Herr Dr. Döring
Herr Dr. Gabel
Herr Geuer
Herr Dr. Gläser
Herr Herold
Herr Dr. Helling
Herr Dr. Hill
Herr Dr. Hubner
Herr Jaser
Herr Dr. Jung
Frau Jungnitsch
Herr Dr. Kettler
Herr Dr. Kirsten
Frau Klein
Herr Kraushaar
Frau Dr. Lübbe
Herr Mieskes
Herr Dr. Puebla
Herr Dr. Recktenwald
Herr Dr. Riechert
Herr Rochow
Herr Dr. Schlenker
Herr Dr. Steckert
Herr Dr. Witt

Die vorgeschlagene Tagesordnung:

1. **Genehmigung der Tagesordnung**
1a. **Genehmigung des Protokolls der DfwG Mitgliederversammlung am 05. Oktober 2011 in Braunschweig**
2. **Kassenbericht 2011**
3. **Weiterentwicklung DfwG, Arbeitsgruppen**
4. **Verschiedenes**

Statt des wegen Krankheit abwesenden DfwG-Präsidenten, Herrn Dr. Rösler, eröffnet der Vizepräsident, Herr Dr. Hill, die Mitgliederversammlung um 17:00 Uhr und stellt fest, dass sie ordnungsgemäß einberufen wurde.

TOP 1 Genehmigung der Tagesordnung mit Ergänzung um den Tagesordnungspunkt TOP 1a: Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 5. Oktober 2011 in Braunschweig

Die Tagesordnung wird einstimmig genehmigt.

TOP 1a Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 5. Oktober 2011 in Braunschweig

Das Protokoll der Mitgliederversammlung 2011 wird bei einer Enthaltung einstimmig genehmigt.

TOP 2 Kassenbericht 2011

Der Schatzmeister, Herr Dr. Steckert, erläutert den von ihm erstellten Kassenbericht 2011, der bereits im Report 2012/2 veröffentlicht wurde.
Die Kassenprüfer, Herr Dr. Döring und Herr Dipl.-Ing. Reißmann, haben Anfangs- und Endbestand der Kasse für das Jahr 2011, die Ausgabenbelege komplett und die Einnahmenbelege stichprobenartig geprüft und für korrekt befunden.
Das Kassenprüfprotokoll wurde bereits im Report 2012/2 veröffentlicht und von Herrn Dr. Steckert während seines Kassenberichtes präsentiert.
** Hinweis:*
Der Anregung der Kassenprüfer, das Girokonto auf preiswertere Kontoführung umzustellen und zusätzlich ein Tagesgeldkonto mit Zinsertrag zur errichten, wurde ab November 2012 entsprochen.
Auf Antrag von Herrn Dr. Witt wird dem Schatzmeister bei drei Enthaltungen einstimmig Entlastung erteilt.

TOP 3 Weiterentwicklung DfwG, Arbeitsgruppen

Die Arbeitsgruppen haben am 9.10.2012 nachmittags und 10.10.2012 vormittags getagt.
Es liegen keine aktuellen Veränderungen vor.

TOP 4 Verschiedenes

Herr Rochow lädt, auch im Namen von Herrn Prof. Schierz und Frau Dr. Bieske, zur nächsten DfwG Jahrestagung vom 8. Oktober (Dienstag) bis 10. Oktober (Donnerstag) 2013 an die TU Ilmenau ein.
Herr Dr. Döring hatte anlässlich der Kassenprüfung des Vorjahres darauf hingewiesen, dass die Formalien für die Wahl der Kassenprüfer und die Kassenprüfung selbst nirgends festgeschrieben sind. Er regte an, die Satzung der DfwG in sofern zu ergänzen.
Aus dem Plenum kamen warnende Stimmen, die Satzung sollte besser nicht angefasst werden, da die Erfahrung immer wieder gezeigt habe, dass die Vereinsgerichte, auch bei der Änderung oder Ergänzung nur einzelner Stellen der Satzung, das gesamte Satzungswerk auf den Prüfstand stellten und es dann zu langwierigen und kostspieligen Verfahren kommen könnte.
Dr. Dörsam stellt hierzu den Antrag:
„Der Vorstand möge bis zur Hauptversammlung 2013 den Entwurf einer Geschäftsordnung, nicht einer Satzungsänderung, vorlegen, in der die fehlenden Regelungen niedergelegt oder präzisiert werden sollen“.
Der Antrag wird einstimmig mit 5 Enthaltungen angenommen.
Die Mitgliederversammlung wird von Herrn Dr. Hill um 17:25 Uhr geschlossen.

Berlin, den 05.02.2013

Dipl.-Ing. Frank Rochow
(Sekretär)

Aachen, den 05.02.2013

Dr.-Ing. Bernhard Hill
(Präsident)

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe

Einnahmen - und Ausgabenrechnung
für die Zeit
vom 1.1.2012 bis zum 31.12.2012

Einnahmen		Ausgaben	
Mitgliedsbeiträge	5.545,00 €	Verwaltungskosten	697,21 €
Tagungseinnahmen	3.820,00 €	Tagungskosten	1.929,10 €
Spenden/ Gutschriften	48,40 €	Reportkosten	5.171,92 €
Zinseinnahmen	3,59 €	Sonstige Ausgaben	3.076,74 €
Summe	9.416,99 €	Summe	10.874,97 €
Verlust	1.457,98 €		

Kontostände			
Girokonto		Tagesgeldkonto	
Konto-Nr. 2060023583		Konto-Nr. 1062166335	
Kontostand 31.12.2011	10.791,79 €	Kontostand 30.11.2012	0,00 €
Kontostand 31.12.2012	330,22 €	Kontostand 31.12.2012	9.003,59 €
Saldo	-10.461,57 €	Saldo	9.003,59 €
Gesamtsaldo beider Konten	-1.457,98 €		

Berlin, den 31.01.2013

Dr.-Ing. Carsten Steckert
(Schatzmeister)

Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im deutschen Verband Farbe

Protokoll
der Kassenprüfung für 2012

Am 19. Februar 2013 wurde die Prüfung der DfwG-Kasse für das Jahr 2012 von uns gemeinsam durchgeführt.

Für das Girokonto wurden Anfangs- und Endbestand für das Jahr 2012, die Ausgabenbelege komplett und die Einnahmebelege stichprobenartig geprüft. Für das Ende November 2012 auf Anregung der Kassenprüfer eingerichtete Tagesgeldkonto wurden Anfangs- und Endbestand sowie alle Ein- und Ausgänge geprüft.

Ergebnis:

Laut Auszügen der Berliner Sparkasse stimmt der Bestand am 31.12.2012 mit dem Endbestand überein, der sich

- für das Girokonto aus dem Anfangsbestand per 31.12.2011,
- für das Tagesgeldkonto aus dem Anfangsbestand per 30.11.2012

sowie den jeweiligen Einnahmen und Ausgaben im Geschäftsjahr 2012 ergibt.

Die Buchführung ist transparent und übersichtlich. Sowohl in der Einnahme-/Ausgabenliste als auch in den Kontoauszügen sind alle Kontobewegungen fortlaufen nummeriert. Das hat die Prüfung sehr erleichtert und angenehm gemacht.

Die Gebühren für die Kontoführung erscheinen und nach wie vor sehr hoch. Gegenüber 2011 sind sie sogar von 207,80 € auf 242,00 € gestiegen. Wir hoffen, dass das seit Dezember 2012 praktizierte Online Banking mit Selbstausdruck der Kontoauszüge zu einer erheblichen Reduzierung führt.

Zusammenfassend wird aufgrund der Prüfung der Belege für das Kalenderjahr 2012 die Ordnungsmäßigkeit der Kassenführung der DfwG bescheinigt.

Berlin, den 20.2.2013

Klaus D. Reißmann

Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Reißmann
(Kassenprüfer)

Günter Döring

Dr. rer. nat. Günter Döring
(Kassenprüfer)

Sehr geehrtes DfwG-Mitglied,

die DfwG-Jahrestagung 2013 findet vom 8. Oktober (Dienstag) bis 10. Oktober (Donnerstag) 2013 an der TU Ilmenau statt.
Wir laden Sie hierzu, auch im Namen von Herrn Prof. Schierz und Frau Dr. Bieske, herzlich ein. Bitte senden Sie Vortragsanmeldungen mit einer kurzen Inhaltsangabe schon jetzt an das DfwG Sekretariat. Nähere Hinweise zur Tagung und zum Tagungsort werden im nächsten DfwG-Report erscheinen.

Die DfwG vergibt in diesem Jahr wieder den mit 1.000 Euro dotierten Förderpreis für Nachwuchskräfte der Farbwissenschaft.

Der DfwG-Preis wird jeweils zu den Hauptversammlungen der DfwG in den Jahren der AIC- und CIE-Kongresse an Nachwuchskräfte der Farbwissenschaft verliehen, die sich noch in der Ausbildung befinden, oder nicht länger als 5 Jahre nach Abschluß ihrer Ausbildung (Universität, Technische Fachhochschule, Techniker-Schule o.a.) im Berufsleben stehen und nicht älter als 35 Jahre sind.

Die für die Preisverleihung in Frage kommenden Arbeiten müssen auf dem Gebiet der Farbe oder ihren Randgebieten angefertigt sein und sollen eine bemerkenswerte wissenschaftliche oder technische Leistung bzw. eine besondere originelle Idee enthalten.

Die schriftliche Ausarbeitung sollte in 3 Exemplaren (hierbei mindestens 1 gedrucktes Exemplar) an das Sekretariat der DfwG eingereicht werden. Es kann sich hierbei um einen Arbeitsbericht, ein Manuskript für eine Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift, eine bereits erschienene Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift, einen internen technischen Bericht oder eine abgeschlossene Studienarbeit, Diplomarbeit bzw. Dissertation handeln. In allen Fällen darf der Abschluß der Arbeit nicht länger als zwei Jahre zurückliegen, wobei das Abschlußdatum der schriftlichen Ausarbeitung bzw. der Veröffentlichung maßgebend ist.

Alle Mitglieder der DfwG sind berechtigt, eine eigene Arbeit einzureichen, oder Kandidaten für die Preisverleihung vorzuschlagen. Dazu muß die schriftliche Ausarbeitung entsprechend Punkt 3 bis spätestens 3 Monate vor der nächsten DfwG-Hauptversammlung eingereicht werden.

Die Preisverleihung erfolgt bei der Eröffnungsveranstaltung der DfwG-Tagung 2013 in Ilmenau. Mit dem Preis wird eine Urkunde überreicht.
Es wird erwartet, daß der Preisträger auf der DfwG-Tagung seine Arbeit in einem Vortrag vorstellt.

Nominierungen oder Bewerbungen zum DfwG-Förderpreis bitte bis **spätestens 31. Juli 2013** an das DfwG-Sekretariat!

Mit freundlichen Grüßen

Frank Rochow (DfwG Sekretär)

Farbgenauigkeit bei Stereo-Multispektralaufnahmen

Julie Klein

Lehrstuhl für Bildverarbeitung, RWTH Aachen University, 52056 Aachen

julie.klein@lfb.rwth-aachen.de

Verschiedene Typen von Multispektralkameras werden für Anwendungen eingesetzt, die eine hohe Farbgenauigkeit bei der Aufnahme erfordern. Wenn solche Kameras in einem Stereosystem verwendet werden, können sowohl eine genaue Farbinformation als auch eine präzise Tiefeninformation über die erfasste Szene gewonnen werden.

Seit einigen Jahren werden am Lehrstuhl für Bildverarbeitung Filterradkameras und ihre Aberrationen untersucht. In diesem Beitrag werden die letzten Fortschritte der Forschung am Lehrstuhl im Bereich der Stereo-Multispektralaufnahme vorgestellt. Es wird besonders auf die Farbinformation eingegangen, die aus einer Stereo-Multispektralaufnahme rekonstruiert werden kann.

I - Multispektralkameras

1) Multispektralkamera mit 7 Farbkanälen

Für die exakte Erfassung von Farbbildern wird oft eine Multispektralkamera benutzt, die aus einem Grauwertsensor besteht, vor dem sequentiell Bandpassfilter geschoben werden. Sieben Filter mit Zentralwellenlängen von 400 bis 700 nm in 50 nm Schritten und Bandbreiten von ca. 40 nm werden hierfür am Lehrstuhl für Bildverarbeitung eingesetzt. Damit ist die Farbgenauigkeit des Aufnahmesystems ziemlich hoch, die Aufnahme eines Multispektralbilds ist aber langsam, da 7 Aufnahmen nötig sind.

Zwei solchen Multispektralkameras können auch in einer Stereokonfiguration angeordnet werden, um eine genaue spektrale Information und zusätzlich die Tiefeninformation der Szene zu erfassen. Wenn aus beiden Kameras die 7 Farbkanäle erfasst werden, sind wiederum 7 Aufnahmen notwendig.

Allerdings ist eine andere Möglichkeit, die Farbkanäle auf die zwei Kameras aufzuteilen. Die Kanäle 1, 3, 5 und 7 werden z.B. von der linken Kamera aufgenommen, und die Kanäle 2, 4 und 6 von der rechten, siehe Abbildung 1(a). Dies halbiert auf der einen Seite die Anzahl der notwendigen Aufnahmen und die Aufnahmezeit. Auf der anderen Seite erschwert es aber auch die Schätzung der Disparität (die Disparität ist die Verschiebung eines Objektpunkts zwischen

dem linken und dem rechten Bild und ist ein Korrelat der Tiefe des Objektpunkts in der Szene), da die spektrale Information aus beiden Kameras unterschiedlich ist.

2) Multispektralkamera mit 6 Farbkanälen

Statt eines Grauwertsensors mit 7 Bandpassfiltern kann für eine Multispektralkamera zum Beispiel auch eine RGB-Kamera benutzt werden, vor der Farbfilter platziert sind. Mit so einer Kamera muss zwar mit dem Problem des De-Mosaikings umgegangen werden, aber der große Vorteil ist, dass schon mit einer einzigen Aufnahme die Informationen aus drei Farbkanälen vorhanden sind. Dies vereinfacht also die Aufnahme von Multispektralbildern: Mit nur zwei Aufnahmen und jeweils einem unterschiedlichen Farbfilter vor der RGB-Kamera können schon 6 Farbkanäle erfasst werden, siehe Abbildung 1(b).

Wie bei der 7-kanaligen Kamera können solche 6-kanaligen Kameras in einer Stereokonfiguration benutzt werden, wo die spektrale Information, die von beiden Seiten aufgenommen wird, unterschiedlich ist. Dafür wird vor jeder RGB-Kamera ein unterschiedliches Farbfilter eingesetzt. Benutzt wurden entweder zwei breitbandigen Farbfilter oder zwei Infitec Fingerfilter, die jeweils die Kanäle Rot, Grün und Blau in zwei aufteilen. Diese zwei Stereo-Multispektralsysteme verfügen daher über unterschiedliche spektrale Empfindlichkeitskurven.

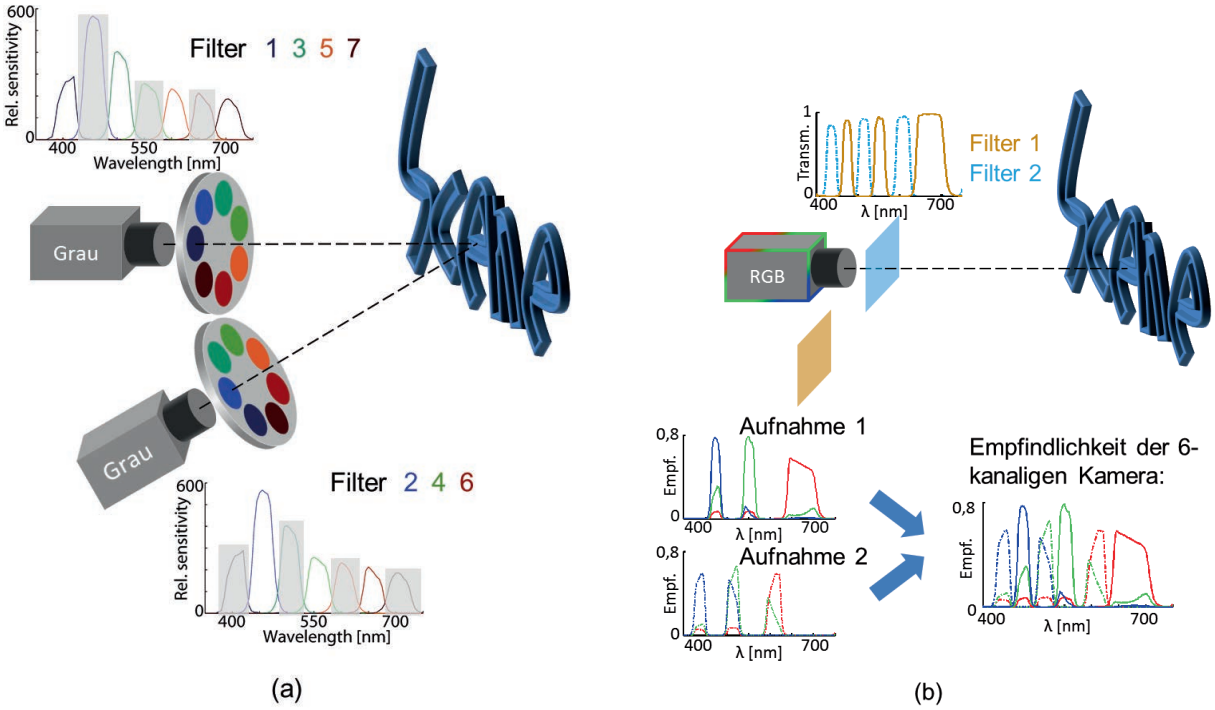


Abbildung 1: Stereo-Multispektralsystem mit Aufteilung der 7 Farbkanäle (a) und 6-kanalige Multispektralkamera (b).

II – Stereo-Multispektralaufnahme

1) Winkelabhängige Messung von Spektren

Bei einer Stereomessung ist die Information, die aus den zwei Kamerapositionen erfasst wird, unterschiedlich. Ein wichtiger Aspekt der Stereo-Multispektralmessung ist also die Änderung dieser Information als eine Funktion des Aufnahmewinkels. Deshalb wurden die Remissionsspektren gängiger Objekte aus unterschiedlichen Aufnahmepositionen gemessen, um deren Winkelabhängigkeit zu ermitteln. Wenn die spektrale Information, die an den zwei Kameras eines Stereosystems aus einem gegebenen Objektpunkt ankommt, sehr unterschiedlich ist, kann für den Objektpunkt nur schwer ein einziger Farbwert berechnet werden. In dieser Arbeit wurden diese Unterschiede gemessen, um die Farbgenauigkeit zu schätzen, die ein Stereo-Multispektralsystem erreichen kann.

Die Messung einer Farbtafel aus den Winkeln +5° bis -15° in Schritten von ca. 5° und mit einer Beleuchtung unter +45° ergab sehr kleine Farbdifferenzen CIEDE2000. Hauptsächlich für die dunklen Felder der Tafel waren die Unterschiede zwischen der Messung bei +5° und der bei -15° hoch: Der Maximalwert der Farbdifferenz war 4,64. Wenn aber alle Farbfelder berücksichtigt wurden, blieb diese Differenz klein genug: Der Mittelwert der Farbdifferenz war 0,77. Dies bedeutet, dass die Stereoaufnahme anhand Multispektralkameras von solchen Objekten auch farbtreue Bilder ergeben kann.

2) Rekonstruktion mit dem 7-kanaligen System

Wie schon im Abschnitt I.1 erwähnt, kann bei einem 7-kanaligem Stereosystem entweder die gesamte spektrale Information von beiden Kameras entnommen werden, oder auch aufgeteilt werden. Hier werden verschiedene Möglichkeiten verglichen, wie die 7 verfügbaren Farbkanälen aus beiden Seiten benutzt werden können. Dafür wurden

- entweder die gesamte spektrale Information aus der linken Kamera,
- oder die gesamte spektrale Information aus der rechten Kamera entnommen,
- oder die spektrale Information wurde so gesplittet, dass die spektrale Information der Kanäle 1, 3, 5 und 7 von der linken Kamera und die der Kanäle 2, 4 und 6 von der rechten Kamera gelesen wurden,
- oder die spektrale Information wurde so gesplittet, dass die spektrale Information der Kanäle 2, 4 und 6 von der linken Kamera und die der Kanäle 1, 3, 5 und 7 von der rechten Kamera gelesen wurden.

Eine 3D-Szene wurde mit der 7-Multispektralkamera aus zwei Positionen aufgenommen, so dass die kompletten spektralen Daten der Szene zur Verfügung standen. 22 Bereiche der Szene wurden dann genau gemessen: Die Spektren, die für die 4 unterschiedlichen Konfigurationen rekonstruiert wurden, wurden verglichen. Die Farbdifferenzen CIEDE2000 zwischen den 4 Konfigurationen blieben dabei sehr gering, mit einem Maximalwert von 1,43 und nur 6 Werte über 1. Die verschiedenen möglichen Konfigurationen beeinflussen also nur

bedingt die aufgenommene Werte und rekonstruierte Spektren, da die Farben sehr ähnlich blieben.

III – Farbgenauigkeit bei der Stereoaufnahme

1) Farbgenauigkeit des 6-kanaligen Systems

Die Qualität der 6-kanaligen Kamera wurde in Bezug auf Farbgenauigkeit gemessen, um zu bewerten, ob sie für farbtreue Aufnahmen einsetzbar ist. Zuerst wurde nur eine 6-kanalige Kamera betrachtet und damit eine Farbtafel aufgenommen. Die zwei Filtersätze wurden verglichen, indem die Farbdifferenzen CIEDE2000 der Aufnahme für die 140 Farbfelder der Vorlage berechnet wurden. Die Werte mit den breitbandigen Filtern waren leicht schlechter, mit einem Medianwert von 4.07 anstatt 3.29 für die Fingerfilter. Diese Werte zeigen, dass eine genaue Farberfassung möglich ist.

Danach wurden zwei Kameras betrachtet, um die Genauigkeit des 6-kanaligen Stereosystems zu evaluieren, und beide Filtersätze wurden gleicherweise verglichen. In der Stereokonfiguration war die Farbgenauigkeit niedriger, da die spektrale Information, die an beiden Kameras ankommt, leicht unterschiedlich ist. Die Medianwerte der Farbdifferenz waren 4.62 bis 4.80. Auch diese Farbgenauigkeit ist für die Erfassung von Multispektralbildern ausreichend.

Vergleich beider System

In diesem letzten Teil wurden die Farbgenauigkeit der 6-kanaligen und der 7-kanaligen Stereo-Multispektralkamera verglichen. Dafür wurde nur eine besondere Konfiguration für jede Kamera betrachtet.

Ein genauer Vergleich beider Systeme wurde angestrebt. Deshalb wurden die spektralen Informationen von 22 Bereichen einer 3D-Szene aus zwei Aufnahmepositionen mit einem Spektralfotometer gemessen. Diese Information wurde dann benutzt, um die Antwort der beiden Systeme zu simulieren. Mit dieser Simulation wurde also sichergestellt, dass die Unterschiede der Farben, die mit beiden Systemen rekonstruiert wurden, nicht von der Aufnahme selber verursacht wurden, wie z.B. von leichten Unterschieden der Kamerapositionen oder der Blickwinkel.

Die rekonstruierten Daten wurden im CIELAB-Farbraum mit den Daten aus den 2 spektralen Messungen (d.h., aus der rechten und aus der linken Position) verglichen, siehe Abbildung 2. Die Farbdifferenz CIEDE2000 lag über den Wert 3 für 11 der 22 Bereiche mit der 6-kanaligen Kamera und für nur 3 der 22 Bereiche mit der 7-kanaligen Kamera. Ferner war die Farbdifferenz kleiner als 1 für 2 der 22 Bereiche mit der 6-kanaligen Kamera und für 10 der 22 Bereiche mit der 7-kanaligen Kamera. Der Medianwert der Farbdifferenz war 3,62 für die 6-kanalige Kamera und 1,31 für die 7-kanalige Kamera. Dies bedeutet, dass die Farbtreue der beiden Systeme gut ist, und dass die 7-kanalige Kamera genauer als die 6-kanalige Kamera ist.

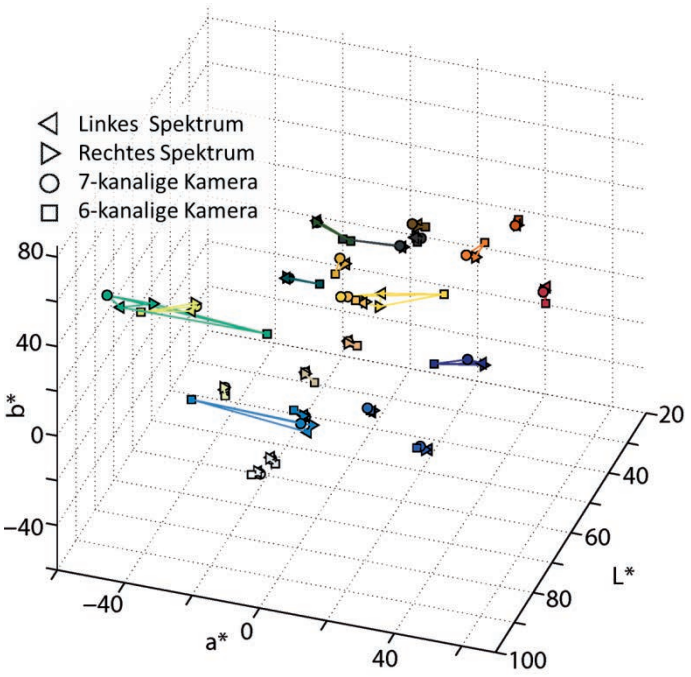


Abbildung 2: Werte im CIELAB-Farbraum, die für jeden der 22 Bereiche mit dem Spektralfotometer gemessen (linkes und rechtes Spektrum) und mit den simulierten Multispektralkameras rekonstruiert wurden.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Multispektralsysteme haben gezeigt, dass eine farbtreue Stereoaufnahme mit Aufspaltung der spektralen Information auf beiden Kameras grundsätzlich möglich ist. Wie erwartet ist die Farbgenauigkeit der 7-kanaligen Stereo-Multispektralkamera höher als die der 6-kanaligen Stereo-Multispektralkamera, weil der Wellenlängenbereich genauer mit den 7 gleichmäßig aufgeteilten Empfindlichkeitskurven der optischen Filter abgetastet werden kann. Die Aufteilung der Farbkanäle über die zwei Kameras des Stereosystems hatte keine großen negativen Effekte auf der Farbgenauigkeit. Schließlich war die Messung einer Szene mit Hilfe des 7-kanaligen Stereosystems so genau, dass die rekonstruierten Farbwerte nah an den, die mit einem Spektralradiometer gemessen wurden, waren.

Toleranzbereiche beim Weißabgleich mit unterschiedlichen Spektren

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Dipl.-Ing. Böll M., Dr.-Ing. habil. Bodrogi P., Prof.Dr.-Ing. habil. Khanh T.Q.

Was ist Weiß?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

http://pixabay.com, weddinggowns9.blogspot.com

10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 2

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Was ist Weiß?

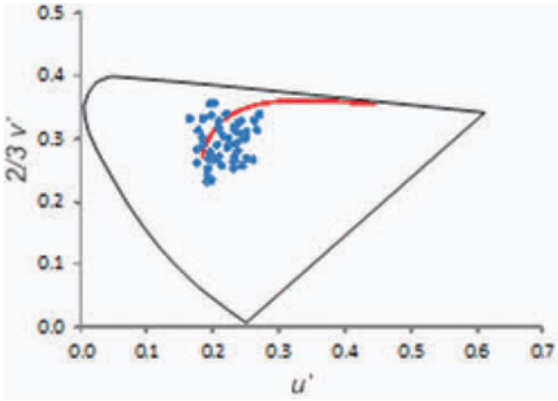
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

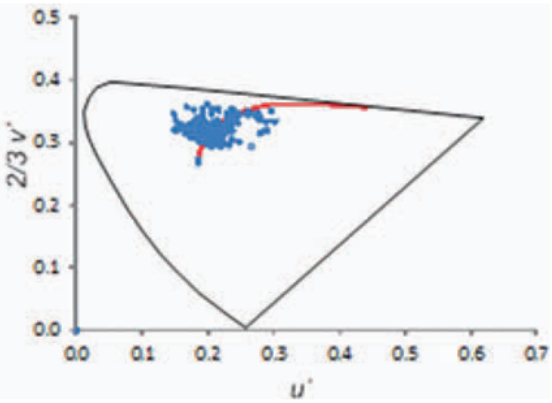
Weißheitsgrad nach Werner und Schefrin

Mischen von Weiß unter der Verwendung von blau und gelb. Beispiel „purest white“.

Weißpräferenz nach Veitch

Einstellen des bevorzugten Weiß am Arbeitsplatz.





FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Ziele der Untersuchung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

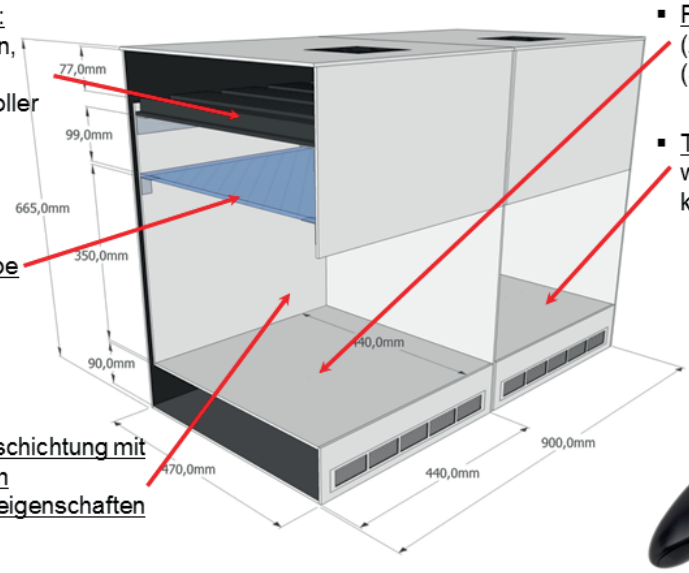
- Bestimmung der Toleranzbereiche in denen kaltweiße Spektren als visuell abgeglichen angesehen werden können. Unterscheidung von:
  - Lichtquellen sind abgeglichen.
  - Der Unterschied von zwei Spektren ist gerade wahrnehmbar.
  - Der Unterschied von zwei Spektren ist tolerierbar.
- Auswirkung auf das Spektrum und auf die Farbwiedergabe, Bestimmung der Koordinaten im Normfarbraum.
- Wahrnehmung des Weiß: Inter- und Intrapersonelle Streuung.
- Sehfeldgröße (40°) entspricht der Realität (ermöglicht Immersion).

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Testaufbau

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

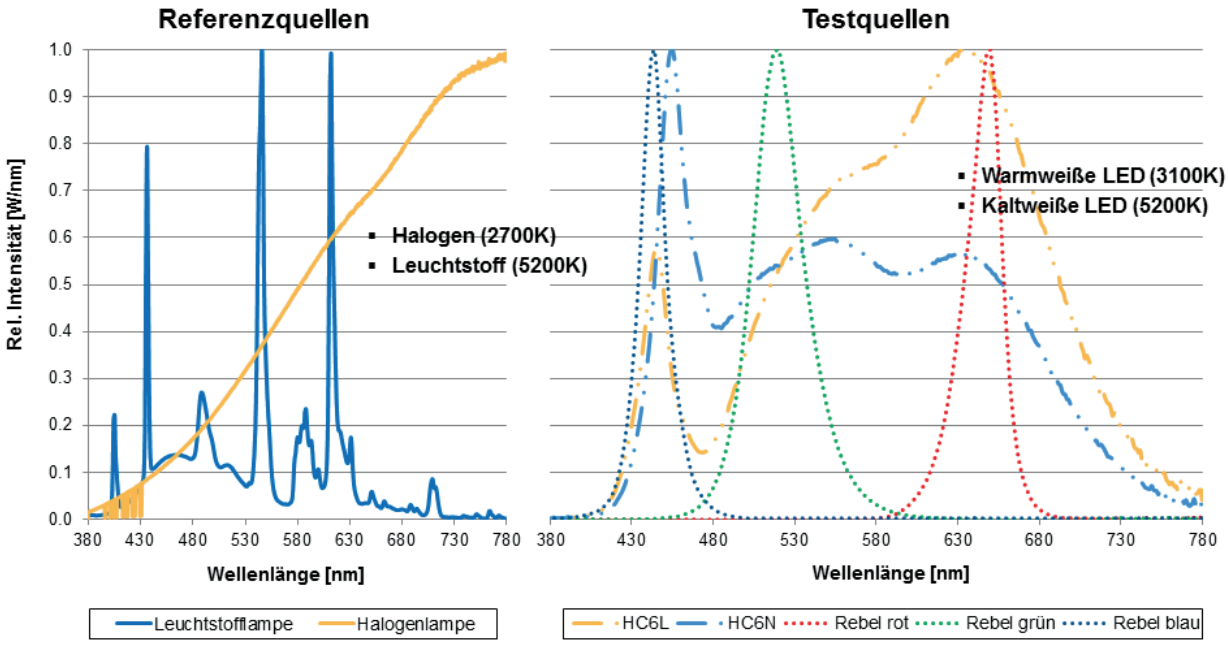
- Lichtmodul: Lichtquellen, Kühlung, Mikrocontroller
- Streuscheibe
- Diffuse Beschichtung mit aselektivem Reflexionseigenschaften
- Referenzkammer: Halogen (2700K), Leuchtstoff (5200K)
- Testkammer: RGB-, warmweiße (3100K) und kaltweiße (5200K) LEDs
- Steuerung zur Einstellung der RGB-LED



FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Testaufbau
Spektren aller Lichtquellen

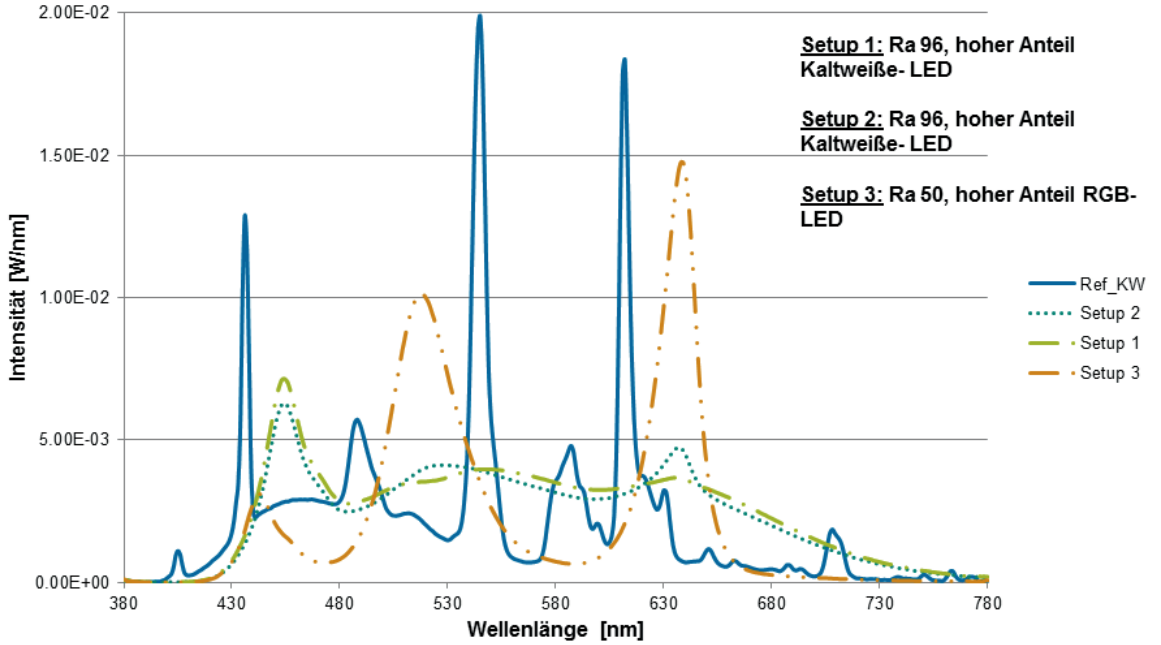
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Vorversuche
Ausgangsspektren – Visueller Abgleich für Kaltweiß

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

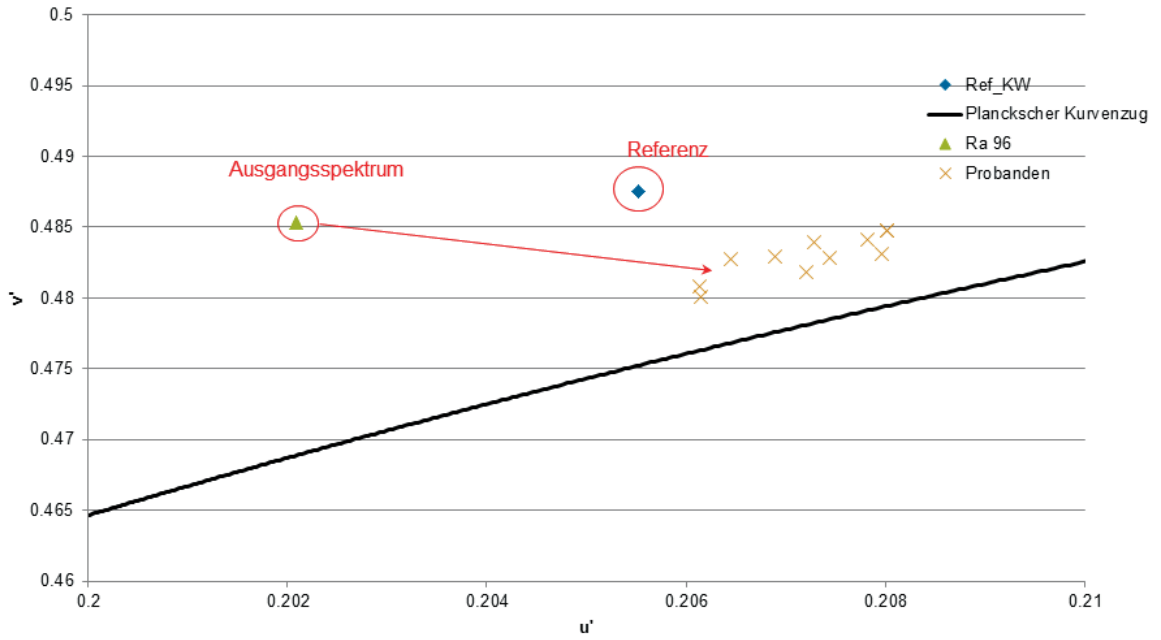


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 7

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Vorversuche
Testreihe Setup1: Ra 96

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

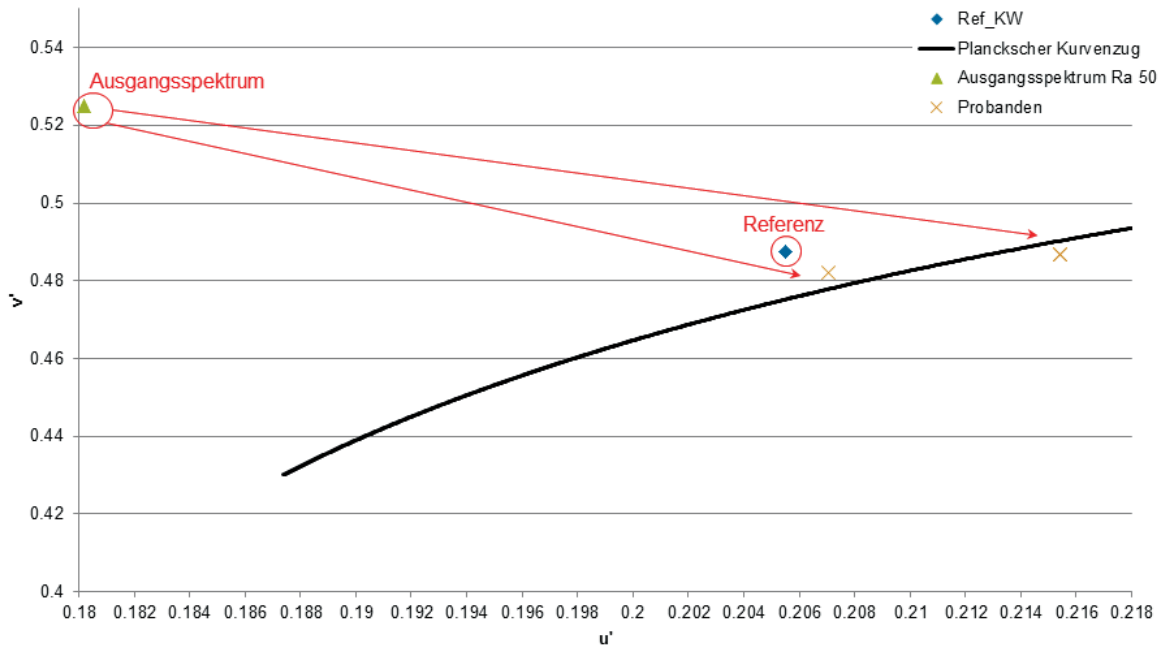


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 8

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Vorversuche
Testreihe Setup3: Ra 50

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Fazit Vorversuche

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Man kann mit interpersoneller Streuung rechnen.
- Größere Streuung bei Spektren mit hohem RGB- Anteil.
- Die Probanden bevorzugen es den Abgleich selber durchzuführen.
- Schwierigkeiten beim Abgleich mit einem Spektrum mit hohem RGB-Anteil

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Methodik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Der Abgleich wird durch den Probanden mit Hilfe einer Steuerung durchgeführt.
- Hoher Freiheitsgrad bei den Einstellungsmöglichkeiten.
- Als Referenz dient eine kaltweiße Entladungslampe (5200K).
- Den Probanden werden nacheinander zwei Spektren vorgelegt die auf die Referenzquelle abgeglichen werden müssen.
- Die Probanden haben die Möglichkeit die RGB Anteile der RGB LED zu verändern. Zumischen von RGB Anteilen bis:
  - Testquelle und Referenz wirken visuell gleich.
  - Der Unterschied ist gerade wahrnehmbar (JND).

10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 11

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Methodik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Test- und Referenzseite sind so eingestellt, dass auf dem Boden des Testfeldes die gleiche Beleuchtungsstärke zu messen ist (800 lx).
- Geringer Farbortabstand zwischen Referenz- und Testquelle.
- Direkter visueller Abgleich von Testquelle auf Referenz durch „Hin- und Herschauen“.
- Aufnahme des Spektrums mit Spektrometer.

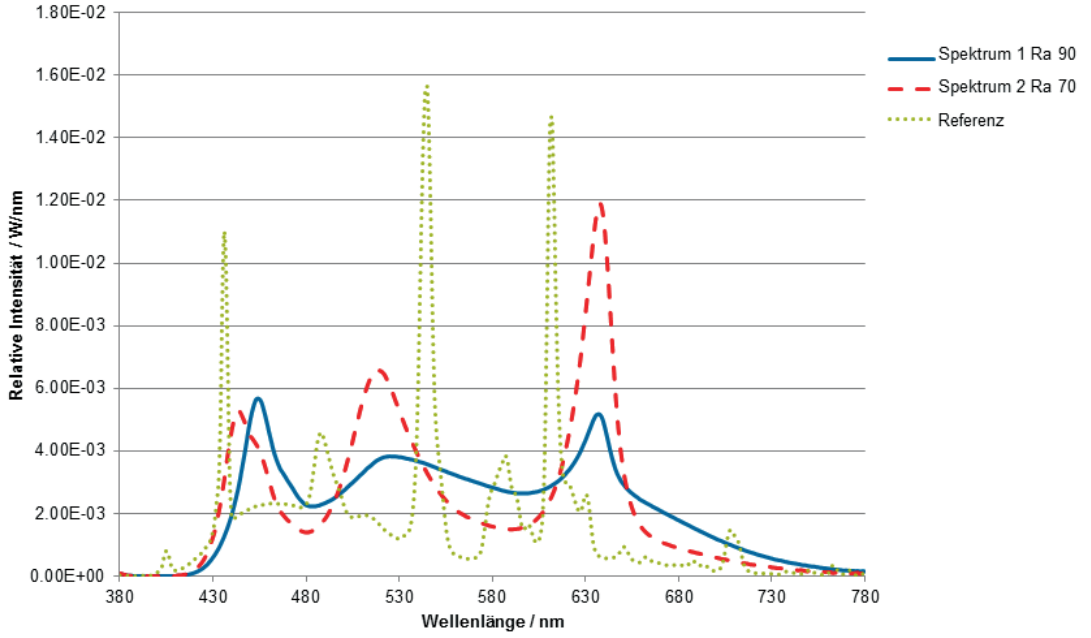
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 12

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Visueller Abgleich – Spektren für kaltweiße Lichtquellen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



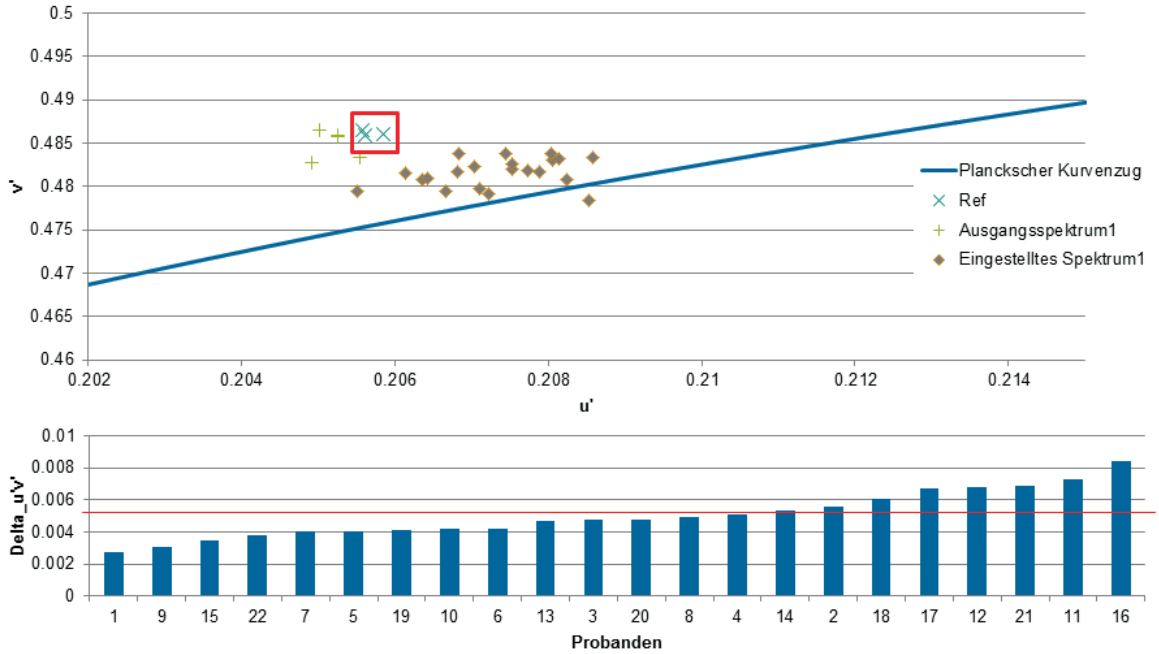
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 13

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Visuell gleich - Spektrum 1 Ra 90

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



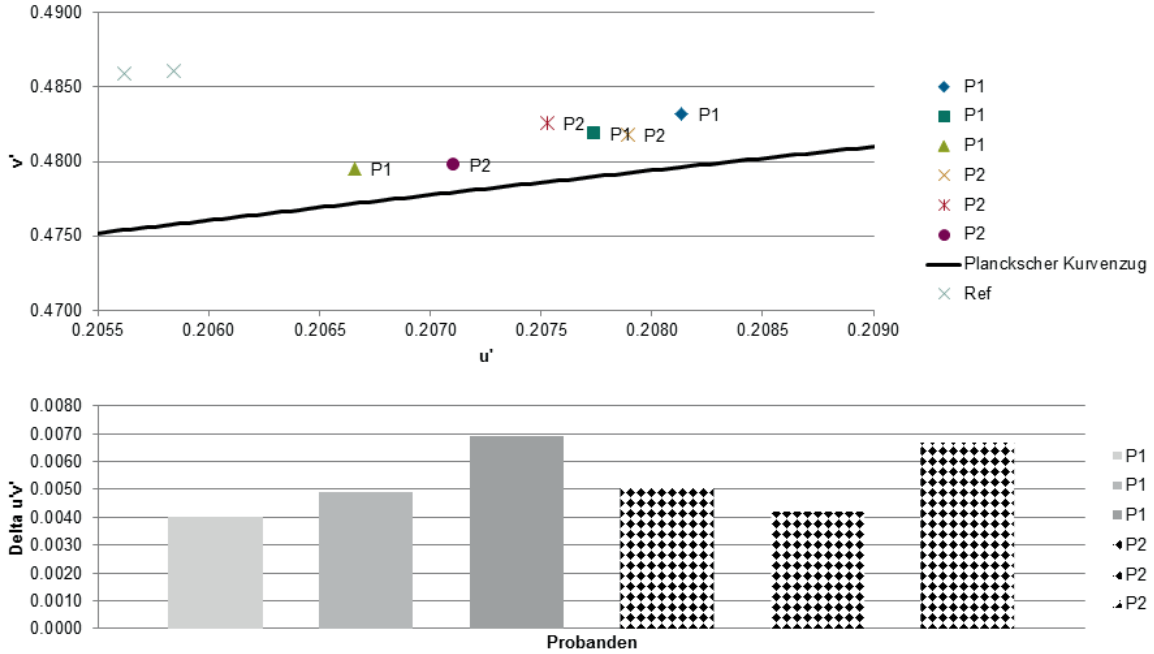
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 14

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Visuell gleich - intrapersonelle Streuung Spektrum 1 Δu'v'

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

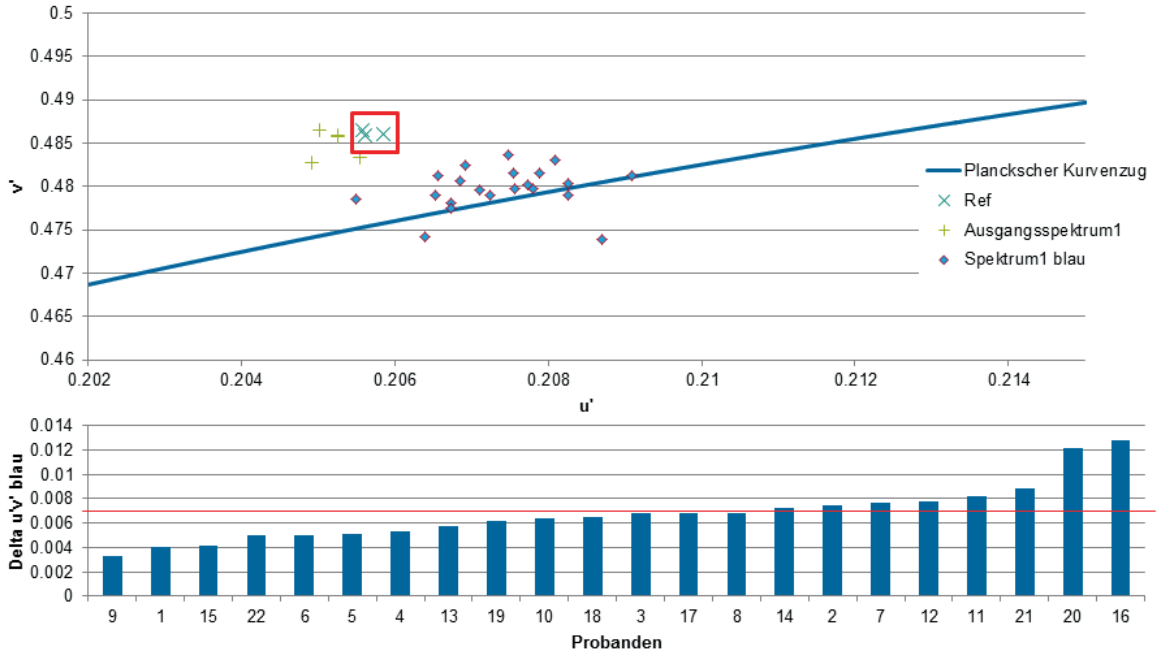


FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Unterschied von Blau gerade wahrnehmbar - Spektrum 1 Ra 90

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

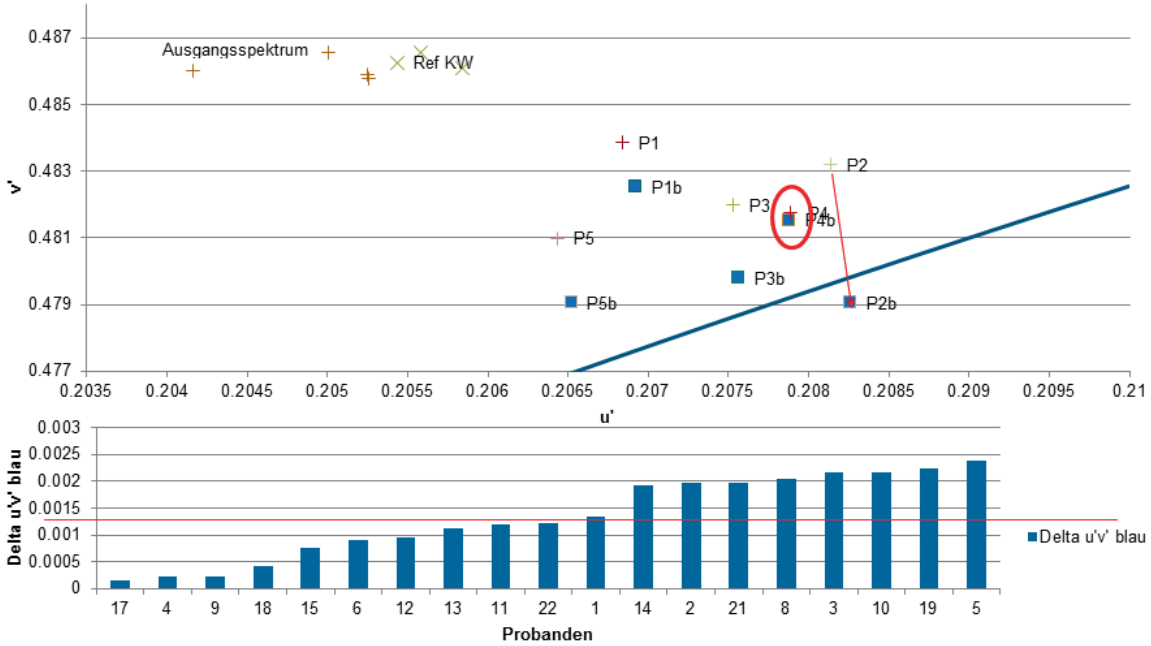


FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Unterschied von Blau gerade wahrnehmbar - Spektrum 1 Ra 90

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



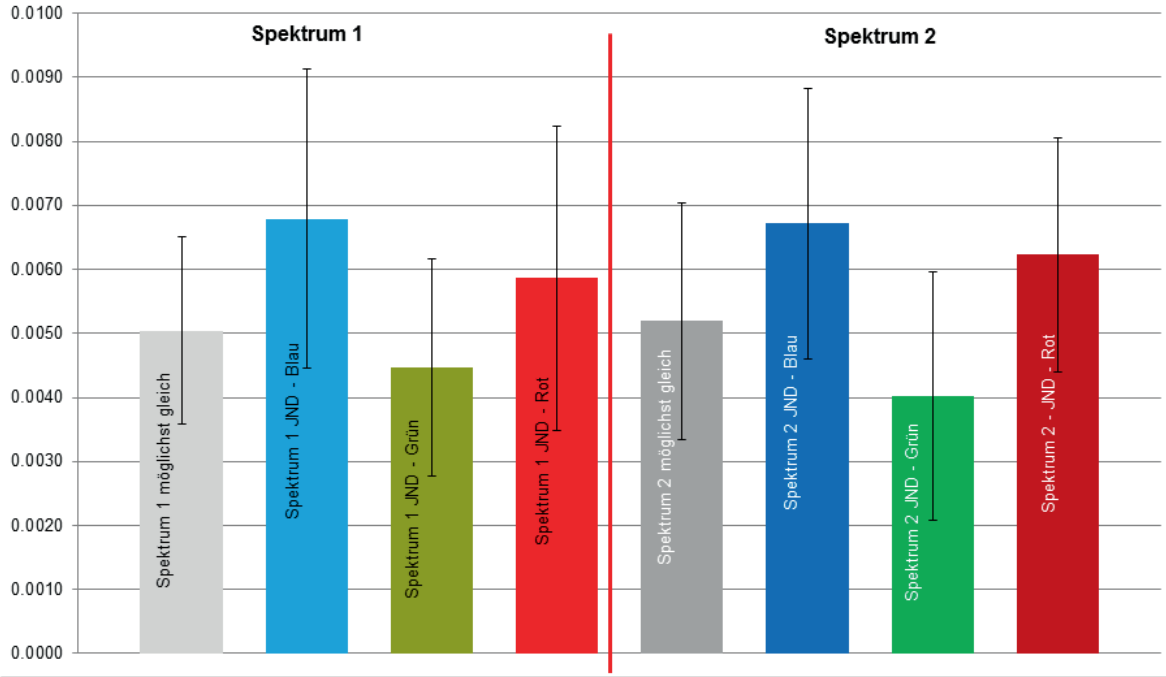
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 17

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Visueller Unterschied – Mittelwerte Δu‘v‘

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 18

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Fazit und Ausblick

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Problematik der Mischadaptation.
- Einstellung durch die Testperson liefert zu viele Freiheitsgrade

  In folgenden Versuchen werden die Freiheitsgrade beim visuellen Abgleich eingeschränkt. Vorlage von vordefinierten Spektren (Konstanzmethode)
- Untersuchung der intrapersonellen Streuung
- Noch zu untersuchen ist Metamerie.

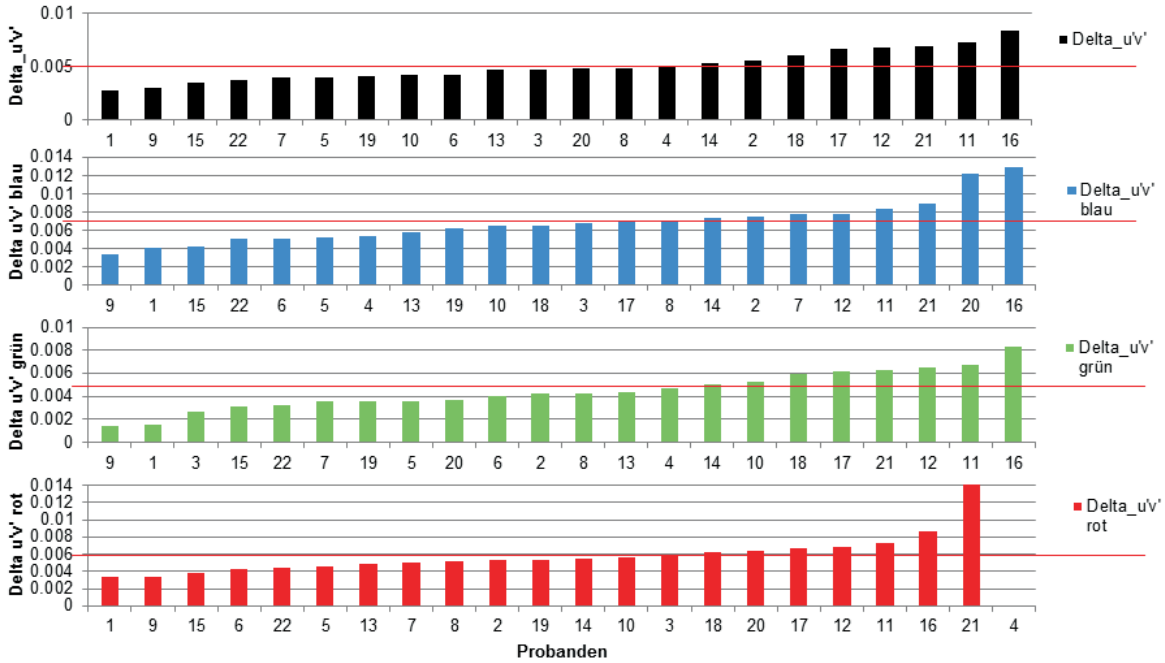
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 19

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

Delta_u'v, für Spektrum 1 – Ra 90

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



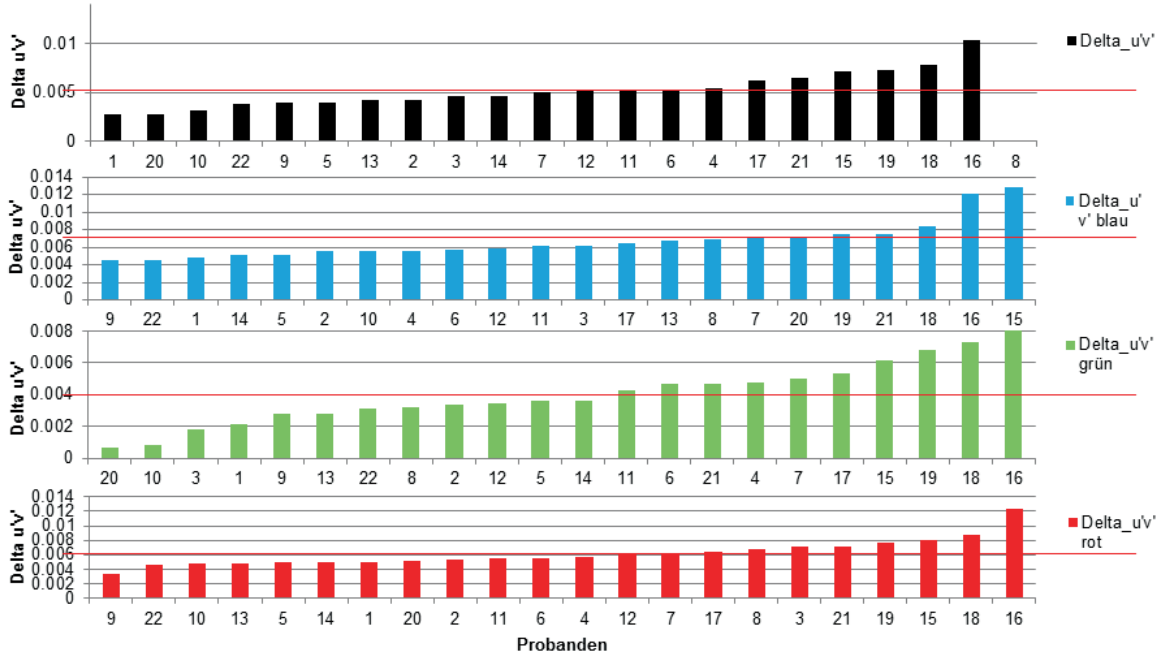
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 21

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Hauptversuch - Weißabgleich

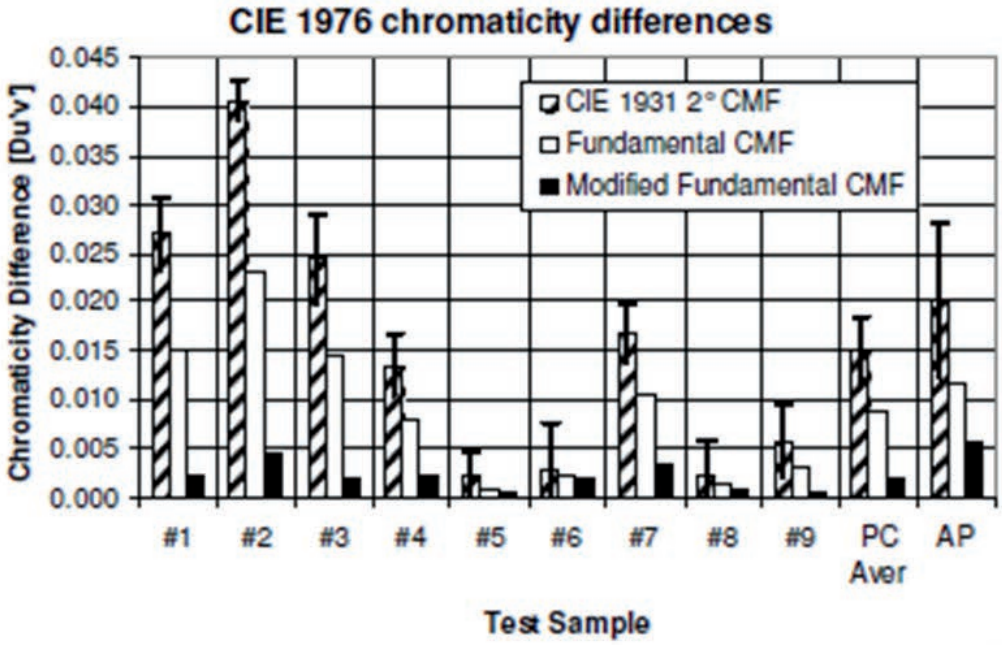
Delta_u'v, für Spektrum 2 – Ra 70

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



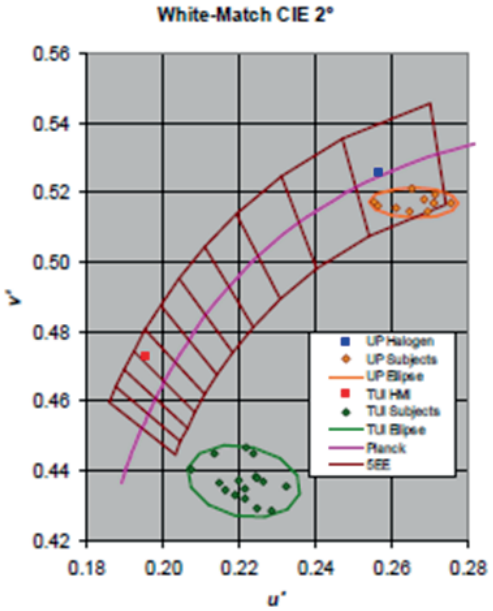
FACHGEBIET LICHTTECHNIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



FACHGEBIET LICHTTECHNIK

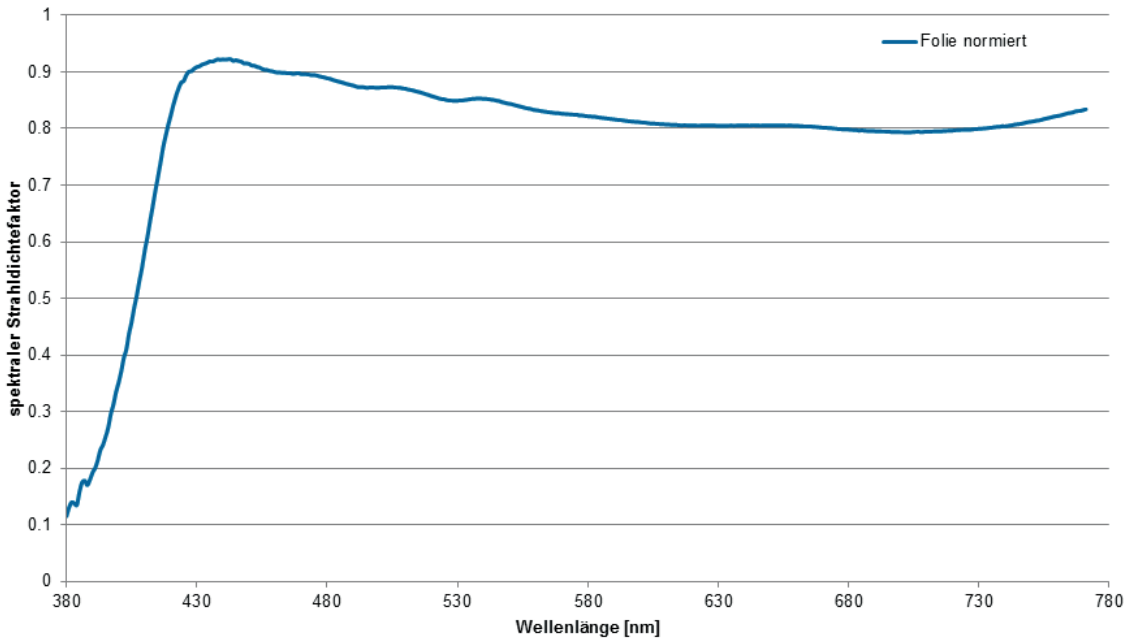
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 24

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

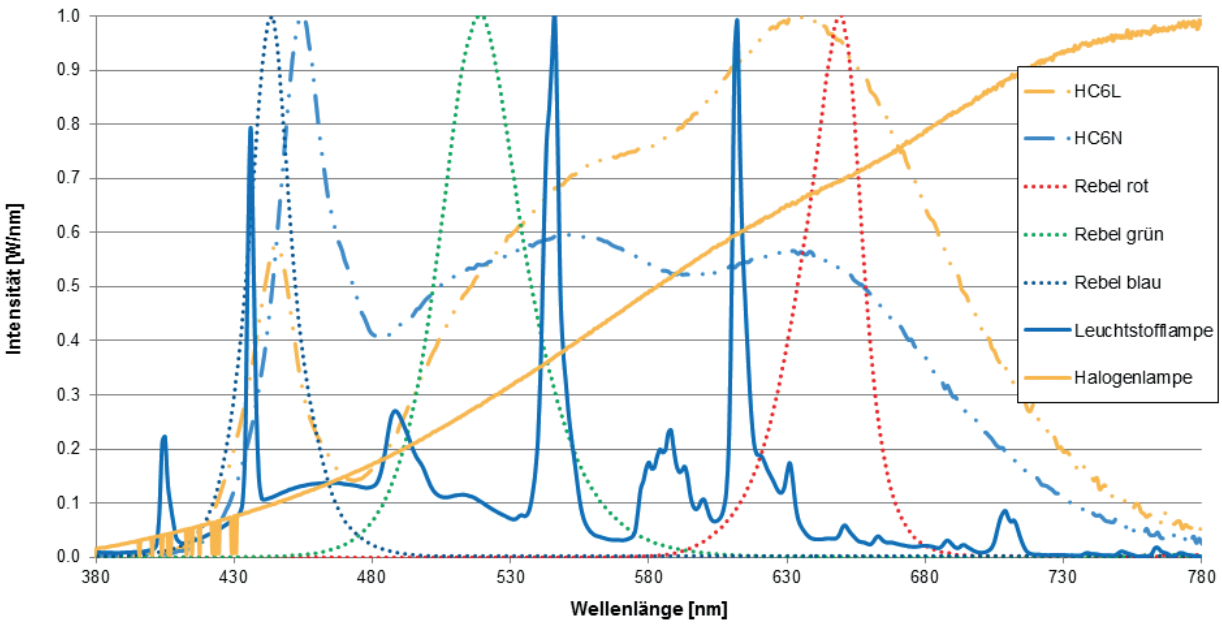


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 25

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Testaufbau
Spektren aller Lichtquellen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

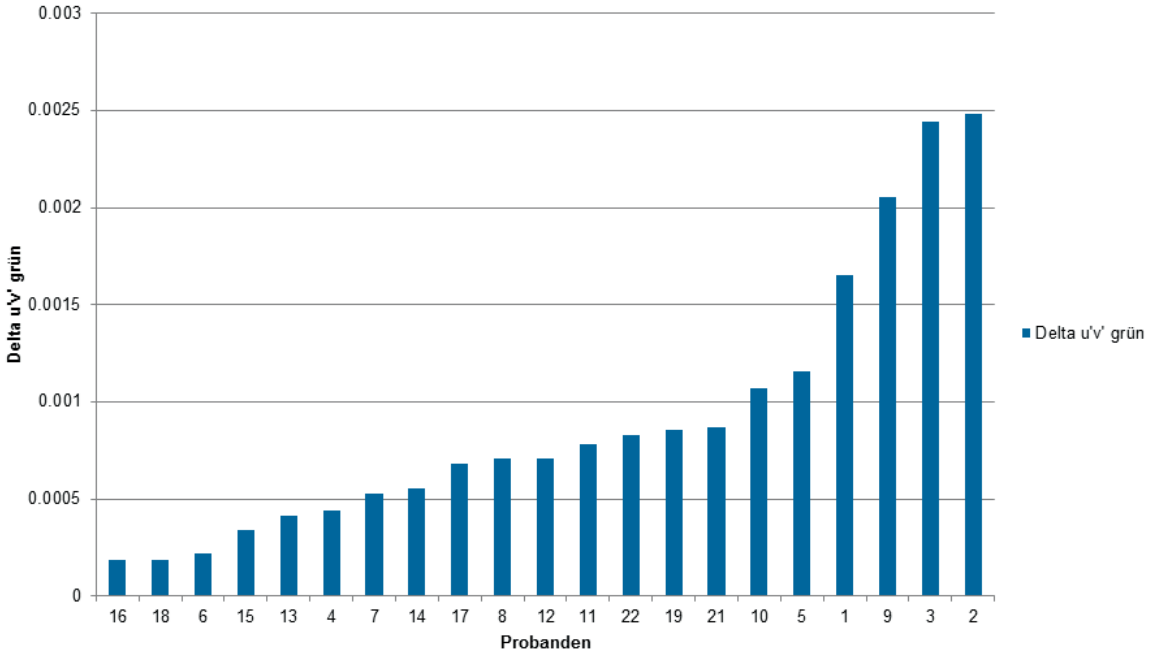


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 26

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Versuch - Weißabgleich
JND - Spektrum 1 u'-v' – Ausgewählte Ergebnisse grün

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



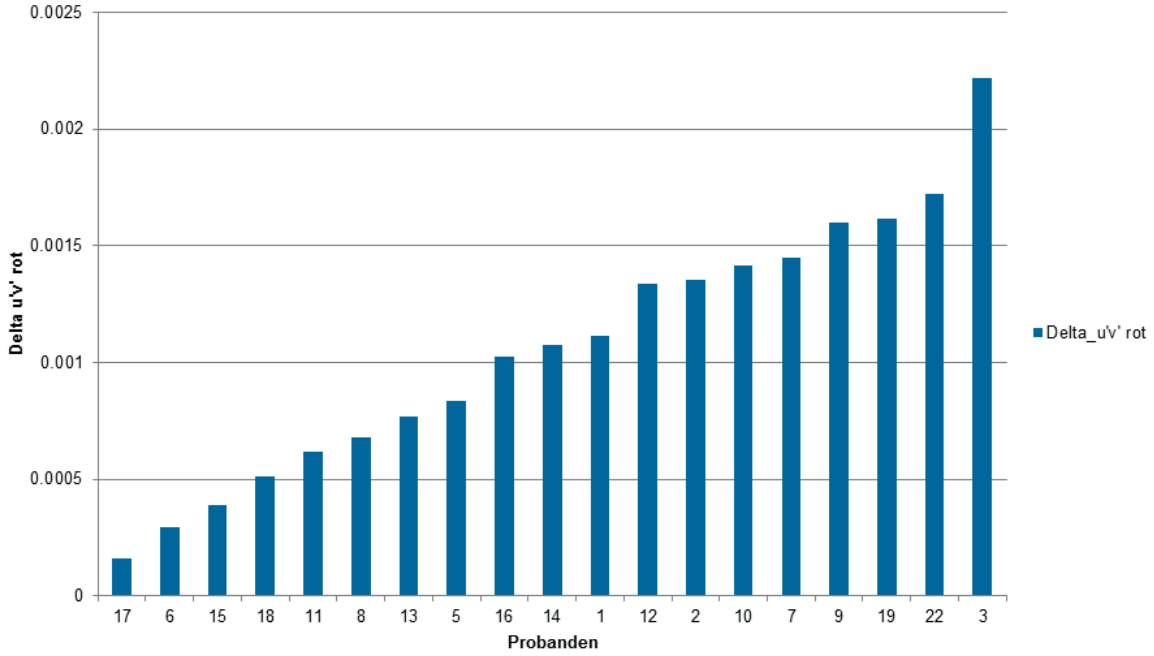
10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 27

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Versuch - Weißabgleich

JND - Spektrum 1 u‘-v‘ – Ausgewählte Ergebnisse rot

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

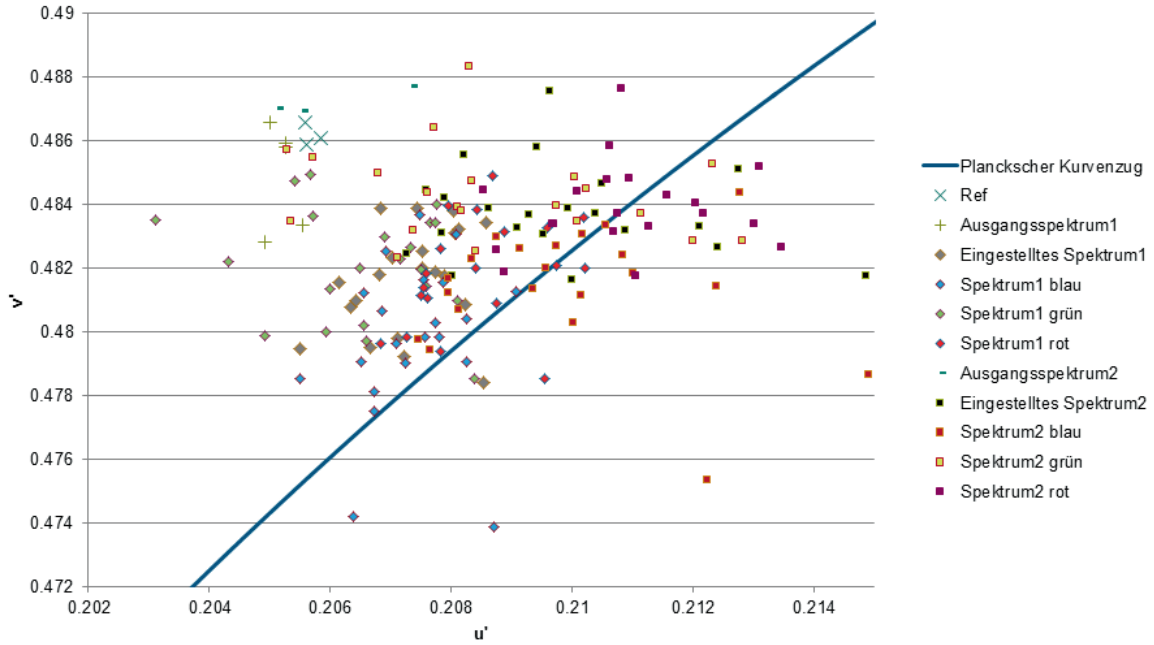


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 28

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 1+2 u‘-v‘

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

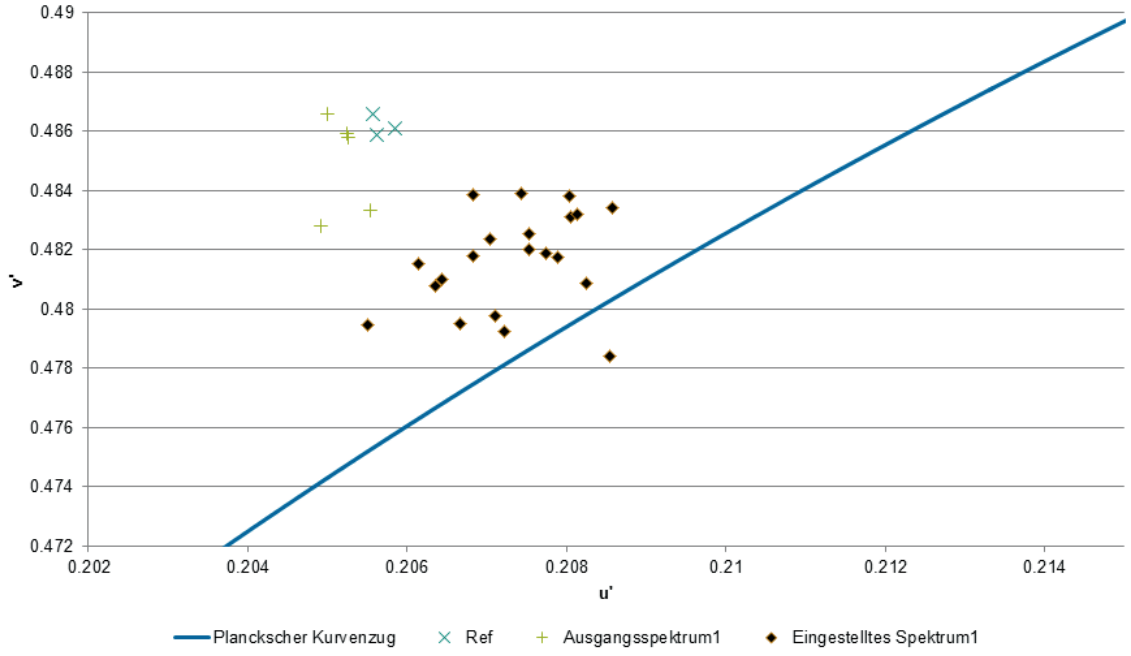


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 29

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 1 u‘-v‘

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

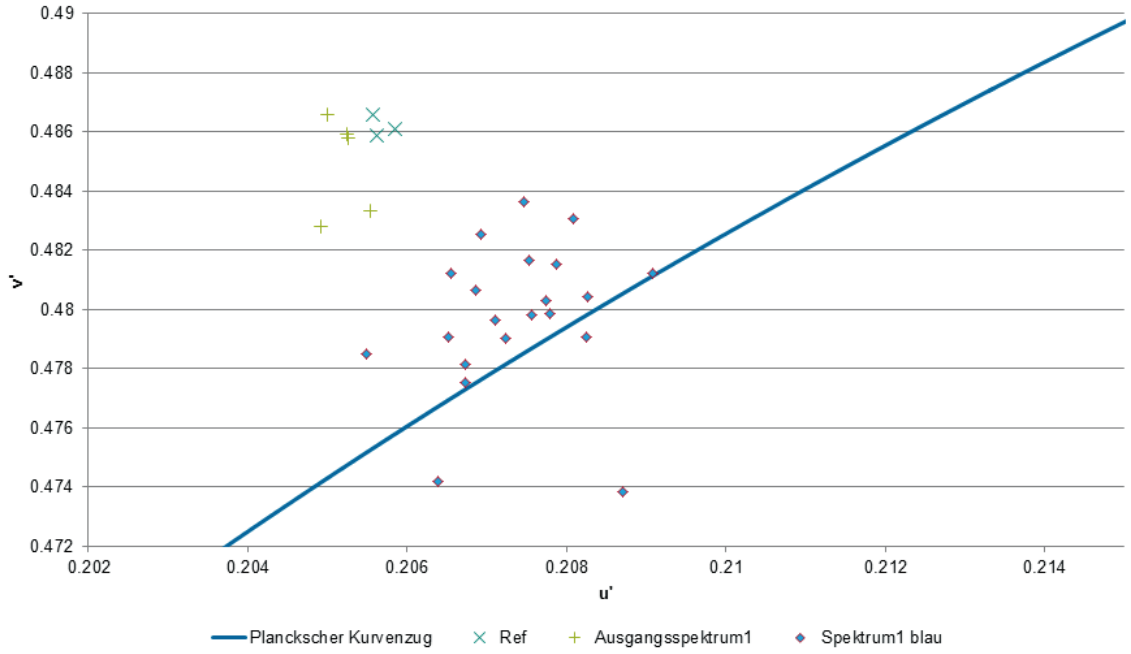


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 30

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 1 u‘-v‘ - blau

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

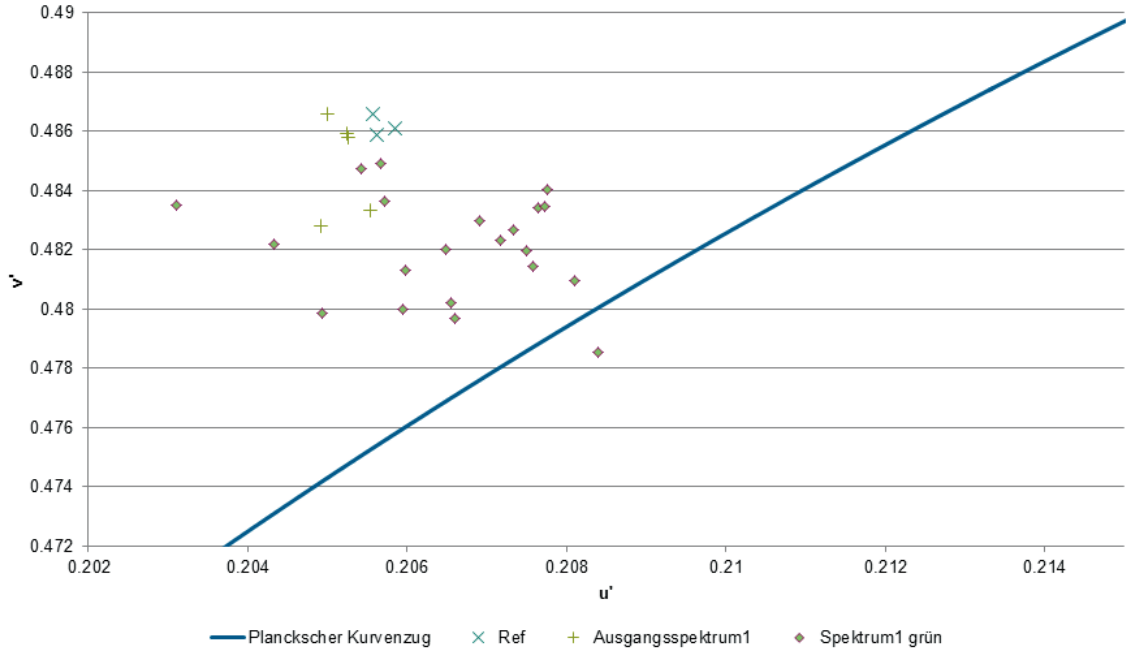


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 31

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 1 u‘-v‘ - grün

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

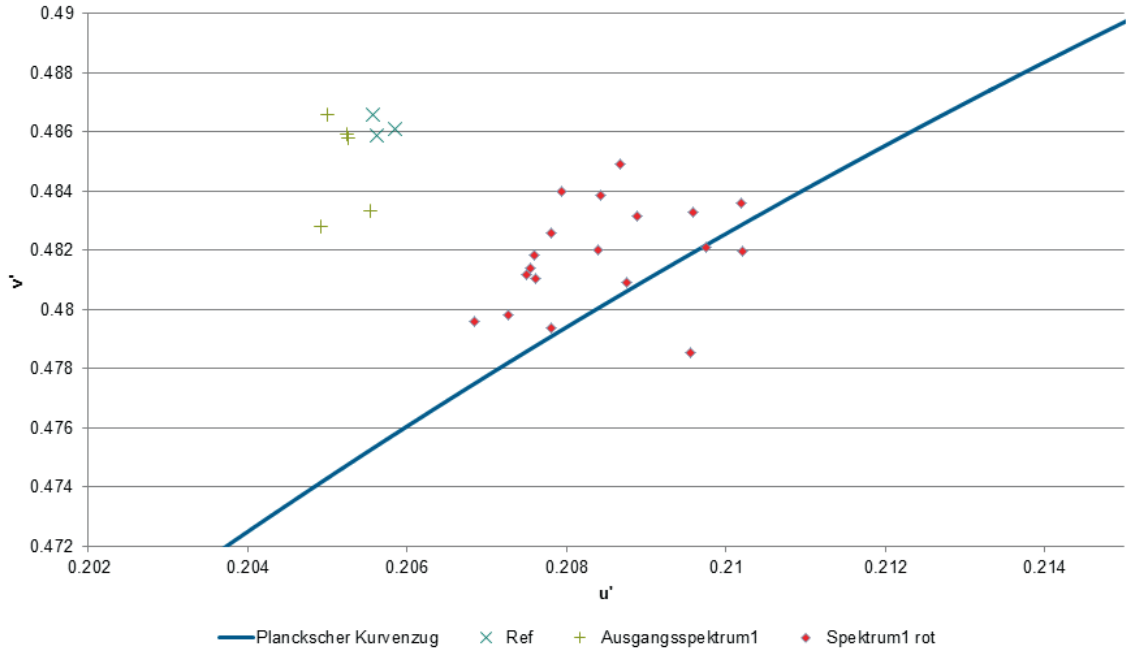


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 32

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 1 u‘-v‘ - rot

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

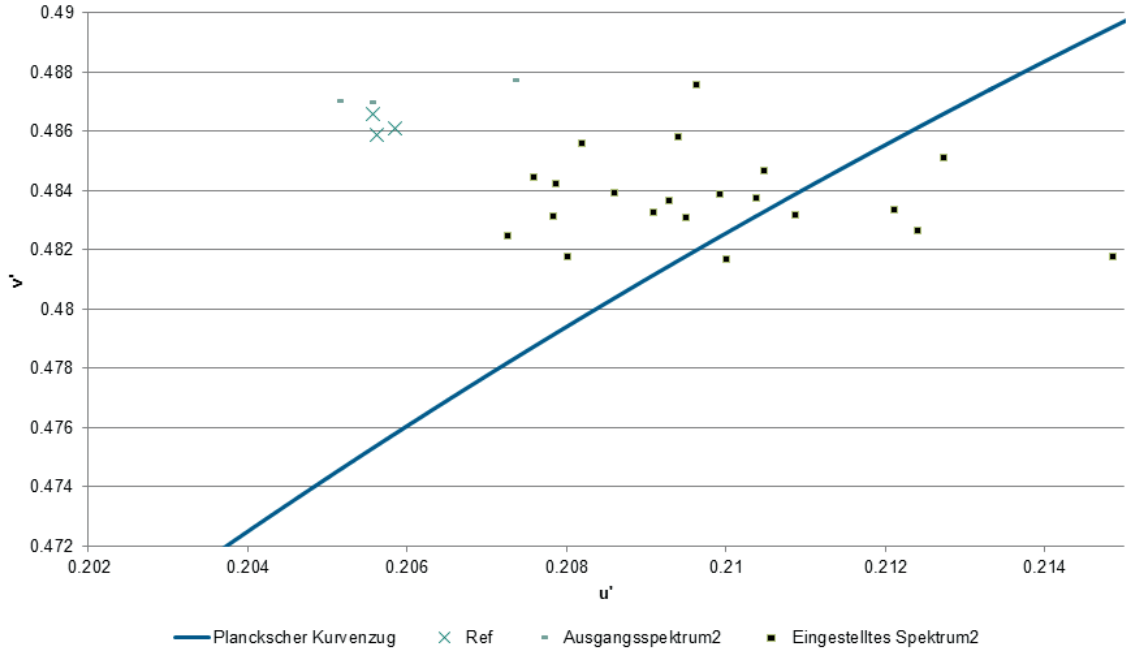


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 33

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 2 u‘-v‘

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

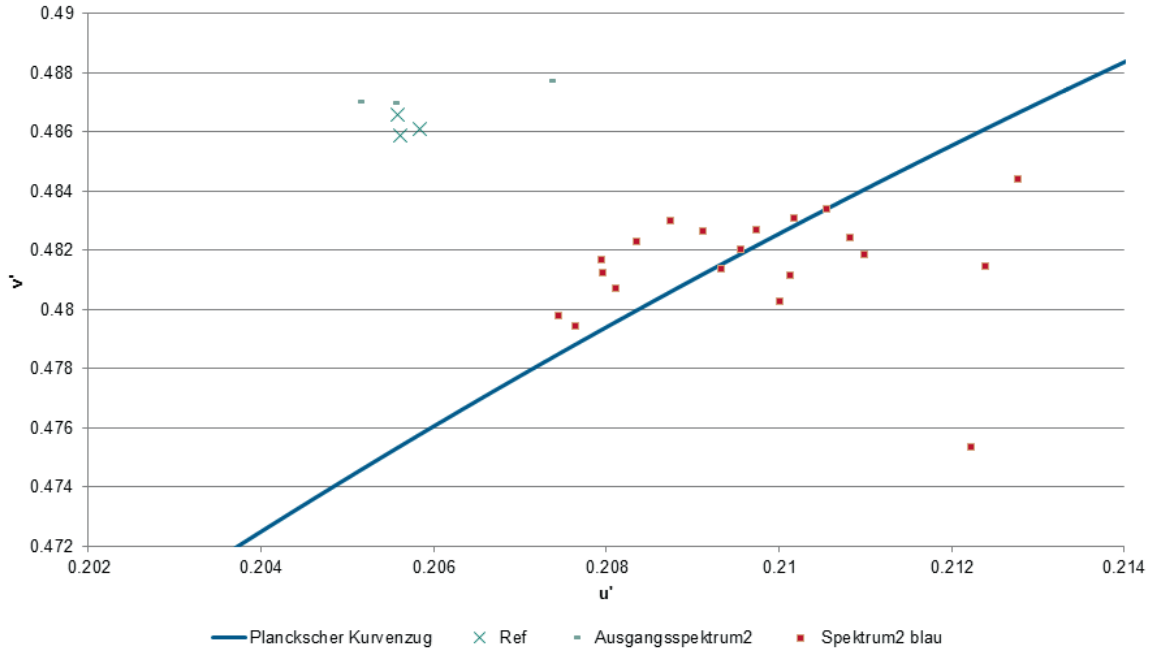


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 34

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 2 u‘-v‘ - blau

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

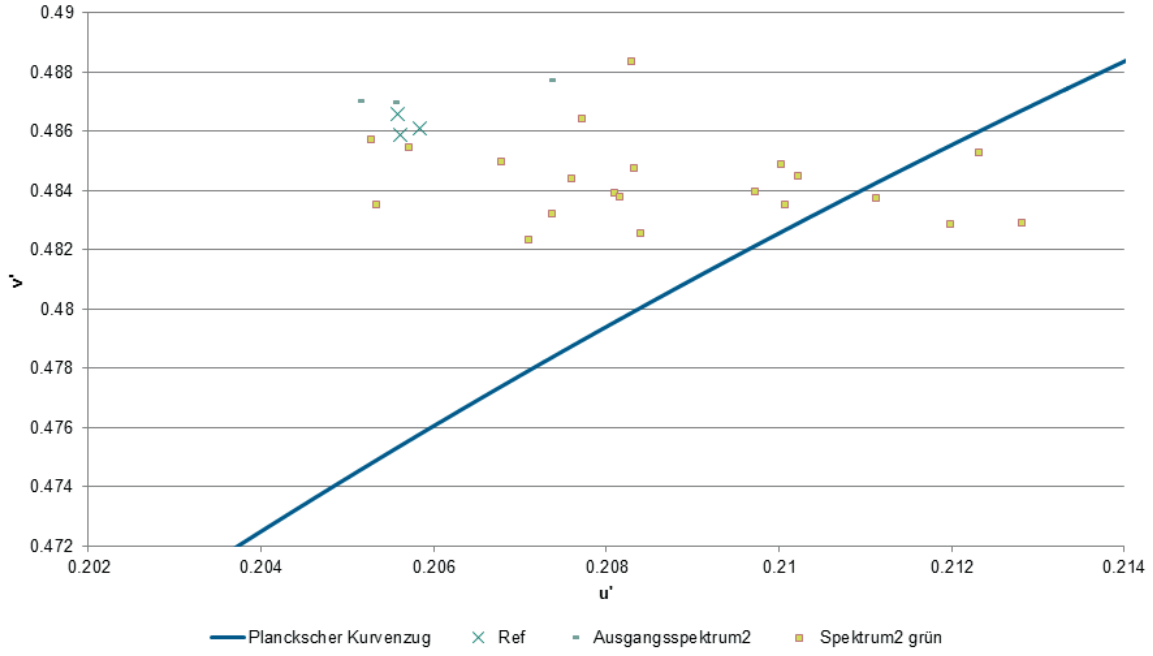


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 35

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 2 u‘-v‘ - grün

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

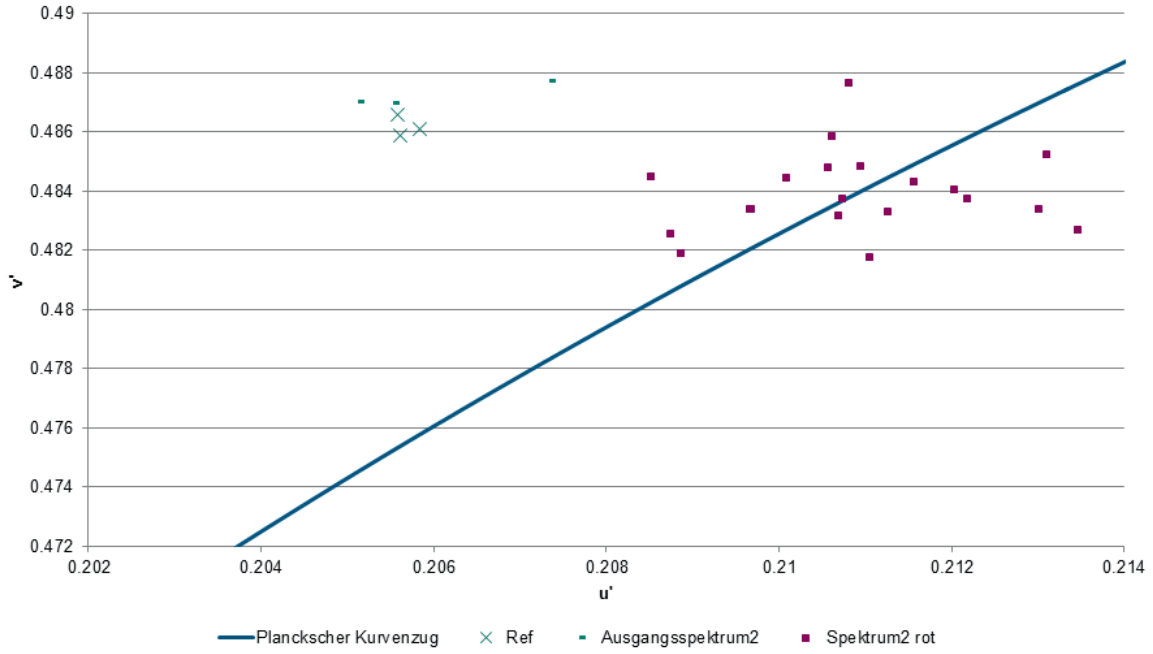


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 36

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 2 u‘-v‘ - rot

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

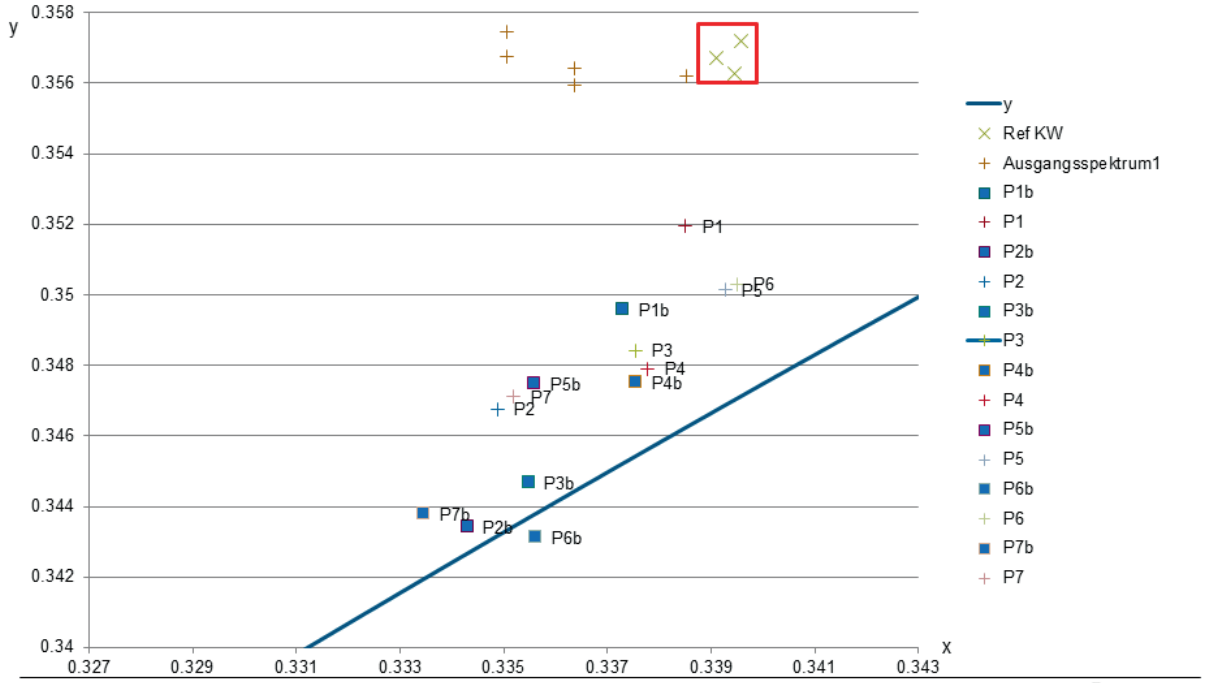


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 37

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Visueller Abgleich Spektrum 1 - Blau

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

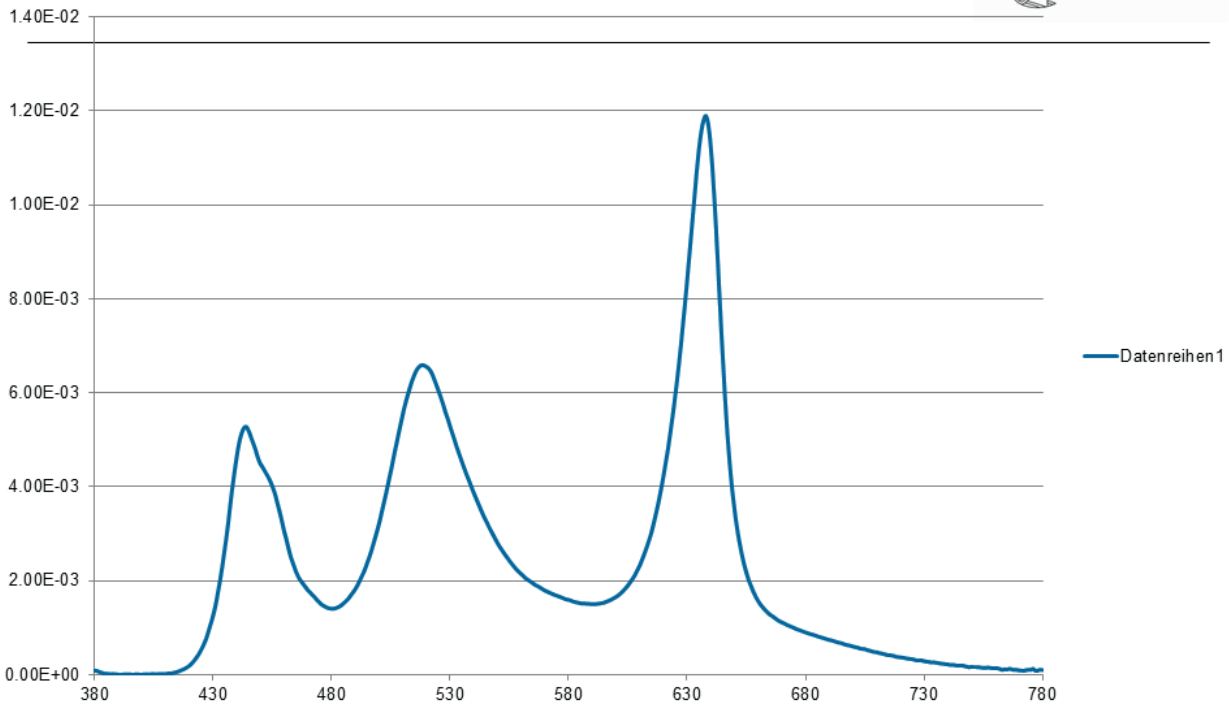


10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 38

FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Ausgangsspektrum 2

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



10.10.2012 | DfwG Jahrestagung 2012 | TU Darmstadt | Marvin Böll | 39

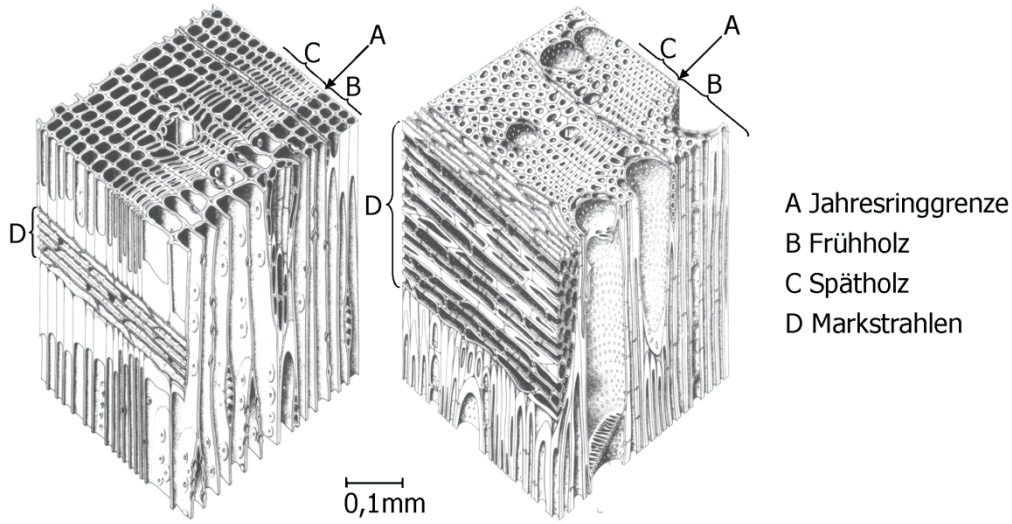
FACHGEBIET LICHTTECHNIK

Farbmetrische Untersuchungen an Holzoberflächen

A. Esslinger, A. Schottka, R. Hiesgen und G. Meichsner

Hochschule Esslingen
Kanalstr. 33, 73728 Esslingen
e-mail: Georg.Meichsner@hs-esslingen.de

Struktur von Fichten- und Buchenholz



farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 2

Untersuchung typischer Holzoberflächen

- Farbmetrische Analyse
- Schwierigkeit: uneinheitliche Oberfläche – Maserung
  Man erwartet schwankende Farbörter.
- Erzeugung charakteristischer Maßzahlen

farbenlabor

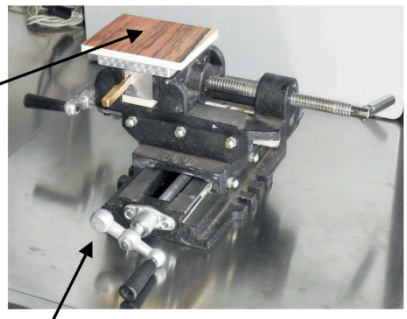
© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 3

Messung entlang einer Linie senkrecht zur Maserung

Spektralphotometer
SF600 (Datacolor)

Schrittweite: 0,75 mm
Blendengröße: 3 mm

Holzprobe



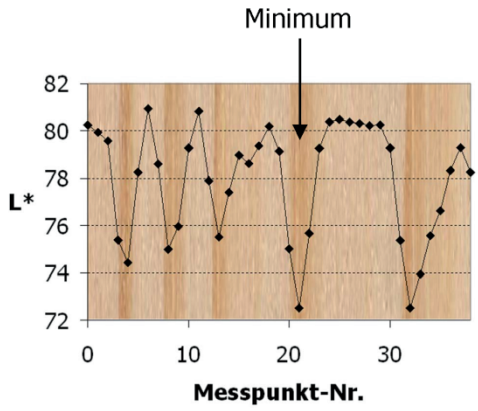
Schraubstock
auf 2 Achsen verschiebbar

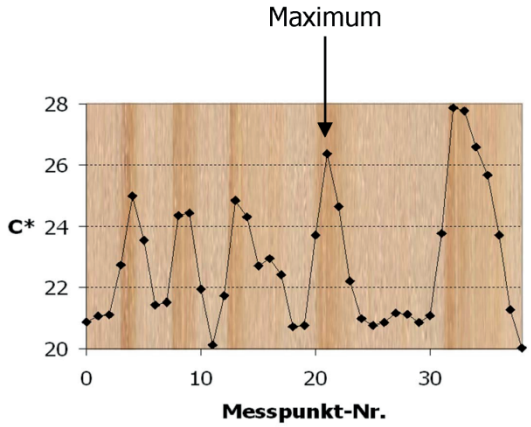
farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 5

Ortsaufgelöste Messung – Kiefer 2

Helligkeits- und Chromaänderungen entlang der Messstrecke sind charakteristisch für das Holz.

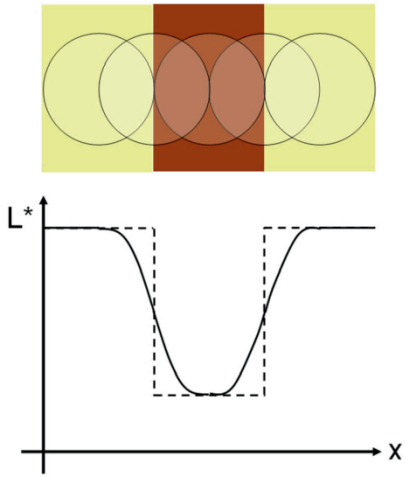


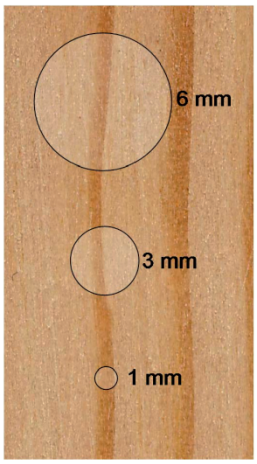


farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 6

Mathematische Faltung von Messfleck und Holzstruktur





Das Verhältnis zwischen Holzstruktur und Messfleckgröße ist entscheidend.

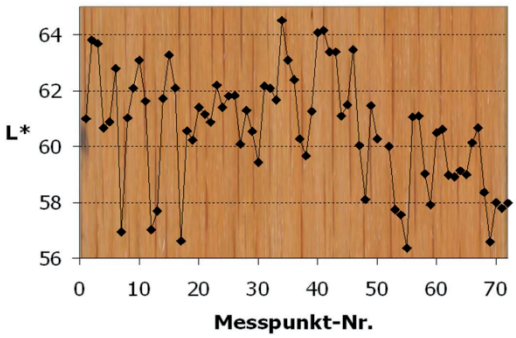
Je kleiner der Messfleck ist, umso näher schmiegt sich die Kurve dem tatsächlichen Verlauf an.

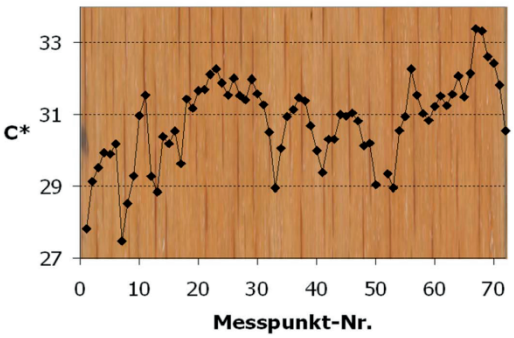
farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 7

Ortsaufgelöste Messung – Buche 2

Buchenholz mit deutlicher Zeichnung der Markstrahlen.
Die Markstrahlen beeinflussen ebenfalls Helligkeit und Chroma.



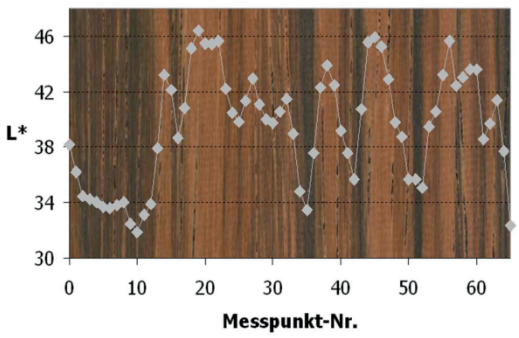


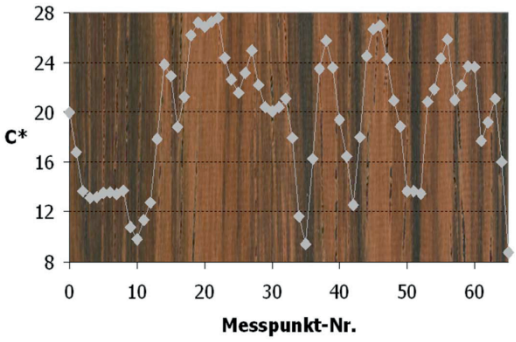
farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 9

Ortsaufgelöste Messung – Palisander 1

Palisanderholz mit deutlich sichtbaren Jahresringen.
Helligkeits- als auch Chromaunterschiede folgen sehr deutlich der Maserung.

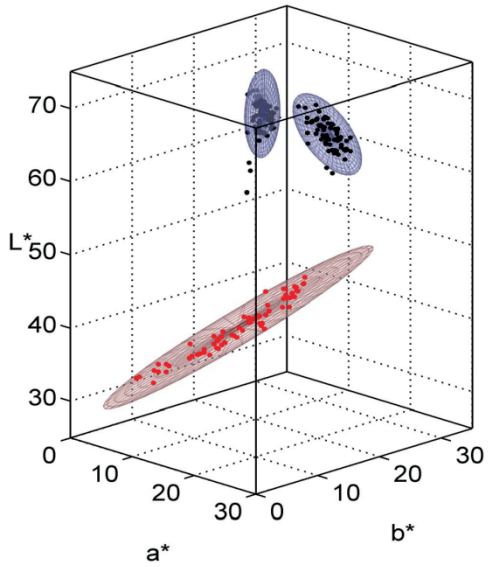




farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 10

Streuellipsoide der Farbörter



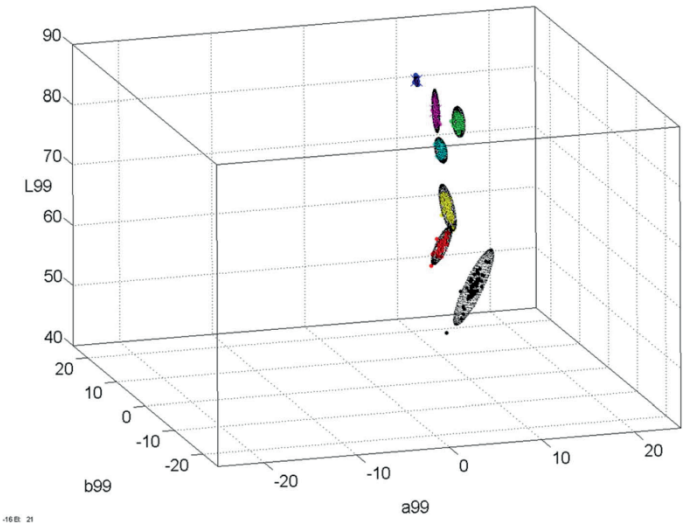
Punktewolken und Streuellipsoide der Proben Buche 1 und 2 (schwarz) und Palisander 1 (rot)

$$g_{11}\cdot\left(a^*-\overline{a^*}\right)^2+g_{22}\cdot\left(b^*-\overline{b^*}\right)^2+g_{33}\cdot\left(L^*-\overline{L^*}\right)^2$$
$$+2\cdot g_{12}\cdot\left(a^*-\overline{a^*}\right)\cdot\left(b^*-\overline{b^*}\right)$$
$$+2\cdot g_{23}\cdot\left(b^*-\overline{b^*}\right)\cdot\left(L^*-\overline{L^*}\right)$$
$$+2\cdot g_{13}\cdot\left(a^*-\overline{a^*}\right)\cdot\left(L^*-\overline{L^*}\right)$$
$$\leq (n+1)\cdot\frac{F_{3;n-3;1-\alpha}}{n}\cdot\frac{(n-1)\cdot 3}{n-3}$$

Ellipsoidkoeffizienten g_{ij} errechnet man aus Varianzen und Kovarianzen,
Die Ellipsoidgröße schätzt man mit der F-Verteilung

farbenlabor

Prognoseellipsoide unterschiedlicher Hölzer

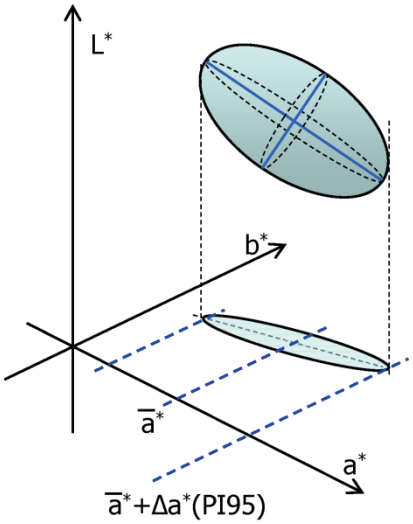


Charakteristische Lage der Punktewolken und Streuellipsoide aus 50 Messpunkten

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 12

Lage und Gestalt des Streuellipsoids



Mittelpunkt ist Mittelwert der Farbörter

Das Streuellipsoid ist ein **Prognoseellipsoid**, d.h. 95% aller Farbörter liegen innerhalb

Streuellipsoide liegen im Allgemeinen nicht parallel zu den Koordinatenachsen

Prognoseintervalle sind die Projektionen des Streuellipsoids auf die Koordinatenachsen

$$\Delta a^*(PI95) = \sqrt{(n+1)\cdot\frac{v_{11}}{n}\cdot F_{3;n-3;0,95}\cdot\frac{(n-1)\cdot 3}{n-3}}$$

n = Anzahl der Messwerte; v_{11} = Varianz in a*
F = Quantil der Fischerverteilung

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 13

Von Prognoseintervallen abgeleitete Größen

Prognoseintervalle für (1-α) = 95%

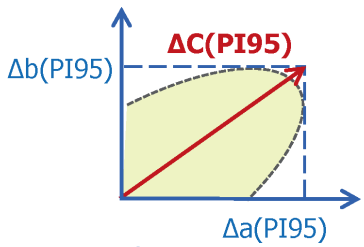
ΔL(PI95)
Δa(PI95)
Δb(PI95)

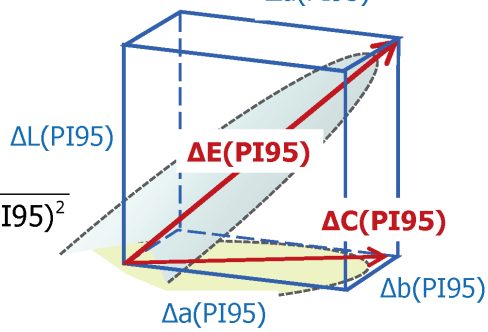
Chromaintervall – in der a/b-Ebene

$$\Delta C(PI95) = \sqrt{\Delta a(PI95)^2 + \Delta b(PI95)^2}$$

Farbintervall – im Lab-Raum

$$\Delta E(PI95) = \sqrt{\Delta L(PI95)^2 + \Delta a(PI95)^2 + \Delta b(PI95)^2}$$





farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 14

Verwendung des CIELAB- und DIN99-Farbenraumes

Änderung der mittleren Farbörter bei der Lackierung	Streuung der Farbörter auf Holzoberflächen
CIELAB-Farbenraum	**DIN99-Farbenraum**
gleichabständig für große Farbdifferenzen ($\Delta E^*_{ab} > 5$)	gleichabständig für kleine Farbdifferenzen ($\Delta E^*_{ab} < 5$)
geeignet zur Beschreibung größerer Farbänderungen	geeignet zur Beschreibung kleiner Farbunterschiede
Es lassen sich nur Farbunterschiede vergleichen, wenn Chroma und Helligkeit der Farben ähnlich sind	Farbunterschiede bei allen Farben untereinander vergleichbar
Farbtoleranzen lassen sich nur durch nicht-euklidische Modelle beschreiben (CMC, CIEDE 2000)	Farbtoleranzen werden durch <u>einen</u> Wert (kugelförmiger Raum) beschrieben

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 15

Anfeuern des Holzes bei Lackierung

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 16

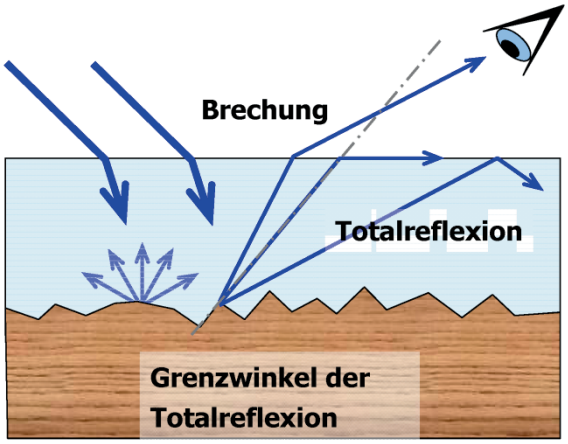
REM-Aufnahmen von Lack auf Nussbaum

Reflexion tritt direkt an der Grenzfläche Lack-Holz auf
Absorption in Grenzflächen nahen, teils lackgefüllten Holzzellen

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 17

Innere Reflexion reduziert das Streulicht



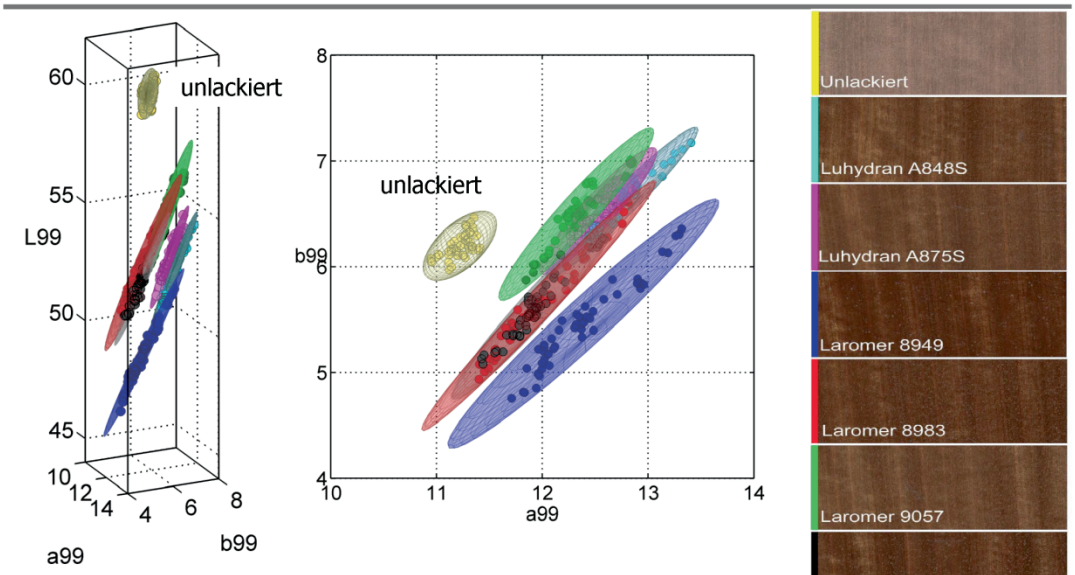
bis zum Grenzwinkel der Totalreflexion wird flach auf die innere Oberfläche treffendes Streulicht nach innen reflektiert und so aus dem sichtbaren Streulicht ausgeblendet

Effekt: Verdunklung und Kontrasterhöhung

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 18

Lackierung von amerikanischem Nussbaum



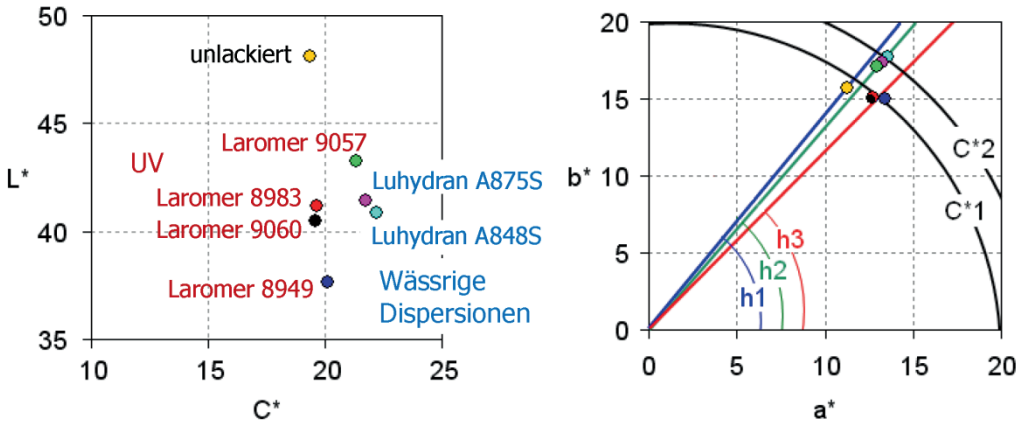
Je 50 Messpunkte und Streuellipsoide

Film

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 19

Coloristische Änderung von amerikanischem Nussbaum durch die Lackierung

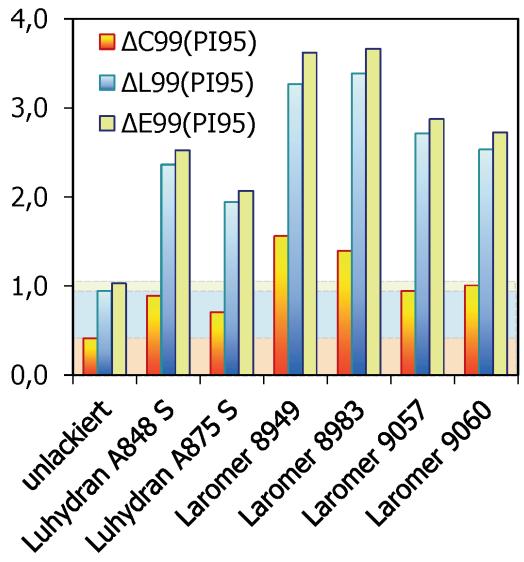


Gesamt-Farbeindruck: Mittlere Farbörter von 50 Messpunkten auf amerikanischem Nussbaum, unlackiert und mit unterschiedlichen Lacken.

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 20

Ellipsoidgröße als Maß für die Kontrastverstärkung bei Lackierung



Aufweitung der Streuellipsoide durch die Lackierung

Stärkere Streuung der Farbörter um den mittleren Farbort nach der Lackierung

ΔC_{99}(PI95) – Chromaintervall

ΔL_{99}(PI95) – Helligkeitsintervall

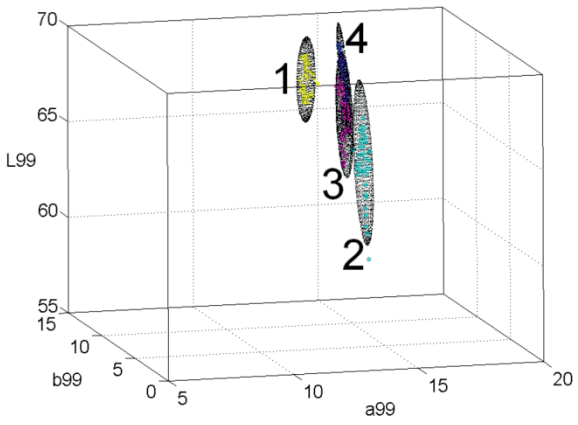
ΔE_{99}(PI95) – Farbintervall

Kontrastverstärkung in Helligkeit und Chroma

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 21

Mahagoni – unlackiert und beschichtet

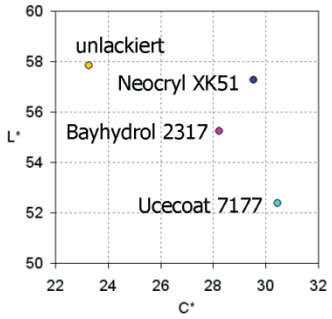


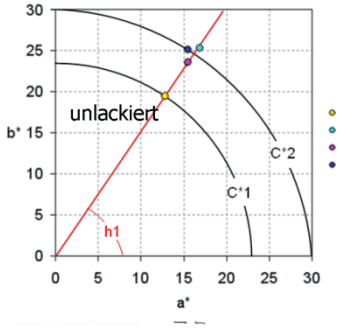
Punktewolke und Streuellipsoide von 50 Messpunkten

farbenlabor

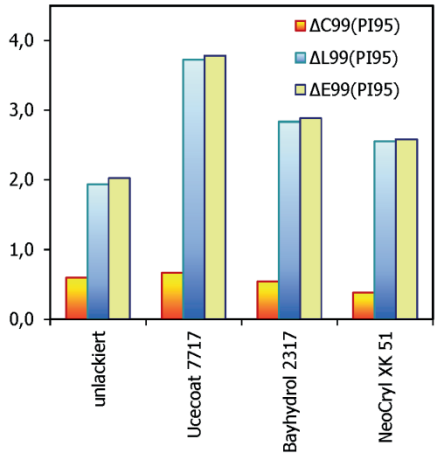
© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 23

Coloristische Änderungen bei Mahagoni



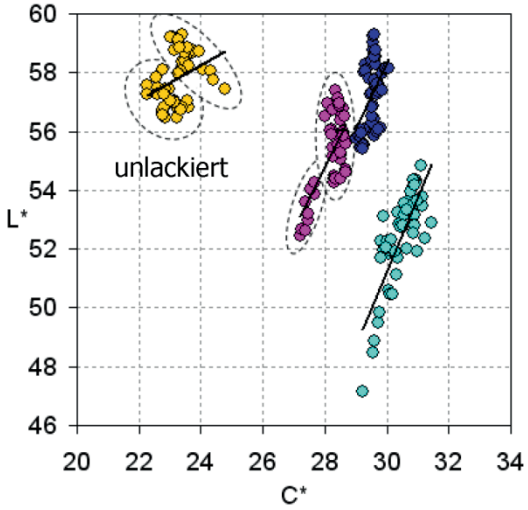


50 Messpunkte auf Mahagoni
unlackiert und mit unterschiedlichen Lacken.



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 24

Cluster der Farbörter auf Mahagoni



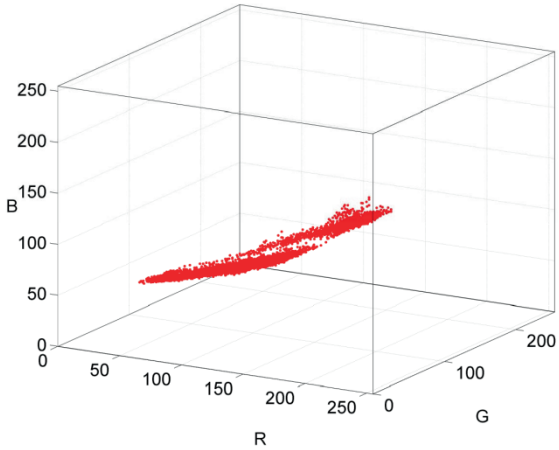
L* gegen C*, Regressionsgeraden und Aufteilung in 2 Cluster

Je 50 Messpunkte auf Mahagoni

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 25

Streuung der Farbörter im RGB-Farbenraum



Palisander_100x80_Teil.tif

80x100 px

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 26

Fazit

- Uneinheitliche Oberfläche von Holz
  dennoch: farbmetrische Charakterisierung möglich
  - Messung an einer Linie senkrecht zur Maserung ist zeitaufwändig
  - gleichmäßig verteilte Messpunkte (50 Punkte, < 5 min)
- Charakteristische Größen für das Anfeuern
  - Änderung des mittleren Farbortes in L^* und C^*
  - Größe und Ausrichtung der Streuellipsoide
    Prognoseintervalle, Chromaintervall und Farbintervall zeigen die Kontrastverstärkung der Maserung

Wir danken Dipl.-Ing. Klaus Menzel (BASF SE) und Fa. Votteler für die Bereitstellung von Mustern sowie Dipl.-Ing. Karin Bertleff (Hochschule Esslingen) für Unterstützung im Labor

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 27

Methoden der farbmetrischen Prozesskontrolle

Renate Hiesgen und Georg Meichsner

Hochschule Esslingen
Kanalstr. 33, 73728 Esslingen
e-mail: Renate.Hiesgen@hs-esslingen.de

Tools der mehrdimensionalen Statistik

Ellipsoidgeometrie

Im dreidimensionalen Farbenraum werden die Streuwolken durch Ellipsoide beschrieben

Ermittlung von Lage- und Streumaß

Berechnung des Prognoseellipsoids

Distanzmaß für Messpunkte

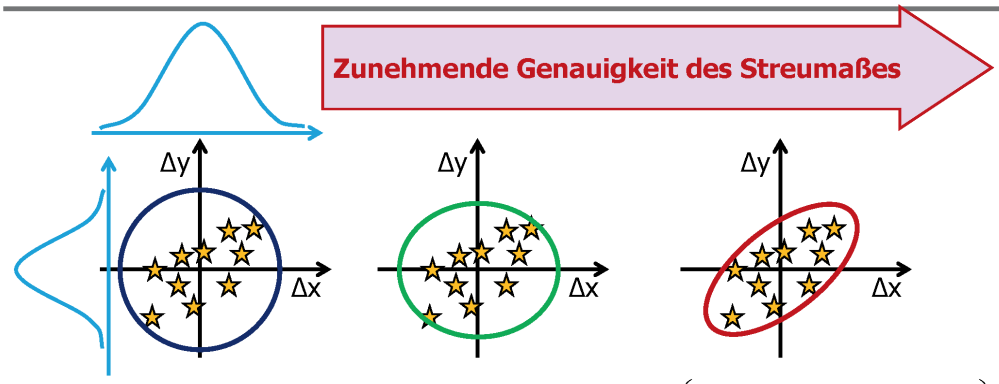
Statistische Distanz SD, z. B. ein gewichtetes Distanzmaß, wie die Mahalanobis Distanz (= Hotelling $T^2 = SD^2$)

Elimination von Ausreißern

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 3

Beschreibung der Streuung eines Prozesses durch ein statistisches Distanzmaß SD



$$\Delta x^2 + \Delta y^2 = SD^2$$

gleichgewichtete Streuung

$$\frac{\Delta x^2}{s_x^2} + \frac{\Delta y^2}{s_y^2} = SD^2$$

gewichtete Streuung

$$\frac{1}{1-\rho^2}\left(\frac{\Delta x^2}{s_x^2} - \frac{2\cdot\rho\cdot\Delta x\cdot\Delta y}{s_x\cdot s_y} + \frac{\Delta y^2}{s_y^2}\right) = SD^2$$

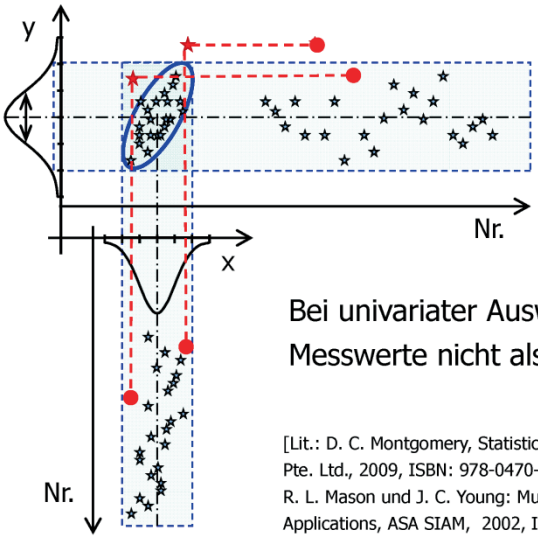
Berücksichtigung der Korrelation

ρ = Korrelationskoeffizient

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 4

Notwendigkeit der multivariaten Auswertung



Prozess mit zwei Zielgrößen (x, y) beschrieben mit zwei eindimensionalen Zeitreihen

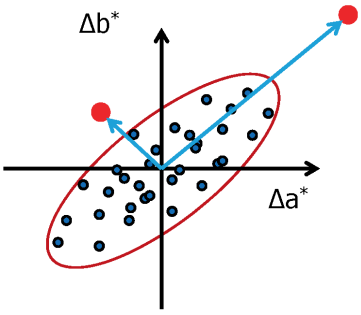
Bei univariater Auswertung werden bestimmte Messwerte nicht als Ausreißer erkannt.

[Lit.: D. C. Montgomery, Statistical Quality Control, 6th ed., John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd., 2009, ISBN: 978-0470-23397-9 oder
R. L. Mason und J. C. Young: Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications, ASA SIAM, 2002, ISBN: 0-89871-496-6]

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 5

Mahalanobis-Distanz als gewichteter Abstand



Zwei Punkte mit unterschiedlichem euklidischen Abstand zum Mittelwert

Streuung wird durch eine Ellipse beschrieben, in der 100·(1-α)% aller Punkte liegen

Mahalanobis-Distanz ist für beide Punkte gleich, die Richtung bestimmt die Größe des Gewichtungsfaktors

Alle Punkte auf der Ellipse haben die gleiche Mahalanobis-Distanz

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 6

Ellipsoidradius T² als statistisches Distanzmaß

$$v_{11} = \mathrm{var}(a^*) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i^* - \overline{a^*}\right)^2$$

Varianzen

$$v_{12} = v_{21} = \mathrm{cov}(a^*, b^*) = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i^* - \overline{a^*}\right)\cdot\left(b_i^* - \overline{b^*}\right)$$

Kovarianzen

$$\mathbf{S} = \mathbf{V} = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{pmatrix} \Rightarrow \mathbf{G} = \mathbf{V}^{-1} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} \\ g_{12} & g_{22} & g_{32} \\ g_{13} & g_{23} & g_{33} \end{pmatrix}$$

Kovarianzmatrix **Streumatrix**

$$g_{11}\cdot\left(a^* - \overline{a^*}\right)^2 + g_{22}\cdot\left(b^* - \overline{b^*}\right)^2 + g_{33}\cdot\left(L^* - \overline{L^*}\right)^2 + 2\cdot g_{12}\cdot\left(a^* - \overline{a^*}\right)\cdot\left(b^* - \overline{b^*}\right)$$
$$+ 2\cdot g_{23}\cdot\left(b^* - \overline{b^*}\right)\cdot\left(L^* - \overline{L^*}\right) + 2\cdot g_{13}\cdot\left(a^* - \overline{a^*}\right)\cdot\left(L^* - \overline{L^*}\right) = T^2$$

Gleichung des Prognoseellipsoids **Statistische Distanz**

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 7

Berechnung von T² für ein bestimmtes Vertrauensniveau (1-α)

Aus der Grundgesamtheit

$$T^2 = \begin{pmatrix} \Delta a^* & \Delta b^* & \Delta L^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} \\ g_{12} & g_{22} & g_{32} \\ g_{13} & g_{23} & g_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta a^* \\ \Delta b^* \\ \Delta L^* \end{pmatrix} = \chi_3^2$$

Verwendung des Quantils der Chi-Quadrat-Verteilung

Aus einer Stichprobe

$$T^2 = \begin{pmatrix} \Delta a^* & \Delta b^* & \Delta L^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} \\ g_{12} & g_{22} & g_{32} \\ g_{13} & g_{23} & g_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta a^* \\ \Delta b^* \\ \Delta L^* \end{pmatrix} \leq \frac{(n+1)}{n} \cdot F_{3;n-3;1-\alpha} \cdot \frac{(n-1)\cdot 3}{n-3}$$

Verwendung des Quantils der F-Verteilung (alternativ der Beta-Verteilung)
Das Quantil hängt von der Zahl der Messwerte ab.

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 8

Phasen der Prozesskontrolle

Phase I: Bestimmung der Prozesslage und der Grenzen (UCL = upper control limit; LCL = lower control limit) mit einem historischen Datensatz (HDS = historical data set).

Phase II: Vergleich von Daten neuer Farbmuster mit den in Phase I festgelegten Werten

Ein Ausreißer ist ein Messpunkt, der mit einer bestimmten Irrtumswahrscheinlichkeit α nicht zur Grundgesamtheit gehört

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 9

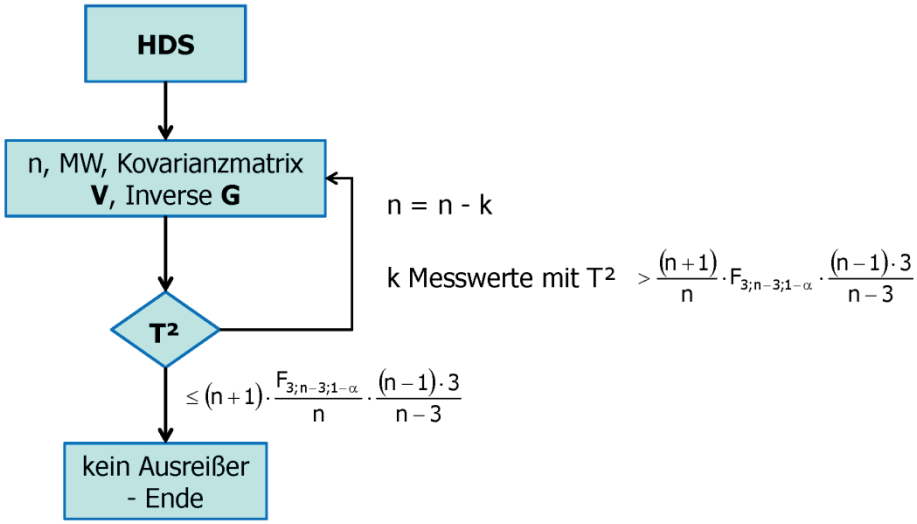
Ermittlung von Prozesslage und Streuung aus dem HDS in Phase I

1. Berechnung des mittleren Farbortes und der Kovarianzmatrix des HDS
2. Inversion der Kovarianzmatrix → g_{ik}
3. Berechnung der Mahalanobis-Distanz jedes Messpunktes
4. Ordnen der quadratischen Mahalanobis-Distanzen nach ihrer Größe
5. Berechnung des Ellipsoidradius für $F_{3;n-3;(1-\alpha)}$
6. Vergleich der quadratischen Mahalanobis-Distanzen mit dem Ellipsoidradius. Alle Messwerte mit größerer Mahalanobis-Distanz sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α Ausreißer.
7. Neuberechnung → weiter bei 1., bis kein Ausreißer mehr ermittelt wird

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 10

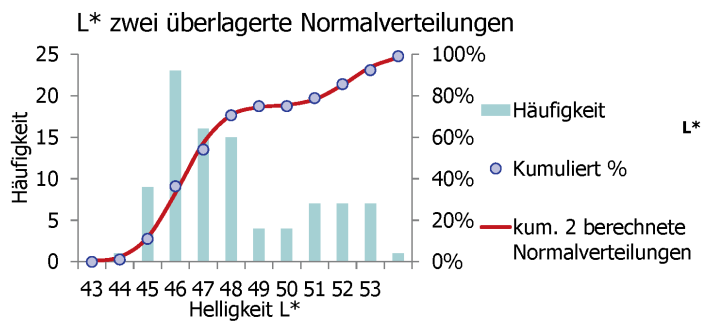
Ermittlung von Prozesslage und Streuung aus dem HDS

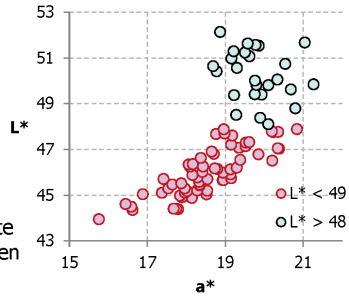


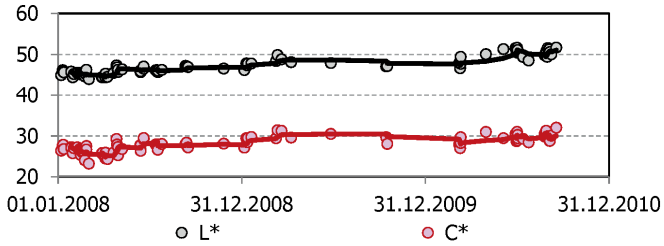
farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 11

Produktion aus 3 Jahren - Drift des Farbortes





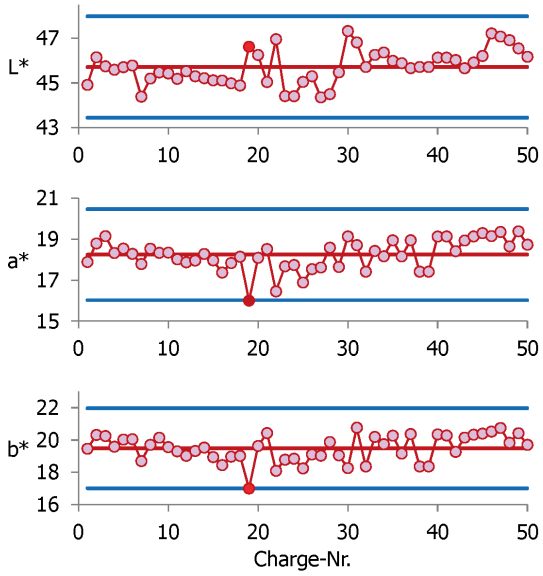


Fehlende Prozesskontrolle führt hier zu schleichender Farbortänderung

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 12

Beispiel: 50 Proben Ziegelrot als HDS



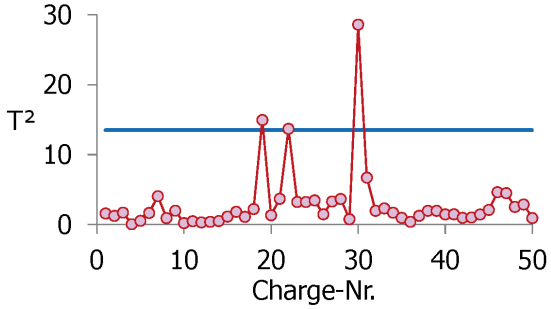
Mit drei eindimensionalen Kontrollkarten wurde die Lage der Farbörter innerhalb von ±3 s („Six-Sigma") geprüft.
Bis auf einen Farbort liegen alle innerhalb der Grenzen.

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 13

50 Proben Ziegelrot als HDS - Phase I

Multivariate Auswertung mithilfe einer gewichteten euklidischen Distanz
→ Mahalanobis-Distanz/Hotelling T^2

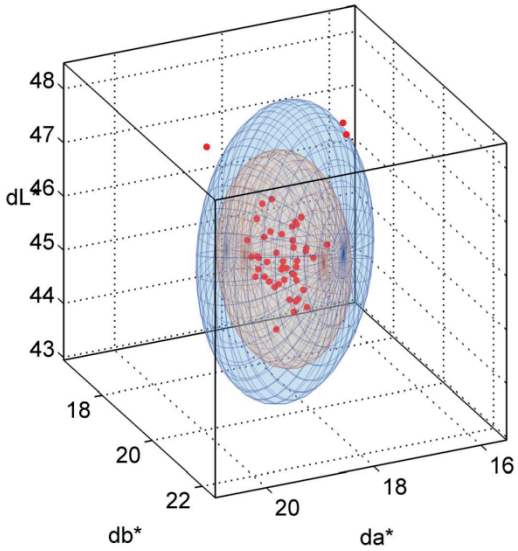


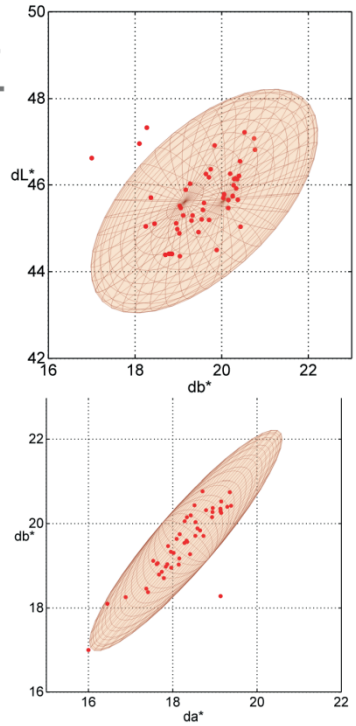
Vergleich der quadratischen Mahalanobis-Distanzen mit dem Ellipsoidradius. Drei Messwerte mit größerer Mahalanobis-Distanz sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α=0.01 Ausreißer.

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 14

Prognoseellipsoide des HDS und nach Elimination der Ausreißer

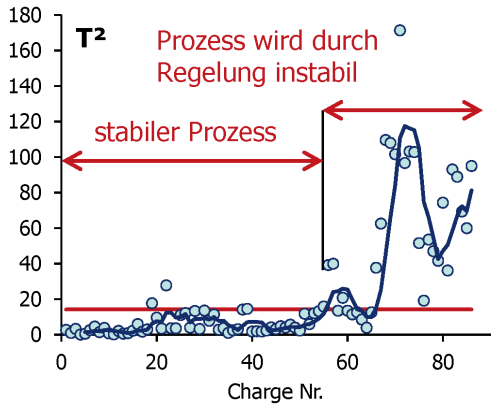


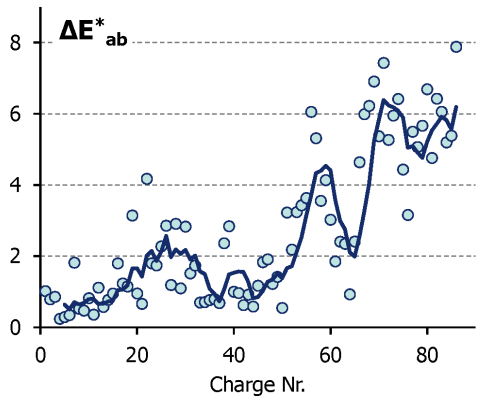


farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 15

Nachträgliche Produktionskontrolle – Phase II





qadratische Mahalanobis Distanz
gleitender Durchschnitt aus 5 Werten

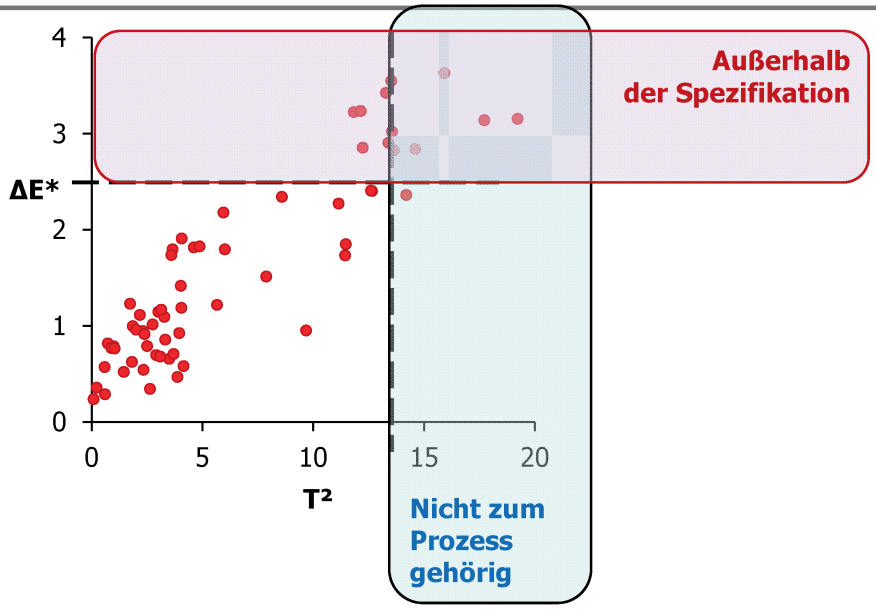
ΔE* zum Mittelwert aus Phase I
gleitender Durchschnitt aus 5 Werten

Warum lässt sich der Prozess nicht mithilfe des Farbabstandes zum Mittelwert aus Phase I kontrollieren?

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 16

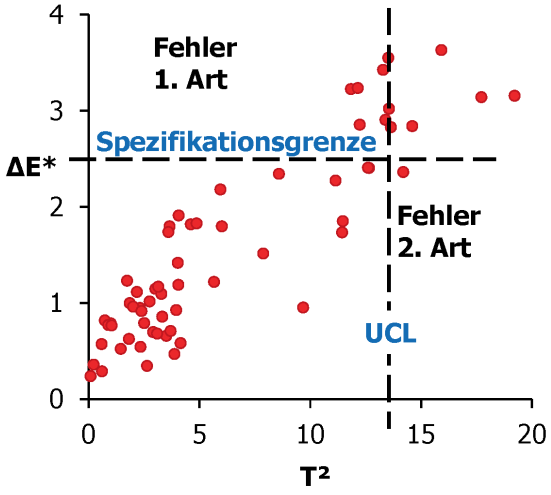
Vergleich des ΔE* mit T² als Kontrollgrenze



farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 17

Vergleich des ΔE* mit T² als Kontrollgrenze



Die Prozesskontrolle lässt sich nicht anhand einer Spezifikation durchführen

Prüfung der Prozesslage mithilfe von ΔE*:

- Fälschlich als Ausreißer eingestuft (α-Fehler oder Fehler 1. Art; exekutiert obwohl unschuldig)
- Ausreißer fälschlich als zum Prozess gehörig eingestuft (β-Fehler oder Fehler 2. Art; freigesprochen obwohl schuldig)

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 18

Elektronisch abgespeicherte Farbörter

Bei Verwendung elektronisch abgespeicherter Farbörter, geht man davon aus, dass sich ein absoluter Farbort messen lässt.

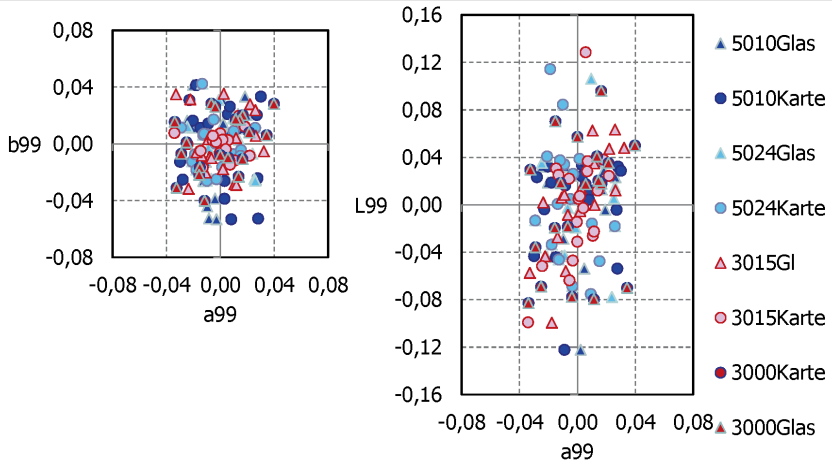
Vorgehensweise bei der Untersuchung der Präzision von elektronisch abgespeicherten Farbörtern

- Messgerät vor jeder Messreihe mit 40 Blindmessungen eingemessen und anschließend erneut kalibriert.
- 4 RAL Farbmusterkarten und 4 Ankerstandards in ihrer Nähe. Farben: RAL 3000 Feuerrot, RAL 3015 Hellrosa, RAL 5010 Enzianblau, RAL 5024 Pastellblau
- an 20 Tagen je 20 Einzelmessungen pro Tafel – 20 Mittelwerte
- Gerät: SF600+, 9 mm Messblende, d/8, SPIN, Datacolor

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 19

Messung elektronisch abgespeicherter Farbörter



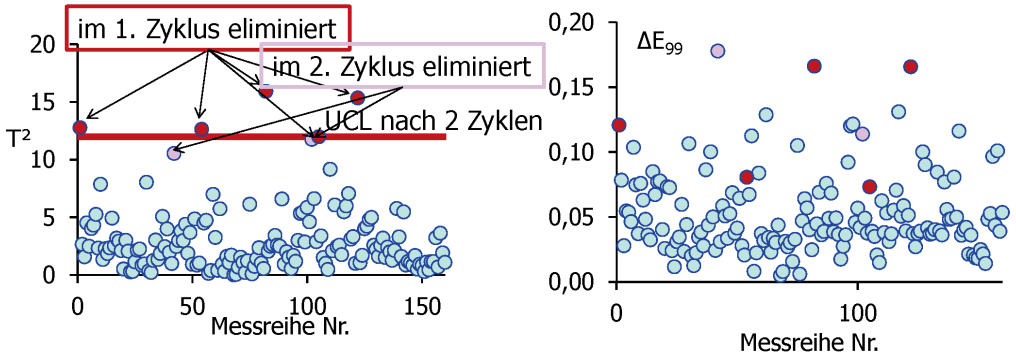
Keine unterschiedlichen Vorzugsrichtungen der Streuung der Farbörter, deshalb kann man für DIN99-Koordinaten eine Grundgesamtheit annehmen (das wäre in CIELAB nicht möglich)

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 20

Prozesskontrolle elektronisch abgespeicherter Farbörter

Elimination der Ausreißer durch Vergleich der Mahalanobis-Distanz mit dem Schätzwert für T²



farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 21

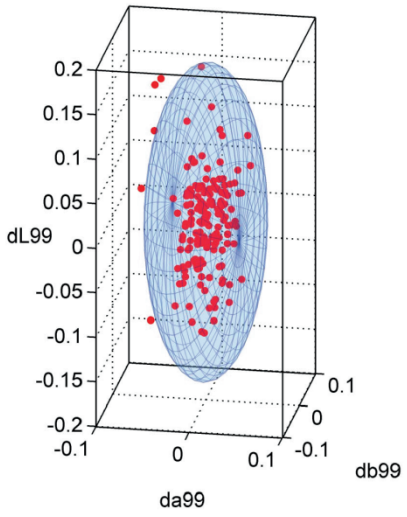
Genauigkeit elektronisch abgespeicherter Farbörter

Misst man das Gerät mit 40 Blind-messungen ein und kalibriert anschließend, so lässt sich der absolute Farbort angeben, mit einem konservativen Fehler von:

$\Delta L_{99}(PI95) < 0{,}16$

$\Delta C_{99}(PI95) < 0{,}08$

$\Delta E_{99}(PI95) < 0{,}18$



farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 22

Vergleich von Farbintervall und Häufigkeiten der Farbabstände zum mittleren Farbort bei elektronisch abgespeicherten Farbörtern

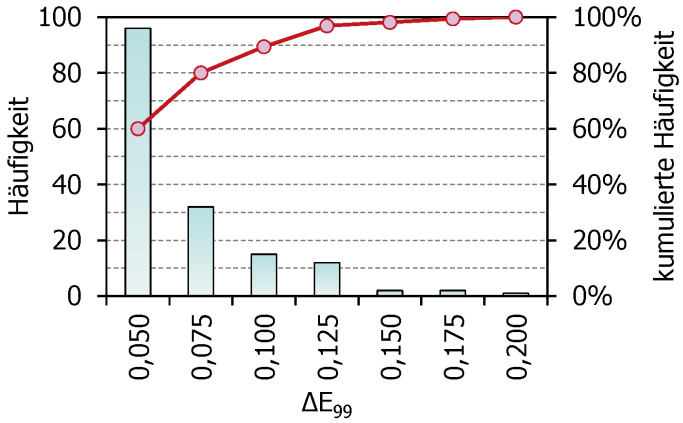


Diagramm: Farbabstand zum Mittelwert

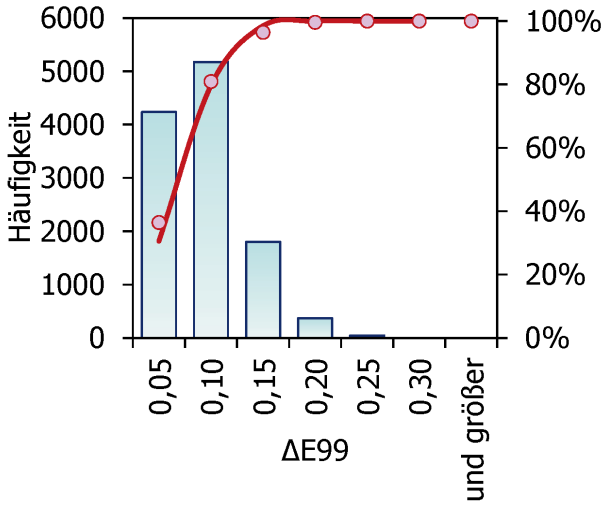
Tabelle: Farbintervall aus Prognoseintervallen der mittleren Farbörter

	L_{99}	a_{99}	b_{99}	ΔC_{99} (PI)	ΔE_{99} (PI)
$(1-\alpha)=0{,}95$	0,140	0,048	0,055	0,073	0,158
$(1-\alpha)=0{,}99$	0,159	0,055	0,055	0,078	0,177

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 23

Auswertung der Distanzmatrix aller Farbörter



Berechnung der 11628 Farbdifferenzen zwischen allen Farbörtern

95%-Quantil	0,13
99%-Quantil	0,16
Median	0,07

aus PI	ΔE_{99} (PI)
$(1-\alpha)=0{,}95$	0,16
$(1-\alpha)=0{,}99$	0,18

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 24

Fazit

- L*,a*b*-Werte sind nicht unabhängig – es treten Kovarianzen auf. Farbörter sind deshalb abhängige Größen, die multivariat behandelt werden müssen.
- Verwendung der Mahalanobis Distanz als statistisches Distanzmaß (Hotelling-T^2-Statistik)
  - führt die Prozessstreuung auf einen Wert zurück
  - erlaubt die Schätzung der Grenzen der Grundgesamtheit und damit eine Ausreißerkontrolle
  - ermöglicht die farbmetrische Prozesskontrolle
- Elektronisch abgespeicherte Farbörter waren bei Verwendung eines eingemessenen Spektralphotometers und üblicher Farbmuster überraschend klein ($\Delta E_{99} \leq 0{,}18$ für $(1-\alpha) = 0.99$)

farbenlabor

© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2012, Folie 27