

# pst-diffraction

## Beugungsmuster für Beugung an kreisförmigen, rechteckigen und dreieckigen Öffnungen

—

v. 2.02(2007/09/25)

Manuel Luque

[ml@PSTricks.de](mailto:ml@PSTricks.de)

Herbert Voß

[hv@PSTricks.de](mailto:hv@PSTricks.de)

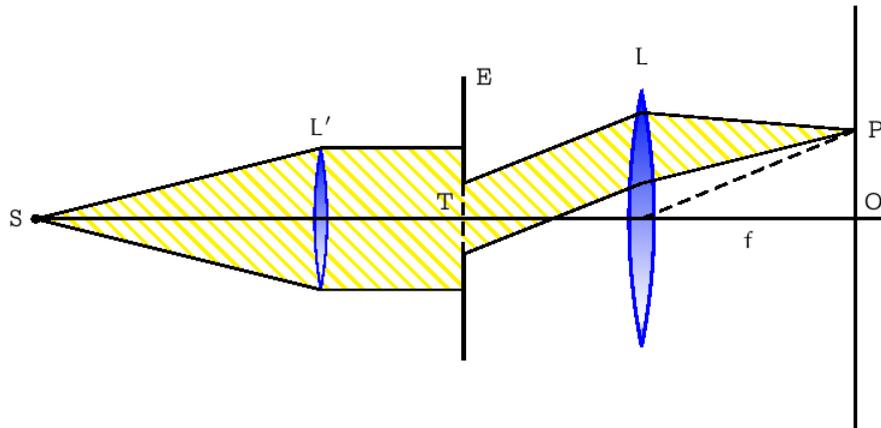
26. September 2007

Dank an Doris Wagner für die Übersetzung der Dokumentation.  
Beiträge und Anmerkungen lieferten: Julien Cubizolles.

## Inhaltsverzeichnis

1	Versuchsaufbau	3
2	Die Farbe	3
3	Beugung an einer rechteckigen Blendenöffnung	3
4	Beugung an zwei rechteckigen Blendenöffnungen	5
5	Beugung an einer kreisförmigen Blendenöffnung	6
6	Beugung an zwei kreisförmigen Blendenöffnungen	6
7	Brechung an einer dreieckigen Blendenöffnung	8

## 1 Versuchsaufbau



Das von der punktförmigen Lichtquelle S ausgehende monochromatische Licht verlässt die Sammellinse L' achsenparallel und trifft auf die Blende E mit der Öffnung T. Das Licht wird an der Öffnung gebeugt: Jeder Punkt in der Öffnung wirkt als punktförmige Lichtquelle (Huygens'sches Prinzip) und es entsteht ein Interferenzmuster (Beugungsmuster), welches auf einem Schirm beobachtet werden kann. Ist der Schirm von der Blende hinreichend weit entfernt, so spricht man von Fraunhofer'scher Beugung. In diesem Fall kann man annehmen, daß alle Lichtstrahlen, die von der Öffnung her kommen und denselben Punkt P auf dem Schirm treffen, parallel verlaufen.

In der Praxis will man den Abstand zwischen Schirm und Blende klein halten. Deshalb wird zwischen die Blende und den Schirm eine Sammellinse L montiert und der Schirm (in der Zeichnung enthält er die Punkte P und O) in die Brennebene dieser Linse gestellt. Links von der Linse parallel verlaufende Lichtstrahlen werden dann im Punkt P in der Brennebene fokussiert.

Die folgenden PSTricks-Befehle ermöglichen es, Beugungsmuster für verschiedene Formen von Blendenöffnungen zu erstellen. Dabei wird die Verwendung von monochromatischem Licht vorausgesetzt. Die Blenden können eine rechteckige, kreisförmige oder dreieckige Öffnung haben.

Als mögliche Optionen für die Befehle hat man die Abmessungen, die sich aus dem jeweiligen Versuchsaufbau ergeben, etwa den Radius bei Verwendung einer Lochblende. Außerdem kann man die Wellenlänge des verwendeten Lichts angeben (die zugehörige Farbe wird vom Paket dann automatisch zugeordnet).

Es gibt drei Befehle, jeweils einen für rechteckige, kreisförmige und dreieckige Öffnungen:

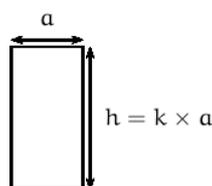
```
\psdiffractioRectangle[<Optionen>]
\psdiffractioCircular[<Optionen>]
\psdiffractioTriangle[<Optionen>]
```

## 2 Die Farbe

Die gewünschte Lichtfarbe wird über die Angabe der zugehörigen Wellenlänge  $\lambda$  (in Nanometern) definiert. Für die Farbe rot beispielsweise gibt man als Option [ $\lambda=632$ ] an wegen  $\lambda_{\text{rot}} = 632 \text{ nm}$ .

Die Umrechnung der Wellenlänge in den entsprechenden Wert des RGB-Farbschemas wird von PostScript durchgeführt. Der zugrunde liegende Code lehnt sich an ein Fortran-Programm, welches man auf folgender Seite findet: <http://www.midnightkite.com/color.html>.

## 3 Beugung an einer rechteckigen Blendenöffnung

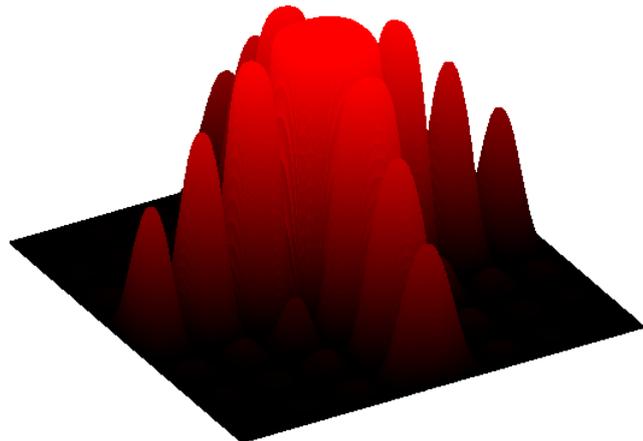
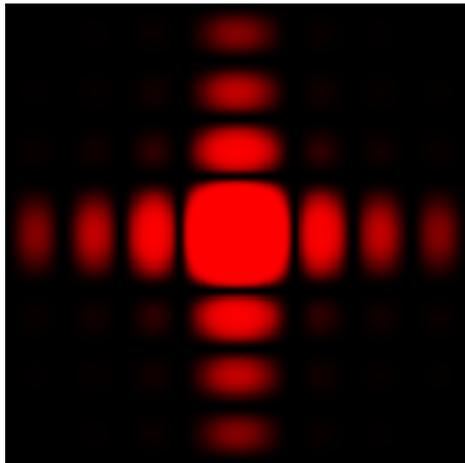


Die Breite des Rechtecks mit der Fläche  $h = k \times a$  wird über den Buchstaben [a] definiert, die Höhe über den Buchstaben [k]. Die Brennweite der Linse gibt man durch [f] an, die Auflösung kann man mit der Option [pixel] verändern. Mit der Option [contrast] kann man erreichen, daß die Nebenmaxima des Beugungsmusters deutlicher werden.

Ein Schwarzweissbild erhält man, wenn man die Option [colorMode=0] verwendet, [colorMode=1] liefert das zugehörige Negativ. Die Optionen [colorMode=2] bzw. [colorMode=3] liefern Farbbilder im CMYK-Farbmodell bzw. RGB-Farbmodell.

Defaultmäßig sind folgende Werte voreingestellt:

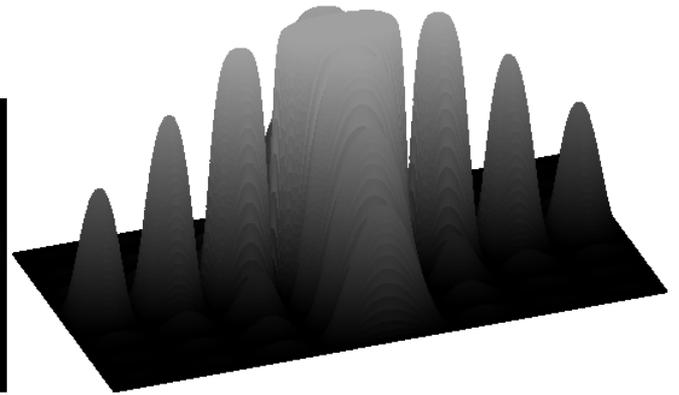
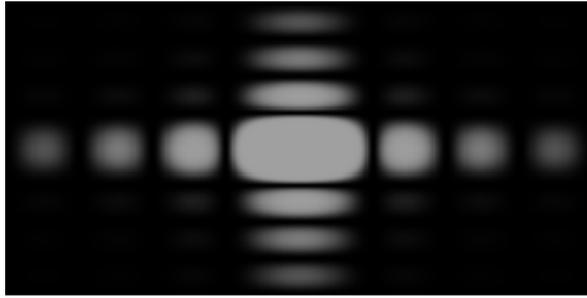
[a=0.2e-3] in m; [k=1]; [f=5] in m;  
 [lambda=650] in nm; [pixel=0.5]; [contrast=38], Maximalwert;  
 [colorMode=3]; [IIID=false].



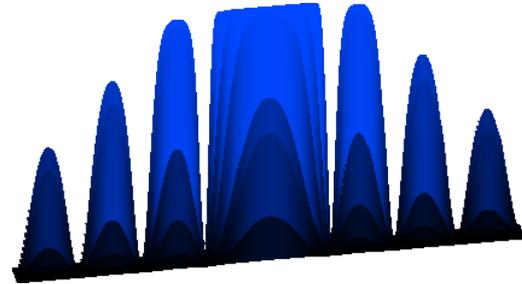
```
\begin{pspicture}(-3.5,-3.5)(3.5,3.5)
\psdiffractioRectangle[f=2.5]
\end{pspicture}
\hfill
\begin{pspicture}(-1.5,-2.5)(3.5,3.5)
\psdiffractioRectangle[IIID,Alpha=30,f=2.5]
\end{pspicture}
```



```
\begin{pspicture}(-2,-4)(2,4)
\psdiffractioRectangle[a=0.5e-3,k=0.5,f=4,pixel=0.5,colorMode=0]
\end{pspicture}
\hfill
\begin{pspicture}(0,-3)(4,4)
\psdiffractioRectangle[IIID,a=0.5e-3,k=0.5,f=4,pixel=0.5,colorMode=0]
\end{pspicture}
```



```
\begin{pspicture}(-2.5,-2.5)(3.5,3)
\psdiffractionRectangle[a=0.5e-3,k=2,f=10,lambda=515,colorMode=1]
\end{pspicture}
\hfill
\begin{pspicture}(-1.5,-2)(3.5,3)
\psdiffractionRectangle[IIID,Alpha=20,a=0.5e-3,k=2,f=10,lambda=515,colorMode=1]
\end{pspicture}
```



```
\begin{pspicture}(-3.5,-1)(3.5,1)
\psdiffractionRectangle[a=0.5e-3,k=20,f=10,pixel=0.5,lambda=450]
\end{pspicture}
\hfill
\begin{pspicture}(-3.5,-1)(3.5,4)
\psdiffractionRectangle[IIID,Alpha=10,a=0.5e-3,k=20,f=10,pixel=0.5,lambda=450]
\end{pspicture}
```

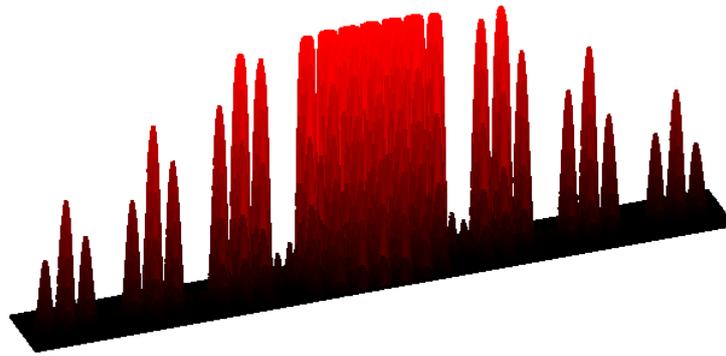
## 4 Beugung an zwei rechteckigen Blendenöffnungen

Der Code für diese Simulation wurde von Julien CUBIZOLLES erstellt.

Man kann auch das Beugungsmuster zweier kongruenter Rechtecke (so nebeneinander angeordnet, daß ihre Grundlinie auf der  $x$ -Achse liegt) erstellen, indem man zusätzlich zu den Angaben für den Fall nur eines Rechtecks die Option `[twoSlit]` angibt. Defaultmäßig ist `[twoSlit]` deaktiviert. Den Abstand zwischen den beiden Rechtecken kann man über die Option `s` einstellen. Sie wird, wenn nichts anderes angegeben wird, mit dem Wert  $12e^{-3}$  m belegt.



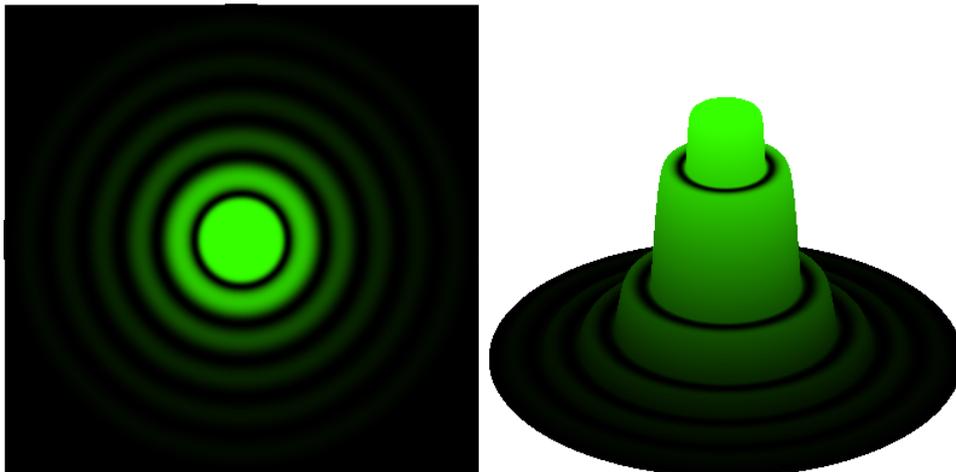
```
\begin{pspicture}(-4,-1)(4,1)
\psdiffractionRectangle[a=0.5e-3,k=10,f=10,pixel=0.5,lambda=650,twoSlit,s=2e-3]
\end{pspicture}
```



```
\begin{pspicture}(-2,-1)(4,4)
\psdiffractioRectangle[IIID,Alpha=20,a=0.5e-3,k=10,f=10,pixel=0.5,lambda=650,twoSlit,s=2e-3]
\end{pspicture}
```

## 5 Beugung an einer kreisförmigen Blendenöffnung

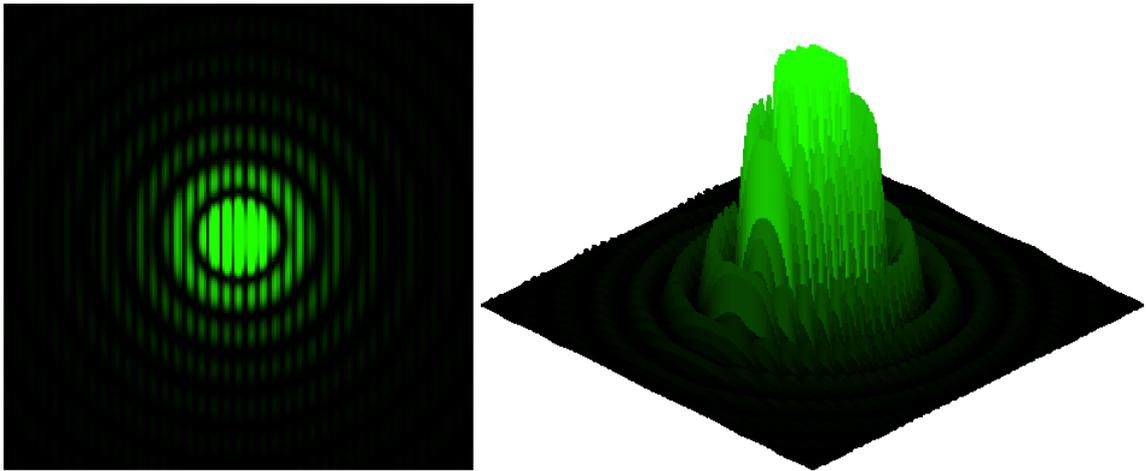
Der Lochradius wird über den Buchstaben  $r$  angesprochen, beispielsweise  $[r=1e-3]$ . Der Default ist  $r = 1$  mm. Im ersten Quadranten wird der Graph der Intensitätsverteilung abgebildet (das Maximum in der Mitte wird abgeschnitten, falls es über den oberen Rand der `pspicture`-Umgebung hinausgeht).



```
\begin{pspicture}(-3.5,-3.5)(3.5,3.5)
\psdiffractioCircular[r=0.5e-3,f=10,pixel=0.5,lambda=520]
\end{pspicture}
%
\begin{pspicture}(-3.5,-1.5)(3.5,3.5)
\psdiffractioCircular[IIID,r=0.5e-3,f=10,pixel=0.5,lambda=520]
\end{pspicture}
```

## 6 Beugung an zwei kreisförmigen Blendenöffnungen

Es ist nur der Fall gleich großer Radien vorgesehen, diesen gemeinsamen Radius spezifiziert man wie vorher über  $[r=...]$ . Außerdem muss man den halben Abstand der beiden Kreismitten festlegen vermöge  $[d=...]$ , beispielsweise  $[d=3e-3]$ . Zusätzlich muss man die Option  $[twoHole]$  verwenden. Der Bildaufbau kann in diesem Fall etwas länger dauern...



```

\begin{pspicture}(-3,-3.5)(3.5,3.5)
\psdiffractioCircular[r=0.5e-3,f=10,d=3e-3,lambda=515,twoHole]
\end{pspicture}
%
\begin{pspicture}(-3.5,-1.5)(3.5,3.5)
\psdiffractioCircular[IIID,r=0.5e-3,f=10,d=3e-3,lambda=515,twoHole]
\end{pspicture}

```

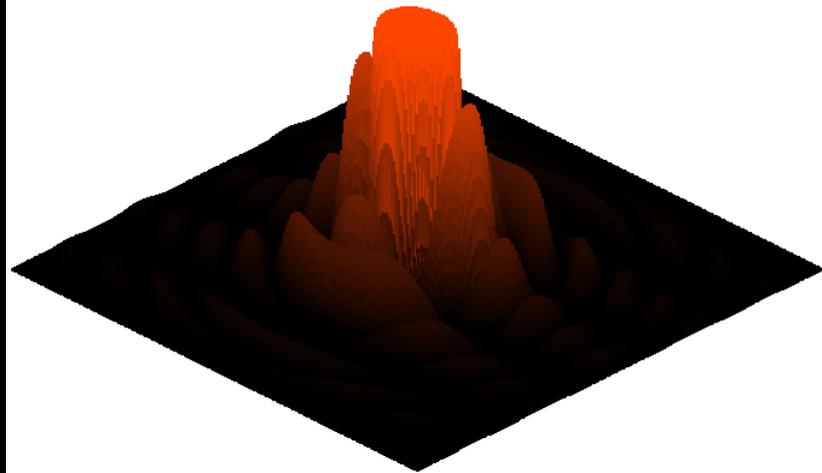
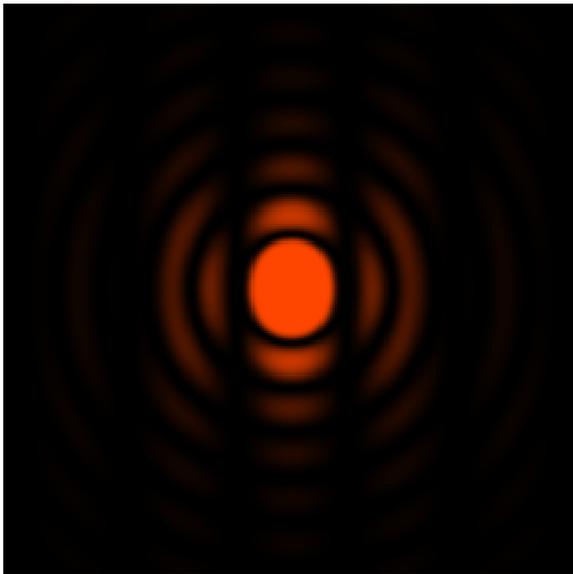


```

\begin{pspicture}(-3.5,-3)(3.5,4)
\psdiffractioCircular[r=0.5e-3,f=10,d=2e-3,lambda=700,twoHole,colorMode=0]
\end{pspicture}
%
\begin{pspicture}(-3.5,-2)(3.5,3.5)
\psdiffractioCircular[IIID,r=0.5e-3,f=10,d=2e-3,lambda=700,twoHole,colorMode=0]
\end{pspicture}

```

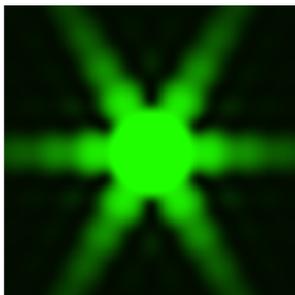
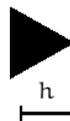
Nicht in jedem Fall ergibt sich im mittleren Kreis ein Streifenmuster. Die Anzahl  $N$  der Streifen im Inneren ist gegeben durch  $N = 2,44 \frac{d}{r}$ . Man kann diesen Effekt also erst für  $N \geq 2$  bzw. ab  $d = \frac{2r}{1,22}$  beobachten (siehe <http://www.unice.fr/DeptPhys/optique/diff/trouscirc/diffrac.html>).



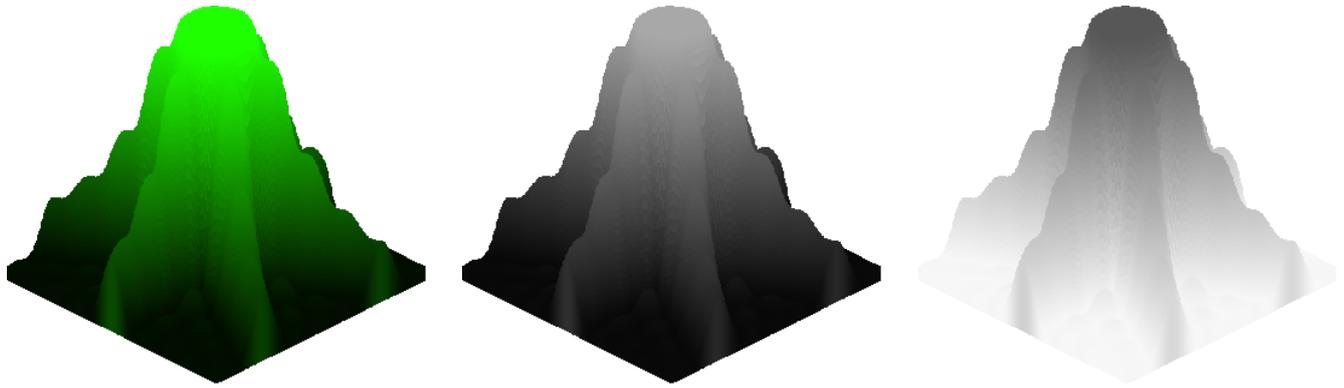
```
\begin{pspicture}(-3,-3.5)(3,3.5)
\psdiffractionCircular[r=0.5e-3,f=10,d=4.1e-4,lambda=632,twoHole]
\end{pspicture}
%
\begin{pspicture}(-3.5,-1.5)(3.5,3)
\psdiffractionCircular[IIID,r=0.5e-3,f=10,d=4.1e-4,lambda=632,twoHole]
\end{pspicture}
```

## 7 Brechung an einer dreieckigen Blendenöffnung

Es ist nur der Fall eines gleichseitigen Dreiecks vorgesehen. Als Option gibt man dessen Höhe [h] an, welche sich bekanntlich über  $h = \frac{\sqrt{3}}{2}s$  aus der Seitenlänge  $s$  des Dreiecks berechnet. Ein Schwarzweissbild erhält man mit [colorMode=0].



```
\begin{pspicture}(-3,-3)(3,2.5)
\psdiffractionTriangle[f=10,h=1e-3,lambda=515,contrast=38]
\end{pspicture}
\quad
\begin{pspicture}(-3,-3)(3,2.5)
\psdiffractionTriangle[f=10,h=1e-3,colorMode=1,contrast=38,lambda=515]
\end{pspicture}
\quad
\begin{pspicture}(-3,-3)(3,2.5)
\psdiffractionTriangle[f=10,h=1e-3,colorMode=0,contrast=38,lambda=515]
\end{pspicture}
```



```

\begin{pspicture}(-3,-2)(3,3.5)
\psdiffractionTriangle[IIID,f=10,h=1e-3,lambda=515,contrast=38]
\end{pspicture}
\quad
\begin{pspicture}(-3,-2)(3,3.5)
\psdiffractionTriangle[IIID,f=10,h=1e-3,colorMode=1,contrast=38,lambda=515]
\end{pspicture}
\quad
\begin{pspicture}(-3,-2)(3,3.5)
\psdiffractionTriangle[IIID,f=10,h=1e-3,colorMode=0,contrast=38,lambda=515]
\end{pspicture}

```

## Literatur

- [1] H. Bouasse and Z. Carrière. *Diffraction*. Delagrave, Paris, 1923.
- [2] Michel Goosens, Frank Mittelbach, Sebastian Rahtz, Denis Roegel, and Herbert Voß. *The L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Graphics Companion*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass., 2 edition, 2007.
- [3] Nikolai G. Kollock. *PostScript richtig eingesetzt: vom Konzept zum praktischen Einsatz*. IWT, Vaterstetten, 1989.
- [4] Manuel Luque. *Augustin Fresnel*. <http://melusine.eu.org/syracuse/mluque/fresnel/augustin/fresnel.html>, 2004.
- [5] George O. Reynolds, John B. Develis, George B. Parrent, and Bria Thompson. *The New Physical Optics Notebook Tutorials in Fourier Optics*. Society of Photo Optical, 1989.
- [6] Herbert Voß. Die mathematischen Funktionen von Postscript. *Die T<sub>E</sub>Xnische Komödie*, 1/02:40–47, March 2002.
- [7] Herbert Voss. *PSTricks Support for pdf*. <http://PSTricks.de/pdf/pdfoutput.phtml>, 2002.
- [8] Herbert Voß. *L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Referenz*. DANTE – Lehmanns, Heidelberg/Hamburg, 1. edition, 2007.
- [9] Herbert Voß. *PSTricks – Grafik für T<sub>E</sub>X und L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X*. DANTE – Lehmanns, Heidelberg/Hamburg, 4. edition, 2007.
- [10] Michael Wiedmann and Peter Karp. *References for T<sub>E</sub>X and Friends*. <http://www.miwie.org/tex-refs/>, 2003.
- [11] Timothy Van Zandt. *PSTricks - PostScript macros for Generic TeX*. <http://www.tug.org/application/PSTricks>, 1993.