



## Metamerie: Auswirkungen in der Praxis

Dr. Johannes Hoffstadt  
color solutions consulting



**„Metamerism is what happens  
when your wife walks out of the shop  
with her newly purchased shoes and matching handbag.“**

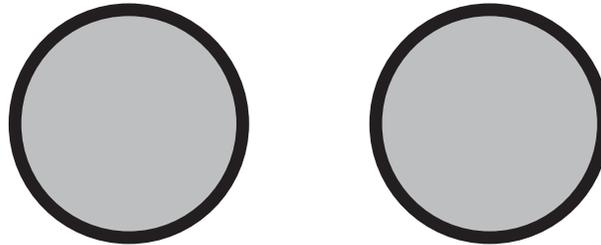
kürzlich auf der Colorsync-Users-Liste



## Zwei Objekte, drei Beleuchtungen: drei Ergebnisse...

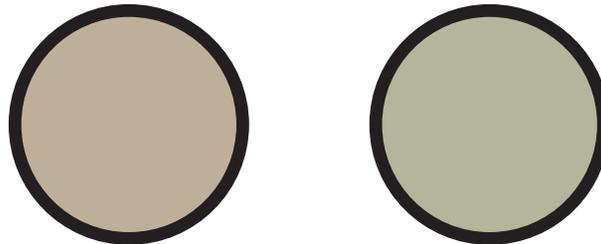
weißes Licht:

beide Farben gleich grau



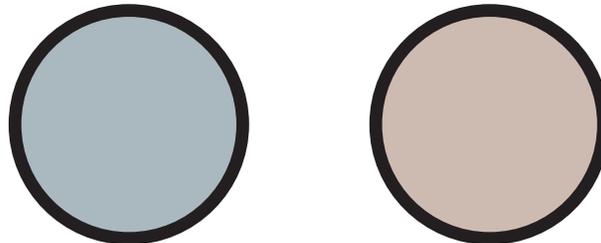
Halogenlicht:

eine Farbe wärmer, eine grüner



Leuchtstoffröhre:

eine Farbe blauer, eine rosa



**Die beiden Objekte sind ein metameres Paar (= „bedingt gleich“).**



## Kurzdefinition:

Zwei Farben heißen metamer, wenn sie unter bestimmten Bedingungen gleich erscheinen.

## Segen oder Fluch?

Proofer und Monitore simulieren die Farbigkeit von Drucken mit völlig anderen Farben.

Ohne Metamerie wäre die Reproduktion von Farben gar nicht möglich!

## Fragen für die Praxis:

Farbmanagement erreicht, dass Proofs unter Normlicht wie der Druck aussehen.

Wie verschieden können Proof und Druck unter ungünstigem Licht werden?

Wovon hängt das ab, kann man den Effekt minimieren?

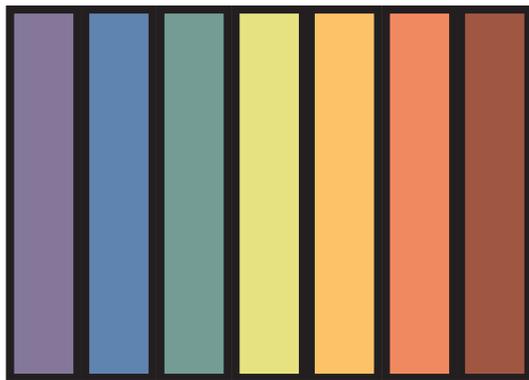
## Dazu muss man verstehen:

Warum sehen zwei Farben manchmal gleich aus und manchmal nicht?

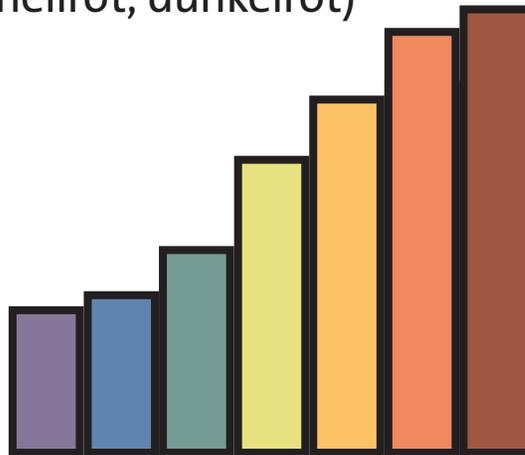


## Crash-Kurs Farbsehen 1

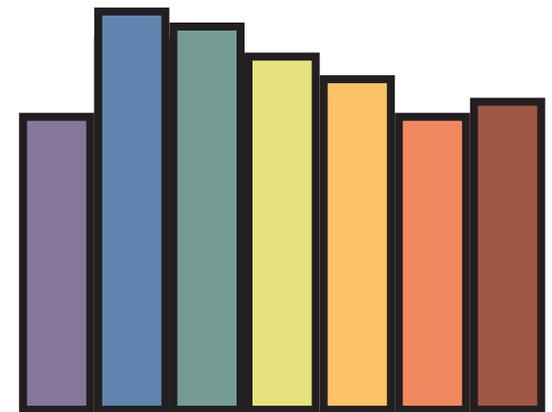
Licht ist immer eine Mischung spektraler Anteile. Hier vereinfacht: sieben Komponenten (violett, blau, grün, gelb, orange, hellrot, dunkelrot)



ideales weißes Licht  
(gleich viel von allem)



Glühlampenlicht  
(rötlich-gelblich)



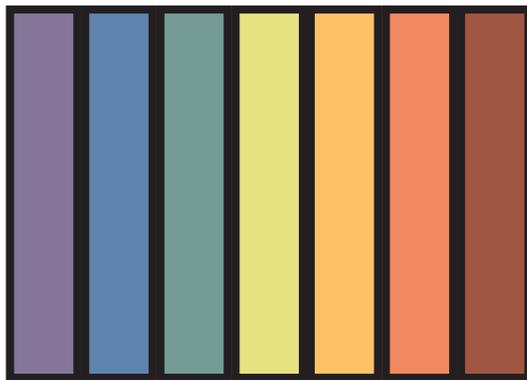
Tageslicht  
(bläulich)

Das Angebot von jeder Komponente (der Mix) hängt von der Lichtquelle ab.

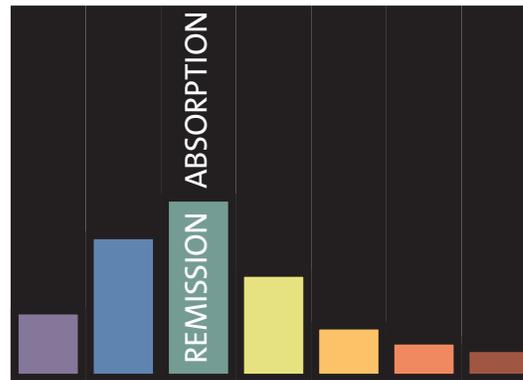


## Crash-Kurs Farbsehen 2

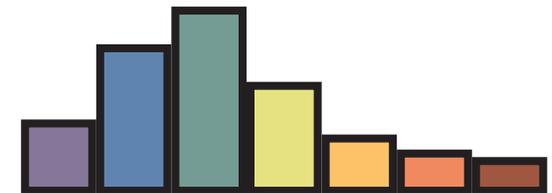
Gegenstände schlucken Lichtanteile abhängig von ihrer Körperfarbe.  
Der Rest wird remittiert (wieder ausgesendet).



ideales weißes Licht  
(gleich viel von allem)



trifft auf Gegenstand  
(absorbiert nicht-grün)



remittiertes Licht  
(vorwiegend grün)

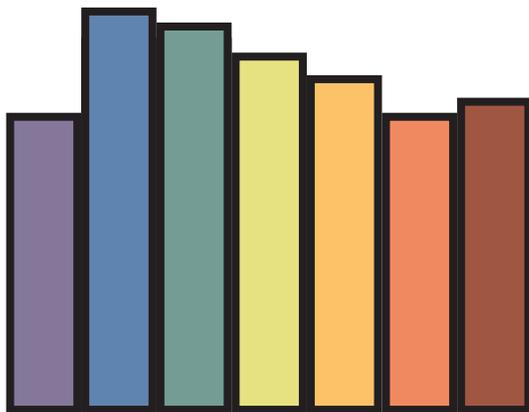
Das remittierte Licht hängt vom Gegenstand und vom Angebot der Lichtquelle ab.



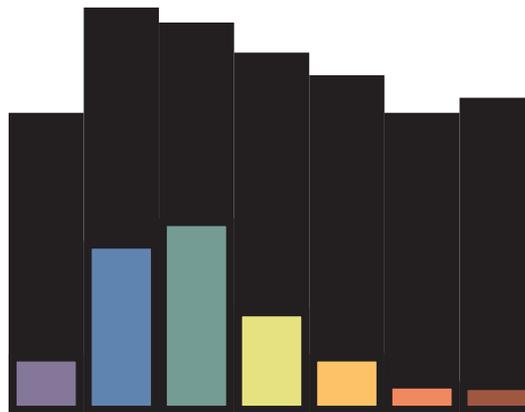
## Crash-Kurs Farbsehen 3

Nochmal: Das remittierte Licht hängt vom Gegenstand und vom Angebot der Lichtquelle ab.

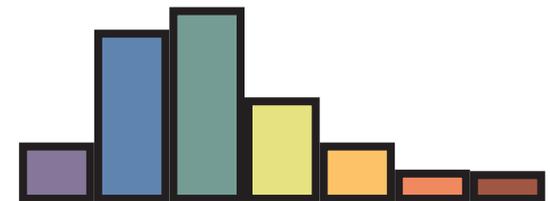
Wir ändern das Lichtangebot zu Tageslicht. Was passiert mit der Remission?



Tageslicht  
(bläulich)



trifft auf Gegenstand  
(absorbiert nicht-grün)



remittiertes Licht  
(vorwiegend blaugrün)

Der Gegenstand wird mehr blaues und weniger rotes Licht zurückwerfen als vorher.

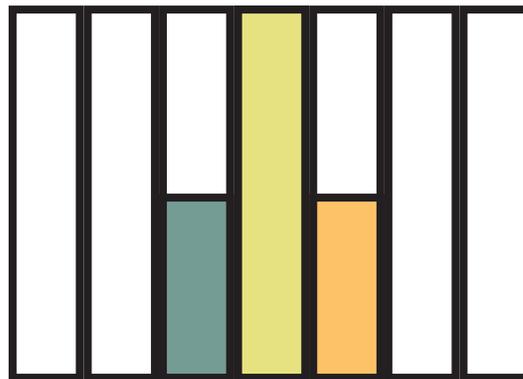


## Crash-Kurs Farbsehen 4

Das Auge sieht aber nicht jede Komponente einzeln, sondern hat nur drei Typen von Zäpfchen. Jeder Typ ist für mehr als eine Komponente empfindlich. Vereinfacht:



Zäpfchentyp „rot“  
(reagiert v. a. auf Orange)



Zäpfchentyp „grün“  
(reagiert v. a. auf Gelbgrün)



Zäpfchentyp „blau“  
(reagiert v. a. auf Blau)

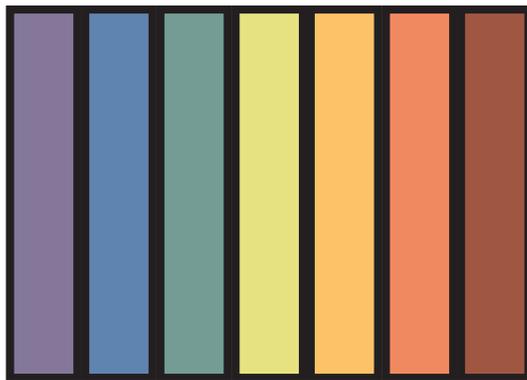
Die Empfindlichkeitsbereiche überlappen sich! — Dunkelrot sieht das Auge (fast) nicht.



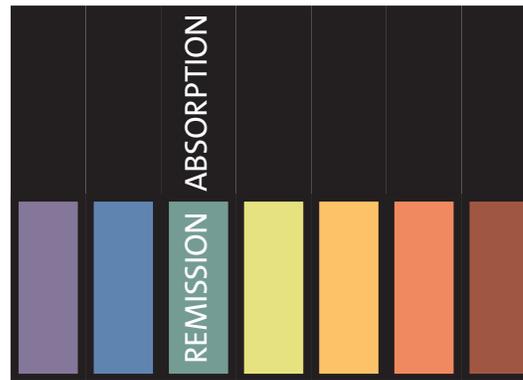
## Gedankenexperiment 1

Wir stellen uns einen **ideal grauen** Gegenstand in **ideal weißem** Licht vor.

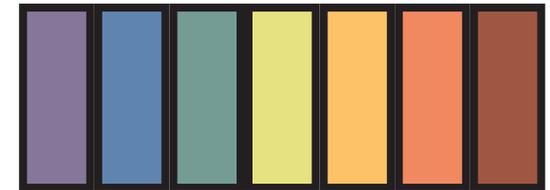
Er wirkt grau, d. h. jeder der drei Zäpfchentypen reagiert gleich stark auf das remittierte Licht.



ideales weißes Licht  
(gleich viel von allem)



trifft auf Gegenstand  
(absorbiert gleichmäßig 50%)



remittiertes Licht  
(neutral)

Kann ein anderer Gegenstand in diesem Licht genauso aussehen? Beweis durch Konstruktion.

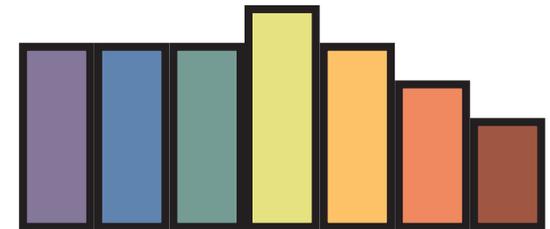
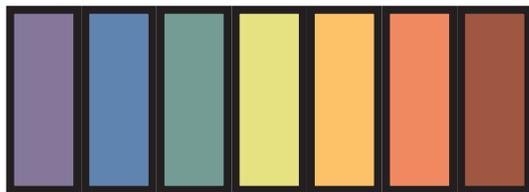


## Gedankenexperiment 2: Reaktion von Zäpfchentyp „rot“

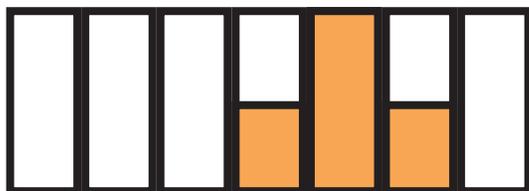
Willkürlich steigern wir die Absorption im Rot.

Dann kommt weniger Hellrot zurück, und Zäpfchentyp „rot“ reagiert schwächer.

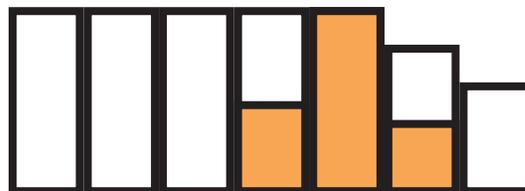
Wenn wir dafür z. B. mehr Gelb anbieten, können wir wieder die alte Reaktion erreichen.



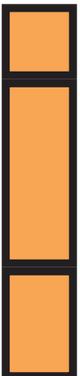
Remission des Idealgrau  
ursprüngliches „rot“-Signal:



Remission mit weniger Rot  
kleineres Signal (Fläche):



kompensiert durch Gelb  
wieder gleich großes Signal:



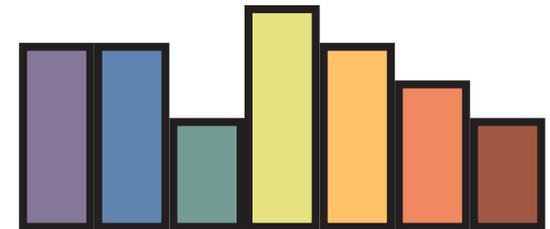
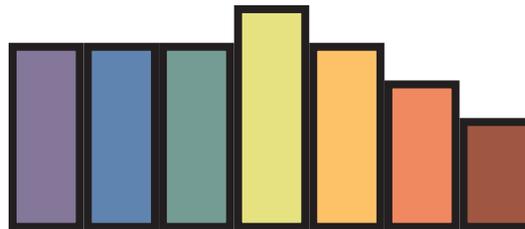
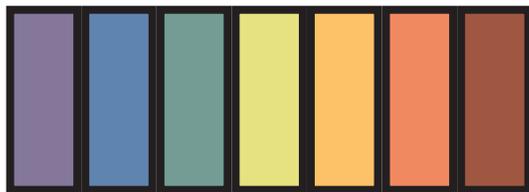


## Gedankenexperiment 3: Reaktion von Zäpfchentyp „grün“

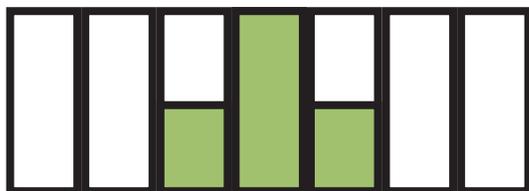
Durch das zusätzliche Gelb reagiert Zäpfchentyp „grün“ stärker als zuvor.

Das wollen wir korrigieren, ohne an der Reaktion von Typ „rot“ etwas zu ändern.

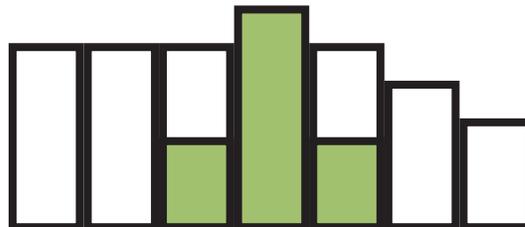
Wir müssen dazu Grün absenken, und zwar doppelt so stark wie Gelb erhöht wurde.



Remission des Idealgrau  
ursprüngl. „grün“-Signal:



Zwischenergebnis  
größeres Signal:



kompensiert (weniger Grün)  
wieder gleich großes Signal:



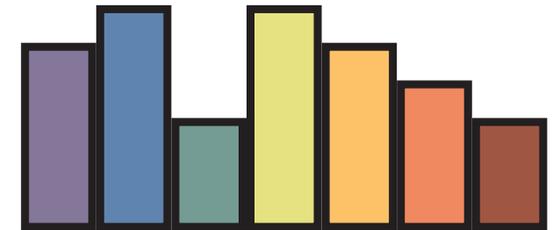
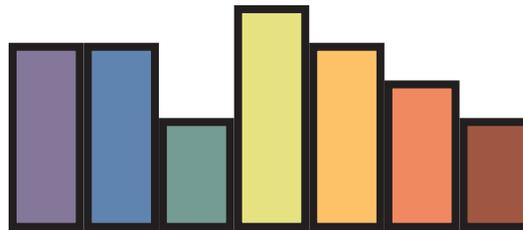
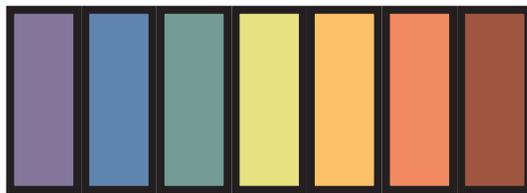


## Gedankenexperiment 4: Reaktion von Zäpfchentyp „blau“

Durch das fehlende Grün reagiert Zäpfchentyp „blau“ schwächer als zuvor.

Das wollen wir korrigieren, ohne an der Reaktion der Typen „rot“ und „grün“ etwas zu ändern.

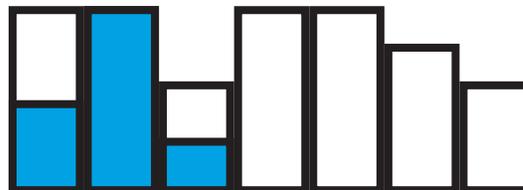
Wir können z. B. Blau anheben, und zwar halb so stark wie Grün gesenkt wurde.



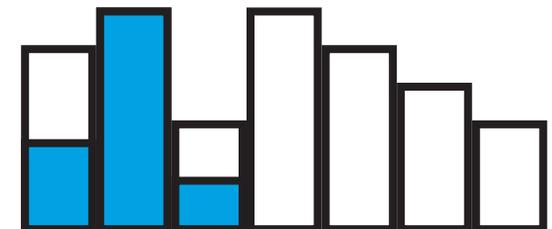
Remission des Idealgrau  
ursprüngl. „blau“-Signal:



Zwischenergebnis  
kleineres Signal:



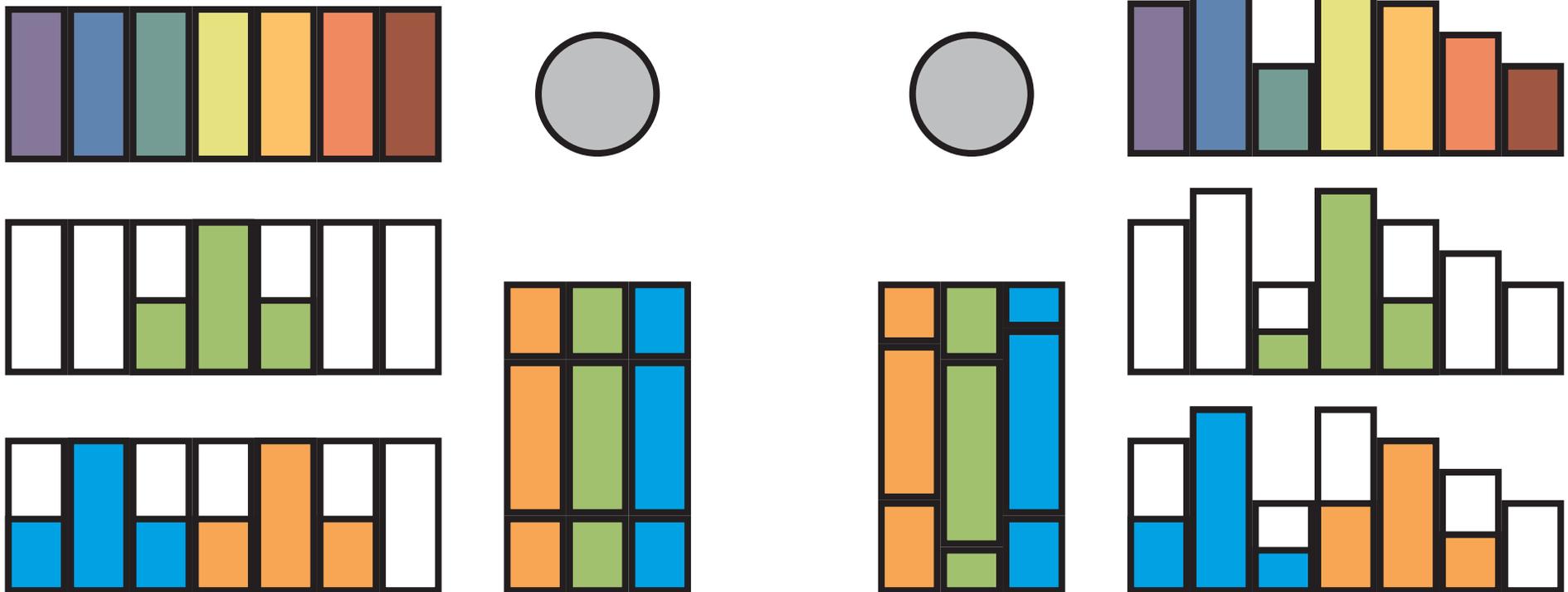
kompensiert (mehr Blau)  
wieder gleich großes Signal:





## Gedankenexperiment 5: Ergebnis

Das idealgraue und das gerade konstruierte Objekt sehen im ideal weißen Licht also gleich aus, weil das remittierte Licht die drei Zäpfchentypen jeweils gleich stark anregt.

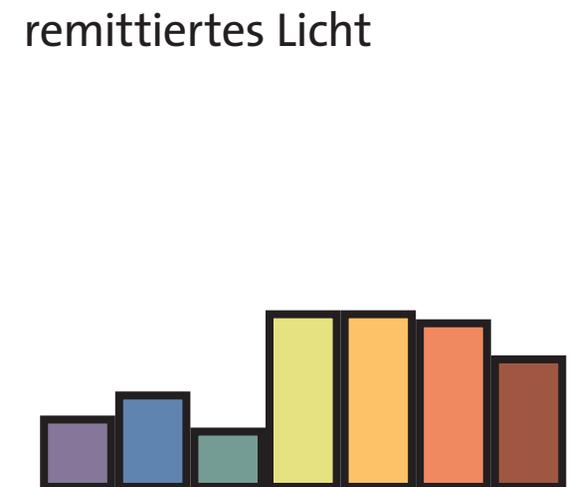
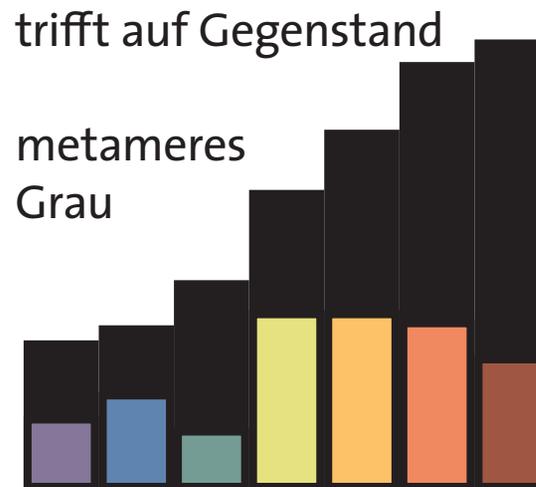
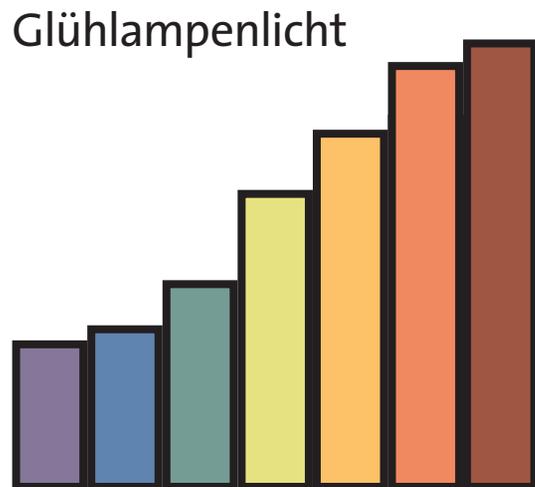
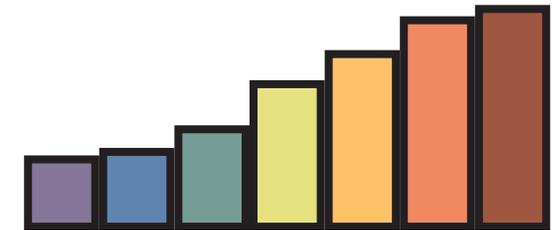
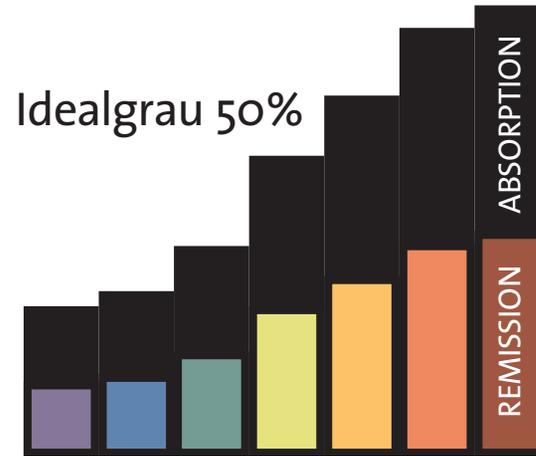
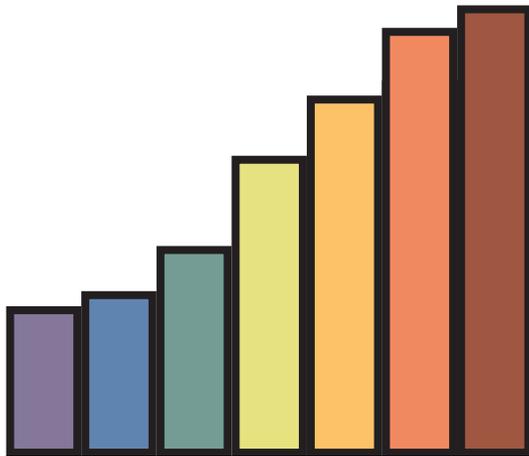


# metamerie



Digitalproof-Forum

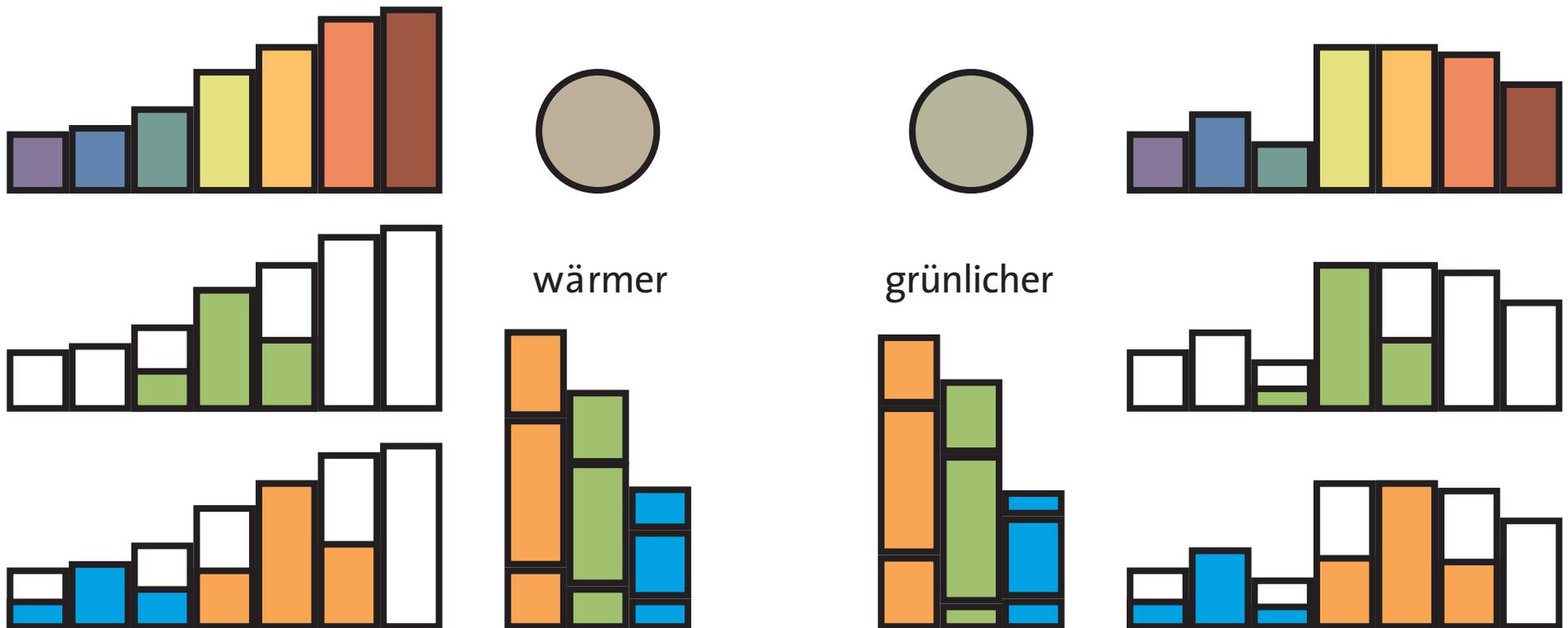
## Gedankenexperiment 6: wir ändern das Licht





## Gedankenexperiment 7: Ergebnis

Das idealgraue und das gerade konstruierte Objekt sehen im Glühlampenlicht verschieden aus, weil das remittierte Licht die drei Zäpfchentypen jetzt unterschiedlich anregt.

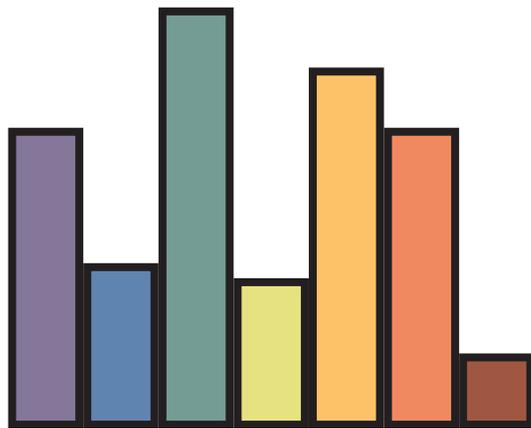


# metamerie

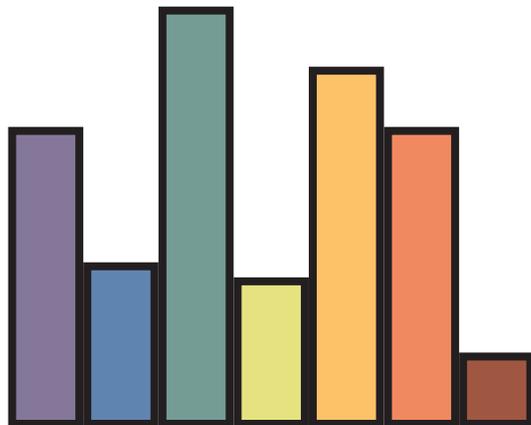


Digitalproof-Forum

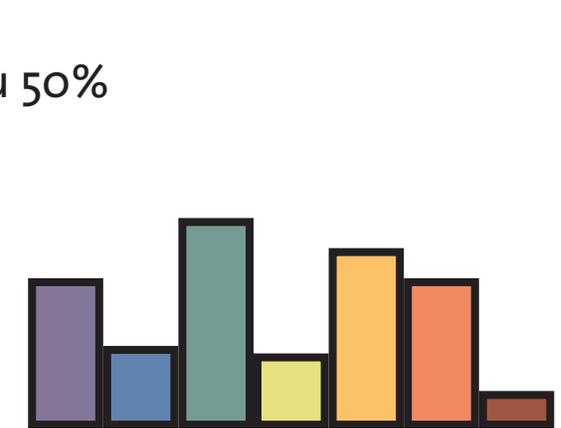
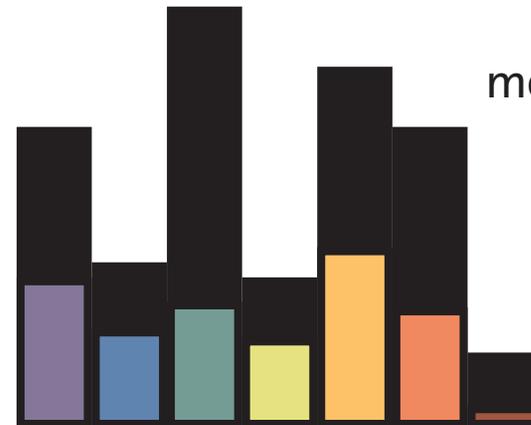
## Gedankenexperiment 8: wir ändern das Licht nochmal



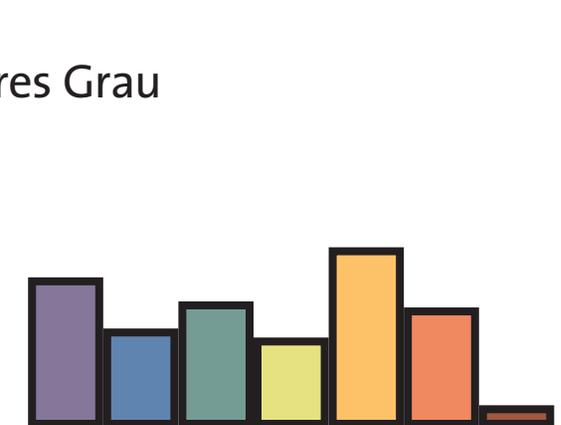
Leuchtstoffröhre



beleuchtet Gegenstand



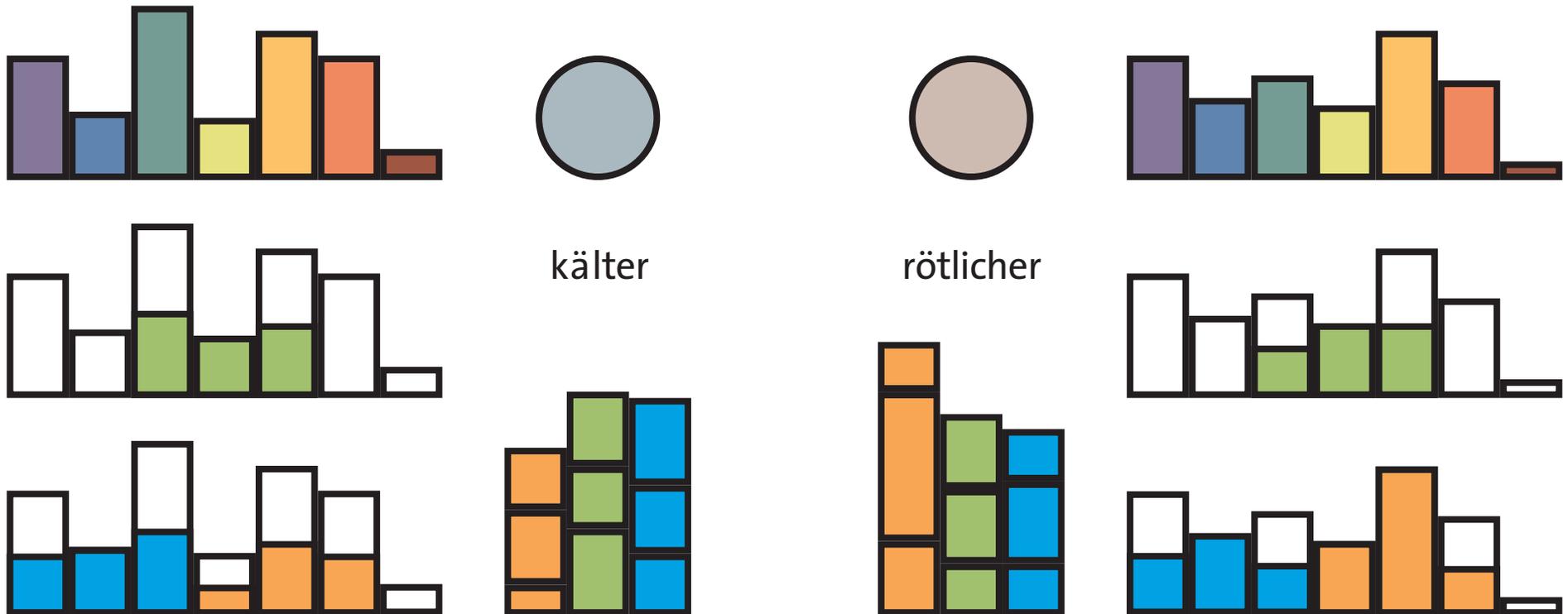
remittiertes Licht





## Gedankenexperiment 9: Ergebnis

Das idealgraue und das metamere Objekt sehen unter Leuchtstoffröhren wieder verschieden aus, weil das remittierte Licht die drei Zäpfchentypen wieder unterschiedlich anregt.





## Zwischenbilanz

Mit einer einfachen Modellvorstellung kann man Metamerie nachvollziehen.

Immer wenn große Differenzen in einem Spektralbereich vorhanden sind und von einer sehr ungleichmäßigen Lichtquelle beleuchtet werden, sind die Farbunterschiede hoch.

Das bedeutet, das wellige Remissionsspektren von Objekten und stachelige Emissionsspektren von Lichtquellen das Problem provozieren.

Jetzt zu einer Anwendung auf den Fall „Proof simuliert Druck“.

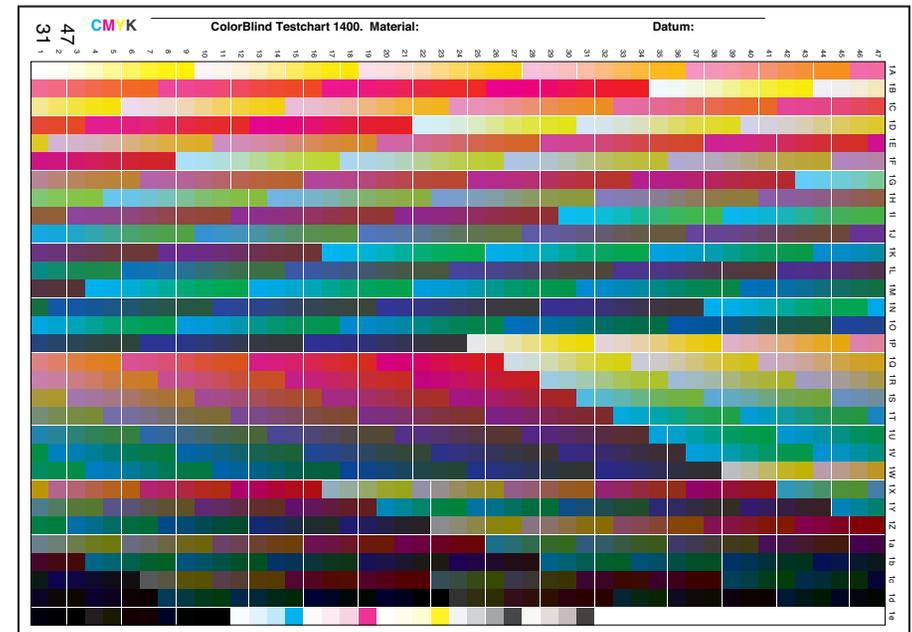


## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Material:

Colorblind-Testchart mit 1441 Feldern (rechts),  
davon 9x9x9 CMY-Kombinationen,  
gedruckt und geproof:

- ▶ Druckbogen (Fa. Ebner & Spiegel, SM102)  
Bilderdruckpapier Starline glänzend 135 g/m<sup>2</sup>
- ▶ Proof-Ausdrucke auf Best Remoteproof  
Paper 9180 Semimatt und den Geräten  
Epson 10000, Epson 10000 CF, Epson 9000, Epson 7600, Epson 5000 mit CGS-Tinte,  
HP DJ10/PS, Roland Hifi-Jet 500 sowie Iris 2Print auf Semimatte Pro



daraus Spektraldaten 380 - 730 nm in 10 nm-Schritten (Gretag Spectroscan, Fa. Ebner & Spiegel)



## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Material (II): Spektraldaten

- ▶ CIE Normlichtarten
  - D50, D65 (tageslichtähnlich, aber nicht als Lichtquelle realisiert)
  - A (Halogen-Glühlampenlicht, 2856 K)
- ▶ CIE Leuchtstoffröhren
  - F2, F7, F11 (Dominante Typen: normal 4230 K, Breitband 6500 K, Drei-Band 4000 K)
  - F8 (Breitband, 5000 K. Oft als Normlichtersatz genutzt)
- ▶ gemessene Lichtspektren, 340 - 800 nm in 5 nm-Schritten, Avantes Spectrocam
  - Tageslicht (bei bedecktem Himmel)
  - Just Normlicht
  - Bürobeleuchtung im Großraumbüro



## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Methoden:

Für jedes Farbfeld-Spektrum des Druckbogens:

Für jeden Proofer-Messdatensatz:

- ▶ Interpolation desjenigen Prooferspektrums innerhalb der 9x9x9 CMY-Farbfelder, welches metamer zum Druck unter D50, 2° ist (also gleiche Lab-Werte hat)  
Dieses Spektrum passt zum üblichen Proof-Farbaufbau mit sehr kurzem Schwarz
- ▶ Alternativ dazu Interpolation innerhalb der Farbfelder des Charts mit Schwarzanteil mit der Einschränkung Unbuntaufbau (nur Schwarz und zwei Farben)  
Dieses Spektrum würde zu einem Proof-Farbaufbau mit langem Schwarz passen, der für einen Proofer mit grauer Tinte (hier Epson 7600) sinnvoll wäre.

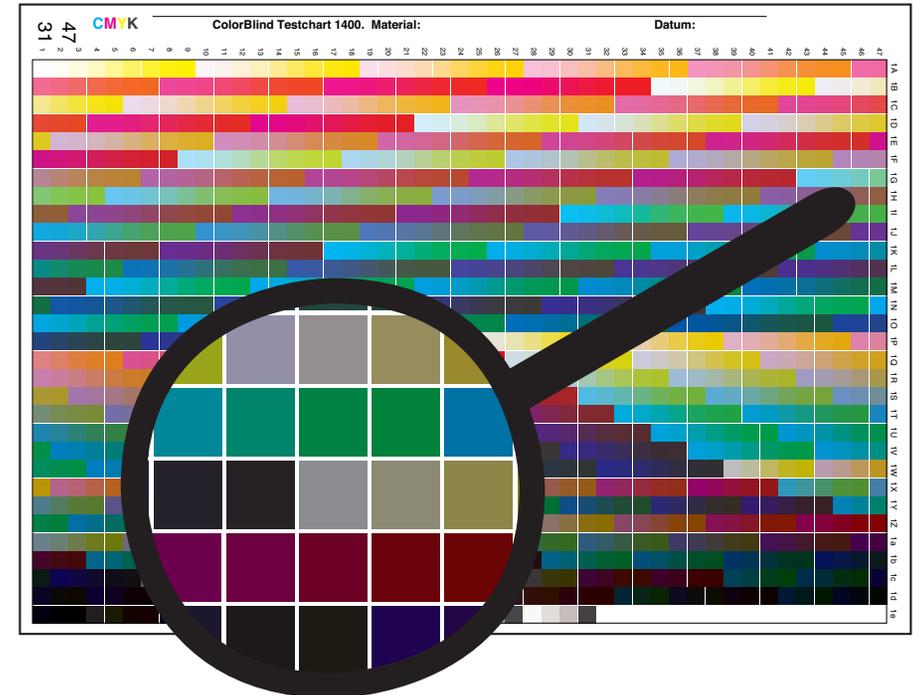
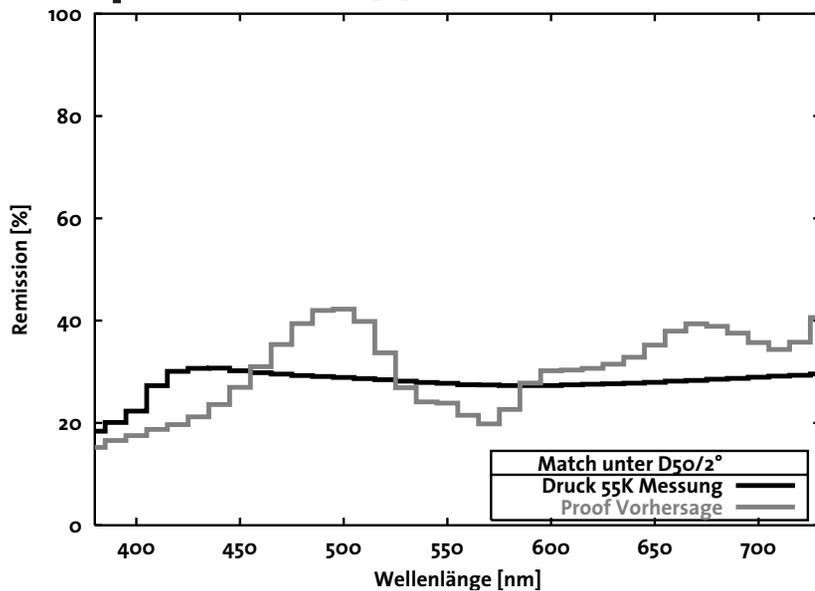
Anschließend für jedes Lichtspektrum:

- ▶ Lab-Werte für alle unter D50 metameren Spektren berechnen
- ▶ Farbdifferenzen zwischen Druck und Proofs berechnen



## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Beispiel: Feld 55%K



Farbwerte: CIELab 59,75 / 0,16 / -3,05

Suche diesen Lab-Farbort in den Messdaten des Proofer-Testcharts (hier: Epson 10000 CF):

Er liegt zwischen den Feldern mit 30-55 C, 30-55 M, 30-55 Y.

Spektrale Interpolation innerhalb dieses Würfels liefert die graue Kurve.



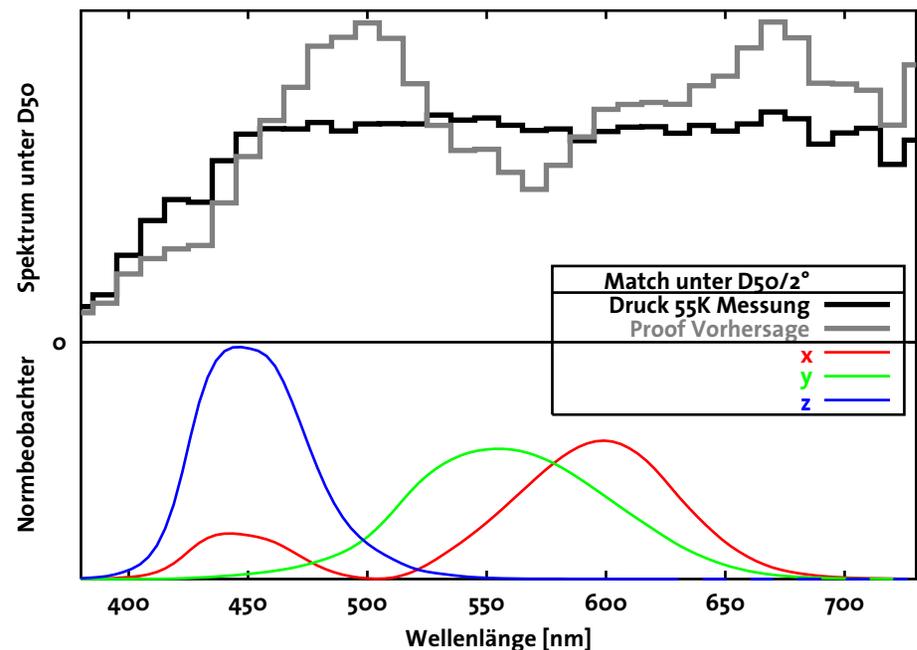
## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Beispiel: Feld 55%K

Die Remission des Druckes und die des interpolierten Prooferspektrums sehen beleuchtet mit D50 wie rechts gezeigt aus.

Unten stehen die Empfindlichkeitskurven des 2°-Normbeobachters. Beide Spektren führen zu den gleichen drei Stimuli.

Darum sind die Farben unter D50/2° metamer.



Man erkennt z. B. bei y, dass der kleine Überschuss im Druckspektrum im empfindlichsten Bereich (540–580 nm) durch einen größeren Überschuss im Proofspektrum im weniger empfindlichen Bereich (unterhalb 540, oberhalb 580 nm) ausgeglichen wird.



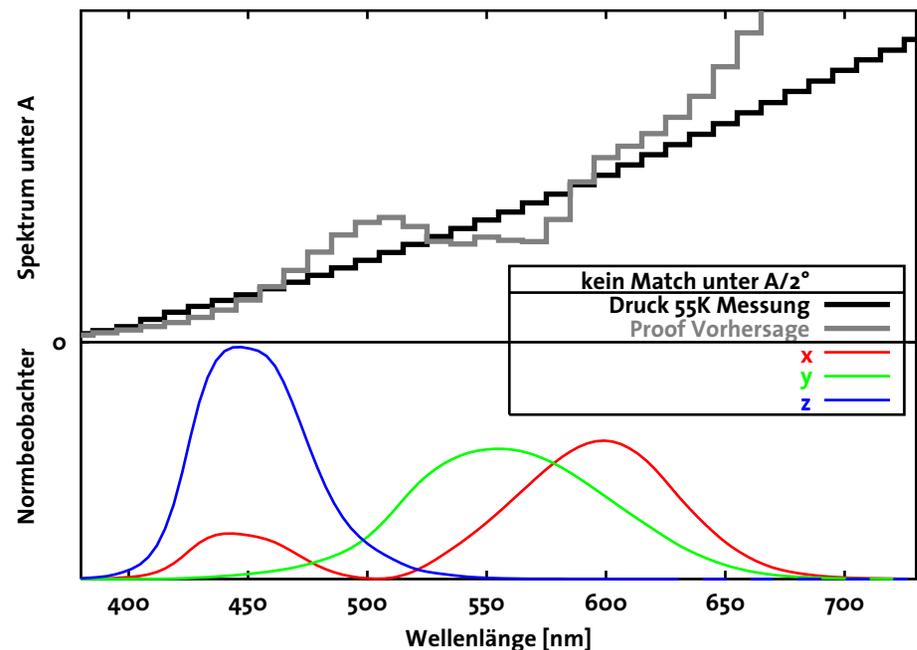
## Experimente mit verschiedenen Proofen und Lichtarten

### Beispiel: Feld 55%K

Beleuchtet man mit Normlicht A, sehen die Remission des Druckes und die des interpolierten Prooferspektrums anders aus. Der Proof reflektiert das hohe Rot-Angebot wesentlich stärker.

Unten wieder die Empfindlichkeitskurven des 2°-Normbeobachters. Beide Spektren führen zu höheren X-Stimuli als unter D50.

Daran passt sich das Auge an (wird berücksichtigt durch eine „chromatic adaptation transform“). Aber Proof und Druck liefern keine gleiche Stimuli mehr. Der Proof ist um  $\Delta a = 5.2$  roter!





## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Ergebnis: Maximales $\Delta E_{94}$ für Druckfelder mit K, Proof mit CMY

	DRUCK	DR/CMY	E10000	E10CF	E7600	E9000	E5CGS	HP10	IRIS	ROLAND	max
D50	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
D65	0,0	0,9	0,9	2,1	1,2	1,1	1,3	2,3	0,8	0,9	2,3
A	0,0	3,1	2,7	5,6	4,0	3,0	3,4	6,4	2,7	3,3	6,4
F2	0,0	2,3	2,7	1,9	1,9	2,4	2,1	3,8	3,4	2,1	3,8
F7	0,0	0,8	1,0	1,7	1,0	0,9	0,9	1,9	1,0	0,8	1,9
F11	0,0	2,7	3,7	6,0	5,8	2,6	2,9	6,2	4,8	4,4	6,2
F8	0,0	0,4	0,5	0,8	0,3	0,5	0,6	0,8	0,4	0,3	0,8
JUST	0,0	0,2	1,0	1,4	0,6	1,0	1,1	1,3	0,5	0,4	1,4
SKY	0,0	0,8	0,7	1,7	1,0	0,9	1,0	1,7	0,6	0,7	1,7
OFFICE	0,0	0,3	0,7	0,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7
SOLUX	0,0	0,2	0,5	0,9	0,4	0,6	0,6	0,8	0,3	0,2	0,9
max	0,0	3,1	3,7	6,0	5,8	3,0	3,4	6,4	4,8	4,4	



## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Ergebnis: Maximales $\Delta E_{94}$ für Druckfelder ohne K, Proof mit CMY

	DRUCK	DR/CMY	E10000	E10CF	E7600	Eg000	E5CGS	HP10	IRIS	ROLAND	max
D50	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
D65	0,0	0,1	1,1	1,4	0,5	0,5	0,6	1,4	1,0	0,5	1,4
A	0,0	0,1	3,0	3,3	1,3	1,5	1,5	3,4	3,2	1,3	3,4
F2	0,0	0,2	3,4	1,8	1,2	2,7	2,5	1,9	3,5	1,2	3,5
F7	0,0	0,1	1,0	1,3	0,5	0,9	0,9	1,3	1,2	0,4	1,3
F11	0,0	0,1	3,9	4,4	3,5	3,0	3,2	4,1	4,8	2,8	4,8
F8	0,0	0,1	0,4	0,6	0,2	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4	0,6
JUST	0,0	0,1	0,8	1,3	0,4	0,8	0,8	1,2	0,4	0,5	1,3
SKY	0,0	0,1	0,9	1,1	0,4	0,5	0,5	1,0	0,8	0,5	1,1
OFFICE	0,0	0,1	0,8	0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,6	0,4	0,8
SOLUX	0,0	0,1	0,5	0,9	0,3	0,5	0,5	0,7	0,4	0,2	0,9
MAX	0,0	0,2	3,9	4,4	3,5	3,0	3,2	4,1	4,8	2,8	



## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

### Ergebnis: Maximales $\Delta E_{94}$ für Druckfelder mit K, Proof unbunt

	DRUCK	DR/CMY	E10000	E10CF	E7600	Eg000	E5CGS	HP10	IRIS	ROLAND	max
D50	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
D65	0,0	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,7
A	0,0	2,0	1,3	1,8	1,6	1,7	1,6	1,4	1,0	1,1	2,0
F2	0,0	1,7	1,7	1,4	1,5	1,1	1,2	1,9	0,6	0,9	1,9
F7	0,0	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3	0,6
F11	0,0	4,3	4,0	3,8	3,7	2,9	2,9	2,6	1,2	1,7	4,3
F8	0,0	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4
JUST	0,0	0,7	0,6	0,7	0,6	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,7
SKY	0,0	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5
OFFICE	0,0	0,7	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,7
SOLUX	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
MAX	0,0	4,3	4,0	3,8	3,7	2,9	2,9	2,6	1,2	1,7	

# metamerie



Digitalproof-Forum

## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

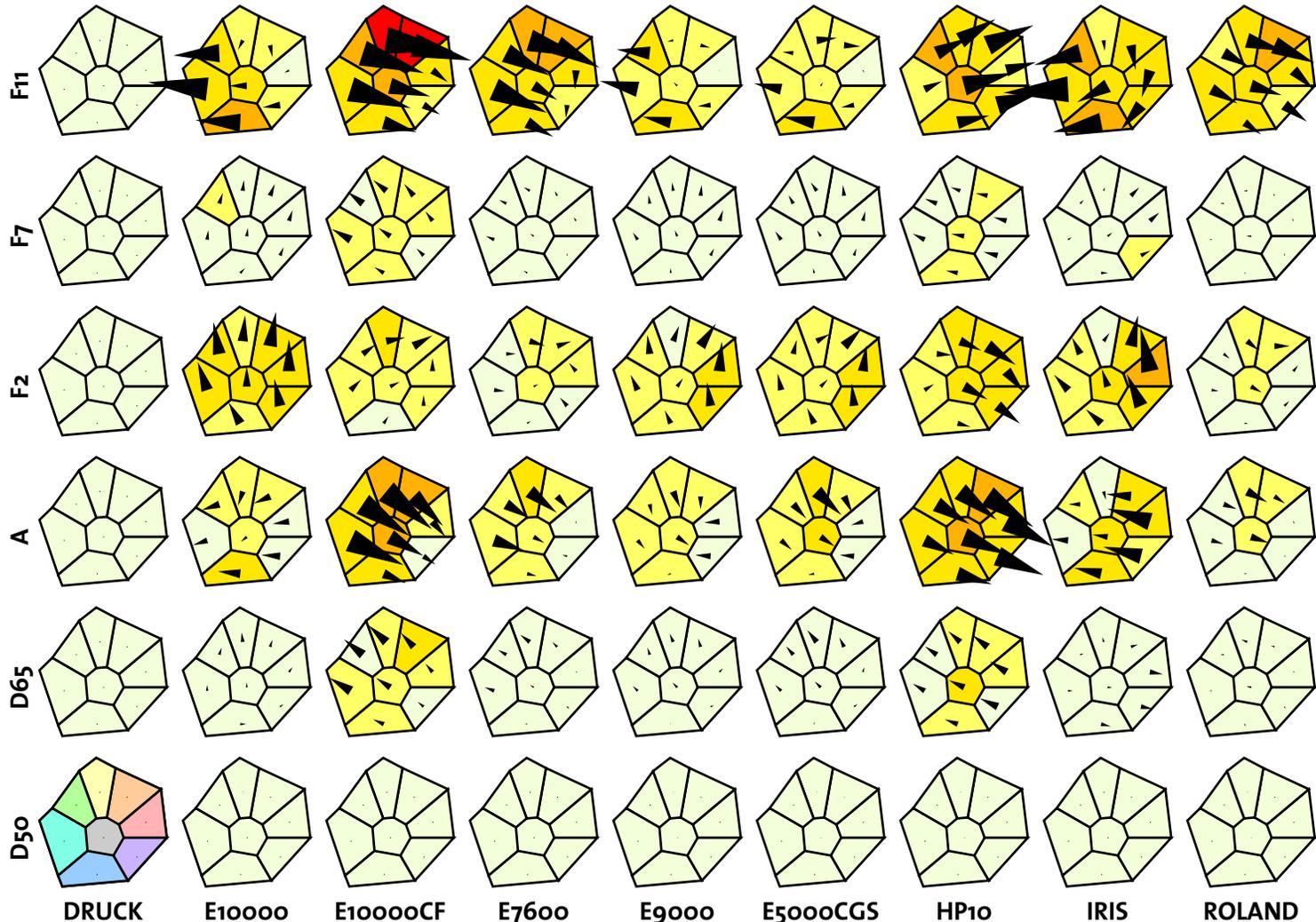
Ergebnis:

Richtung  
und Größe  
der Änderung

(Mittelwerte pro  
Farbtonsektor)

Druck mit K,  
Proof CMY

Sektor-Legende  
(a-b-Aufsicht) >>



# metamerie



Digitalproof-Forum

## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

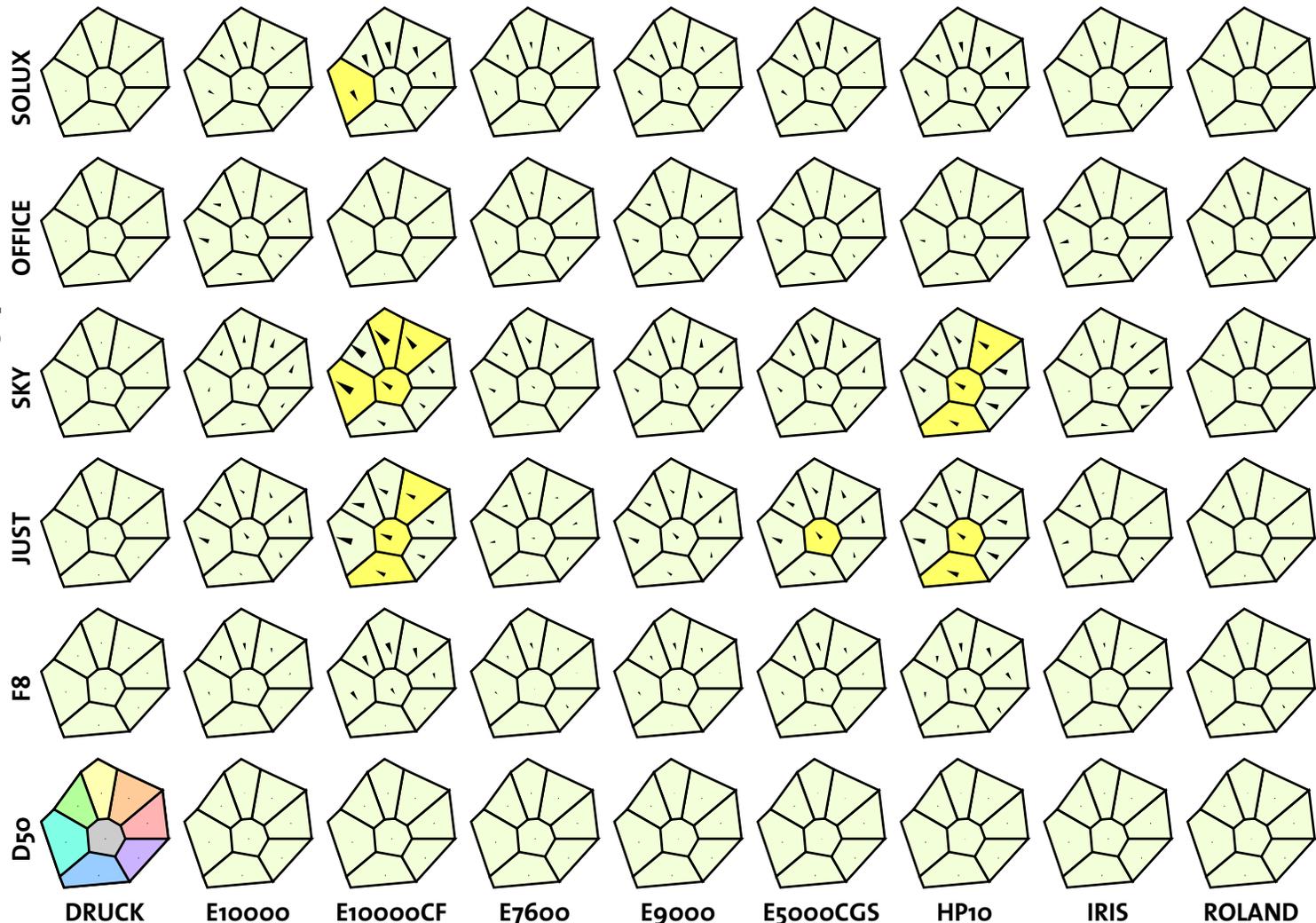
Ergebnis:

Richtung  
und Größe  
der Änderung

(Mittelwerte pro  
Farbtonsektor)

Druck mit K,  
Proof CMY

typische Proof-  
beleuchtungen



# metamerie



Digitalproof-Forum

## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

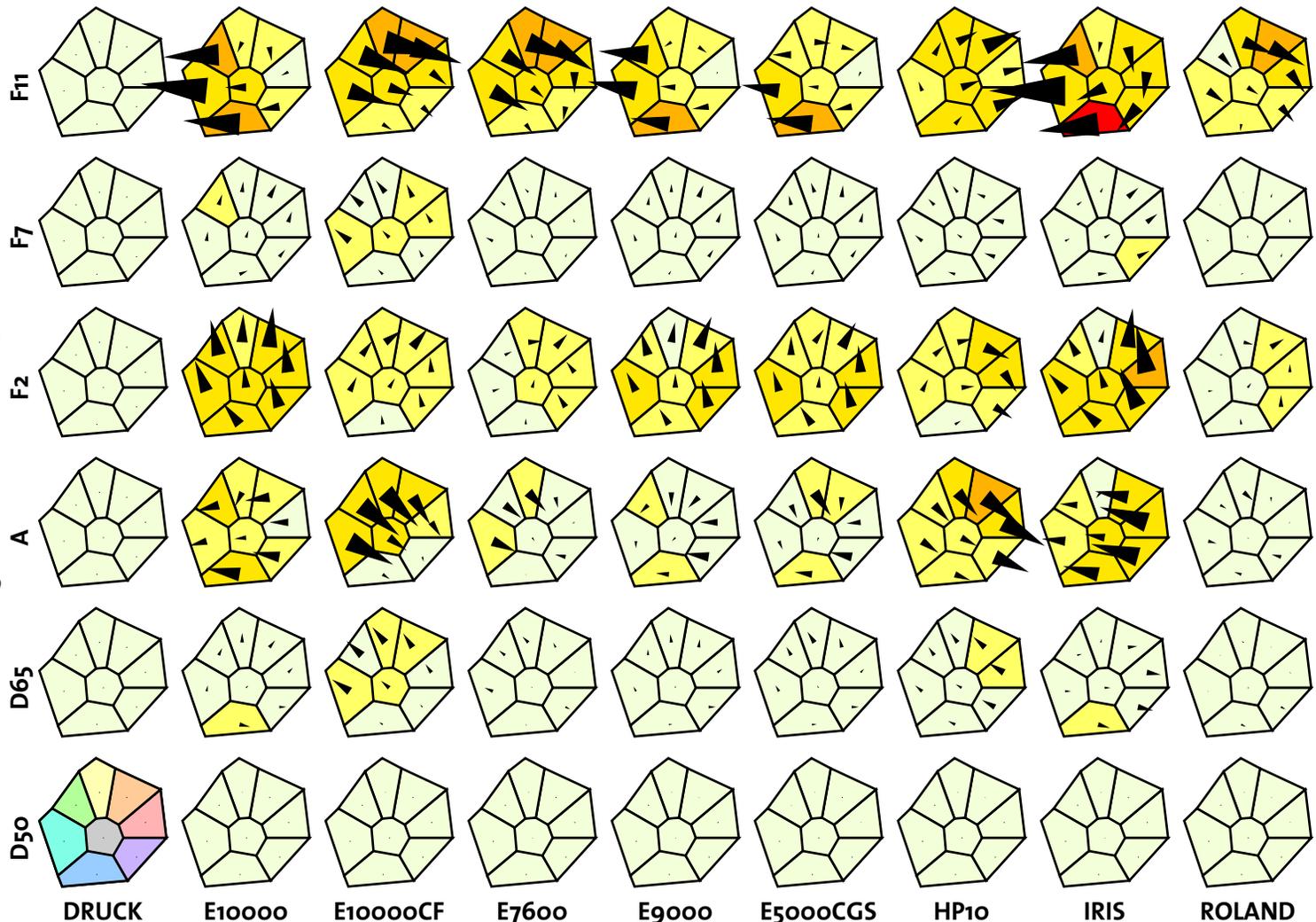
Ergebnis:

Richtung  
und Größe  
der Änderung

(Mittelwerte pro  
Farbtonsektor)

Druck ohne K,  
Proof CMY

Sektor-Legende  
(a-b-Aufsicht) >>



# metamerie



Digitalproof-Forum

## Experimente mit verschiedenen Proofern und Lichtarten

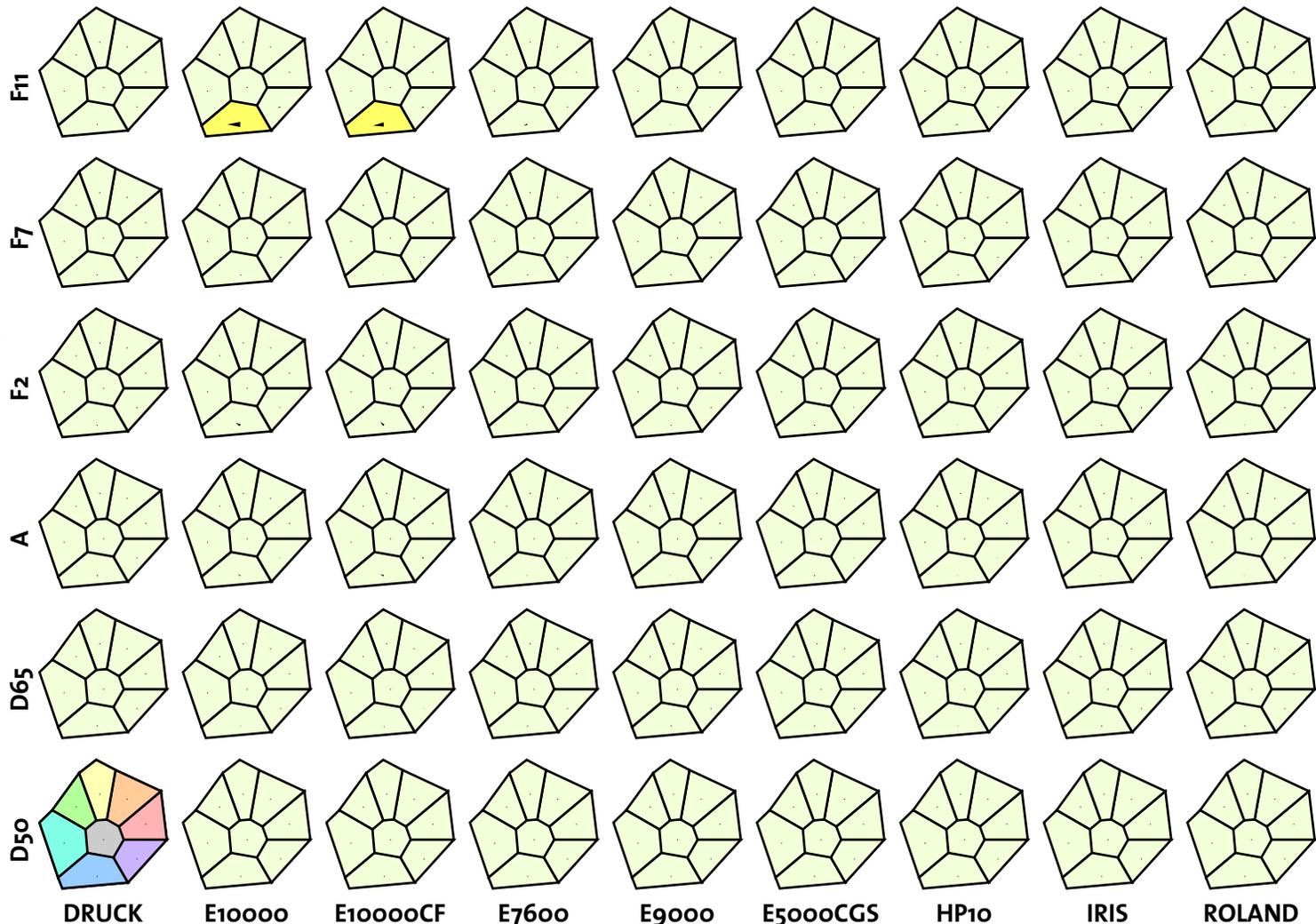
**Ergebnis:**

**Richtung  
und Größe  
der Änderung**

(Mittelwerte pro  
Farbtonsektor)

**Druck mit K,  
Proof unbunt**

Sektor-Legende  
(a-b-Aufsicht) >>





## Zusammenfassung

Richtige Lab-Werte allein sind nicht alles!

Die gefährlichsten Lichtquellen sind Glühlampen oder Leuchtstoffröhren von der Stange: weil hier der Fehler am größten ist und jeder Proofer einen anderen Farbstich zeigt!

Nicht nur die maximalen, auch die mittleren Abweichungen sind groß:  
Metamerie betrifft nicht nur „kritische“ Töne!

Ein unbunter Farbaufbau beim Proofen (langes und breites Schwarz) ist günstig:  
ist aber erst bei sehr feinen Schwarzpunkten im Proof oder mit grauer Tinte akzeptabel.



## Metamerie: Auswirkungen in der Praxis

Dr. Johannes Hoffstadt  
color solutions consulting

mit herzlichem Dank an Ulf Großmann, Fa. Best GmbH,  
für die Proofs des Testcharts auf einigen Systemen.

# Vielen Dank für Ihr Interesse!



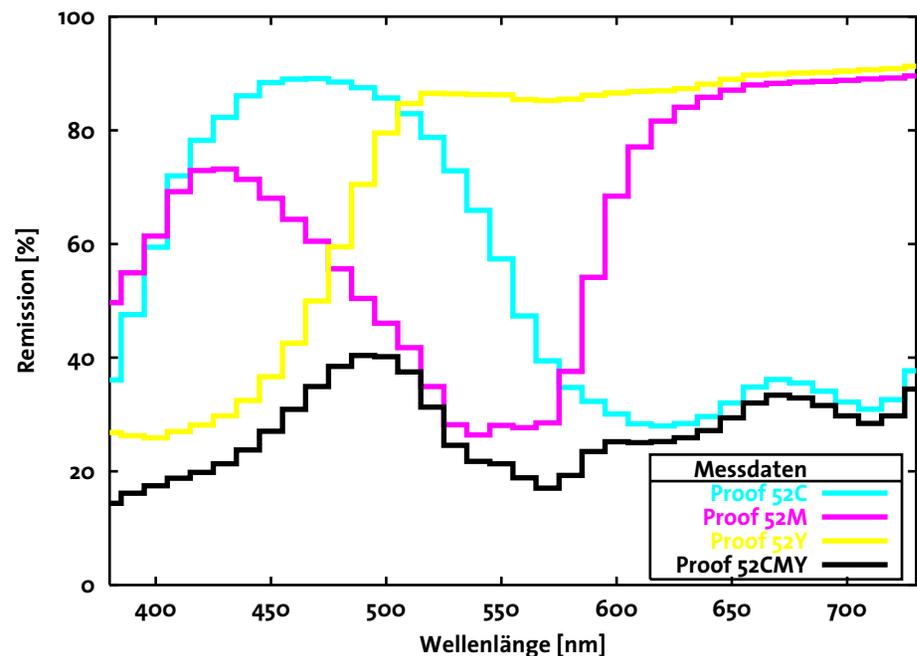
## Anhang: wie gut ist die Interpolation der Spektren?

### Beispiel: Feld 55%K

Ist das interpolierte Spektrum „echt“, d. h. würde ein reales Prooferspektrum wie vorhergesagt aussehen?

Rechts sind die gemessenen Spektren aus dem Target für die 55%-Grundfarben und die 55C 55M 55Y-Mischung gezeigt.

Das letzte Spektrum ist schon nahe am Lab-Ziel, es ist nur zu blau. Das interpolierte Spektrum ist darum sehr ähnlich. Aber auch dann, wenn die gesuchte Farbe weiter von Messfeldern aus dem Target entfernt ist, sind die interpolierten Spektren recht zuverlässig. Das hat ein Vergleich von Vorhersage und Prooferspektrum eines Iris ergeben, den ich für einige Felder ausgeführt habe.



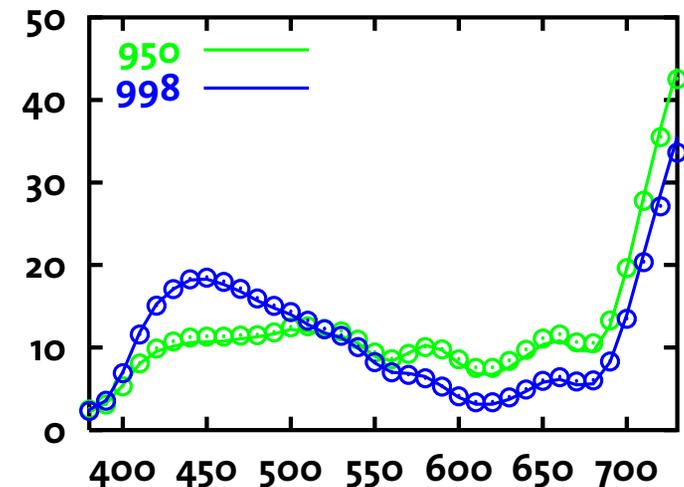
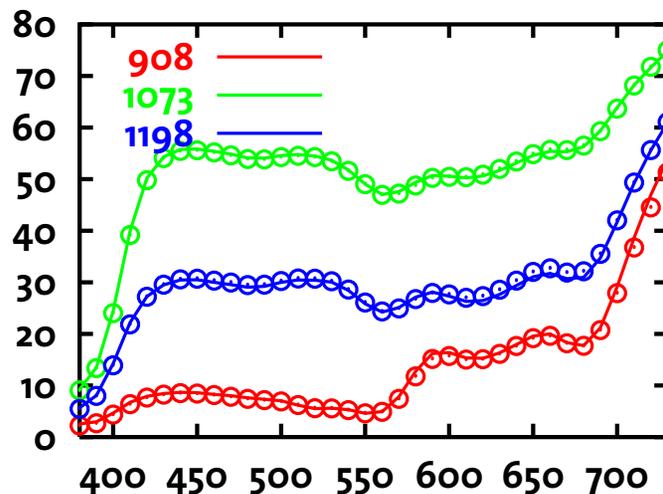
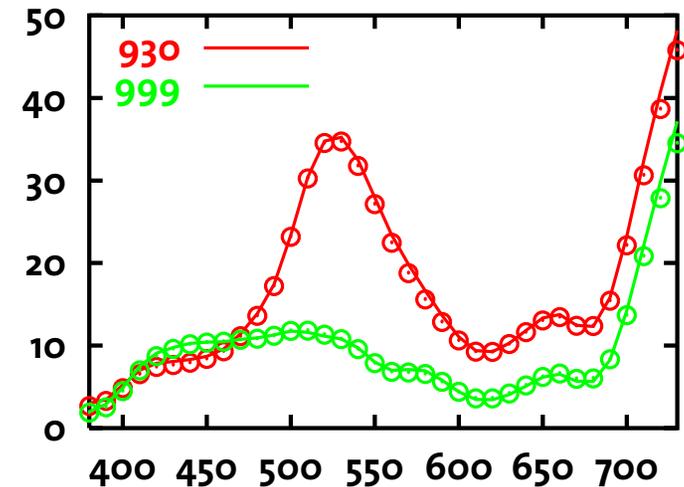
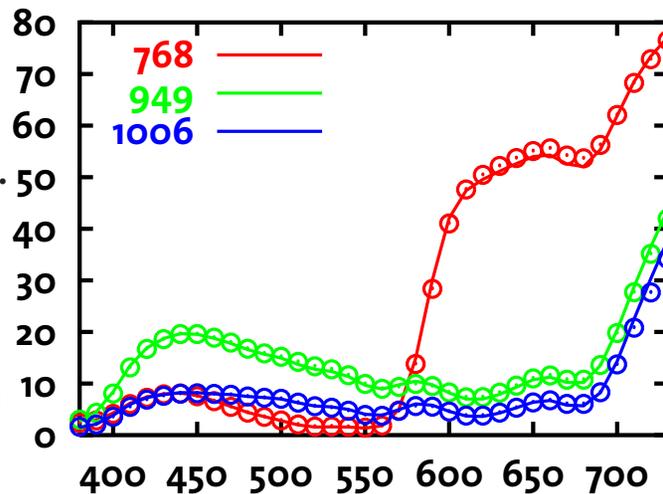
# metamerie



Digitalproof-Forum

## Vergleich: Vorhersage (Kreis) und Messung von Prooferspektren

Für 10 Felder wurden die vorhergesagten Spektren (O) überprüft. Dazu wurde eine Form mit den erforderlichen CMY-Werten und deren Variationen um -6, -3, +3, +6 8-Bit-Stufen erstellt (je 125 Patches). Das Spektrum des Patches mit dem kleinsten  $\Delta E$  wird als Linie gezeigt.



# metamerie

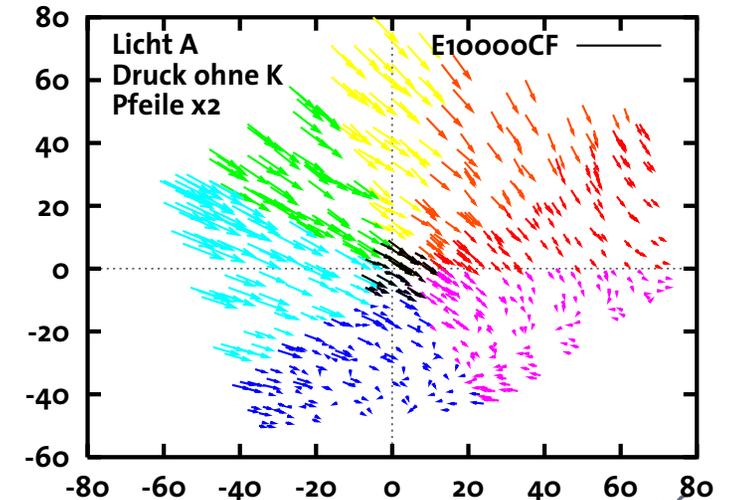
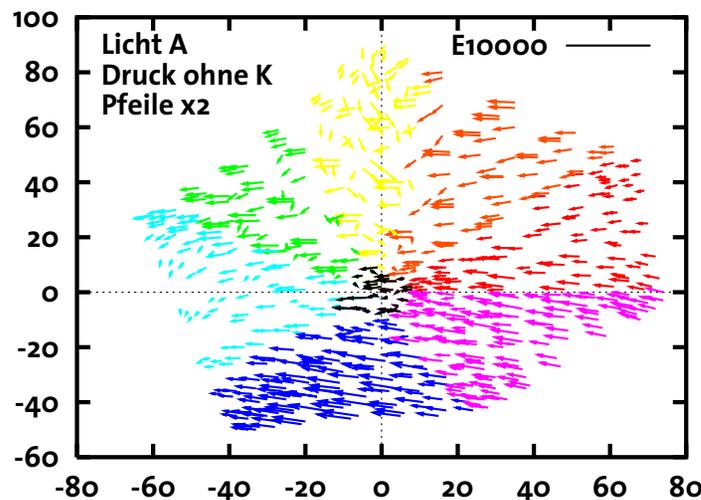
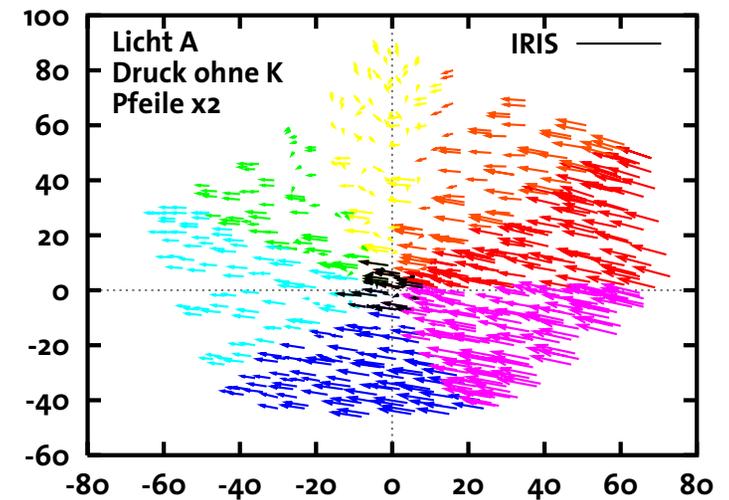
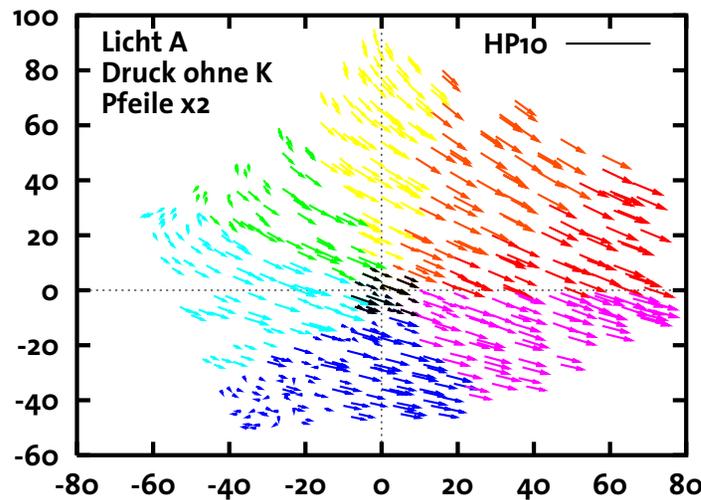


## Detailansicht: Farbverschiebungen unter Licht A

a-b-Diagramm mit den Verschiebungen pro Farbfeld (Proof CMY).

Man sieht alle hier Helligkeiten zugleich.

Die Tendenzen sind innerhalb der Farbton-Sektoren einheitlich, aber die Proofs sind sehr verschieden.



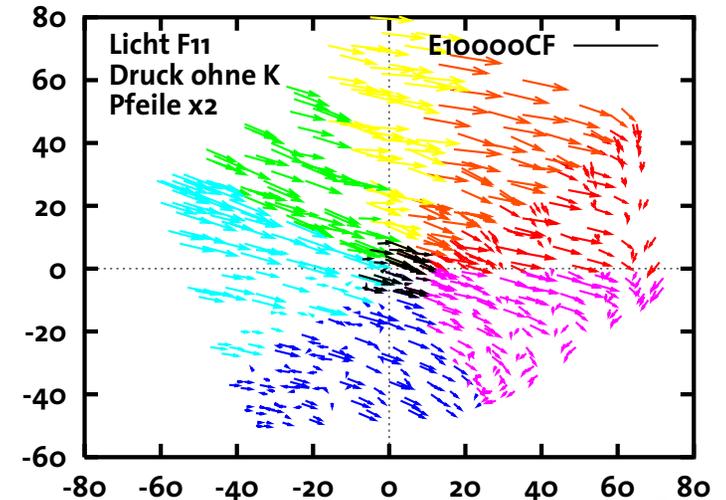
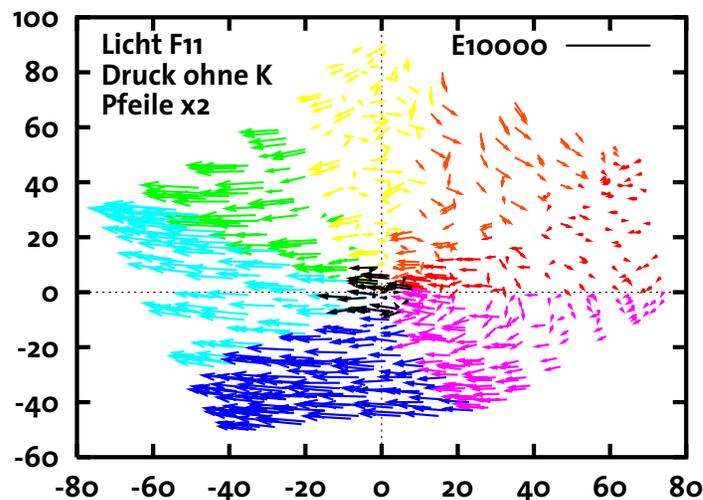
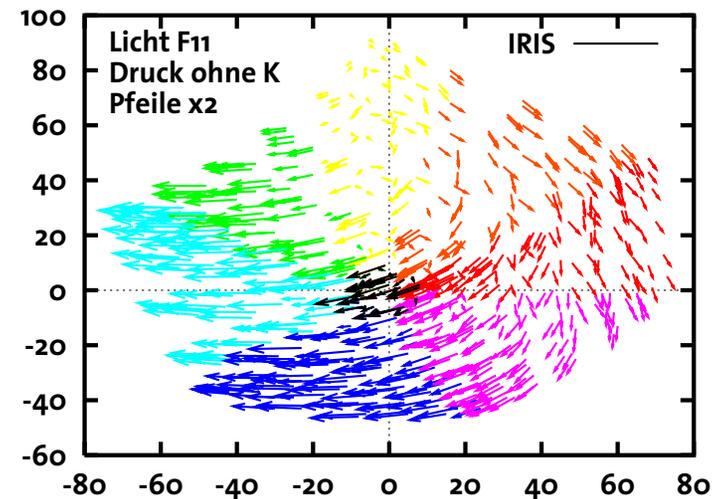
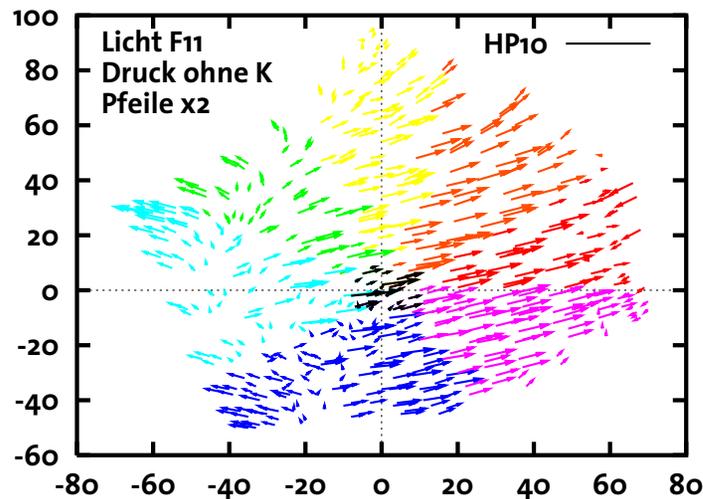


## Detailansicht: Farbverschiebungen unter Licht F11

a-b-Diagramm mit den Verschiebungen pro Farbfeld (Proof CMY).

Man sieht alle hier Helligkeiten zugleich.

Unter dieser Leuchtstoffröhre entstehen wilde, wirbelartige Strukturen.





## Detailansicht: spektrale Glätte der Graukeile

Spektren der Graufelder  
der Proofer-Testformen  
(Papierweiß bis 100% K)

Grobe SchwarZRaster  
lassen das Papierweiß  
noch lange durchscheinen  
(Iris, welliges Spektrum).  
Feine SchwarZRaster  
decken schneller ab  
(HP10PS, glatter).  
Am besten: graue Tinte  
(Epson 7600).

