

# Mein DIY-Beamer

## **Damit keine Missverständnisse aufkommen:**

Dies ist keine Beamerbauanleitung, lediglich eine Dokumentation meines selbstgebauten Beamers mit vielen Bildern und Details, sowie ein paar technischen Grundlagen, Hinweisen und Gedanken, die mir beim Bauen so in den Sinn gekommen sind! Sie soll nur eine Anregung sein für eigene Ideen oder auch eine Hilfe für Neulinge auf diesem Gebiet! Ich habe auch einmal bei Null angefangen und wäre froh gewesen, so eine Doku zu haben, daher habe ich alle Informationen, die ich im Laufe der Zeit gesammelt habe, aufgeschrieben. Diese Sammlung liegt nun vor dir. Wenn sich neue Erkenntnisse ergeben oder ich noch das Eine oder Andere für sinnvoll halte, werde ich es aufnehmen. Das heißt:

### **Die Doku lebt!**

Du findest die jeweils aktuelle Version immer unter dem gleichen Link: [www.wschmid.de/Downloads/Beamer-Doku.pdf](http://www.wschmid.de/Downloads/Beamer-Doku.pdf)

Ich bin auch gerne bereit, die eine oder andere Frage zu beantworten soweit es mir möglich ist (und ich nicht überschwemmt werde). Ich bitte aber zu berücksichtigen, daß ich kein Optiker und auch sonst kein Fachmann in diesen Dingen bin. Mach mich also nicht verantwortlich, wenn ich keine oder eine falsche Antwort gebe.

Und noch ein Hinweis in urheberrechtlicher Sache: Diese Doku darf frei weitergegeben werden. Aber: Sie darf nicht für kommerzielle Zwecke missbraucht und beispielsweise verkauft werden. Wenn jemandem diese Doku oder Teile davon zum Kauf angeboten wurden, bitte eine Mail an mich: [w.schmid@wschmid.de](mailto:w.schmid@wschmid.de)

**Ich danke an dieser Stelle erst mal allen Mitgliedern der DIY-Community ([www.diy-community.de](http://www.diy-community.de)), den diesem Wissenspool habe ich habe ich die guten Ergebnisse meines Beamers zu verdanken!**

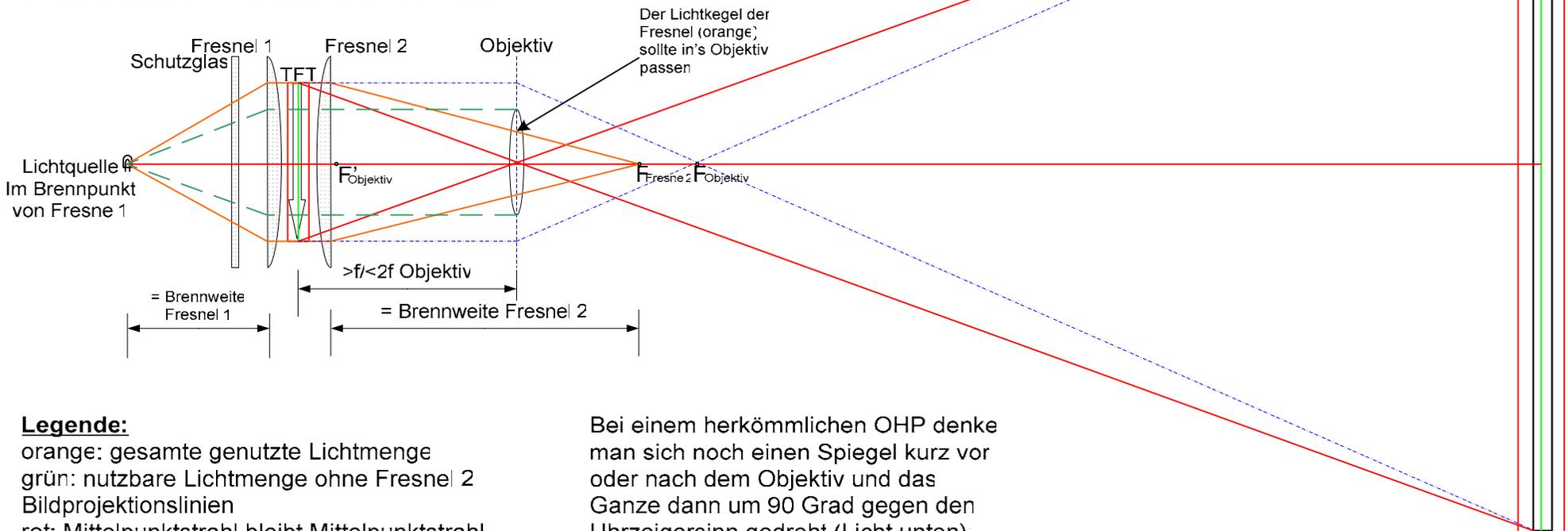
Um das Prinzip eines Beamers besser zu verstehen hier erst mal ein Prinzip-Bild, das den Strahlenverlauf im Beamer und seinen Komponenten darstellt.

### Das Beamer-Prinzip:

Die Lichtstrahlen, die sich von einer möglichst punktförmigen Lichtquelle im Brennpunkt von Fresne 1 konzentrisch ausbreiten, werden von der Fresnellinse 1 in parallele Lichtstrahlen abgelenkt, diese passieren das TFT und werden dann von der Fresne 2 Richtung Objektiv gebündelt. Das ergibt die genutzte Lichtmenge.

Das so erhellte Bild auf dem TFT wird vom Objektiv vergrößert an die Leinwand projiziert. Dieses projizierte Bild ist um so heller, je mehr Licht durch das TFT gelenkt wird. Dazu wird in manchen Fällen hinter die Lichtquelle noch ein Reflektor gesetzt, der das nach hinten abgestrahlte Licht nutzbar macht und/oder zwischen Licht und Fresnel 1 ein sogenannter Kondensator; eine Linse, die ebenfalls die Lichtmenge zum TFT noch erhöht. Von der Brennweite des Objektivs ist dessen Abstand zum TFT ( $>f$ ,  $<2f$ ) sowie die Abbildungsgröße auf der Leinwand abhängig.

Währe im Bild unten die Linse/das Objektiv so groß wie das TFT, könnte man sich die Fresnel 2 sparen, da dann die gesamte Lichtmenge, die durch das TFT kommt, auch in das Objektiv fallen würde. Zur Konstruktion der Fokussierebene wird aber trotzdem der blaue Parallelstrahl verwendet.



### Legende:

orange: gesamte genutzte Lichtmenge  
 grün: nutzbare Lichtmenge ohne Fresnel 2  
 Bildprojektionslinien  
 rot: Mittelpunktstrahl bleibt Mittelpunktstrahl  
 blau: Parallelstrahl wird Brennstrahl  
 Schnittpunkte: Fokussierebene

Bei einem herkömmlichen OHP denke man sich noch einen Spiegel kurz vor oder nach dem Objektiv und das Ganze dann um 90 Grad gegen den Uhrzeigersinn gedreht (Licht unten).

Titel	Beamer Eigenbau		
© Verfasser	Werner Schmid	Untertitel	Prinzip
Maßstab		Datum	Januar 2004

Der Wunsch nach einem Beamer kam 2002 nach unserem Urlaub in Ägypten auf, nachdem ich ca. 450 Fotos dort gemacht hatte. Luxor bei Nacht kommt auf einem 15-Zoll-TFT-Monitor einfach nicht so eindrucksvoll wie auf einer großen Leinwand. Allerdings waren meine drei Mädels zuhause (Frau und zwei Kinder) von dem Gedanken sehr angetan, dass man damit ja auch super Videos im Kinoformat anschauen kann. Entsprechend groß war dann auch der Erfolgsdruck. Nachdem ich bei ebay eine Bauanleitung für einen LCD-Beamer gekauft hatte und dadurch ermutigt wurde, fing ich an, Pläne für meinen eigenen Beamer zu schmieden. Unter den verschiedenen Möglichkeiten (siehe unten) habe mich für eine komplette Selbstbauweise entschieden, da man damit flexibler ist. Es gibt Lösungen mit OHP und aufgelegtem Panel mit Gehäuse um die ganze Konstruktion, aber das schien mir zu klobig.

Man kann so einen Beamer natürlich nicht mit einem professionellen Gerät vergleichen, weder in Hinsicht auf die Qualität (außer vielleicht mit den neuerdings angebotenen Billigbeamern unter 1000 €!), noch auf die Ausmaße oder das Gewicht (10kg in meinem Fall). Aber der Anschaffungspreis, die Unterhaltskosten und auch die Reparaturmöglichkeiten wirken sich doch ganz schön im Geldbeutel aus. Und noch ein Spruch aus dem Forum: Nur was man selbst gebaut hat, gehört einem wirklich!

## Die Möglichkeiten

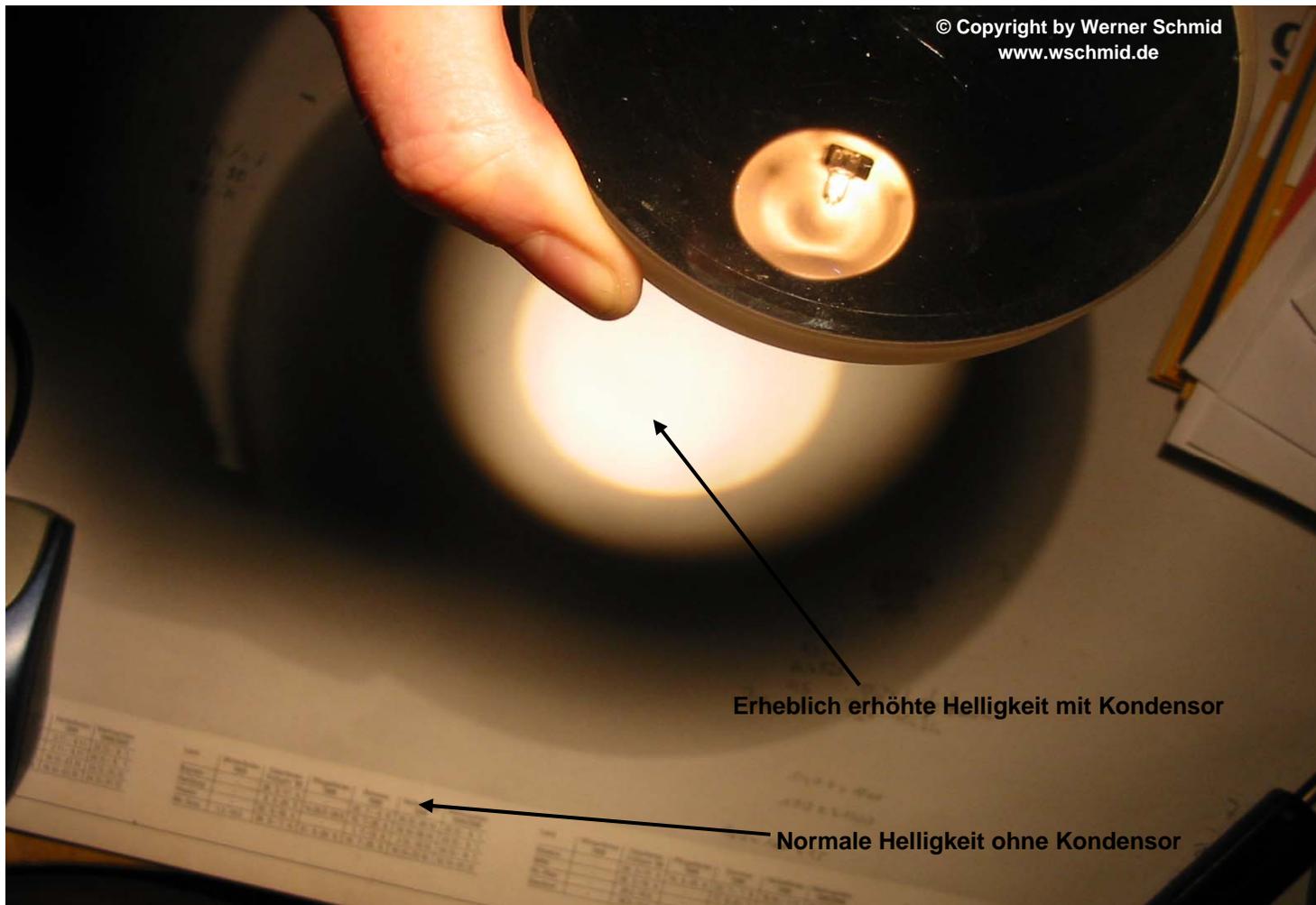
Für den Selbstbau eines Beamers bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an:

**1. Die herkömmliche Art mit einem Overheadprojektor (OHP) und einem LCD-Panel**, das an den PC oder einen sonstigen Bildgeber angeschlossen wird. Diese Art ist weit verbreitet, weil sie einfach und ohne große handwerkliche Anforderung zu bewältigen ist. Die Teile gibt es fertig zu kaufen und wenn man weiß, wo welches Kabel einzustecken ist und wie die Geräte bedient werden müssen, dann kann man damit schon umgehen. Wer das Ganze noch etwas verschönern will, baut zumindest um den OHP und das Panel noch ein eigenes Gehäuse, damit alles so zusammenbleibt, wie es soll. Sogar komplett neue Gehäuse nach dem OHP/Panel-Prinzip gibt es.

**2. Ein kompletter Eigenbau** aus lauter Einzelteilen wie hier dokumentiert. Diese Version erfordert erheblich mehr Kreativität, technisches Knowhow und handwerkliches Geschick. Dafür hat man aber selbst Einfluss auf Qualität und Größe. Verwenden kann man dafür im Prinzip jeden TFT-Monitor bis 15 Zoll, darüber wird man Probleme bekommen, Fresnellinsen in ausreichender Größe zu bekommen oder auch das ganze TFT gleichmäßig auszuleuchten. Beim Kauf sollte man auch auf Kontrast und Reaktionsgeschwindigkeit achten sowie auf die Auflösung und die Anzahl der darstellbaren Farben, denn auch davon hängt letztendlich das Ergebnis an der Leinwand ab.

Sehr wichtig ist auch die Zerlegbarkeit des Monitors. Es sollten nach dem Auseinanderbauen die Kabel vom eigentlichen TFT (das ist die Glasscheibe) zur Steuerung so zu verlegen sein, dass sie nicht mehr den Bildbereich kreuzen. Am einfachsten geht das naturgemäß bei Monitoren, wo nur ein so genanntes FFC-Kabel (Flat Flexible Cable) aus dem TFT kommt, schwierig wird es bei solchen, wo die Kabel auf zwei Seiten aus dem Glasteil kommen, da wird man ohne Kabelverlängerung nicht auskommen - und die ist nicht ganz so einfach. Der Zerlegung meines Lilliput-Monitors habe ich ein eigenes Kapitel gewidmet.

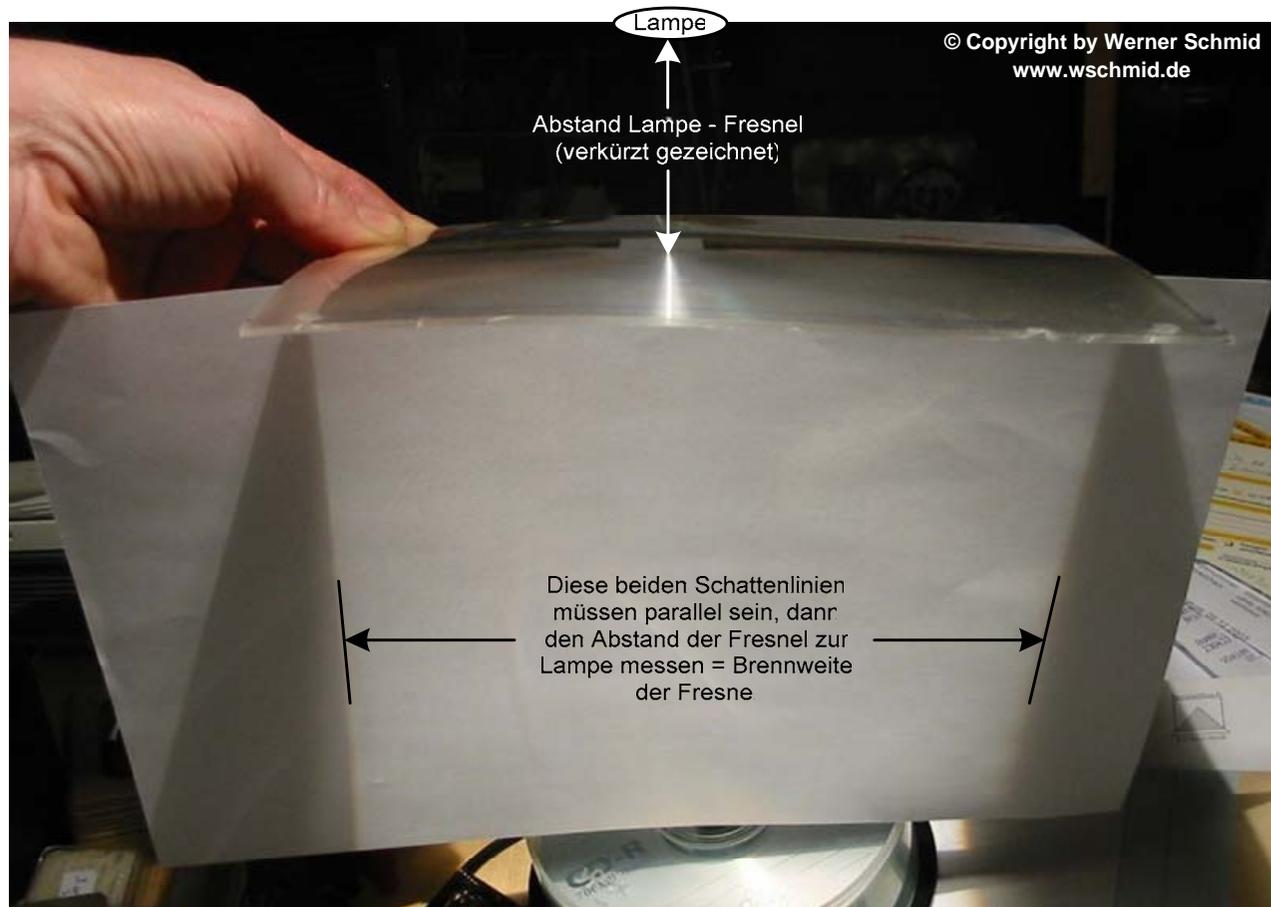
Als Lichtquelle wird manchmal Halogen verwendet, besser ist aber HQI (Metaldampflampen), bei diesen ist aber auf ausreichend UV-Schutz zu achten! Je nach Größe des verwendeten TFTs sind Lampen ab 150W Daylight ausreichend. Eine Verbesserung der Ausleuchtung kann ein Kondensator bringen, das ist nichts weiter als eine Linse, die das Licht zum TFT hin bündelt. Die Wirkung kann leicht selbst getestet werden, wenn man eine Linse unter eine Lampe hält und den Abstand variiert; der Bereich, der über die Linse ausgeleuchtet wird, ist erheblich heller als der Bereich daneben. Dazu gleich ein Bild:



Laut einer Beschreibung, die ich bei der TU München , Fakultät für Physik gefunden habe, bewirkt der Kondensor auch eine gleichmässige Ausleuchtung des Bildes. Dies kann ich aus eigener Erfahrung bestätigen, der sogenannte Hotspot tauchte nicht mehr auf, das Bild war auch in den Ecken hell. In einer anderen Quelle habe ich noch folgende Defintion gefunden: Ein Kondensor ist ein optisches System aus einer oder mehreren, oft asphärischen Sammellinsen oder Spiegelflächen zwischen Lichtquelle und dem abzubildendem Objekt. Der Kondensor lenkt alles Licht, das das Objekt durchsetzt, in das abbildende Objektiv (Projektor).

Die Fresnellinse kann im günstigsten Fall kostenlos aus einem alten OHP entnommen werden. Bei der Eigenbauversion bietet es sich an, die Linse zu teilen. Eine komplette Fresnel besteht aus zwei Linsen, die mit der Rillenseite nach innen an den Rändern zusammengeklebt sind. In der Regel sind die Ergebnisse mit geteilter Fresnel - eine vor und eine nach dem TFT - besser als mit einer ungeteilten. Da die Brennweiten der beiden Fresnellinsen unterschiedlich sein kann - in der Regel wird die zur Lampe gerichtete Linse eine kürzere Brennweite haben als jene, die zum Objektiv zeigt - muss man beim Zerlegen oder auch beim Verkleinern auf eine entsprechende Markierung achten, da dann eine eventuelle Originalbeschriftung nicht mehr vorhanden ist. Ist man sich über die einzelnen Seiten doch nicht mehr im Klaren, kann man mit einer einfachen Methode die Brennweite einer Fresnel messen:

Dazu genügt eine Lampe, ein Blatt Papier und ein Lineal. Am einfachsten das Papier mit Tesafilm mittig unter die Linse kleben, dann die Linse unter die Lampe halten und soweit auf- oder abwärts bewegen, bis die Schattenränder der Lampe auf dem Papier parallel sind. Dann den Abstand der Linse zur Lampe (dem Leuchtkörper) messen; dieser Abstand entspricht der Brennweite der Fresnel.



Auf das Objektiv sollte auch einiges Augenmerk gelegt werden, davon hängt einerseits die Größe des Gehäuses ab, andererseits auch die Projektionsgröße. Zum Berechnen der Abstände kann am Besten das Excelfile "Berechnungstool.xls" verwendet werden.

### **So, und nun zu meiner Konstruktion:**

Wie schon ganz oben bemerkt, dies ist keine Bauanleitung. Da es nahezu unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten von Displays (zerlegte Monitore, OHP-Panels), Objektiven, Fresnellinsen, Lampen usw. gibt, ist es unmöglich, eine allgemeingültige Bauanleitung erstellen zu wollen. Bauanleitungen, wie sie bei ebay verkauft werden, zeigen auch nur die verschiedenen Möglichkeiten und Prinzipien auf. Ich habe auch mit so einer Anleitung angefangen, aber es war eben nur ein erster Kontakt mit dieser Materie; richtige Hilfe und Informationen habe ich erst im DIY-Forum ([www.diy-community.de](http://www.diy-community.de)) erhalten, dem ich bei dieser Gelegenheit meinen Dank aussprechen will.

Eigene Kreativität ist gefragt und das ist ja eigentlich auch der Sinn eines **DoItYourself-Beamers**.

Daher gibt es auch hier keine Anleitung nach dem Motto "Man schraube Teil A mittels der Schraube B an Teil C fest". Meine Doku besteht aus einer kurzen Beschreibung der verwendeten Teile, einer ebenso kurzen Erläuterung wie und warum ich das so und nicht anders gemacht habe und vielen, vielen Fotos. Streng nach dem Motto "Ein Bild sagt mehr als tausend Worte" habe auf diesen Teil der Doku mehr Wert gelegt als auf eine detaillierte Beschreibung von irgendwelchen Kleinigkeiten und Einzelheiten. Mir liegen solche Anleitungen mehr und daher gebe ich mein Wissen auch auf diese Art weiter.

### **Gehäuse**

Das Gehäuse ist zum Großteil aus Holz. Die Bodenplatte besteht aus 18mm 3-Schicht-Fichte (im Prinzip wie Sperrholz, nur dicker); die Außenwände sind aus Buchensperrholz 5mm (durch und durch Buche, also nicht nur die Deckschichten wie bei normalem Sperrholz; das ist leicht und trotzdem sehr stabil); die Außenwand mit dem Brenner (Lampe) ist aus Alublech. Die Gesamtmaße betragen Länge = 50cm, Höhe = 28cm und die Tiefe = 23cm ohne Objektiv.

Die Verbindung der einzelnen Teile erfolgte per Schrauben - entweder direkt ins Holz mit Spaxschrauben (nur in die Bodenplatte) oder mit metrischen Schrauben und Muttern über Alu-Profile (Winkelschienen, U-Profile, selbstgebogene Teile). Zur Befestigung des TFTs im Gehäuse habe ich eine 4mm dünne Betoplanplatte genommen; das ist im Prinzip auch Sperrholz mit einer speziell beschichteten, glatten, schwarzen Oberfläche. Das ergab sich so, weil es eben in meiner Werkstatt vorhanden war, wie so manche anderer Sachen. Das Ganze sollte schließlich nicht in einem Konzern vor internationaler Kundschaft präsentiert werden, sondern im engsten Familien- und Freundeskreis.

Auf der rückwärtigen Langseite sind zwei Aufhängelaschen angebracht, wie man sie für kleine Schränke etc. verwendet, da ich schon von Anfang an geplant hatte, den Beamer seitlich an eine Mauer zu hängen. In meinem Wohnzimmer ist zur Terrasse hin eine Ecke, die genau gegenüber der Wand ist, die für die Projektion vorgesehen war; also bot es sich an, den Beamer dort aufzuhängen, zumal damit auch Verzerrungen wegen Schrägprojektion ausgeschlossen waren - der Beamer hängt genau auf Höhe der Leinwandmitte.

Mir ist klar, dass ich mit diesem Gehäuse keinen Preis gewinnen kann, aber für die am Anfang notwendigen Basteleien, Änderungen und Anpassungen war diese Form zunächst mal am einfachsten und zweckmäßigsten. Wenn mal die Technik und Optik perfekt steht werde ich sicher auch den äußeren Teil noch ein wenig gefälliger gestalten!

### **TFT**

Das erste TFT, das ich verwendet habe, war ein 5,6-Zoll-TFT mit einer Auflösung von 960 (RGB) x 234; nicht gerade das Gelbe vom Ei, aber für erste Versuche und um das Prinzip besser zu verstehen, ausreichend. Auch Videos wurden noch ausreichend wiedergegeben (siehe Fotos), bei Präsentationen vom PC wird es allerdings etwas grob. Der Abstand des Zuschauers zur Leinwand sollte auch nicht zu gering sein, da man sonst tatsächlich die einzelnen Pixel zählen kann.

Danach habe ich mich entschlossen, ein höherwertiges Display zu verwenden. Da ich zu diesem Zeitpunkt schon lange in der DIY-Community unterwegs war, einer Site, bei der es um den Selbstbau von Beamern geht (die beste Site überhaupt!) und mich tiefer in die Materie eingearbeitet hatte, habe ich mich dann zum Kauf eines 7-Zoll-Monitors von Lilliput entschieden. Dieses TFT ist relativ einfach zu zerlegen (siehe "Lilliput 7" VGA-Monitor zerlegen"), hat keine störenden Kabel, die nicht oder nur schwer aus dem Blickfeld zu bringen sind und es hat eine gute Auflösung von echten 800 x 600 Pixeln.

Sehr wichtig auch: Das TFT hat nicht nur einen Composite-Eingang, sondern auch einen VGA-Anschluss; somit habe ich die Möglichkeit, vom PC über Videorekorder bis zum DVD-Player alle Geräte anschließen zu können.

Die Rückseite des Monitors samt Steuerung wurde komplett mittels des mitgelieferten Standfusses auf die Bodenplatte geschraubt, dazu musste lediglich ein so genanntes FFC-Kabel gegen ein Längeres ausgetauscht werden. Leider gibt es nicht viele Firmen, die solche Kabel in kleinen Mengen abgeben; ich fand zum Glück eine ([www.esskabel.de](http://www.esskabel.de)), wo die Mindestbestellmenge nur bei 5 Stück lag (kein Problem, da sich im DIY-Forum genügend Interessenten fanden).

Das Vorderteil des Originalgehäuses habe ich in die linke Seitenwand meines Beamers integriert, somit habe ich die Möglichkeit, das TFT mit den Originaltasten bedienen zu können sowie mit der mitgelieferten Fernbedienung. In die Öffnung, wo vorher das Display war, habe ich eine Alu-Platte eingebaut, in der Kaltgerätebuchse, Schalter und Anschlußbuchsen ihren Platz fanden - somit sind alle Anschluss- und Bedienungskomponenten konzentriert.

Diese ganze Konstruktion hat auch noch den Nebeneffekt, das kein Teil des Monitors beschädigt wird und ich ihn jederzeit wieder komplett zusammenbauen kann, falls ich irgendwann mal noch was besseres finde.

### **Belüftung**

Die Belüftung des Beamers erfolgt über drei 8cm-Lüfter. Der untere Lüfter dient der Kühlung des TFT, daher leitet ein Luftleitblech die angesaugte Luft direkt dort hin (ohne Kühlung wird das TFT durch die Hitzeentwicklung dunkler, d. h. lichtundurchlässiger und kann mit der Zeit auch Schaden nehmen). Zwei weitere Lüfter "entsorgen" die heiße Luft oben über eine Lufthutze, die ich verwende, um Streulicht aus dem Beamer zu vermeiden.

### **Licht**

Das komplette Lichtequipment habe ich bei der Firma Breidenbach bestellt. Es gibt sicher günstigere Lösungen, aber da bekam ich eben alles aus einer Hand und war sicher, dass alles zusammenpasst und auch funktioniert, was man bei einzeln über ebay bezogenen, eventuell auch gebrauchten Teilen nicht unbedingt behaupten kann. Meine Lösung besteht aus einer 250W-HQI in FC2-Fassung (Stabform), dahinter ein Reflektor (nicht im DIY-Beamer-Sinn, mehr so als Lampengehäuse-Ersatz) aus Alu, zusätzlich ein "richtiger" Reflektor aus einem OHP, und einer Drossel-Starter-Kondensator-Kombination, ein ziemlich schweres Teil, das aber prima funktioniert.

Als Schutz vor UV-Strahlen ist vor dem Brenner eine hitzebeständige UV-Filterglasscheibe montiert. Davor habe ich, um das Licht besser auszunutzen, einen so genannten Kondensator angebracht; das ist nichts anderes als eine - in der Regel plankonvexe - Linse, die das Licht noch etwas bündelt, so dass mehr Licht durch das TFT fällt.

Der ganze Aufbau ist zugegebenermaßen eine etwas eigenwillige Konstruktion. Alle Komponenten werden von vier Gewindestangen M6 zusammengehalten, UV-Schutzglas und Kondensator ruhen in jeweils zwei Alu-U-Profilen, wobei die für den Kondensator jeweils am unteren Schenkel des U eine Aussparung erhalten haben, in denen die Linse sicher ruht. Durch diese Art der Befestigung ist es mir allerdings auch möglich, jede Komponente individuell zu verstellen.

### **Optik**

Das Objektiv war ein Glücksgriff bei ebay. Es hat eine Brennweite von 285mm, ist ein Zweilinser mit einer Blende zwischen den einzelnen Linsen. Das eigentliche Objektiv ist mit einem Gewinde versehen, mit dem man es in einen Flansch schrauben kann. Da dieses Gewinde nicht mittig am Objektiv angebracht ist und man es daher vorwärts und rückwärts in den Flansch schrauben kann, ergibt sich bei jeweils ganz eingeschraubtem Gewindebereich ein Verstellbereich von ca. 25 mm, der sich gut dafür eignet, den Beamer auf verschiedene Abstände zur Leinwand zu fokussieren (Laut Berechnung von 250 bis 700 cm bei Bilddiagonalen von 138 bis 420 cm). Den Flansch habe ich einfach mit drei Schrauben über eine Öffnung in der Vorderwand an das Gehäuse geschraubt, die mit TFT-Mitte, Mitte der beiden Fresnellinsen und Lampe auf der optischen Achse der Projektion sitzt.

Meine erste Fresnellinse war aus einem alten OHP, was auch nicht zu übersehen war. Etwas trübe und leicht gewölbt hat sie am Anfang doch gute Dienste verrichtet. Später kam dann eine neue Linse zum Einsatz, deren Bearbeitung im Verlauf der Doku noch näher beschrieben wird. Bearbeitet wurde die Linse deswegen, weil sie im Originalzustand zu groß für mein Gehäuse war und weil das so genannte Sandwichverfahren (Linse - TFT - Linse) Vorteile bezüglich Helligkeit und Schärfe hat. Dazu muss man auch wissen, dass eine OHP-Fresnel aus zwei Linsen besteht, die mit der Rillenseite zueinander verklebt sind. Näheres dazu noch später.

## **Stromversorgung**

Ursprünglich hatte ich zwei kleine 12V-Schaltnetzteile eingebaut, eins für das TFT und eines für die Lüfter, die ich daher auch mit geringerer Spannung und daher weniger Geräusch betreiben konnte. Nachdem mir dann aber eines der Netzteile abgeraucht ist, bin ich auf ein Netzteil für ein externes Laufwerksgehäuse gestoßen mit 12 und 5 Volt und jeweils 3 A, das seither in meinem Beamer seine Dienste erfüllt. Das Netzteil hat sogar einen eigenen kleinen Lüfter und die Leistung sollte doch gut ausreichend sein. Eventuell werde ich mir noch eine Regelung für die Lüfter einbauen, wenn deren Geräusch stört.

## **Anschlüsse, Bedienung**

Für die Anschlüsse der Signale und der Stromversorgung sowie der zugehörigen Schalter habe ich eine Aluplatte passend ausgesägt, die ich dann in den Frontrahmen des TFT eingebaut habe. Das Ganze wurde mit Winkeln an der Bodenplatte angebracht und die Seitenwand des Beamer passend ausgeschnitten. Diese Aluplatte nimmt die Kaltgerätebuchse, zwei Schalter (ein Hauptschalter und einen für die Lampe, wobei die Lampe nur bei eingeschaltetem Hauptschalter und somit laufenden Lüftern einzuschalten ist) sowie die Cinch- und die VGA-Buchse auf. Durch die Verwendung des kompletten Frontrahmens mit Tasten des TFTs ist eine Einstellung des Gerätes sowohl über die Tasten als auch über die Fernbedienung möglich.

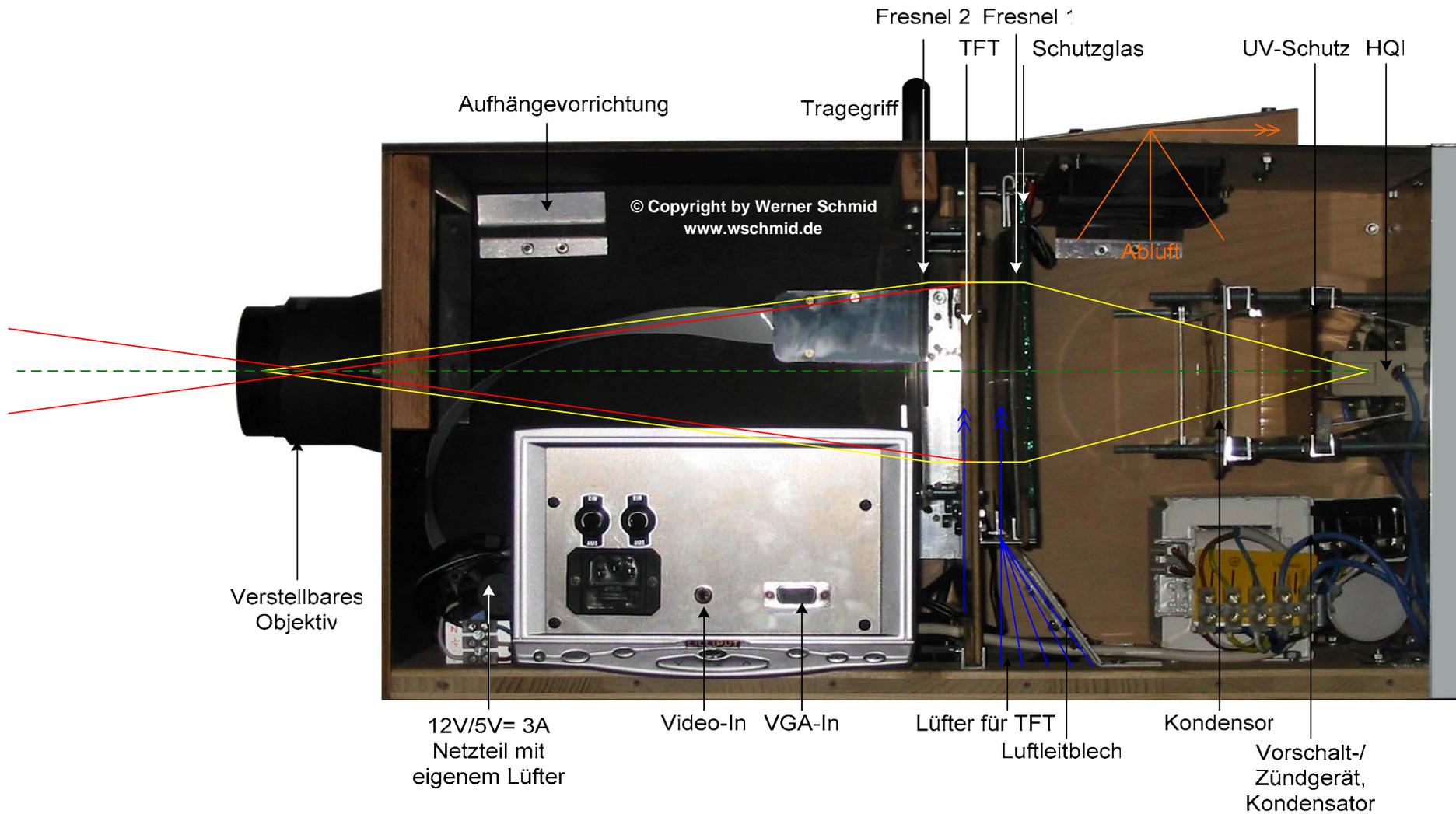
## **Elektrik**

Die war für mich noch die leichteste Übung, schließlich habe ich die Grundlagen der Elektrotechnik mal gelernt. Der Anschluss an das Stromnetz erfolgt natürlich über eine Kaltgerätebuchse. Um flexibel zu sein habe ich den Anschluss des Netzteils an die Schalter mit einer an einem Winkel befestigten Lüsterklemme gelöst. Die Niederspannung (12V und auch die 5V) liegt an einer Platine und endet jeweils an Pfostensteckern. Von dort kann sie durch mit den passenden Steckschuhen versehenen und mit Schrumpfschlauch isolierten Kabeln abgenommen werden. Somit kann ich jeden Lüfter und auch das TFT einzeln von der Stromversorgung trennen. Die Cinch- und die VGA-Buchse sind jeweils als Durchführung ausgelegt, d. h. die Originalkabel kann ich innen im Gehäuse aufstecken und das jeweilige externe zum bildgebenden Gerät an der Außenseite. Somit wird keines der Kabel beschädigt und man könnte jederzeit den Monitor wieder in den Lieferzustand zurückversetzen.

## **Anmerkung zu den Kosten:**

Am Ende dieser Doku findet man eine Zusammenstellung meiner verwendeten Komponenten mit Herkunft und Preis. Man beachte dabei, dass es sich bei vielen dieser Teile um Neuware handelt. Für eigentlich Alles kann man aber auch gebrauchte Teile verwenden, was die Gesamtkosten natürlich senkt. Allein der verwendete Monitor hat die Hälfte der Kosten verursacht (zwischenzeitlich ist auch dieser durch Sammelbestellung im Forum billiger). Es gibt einige Beispiele, die mit ca. der Hälfte meiner Kosten ausgekommen sind. Das Problem bei gebrauchten Teilen z. B. von ebay ist nur die fehlende Funktionsgarantie, bei Neuware weiß ich, dass sie - zumindest vor meinem Umbau - funktioniert.

Und das ist er nun, mein Beamer! Das Gehäusedesign gewinnt sicherlich keinen Preis, dafür war der Aufbau relativ einfach und unkompliziert.



Titel	Beamer Eigenbau Vers. 2		
© Verfasser:	Werner Schmid	Untertitel	Fotc
Maßstab:	1:2,5	Datum	Januar 2004

Ein kleiner Ausflug in die Profi-Projektor-Technik:

## Daten- und Videoprojektoren

Gerade in letzter Zeit sind von verschiedenen Firmen Projektoren auf den Markt gebracht worden, denen ganz unterschiedliche Funktionsprinzipien zugrunde liegen. Bis vor wenigen Jahren waren Videoprojektoren fast ausschließlich **CRT-Projektoren**, also Projektoren, bei welchen das Fernsehbild in die drei Grundfarben zerlegt, auf je einer Kathodenstrahlröhre dargestellt und durch drei Objektive auf den Bildschirm projiziert wird. Diese Technik hat jedoch eine Reihe von Nachteilen. Angefangen von den Schwierigkeiten die es bereitet, bei Änderung der Projektionsentfernung die drei Einzelbilder wieder zur Deckung zu bringen, bis zur physikalisch bedingten Verknüpfung der Bildqualität mit der Lichtstärke: Durch die gegenseitige Abstoßung der Elektronen führt eine Erhöhung der Lichtstärke, die hier ja nur über einen stärkeren Elektronenstrahl zu erreichen ist, zu einem größeren Bildpunkt und damit zu geringerer Auflösung, also Bildschärfe. Dieses System ist weder für die Tageslichtprojektion noch für das hochauflösende Fernsehen (HDTV) geeignet.

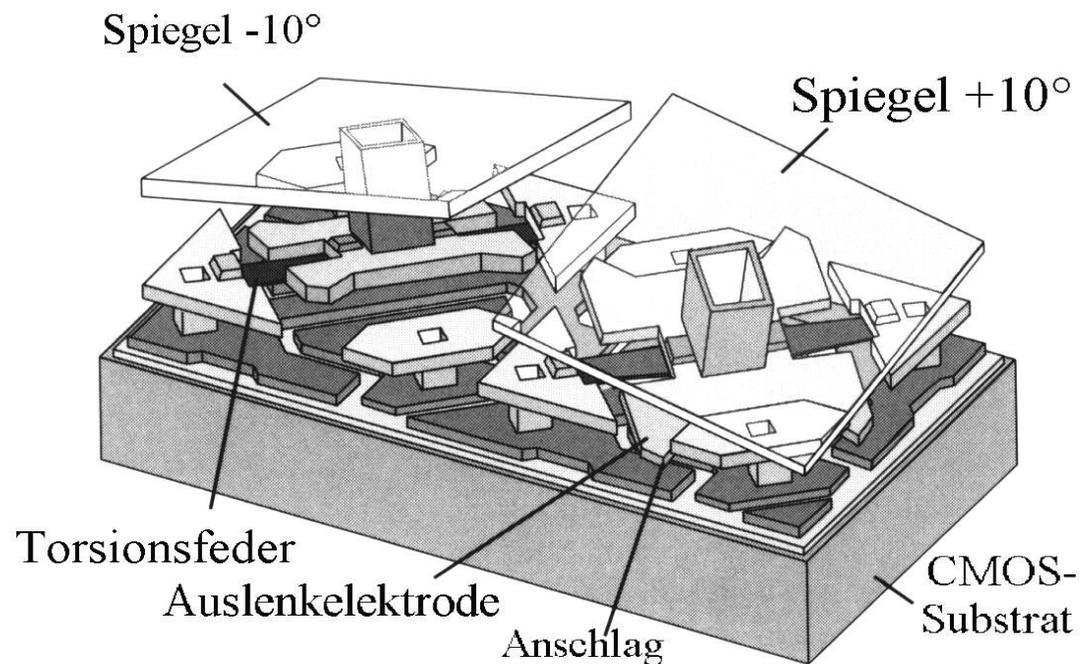
Moderne Videoprojektoren sind sogenannte "**Lichtventilprojektoren**" (light-valve projection). Lichtventile bestehen allgemein aus einer steuerbaren Substanz, die dem Lichtstrom aus einer lichtstarken Projektionslampe die Bildinformation entsprechend der angelegten elektronischen Signale aufprägt. Eine Möglichkeit, den Lichtstrom bildgebend zu beeinflussen, bietet das Flüssigkristall-Display (LCD), und von verschiedenen Firmen wurden bereits Projektoren in dieser Technologie sowohl für Spezialanwendungen als auch für den Konsumer-Bereich auf den Markt gebracht. Die meisten dieser Projektoren beruhen auf Diaprojektion, das heißt, das Licht des Kondensors wird durch das LCD geleitet und bildgebend beeinflusst. Das Prinzip entspricht damit dem eines Dia- bzw. Filmprojektors, bei dem das Dia bzw. der Film durch ein LCD ersetzt ist. Da mit einem LCD nur Grauwerte geschaltet werden können, wird zur Farbprojektion derzeit meist ein System aus 3 LCDs verwendet. Hier wird das weiße Licht des Kondensors zuerst in die drei Grundfarben (Rot, Grün und Blau) zerlegt, nach Durchgang durch die LCDs mittels Farbteilerwürfel wieder zusammengespiegelt, und mit einem gemeinsamen Objektiv projiziert.

Die lichtstärksten dieser Projektoren bringen über 1000 ANSI-Lumen auf die Projektionswand und würden sich damit recht gut für den Einsatz im Klassenzimmer eignen. Einer weiteren Erhöhung des Lichtstromes sind aber doch gewisse Grenzen gesetzt: Die Funktion der LCD beruht auf Drehung der Polarisationsebene - nicht benötigtes Licht (schwarzes Bild bzw. Bildanteile) wird in Polarisationsfolien absorbiert. Nun ist Licht natürlich auch eine Energieform und führt damit zu einer entsprechenden Erwärmung der Polarisationsfolien, die im allgemeinen auf den LCD aufgeklebt sind. Und LCD funktionieren nur bis etwa 65°C. LCD-Projektoren bei denen ein Farb-LCD verwendet wird sind älteren Ursprungs und damit billiger, aber größer und lichtschwächer.

Abgesehen von diesen, auf **Diaprojektion** beruhenden Verfahren gibt es auch Verfahren, die auf **Epiprojektion** beruhen. Der älteste für Großbildprojektion geeignete Projektor ist der sogenannte **Eidophor-Projektor**, bei dem eine Ölschicht auf einem sphärischen Reflektor durch ein von einem Elektronenstrahl eingeschriebenes Ladungsmuster deformiert wird. Das Licht erfährt bei der Reflexion keine Abschwächung, sondern wird an jenen Stellen, an denen der Ölfilm deformiert ist, nur etwas in der Richtung geändert (phasenmoduliert). Die Umwandlung dieser Phasenmodulation in eine Intensitätsmodulation (Projektionsbild) wird durch ein schlierenoptisches Dunkelfeldsystem bewerkstelligt. Vereinfacht gesagt: Lichtstrahlen die am Reflektor nicht in ihrer Richtung geändert wurden werden zur Lampe zurück reflektiert, jene, deren Richtung durch die deformierte Ölschicht geändert wurde, gelangen ins Projektionsobjektiv und führen zu einem entsprechenden Bildpunkt auf der Projektionswand.

Da die Lichtstärke nur von der verwendeten Lampe abhängig ist, sind große helle Bilder mit hoher Auflösung möglich. Da auch das zur Bildgestaltung nicht benötigte Licht am Reflektor reflektiert und nicht absorbiert wird, führt es zu keiner Erwärmung. Derartige Projektoren wurden in den letzten Jahren z.B. anlässlich der Wiener Festwochen auf dem Rathausplatz zur Projektion von Opern und Konzerten verwendet.

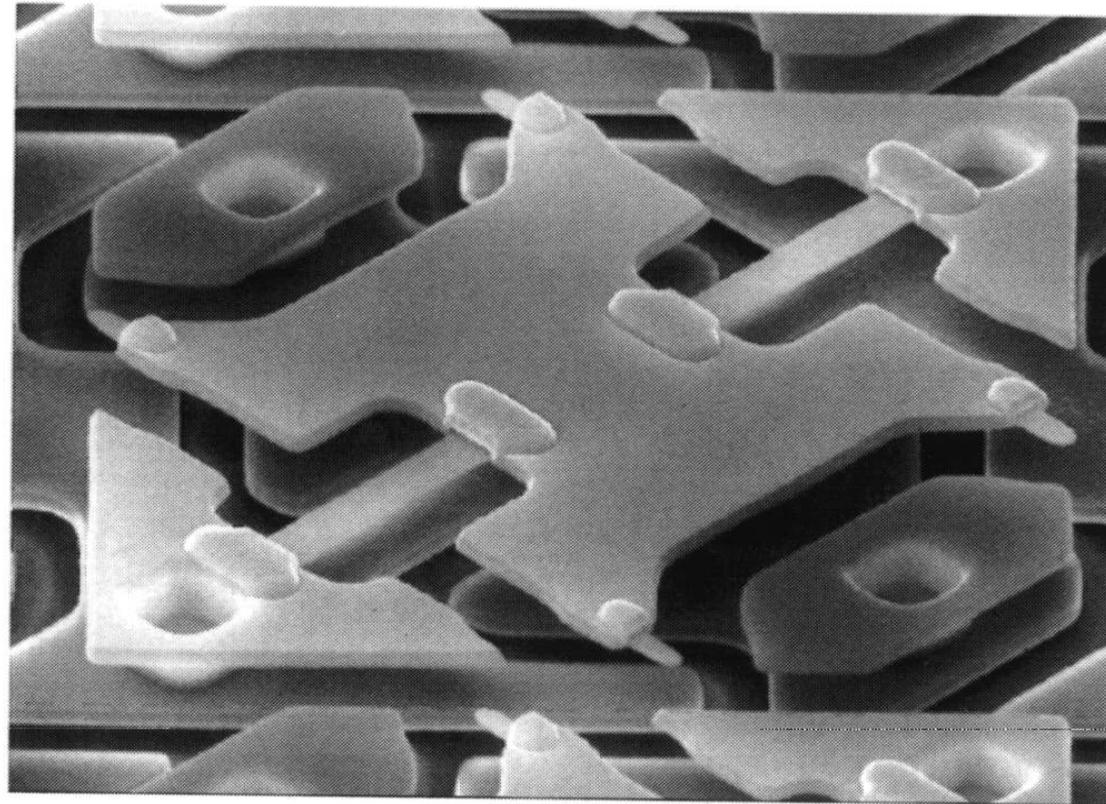
In letzter Zeit wird intensiv an Verfahren zur Lichtmodulation gearbeitet, die zu einem, dem Eidophor-Projektor ähnlichen Projektionssystem führen. Eines dieser Verfahren stellt eine geradezu ideale Verbindung **mechatronischer** und **optischer** Prinzipien dar, und da es kurz vor der Markteinführung steht, möchte ich es hier etwas ausführlicher beschreiben: Herzstück dieses Projektionssystems ist eine Spiegelanordnung, die aus einer großen Zahl von winzigen Einzelspiegeln besteht. Diese Spiegelanordnung wird als **DMD** (Digital Micromirror Device) bezeichnet. Jeder quadratische Einzelspiegel hat eine Seitenlänge von  $16\mu\text{m}$  (neuerdings  $13\mu\text{m}$ ), und ist mit Torsionsfedern gelagert. In Abb. 1 ist eine Anordnung aus zwei derartigen Spiegeln dargestellt. In Ruhelage, d.h. ohne jede Ansteuerung, sind die Spiegelflächen der Einzelspiegel (in Abb. 1 durchsichtig gezeigt) parallel zur Grundfläche angeordnet. Wenn sie durch die Elektronik (CMOS-Matrix) angesteuert werden, können sie in die zwei dargestellten Richtungen gekippt werden: In einer Endstellung sind sie um  $-10^\circ$  (neuerdings  $-12^\circ$ ) gekippt (Off), in der zweiten Endstellung um  $+10^\circ$  ( $+12^\circ$ ) (On). Der Kippwinkel von  $\pm 10^\circ$  ( $\pm 12^\circ$ ) wird dabei durch Anschläge begrenzt. Die Spiegelkippen werden durch elektrostatische Anziehung bewirkt, die durch eine entsprechende Spannungsdifferenz zwischen Spiegel bzw. Auslenkelektrode und dem entsprechenden Speicherbaustein in der CMOS-Matrix hervorgerufen wird.



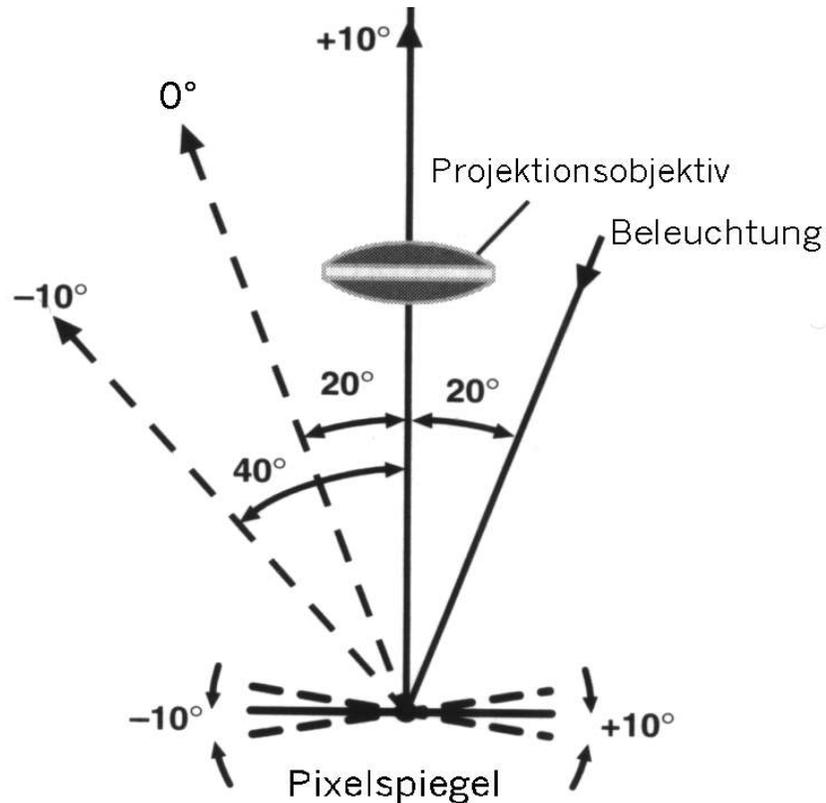
Ausgangspunkt zur Herstellung eines DMD ist die Fertigung eines CMOS Schaltkreises auf einem entsprechenden Substrat. Eine relativ dicke Oxidschicht wird über der letzten Metallschicht des CMOS aufgebracht und dann mit Hilfe einer speziellen chemo-mechanischen Poliermethode (CMP) exakt planpoliert. Dies ist notwendig, damit für die Herstellung aller Einzelspiegel exakt die gleichen Voraussetzungen gegeben sind. Der Aufbau der Mikrospiegelstruktur erfolgt unter Verwendung von sechs Photomasken, mit deren Hilfe mittels dünnfilmtechnischer Methoden nacheinander die Elektroden, Torsionsfedern und Spiegel sowie Abstandshalter aus Aluminium geformt werden. Um die notwendigen Abstände zwischen den einzelnen Aluminiumschichten herzustellen werden Schichten aus organischen Materialien aufgebracht.

Die Struktur der einzelnen Aluminiumschichten wird durch ein Plasma-Ätzverfahren unter Verwendung einer SiO<sub>2</sub>-Ätzmaske geformt. Nach Fertigstellung der letzten Schicht (Spiegelflächen) werden die organischen Schichten mittels Plasmaätzverfahren wieder gelöst. Zuletzt wird noch ein dünner Ölfilm aufgebracht, damit die Anschläge der Auslenkelektroden während der Schaltvorgänge nicht durch Adhäsionskräfte an der Unterlage haften bleiben.

Die Abbildung unten zeigt die mit einem SEM (Scanning Electron Microscope) aufgenommene Struktur eines Mikrospiegelhalters, ohne den aufgesetzten Spiegel. Deutlich sind die Torsionsbandfedern und die Anschläge an den Spitzen der Auslenkelektrode zu sehen.



## Optisches Prinzip:



Unterschiedliche Grauwerte können durch verschieden lange Auslenkzeiten der Mikrospiegel erhalten werden, da das Auge für sich in kurzen Zeitabständen ( $1/50$  Sekunde) ständig wiederholende Lichtimpulse integrierend wirkt. Da die minimale optische Schaltzeit etwa  $2 \mu\text{s}$  beträgt, bleiben auch bei einer Bildwiederholfrequenz von 50 Bildern/s genügend Zeitintervalle um 256 oder sogar 1024 Graustufen darzustellen.

Das DMD kann als "Lichtschalter" (SLM, Spatial Light Modulator) aufgefasst werden mit dessen Hilfe das vom Kondensator gebündelte Licht in das Objektiv gespiegelt, oder am Objektiv vorbeigelenkt wird (DLP, Digital Light Processing system). In der Abbildung links ist dieses Prinzip für einen Einzelspiegel dargestellt. Da die Änderung der Lichtrichtung bei einer Spiegeldrehung jeweils doppelt so groß ist wie der Drehwinkel des Spiegels, kann der Kondensator um etwa  $20^\circ$  gegenüber der Projektionsachse verschwenkt sein. Wichtig ist, dass auch das sogenannte "0°-Licht" nicht in das Projektionsobjektiv gelangt, da sonst ein "Pixelfehler" zu einem hellen, störenden Bildpunkt führen würde. In der praktischen Ausführung ist dieser Aufbau natürlich nicht möglich, da ja die ganze DMD-Fläche gleichmäßig ausgeleuchtet werden muss, und das Licht dann in der Eintrittspupille des Projektionsobjektivs konzentriert werden soll um ein helles Projektionsbild zu erhalten. Es müssen also weitere optische Elemente – Prismen und/oder Linsen – angeordnet werden.



DLP-Objektiv für SXGA-Auflösung

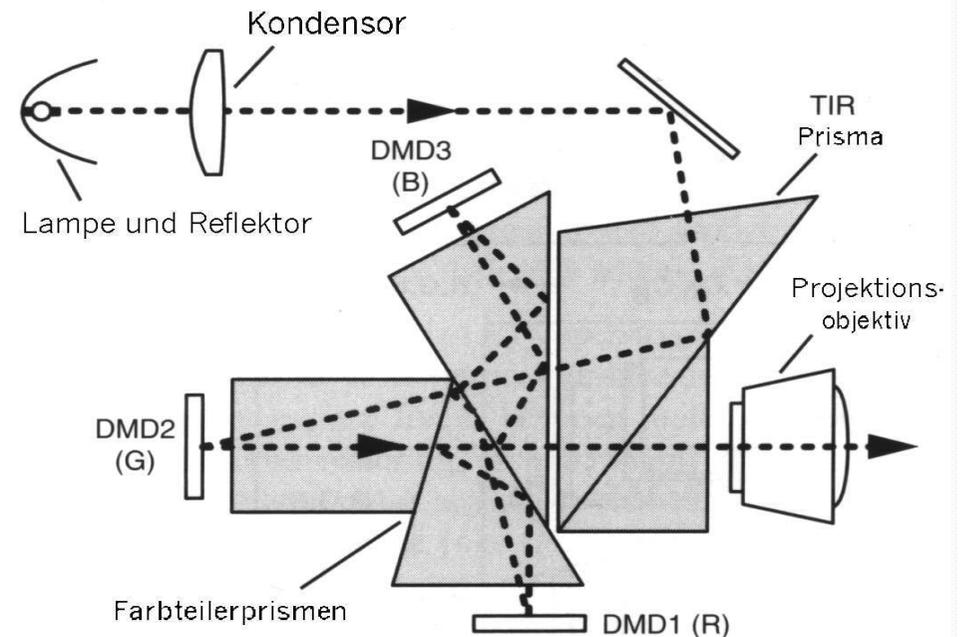
Wie aber wird das System farbtauglich? Eine Möglichkeit ergibt sich aus den kurzen Schaltzeiten des DMD und der Tatsache, dass das menschliche Auge auch nacheinander dargestellte Farben integriert und uns als Mischfarbe erkennen lässt. Die als RGB-Signal vorliegenden Bildinformationen werden der Elektronik des DMD nacheinander aufgeschaltet und damit nacheinander projiziert. Zwischen Kondensator und DMD befindet sich ein sogenanntes Farbrad, also ein dreigeteiltes Filterrad, das in seinen Farbsegmenten die Farbanteile Rot, Grün und Blau des weißen Lichtes durchlässt. Es ist natürlich eine exakte Synchronisation von Drehzahl und Winkellage des Farbrades mit der Ansteuerung des DMD erforderlich damit dem DMD z.B. genau dann die "Grauwertanteile" der blauen Bildinformation aufgeschaltet werden, wenn das blaue Segment des Farbrades in den Strahlengang des Kondensors eintritt.

Eine weitere Möglichkeit, einen farbtauglichen Projektor aufzubauen ist durch die Verwendung von drei DMD gegeben. Hier muss das Licht durch ein Prismensystem zunächst in die Grundfarben zerlegt und nach Reflexion am jeweiligen DMD wieder zusammengespiegelt werden. Ein möglicher Aufbau eines derartigen Projektors ist in der Abbildung rechts vereinfacht dargestellt: Das Licht der Metalldampf- oder Xenonlampe wird zunächst meist durch einen Parabolreflektor parallel gerichtet, und mittels Kondensator auf das DMD gelenkt.

Um den Abstand des Projektionsobjektivs vom DMD gering halten zu können, erfolgt die Einspiegelung des Lichtes über ein sogenanntes TIR-Prisma. "TIR" bedeutet "total internal reflection", also Totalreflexion. Die Winkel diese Prismas sind dabei so gestaltet, daß für das vom Kondensator kommende Licht Totalreflexion gegeben ist, das vom DMD reflektierte Licht jedoch ungehindert passieren kann. Die beiden Einzelprismen des TIR-Prismas sind nicht miteinander verkittet, sondern haben einen Abstand von etwa  $10\mu\text{m}$  voneinander. Die Farbteilerprismen müssen so ausgelegt sein, dass der Abstand von jedem DMD zum Projektionsobjektiv exakt gleich groß ist. Auf die Prismen des Farbteilersystems werden vor dem Verkitten dichroitische Beläge aufgedampft. Diese Beläge reflektieren jeweils einen bestimmten Spektralbereich (Blau bzw. Rot), und lassen Licht anderer Wellenlänge fast vollständig durch.

In der Abbildung reflektiert z.B. das erste Farbteilerprisma Blau, und lässt Grün und Rot durch. Das blaue Licht gelangt zum DMD3, wird dort entsprechend der Bildinformation reflektiert und gelangt nach nochmaliger Reflexion an der dichroitischen Schicht des ersten Farbteilerprismas in das Projektionsobjektiv.

Die Auflösung eines derartigen Projektors hängt von der Größe des DMD ab. Da der Mittelpunktsabstand zweier Mikrospiegel  $17\mu\text{m}$  beträgt, kann mit einem DMD der Diagonale 0,7 in. (17,8mm) eine Auflösung von 800x600 Bildpunkten (SVGA) erreicht werden. Für XGA-Auflösung (1024x768 Bildpunkte) ist eine Diagonale von 0,9 in. (22,9mm), für SXGA-Auflösung (1280x1024 Bildpunkte) eine solche von 1,1 in. (27,9mm) erforderlich. Neue DMDs mit  $13,68\mu\text{m}$  Spiegelabstand haben bei SXGA-Auflösung eine Diagonale von 0,9 in. Auch Projektoren mit HDTV-tauglicher Auflösung (1920x1080 Bildpunkte, Seitenverhältnis 16:9) wurden bei internationalen Messen bereits vorgestellt. Die Lichtstärke ist dabei durchaus mit jener der Eingangs erwähnten Eidophor-Projektoren vergleichbar.



## Hier mal eine kurze Aussicht auf die High-End-Klasse der Beamer, wohl eher keine Herausforderung für uns DIYler

LDT (Laserdisplay-Technologie)

Die Spitze der Projektionstechnik bildet unbestritten die neuartige Lasertechnik. Zwar sind die Geräte dazu abstellraumfüllend, jedoch kann der zur Projektion verwendete Kopf, in etwa so groß wie eine Wasserkiste, bis zu 30 m entfernt aufgestellt werden.



Laserstrahlerzeuger

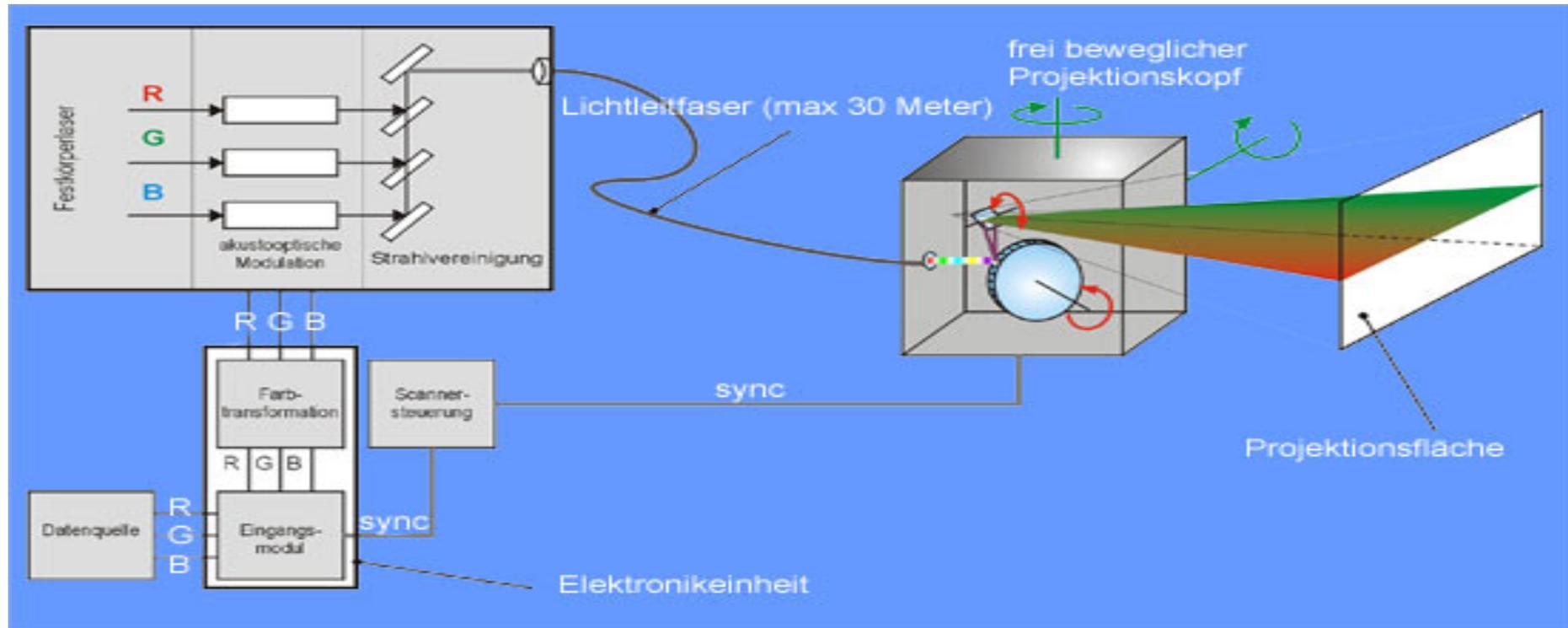


Projektionskopf

In dem Laserstrahlerzeuger, dem Herzstück dieses Gerätes, ist die Technik zur Bilderzeugung untergebracht.

Dazu gehört zum einen die Technik zur Umsetzung der Eingangssignale in Ansteuersignale für die einzelnen Laser. Von diesen beherbergt ein Projektor drei, von denen jeweils einer für eine der Grundfarben der RGB-Farbmischung zuständig ist. Die Laser erzeugen Teilbilder in ihrer Grundfarbe, die durch dichroitisch (halbdurchsichtige) Spiegel und einen Lichtwellenleiter zu einem bis zu 30 m entfernten Projektorkopf geleitet werden. Dieser schreibt die Teilbilder mit einer Zeilengeschwindigkeit von bis zu 90km/s auf die Projektionsfläche und erzeugt so ein Gesamtbild.

Ob diese Fläche zehn, hundert oder siebenhundert Meter entfernt ist spielt dabei keine Rolle. Die Laserstrahlen erzeugen stets einen scharfen Pixelpunkt und können somit auch bei verwinkelten Projektionsflächen oder bei Kugeln eingesetzt werden.

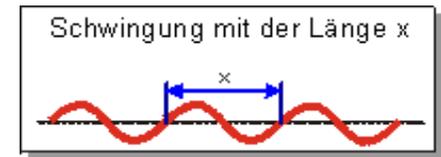


Der Haken an der schönen Laserprojektionstechnologie ist aber, dass sie für die Meisten unerschwinglich teuer ist. Ein solches Ungetüm, wie auf den Fotos abgebildet kostet einige Millionen. Sollte man jedoch seinen Geldspeicher plündern, das Geld somit parat haben, muss man sich bei produzierten 20 Stück und langen Wartelisten ein wenig gedulden, bis der Paketdienst vorbeikommt.

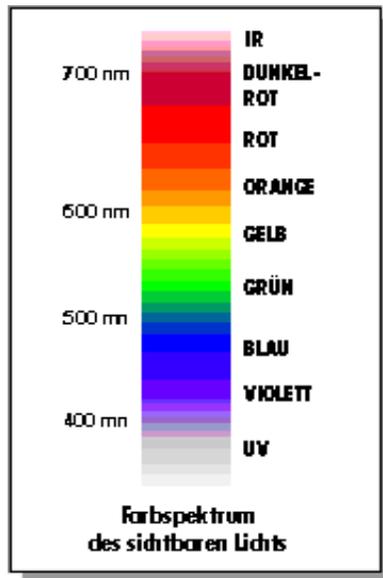
## Theoretische Grundlagen der Lichttechnik

Physikalisch gesehen, ist Licht eine elektromagnetische Schwingung. Es ist darum verwandt mit Rundfunkwellen, Röntgenstrahlen und sogar mit dem elektrischen Wechselstrom.

Elektromagnetische Schwingungen lassen sich über Ihre Wellenlänge charakterisieren. Das Spektrum reicht von sehr langwelligen Schwingungen (technischer Wechselstrom), bis hin zu den extrem kurzwelligen Röntgenstrahlen. Die nebenstehende Tabelle gibt einen Überblick über typische Wellenlängen einiger in der Technik benutzter elektrischer Schwingungen.



Als Licht wird lediglich der extrem kleine Bereich zwischen 400 Nanometern (= 1/2500 Millimeter) und 780 Nanometern (= 1/1282 Millimeter) bezeichnet. Nur für diesen Bereich elektromagnetischer Schwingungen ist das menschliche Auge empfindlich, wobei die Farbempfindung von der spezifischen Wellenlänge der Schwingung abhängig ist.



Nicht für alle Wellenlängen ist das Auge jedoch gleich empfindlich. Der Maximalwert liegt beim Menschen bei etwa 555 nm, also im gelb-grünen Farbbereich (siehe Grafik). Am unempfindlichsten reagiert es auf dunkelrote und violette Farbtöne.

Diese ungleichmäßige Farbempfindlichkeit stammt aus der Zeit, als der Mensch noch als Jäger und Sammler durch die Wälder schlich. Damals war er darauf angewiesen, Beutetiere auch bei schlechten Lichtverhältnissen im sonst grünen Umfeld wahrnehmen zu können.

Im Bereich der Foto-, Film- und Videotechnik findet diese Eigenschaft des Auges Berücksichtigung bei der Kalibrierung von Belichtungsmesseinrichtungen. Hierbei wird die Spektralempfindlichkeit der Messzelle der Empfindlichkeitskurve des Auges nachempfunden.

Nur in ganz wenigen Fällen wird man es ausschließlich mit Licht einer bestimmten Wellenlänge zu tun haben (beispielsweise bei Laserlicht). In der Regel setzt sich die Lichtfarbe aus elektromagnetischer Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen zusammen. Bestes Beispiel hierfür ist das Tageslicht. Es enthält ein breites Spektrum sichtbarer (und teilweise auch unsichtbarer) elektromagnetischer Strahlung. In der Gesamtheit führt dies zu einem weißen Lichteindruck.

Weißes Licht kann jedoch sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein. Je nach Art der Lichtquelle kann entweder die langwellige oder die kurzwellige Strahlung stärker vorhanden sein. Dadurch bleibt das Licht zwar weiß, jedoch im ersten Fall mit einem warmen (rötlichen) Einschlag; im zweiten Fall erscheint es kälter und damit bläulicher (manchmal auch als "weißer" bezeichnet).

Diese Lichtunterschiede müssen bei fotografischen Aufnahmen berücksichtigt werden. Um sie bewerten und gegebenenfalls korrigieren zu können, misst man die Farbtemperatur der Lichtquelle.

typische Wellenlängen in der Technik	
Röntgenstrahlung	1 nm
sichtbares Licht	400 - 780 nm
Mikrowellen	1 mm
Rundfunkwellen	300 m
Fernsehübertragung	1 m
Wechselstrom	6000 km

Aber auch bereits ein wesentlich eingeschränkteres Lichtspektrum erzeugt für das Auge scheinbar weißes Licht. Die Abbildung rechts zeigt, wie sich aus den additiven Grundfarben Rot, Grün und Blau weißes Licht erzeugen lässt.



Videomonitore arbeiten beispielsweise nach diesem Prinzip. Alle darauf erkennbaren Farben bestehen in Wirklichkeit nur aus den drei additiven Grundfarben in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen.

Scheinwerfer, die Ihr Licht auf diese Weise produzieren gibt es nicht - die Farbwiedergabe wäre zu schlecht - betrachten Sie doch mal Ihre Wohnung nur im Licht Ihres Fernsehers!

Trotzdem gibt es, insbesondere im Bereich der Allgemeinbeleuchtung, Lichtquellen, die bauartbedingt nicht in der Lage sind, ein vollständiges Spektrum abzustrahlen (z.B. Gasentladungslampen). Bei fotografischen Aufnahmen muss dies berücksichtigt werden, andernfalls ist mit Farbabweichungen oder sogar Farbstichen zu rechnen. Die Charakterisierung einer Lichtquelle in Bezug auf ihre Farbwiedergabeeigenschaften erfolgt durch den Farbwiedergabeindex.

### Die Farbtemperatur

Weißes Licht gibt es eigentlich gar nicht. Es ist vielmehr das Ergebnis vieler verschiedenfarbiger, sich überlagernder Lichtstrahlen in einem Wellenlängenbereich von 400 bis 700 Nanometern.

Je nach Art der Lichtquelle, kann die spektrale Zusammensetzung, also das Mischungsverhältnis zwischen den einzelnen Farben variieren, ohne dass das Auge einen sichtbaren Farbstich wahrnimmt. Für die Charakterisierung einer Lichtquelle von besonderer Bedeutung ist das Verhältnis zwischen dem roten und dem blauen Lichtanteil. Weißes Licht mit hohem Rotanteil wird als warmfarbig und mit hohem Blauanteil als kaltfarbig bezeichnet. Für die Belange der Filmtechnik ist diese Unterscheidung zu ungenau. Eine Maßzahl muss her, die das Verhältnis genauer definiert: Die Verteilungs- oder Farbtemperatur (1)

Als Referenzobjekt dient ein imaginärer schwarzer Körper, der auf Grund seiner Beschaffenheit keine Lichtstrahlen reflektiert. Um es gleich vorweg zu nehmen, einen solchen Körper gibt es nicht, man kann ihn sich jedoch ersatzweise als Hufeisen vorstellen. Bei Raumtemperatur ist er vollkommen schwarz. Erhitzt man ihn, so beginnt er irgendwann, Licht auszusenden. Zunächst glüht er nur leicht, das ausgesandte Licht hat einen hohen Rotanteil. Unser Hufeisen würde im Schmiedefeuer zunächst rot-, später weißglühend. Bei einer Temperatur von etwa 2500° C (= 2773 Kelvin) entspricht die spektrale Lichtverteilung der einer Haushaltsglühbirne.

Mit steigender Temperatur wird der blaue Lichtanteil immer größer. Ab hier hinkt unser Hufeisenmodell. Es würde irgendwann schmelzen, der schwarze Körper jedoch bleibt formstabil. Bei einer Temperatur von 4727° C (= 5000 Kelvin) entspricht die ausgesandte Strahlung etwa dem normalen Tageslicht.

(1) Manche Fachleute verwenden den Begriff Farbtemperatur nur bei diskontinuierlichen Spektren, deren Farbwirkung sich mit der eines Temperaturstrahlers vergleichen lässt (z.B. HMI-Lampen) Für kontinuierliches Spektren wird der Begriff Verteilungstemperatur verwendet. Diese Unterscheidung ist jedoch praxisfern. Wir verwenden hier daher unabhängig von der sonstigen spektralen Zusammensetzung nur den Begriff Farbtemperatur.

### Kontinuierliche und diskontinuierliche Spektren und der Farbwiedergabeindex

Bei den meisten Lichtquellen, inklusive der Sonne, handelt es sich um Temperaturstrahler, das heißt, das Licht wird über den Umweg der Wärme erzeugt. Farbtemperatur und Helligkeit stehen mit der Betriebstemperatur in direktem Zusammenhang. Sie strahlen ein kontinuierliches Farbspektrum ab, das bei unterschiedlicher Farbtemperatur nur seine Rot-Blau-Gewichtung verändert. Der grüne Lichtanteil liegt temperaturenabhängig zwischen 30 und 34 %.

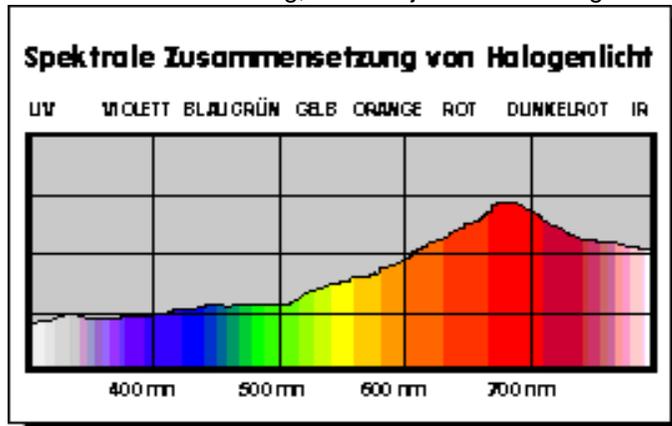
Entladungslampen erzeugen ihr Licht nach dem Prinzip der Gasentladung: Mit Hilfe von elektrischem Strom werden die Elektronen eines Gasgemisches zum Leuchten angeregt. Je nach Zusammensetzung des Gases, geben die Lampen Licht unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung ab. Es ist daher möglich, dass eine Lampe zwar für das Auge weißes Licht abstrahlt, jedoch im Farbspektrum wichtige Bereiche fehlen oder auch überdimensional stark vertreten sind. Man spricht dann von einem diskontinuierlichen Spektrum. Aufnahmen unter solchen Lichtverhältnissen weisen unkorrigiert oft einen nur schwer vorhersehbaren Farbstich auf.

### Der Farbwiedergabeindex

Hersteller von Entladungslampen geben in ihren Datenblättern eine Maßzahl für die Farbwiedergabequalität an: den Farbwiedergabeindex. Ein Wert von 100 entspricht einer absolut neutralen Farbwiedergabe, die nur von den kontinuierlichen Spektren der Temperaturstrahler erreicht wird. Hochwertige Entladungslampen für fotografische Zwecke erreichen, je nach Alterungszustand, Werte zwischen 90 und 96. Standard-Leuchtstofflampen, wie sie zum Beispiel zur Werkshallenausleuchtung eingesetzt werden, erreichen oft nur einen Farbwiedergabeindex von 60. Noch wesentlich darunter liegt das gelbe Natriumdampflicht, das wir von angestrahlten Gebäuden oder auch als Straßenbeleuchtung kennen.

### Glüh- / Halogenlampen

Normale Haushaltsglühlampen eignen sich für Beleuchtungszwecke nur sehr eingeschränkt. Die niedrige Farbtemperatur von 2600 - 2800 Kelvin erfordert eine starke Korrekturfilterung, die sich je nach Alterungszustand der Lampe verändert und den geringen Wirkungsgrad weiter verschlechtert.



Die mit Stickstoff oder Edelgas befüllten Photolampen der Typen B und S brennen mit Überspannung, wodurch sich die Farbtemperatur auf 3200 bzw. 3400 Kelvin erhöht. Leider verkürzt sich hierdurch auch die Lebensdauer. Lampen des Typs B (z.B. Nitraphot) haben eine mittlere Lebensdauer von etwa 50 - 100 Stunden.. Photolampen des Typs S brennen mitunter sogar nur 5 - 15 Stunden. Die tatsächliche Nutzungsdauer liegt oft noch darunter, da Lichtausbeute und Farbtemperatur mit zunehmendem Alter kontinuierlich abnehmen und den frühzeitigen Austausch der Lampe erfordern.

Halogenlampen für den Hausgebrauch sind auf Grund ihrer hohen Lichtausbeute auch für fotografische Zwecke gut geeignet. Unter Umständen ist eine leichte Korrekturfilterung erforderlich, die die Farbtemperatur von ca. 2850 Kelvin auf normgerechte 3200 Kelvin anhebt. Die Lebensdauer kann bis zu 2000 Stunden betragen.

Halogenlampen für fotografische Zwecke gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen und Leistungsklassen. Das Programm beginnt bei Schwachstromlampen für kleine Reportageleuchten mit Betriebswerten von 12 Volt / 50 W und endet mit großen 10000 Watt-Brennern für Scheinwerfer. Sie alle erreichen ihre Kunstlicht-Farbtemperatur von 3200 bzw. 3400 Kelvin durch den Betrieb mit Überspannung. Sie haben daher nur eine Lebensdauer von 15 - 100 Stunden.

Beim Betrieb in Verbindung mit Lichtstellanlagen, sollten Halogenglühlampen nicht über einen längeren Zeitraum unter den Wert von 30 % gedimmt werden. Durch die reduzierte Betriebstemperatur wird der Halogenkreislauf unterbrochen, was zu einer Schwärzung des Glaskolbens führen kann.

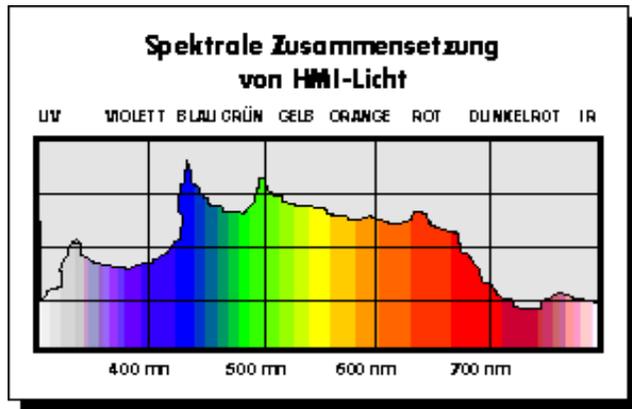
### HMI-Lampen

HMI-Lampen(1) benötigen, wie alle Entladungslampen, ein Vorschaltgerät, welches die Stromaufnahme der Lampe begrenzt und die anliegende Netzspannung auf die Brennspannung der Lampe herabsetzt.

Die Zündspannung wird in der Regel nicht im Vorschaltgerät erzeugt. Der erforderliche Hochspannungstrafo befindet sich meist im Leuchtenkopf. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zünd- und Brennspannungswerte der wichtigsten HMI-Lampen (Quelle: Osram/Philips):

Technische Daten von HMI-Lampen			
Typ	Zündspannung	Betriebsspannung	Stromstärke
125 W	?	80 V	1,9 A
200 W	> 25 kVs	80 V	3,1 A
250 W	?	50 V	5,4 A
400 W	?	67 V	6,9 A
575 W	> 25 kVs	95 V	7,0 A
1200 W	> 35 kVs	100 V	13,8 A
2500 W	> 45 kVs	115 V	25,6 A
4000 W	>65 kVs	200 V	24,0 A
6000 W	>65 kVs	123 V	55 A
12000 W	?	225 V	65 A
12000 W/GS	?	160 V	83 A
18000 W	?	225 V	89 A

Seit einigen Jahren sind Vorschaltgeräte auf dem Markt, die den Strom nicht mit Hilfe einer Drosselspule, sondern auf elektronischem Wege begrenzen. Dies führt zu einer erheblichen Gewichtsreduktion und ermöglicht es, die Lampe in gewissen Grenzen zu dimmen. Hauptvorteil elektronischer Vorschaltgeräte ist jedoch die Flickerfreiheit des abgestrahlten Lichts, was die Einhaltung bestimmter Kamera-Laufgeschwindigkeiten bzw. Belichtungszeiten überflüssig macht. Man erreicht dies, indem man die Lampe statt mit Wechselstrom, mit einer hochfrequenten Rechteckspannung betreibt. Die Kontinuität der Lichtabgabe entspricht damit der einer Glühlampe.



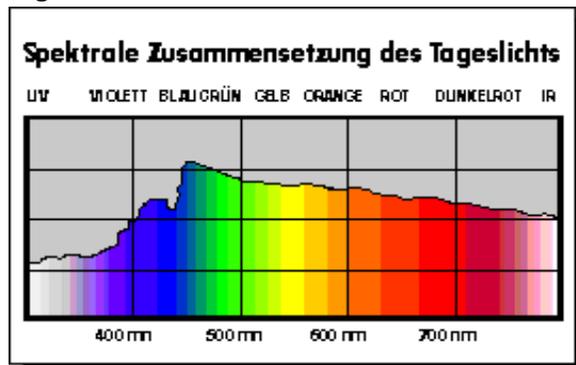
Das Spektrum ist dem Tageslicht nachempfunden und erreicht eine Farbtemperatur von ca. 5500 bis 6000 K. Der Farbwiedergabeindex liegt bei etwa Ra 90 - 95.

Durch den hohen, für den Menschen schädlichen UV-Anteil des Lichts bedingt, dürfen HMI-Lampen nur mit einer Schutzglasscheibe betrieben werden.

Bei gleicher Leistungsaufnahme ist die Lichtausbeute einer HMI-Lampe ca. viermal so groß wie die einer konventionellen Halogen-Glühlampe. Ein 2500 W HMI-Brenner erzeugt damit etwa die gleiche Lichtmenge wie eine Halogenlampe mit 10000 W.

(1) HMI: Hydragyrum (lat. Quecksilber), Mittlere Bogenlänge, I für das Halogenid Jod. Eigentlich handelt es sich bei HMI um den Produktnamen des Erfinders Osram. Andere Firmen bieten ähnliche Lampen unter den Bezeichnungen MSI oder RSI an. Der Name HMI wird üblicherweise als Psynonym für Tageslichtscheinwerfer gebraucht (ähnlich "Tempo" für Papiertaschentücher).

### Tages- / Sonnenlicht

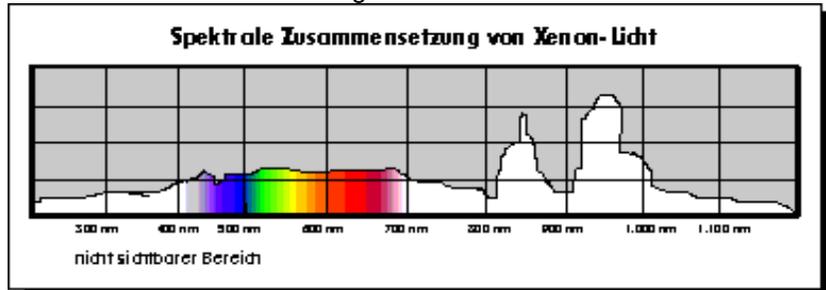


Im Laufe des Tages schwankt die Farbtemperatur von natürlichem Tageslicht sehr stark. Am frühen Morgen und am Abend sind Farbtemperaturen von 2500 Kelvin möglich (Sonnenauf-/Untergang). Um die Mittagszeit liegt sie bei etwa 5500 Kelvin.

Direktes Sonnenlicht weist im Sommer Farbtemperaturen bis zu 6500 Kelvin auf. Himmelslicht weist noch eine erheblich höhere Schwankungsbreite auf. Von etwa 5500 Kelvin (bedeckter Himmel) bis etwa 30000 Kelvin (blauer Himmel bei Sonne) reicht die Skala.

## Xenon-Hochdrucklampen

Ionisiertes Xenon-Gas erzeugt zwischen zwei Elektroden einen Lichtbogen. Im Gegensatz zu den meisten Gasentladungslampen, werden Xenon-Brenner mit Gleichstrom betrieben. Es ist daher, neben einem Zündgerät mit Drosselspule, auch ein Gleichrichter erforderlich.

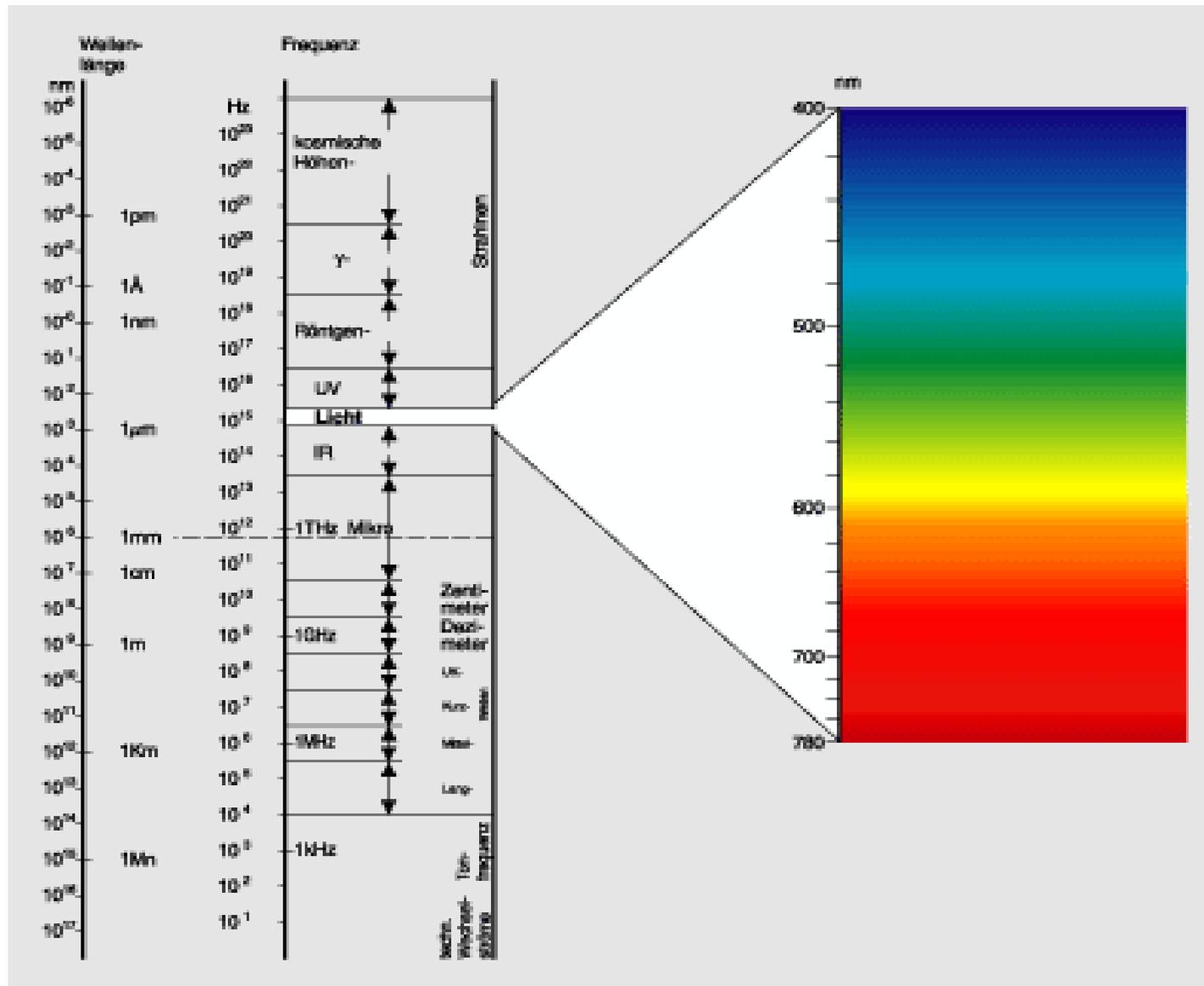


Xenon-Hochdruck-Lampen strahlen ein diskontinuierliches, dem Tageslicht sehr ähnliches Spektrum ab. Die Farbwiedergabe ist etwas schlechter als bei HMI-Licht, . Als Filmbeleuchtung sind sie jedoch grundsätzlich geeignet. Auffällig ist das breite Spektrum in dem für den Menschen unsichtbaren UV- und IR-Bereich. Klassische Filmscheinwerfer, die mit einer Xenon-Lampen ausgestattet sind, gibt es nicht. Es sind jedoch Eigenkonstruktionen bekannt, bei denen für Spezialanwendungen (Zeitlupenaufnahmen) die durch den Gleichstrom-Betrieb bedingte Flickerfreiheit ausgenutzt wird.

Auf Grund ihres fast punktförmigen Lichtbogens, eignen sich Xenon-Lampen besonders gut für den Einsatz in optischen Systemen. Man findet sie daher bevorzugt als Lichtquelle in Projektionseinrichtungen. Die meisten Kino-Vorfühomaschinen und viele Effekt-Projektoren in Discotheken sind mit Xenon-Hochdruck-Lampen ausgestattet.

Der Austausch einer defekten Lampe darf nur mit Schutzbrille und Handschuhen erfolgen, da hierbei - wie bei allen Hochdrucklampen - die Gefahr des Platzens sehr groß ist.

## Das Spektrum des sichtbaren Lichts

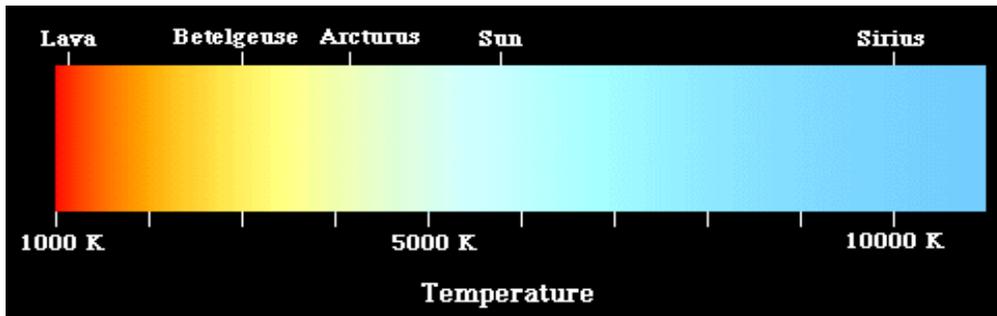


## Lichtquellen

### Temperaturstrahler

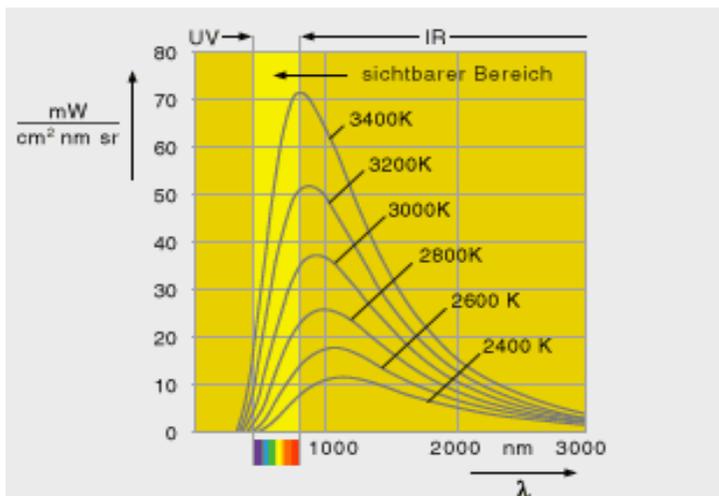
Sonne, Kerze, Glühlampe, Halogenlampe: die wichtigsten Lichtquellen dieser Welt sind Temperaturstrahler. Wie wir es vom Eisen her kennen, das zunächst rot glüht und bei zunehmender Temperatur gelb bis weiß leuchtet, hängt die Lichtfarbe eines heißen Gegenstands von seiner Temperatur ab.

Die menschliche Wahrnehmung kann nicht gut zwischen den verschiedenen Lichtfarben unterscheiden, da sie sich an die jeweilige Situation anpasst. So erscheint uns Sonnenlicht ebenso wie Glühlampenlicht als weißes Licht. Wird eine weiße Wand allerdings teilweise von Sonnenlicht und teilweise von Glühlampenlicht erhellt, so erscheint das Glühlampenlicht wesentlich gelblicher als das Sonnenlicht.



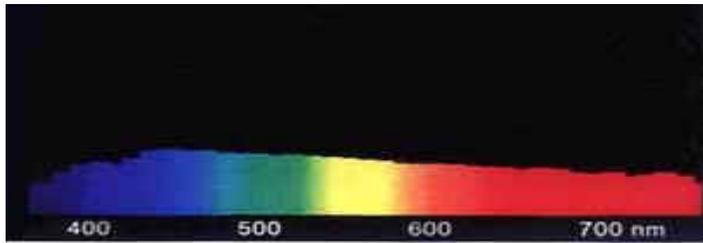
Lichtfarbe eines glühenden Gegenstands ("schwarzer Strahler") bei von links nach rechts steigender Temperatur in °Kelvin

Das Licht eines Temperaturstrahlers wird nicht nur in einer speziellen Wellenlänge abgestrahlt, sondern umfasst im Prinzip stets alle Farben des Regenbogens. Erst die Mischung der verschiedenen Wellenlängen ergibt dann die Lichtfarbe. Bei niedriger Temperatur enthält das Licht mehr Rotanteile, bei höherer Temperatur mehr Blauanteile. Die jeweiligen Lichtspektren sind im Prinzip typisch für die betreffende Temperatur. Streng genommen gilt dies nur für eine spezielle Lichtquelle, den "schwarzen Strahler", eines alle Lichtwellen gleichermaßen abstrahlenden und absorbierenden schwarzen Körpers (vorzustellen als ein Guckloch eines im Innern heiß glühenden Ofens), näherungsweise jedoch für alle Temperaturstrahler.



Um die Lichtfarbe einer Lichtquelle zu charakterisieren, hat es sich daher als zweckmäßig erwiesen, die Temperatur des schwarzen Strahlers anzugeben, bei der die beiden Lichtspektren am besten übereinstimmen. Diese Farbtemperatur wird in Kelvin (°K) angegeben. So entsprechen 3000°K der Lichtfarbe "warmweiß", 4000°K "neutralweiß" und 6500°K tageslichtweiß. 6500°K entsprechen der Lichtfarbe bei bedecktem Himmel (der Durchschnittshimmel für Deutschland). Farbfilme sind stets auf eine bestimmte Farbtemperatur eingestellt. Wird bei abweichenden Lichtverhältnissen (oder schlechter Farbwiedergabe der Lichtquelle) fotografiert, ergeben sich Farbstiche.

**Sonnenlicht:**



Tageslicht (D65)

Die Beleuchtungsstärke des Sonnenlichts liegt in diesen Breiten im Sommer bei maximal 100 000 lux, im Winter etwa 20 000 lux; bei bedecktem Himmel maximal 20 000 lux (Sommer) bzw. 5000 lux (Winter)

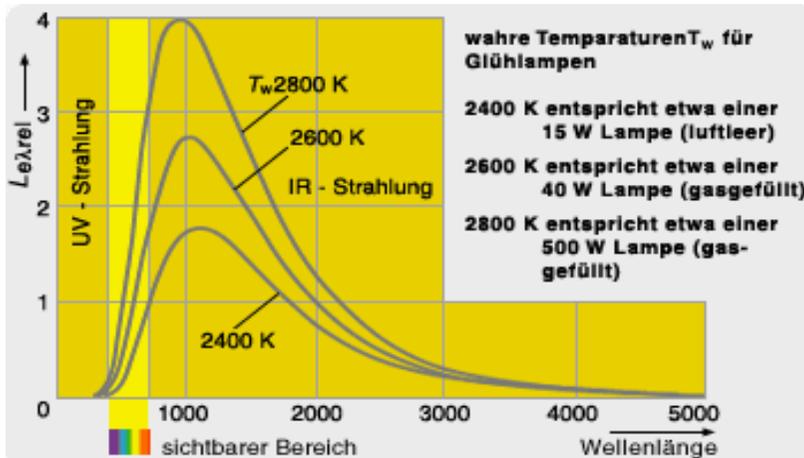
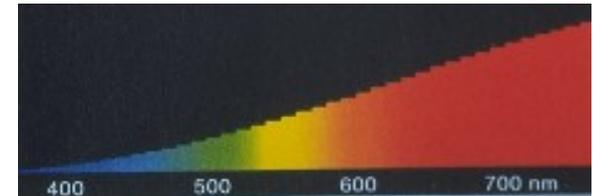
Die Temperatur auf der Oberfläche der Sonne beträgt rund 6000°C, in Kelvin ausgedrückt ca. 6273°K. Dies entspricht in etwa der Farbtemperatur des Sonnenlichts an einem schönen Sommertag, wenn die Sonne im Zenit steht. Gegen Abend oder morgens erscheint das Sonnenlicht rötlicher (Abendrot...), die Farbtemperatur liegt somit niedriger. Das von einem klarem Himmel ausgehende Licht enthält dagegen weniger Rotanteile. Seine Farbtemperatur kann 15000 - 30000°K betragen. Das Licht des blauen Himmels enthält im übrigen nicht nur relativ viel blaues sondern auch viel UV-Licht. Bei gleicher Luxzahl ist es somit erheblich schädlicher für Kunstwerke als direktes Sonnenlicht (auch bei jeweils ausgefiltertem UV-Licht).

**Kunstlicht:**

Glühlampen



Glühlampen sind typische Temperaturstrahler, in denen ein auf ca. 2600 - 3000°K erhitzter Wolframdraht unter Vakuum oder in einer inerten Gasatmosphäre zum Glühen gebracht wird, Der Hauptanteil der abgegebenen Strahlung liegt dabei im infraroten Bereich.



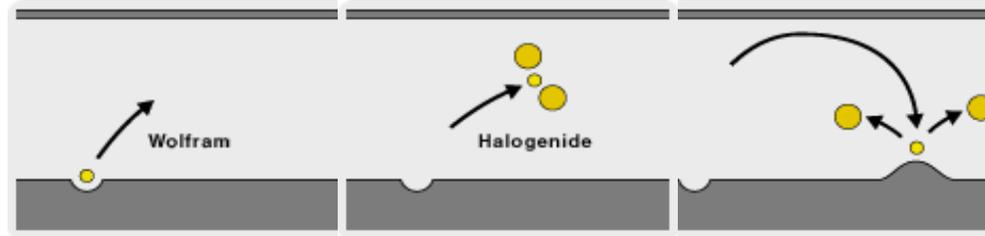
Die Lebensdauer ungedimmter Glühlampen liegt bei 1000 h. Bei höherer Wendeltemperatur verbessert sich die Lichtausbeute, verkürzt sich jedoch ist die Lebensdauer. Die Verkürzung der Lebensdauer ist eine Folge der mit der Temperatur steigenden Verdampfungsgeschwindigkeit der Wolframatome, die einerseits zur Kolbenschwärzung und andererseits letztendlich zum Bruch der Glühwendel führt (Osram Link führt leider nicht zurück!).

Ein hoher Fülldruck eines möglichst schweren Gases (Argon, Krypton, Xenon) vermindert die Verdampfungsgeschwindigkeit des Wolframs und damit die Kolbenschwärzung. Krypton-Lampen besitzen daher eine ca. 10% höhere Lichtausbeute als normale Glühlampen, deren Lichtausbeute mit 9-19 lm/W insgesamt sehr niedrig liegt.

Deckenspots sind häufig schwarze Verruungen zu beobachten. Großkolbenlampen besitzen diese Eigenschaft weniger. Mattierte Glaskolben dämpfen die Schattenbildung und Blendung. Kuppenverspiegelte Lampen schützen vor Blendung und sorgen für ein indirektes Licht. Reflektorlampen sind als Spotlampen noch häufig in Museen anzutreffen. Aus Gründen der Energieersparnis sollten dauerbrennende Glühlampen sukzessive durch andere Lichtquellen ersetzt werden. .

## Halogenlampen

Halogenlampen arbeiten mit etwas höherer Wendeltemperatur als Glühlampen. Die Halogengase im Inneren verhindern, dass sich die aus der Glühwendel verdampfenden Metallgase auf der Kolbeninnenfläche niederschlagen und diesen schwärzen.



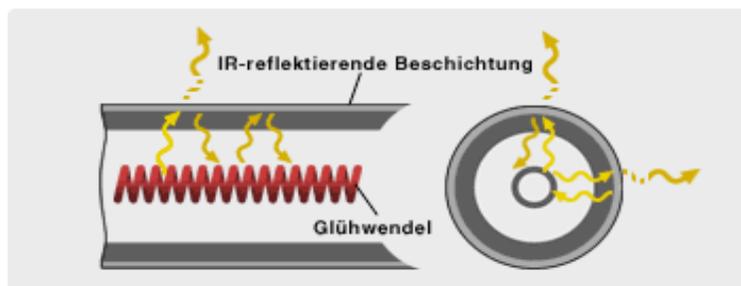
Der Halogenkreislauf

Das beim Lampenbetrieb von der Wendel abdampfende Wolfram gelangt durch Diffusion oder Konvektion in Temperaturgebiete ( $< 1400^{\circ}\text{K}$ ) nahe der Glaskolbenwand, wo sich stabile Halogenverbindungen bilden. Mit der thermischen Strömung gelangen diese Verbindungen wieder in die Nähe der heißen Wendel und zerfallen dort wieder. Ein Teil des Wolframs wird wieder auf die Wendel zurücktransportiert, allerdings nicht an seine Herkunftsstelle.

Die Halogene - früher Iod, heute häufig Brom, verhindern somit nicht das Verdampfen des Wolframs sondern nur die Schwärzung des Glaskolbens. Die Lebensdauer von 2000 - 3000 h endet mit der Wendelunterbrechung an entstehenden "hot spots". Dimmen von Halogenlampen erhöht die Lebensdauer und führt zu einer Verschiebung der Farbtemperatur. Dimmen führt zeitweilig zu einer leichten Schwärzung des Kolbens, die jedoch bei Volllast wieder verschwindet.

Durch die höhere Temperatur der Glühwendel ist das Spektrum der Halogenlampen gegenüber den Glühlampen etwas in den kürzerwelligen Bereich verschoben und im Uhrzeigersinn gekippt. Es enthält einen geringeren Infrarotanteil, einen höheren UV- und Blauanteil. Auch die Wellenlängen der UV-Strahlung verschieben sich in Richtung der gefährlicheren kurzwelligeren UV-Strahlung. So erklärt es sich, dass Halogenlampen zwar, in  $\mu\text{W}/\text{lumen}$  gemessen, zwar nur etwa 50% mehr UV-Strahlung aussenden als Glühlampen, die Lichtschäden aufgrund der kurzwelligeren Strahlen jedoch viermal so stark sind wie bei Glühlampen (Michalski 1987).

Die Lichtausbeute (d.h. die hauptsächlich im Gelbgrünbereich pro Watt abgegebene Strahlung) liegt mit 15 - 25  $\text{lm}/\text{W}$  dadurch ca. 100 % höher als bei Glühlampen. Die Farbwiedergabequalität liegt je nach Art des Reflektors in der Gegend von ca. 94 - 97 (???, DIN 5053)).

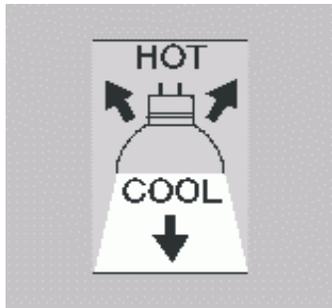


Halogenlampen mit IR-Beschichtung verfügen über eine um ca. 30% höhere Lichtausbeute. Die IR-reflektierende Beschichtung reflektiert die abgegebene IR-Strahlung größtenteils auf die Wendel zurück, die dort zum Teil absorbiert wird. Dies bewirkt eine Erhöhung der Wendeltemperatur, wodurch die Zufuhr elektrischer Energie reduziert werden kann. Die Lichtausbeute steigt

Es ist zu unterscheiden zwischen Hochvolt (230V)- und Niedervolt (12V)-Lampen und zwischen Hochdruck- und Niederdruck- Halogenlampen. Nur Niederdruck-Lampen dürfen in freibrennendem Betrieb eingesetzt werden.

Neben den kleinen Stiftsockellampen sind vor allem die kleinen Reflektorlampen üblich, die in Lampen ohne Reflektor eingesetzt werden. Bei den heutigen Qualitäten ist meist eine Schutzscheibe aus Borosilikat integriert. Die Schutzscheibe hält UV-B Strahlung zurück, schützt bei explodierenden Lampen und verhindert Staubverschmorungen auf der heißen Kolbenoberfläche.

Reflektorlampen werden in 20-50 Watt, in Abstrahlwinkeln von 8 -60° und verschiedenen Sockelweiten angeboten. Die Farbtemperatur liegt bei 29.. - 4000°K und lässt sich durch Dimmen beeinflussen. Die Lampen um 5 % zu dimmen, erhöht die Lebensdauer bereits erheblich. Starkes Dimmen führt allerdings zunehmend zu einer gelblichen Lichttünche, wie sie uns von vielen lichtreduzierten Ausstellungen vertaut ist. Die richtige Beleuchtungsstärke sollte daher eher durch Verwendung passender Wattzahlen und Abstrahlwinkel erzielt werden als durch exzessives Dimmen.



Bei Kaltlichtreflektorlampen ("Cool-Beam") ist die Reflektor für Infrarotstrahlung durchlässig, sodass zwei Drittel der Wärmestrahlung nach hinten abgegeben und damit nicht auf das Exponat geleitet wird. Die Wärmeentwicklung im Raum bleibt insgesamt unverändert, doch die Leuchten oder Decken werden stark erwärmt. Die Glaskalotte ist mit 19 Lagen verschiedener Metalloxyde beschichtet, die durch Interferenz nur IR-Licht durchlassen. (Bild und Info: [www.osram.de](http://www.osram.de)) Alu- und Goldreflektoren lenken die IR-Strahlung dagegen nahezu vollständig aufs Exponat.

Titan-Halogenlampen erreichen die doppelte Lebensdauer. Ihr Licht ist etwas kälter (bläulicher) als das anderer Halogenlampen (3100°K).

UV-Stop Halogenlampen filtern einen Großteil der UV-B und -C, sowie etwa die Hälfte der UV-A Strahlung aus. Die Ausbleichwirkung reduziert sich dadurch um bis zu 80% (Katalog Osram). Der Quarzglaskolben ist hierbei mit UV-absorbierendem Substanzen dotiert.

Die hohen Oberflächentemperaturen führen zu Staubverschmorungen.

Der Lichtkreis der Reflektorlampen gleicher Wattzahl und gleichen Abstrahlwinkels kann je nach Hersteller unterschiedlich sein: entweder am Rand verfließend oder scharf begrenzt. Eine Facettierung der Glaskalotte bewirkt am Rand ein fächerförmiges Schattenmuster (siehe Bartl 1993). Im Zentrum des Lichtkreises befindet sich in der Regel ein wesentlich hellerer Bereich, der sich deutlich vom übrigen, nach außen dunkler werdenden Lichtkreis absetzt.

## Entladungslampen



Entladungslampen beruhen wie Leuchtstofflampen auf einer Gasentladung. Bei Leuchtstofflampen wird das sichtbare Licht im wesentlichen erst von der Leuchtstoffschicht erzeugt.

Bei Entladungslampen dagegen entsteht das sichtbare Licht sofort bei der Gasentladung. Man unterscheidet Metallampfen und Gasentladungslampen. Alle Lampen benötigen eine bestimmte Anlaufzeit von einigen Minuten, bis der richtige Dampfdruck aufgebaut ist und die Lampe ihre volle Leistung entwickelt. Da die Zündspannung über der Betriebsspannung liegt, ist stets ein Zündgerät erforderlich.

Entladungslampen sind mit Stiftsockeln oder Schraubsockeln erhältlich, auch in Form kleiner Reflektorlampen, die z.B. in faseroptischen Systemen eingesetzt werden können. Da die Lichtquelle sehr punktförmig ist, lässt sich das Licht von Entladungslampen sehr gut bündeln.

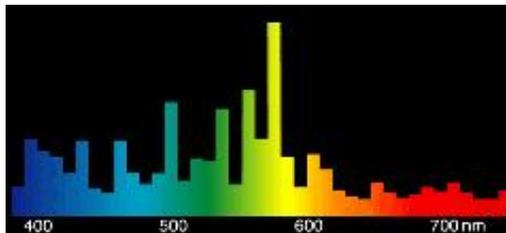
Die Lampen sind z.T. nur für spezielle Brennstellungen zugelassen, z.B. horizontal oder vertikal, mit bestimmten Toleranzen.

Die Metallampfen enthalten im Unterschied zu Leuchtstofflampen Quecksilberdampf unter hohem Druck sowie kleine Mengen von Halogenverbindungen, um die Farbbalance zu verbessern. Zwischen den beiden dicht beieinander stehenden Elektroden entsteht ein dichter Stromfluss (Bogenentladung) durch das Gas und die Elektronen stoßen heftig auf die Gasatome. Bei den Kollisionen erhalten die Quecksilber- und anderen Atome viel Energie, die sie in Form von Licht und Wärme wieder abgeben.

Entladungslampen gehören zu den energieeffizientesten Lampen, denn sie haben wenig Möglichkeit, Energie in Form von Wärme abzugeben. Bei Leuchtstofflampen sendet das Quecksilber hauptsächlich UV-Strahlen aus, die von den Leuchtstoffen in energieärmeres Licht umgewandelt werden. Der Differenzbetrag an Energie wird in Form von Wärme frei. Beim Start von Entladungslampen, wenn der Quecksilberdruck noch gering ist, wird ebenfalls hauptsächlich UV-Strahlung erzeugt (welche vom Glaskolben absorbiert wird). Je höher Temperatur und Druck in der Lampe ansteigen, desto weißer wird das Licht. Die anfangs gebildete UV-Strahlung trifft dann sehr häufig auf bereits angeregte Quecksilberatome und befördert diese auf noch höhere Energieniveaus. Die UV-Strahlung kann somit kaum aus dem Gaswolke entkommen, denn sobald ein Atom ein 254 nm-Photon abgibt, wird diese Energie vom Nachbaratom absorbiert (radiation trapping).

Diese höheren Energieniveaus bauen sich dann durch Abgabe sichtbaren Lichts ab. Durch die häufigen Kollisionen zwischen angeregten Quecksilberatomen wird außerdem Licht auch in Wellenlängen frei, die ohne Kollisionen unmöglich wären. Quecksilber allein würde bläulich-weißes Licht erzeugen, die Metall-Halide in der Lampe tragen Rottöne und andere Farbnuancen bei und machen das Licht wärmer und tageslichtähnlicher (vgl. Bloomfield).

Alle Entladungslampen brauchen zur Strombegrenzung und Zündung spezielle Betriebsgeräte. Metallampfen benötigen nach der Zündung eine gewisse Anlaufzeit (typ. 2 -3 Minuten) um auf die volle Lichtleistung zu kommen. So lange brauchen nämlich die Füllsubstanzen, um vollständig zu verdampfen (Osram-Katalog). Entladungslampen starten nur in kaltem Zustand zuverlässig, eine Wiederezündung ist erst nach 2 - 15 Minuten möglich, oder aber es müssen spezielle Zündgeräte verwendet werden.



Spektrum einer Entladungslampe (Radium HRI-...NSc mit sehr guter Lichtausbeute jedoch mäßiger Farbwiedergabe (2b),

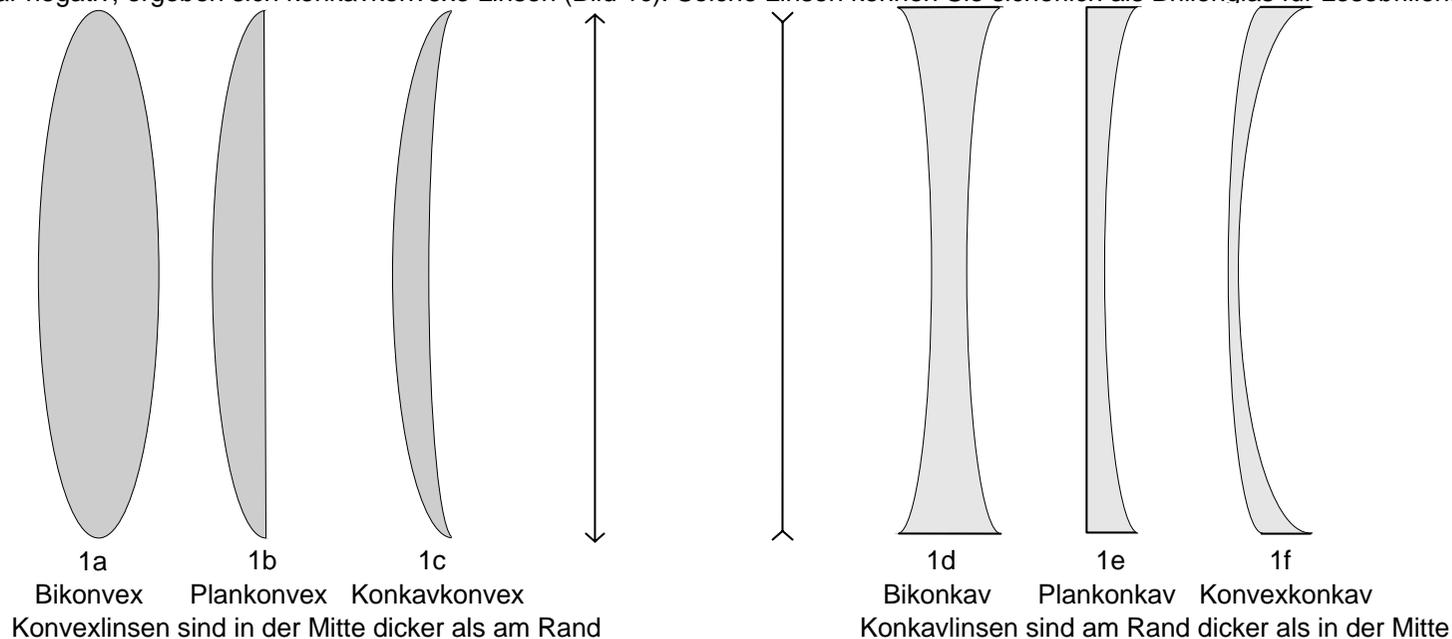
Von den Entladungslampen besitzen lediglich einige Halogen-Metallampfen eine akzeptable Farbwiedergabe und kommen für Museen in Frage. Hierbei sind dem Quecksilber im Brennraum verschiedene Metallhalogenide seltener Erden beigemischt, welche die Farbwiedergabe positiv beeinflussen (Ris 1992). Nur wenige, wie Radium RCI-TS...NDL oder Osram Powerstar HQI tageslichtweiß, erreichen die Farbwiedergabestufe 1A (Lichtausbeute: 70 - >100 lm/W). Die Lichttemperatur der Metallampfen nimmt bei jeder Betriebsstunde und bei jedem Einschalten etwas ab, sodass in der Praxis nicht unbedingt die gesamte Lebensdauer nutzbar ist. Bei neueren Typen mit Keramikbrenner (z.B. Osram Powerstar HCl, Farbwiedergabestufe 1B) sowie bei Natrium-Xenonlampen Farbwiedergabestufe bis 1B soll die Farbtemperatur weitgehend konstant bleiben (Osram). Alle Entladungslampen emittieren einen erheblichen Anteil UV-Licht und benötigen einen UV-Sperrfilter. Die meisten erfordern zudem eine bruch sichere Abdeckscheibe, für den Fall, dass eine Entladungslampe explodiert.

## Allgemeines

Linsen sind die zentralen Elemente eines Objektivs. Theoretisch kann man schon mit einer einzigen Linse ein Objektiv mit fester Brennweite bauen, für ein Zoomobjektiv genügen zwei Linsen. Trotzdem bestehen übliche Objektive aus ca. 4 bis 18 Linsen. Der Grund liegt darin, daß eine einzelne Linse Linsenfehler aufweist, die physikalisch bedingt sind und sich daher auch durch sehr präzise Fertigung nicht vermeiden lassen. Aus diesem Grund versucht man, den Gesamtfehler eines Objektivs durch geschickte Kombination mehrerer Linsen mit speziellen Eigenschaften zu minimieren. Nachfolgend können Sie erfahren, wie optische Linsen funktionieren, welche Linsenfehler es gibt und welche Auswirkungen sie auf das Bildergebnis haben.

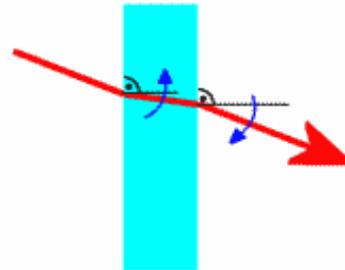
### Aufbau und Wirkungsweise einer Linse

Eine optische Linse besteht aus einem transparenten, optisch dichten Material, das bei einer Sammellinse (=Konvexlinse) am Rand dünn und in der Mitte dick ist. Genau gesagt handelt es sich bei Vorder- und Rückseite im Objektivbau je um eine Kugeloberfläche. Als optisch dichtes Material verwendet man üblicherweise spezielle Glassorten mit verschieden starker Brechkraft. Luft bezeichnet man übrigens im Vergleich zu Glas als optisch dünnes Material. Neben der im Volksmund als Linse bezeichneten symmetrischen Form, die in Bild 1a dargestellt ist und die im Fachjargon als bikonvex bezeichnet wird, gibt es noch weitere Linsenformen. Beispielsweise müssen die Radien der Vorder- und Rückseite nicht identisch sein. Je größer man den Radius macht, desto flacher wird die Fläche. Geht einer der Radien gegen Unendlich, so ist die Fläche absolut plan (Bild 1b). Eine solche Linse nennt man plankonvex. Ist einer der Radien gar negativ, ergeben sich konkavkonvexe Linsen (Bild 1c). Solche Linsen kennen Sie sicherlich als Brillenglas für Lesebrillen.



Die Brechkraft einer Linse ist bei gleicher Glassorte umso stärker sprich ihre Brennweite ist umso geringer, je kleiner die Radien sind. Linsen mit 2 Radien kann man sich als zwei aneinandergesetzte plankonvexe Linsen vorstellen, d.h. die Brechkraft der beiden Linsen addiert sich. Konkavkonkave Linsen kann man virtuell in eine konvexe und eine konkave Linse aufteilen und die positive Brechkraft der Konvexlinse und die negative Brechkraft der Konkavlinse (=Zerstreuungslinse, dazu später) addieren.

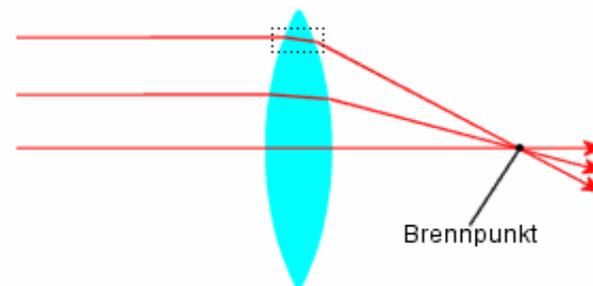
Aber wie funktioniert eine Linse? Ein Lichtstrahl wird beim schiefen Eintritt in ein optisch dichteres Material abgelenkt. Den Effekt kennen Sie aus dem Alltagsleben: Taucht man einen gerade Stab schräg in Wasser ein, erscheint es so, als ob er unterhalb der Wasserlinie abgeknickt wäre. Die Ablenkung beim Übergang in ein optisch dichteres Medium geschieht dabei immer zur Senkrechten der Oberfläche hin. Beim Austritt aus dem optisch dichten Material wird der Lichtstrahl genau andersherum abgelenkt, also weg von der auf der Oberfläche stehenden Senkrechten. In Bild 2 sind diese Vorgänge anhand einer planparallelen Glasplatte dargestellt. Der Lichtstrahl ist darin rot, die gedachten Senkrechten zu den Oberflächen sind schwarz dargestellt.



2 Lichtdurchgang durch eine planparallele Glasplatte

Beim schrägen Durchgang durch ein optisch dichteres Material wie z.B. eine Glasplatte ändert sich die Richtung eines Lichtstrahls im Endeffekt also nicht, jedoch tritt ein geringer Parallelversatz auf, der von der Dicke der Platte und dem Einfallswinkel abhängt. Auch diesen Effekt kennen Sie aus dem alltäglichen Leben: Schaut man senkrecht durch eine Glasscheibe, sieht man die Welt absolut genauso wie ohne Scheibe. Kippt man die Glasscheibe, d.h. schaut man schräg hindurch, erscheint es so, als ob sich die Landschaft ein wenig nach oben oder unten bewegen würde.

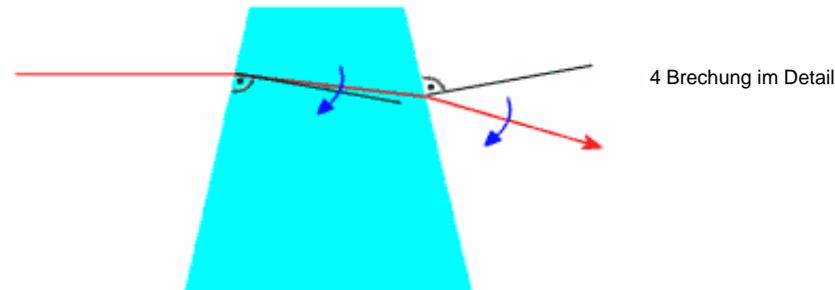
Beim Lichtdurchgang durch eine Linse hängt es davon ab, an welcher Stelle der Linse der Lichtstrahl in die Linse eintritt. Tritt der Lichtstrahl senkrecht in die Mitte der Linse ein, geht er absolut gerade durch. Je weiter am Rand er auf die Linse trifft, desto stärker wird er abgelenkt, wie in Bild 3 dargestellt.



3 Brechung in einer Linse

Brennpunkt

Aber wieso werden Lichtstrahlen überhaupt abgelenkt? Beim Durchgang durch eine Glasplatte wird die Richtung eines Lichtstrahls ja schließlich auch nicht verändert. Die Ablenkung erreicht man durch einen Trick: Man verwendet keine planparallele Glasplatte sondern gekrümmte Oberflächen. Der in Bild 3 gepunktet umrandete Ausschnitt ist in Bild 4 vergrößert dargestellt. Der rot dargestellte Lichtstrahl wird im optisch dichteren Medium in Richtung der Senkrechten zur Oberfläche (schwarz) abgelenkt. Beim Austritt, d.h. Übergang in das optisch dünnere Medium, wird der Strahl von der Senkrechten zur Oberfläche der Austrittsfläche weggelenkt. Der Trick dabei ist, daß die beiden Eintritts- und Austrittsflächen nicht parallel zueinander sind und daher auch nicht die beiden Senkrechten auf diese Oberflächen. Durch die ziemlich schräge Austrittsfläche hat die Senkrechte zur Oberfläche eine ganz andere Richtung als bei der Glasplatte. Dadurch wird der Lichtstrahl im Beispiel noch weiter nach unten abgelenkt. Wenn man seine Richtung vor und nach der Linse betrachtet, wird als Resultat der Lichtstrahl daher aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt.



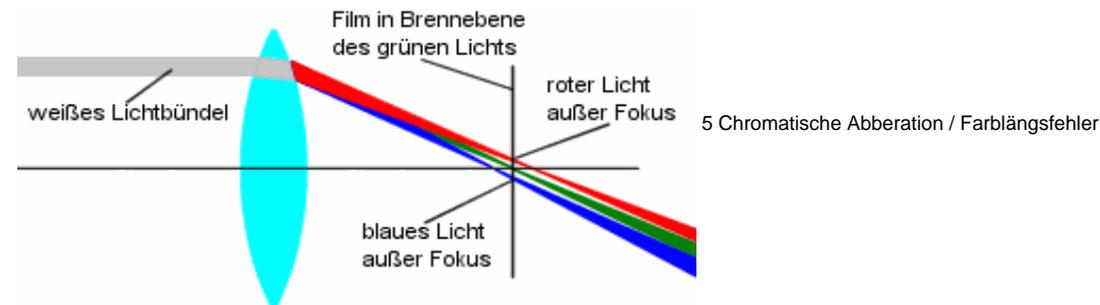
Die Ablenkung ist dabei umso größer, je größer der Winkel zwischen der Eintritts- und Austrittsfläche ist. Genau in der Mitte einer Linse sind die Glasflächen planparallel zueinander, weshalb senkrecht auftreffende Lichtstrahlen nicht aus ihrer Richtung abgelenkt werden (sie treten schon senkrecht zur Oberfläche ins Glas ein und können daher nicht noch weiter zur Senkrechten hin abgelenkt werden). Ein wenig außerhalb der Mitte ist der Winkel zwischen Eintritts- und Austrittsfläche gering, weshalb auch der Ablenkungswinkel gering ist. Je mehr man nach außen kommt, desto größer wird der Winkel an der Eintritts- bzw. Austrittsfläche und daher auch die Ablenkung. Durch den Verlauf des Winkels der Oberfläche d.h. die Kugeloberfläche erreicht man, daß sich parallel eintreffende Lichtstrahlen in einem einzigen Punkt, dem Brennpunkt treffen.

Neben konvexen gibt es auch konkave Linsen. Sie sind genau umgekehrt geformt wie konvexe Linsen, d.h. am Rand dicker als in der Mitte. Durch die andere Ausgestaltung erreicht man, daß das Licht sich nicht in einem Punkt trifft sondern nach außen gestreut wird. Konkavlinsen können selbst kein Bild erzeugen, so daß man aus ihnen allein kein Objektiv bauen kann. Konkavlinsen verwendet man daher im Objektivbau nur zusammen mit Konvexlinsen. Sie dienen u.a. der Korrektur von Linsenfehlern.

## Chromatische Abberation / Farblängsfehler

Hinter diesem gebräuchlichen Begriff, der auch als Farblängsfehler bezeichnet wird, verbirgt sich ein recht einfacher Sachverhalt. Verschiedenfarbiges Licht wird nicht um den gleichen Betrag abgelenkt. Dadurch wird ein weißer Lichtstrahl im Endeffekt in ein Lichtbündel aufgefächert, wobei langwelliges (=rotes) Licht am wenigsten und kurzwelliges (=blaues bzw. violette) Licht am stärksten abgelenkt wird. Dadurch entsteht aus dem weißen Lichtstrahl ein bunter Lichtfächer in allen Regenbogenfarben. Den Effekt kennen Sie aus der Praxis in Form eines Prismas. Auch eine Glasscherbe wirkt als Prisma, weshalb diese abhängig von den Bruchkanten oft bunt schimmert, wenn man sie ins Licht hält.

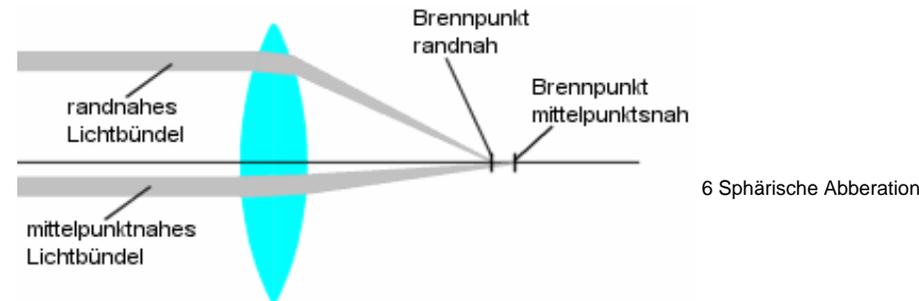
Die chromatische Abberation wirkt sich katastrophal auf die Schärfe des projizierten Bildes aus, denn die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen treffen sich in verschiedenen Brennpunkten. Sorgt man durch Wahl eines geeigneten Abstands des Films beispielsweise dafür, daß der grüne Anteil des weißen Lichts scharf auf ihm abgebildet wird, werden sowohl länger- als auch kürzerwellige Anteile unscharf als Farbkleckse abgebildet. Die Folge sind Farbsäume und eine reduzierte Bildschärfe. In Bild 5 ist dies exemplarisch mit 3 Lichtfarben (rot, grün und blau) dargestellt. In der Realität handelt es sich selbstverständlich um einen kontinuierlichen Übergang von rot bis blau/violett, d.h. es ergeben sich keine 3 separaten Brennpunkte wie im Beispiel sondern unendlich viele. Zum auf 3 Farben vereinfachten Beispiel: Das wegen des weißen Hintergrundes grau dargestellte weiße Lichtbündel wird in 3 Lichtfarben aufgespaltet, die 3 verschiedene Brennpunkte besitzen, die auf der Linie durch den Mittelpunkt der Linse liegen. Positioniert man den Film so, daß das grüne Licht scharf darauf abgebildet wird, ist das blaue Licht schon wieder außer Fokus und das rote Licht noch nicht im Fokus, so daß beide Lichtfarben nicht als Punkt sondern je als kleiner Farbkleck auf dem Film abgebildet werden.



Glücklicherweise ist die chromatische Abberation abhängig vom verwendeten Material, namentlich seiner Brechkraft. Mit einem Trick kann man die Auswirkungen stark reduzieren: Man kombiniert eine Konvexlinse (Sammellinse) mit einer Konkavlinse (Zerstreuungslinse), die aus einem anderen Material hergestellt ist. Durch geschickte Kombination der Linsenradien und der Materialien erreicht man, daß rotes und blaues Licht um den gleichen Betrag abgelenkt werden d.h. sich im gleichen Brennpunkt treffen. Solche Linsenkombinationen bezeichnet man übrigens als Achromate, achromatische Linsen (= Linsen "ohne Farbgang") oder als chromatisch korrigierte Linsen. Genaugenommen kann man die chromatische Abberation auf diese Weise nur für zwei Lichtfarben auf Null reduzieren, während sie für alle anderen Lichtfarben lediglich reduziert ist. Der verbleibende Restfehler wird als sekundäres Spektrum bezeichnet.

### Sphärische Abberation

Handelsübliche Linsen besitzen kugelförmige Oberflächen, d.h. die Radien der beiden Oberflächen sind konstant. Man spricht auch von sphärischer Oberfläche (Sphäre = Kugel). Man kann sie einigermaßen einfach herstellen, weshalb fast alle der gebräuchlichen Linsen sphärische Linsen sind. Leider entspricht dies nur annähernd den physikalischen Erfordernissen, denn sphärische Linsen lenken Lichtstrahlen am Rand ein wenig zu stark ab. Dadurch werden sie in einem Punkt gebündelt, der ein kleines Stück vor dem Brennpunkt von Lichtstrahlen liegt, die in der Nähe der Mitte auf die Linse treffen, siehe Bild 6. Im Brennpunkt der Mittelpunktsstrahlen bilden die Randstrahlen einen kleinen Lichtkecks statt eines scharfen Punkts, der die Bildschärfe reduziert. Dieser Effekt tritt bei gleicher Brennweite umso stärker auf, je größer der Durchmesser der Linse ist. Lichtstarke Objektive sind von der sphärischen Abberation daher viel stärker betroffen als lichtschwache. Die Auswirkungen kann man sehr leicht durch Abblenden des Objektivs verringern, da dadurch die Randstrahlen nicht auf dem Bild landen.



Bei sogenannten asphärischen Linsen tritt dieser Linsenfehler nicht auf. Bei ihnen ist der Radius der Oberflächen nicht konstant, sondern nimmt von der Mitte zum Rand hin ab. Das Schleifen asphärischer Linsen ist kompliziert, weshalb sie sehr teuer sind. Asphärische Glaslinsen finden daher nur bei sehr teuren Objektiven Verwendung. In den letzten Jahren hat man Verfahren entwickelt, wie man preiswert asphärische Kunststofflinsen im Gießverfahren herstellen kann, was bei Glaslinsen nicht möglich ist. Für den Einsatz als Frontlinse kommen sie nicht infrage, u.a. weil Kunststoff sehr kratzempfindlich ist und unter dem Einfluß von Luftfeuchtigkeit aufquillt. Man verwendet solche asphärischen Linsen in letzter Zeit zunehmend an bestimmten Stellen im Objektiv, wo sie für eine Verbesserung der Bildqualität sorgen können. Sie sind recht preiswert herzustellen, weil das bei Glaslinsen erforderliche zeitaufwendige und damit teure Schleifen entfällt, so daß man den Einsatz solcher Linsen nicht nur vor dem Hintergrund einer möglicherweise höheren Bildqualität sondern auch einer preiswerteren Herstellung sehen muß.

### Astigmatismus

Astigmatisch heißt übersetzt "nicht punktförmig". Und genau das ist auch das Problem: Schräg einfallende, winzige runde Lichtbündel werden auf dem Film nicht als kleine Kreise abgebildet sondern oval bis zu einem kurzen Strich hin. Im Objektivbau kann man den Astigmatismus durch Verwendung von mehrerer Linsen mit unterschiedlichen Linsenformen stark reduzieren.

## Objektive

Ein Objektiv besteht grundsätzlich aus einer mehr oder minder großen Anzahl von Linsen und einer Fassung, d.h. salopp gesagt der Halterung für die Linsen. Es wird manchen verwundern, daß "für das bißchen Glas" sooo schrecklich viel Geld verlangt wird. Zwar will ich nicht unbedingt eine Lanze für die Hersteller brechen, denn die Preiserhöhungen in den letzten 10 Jahren waren zum Teil schlicht unverschämt, aber doch sollte man auch würdigen, daß es sich um Präzisionsteile handelt: Die Linsen, von denen teilweise 15 oder mehr in einem Objektiv stecken, sind schließlich kein billiges Fensterglas sondern optische Präzisionsteile, die mitunter aus exotischen und damit sehr teuren Gläsern hergestellt sind.

Von der Fassung sieht man kaum mehr als das zylindrische Äußere. Trotzdem verbirgt sich dahinter eine ziemlich komplizierte Feinmechanik. Denn in modernen Zoom-Objektiven müssen sowohl bei der Änderung der Brennweite als auch der Entfernungseinstellung gleich mehrere Linsengruppen mit hoher Genauigkeit gegeneinander in komplizierten Bewegungen verstellt werden. Auf der anderen Seite wird jemand, der die Preise für eine ganz normale Brille kennt, überrascht sein, wieso preisgünstige Objektive so billig sein können, wie sie nun einmal sind. Denn so preistreibende Details wie die bei Brillen angebotene Superentspiegelung sind bei Objektiven schon seit langen Jahren absoluter Standard, und zwar bei qualitativ hochwertigen Objektiven für jede enthaltene Linse.

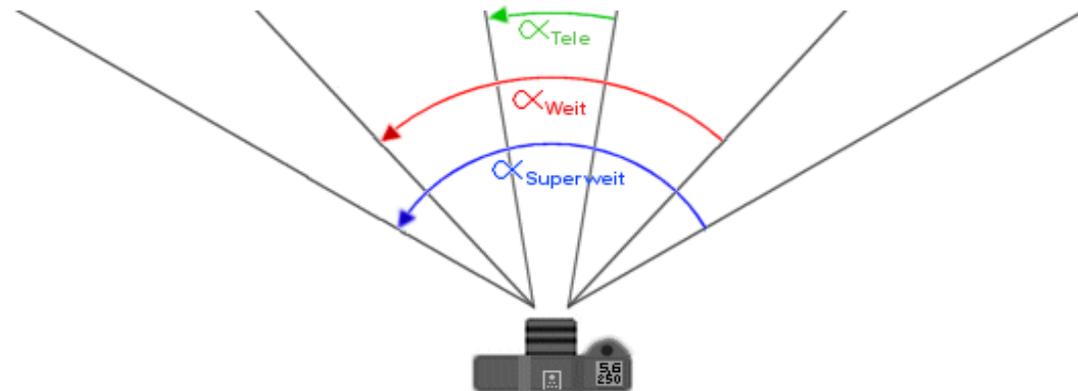
## Brennweite eines Objektivs

Wenn Sie eine Lupe in die Sonne halten, werden Sie bei richtig gewähltem Abstand zu z.B. einem Blatt Papier feststellen, daß sich die Sonnenstrahlen in einem einzigen Punkt treffen und nach einiger Zeit das Papier entzünden. Der Abstand entspricht der sogenannten Brennweite der Lupe (*Brennweite* deshalb, weil man früher so öfter Feuer entzündet hat).

Beim Fotografieren spielt es natürlich keine Rolle, wie weit man ein Objektiv von Papier weg halten muß, damit dieses durch die in einem Punkt konzentrierten Sonnenstrahlen entzündet wird. Aber die Brennweite ist eine Größe, von der die sehr wichtige Kenngröße Bildwinkel abhängt.

Der Bildwinkel beschreibt physikalisch gesehen, in welchem Winkel sich maximal Objekte befinden dürfen, damit sie gerade noch auf dem Film abgebildet werden. Salopp gesagt bedeutet ein großer Bildwinkel, daß das Objektiv verkleinert d.h. "viel auf dem Film bringt" bis hin zum Extrem einer schon fast surrealistischen Abbildung eines Fischaugen-

Objektivs. Ein kleiner Bildwinkel besagt hingegen, daß das Objektiv wie ein Fernrohr die Welt "näher heranbringt". In Bild 1 ist dies ein einer Graphik dargestellt.



6 Bildwinkel

Was Sie sich unbedingt merken sollten, ist folgendes:

Kurze Brennweite = großer Bildwinkel

Lange Brennweite = kleiner Bildwinkel

Objektive mit geringem Bildwinkel ("Fernrohr") bezeichnet man als Teleobjektive und solche mit großem Bildwinkel als Weitwinkelobjektive. Extrem kurz- bzw. langbrennweitige Objektive sind als Superweitwinkel- bzw. Superteleobjektive bekannt. Der Zusatz "Super" betrifft nicht nur die Brennweite sondern leider auch den Preis.

### **Lichtstärke**

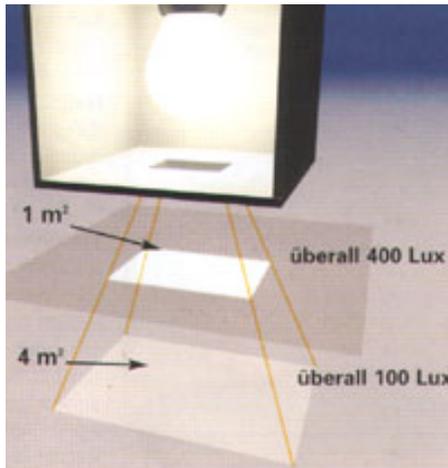
Die Lichtstärke eines Objektivs besagt salopp gesagt, wieviel Licht ein Objektiv bei voll geöffneter Blende auf den Film läßt. Sie hängt grob gesagt vom Durchmesser der Frontlinse eines Objektivs ab (bei Superweitwinkelobjektiven muß die Frontlinse aus konstruktiven Gründen größer sein). Um die Werte verschiedenener Objektive miteinander vergleichen zu können, bezieht man diesen Wert auf die Brennweite und erhält beispielsweise einen Wert von 1:2,0. Bei einer Brennweite von 50 mm entspricht dies einem Durchmesser von 25 mm, bei 200 mm jedoch einem Durchmesser von 100 mm.

Der Wert hinter dem "1:" gibt die größtmögliche Blendenöffnung an, also hier 2,0. Die Lichtmenge ändert sich nicht linear mit dem Durchmesser sondern quadratisch, da der Öffnungsquerschnitt sich quadratisch mit dem Durchmesser verändert. Die Blendenreihe lautet daher:

1,0 - 1,4 - 2,0 - 2,8 - 4,0 - 5,6 - 8,0 - 11,0 - 16,0 - 22,0 - 32,0

Jede Stufe Richtung der größeren Zahl bedeutet eine Halbierung der Lichtmenge, d.h. einer Abnahme der Lichtstärke um einen sogenannte Blendenwert oder Blendeneinheit. Bei einer vorgegebenen Empfindlichkeit des Films bedeutet dies, daß man mit einem Objektiv mit hoher Lichtstärke in dunklerer Umgebung fotografieren kann als mit einem lichtschwachen (Umgekehrt heißt das für und DIY-Beamer-Bauer: Je höher die Lichtstärke des Objektivs bei gleicher Lampenkonstruktion, desto heller ist das projizierte Bild; Anmerkung von wschmid). Und es ist wirklich oft dunkler als einem lieb ist. Eine Faustregel besagt, daß auch geübte Fotografen mit ruhiger Hand keine Verschlusszeiten verwenden sollten, die länger sind als 1:Brennweite in Millimetern. Bei beispielsweise 50 mm also 1/50 Sekunde. Ansonsten verwackelt man die Aufnahme.

## Fachbegriffe



### Normen

### Was fordert die ANSI-Norm?

### Was sind Lumen?

Lumen ist die physikalische Einheit, mit der der sogenannte Nutzlichtstrom angegeben wird. Letztendlich gibt der Wert nur an, wie stark die Lichtquelle im Gerät ist. Über das Ergebnis, also die Helligkeit des projizierten Bildes sagt der Wert an sich nichts aus.

### Wie werden Lumen gemessen?

Gar nicht, es gibt kein Gerät, mit dem man den sogenannten Nutzlichtstrom messen könnte. Der einzige Wert, der messbar ist, ist die Beleuchtungsstärke, die mit einem Belichtungsmesser, wie man ihn vom Fotografen her kennt, gemessen wird. Die Beleuchtungsstärke wird in Lux angegeben. Die Beleuchtungsstärke ist ohnehin der interessantere Wert, da es sich dabei nur um den Lichtanteil handelt, der das tatsächlich projizierte Bild erzeugt. Der Nutzlichtstrom (der Lumenwert) wird über einen Umweg ermittelt: Man projiziert ein weißes Bild, stellt dessen Fläche in Quadratmetern fest und misst in der Bildebene die Beleuchtungsstärke. Wie wird nun die Lumenzahl errechnet? Man bedient sich dabei folgender Formel:

$$\text{Lichtstrom (lm)} = \text{Beleuchtungsstärke (lx)} * \text{Fläche (m}^2\text{)}$$

Erst jetzt kennt man die Lumenzahl eines Gerätes.

Damit der Nutzlichtstrom weltweit nach den gleichen und wiederholbaren Verfahren ermittelt werden können, müssen sich die Hersteller an Vorgaben von Normungsinstituten halten. Obwohl es eine ISO-Norm gibt, hat sich in der Praxis die amerikanische Norm ANSI (American National Standard Institute) durchgesetzt. Deshalb findet man in der Regel als technische Angabe den Begriff „ANSI- Lumen“.

Bei dem getesteten Gerät muss es sich um ein normales Seriengerät handeln, das projizierte Bild sollte eine Fläche von 1 qm bis 2 qm haben und die Bildmitte muss genau auf der optischen Achse liegen. Mittels verschiedener genormter Testbilder werden Helligkeit, Kontrast sowie die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung ermittelt.

### Wieviel Lumen muss ein Gerät wirklich haben?

Das hängt davon ab, in welcher Umgebung der Projektor eingesetzt werden soll. In Hellräumen variiert der Luxwert zwischen 100 und 400. Der Wert 100 wird erreicht, wenn kein Tageslicht direkt auf die Projektionsfläche fällt, mit 400 Lux hat man es z.B. zu tun, wenn die Projektionsfläche einem Fenster genau gegenüber liegt. Als Faustregel gilt, dass der Projektor die fünffache (Nach Duffy die fünfzigfache) Luxzahl des Umgebungslichtes liefern sollte. In relativ dunklen Räumen (100 Lux) reichen 500 Lux, in hellen Räumen (400 Lux) sollten es dann schon 2000 Lux sein.

Leider hat man es noch mit einer zweiten Variablen zu tun, nämlich mit dem Abstand zwischen Projektor und Projektionsfläche und damit auch zwangsläufig mit der Größe des projizierten Bildes. Die Helligkeit des Bildes nimmt mit Entfernung zwischen Projektor und Bildfläche ab.

### Rechenbeispiel:

Wir befinden uns in einem Raum mit relativ viel Umgebungslicht (400 Lux) und uns steht ein Projektor mit 1200 Lumen zur Verfügung. Nun multiplizieren wir das Umgebungslicht mit 5 (oder 50 nach Duffy, siehe oben) und erhalten 2000 Lux. Wenn wir nun die Lumenzahl des Gerätes mit dem fünffachen des Umgebungslichtes dividieren erhalten wir die optimale Projektionsfläche in Quadratmetern. In unserem Fall also 0,6 qm. Bei dem üblichen Seitenverhältnis von 4:3 erhalten wir ein 90 cm breites Bild.

$$\text{Bildgröße (m}^2\text{)} = 1200\text{Lumen} / 2000\text{Lux} = 0,6\text{m}^2$$

**Fazit**

Die optimale Lumenzahl hängt davon ab, unter welchen Bedingungen der Projektor eingesetzt werden soll. Wenn das Gerät vor einem großem Publikum in sehr hellem Umgebungslicht eingesetzt wird, braucht es eine hohe Lumenzahl. Steht der Projektor in einem relativ dunklen Raum und ein eher kleines projiziertes Bild reicht aus, können es auch ein paar Lumen weniger sein.

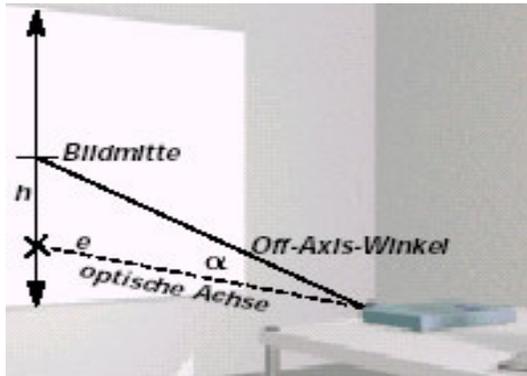
**Hier mal eine Lichtrechnung von Duffy für eine 250 W HQI:**

20000lm \* 35% = 7000lm das holt man mit Reflektor und großem Kondensator raus  
 7000lm \* 61% = 4270lm die 7000lm bezogen sich auf eine runde Fläche, TFT ist aber nur ein Ausschnitt davon  
 4270lm - 30% = 2989lm Verluste durch Glas und Fresnel  
 2989lm \* 33% = 986lm Verlust am TFT  
 986lm - 20% = 780lm Verluste durch Objekti  
 ca. 780lm bei einer 100% Ausleuchtung wären das 780 Ansi-Lumen  
 bei nur 30% Lichtausbeute an der Lampe, sprich 6000lm kommen nur noch 670lm raus  
 jedoch bei 60% Lichtausbeute an der Lampe, sprich 12000lm kommen ca. 1400lm raus  
 Man sieht, es hängt alles von der Lichtquelle ab und wie man sie nutzt, professionelle Beamer nutzen recht viel, bestimmt 60-80%

**Und hier noch ein paar Beleuchtungsstärken nach Duffy:**

Sonne, Sommer	70000 lx
Sonne, Winter	5500 lx
Tageslicht, bedeckter Himmel	1000 bis 2000 lx
Vollmond	0,25 lx
Sterne ohne Mond, klare Nacht	$10^{-3}$ lx
Grenze der Farbwahrnehmung	3 lx
Arbeitsplatzbeleuchtung, hohe Ansprüche	1000 lx
Wohnzimmerbeleuchtung	120 lx
Straßenbeleuchtung	1 bis 16 lx
Leuchtdiode	$10^{-2}$ lm
Glühlampe 220V, 60W	730 lm
Glühlampe 220V, 100W	1380 lm
Leuchtstoffröhre 220V, 40 W	2300 lm
Quecksilberdampf Lampe 220V, 125W	5400 lm
Quecksilberdampf Lampe 220V, 2000W	125000 lm

## Projektionsgeometrien



Die überwiegende Mehrheit der Projektoren wird mit einem fest eingebauten Objektiv geliefert. Damit liegen auch alle optischen Rahmenbedingungen fest und können nur mit einigem Aufwand modifiziert werden. In der Praxis erlebt man nicht selten, dass ein Verkäufer auf die Frage des Kunden, welche Bildgröße man denn mit diesem oder jenem Projektor erzielen kann, korrekt aus dem Datenblatt zitiert: „Bis zu sechs Meter achtundsiebzig“. Das klingt sehr präzise und der Kunde gibt sich damit zufrieden, ohne zu wissen, dass er für eine solche Bildgröße eine Projektionsentfernung von 12 m benötigt und den Raum fast vollkommen abdunkeln muss, damit er noch etwas erkennen kann. Meist erst nach dem Kauf erhält er dann aus Tabellen oder kleinen Skizzen im Handbuch Hinweise darauf, welche Projektionsgröße bei welcher Entfernung erreicht wird und in welcher Höhe man die Bildunterkante bei waagerechter Projektion erwarten kann. Insbesondere, wenn der Projektor für einen bestimmten Haupteinsatzzweck gedacht ist, bei dem Aufstellungsort (Raumgröße) und Bildgröße fest liegen, sollte man bereits im Vorfeld die Eckdaten des benötigten Objektivs ermittelt haben.

**Das Verhältnis von Projektionsentfernung zu Bilddiagonale ist gleich dem von Brennweite zu Chipdiagonale**

### Brennweite und Projektionsentfernung

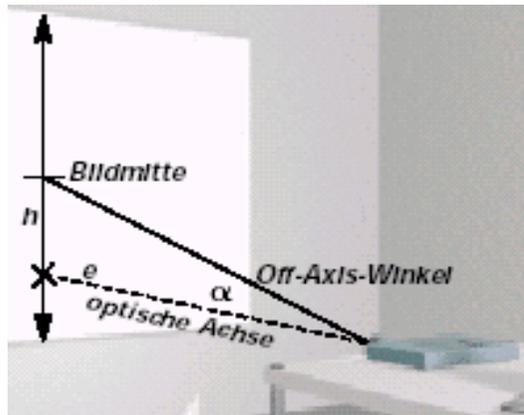
Anhand der Brennweite der Projektionsoptik lässt sich sehr einfach die erzielbare Bildgröße bei gegebener Entfernung oder die benötigte Entfernung bei vorgegebener Bildgröße berechnen. Dazu muss allerdings noch ein weiterer Wert bekannt sein: die Größe des bildgebenden Elementes, also des LCD- oder DLP-Chips. Da nun das Verhältnis von der Größe des Bildgebers zur Brennweite des Objektivs gleich dem Verhältnis der Bildgröße zur Projektionsentfernung ist, sollte die Berechnung kein großes Problem machen. Zwei kleine Haken hat das Ganze allerdings. Zum einen wird die Chipgröße üblicherweise in Zoll angegeben. Sie muss also mit 2,54 multipliziert werden, damit auch die Entfernung und die Projektionsgröße in Zentimetern gemessen werden können.

Störender ist die Tatsache, dass die Angabe der Chipgröße sich immer auf deren Diagonale bezieht. Als Ergebnis einer Berechnung erhalten wir daher auch die Diagonale der Projektionsgröße – ein für die Praxis eher uninteressanter Wert. Hier ist die Umrechnung auch nicht kompliziert. Für das Seitenverhältnis 4:3 ergibt sich, dass die Bildbreite vier Fünftel der Diagonale beträgt, was einem Faktor von 0,8 entspricht. Der Faktor für das 16:9-Format ist 0,87. Mit diesem Grundwissen ist nun die Berechnung der Projektionsgeometrie kein Problem mehr. Übrigens lassen sich in der Praxis nicht alle Projektionsentfernungen nutzen, da die Objektive in ihrer Fokussierbarkeit begrenzt sind. Datenblätter geben über die minimale und maximale Entfernung Aufschluss.

## Lichtstärke

Eine weitere Kennziffer für Objektive ist deren Lichtstärke. Sie wird mit dem Großbuchstaben „F“ abgekürzt und liegt im Bereich zwischen 1,5 und 3,0. Je kleiner diese Zahl ist, um so mehr Licht lässt das Objektiv durch. Die Lichtstärke eines Objektivs ist maßgeblich von der Größe der Frontlinse abhängig. Große Linsen schlagen sich aber auch deutlich im Preis nieder. So kann es also durchaus sein, dass ein Projektor – vom Werk her mit einer preisgünstigen Optik ausgestattet – nach einem Objektivwechsel eine deutlich höhere Lichtleistung liefert. Aber auch der umgekehrte Fall wird eintreffen. Insbesondere Objektive mit langen Brennweiten (Teleobjektive) schlucken viel Licht, wenn sie nicht mit teuren Linsen ausgestattet sind. Die Lichtleistung, ausgedrückt in Lumen, wird mit solchen Objektiven merklich reduziert. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist es auch einsichtig, dass bei Projektoren mit Wechselobjektiven die Angabe der Lichtleistung nur für ein bestimmtes Objektiv korrekt ist. In den technischen Datenblättern muss daher angegeben werden, mit welchem Objektiv die Lumenzahl ermittelt wurde. Für die Praxis ist die Lichtstärke des Objektivs solange irrelevant, wie kein Objektivwechsel vorgesehen ist. Ein lichtschwächeres Objektiv drückt sich nämlich automatisch in einer geringeren Lumenzahl des Projektors aus und die ist es natürlich, die am Ende zählt.

## Off-Axis



Idealerweise müsste sich das Projektionsobjektiv genau auf der Höhe der Bildmitte befinden, wie es bei den meisten Diaprojektoren der Fall ist. Bei einer solchen On-Axis-Geometrie wird das Projektionsobjektiv in seinem zentralen Bereich optimal genutzt, was zu einem gleichmäßig ausgeleuchteten und scharfen Bild führt. Die Aufstellung des Projektors in Höhe der Bildmitte ist allerdings für die Praxis in den meisten Fällen eher ungünstig. Gewünscht wird nämlich entweder, den Projektor auf den Arbeitstisch zu stellen oder ihn bei einer Festinstallation unter die Decke zu hängen.

Bei einem Off-Axis projizierenden Projektor wäre es dann nötig, ihn schräg auf die Bildwand projizieren zu lassen, was zu einer unschönen trapezförmigen Verzerrung des Bildes führt oder ein Kippen der Bildwand erfordert. Alle heutigen Daten- / Videoprojektoren haben daher einen fest eingestellten Off-Axis-Winkel oder sogar ein verschiebbares Projektionsobjektiv, was als Lens-Shift bezeichnet wird. Angegeben wird hier zumeist der Winkel, um den die Bildmitte aus der optischen Achse verschoben wird. Ist die Projektionsentfernung bekannt, so lässt sich mit trigonometrischen Kenntnissen die Höhe des Bildmittelpunktes über der optischen Achse berechnen. Bei Zoomobjektiven werden zwei Winkel angegeben, nämlich für die kürzeste und die längste Brennweite.

**Off-Axis: Die Bildmitte ist um den Winkel alpha verschoben. In Abhängigkeit von der Projektionsentfernung lässt sich die Lage der Bildmitte errechnen.**

Die Berechnung ist nur insofern etwas komplizierter, als man einen Rechner mit Tangens-Funktion benötigt. Etwas einfacher ist die Berechnung vielleicht, wenn in den Datenblättern eines Projektors das Verhältnis des oberhalb zu dem des unterhalb der optischen Achse projizierten Bildanteils angegeben ist. So bedeutet 4:1, dass vier Bildanteile oberhalb und einer unterhalb der optischen Achse projiziert werden. Liegt das gesamte Bild oberhalb, so ist natürlich die Angabe eines Oberhalb- / Unterhalb-Verhältnisses nicht mehr aussagekräftig.

## Anamorphe Optiken

h (cm) sei die Höhe des Bildmittelpunktes über der optischen Achse  
 e (cm) sei die Projektionsentfernung  
 $h = e \cdot \tan \alpha$

### Beispiel:

Für eine Entfernung von 3 m = 300 cm und einen Winkel von  $10^\circ$  ergibt sich die Höhe des Bildmittelpunktes zu:

$$h \text{ (cm)} = 300 \text{ (cm)} \cdot 0,158$$

$$h \text{ (cm)} = 47,4 \text{ (cm)}$$

Der Bildmittelpunkt liegt im Beispiel also um 47,4 cm über der Optischen Achse.

Das Standard- Fernsehgerät wie auch der Computermonitor haben ein Seitenverhältnis von 4:3. Auch auf dem 35-mm-Film, wie er im herkömmlichen Kino gezeigt wird, liegt das Bild im 4:3- Format vor. Um es im 16:9 Verhältnis präsentieren zu können, wird im Kino bereits seit Jahrzehnten eine anamorphotische (oder anamorphe) Optik eingesetzt, die aus sphärischen und zylindrischen Linsen aufgebaut ist und das Bild auf die richtige Breite bringt.

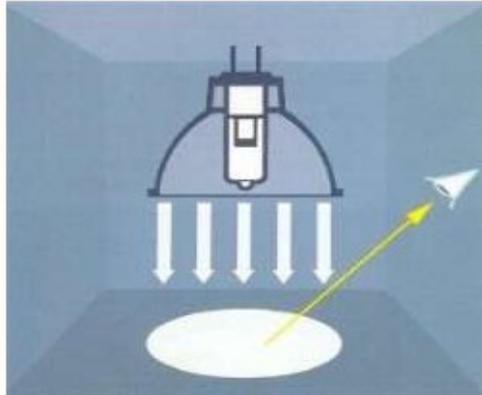
Natürlich wurden die Bilder bei der Aufnahme entsprechend gestaucht. Die Verfahren sind bekannt als Cinemascope und Panavision. Auf einer DVD abgespeicherte 16:9- Filme liegen, nicht zuletzt um Speicherplatz zu sparen, auch anamorphotisch verzerrt vor. Es gibt verschiedene Verfahren, sie wieder im richtigen Seitenverhältnis zu zeigen. Optimal ist sicherlich der echte 16:9 Projektor, zumeist wird man sich aber mit einem 4:3-Gerät begnügen müssen. Dann ist eine Vorsatzoptik zur Entzerrung der beste Weg. Verschiedene Hersteller – meist auch die, welche Optiken für Kinoprojektoren produzieren – bieten 16:9-Video-Attachments an. Solche Linsensysteme haben ein eigenes Stativ und können so mit einer Vielzahl von Projektoren eingesetzt werden.

Dennoch, vollkommen universell sind diese Vorsatzoptiken auch nicht. Beim Einkauf sollte man sowohl die Auflösung als auch die Chipgröße des eigenen Projektors kennen.

## Der Lichtstrom

Mathematisches Formelzeichen:  $\Phi$

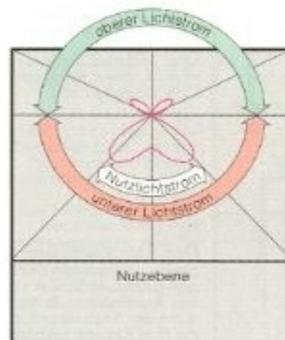
Maßeinheit: Lumen (lm)



Eine Glühlampe 100 W hat etwa 1380 lm, eine Kompaktleuchtstofflampe 20W mit eingebautem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) etwa 1200 lm.

## Der Lichtstrom $F$

ist die Lichtleistung einer Lampe. Er wird in Lumen (lm) gemessen. Werte darüber findet man in den Listen der Lampenhersteller.



Lichtquelle in den Raum abgestrahlte Energie. Zur spektralen Bewertung herangezogen wird die Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges.

Das Beispiel:

Eine Glühlampe wird eingeschaltet. Das gesamte Licht, welches die Lampe abstrahlt, bezeichnet man als Lichtstrom, gemessen in Lumen.

## Die Lichtmenge

Mathematisches Formelzeichen:  $Q$

Maßeinheit: Lumensekunden (lms)

Die Lichtmenge gibt die Höhe des Lichtstroms über einen bestimmten Zeitraum an.

$$\text{Lichtmenge} = \text{Lichtstrom} \times \text{Zeit}$$

Das Beispiel:

Eine Glühlampe wird für 1 Minute (= 60 Sekunden) eingeschaltet. Während dieses Zeitraumes erzeugt sie einen Lichtstrom von 1 lm. Die abgestrahlte Lichtmenge beträgt daher 60 lms.

$$\text{Lichtmenge} = 1 \text{ lm} \times 60 \text{ s} = 60 \text{ lms}$$

## Die Lichtausbeute

Maßeinheit: Lumen/Watt (lm/W)

Die Lichtausbeute gibt an, wie effizient eine Lampe die aufgenommene elektrische Energie in Licht umsetzt. Angegeben wird der Lichtstrom, der pro Watt zugeführter Energie erzeugt wird.

Zur Information:

Halogenlampen haben einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 25 lm/W. Bei HMI-Lampen liegt der Wirkungsgrad wesentlich höher, die Werte liegen hier zwischen 80 und 100 lm/W.

## Die Lichtstärke

Mathematisches Formelzeichen:  $I$

Maßeinheit: Candela (Ca)

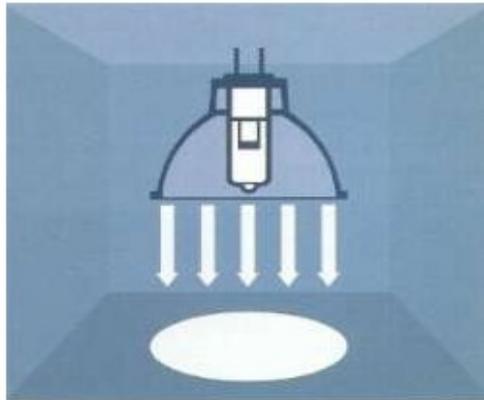
Lichtquellen strahlen ihr Licht nur selten in alle Richtungen gleichzeitig ab. Der in einer bestimmten Richtung abgestrahlte Teil des Lichtstroms nennt man Lichtstärke. Um diesen berechnen zu können, muss man zunächst den Raumwinkel des abgestrahlten Lichts kennen.

Dazu stellen wir uns vor, die Lichtquelle wäre absolut punktförmig und würde ihr Licht gleichmäßig und kugelförmig abstrahlen (siehe linke Abbildung). In diesem Fall befindet sich die Lichtquelle exakt im Mittelpunkt dieser Kugel und die beleuchtete Fläche liegt auf der Kugeloberfläche. Der gesuchte Raumwinkel (gemessen in Steradian, sr) berechnet sich dann wie folgt:

$$\text{Raumwinkel} = \frac{\text{Fläche}}{\text{Radius}^2}$$

Jetzt lässt sich die Lichtstärke nach folgender Formel berechnen:

$$\text{Lichtstärke} = \frac{\text{Lichtstrom im Raumwinkel}}{\text{Raumwinkel}}$$

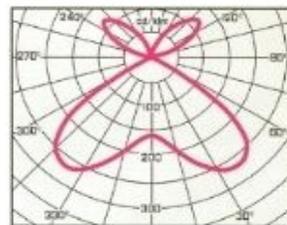


Um die LVK verschiedener Leuchten vergleichen zu können, sind sie üblicherweise einheitlich auf 1000 llm = 1klm bezogen. Dies wird in der LKV mit der Angabe cd/klm gekennzeichnet. Die Darstellung erfolgt in Polarkoordinaten, für Scheinwerfer recht häufig in xy-Koordinaten.

### Die Lichtstärke $I$

ist der Teil eines Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) gemessen.

Die Lichtstärkeverteilung von Reflektorlampen und Leuchten wird graphisch in Form von Kurven dargestellt. Man nennt sie Lichtstärkeverteilungskurven (LVK).



Da es keine Glühlampen gibt, die ihr Licht absolut kugelförmig abstrahlen (dies wird schon durch die notwendigerweise vorhandene Fassung verhindert), verwendet man bei der Berechnung der Lichtstärke sehr kleine Raumwinkel und trägt die ermittelten Werte in Abhängigkeit zum Abstrahlwinkel in ein Polardiagramm (siehe Abbildung) ein.

Diagramme dieser Art findet man oft in den Datenblättern der Lampenhersteller. Interessant sind sie in erster Linie für den Scheinwerferkonstrukteur. Mit Hilfe dieser Daten kann er das optische System seiner Leuchte auf den verwendeten Lampentyp anpassen und so den Wirkungsgrad der Leuchte optimieren.

## Die Beleuchtungsstärke

Mathematisches Formelzeichen: **E**

Maßeinheiten: Lux (lx), Footcandle (fc)

Die Beleuchtungsstärke gibt an, wie stark eine Fläche beleuchtet wird.

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Fläche}}$$

Das Beispiel:

Der von einem Scheinwerfer erzeugte Lichtstrom von 1 Lumen trifft auf eine Fläche von 1 Quadratmeter. Hierbei beträgt die Beleuchtungsstärke 1 Lux.

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

$$\text{Beleuchtungsstärke} = 1 \text{ lx}$$

Im Bereich der praktischen Beleuchtungstechnik ist es sinnvoller, sich folgende Formel zu merken:

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{\text{Abstand (m)}^2}$$

Nach dem "Fotometrischen Entfernungsgesetz" lässt sich die Beleuchtungsstärke ermitteln, indem man die Lichtstärke in Candela durch das Quadrat des Abstandes in Metern dividiert. Dies gilt jedoch nur dann, wenn das Licht im rechten Winkel auf die beleuchtete Fläche fällt.

Das Beispiel:

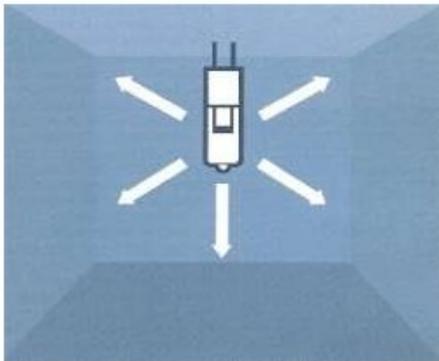
Laut Polardiagramm sendet eine Lampe in einem bestimmten Winkel eine

Lichtstärke von 100 Candela aus. Die zu beleuchtende Fläche befindet sich in einem Abstand von 5 Metern. Die Beleuchtungsstärke beträgt in diesem Fall 4 Lux.

$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{100 \text{ cd}}{5^2 \text{ m}}$$

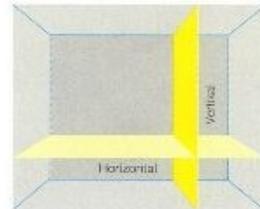
$$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{100 \text{ cd}}{25}$$

$$\text{Beleuchtungsstärke} = 4 \text{ lx}$$



### Die Beleuchtungsstärke **E**

wird horizontal und vertikal in der Maßeinheit Lux (lx) gemessen. Die Beleuchtungsstärke gibt den Lichtstrom an, der von der Lichtquelle auf eine bestimmte Fläche trifft.



Oft wird die Beleuchtungsstärke auch in der Maßeinheit Footcandles (fc) angegeben. Bei der Umrechnung gilt:

$$1 \text{ fc} = 10,76 \text{ lx}$$

$$1 \text{ lx} = 0,0929 \text{ fc}$$

## Die Leuchtdichte

Mathematisches Formelzeichen: **L**

Maßeinheiten

bei beleuchteten Flächen: 1 Candela/m<sup>2</sup> (früher Apostilb, asb)

bei Selbstleuchtern: 1 Candela/cm<sup>2</sup> (früher Stilb, sb)

Die Leuchtdichte ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den ein beleuchtetes (oder selbstleuchtendes) Objekt im menschlichen Auge erzeugt.

$$\text{Leuchtdichte} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{\text{Fläche (m}^2\text{)}}$$

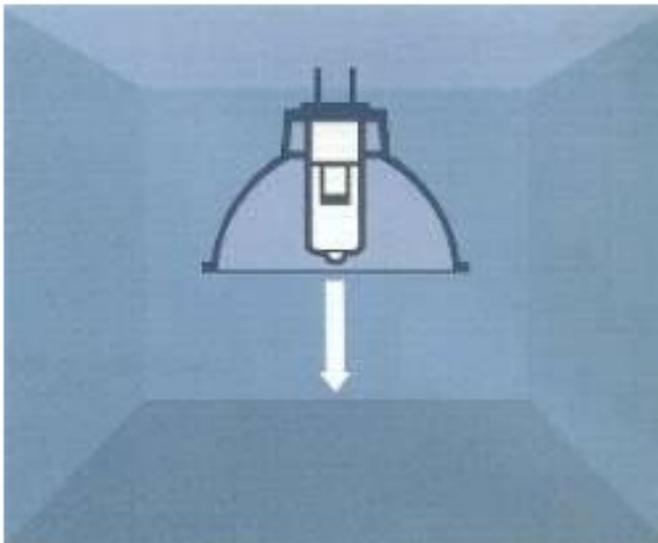
Bei Selbstleuchtern (beispielsweise Wendeln von Glühlampen) würde die Maßeinheit 1 Cd/m<sup>2</sup> sehr große Zahlenwerte erzeugen. Daher verwendet man hier oft die Einheit 1 Cd/cm<sup>2</sup>. Die Formel lautet dann:

$$\text{Leuchtdichte} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{\text{Fläche (cm}^2\text{)}}$$

Die Umrechnungsfaktoren zu den alten Maßeinheiten sind:

$$1 \text{ Cd/m}^2 = 3,14 \text{ asb}$$

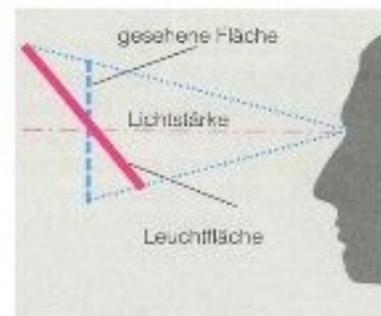
$$1 \text{ Cd/cm}^2 = 1 \text{ sb}$$



In vielen Fällen hat die Angabe der Leuchtdichte eine größere Aussagekraft über die Qualität der Beleuchtung als die Beleuchtungsstärke.

## Die Leuchtdichte **L**

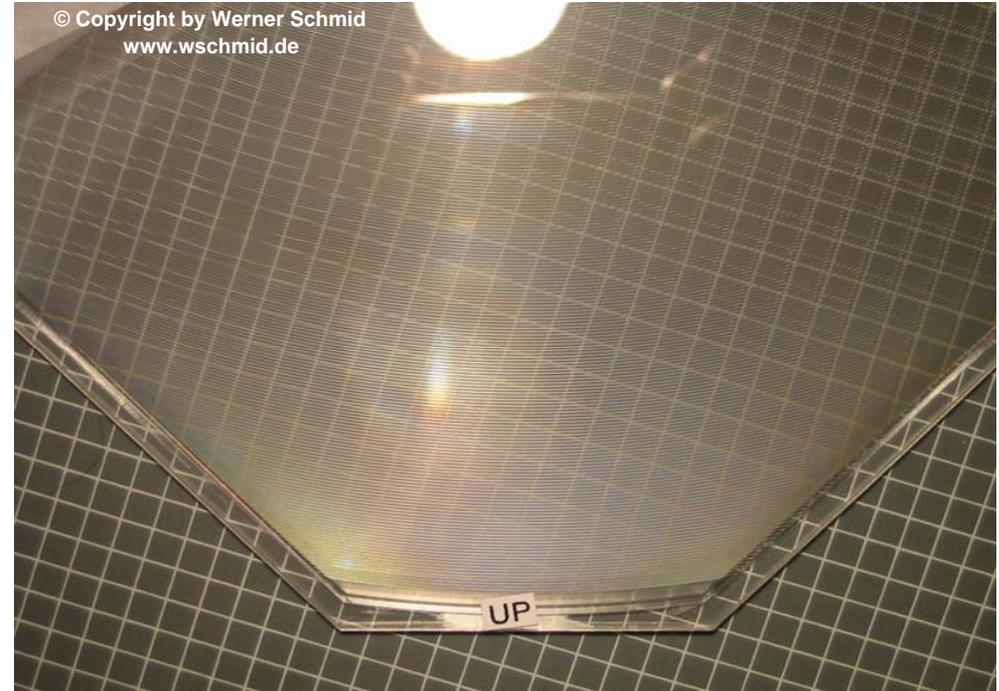
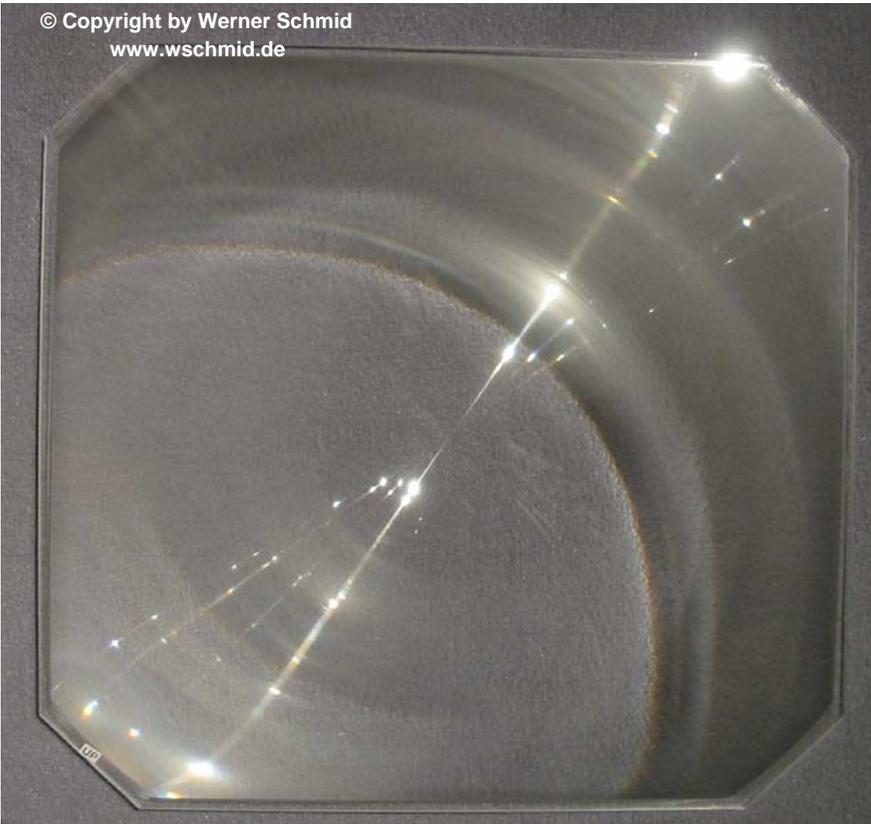
gemessen in Candela pro Flächeneinheit (cd/m<sup>2</sup>), ist der Helligkeitseindruck, den eine beleuchtete oder leuchtende Fläche dem Auge vermittelt. Bei Lampen verwendet man die *handlichere* Einheit cd/cm<sup>2</sup>.



## Das Zerlegen einer OHP-Fresnellinse

Meine erste Fresnel war aus einem alten OHP, der mich nichts gekostet hat; und so sah sie auch aus. Etwas trübe und verbogen, aber es ging. Ich konnte an ihr das Zerlegen und Zersägen üben - na ja, das war nicht geplant, aber nützlich. Ich habe im Betrieb dann eben festgestellt, das mir die Fresnel doch noch etwas an Licht und Bildschärfe wegnimmt und daher beschlossen: Da muss eine neue rein!

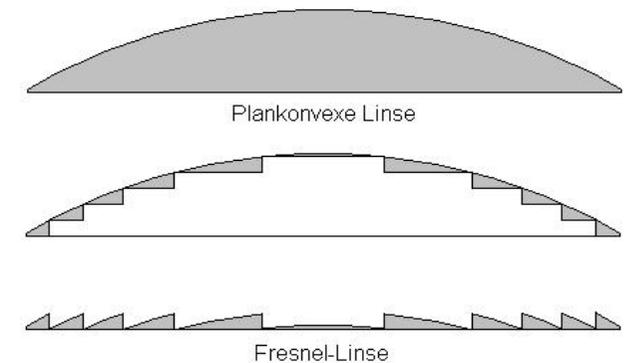
Ja, und nun liegt sie vor mir, jungfräulich und originalverpackt. Erst mal ein "vorher-" Bild:



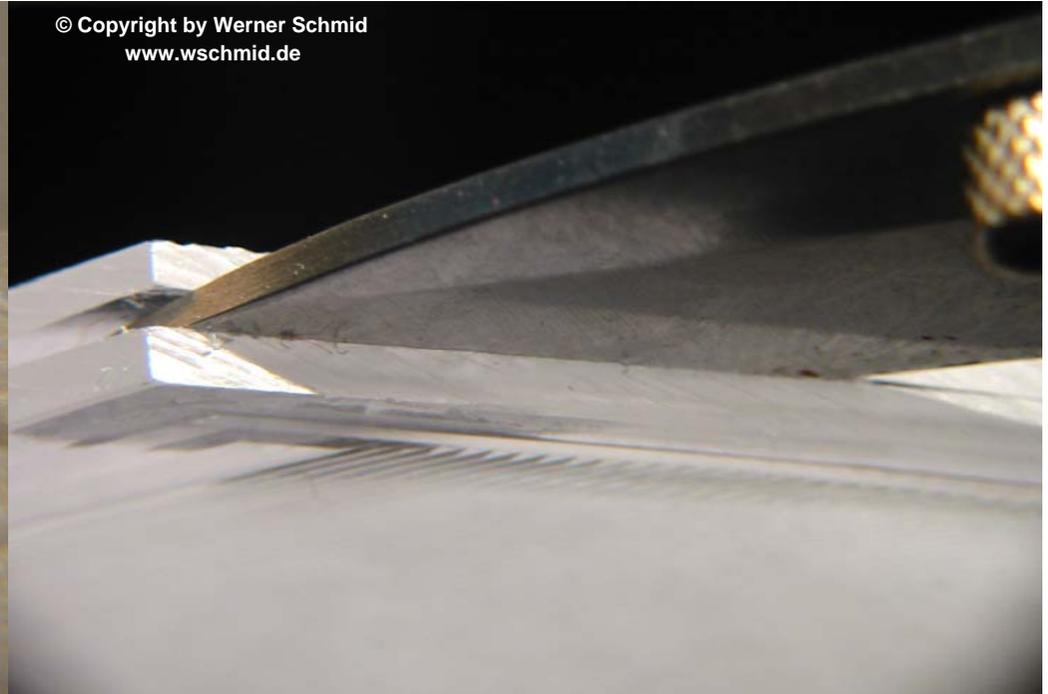
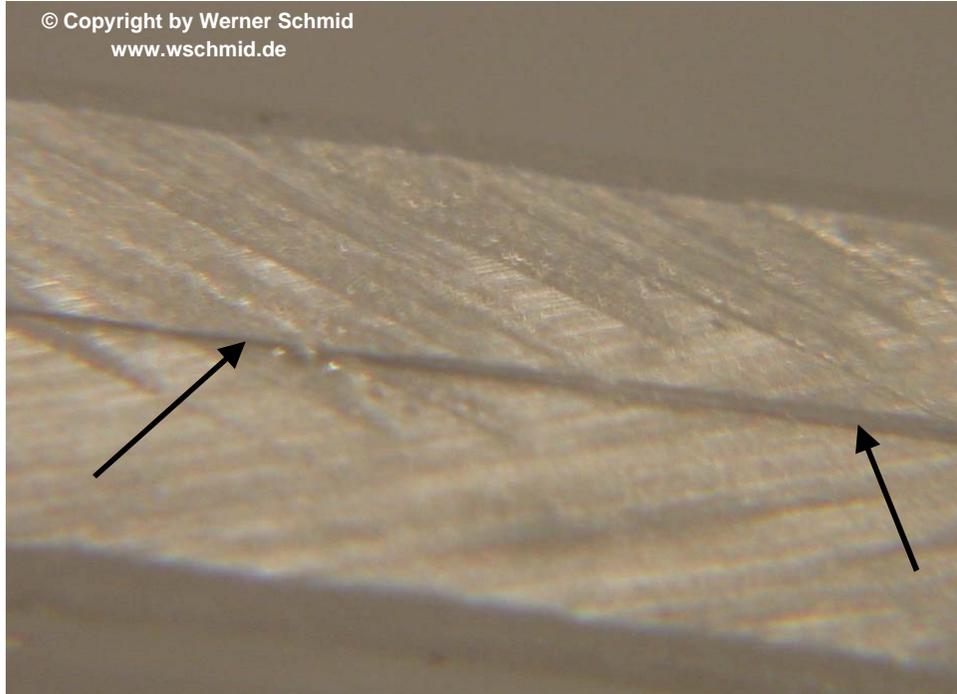
Eine Fresnellinse ist eine "flachgedrückte" normale Linse, d. h. bei ihr wurde alles an Material entfernt, das keinen optischen Zweck hat. Die Skizze rechts veranschaulicht, wie das gemeint ist. Nur der graue Teil bleibt übrig, somit ist die Linse flach und erheblich leichter bei gleicher Brennweite. Dieses Prinzip wurde von dem hellen Kopf Augustin Jean Fresnel (\* 10.5.1788 in Broglie/Frankreich, + 14.7.1827 in Ville-d'Avray/Frankreich) erkannt und netterweise auch nach ihm benannt.

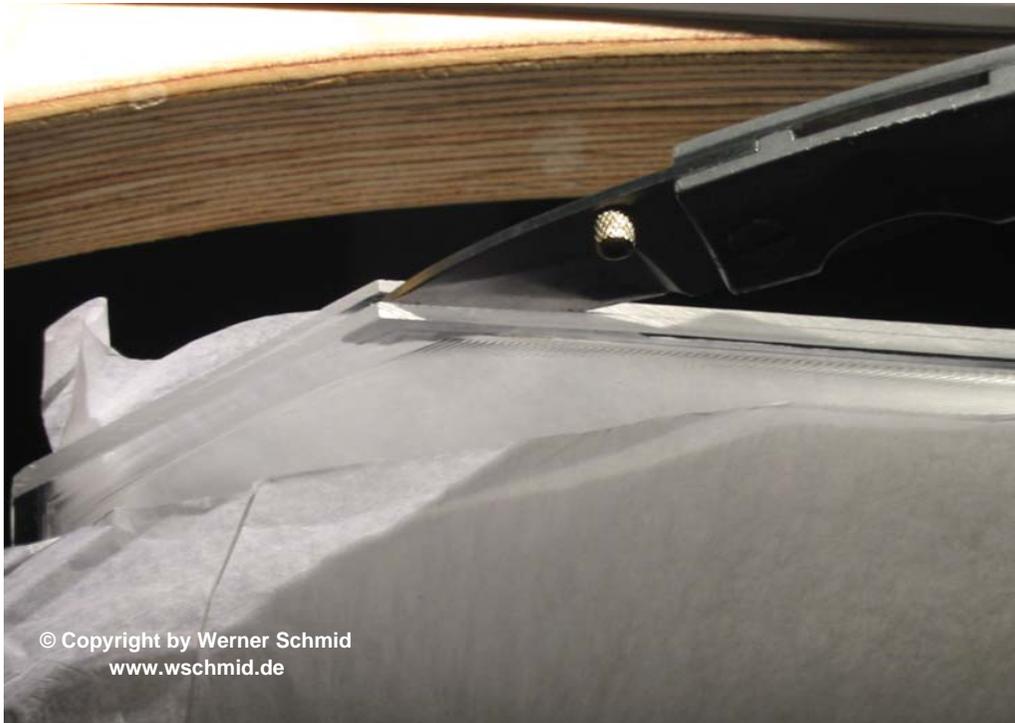
OHP-Fresnellinsen bestehen aus zwei an den Rändern miteinander verklebten einzelnen Linsen.

Übrigens: Auf dem rechten Bild erkennt man einen Aufkleber "Up". Das hat seinen Grund. Die beiden Fresnellinsen haben nicht die gleiche Brennweite; unten ist die kürzere, oben die längere Brennweite.



Wenn man sich die schmale Seite der Fresnel etwas genauer ansieht, erkennt man deutlich die Stelle, an der die beiden Einzellinsen verbunden sind. Und genau dort setzen wir das Messer an! Die Scheibe muss dabei fest fixiert sein, etwa mit einer Unterlage auf dem Tisch festspannen (Vorsicht! Weiche Unterlage auf beiden Seiten benutzen! Die Fresnel besteht aus Acryl und zerkratzt sehr leicht.). Das Messer nun mit etwas Druck vorsichtig in den Spalt zwängen. Bei hartnäckigen Scheiben kann man auch mit einem kleinen Hämmerchen auf den Messerrücken klopfen. Und noch mal: **Vorsicht!** Auch wenn ein Messer nicht die sprichwörtliche Rasiermesserschärfe hat, für die Finger reicht es allemal; ich weiß, wovon ich rede! Zwischen dem linken und dem rechten Bild habe ich meinen Daumen verpflastert (Meine Fresnel gehörte zur nachgiebigen Sorte, das Messer ist nur so reingerutscht - zu schnell).





© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

Wenn das Messer mal drin ist (im Spalt der Fresnel, nicht im Finger!), ist es eigentlich ein Kinderspiel, die beiden Linsen zu trennen. Einfach, wie in den Bildern ersichtlich, vorsichtig mit dem Messer nacheinander um die Seiten fahren, dabei wieder aufpassen, dass die empfindlichen Scheiben nicht zerkratzt werden - und die Finger dran bleiben.



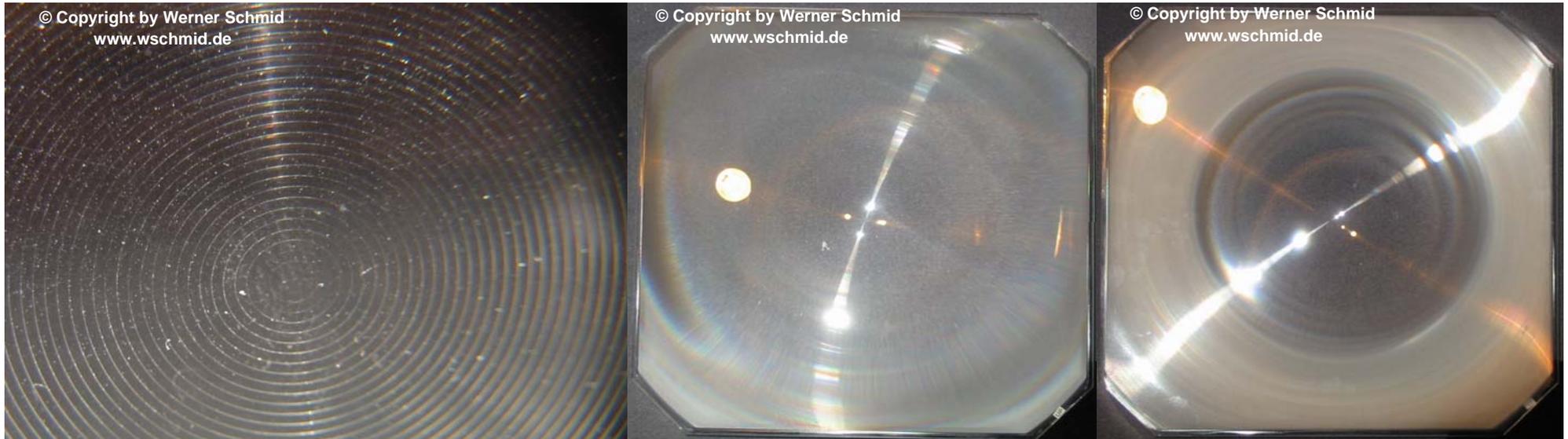
© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

Eine Alternative zu dieser Methode wäre z. B. den Rand der Fresnel abzusägen oder mit einem Dremel den Klebespalt aufzuschneiden. Dabei gelten die gleichen Vorsichtsmaßnahmen, wie sie unten beim Zersägen erwähnt werden.

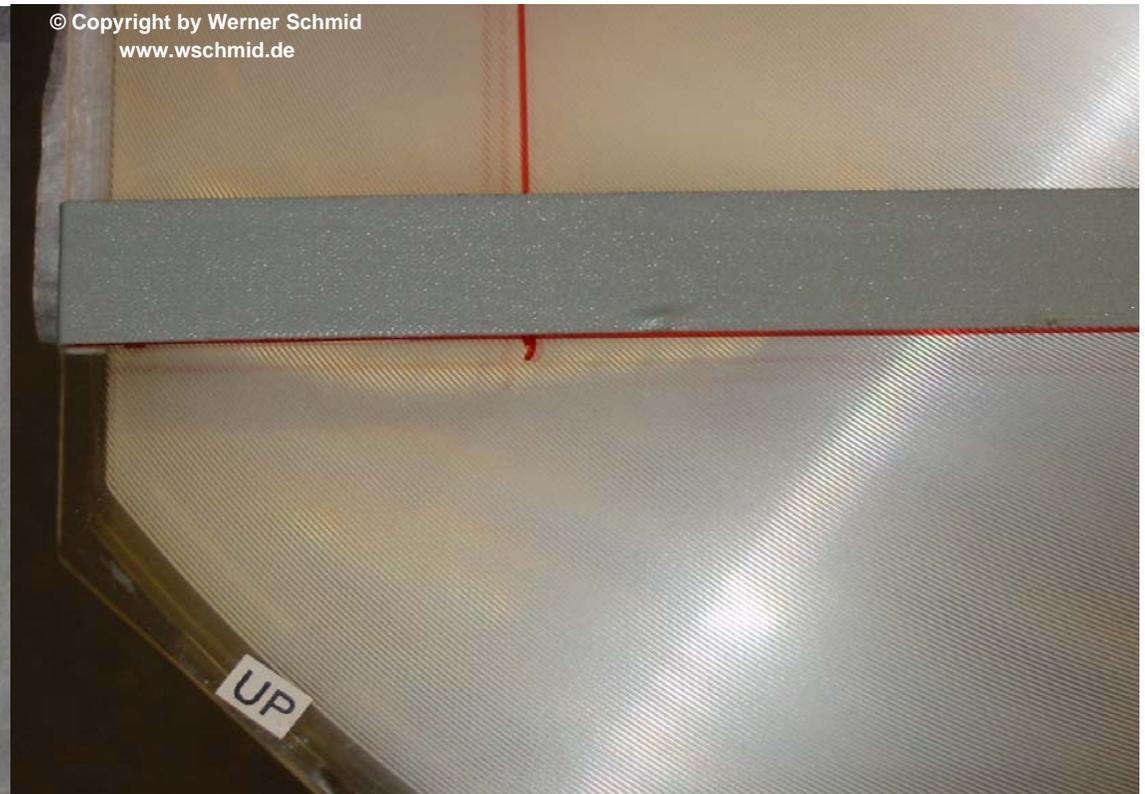
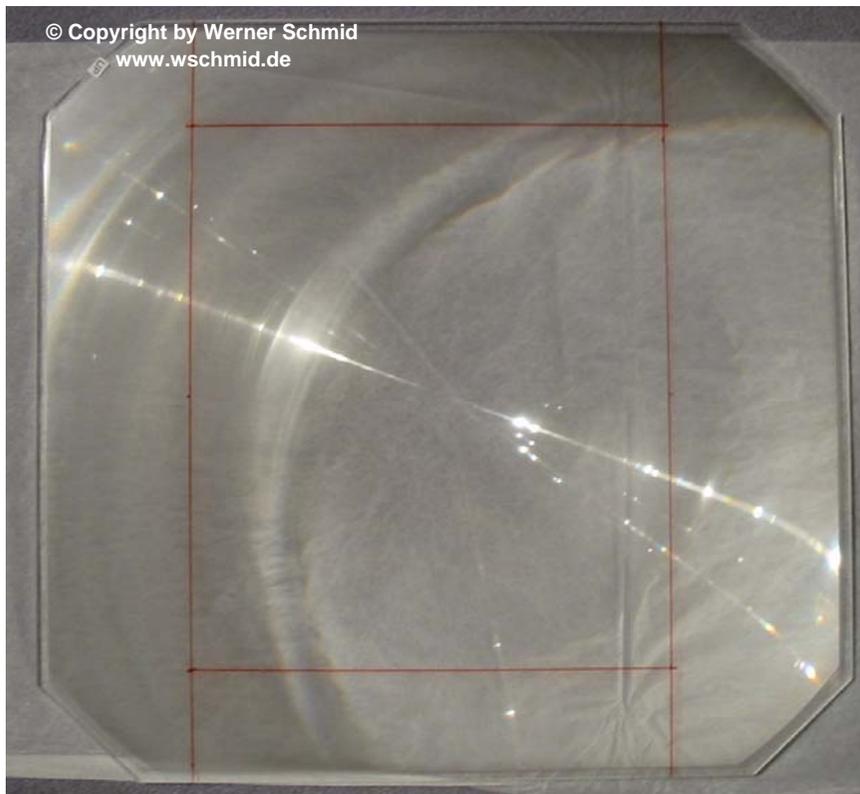
Bilder einer vollkommen zerlegten Fresnel kann ich leider nicht zeigen, weil ich meine Linse nicht komplett zerlegt habe. Das hat seine Gründe. Anschließend möchte ich nämlich auch noch zeigen, wie die Fresnel kleiner gesägt wird, und dazu ist es besser, die beiden Hälften sind noch zusammen.

## Das Zersägen einer OHP-Fresnellinse

Zunächst mal muss man genau überlegen, wo wieviel abgesägt werden soll. Es ist zu beachten, dass die optische Mitte der Fresnel (dort, wo die Rillen ihr Zentrum haben) auch nach dem Verkleinern auf der optischen Achse des Systems sein muss. Also die gedachte Linie von der Lampe über die Brennpunkte  $F$  und  $F'$  zur Leinwand muss nicht nur durch die Mitte des TFT's, sondern auch durch die optische Mitte der Fresnellinsen gehen. Und das ist ja nicht unbedingt auch die körperliche. Bei meiner Konstellation ist es z. B. so, dass die Entfernung von der optischen Mitte zum unteren Rand größer ist als zum oberen, die Linse ist also nicht symmetrisch geschnitten. Da muss jeder seine eigene Konstruktion berücksichtigen.

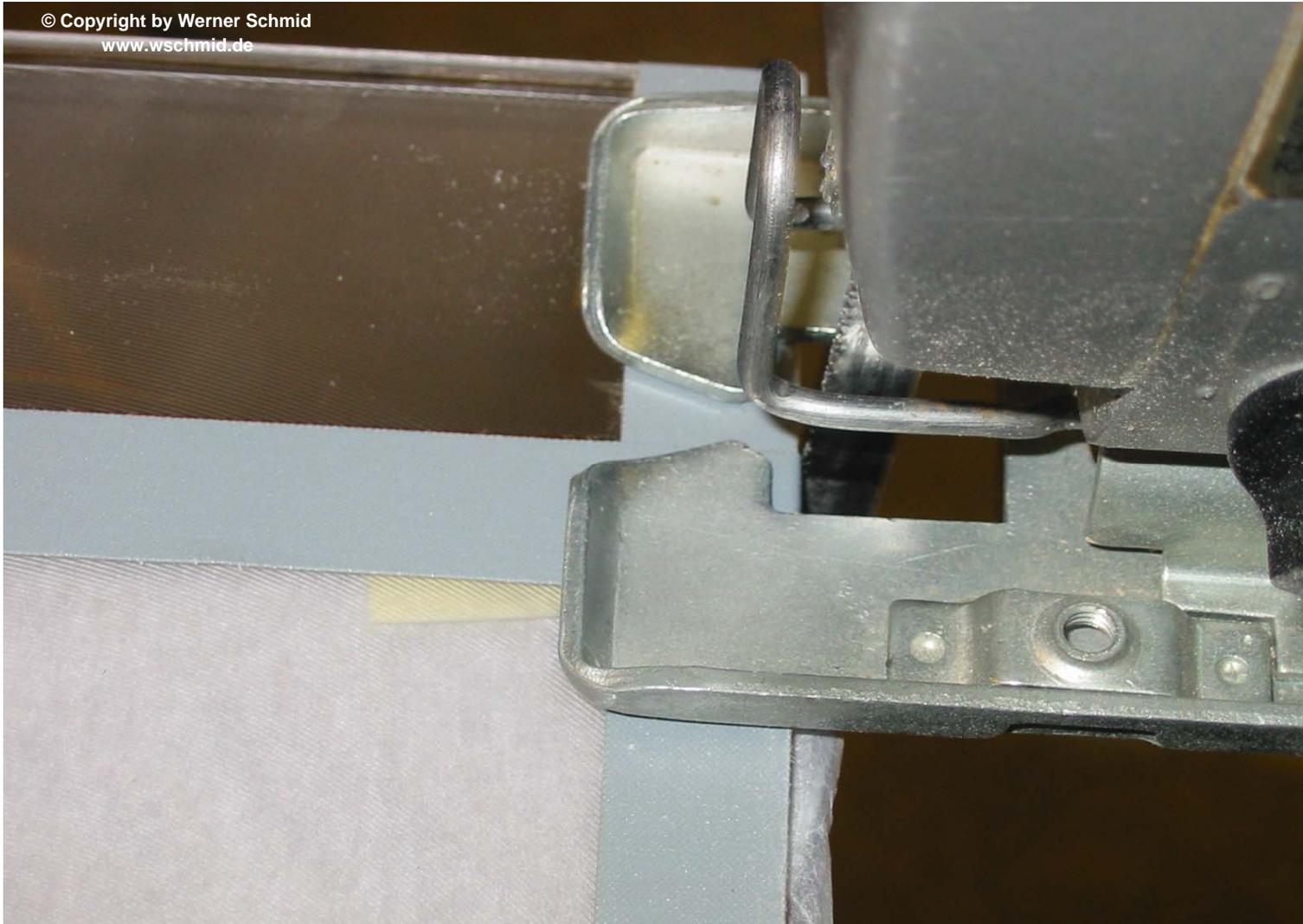


Links eine Nahaufnahme des optischen Zentrums der Fresnel, mitte und rechts sieht man, wie unterschiedlich Ober- und Unterseite wirken!



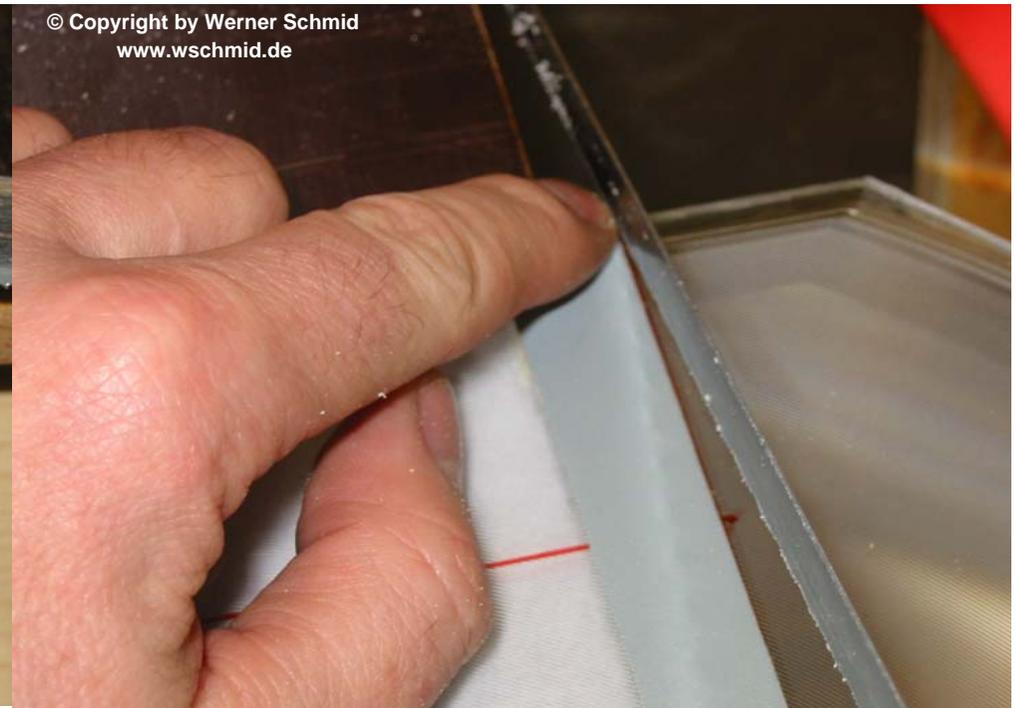
Anzeichnen und Abkleben der Schnittlinien

Beim Zersägen einer OHP-Fresnellinse muss selbstverständlich wieder darauf geachtet werden, dass das empfindliche Acryl nicht zerkratzt wird. Eine einfache, aber wirksame Methode ist, unmittelbar neben oder beidseitig der geplanten Schnittlinie einen Streifen Tesaband aufzukleben; zu dem Teil, der verwendet werden soll, eventuell sogar zwei, je nach Breite des Tesabandes und Auflagefläche der Säge. Nicht vergessen: Die Unterseite der Fresnel kann auch zerkratzen, also auch hier auf eine kratzfreie Unterlage achten. Es ist kein Fehler, wenn auch an der Unterseite Tesaband verwendet wird. Apropos Tesaband: Ich meine Tesaband und nicht Tesafilm, also das Gewebeband - und es muss auch nicht unbedingt Tesa sein!



Zum Sägen wird am Besten eine Sticksäge verwendet, die elektronisch regelbar ist. Mit niedriger Geschwindigkeit und kleinstem oder keinem Pendelhub ansetzen und - wie immer - vorsichtig durchsägen. Wer ein größeres Stück absägt, kann ja vorher an dem künftigen Abfallstück üben. Die Säugeschwindigkeit darf nur sehr niedrig sein, weil sonst das Acryl schmilzt und hinter dem Sägeblatt wieder zusammenklebt. Ein Anschlaglineal ist zu empfehlen, um einen sauberen geraden Schnitt zu bekommen.

Auf dem Bild ist zu sehen, warum ich oben geschrieben habe, dass man eventuell zwei Streifen Tesaband aufkleben soll: Der Säge Tisch der Sticksäge ist breiter und würde unter Umständen die Fresnel zerkratzen!



Da nicht jeder eine Stichsäge sein Eigen nennen kann, habe ich hier die Version mit mehr Körpereinsatz dokumentiert: Die Verwendung einer Bügelsäge. Dabei ist darauf zu achten, dass der Bügel groß genug ist, um mindestens die halbe Breite der Linse (normalerweise ca. 30cm) abzudecken, wobei man dann jeweils von beiden Seiten sägen muss.

Das Sägeblatt sehr flach ansetzen (links), weil da am wenigsten die Gefahr des Ausreißen besteht; dabei in Richtung des zu verwendenden Teiles einen Finger als Anschlag zum Schutz vor Abrutschen anlegen. Wer um seine Finger fürchtet, kann auch ein Stückchen Abfallholz nehmen.

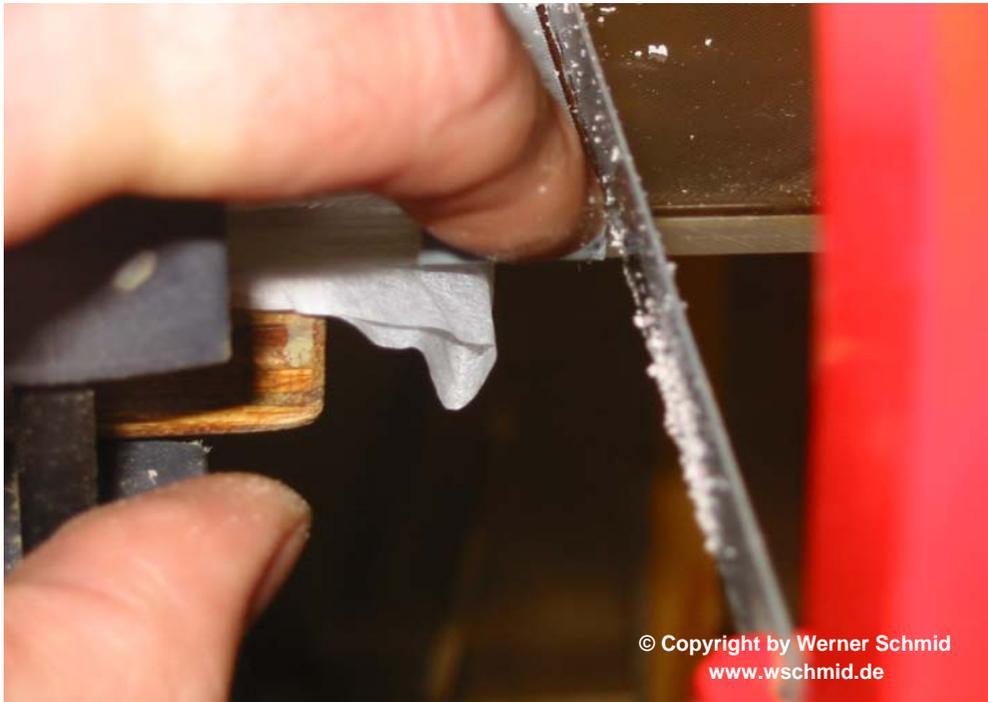


© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

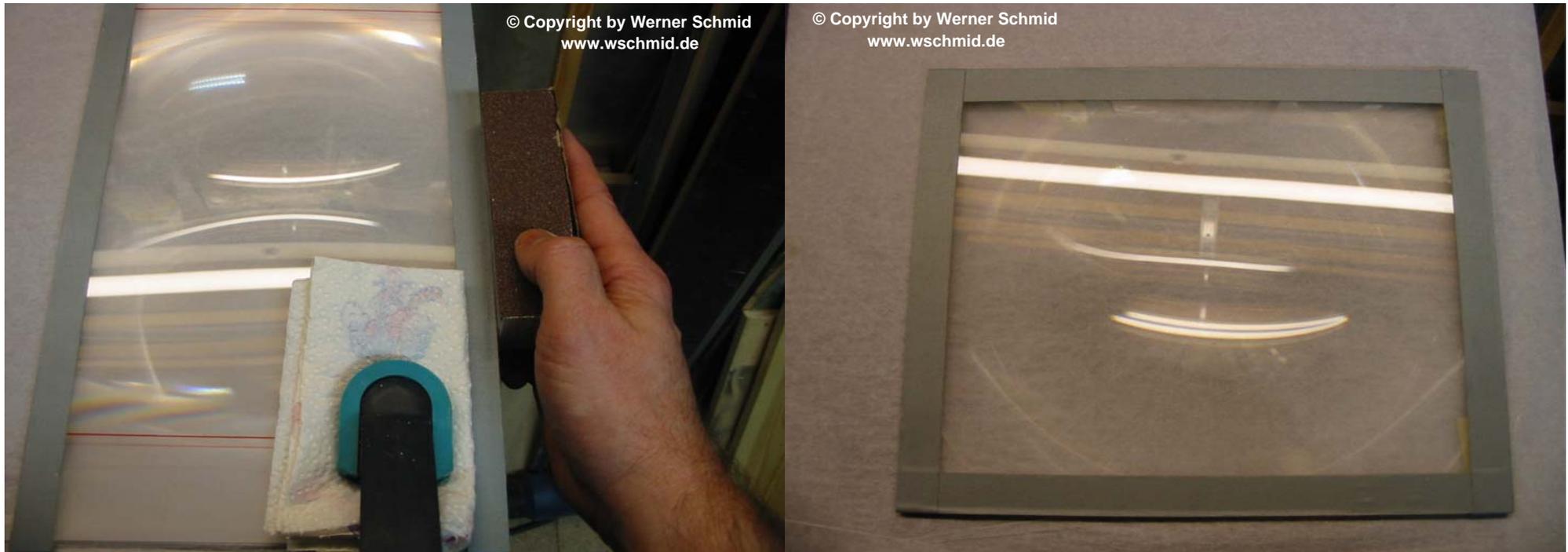


© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

Ist die Säge erst mal ein Stück in das Material eingedrungen, bedarf es normalerweise keiner Führung mehr. Immer auf geraden Schnitt achten! In der Mitte wiederum mit dem Finger oder auch dem Stück Holz die Linse festhalten, damit sie von der eventuell klemmenden Säge nicht hochgerissen und beschädigt wird.



Wenn der Bügel der Säge ausgereizt ist, dann die ganze Prozedur von der anderen Seite wiederholen - mit der gleichen Vorsicht! Kurz bevor der Schnitt vollendet ist, sollte man das Stück, das abfällt, festhalten, damit es nicht vorzeitig abbricht und einen Einriss verursacht.  
**So, der erste Sägeschnitt wäre erledigt! Fehlen nur noch drei.**

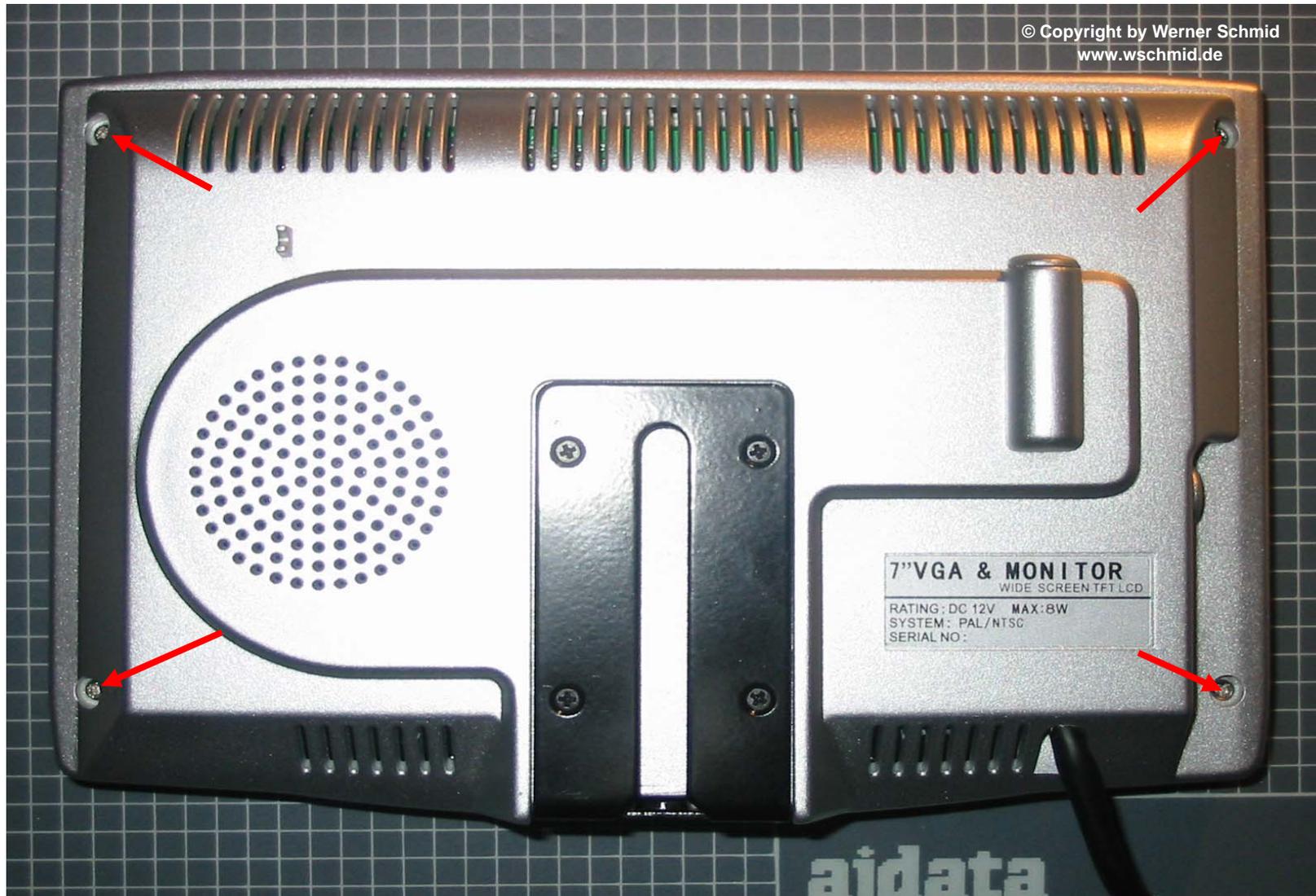


Bevor die vierte Seite abgesägt wird, ist es sinnvoll, die beiden Hälften der Linse mittels besagtem Tesaband zu fixieren, damit sie beim endgültigen Durchsägen nicht verrutschen und so zerkratzen. Ist dann das Werk vollbracht, mit Schleifpapier und Schleifschwamm die Kanten glätten und entgraten und sich über das Ergebnis - hoffentlich - freuen.

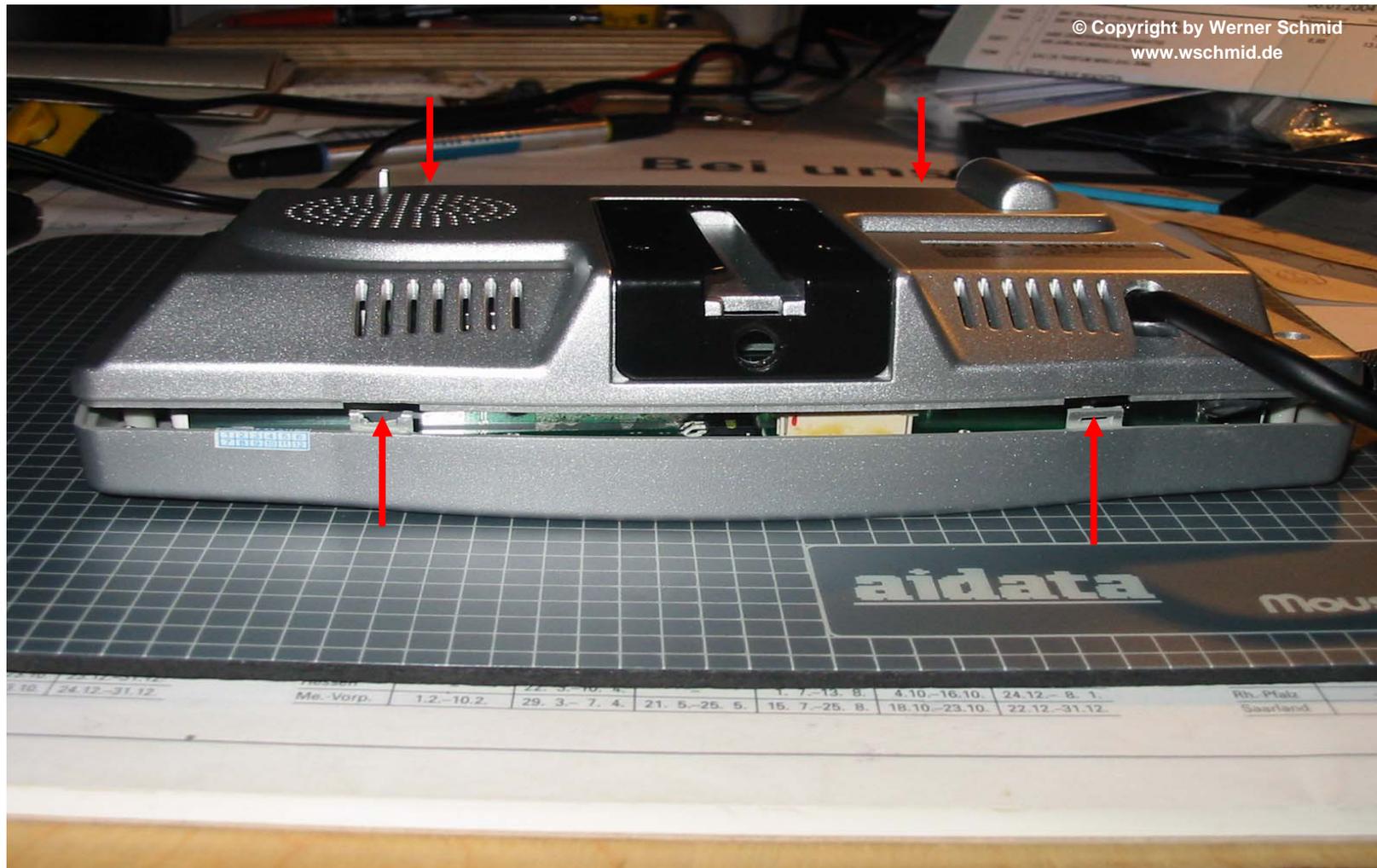
Mühseliger ist sicherlich das Verkleinern per Messer - und gefährlicher. Dazu die Linse auf eine nicht kratzende, schnittfeste Unterlage legen. Nun legt man ein Stahllineal an die markierte Linie an und zwar so, dass der Teil, der verwendet werden soll, unter dem Lineal liegt und der Teil, der wegfällt, daneben. Das hat den Hintergrund, dass man mit dem eventuell abrutschenden Messer keine Rillen in die Fläche, die man braucht, schneiden kann. Den ersten Schnitt noch mit leichterem Druck ausüben, damit erst mal eine Führungslinie eingeschnitten wird, in der das Messer dann eine mehr oder weniger gute Führung hat; die weiteren Schnitte dürfen dann mit größerem Druck ausgeführt werden. Tja, und das dann so lange wiederholen, bis man durch ist. Ein sehr scharfes Messer empfiehlt sich daher von selbst, ein bereitgelegter Verbandkasten auch!

Auf den nächsten Seiten zeige ich hier, wie der 7"-Monitor von Lilliput zerlegt wird

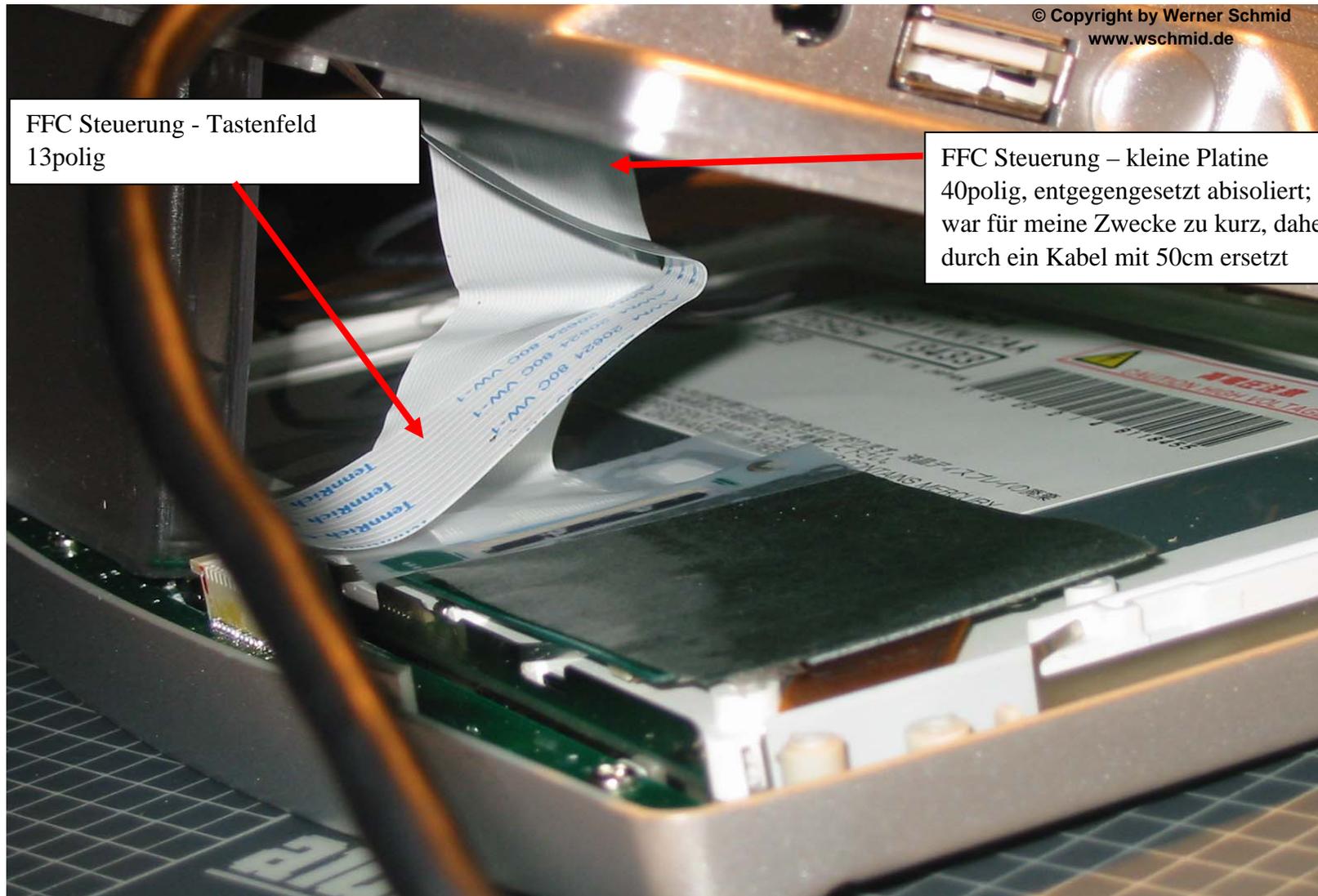
**1. Schritt: Die vier Schrauben auf der Rückseite lösen (Kreuzschlitz PH1)**



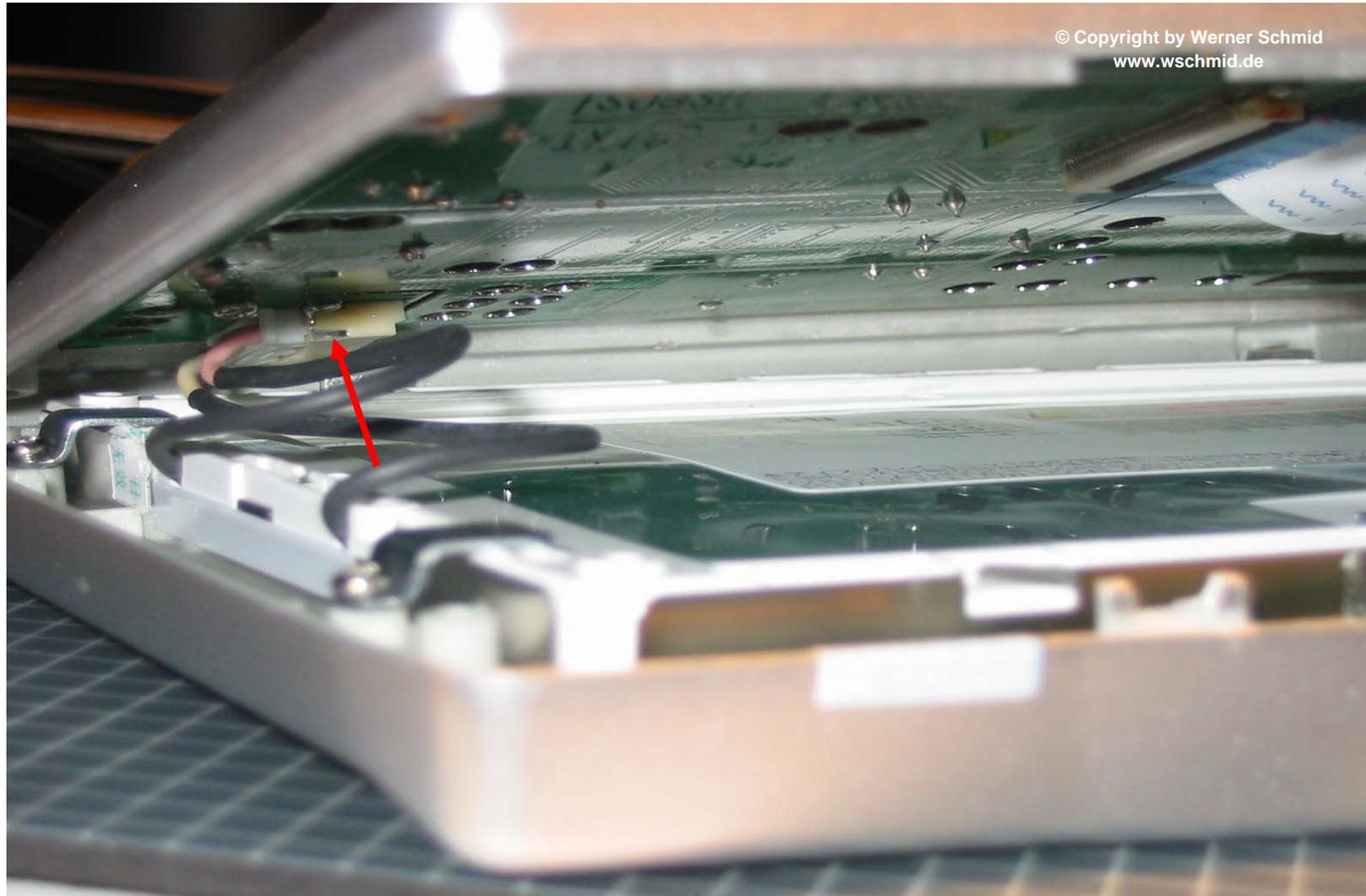
## 2.Schritt: Vorsichtig die Snap-In-Befestigungen lösen (zwei auf jeder Langseite)



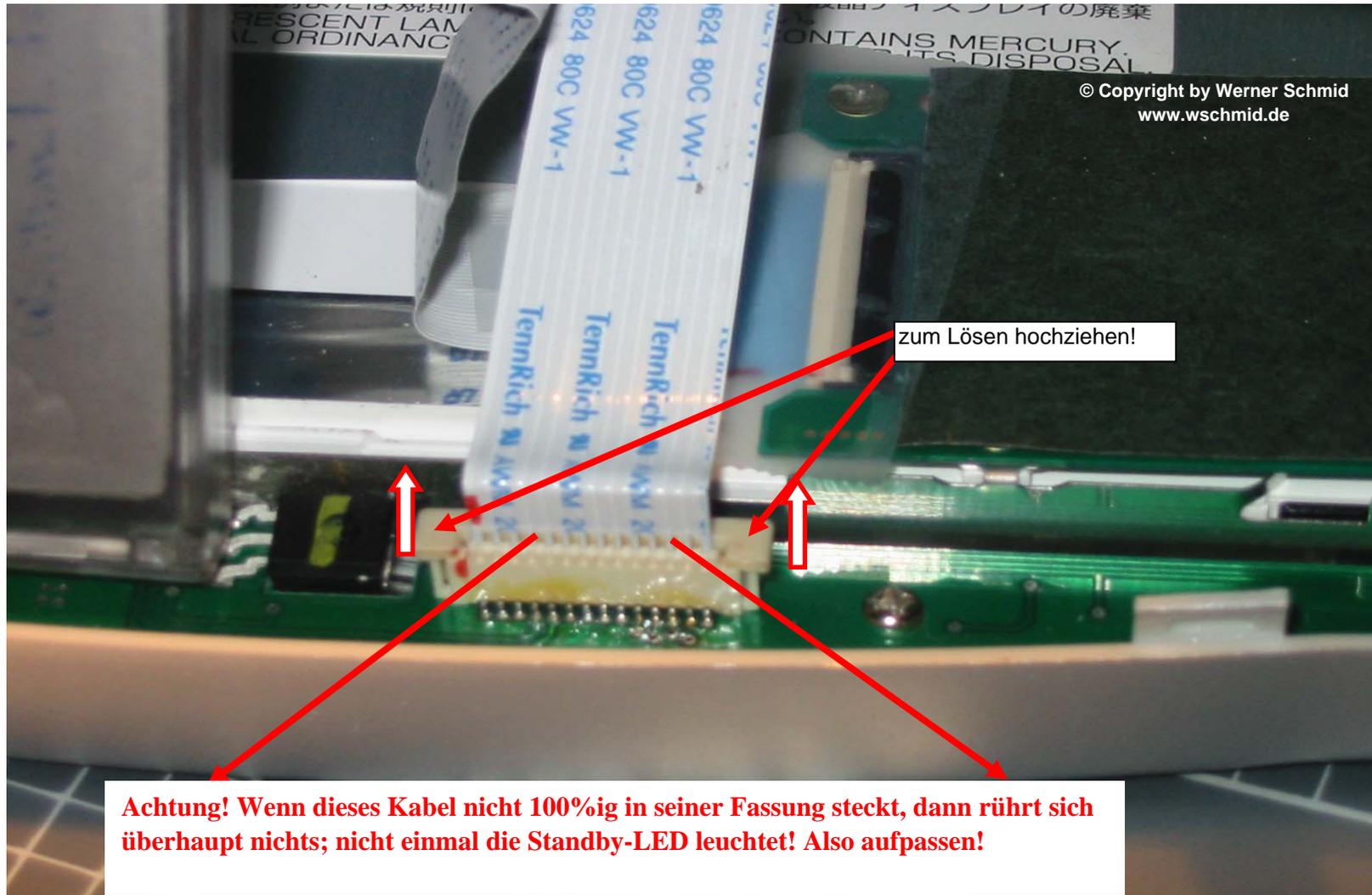
### 3. Schritt: Rückteil vorsichtig anheben (Blick von rechts auf die kleine Platine und die FFC-Kabel)



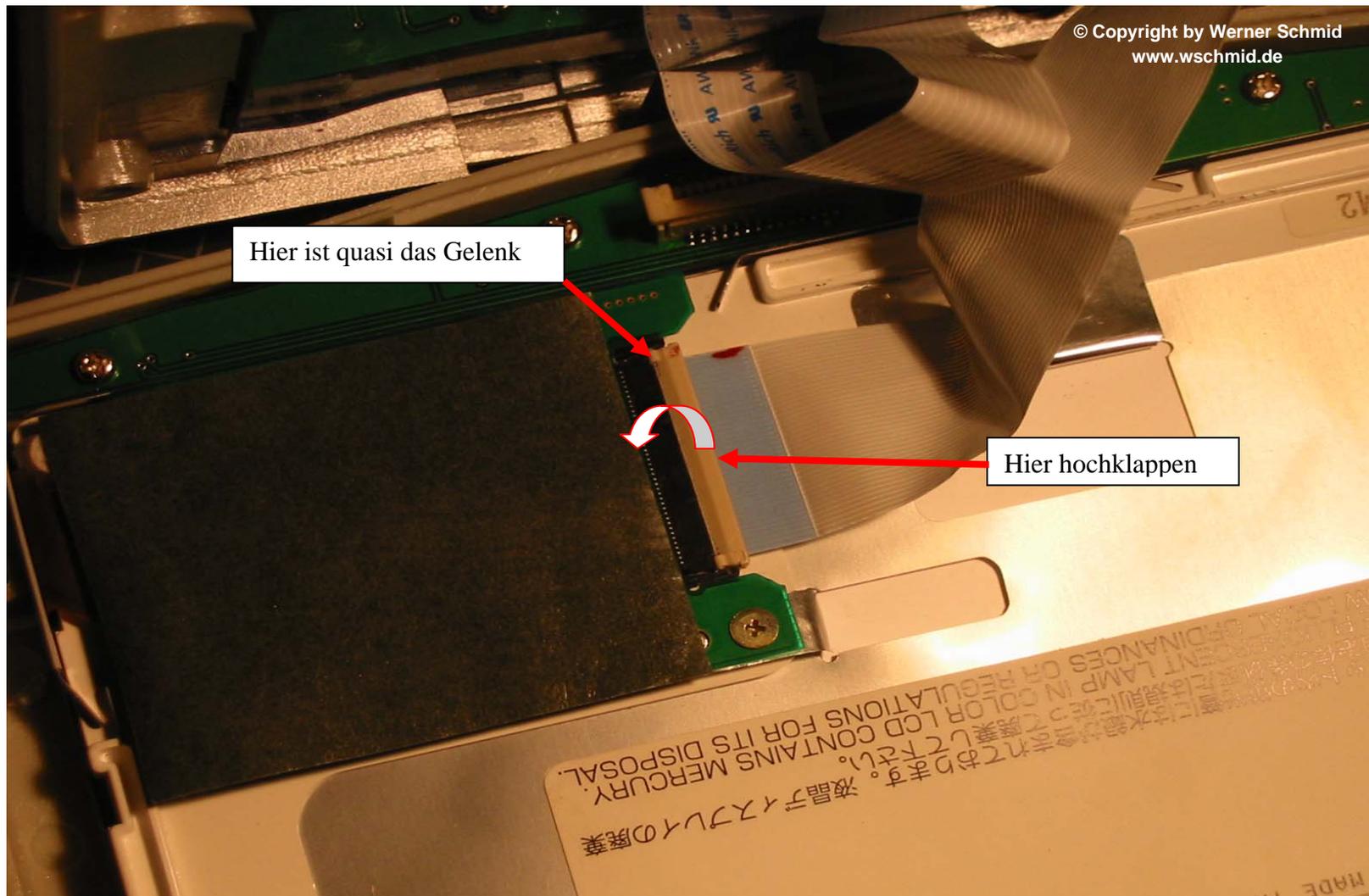
#### 4. Schritt: Backlightkabel abstecken



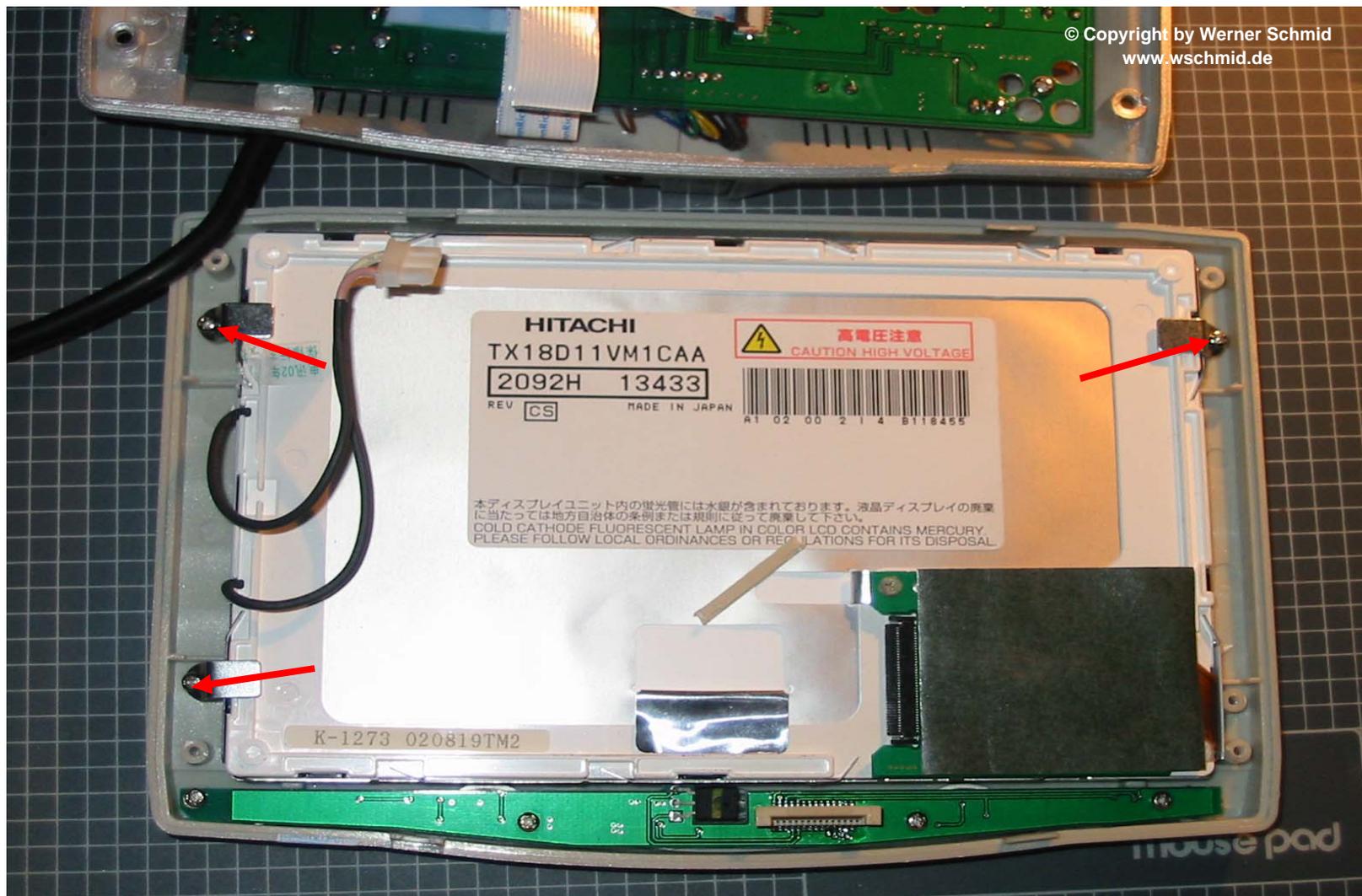
5. Schritt: Kabel von der Steuerung zum Tastefeld abstecken (Kabelführung beidseitig hochziehen, dann kann das Kabel leicht nach oben abgezogen werden)



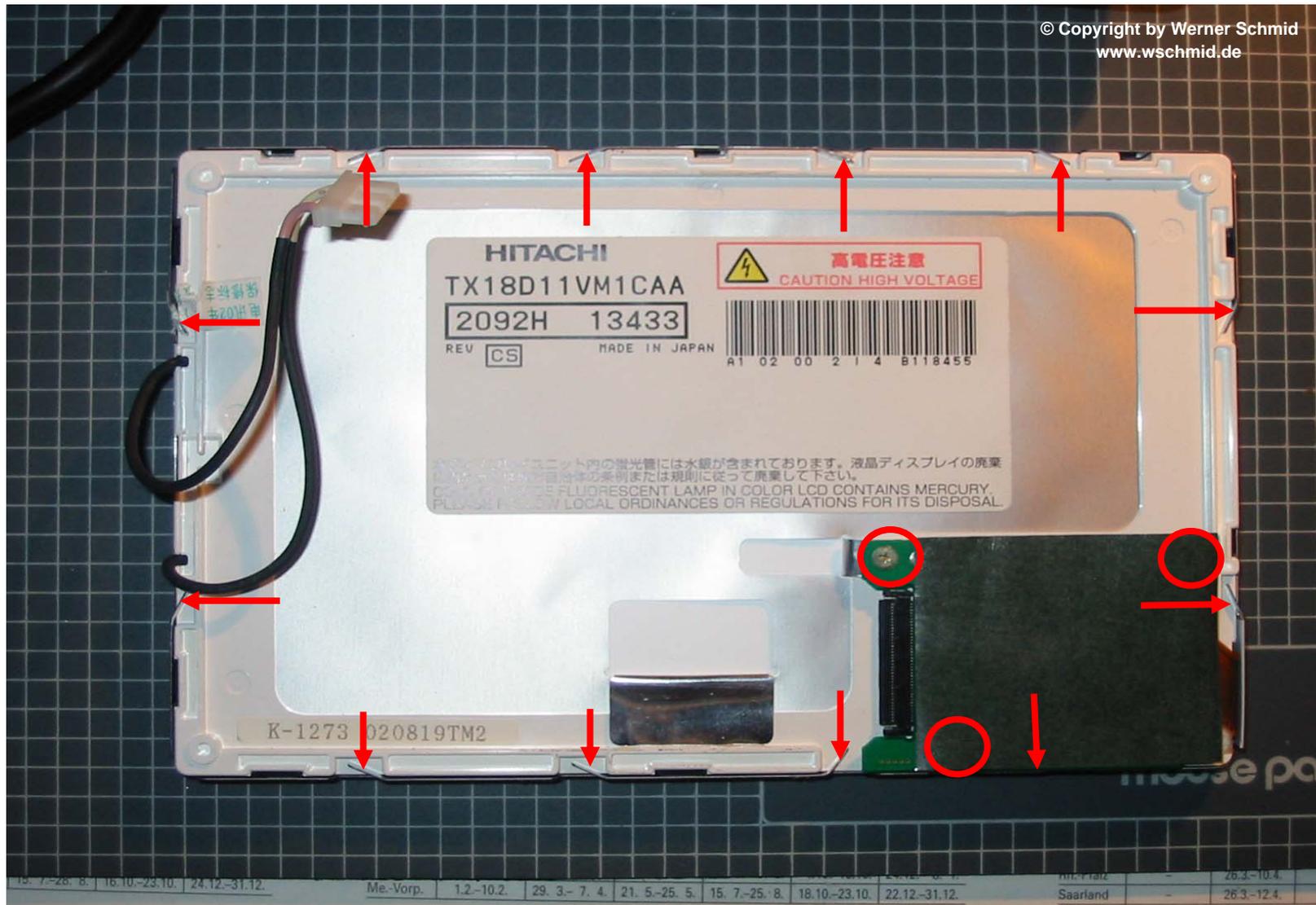
**6. Schritt: Hier war mein Problem. Den kleinen Klemmsteg an der Kabelseite hochklappen. Vorsicht: Die kleinen Noppen, die als Drehachse fungieren, brechen leicht ab! Dann habt ihr das gleiche Problem wie ich!**



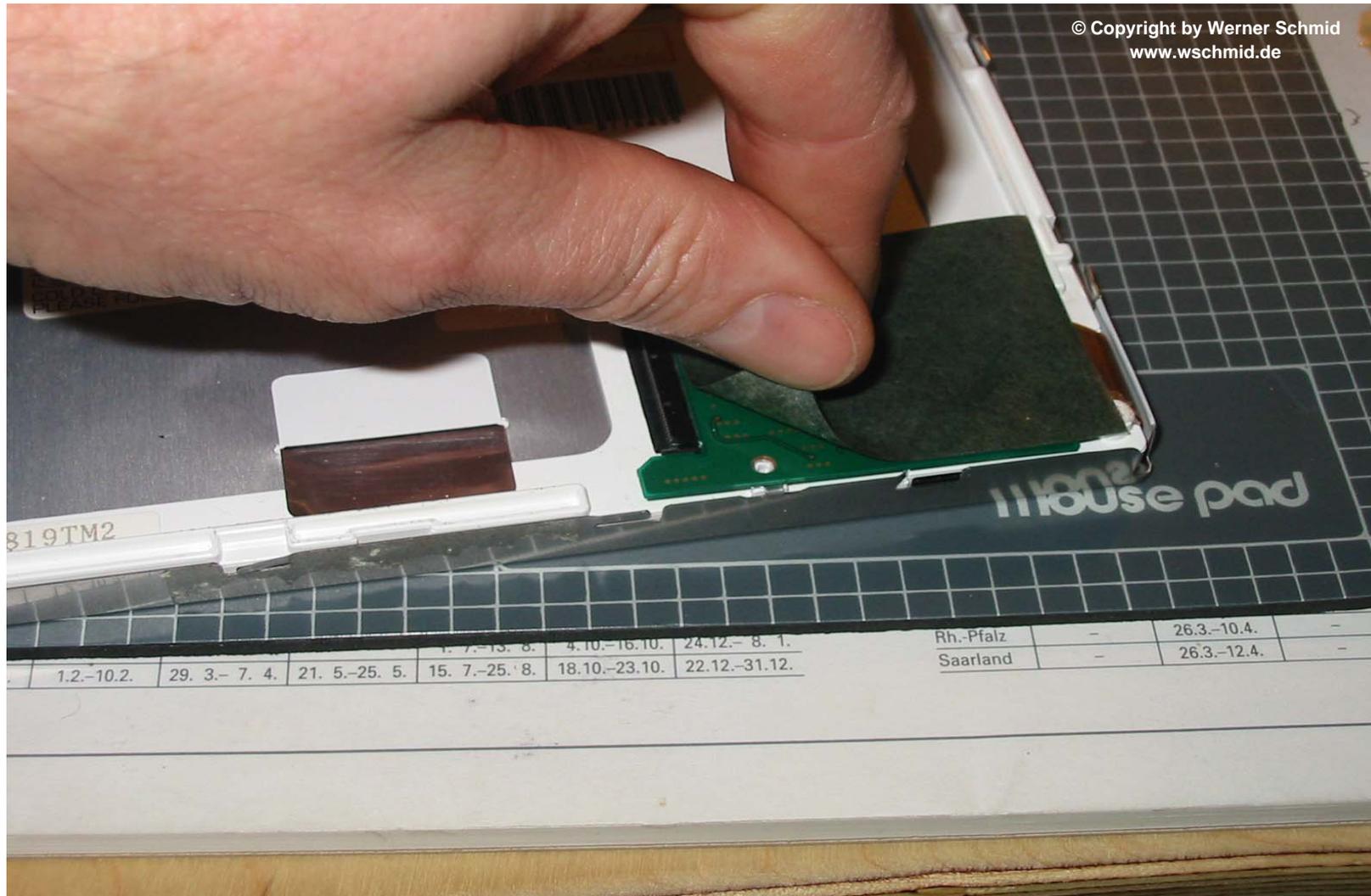
7. Schritt: Jetzt sind die beiden Hälften schon mal getrennt! Nun noch die drei Schrauben an den Klemmen lösen (müssen nicht ganz raus), Klemmen zur Seite drehen, jetzt kann der Rahmen mit Backlight und TFT herausgehoben werden.



8. Schritt: Diese 12 Laschen nach außen biegen, so dass sie bündig zum Rahmen sind, dann die drei kleinen Schrauben der kleinen Platine lösen (Kreuzschlitz PH00)



Hier und auf der diagonal gegenüberliegenden Seite sind auch Schrauben versteckt und die 12. Lasche

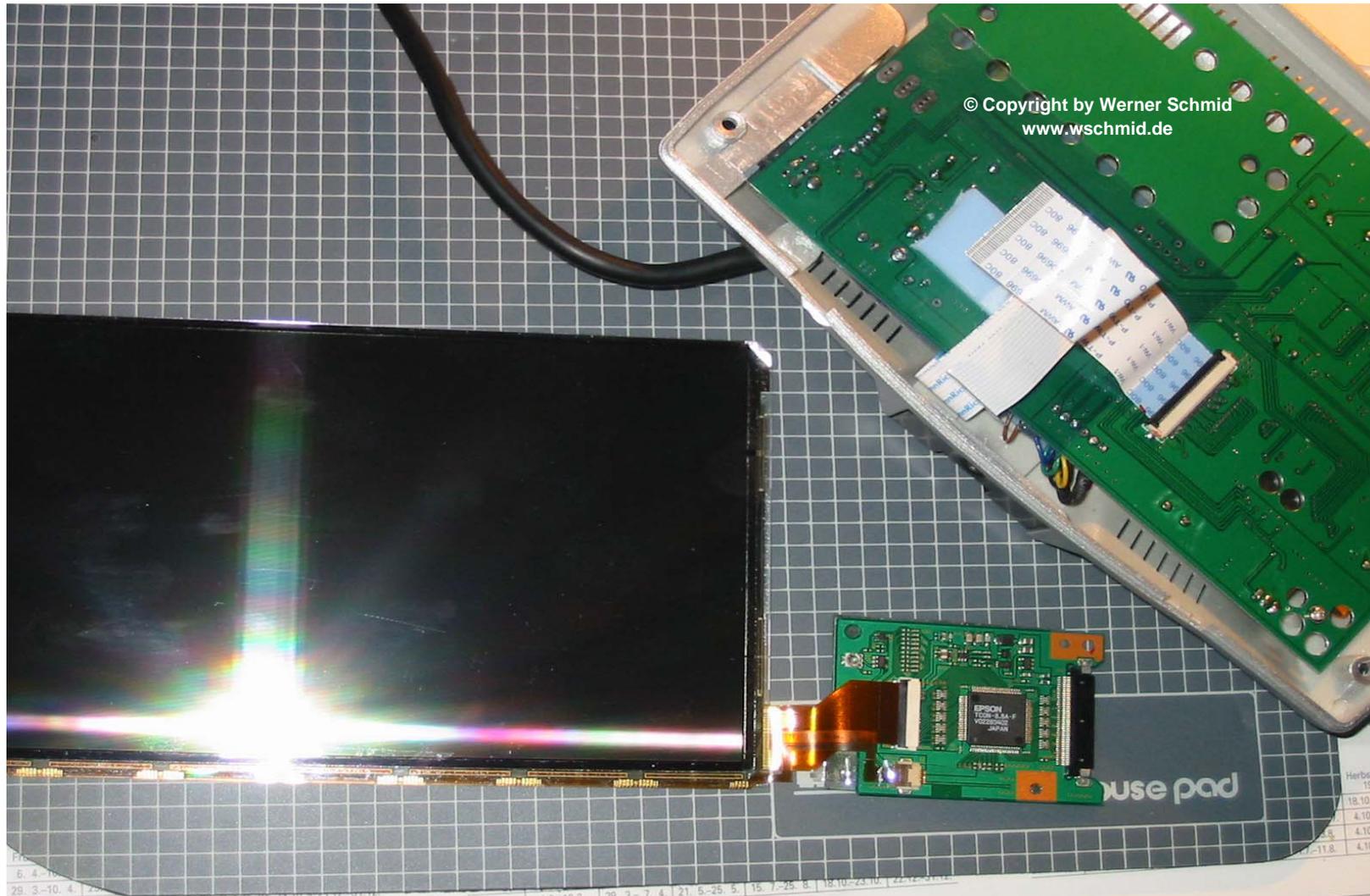


9. Schritt: Jetzt kann man das Backlight und das TFT aus dem Rahmen heben! Vorsicht – das FFC-Kabel nicht killen!

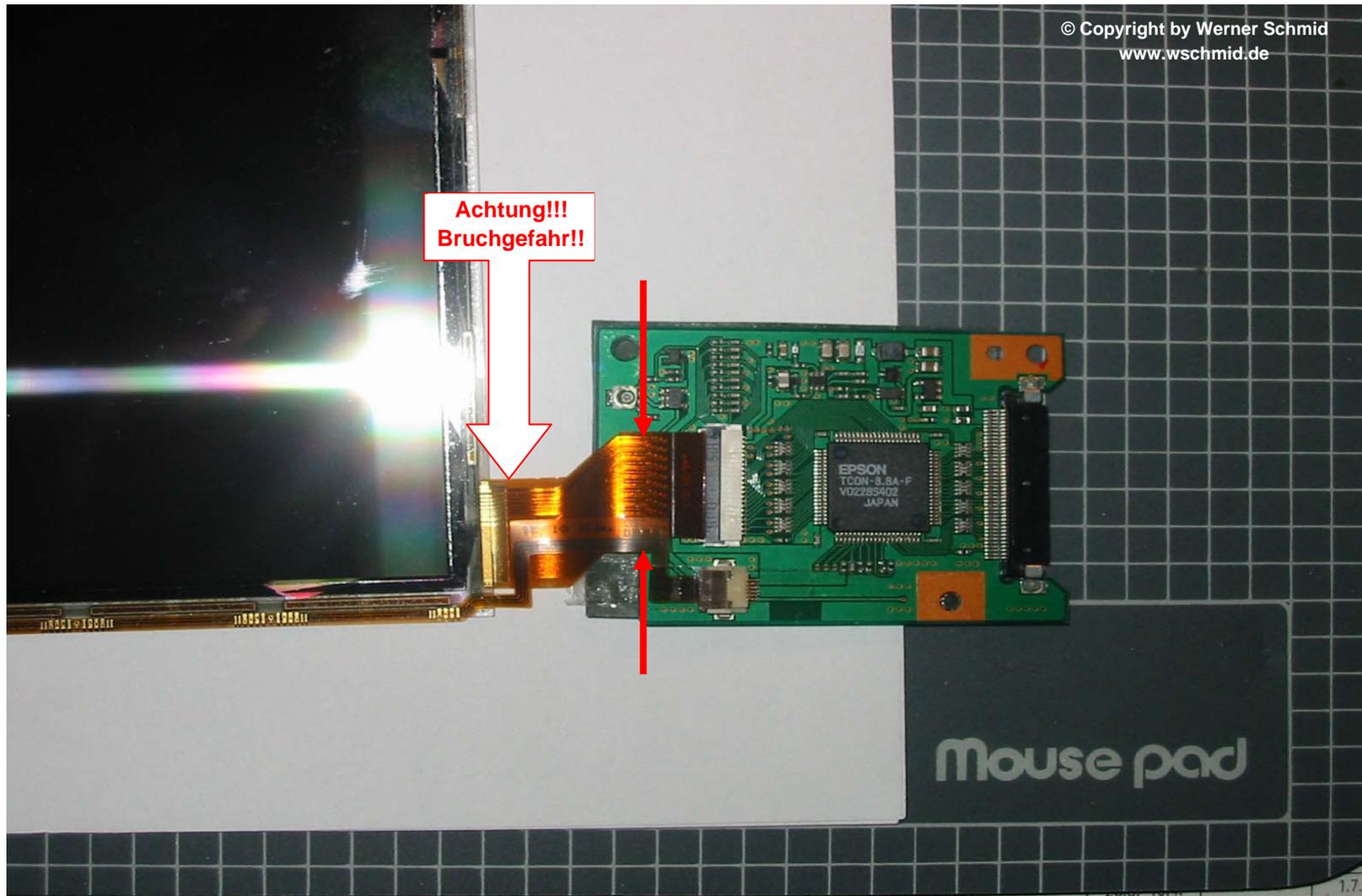


Da liegt es nun, das gute Teil!

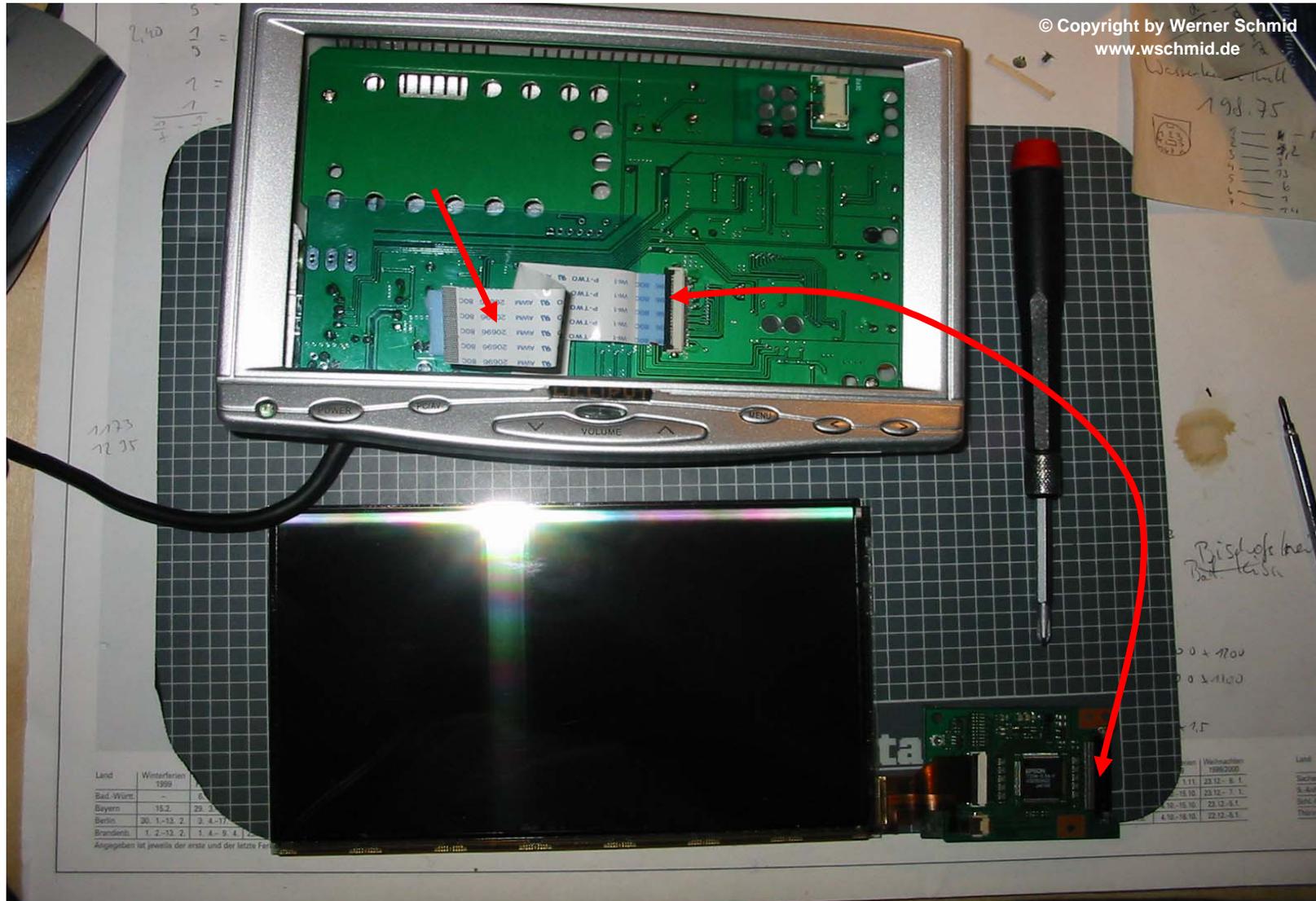




Diese Verbindungen würde ich nicht verlängern, das gab schon öfters Probleme, soweit ich im Forum gelesen habe.



Ich habe dieses FFC-Kabel durch ein längeres ausgetauscht, das Gehäuse mit Steuerung und Tastenfeld beieinander gelassen und im Beamergehäuse eingebaut. Den Frontrahmen habe ich mit einer Alu-Platte zum Anschluss- und Bedienfeld umgebaut und außen am Beamer montiert



Und das ist der Rest, der nicht mehr benötigt wird: Das Backlight im Rahmen!

© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de



### Ach ja, die Anschlüsse:

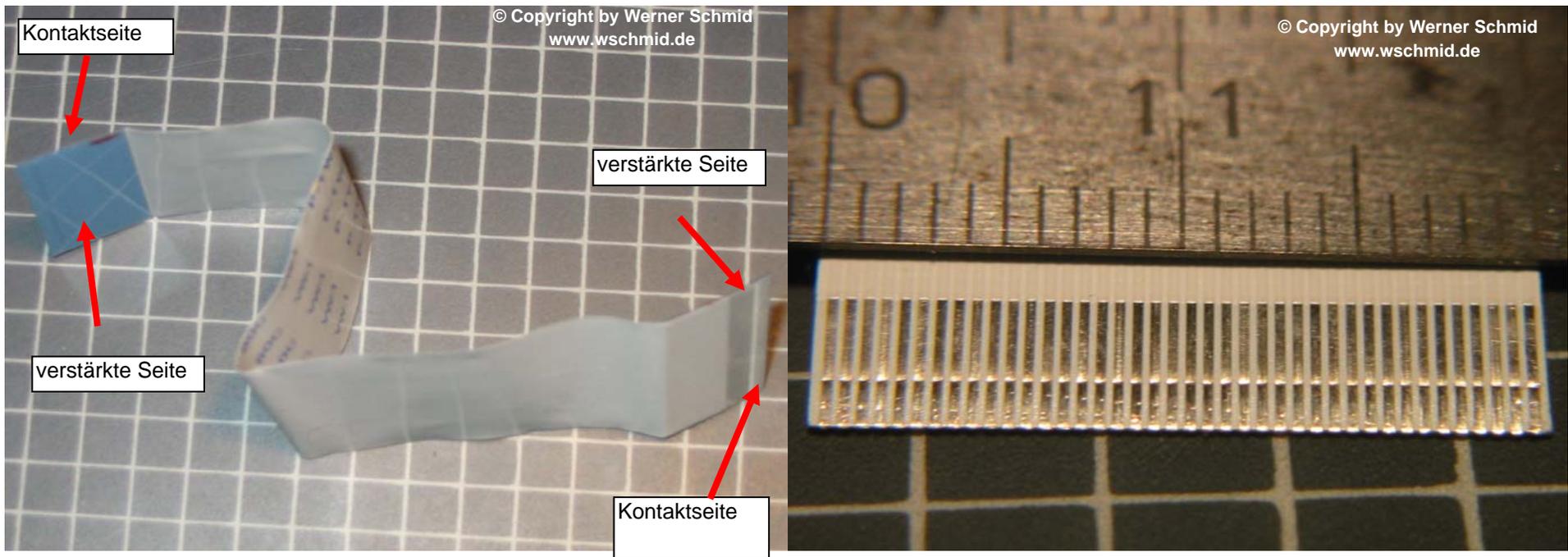
Das Netzteil hat einen ganz normalen Stecker mit Innenloch, amerikanischer Netzstecker allerdings.

Der VGA-Anschluss wird in einem kurzen Stück Kabel mit einer Art PSE-Stecker herausgeführt, an dem ein längeres Kabel mit dem passenden Gegenstück und einem normalen SUB-D-15-Stecker angesteckt wird.

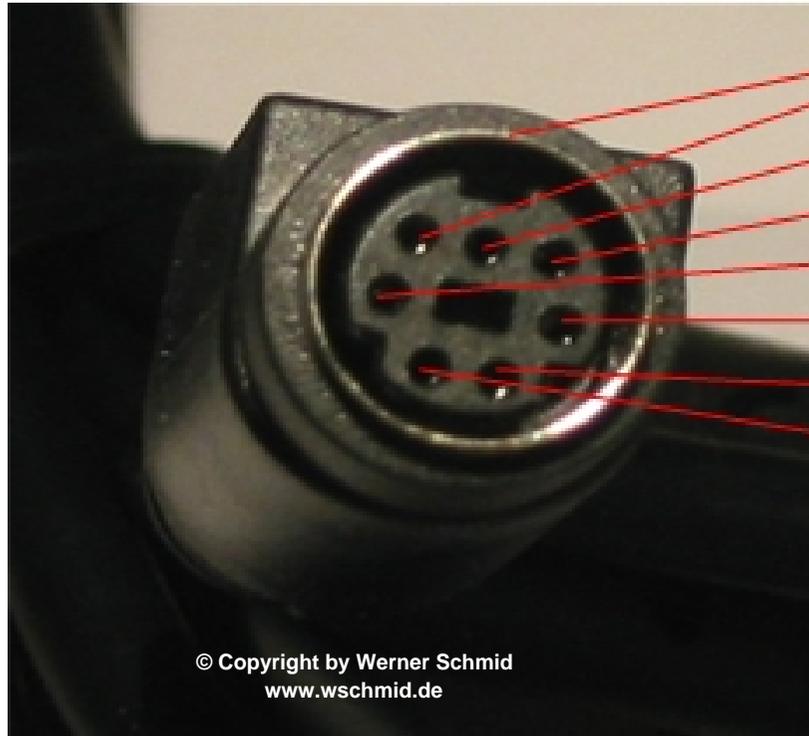
Die Video-Eingänge und der Audio-Eingang werden über eine USB-Buchse herausgeführt. Ein passendes Kabel ist dabei.

## Und nicht vergessen: Erdungsband anlegen!!

Ach ja, so sieht das FFC-Kabel von der kleinen Platine zur Steuerung aus: 40polig, Raster 0,5mm, entgegengesetzt verstärkt. Das FFC-Kabel von der Steuerung zur Tastenplatine ist 13polig, Raster 1mm, auf der gleichen Seite verstärkt



## Pinbelegung Lilliputstecker und SUB-D 15 VGA



Masse

2

3

13

6

14

1

© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

So sieht das Ergebnis meiner Werte mit dem Berechnungstool aus:

entwickelt von Gunawan W.
übersetzt und erweitert von W. Schmid

## DIY TFT-BEAMER

Diesen Abstand so einstellen, das der am Testschirm erzeugte Lichtfleck etwa die Größe der Linse hat. Bei gesplitteter Fresnel sollte die Lichtquelle im Brennpunkt der 1. Fresnel sein! Dann gelten die roten Lichtstrahlen.

**1.** TFT-Diagonale eintragen:  Zoll =  cm

**2.** Linse/Objektiv Brennweite (f):  cm entspricht Dioptrien:

**3.** Abstand Linse/Objektiv zur Leinwand (g):  cm

**4.** Abstand TFT zur Linse/Objektiv (b):  cm

**Formel zur Berechnung der Abstände:**  

$$1/f = 1/g - 1/b$$

**TFT Diagonale:**  cm

**Abstand TFT zur Linse/Objektiv (b):**  cm

**Abstand Linse/Objektiv zur Leinwand (g):**  cm

**Projektionsfläche Diagonale:**  cm

**Vergrößerung:**  x

**Leinwand:** alle Art von glatter Wand, natürlich möglichst weiß. Gebogene Leinwand ist besser, aber braucht spezielle Berechnung und ist schwierig zu bauen.

**Linse / Objektiv:** Plankonvex oder konvexkonvex. Der Linsendurchmesser beeinflusst, wie groß der Abstand TFT-Fresnel geplant werden kann, ohne irgendeine Beschneidung.

**Lichtquelle:** möglichst punktförmig, >10.000 Lumen, Farbtemperatur: > 4000K CRI etwa 100.

**Fresnellinse:** Konzentriert das Licht auf die Linse. Muß grösser als das TFT sein. Sollte eine Brennweite mit ungefähr dem Abstand TFT-Linse haben.

**Testschirm:** Einen Kreis mit dem Durchmesser der Linse auf festes weißes Papier malen. Testschirm an die Linsenposition halten. Die Position der Fresnel so einstellen, dass der Durchmesser des Lichtflecks den aufgemalten Kreis gut abdeckt.

**gesplittete Fresnel:** Rillen jeweils zum TFT

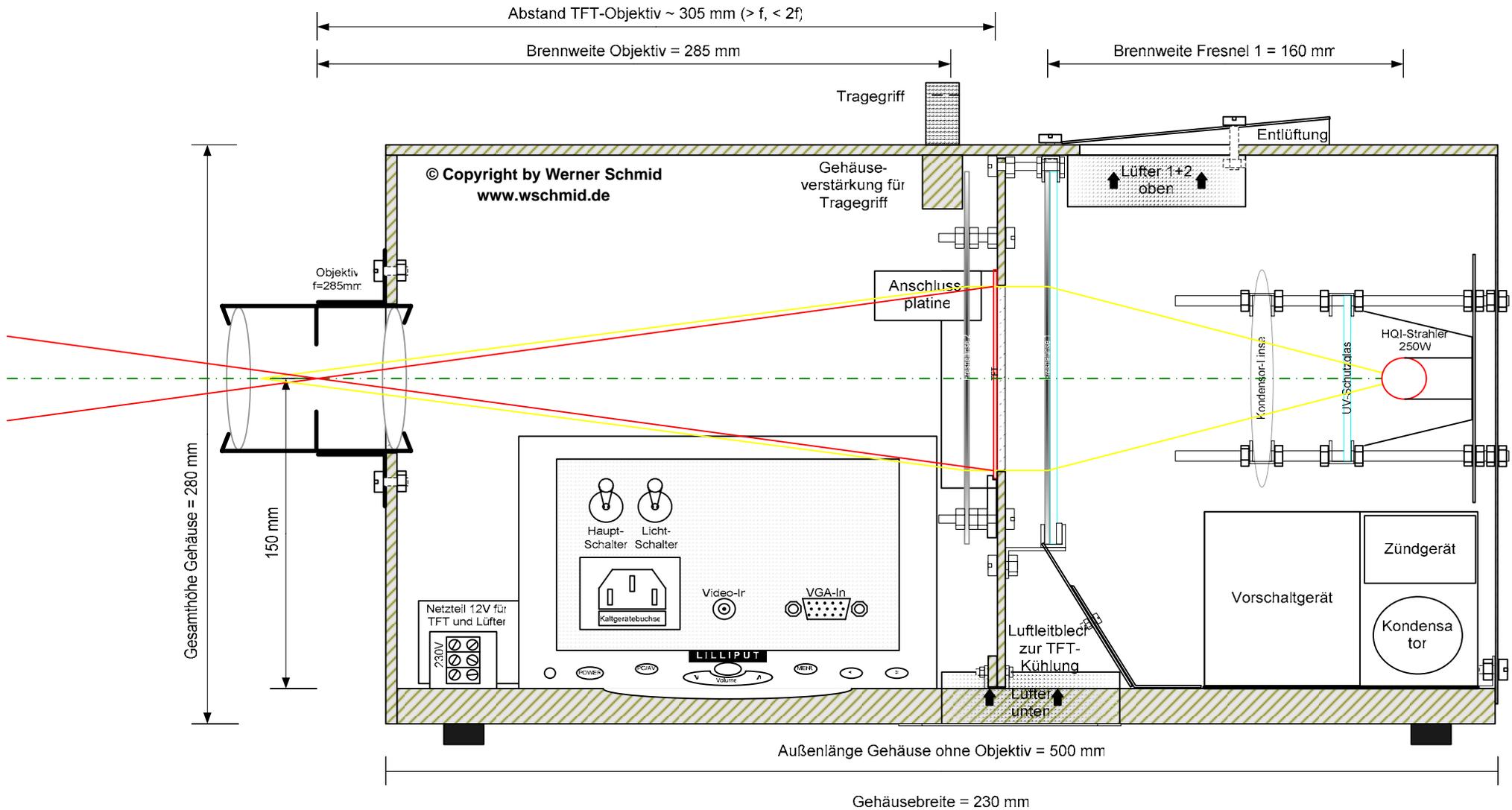
**TFT:** Je größer das TFT, desto stärker muss die Lichtquelle und desto größer muß die Linse sein.

**Objektiv-Brennweitenberechnung bei 2 Linsen**

Brennweite Linse 1 f1	50,00 cm
Brennweite Linse 2 f2	54,30 cm
Abstand der Linsen	9,00 cm
Gesamtbrennweite	28,49 cm

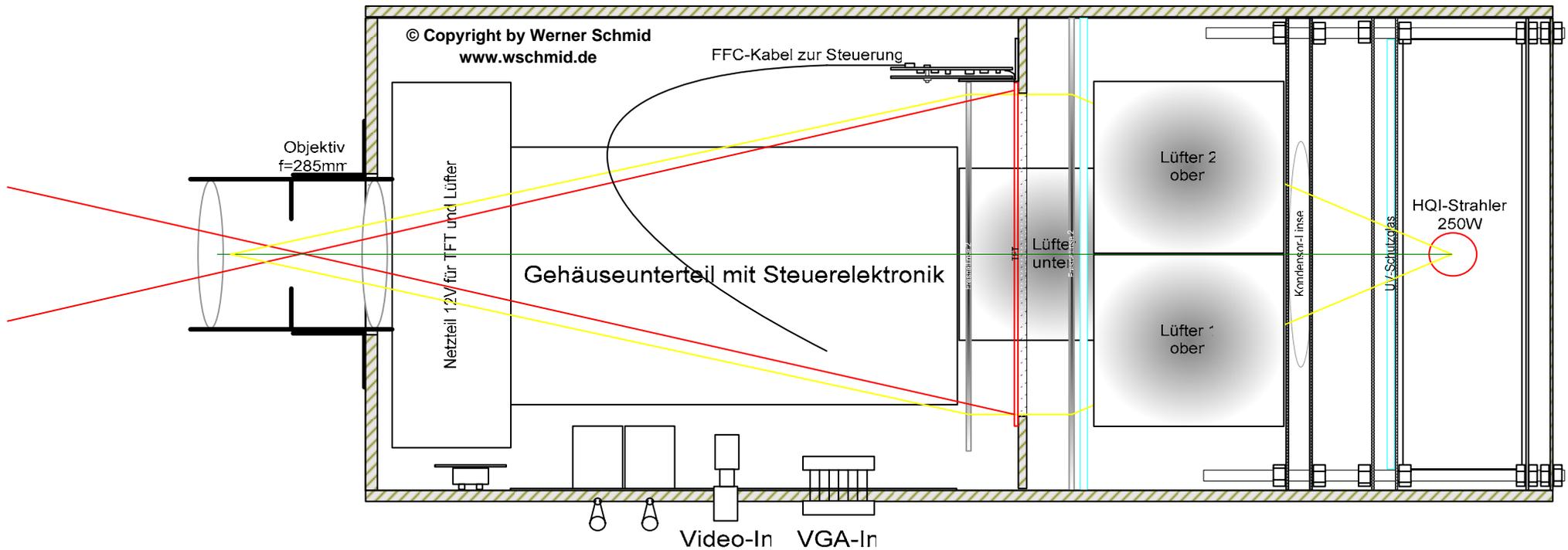
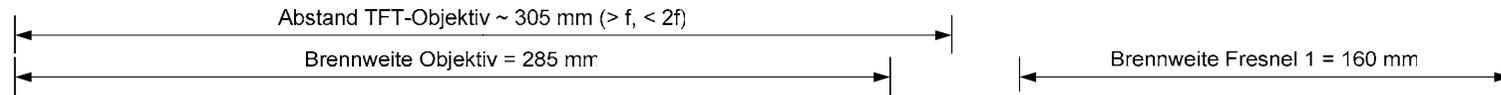
**Seitenverhältnis : 4:3**

**Seitenverhältnis : 16:9**



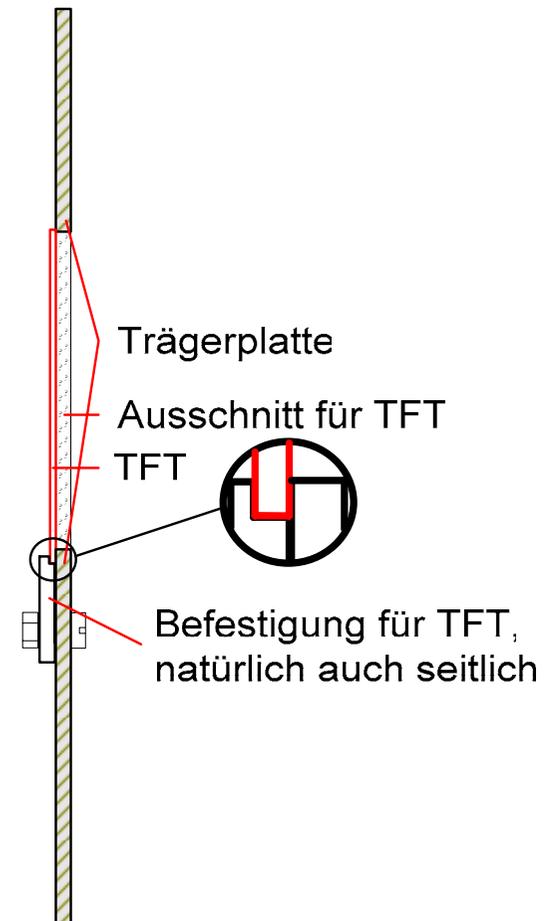
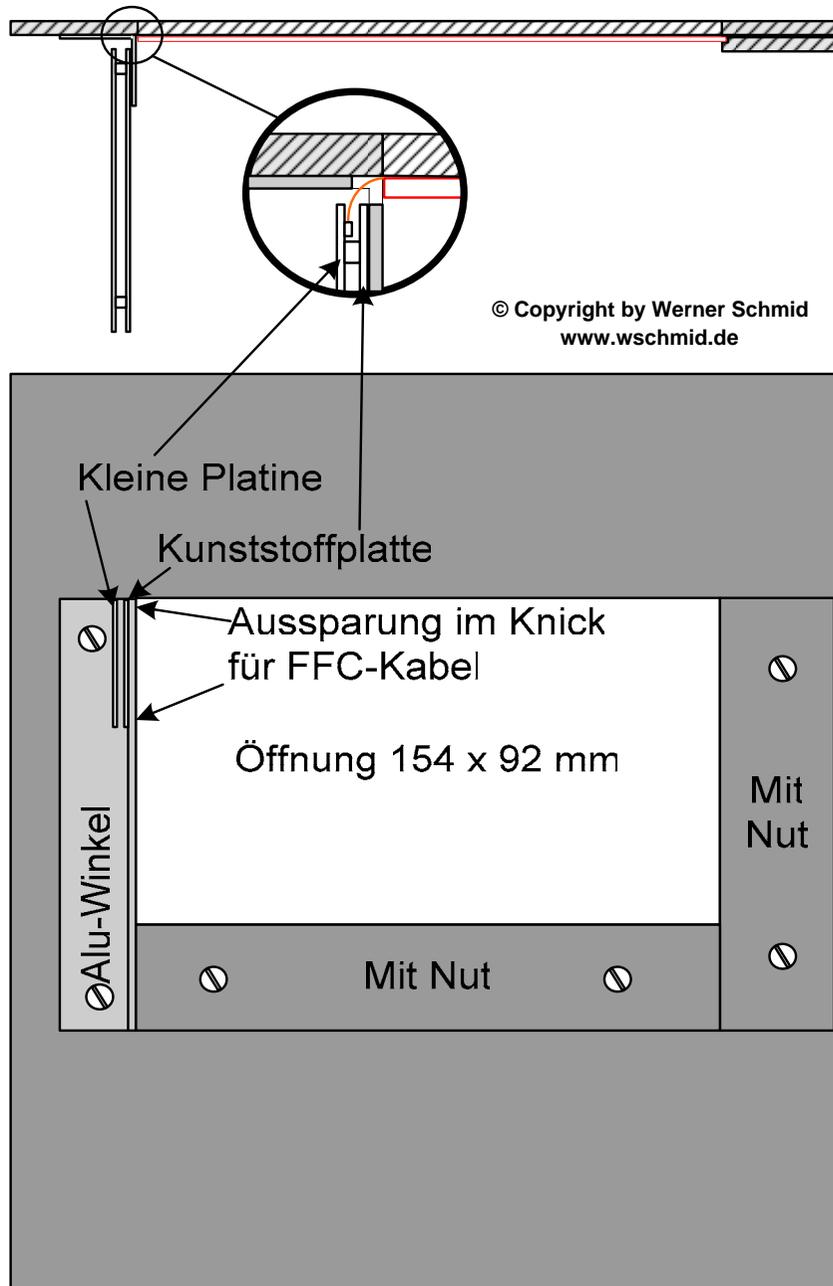
Titel	Beamer Eigenbau Vers. 2		
© Verfasser	Werner Schmid	Untertitel:	Seitenansicht
Maßstab	1:2,5	Datum	Januar 2004

Schnittbild:

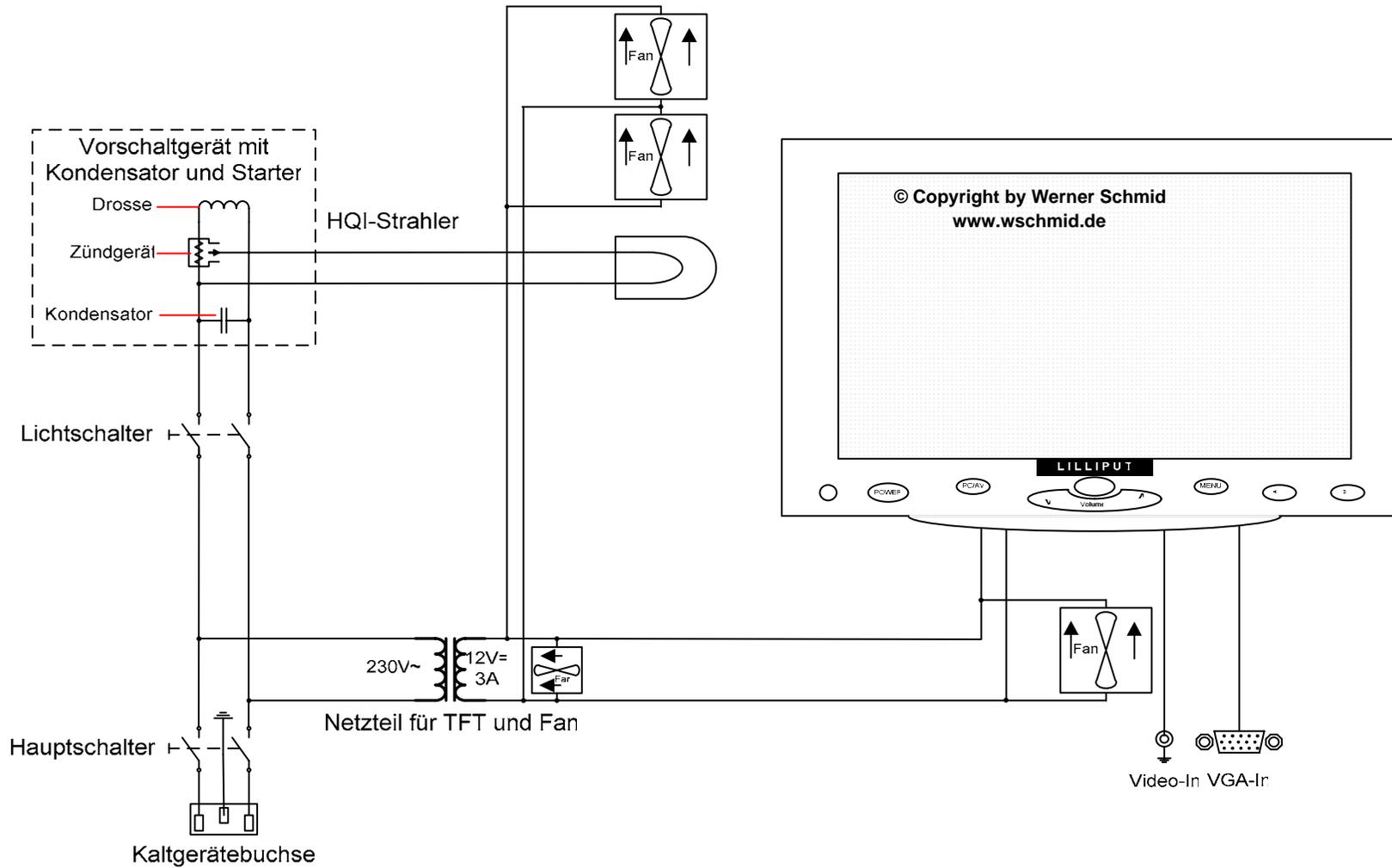


Titel:	Beamer Eigenbau Vers. 2		
© Verfasser:	Werner Schmid	Untertitel:	Draufsicht
Maßstab:	1:2,5	Datum:	Januar 2004

Schnittbild:

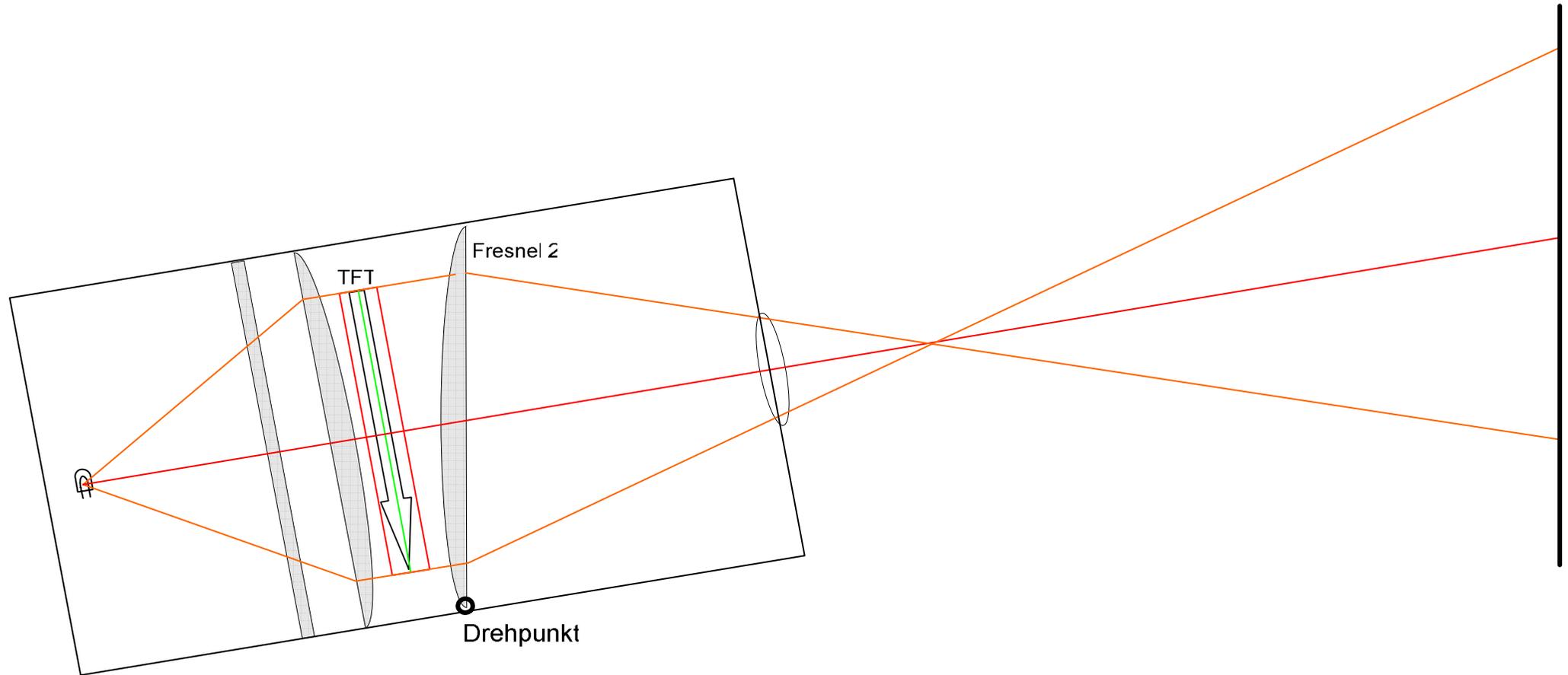


Schaltbild:

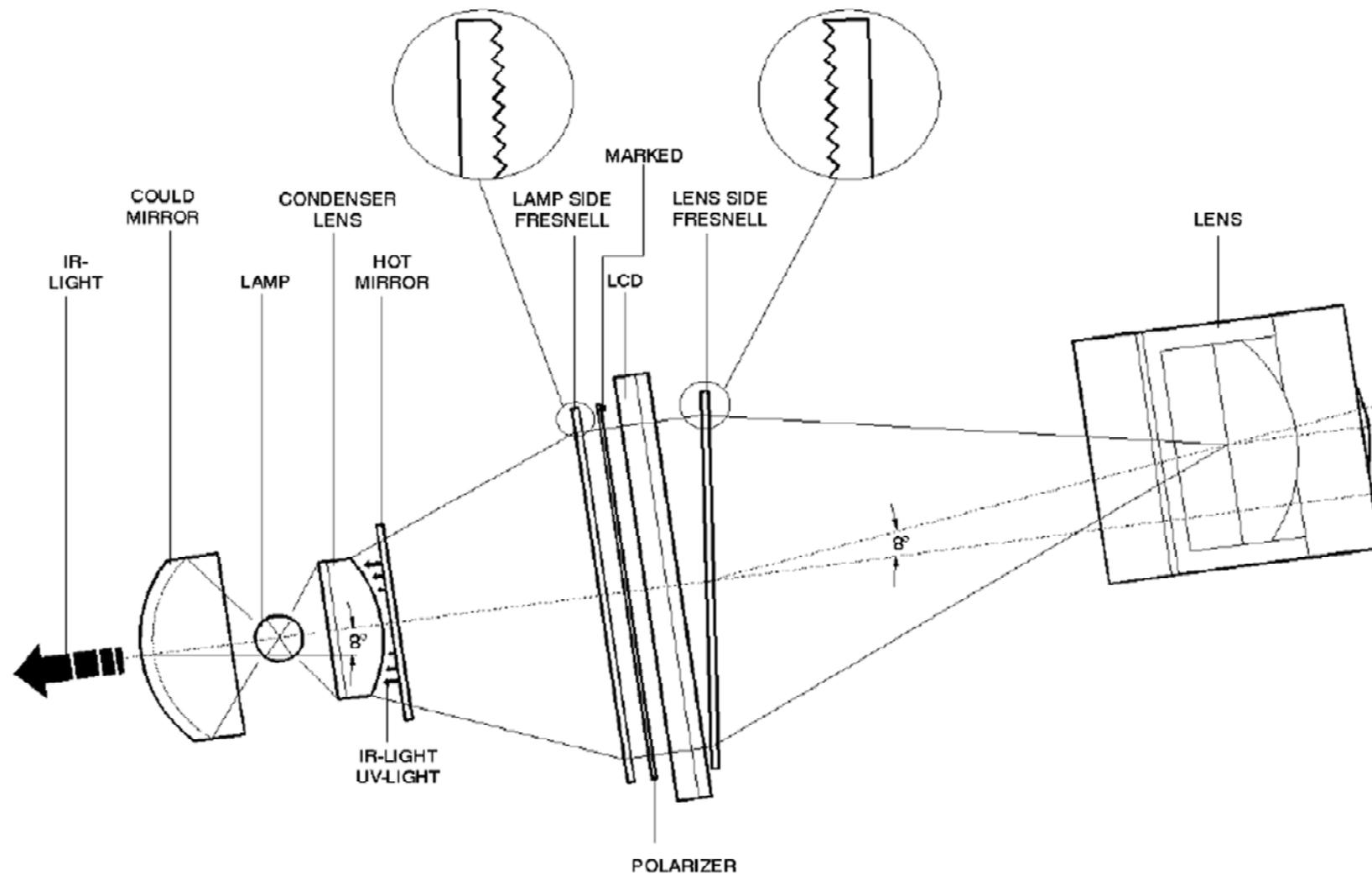


Titel:	Beamer Eigenbau Vers. 2		
© Verfasser	Werner Schmid w.schmid@wschmid.de	Untertitel:	Schaltplan
Maßstab		Datum	Januar 2004

Eine einfache Keystonekorrektur lässt sich mit einer beweglichen Fresnel 2 verwirklichen. Die Fresnel 2 muß immer lotrecht stehen! Bei seitlichem Keystoneeffekt die Fresnel natürlich seitlich schwenken. Wichtig: Die Fresnel 2 muß am Drehpunkt so nahe wie möglich am TFT sein!  
 Nach Duffy, nicht von mir getestet, scheint aber zu funktionieren, da auch die Firma Liesegang so etwas in ihren Unterlagen beschreibt (siehe nächste Seite), allerdings wird dort auch das Objektiv etwas aus der optischen Linie heraus verschoben.



Tite	Beamer Eigenbau		
© Verfasse	Werner Schmic	Untertite	Keystonekorrektur nach Duffy
Maßstab		Datum	Februar 2004



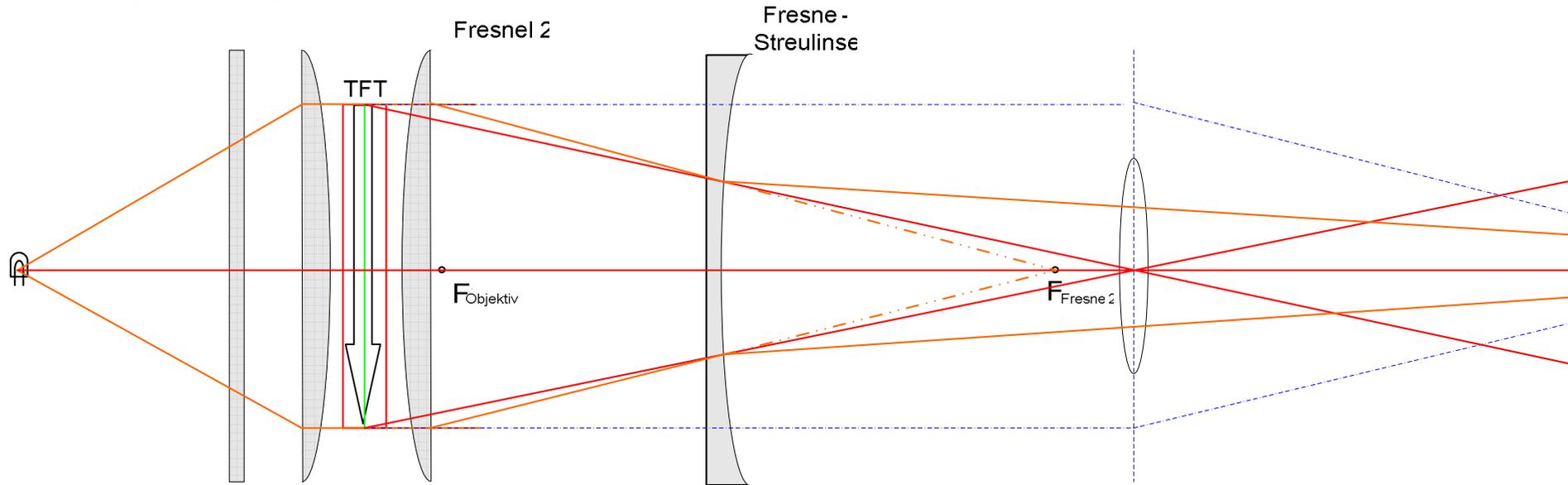
Auszug aus dem Handbuch zum Liesegang dv 61C

Tite	Beamer Eigenbat		
© Verfasser	Werner Schmid	Untertitel	Keystonekorrektur nach Liesegang
Maßstab		Datum	Februar 2004

Wenn ein Objektiv mit sehr langer Brennweite verwendet wird und daher erst nach der Brennweite von Fresnel 2 positioniert werden kann, hat man das Problem, daß das Licht (orange) vor dem Objektiv gebündelt wird. Abhilfe schafft hier eine Fresnel-Streulinse, damit wird die Brennweite der Fresnel 2 verlängert.

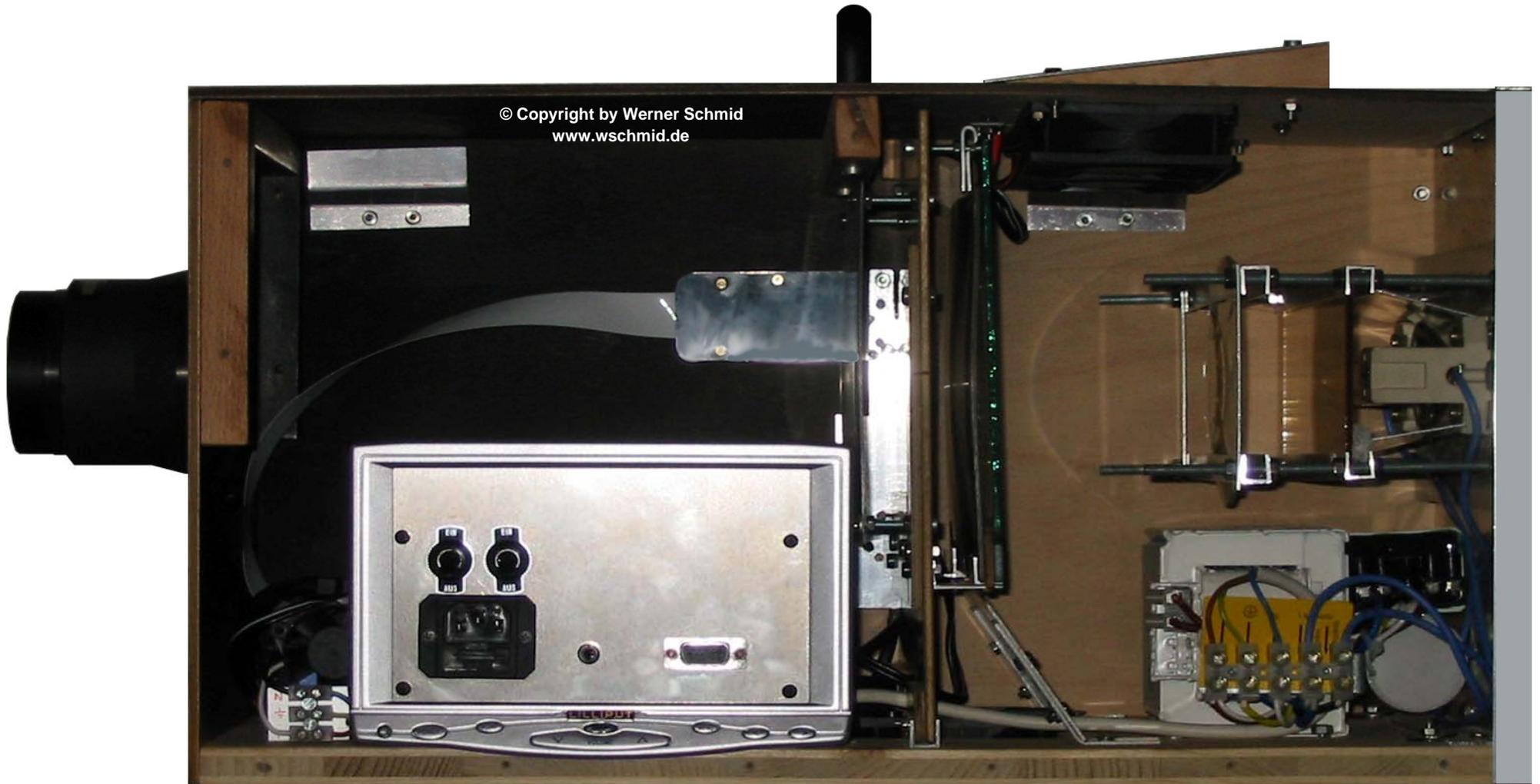
Nach „Duffy“, nicht von mir getestet!

Ich bin allerdings der Meinung, das diese Streulinse auch die Brennweite des Objektivs beeinflusst, also: Ausprobieren!



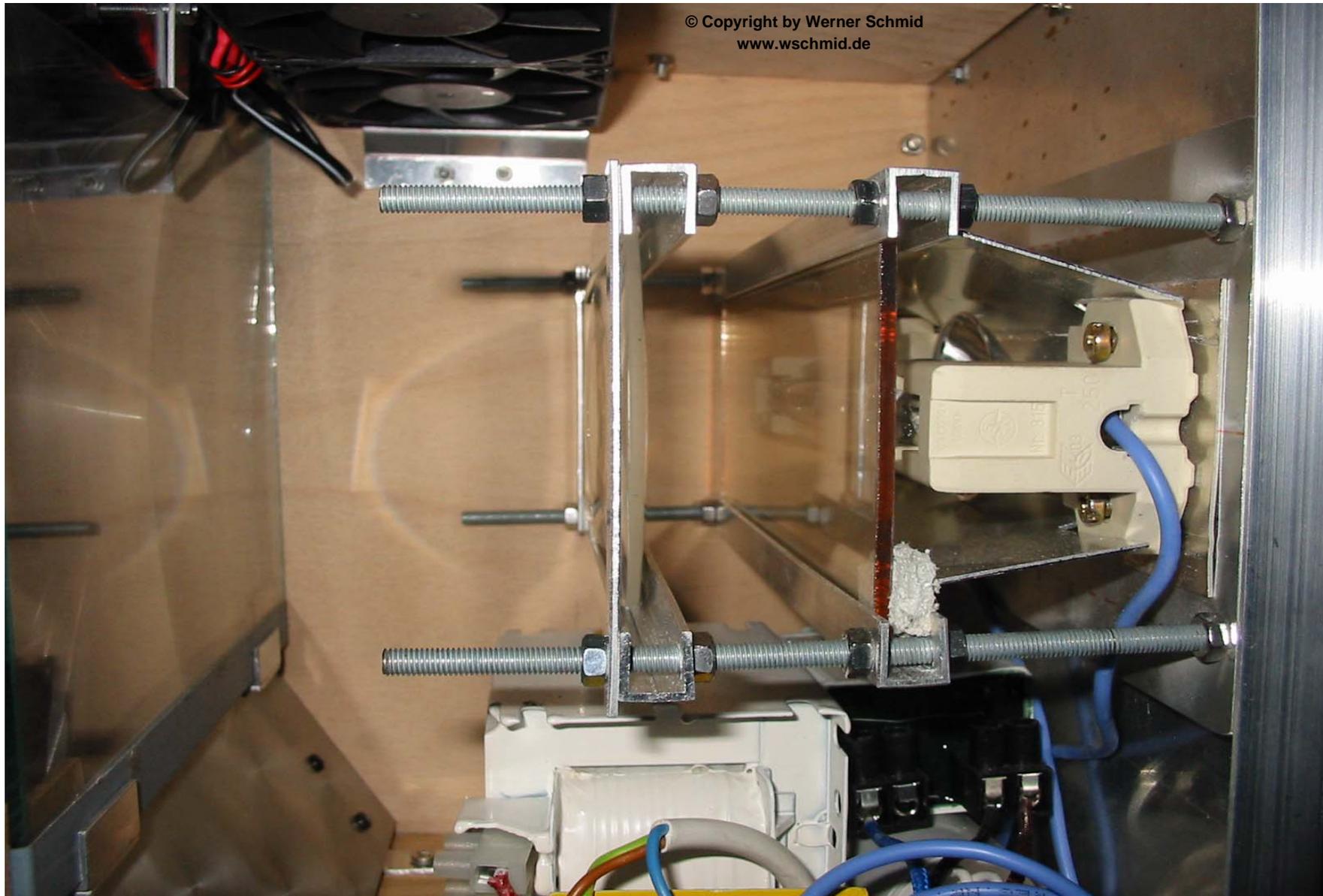
Titel	Beamer Eigenbau		
© Verfasser	Werner Schmid	Untertitel	Brennweitenverlängerung nach Duffy
Maßstab		Daturn	Februar 2004

**Übrigens: Wie bei allen optischen Geräten gilt auch hier: Staub ist ein Feind der Linsen, er kann wie Schleifpapier wirken. Also: Sauberkeit ist Pflicht!**



© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

Der Beamer in Gesamtansicht mit geöffneter Breitseite



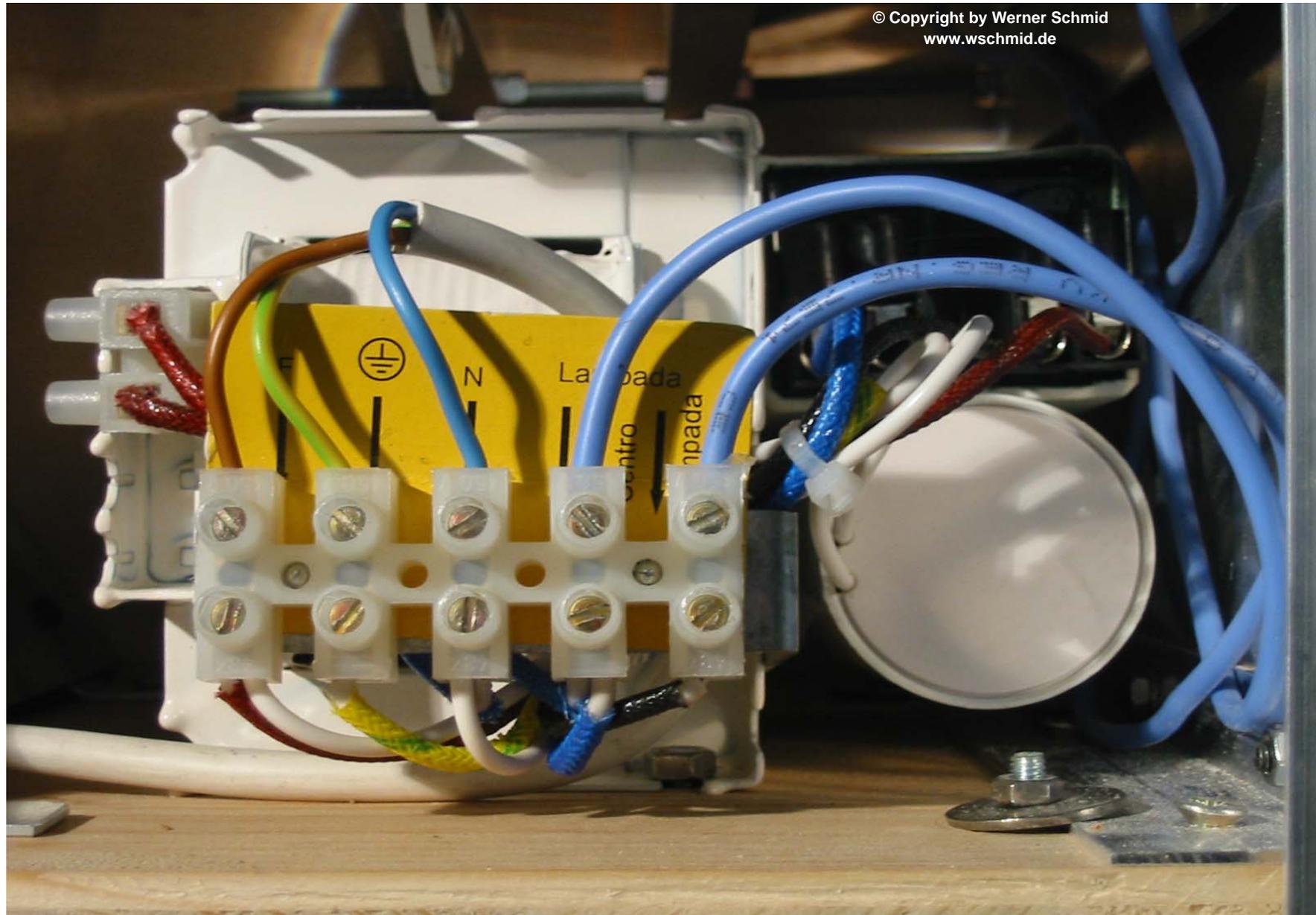
© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

Die Lampenkonstruktion



© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

So steckt der Brenner in der Fassung

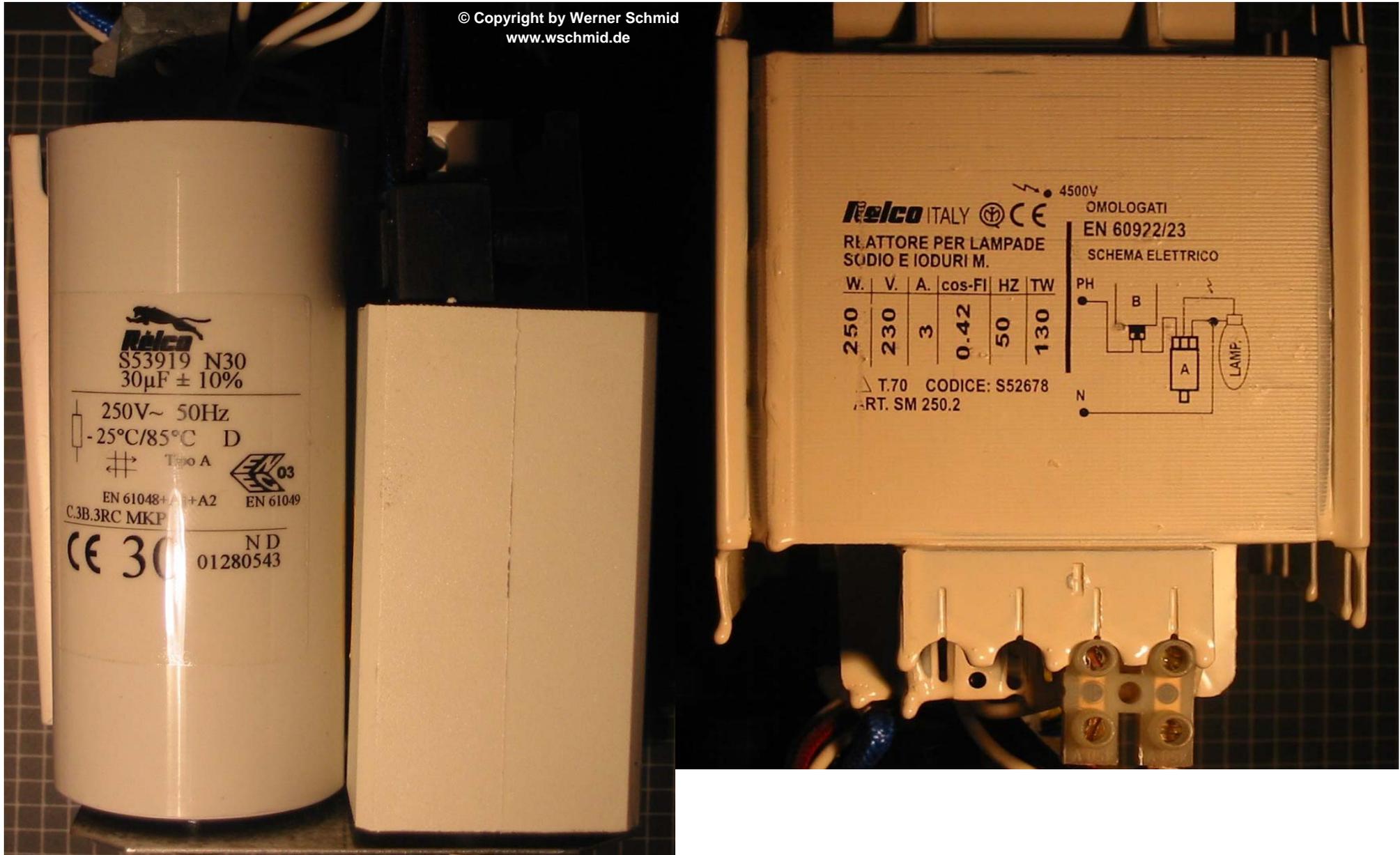


© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

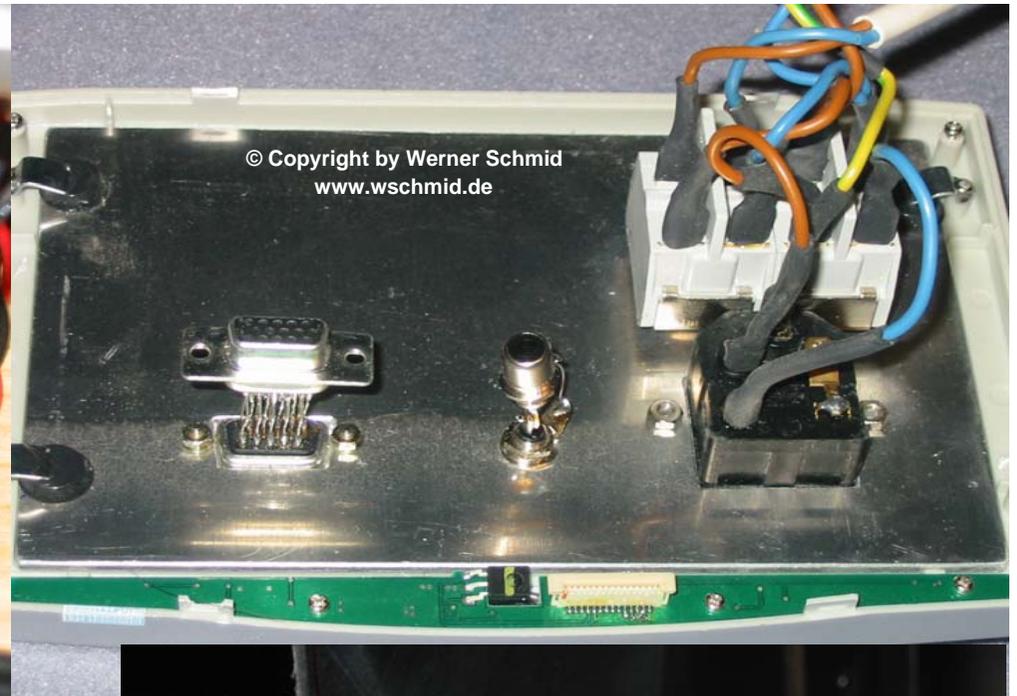
Die Anschluss-Seite des Vorschaltgerätes



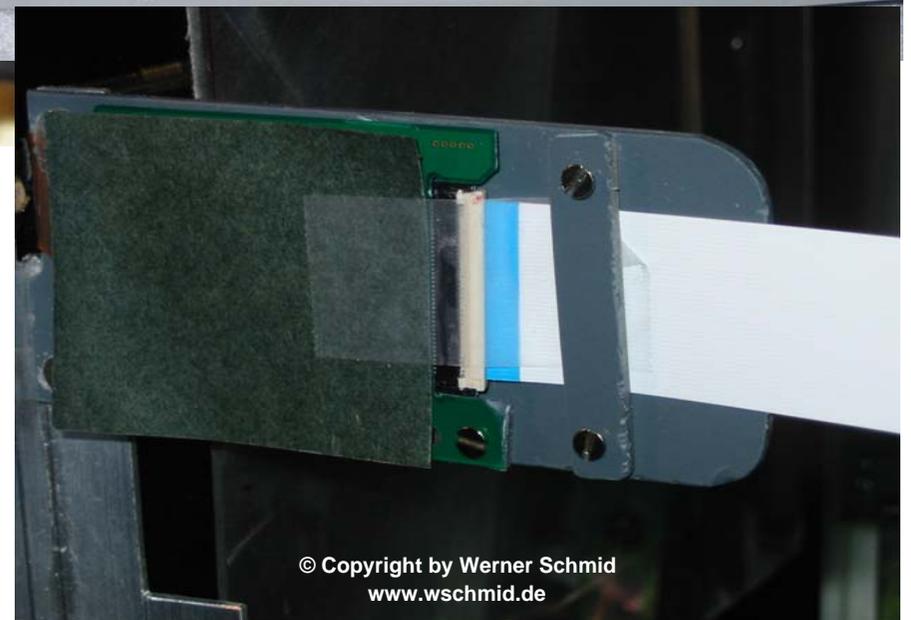
Zündgerät

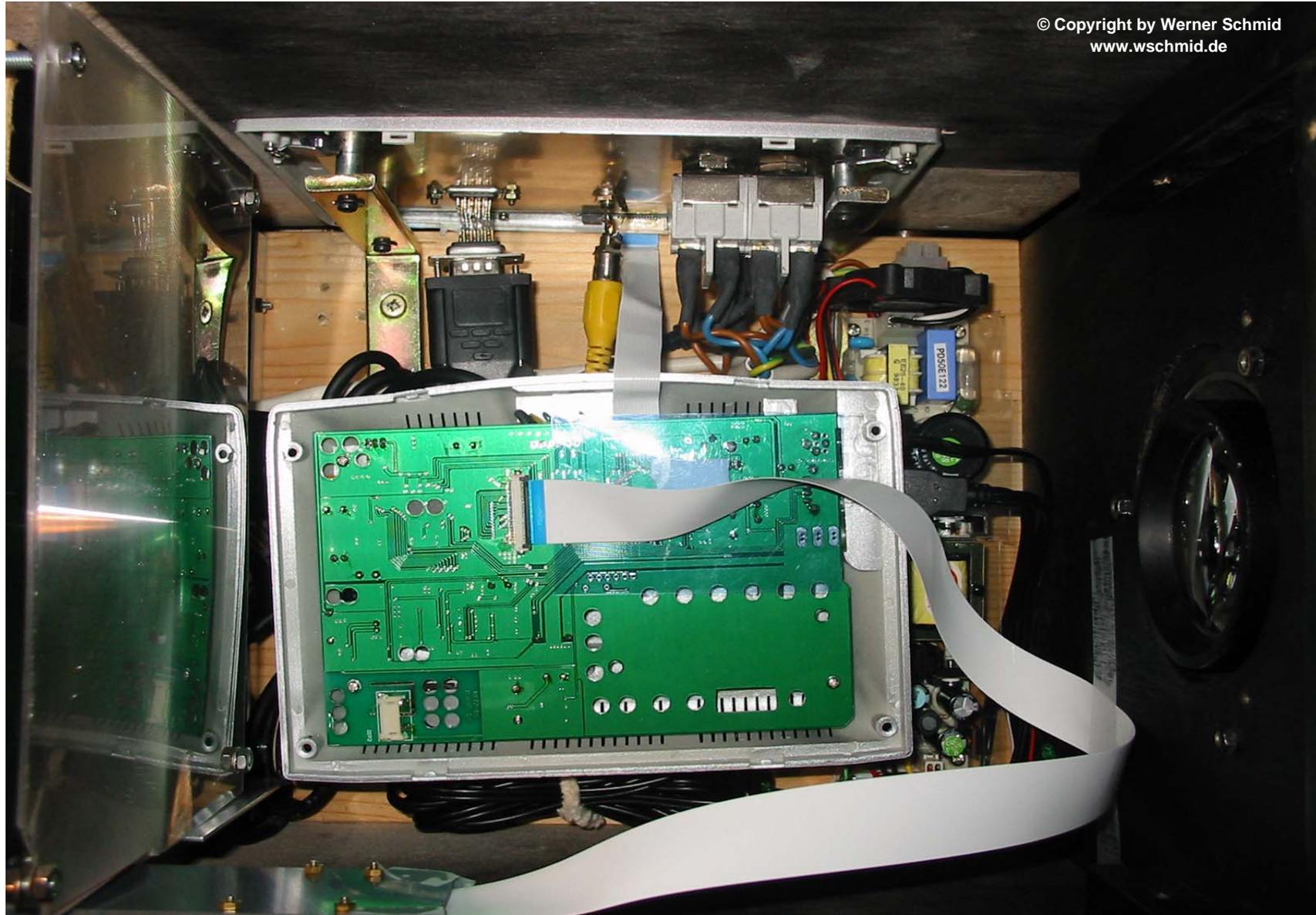


Links Kondensator, rechts Drossel



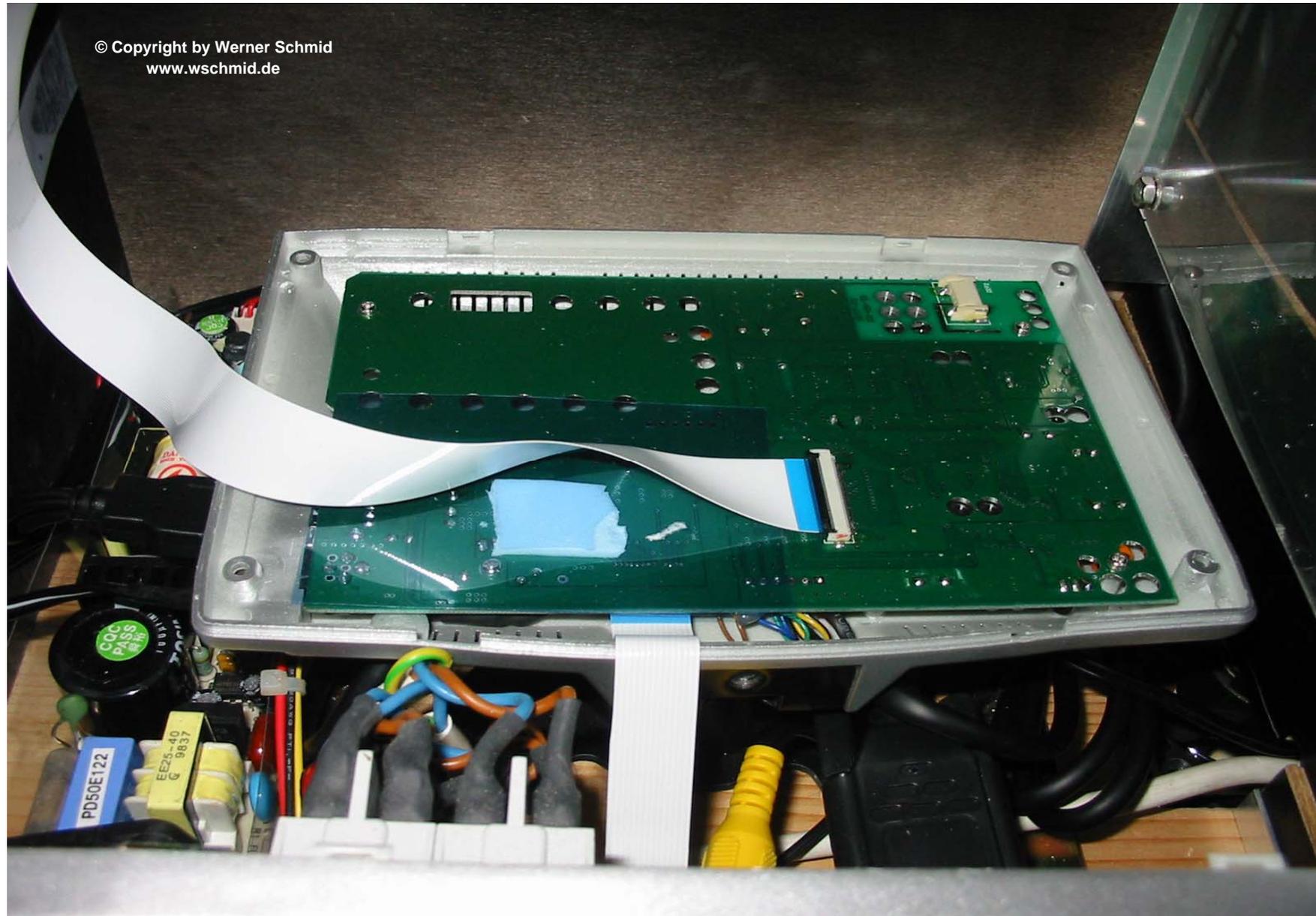
oben links: Der Niederspannungsverteiler  
 oben rechts: Blick von hinten auf das Anschluss- und Bedienfeld  
 rechts: Die kleine Platine am TFT wurde auf einer Kunststoffplatte befestigt und mit einem neuen langen FFC-Kabel mit der Steuerung verbunden.  
 Der kleine weiße Steg an der Platine war übrigens eines meiner Sorgenkinder!  
 Er hielt nicht mehr richtig in seinen Lagern und konnte daher das FFC-Kabel nicht richtig auf die Kontakte pressen. Aus mysteriösen Gründen habe ich dabei sogar mitunter ein Bild von "Jurassic-Park" am Display gesehen. Sollte das eine Prophezeiung sein?



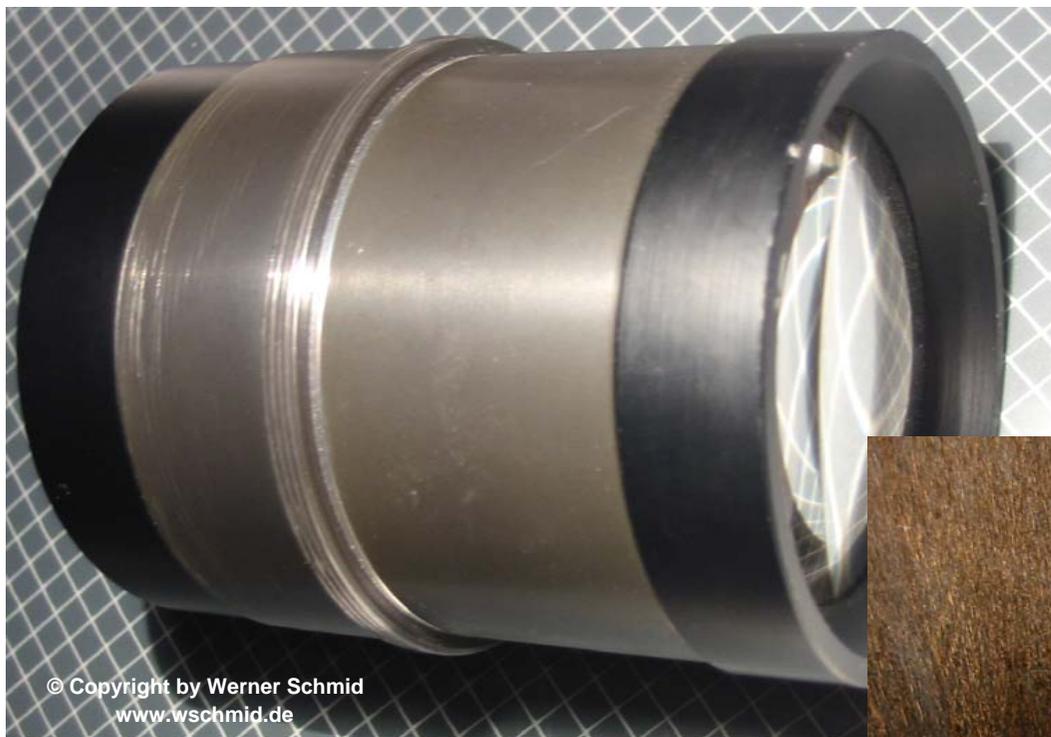


© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

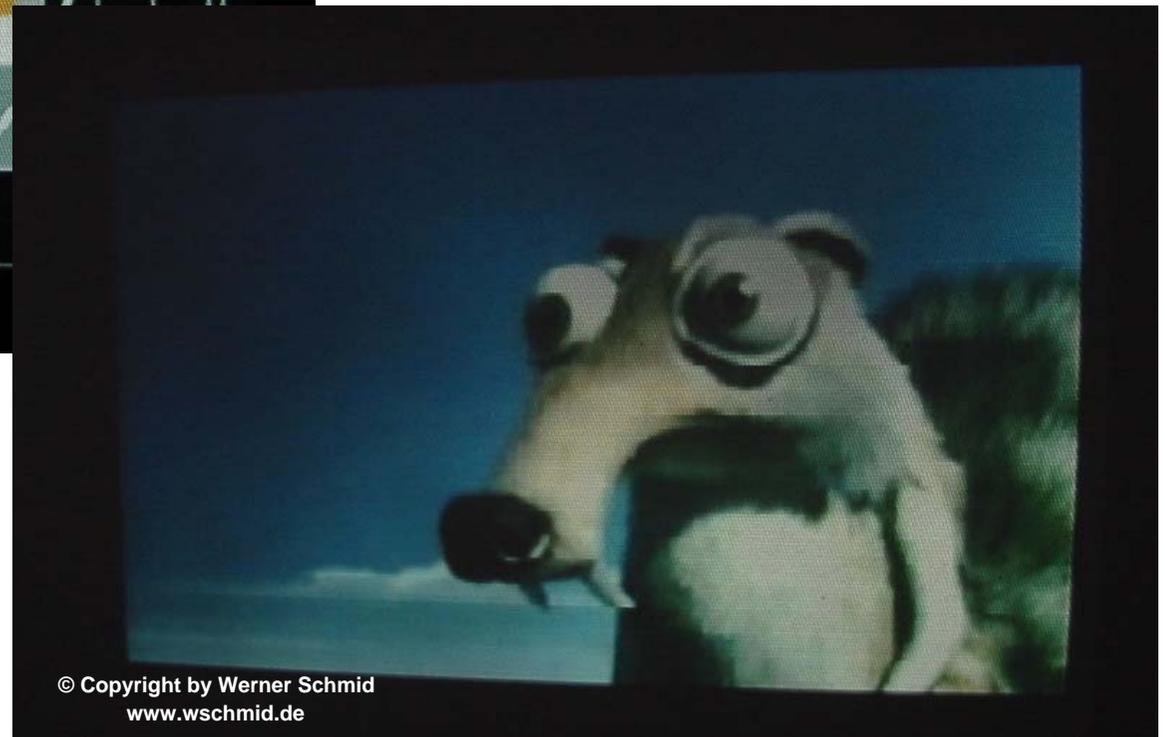
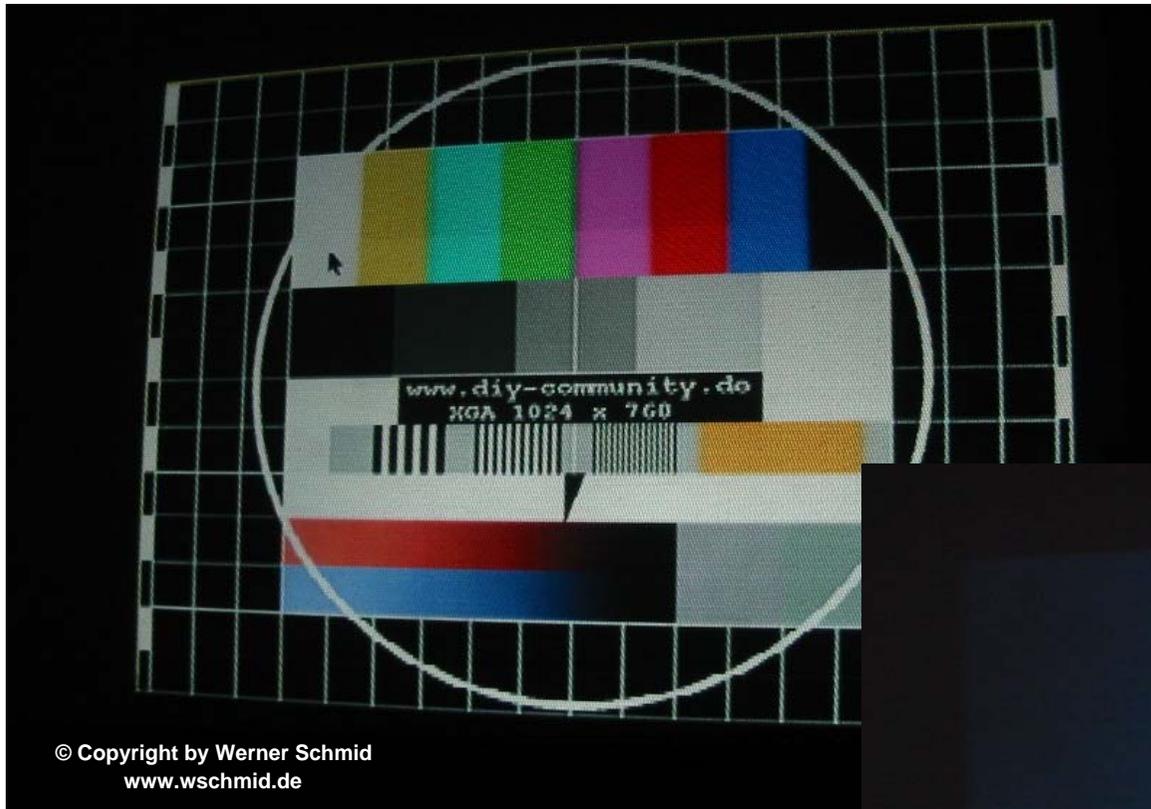
Blick von oben in den Raum zwischen Fresnel 2 (links) und Objektiv. Das große grüne Rechteck ist die Steuerung des TFT. Das schmale FFC-Kabel oben mitte ist mein zweites Sorgenkind. Wenn das Kabel nicht 100%ig in seinem Stecker klemmt, rührt sich an der Elektronik gar nichts!

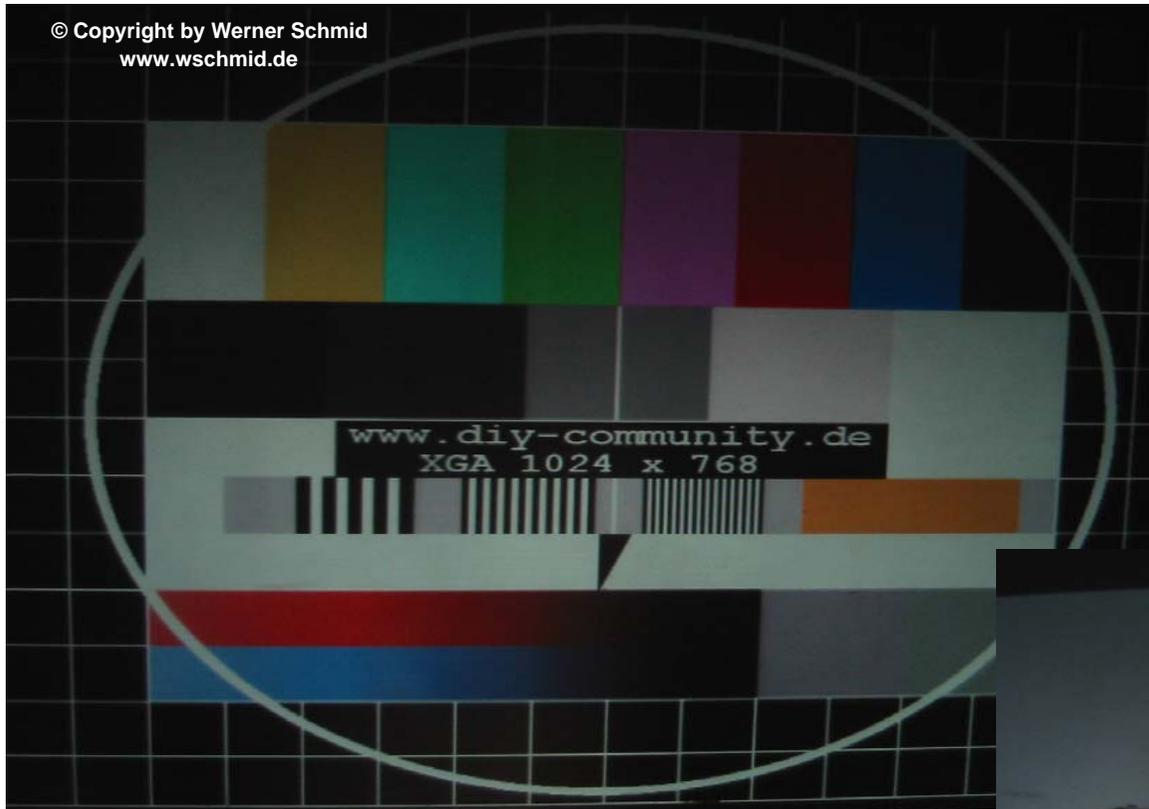


Blick über das Anschluss- und Bedienfeld auf die Steuerung, das komplette Rückteil des Monitors



Das Objektiv und der Flansch





Links wieder das gleiche Testbild wie oben,  
rechts ein Foto aus einer wärmeren Ecke unserer schönen Welt.

© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de



Den Herrn hier kennen wir auch schon von oben.

Aus vierzig Zentimeter Entfernung zur Leinwand sind auch hier die Pixel deutlich sichtbar.

Projektionsbilder vom 7"-Lilliput-TFT

© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de

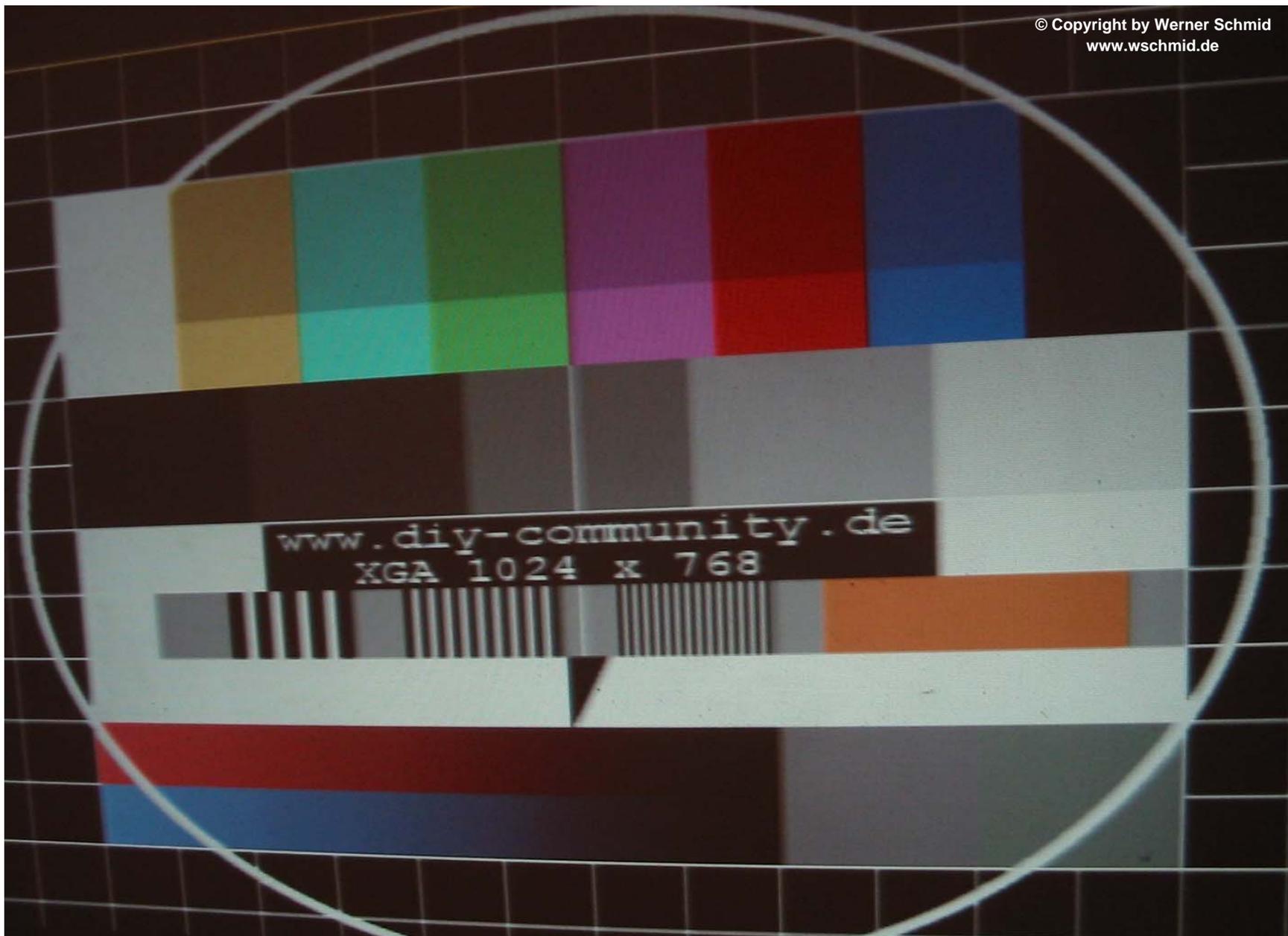


Bilder nach dem Einbau der neuen Fresnellinse, jetzt ist das Bild noch gleichmässiger ausgeleuchtet und auch schärfer!



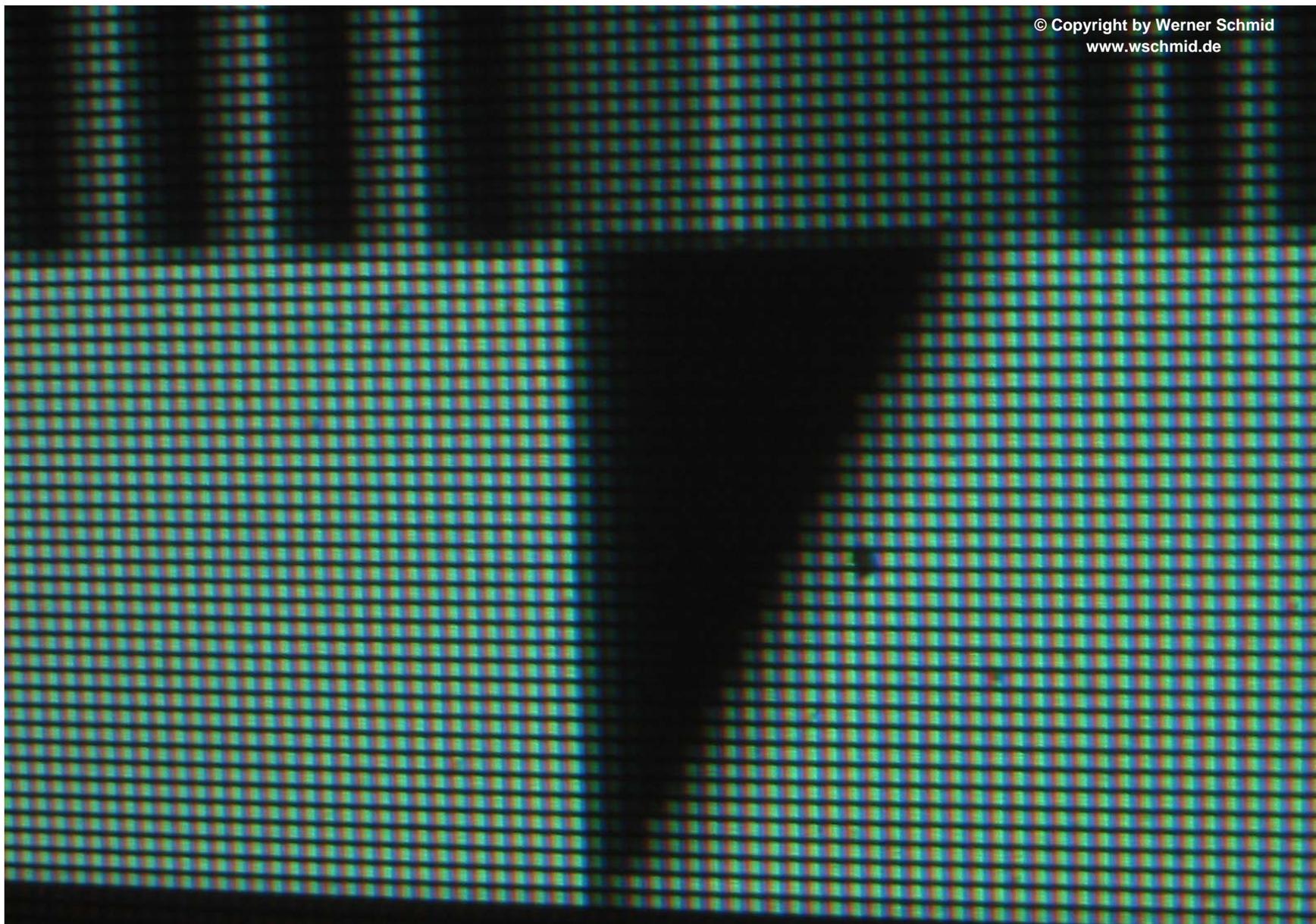


Bilder nach dem Einbau der neuen Fresnellinse

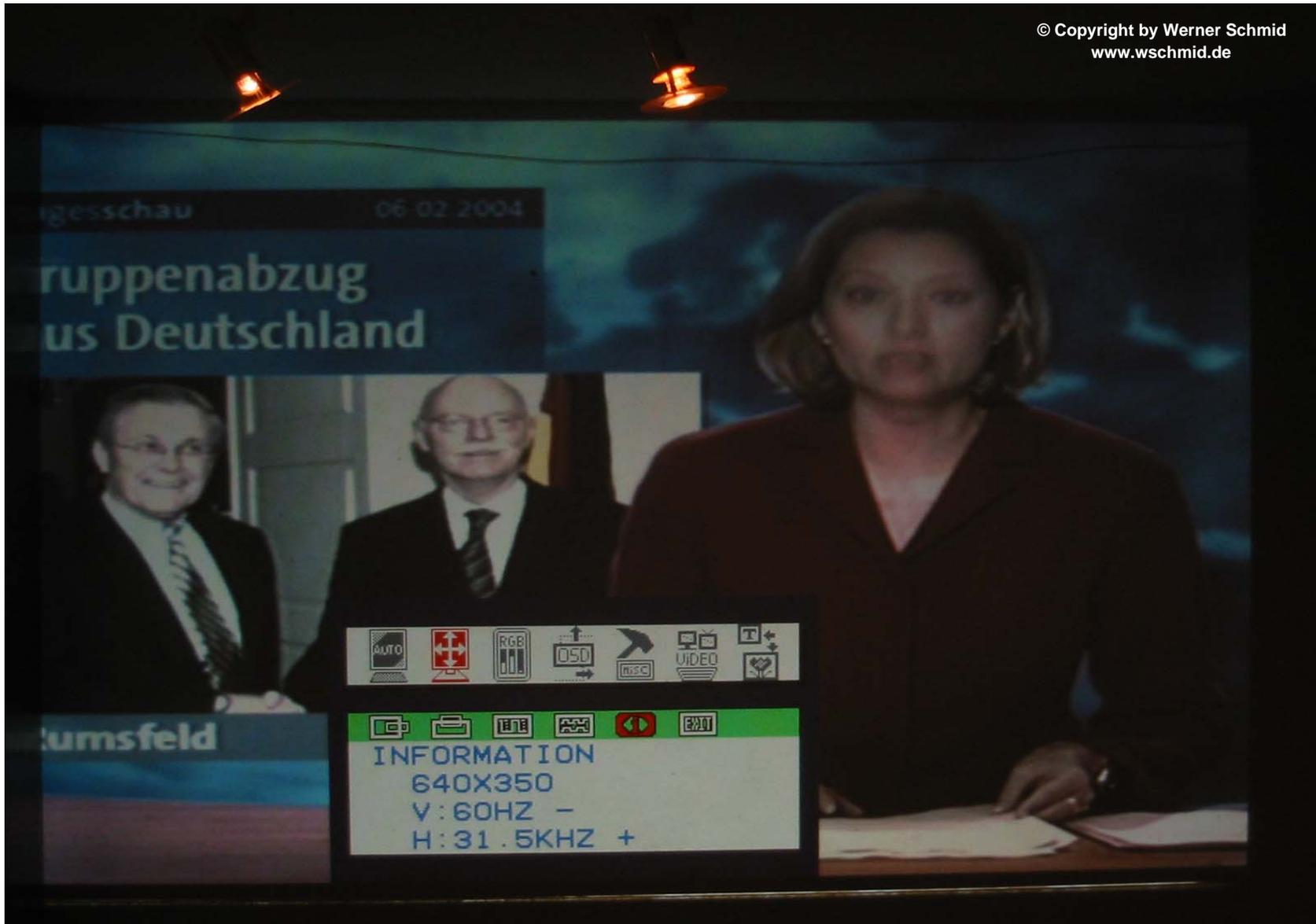


Bilder nach dem Einbau der neuen Fresnellinse, die Kamera stand auf dem Beamer.



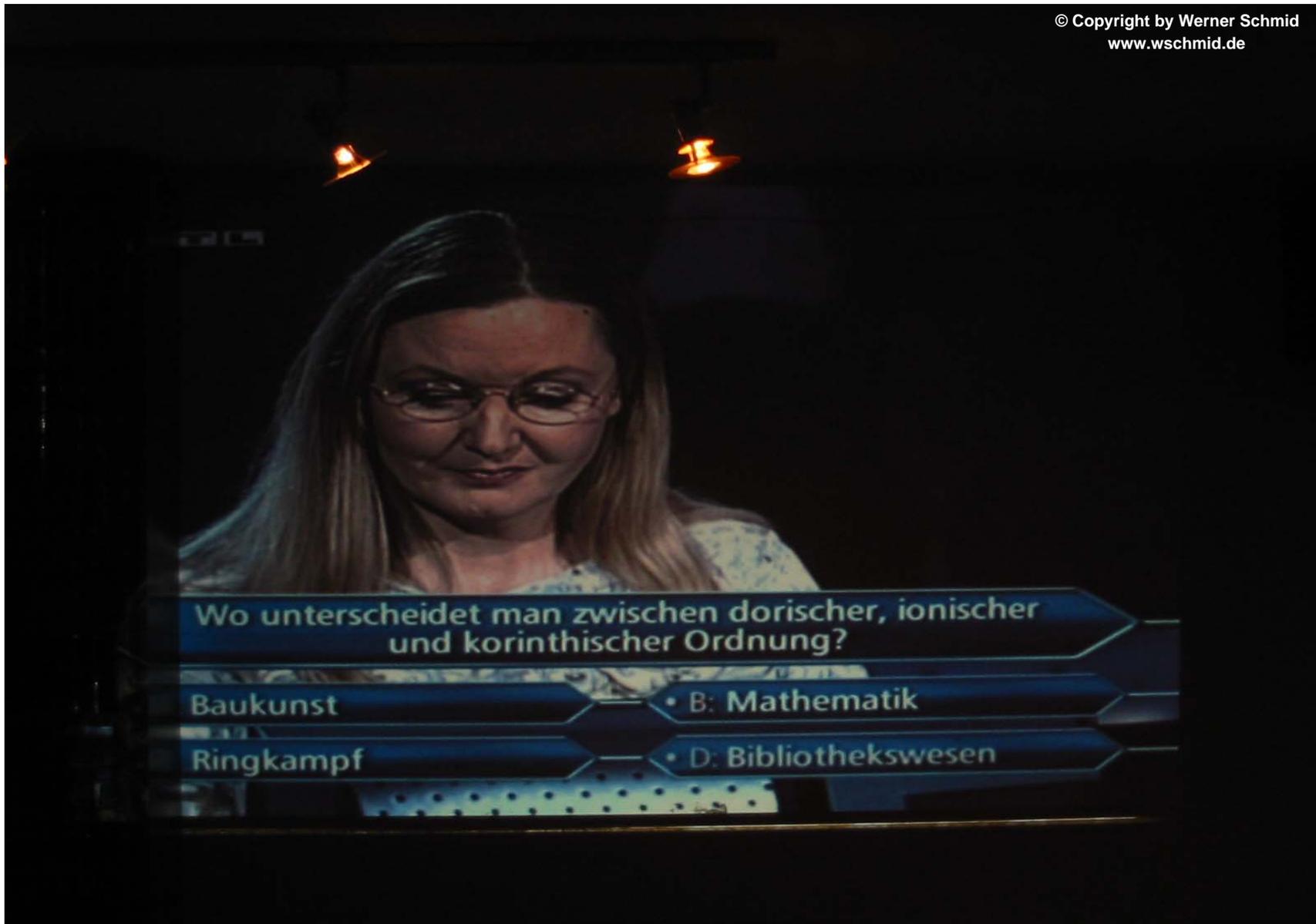


Auch Fernsehen geht mittels Videorekorder oder ähnlichem; die Bilder werden nur etwas unscharf, weil es beim Fernsehen keine Pausetaste gibt. Hier mit eingeblendet das OSD-Menü. Links fehlt ein Stück des Bildes, weil ich den Beamer erst einjustiert hatte.



Wer weiß die Antwort? Wer wird Millionär vom 6. Februar 2004. Die Bildgröße ist übrigens etwa 220 x 125 cm.

© Copyright by Werner Schmid  
www.wschmid.de



Teilleiste mit Originalfotos und Angaben

Bild	Bezeichnung	Herkunft	Stück	E-Preis	G-Preis
------	-------------	----------	-------	---------	---------



7" TFT	<a href="#">Gadaffy</a>	1	270,00 €	270,00 €
--------	-------------------------	---	----------	----------

Model Number. 618GL-70NP(XGA)  
 Key Specifications/Special Features:  
 Screen size: 7 inches digital  
 Ratio: 16:9 wide TFT screen  
 Optional 4 display modes: 4:3<-->16:9 <-->16:9 Zoom<-->4:3 For CCTV  
 Resolution (H x V): 1024 x 768 XGA  
 Color configuration: RGB stripe  
 Video system: PAL/NTSC/SECAM auto conversion  
 2 Video inputs plus 1 Audio input  
 VGA connect  
 Touch on screen display optional  
 IR remote control  
 Full function OSD control (Multi-language)  
 Audio output: Speaker built-in & earphone jack  
 Video input signal: 1.0Vp-p, composite video  
 Reversible screen: X-turn (mirror picture) & Y-turn (flip-down picture) available

High resolution and no radiation (better for eyes' protection)  
 Computer display/S-video/DVD/VCD/Security system/Navigation system compatible  
 (Rear view camera connectible)  
 Mount type: Dash board  
 Power input: DC 12V  
 Power consumption: 9W

Teilleiste mit Originalfotos und Angaben

Bild	Bezeichnung	Herkunft	Stück	E-Preis	G-Preis
------	-------------	----------	-------	---------	---------



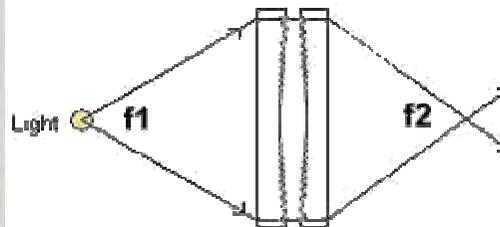
Objektiv	<a href="#">ebay</a>	1	12,00 €	12,00 €
----------	----------------------	---	---------	---------

Das Objektiv besteht aus dem eigentlichen Objektiv (Brennweite  $f=285\text{mm}$ ,  $F=8,5$ , Zweilinsler mit Blende) und aus einem Flansch, in den das Objektiv eingeschraubt werden kann. Da das Gewinde am Objektiv nicht mittig angebracht ist und es vorwärts und rückwärts eingeschraubt werden kann, ergibt sich (jeweils mit komplett eingeschraubtem Gewindebereich) eine gesamte Verstellmöglichkeit von ca. 25mm.

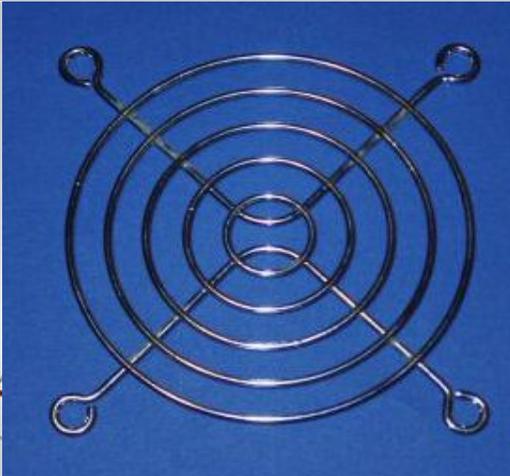
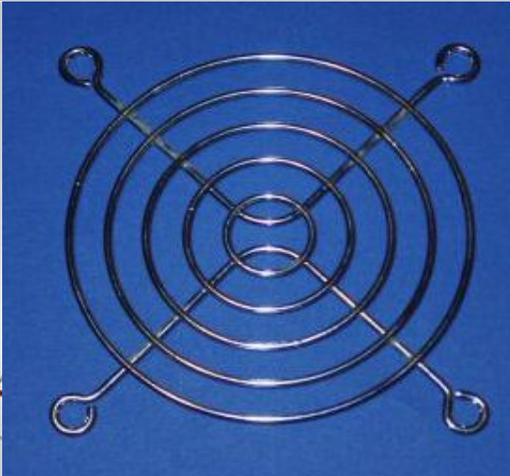


OHP-Fresnellinse	Gadaffy	1	€ 21,50	21,50 €
------------------	---------	---	---------	---------

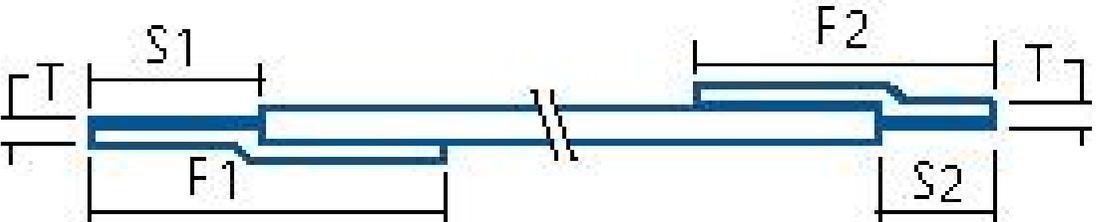
Grösste OHP Fresnel. Erste Wahl für 15" Beamer  
 310x310mm  
 Rillenbreite: 0.5mm; dicke: 4mm  
 $f_1=214\text{mm}$ ;  $f_2=326\text{mm}$



Teilleiste mit Originalfotos und Angaben

Bild	Bezeichnung	Herkunft	Stück	E-Preis	G-Preis
 	<b>Lüfter 5 Stück</b> 3 verwendet	<a href="#">ebay</a>	1	5,50 €	5,50 €
	<b>Lüfterschutzgitter</b>	<a href="#">Westfalia</a>	1	1,15 €	1,15 €
	<b>Netzteil</b>	<a href="#">ebay</a>	1	9,00 €	9,00 €
	Stromversorgung Schaltnetzteil 12 Volt / 5 Volt von Mapower Typ PD50. Es liefert 1 mal 5 Volt bei 3A sowie 1 mal 12 Volt bei 3A. Eingangsspannung 100 bis 240 Volt. Abmessung 170 mal 50 mal 40mm. 1 Kaltgerätebuchse, 2 LEDs und ein 40er Mini Lüfter.				
  	<b>Kaltgerätebuchse</b>	<a href="#">Conrad</a> <a href="#">Westfalia</a>	1	2,79 € 0,99 €	2,79 €
	<b>Bezeichnungsschild</b>	<a href="#">Conrad</a>	2	1,14 €	2,28 €
	<b>Schalter</b>	<a href="#">Conrad</a> <a href="#">Westfalia</a>	2	6,71 € 2,02 €	13,42 €

Teilleiste mit Originalfotos und Angaben

Bild	Bezeichnung	Herkunft	Stück	E-Preis	G-Preis
	<b>Cinch-Buchse</b> <a href="#">Conrad</a> Westfalia		2	0,69 € 0,29 €	1,38 €
	Die Buchsen wurden "Rücken an Rücken" verlötet und in das Bedienfeld eingebaut. Damit ist es möglich, das vorhandene Kabel vom TFT ohne Veränderung hinten aufzustecken und vorne das Kabel zur Bildquelle.				
	<b>VGA SUB D-15 Steckerleiste</b> <a href="#">Conrad</a>		1	1,20 €	1,20 €
	<b>VGA SUB D-15 Buchsenleiste</b> <a href="#">Conrad</a>		1	1,20 €	1,20 €
	Buchse und Stecker wurden "Rücken an Rücken" verlötet und in das Bedienfeld eingebaut. Damit ist es möglich, das vorhandene Kabel vom TFT ohne Veränderung hinten aufzustecken und vorne das Kabel zur Bildquelle.				
	<b>FFC-Kabel</b> <a href="#">esskabel</a>		1	6,50 €	6,50 €
	FFC0.50D40-0492L-4-4-08-08SABB Folienkabel, Raster 0.50 mm, 40pol. gleichseitig abisoliert, Gesamtlänge L=500 mm Verbindung Steuerung-kleine Platine				

Teilleiste mit Originalfotos und Angaben

Bild	Bezeichnung	Herkunft	Stück	E-Preis	G-Preis
------	-------------	----------	-------	---------	---------

**02 HQI- Bausätze**



**KIT 250 und KIT 400**

Komplettes Vorschaltgeräte KIT für 250 Watt und 400 Watt HQI- Lampen Vorschaltgerät, Zündgerät und Kondensator sind als Einheit zusammengefasst und mit zwei Schrauben schnell montiert.

Die Einheit ist schon verdrahtet, so dass nur noch die 230 Volt Zuleitung und das Kabel zur Fassung an die bezeichneten Klemmen angeschlossen werden müssen. Fertig!

Das KIT ist speziell gedacht für den externen Einsatz für die Versorgung der HQI- Leuchten. Dadurch werden Gewicht und Hitzeentwicklung in der Leuchte minimiert und die Lebensdauer des Vorschaltgerätes optimiert. Die Entfernung zwischen dem

Vorschaltgeräte KIT und der Leuchte sollte 1,5 bis max 2 Meter nicht überschreiten.

Auch für den Pflanzenanbau finden diese Einheiten in Verbindung mit einer E40-Fassung und einem entsprechendem Reflektor ihre Anwender.

- 0208 | KIT 250 Watt
- 0209 | KIT 400 Watt

**03 Fassung Fc2, Keramik**



**HQI-TS- Fassung Fc2**

0321 | für 250 und 400 Watt Leuchtmittel, Keramiksockel

HQI-Bausatz 250W	<a href="#">Breidenbach</a>	1	52,00 €	52,00 €
------------------	-----------------------------	---	---------	---------

Fassung	<a href="#">Breidenbach</a>	1	14,90 €	14,90 €
---------	-----------------------------	---	---------	---------

## Teilleiste mit Originalfotos und Angaben

Bild	Bezeichnung	Herkunft	Stück	E-Preis	G-Preis
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p><b>HQI-TS- Leuchtmittel, Fassung Fc2</b></p> <p>0421   250 Watt, 3000 Kelvin (Warmweiss)            0422   250 Watt, 4000 Kelvin (Neutralweiss)            0423   250 Watt, 5600 Kelvin (Daylight)            0424   400 Watt, 5600 Kelvin (Daylight)</p> <p style="color: yellow;">▶ <a href="#">Produktübersicht</a>            ▶ <a href="#">Preise und Bestellen</a></p> </div> <div style="width: 50%; padding-left: 10px;"> <p><b>Brenner 250W Daylight</b></p> <p><a href="#">Breidenbach</a>    1    <b>54,90 €</b>    <b>54,90 €</b></p> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p><b>03 Reflektor, gekantet aus Aluminiumblech</b></p>  <p>Reflektor, gekantet aus Aluminiumblech passend für die Einzelfassung 0306. Der Reflektor hat Bohrungen, um die Einzelfassung zu befestigen. Der Lochabstand ist für 70 Watt HQI-TS ausgelegt. Wenn Sie handwerklich geschickt sind, können Sie diesen Reflektor mittels weiteren Bohrungen für einen HQI-Brenner 150W verwenden.</p> <p>Abmessungen: L200 x B90 x H45mm</p> <p>Der Reflektor ist Leuchtmittelseitig mit einer Folie geschützt; bitte nach der Montage entfernen.</p> <p>Reflektor ohne Fassungen. Fassungen bitte separat bestellen (Artikelnummer 0306; 1 Paar).</p> <p>0307   Reflektor, gekantet aus Aluminiumblech</p> </div> <div style="margin-top: 20px; padding-left: 10px;"> <p><b>Reflektor</b></p> <p><a href="#">Breidenbach</a>    1    <b>7,90 €</b>    <b>7,90 €</b></p> </div>					
	<b>UV-Schutzglas</b>	<a href="#">Breidenbach</a>	1	<b>11,90 €</b>	<b>11,90 €</b>
	<b>Schutzglas</b>	<b>Glaser</b>	1	<b>3,00 €</b>	<b>3,00 €</b>
	<b>Gehäuseteile</b>	<b>Baumarkt</b>	1	<b>8,22 €</b>	<b>8,22 €</b>
	<b>Kleinteile</b>	<b>Baumarkt</b>	1	<b>10,00 €</b>	<b>10,00 €</b>
<b>Summe</b>					<b>510,74 €</b>