

# auswertung233

April 10, 2025

```
[110]: import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches
import numpy as np
from scipy.signal import argrelextrema
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import chi2
from scipy.integrate import quad

plt.rcParams.update({'font.size': 12})

%run ../lib.ipynb
LibFormatter.OutputType = 'text'
```

```
[2]: def comma_to_float(valstr):
    return float(valstr.replace(',', '.'))

def countrate_error(ctrt, t):
    return [np.sqrt(x*t) / t for x in ctrt]

def linear_fit_func(x, a, b):
    return a * x + b

def propto_fit_func(x, a):
    return a * x
```

## 0.0.1 Abszisseneichung

```
[3]: eichung_ord = np.array([ 5, 4, 3, 2, 1 ])
eichung_px = np.array([ (338, 1263), (438, 1164), (507, 1075), (609, 984),
    ↪ (689, 890) ]) # (px -> px)
eichung_spalt = np.array([ 0.79, 0.59, 0.48, 0.30, 0.16 ]) # mm
eichung_spalt_err = np.ones(5) * 0.01 # mm

eichung_px_abst = np.array([x[1] - x[0] for x in eichung_px]) # px
eichung_px_abst_err = np.ones(5) * np.sqrt(4**2 + 4**2) # px

print_all(eichung_px_abst, eichung_px_abst_err)
```

```

plt.figure(figsize=(12,8))
plt.errorbar(eichung_px_abst, eichung_spalt, xerr=eichung_px_abst_err,
    ↪yerr=eichung_spalt_err, fmt='.', label='Messdaten')
plt.xlabel('Abstand der Minima [px]')
plt.ylabel('Breite Analysierspalt [mm]')
#plt.xticks(eichung_ord)
plt.grid()

popt_eichung, pcov_eichung = curve_fit(linear_fit_func, eichung_px_abst,
    ↪eichung_spalt, sigma=eichung_spalt_err, absolute_sigma=True)

eichung_a = ValErr.fromFit(popt_eichung, pcov_eichung, 0)
eichung_b = ValErr.fromFit(popt_eichung, pcov_eichung, 1)

plt.plot(eichung_px_abst, linear_fit_func(eichung_px_abst, *popt_eichung),
    ↪label = 'Fit')
plt.savefig("out/abszisseneichung.png", format="png", bbox_inches='tight')

PX_MM_FAKTOR = popt_eichung[0]

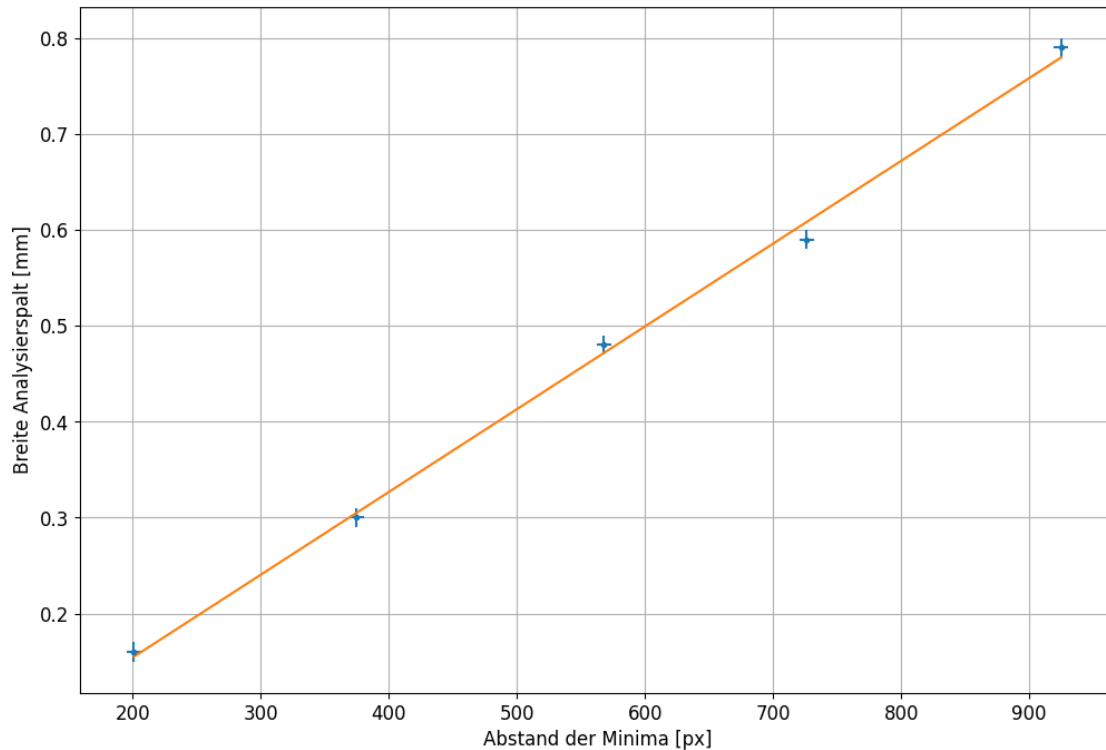
print_all(eichung_a.strfmtf2(5, -4),
    eichung_b.strfmtf2(5, 0),
    f"EICHUNG: 1px = {PX_MM_FAKTOR}mm")

```

```

[925 726 568 375 201]
[5.65685425 5.65685425 5.65685425 5.65685425 5.65685425]
(8.62829 \pm 0.17570) \cdot 10^{-4}
-0.01832 \pm 0.01079
EICHUNG: 1px = 0.0008628289900162178mm

```



```
[4]: es_nicht_saett_x, es_nicht_saett_intensity = np.loadtxt('data/2/
↳a2_einfachspalt_I_ord0_nicht_saett.txt', skiprows=0,
                                converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
                                comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize=(12,8))
plt.plot(es_nicht_saett_x, es_nicht_saett_intensity)
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')
plt.grid()

es_nicht_saett_maxima = [
    (1, 660, 60.125553 ),
    (0, 791, 1022),
    (1, 924, 50.611121),
]

es_nicht_saett_minima = [
    #(2, 603.95468, 8.1187),
    (1, 696, 1),
    (1, 887, 2.029132)
```

```

]

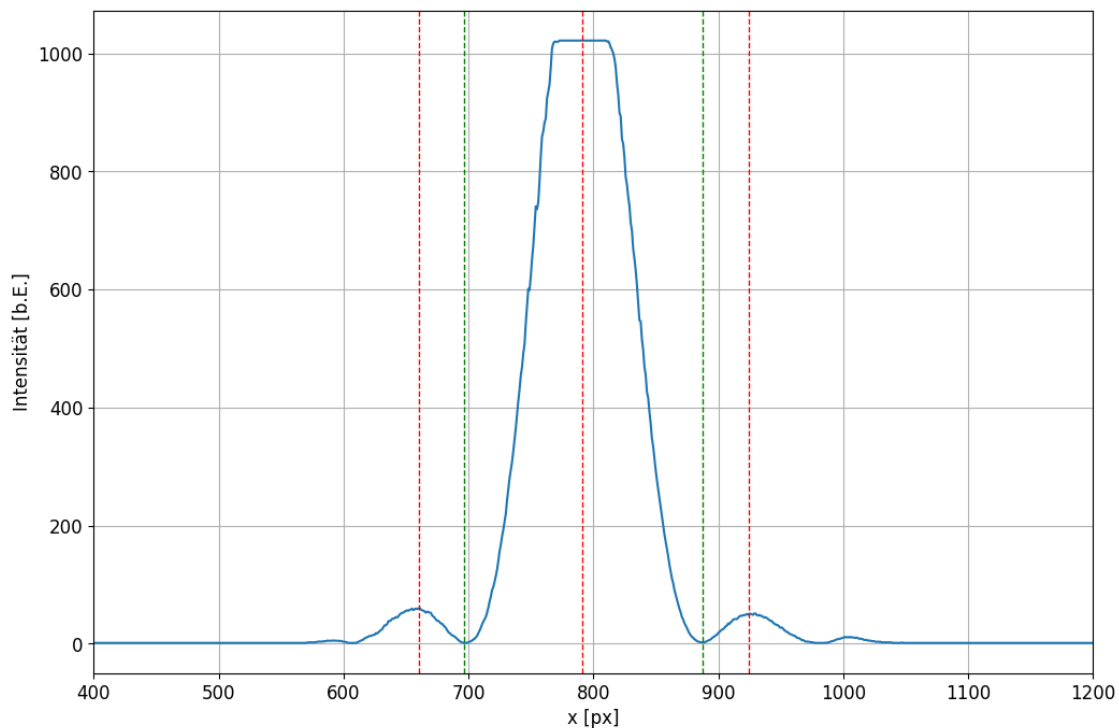
for mi in es_nicht_saett_minima:
    plt.axvline(x=mi[1], linewidth=1, linestyle='--', color='green')

for ma in es_nicht_saett_maxima:
    plt.axvline(x=ma[1], linewidth=1, linestyle='--', color='red')

plt.xlim(400, 1200)

plt.savefig("out/es_nicht_saett_extrema.png", format="png", bbox_inches='tight')

```



```

[5]: es_saett_x, es_saett_intensity = np.loadtxt('data/2/
↳a2_einfachspalt_I_ord0_saett.txt', skiprows=0,
converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.plot(es_saett_x, es_saett_intensity)
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')
plt.grid()

```

```

es_maxima_left = [
    (5, 273, 4, 154.1809),
    (4, 371, 4, 226.1481),
    (3, 464, 4, 333.38831),
    (2, 559, 4, 651.69824),
    (1, 660, 4, 60.125553 ),
]

es_hauptmax = (0, 791.83901, 1022)

es_maxima_right = [
    (1, 924, 4, 50.611121),
    (2, 1021, 4, 550.25499 ),
    (3, 1118, 4, 273.23515 ),
    (4, 1210, 4, 149.13169 ),
    (5, 1305, 4, 94.175064)
]

es_minima_left = [
    (5, 324, 4, 10.956053),
    (4, 415, 4, 10.541113),
    (3, 510, 4, 7.930021),
    (2, 603, 4, 8.1187),
    (1, 696, 4, 1)
]

es_minima_right = [
    (1, 885, 4, 67.394209),
    (2, 979, 4, 25.240973 ),
    (3, 1075, 4, 20.960345 ),
    (4, 1169, 4, 16.498825),
    (5, 1264, 4, 12.728637)
]

for mi in es_maxima_left:
    plt.axvline(x=mi[1], linewidth=1, linestyle='--', color='green')

for ma in es_minima_left:
    plt.axvline(x=ma[1], linewidth=1, linestyle='--', color='red')

plt.xlim(200, 1400)
plt.savefig("out/es_saett_extrema.png", format="png", bbox_inches='tight')

# fit an die ordnungen der minima

es_mins_ord = np.array([x[0] for x in es_minima_left])

```

```

es_mins_dist = np.array([np.abs(es_minima_left[i][1] - es_minima_right[4 - i][1]) for i in range(0, 5)])
es_mins_dist_err = np.array([np.sqrt(es_minima_left[i][2] ** 2 + es_minima_right[4 - i][2]**2) for i in range(0, 5)])

print_all('Abstände Minima:', es_mins_dist, es_mins_dist_err)

print_all('Ordnung / Abstände Minima:', es_mins_ord, es_mins_dist)

plt.figure(figsize=(10, 8))
plt.xlabel('Ordnung')
plt.ylabel('Abstand der Extrema [px]')

plt.errorbar(es_mins_ord, es_mins_dist, yerr=es_mins_dist_err, fmt='.', label='Minima (Ordnung konst.)')

popt_es_mins, pcov_es_mins = curve_fit(propto_fit_func, es_mins_ord, es_mins_dist, sigma=es_mins_dist_err, absolute_sigma=True)

plt.plot(np.flip(np.arange(0, 7, 1)), propto_fit_func(np.flip(np.arange(0, 7, 1))), *popt_es_mins, label = 'Fit an Minima')

#  $x = m * ord \Leftrightarrow ord = (x)/a$ 

es_mins_a = ValErr.fromFit(popt_es_mins, pcov_es_mins, 0)

print_all('Steigung:', es_mins_a.strfmtf2(5,0))

plt.legend()
plt.grid()

plt.savefig("out/es_fit_ordnung_ohne_maxima.png", format="png", bbox_inches='tight')

# berechnung der ordnungen der maxima

es_max_dist = np.array([np.abs(es_maxima_left[i][1] - es_maxima_right[4 - i][1]) for i in range(0, 5)])
es_max_dist_err = np.array([np.sqrt(es_maxima_left[i][2] ** 2 + es_maxima_right[4 - i][2]**2) for i in range(0, 5)])

print_all('Abstände Maxima:', es_max_dist, es_max_dist_err)

def calc_ord_max(dist):

```

```

    return dist / es_mins_a.val

def calc_ord_max_err(dist, dist_err):
    return (ValErr(dist, dist_err) / es_mins_a).err

es_max_ord = [ calc_ord_max(x) for x in es_max_dist]
es_max_ord_err = [ calc_ord_max_err(x[0], x[1]) for x in zip(es_max_dist,
    ↪es_max_dist_err)]

plt.errorbar(es_max_ord, es_max_dist, xerr=es_max_ord_err,
    ↪yerr=es_max_dist_err, fmt='.', label='Maxima (Ordnung berechnet)')

plt.xticks(np.flip(np.arange(0, 7, 0.5)))

plt.legend()

es_max_ord_valerrs = [ValErr(x[0], x[1]) for x in zip(es_max_ord,
    ↪es_max_ord_err)]

print_all('Ordnungen der Maxima:', *[x.strftime2(3, 0) for x in
    ↪es_max_ord_valerrs])

# ermitteln der spaltbreite

# breite * sin(a_ord) = ord * lambda <=> sin(a_ord) = ord * lambda / breite
# tan(a_n) = (pos auf schirm) / (abstand schirm)
# kleinwinkel => sin(a_ord) tan(a_ord)
# (pos auf schirm) / (abstand schirm) = ord * lambda / breite
# aus fit: steigung = (pos auf schirm) / ord
# (pos auf schirm) / ord = ((abstand schirm) * lambda) / breite

# => breite = ((abstand schirm) * lambda) / ((pos auf schirm) / ord) =
    ↪((abstand schirm) * lambda) / (steigung)

steigung_mm = es_mins_a * PX_MM_FAKTOR
abstand_schirm = ValErr(80, 2) # mm, brennweite
wavelen = 532 * 10**(-6) # mm, laser

es_spaltbreite = (abstand_schirm / steigung_mm) * wavelen

print('Spaltbreite:', es_spaltbreite)

plt.savefig("out/es_fit_ordnung.png", format="png", bbox_inches='tight')

```

Abstände Minima:

[940 754 565 376 189]

[5.65685425 5.65685425 5.65685425 5.65685425 5.65685425]

Ordnung / Abstände Minima:

[5 4 3 2 1]

[940 754 565 376 189]

Steigung:

188.21818 \pm 0.76277

Abstände Maxima:

[1032 839 654 462 264]

[5.65685425 5.65685425 5.65685425 5.65685425 5.65685425]

Ordnungen der Maxima:

5.483 \pm 0.037

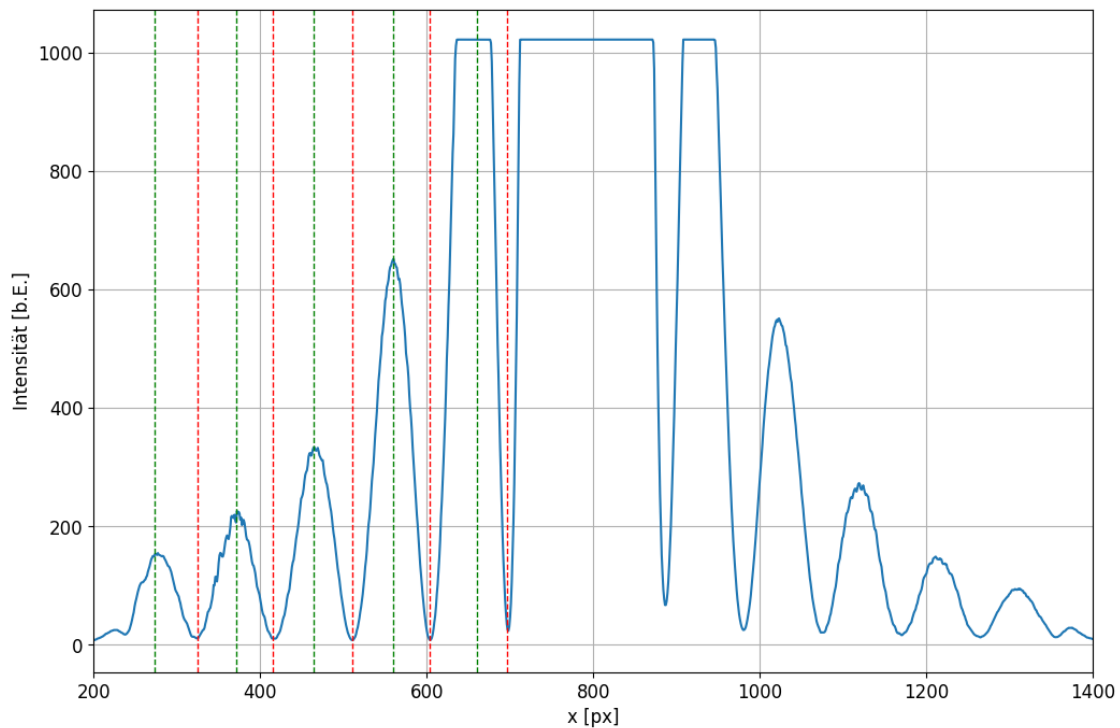
4.458 \pm 0.035

3.475 \pm 0.033

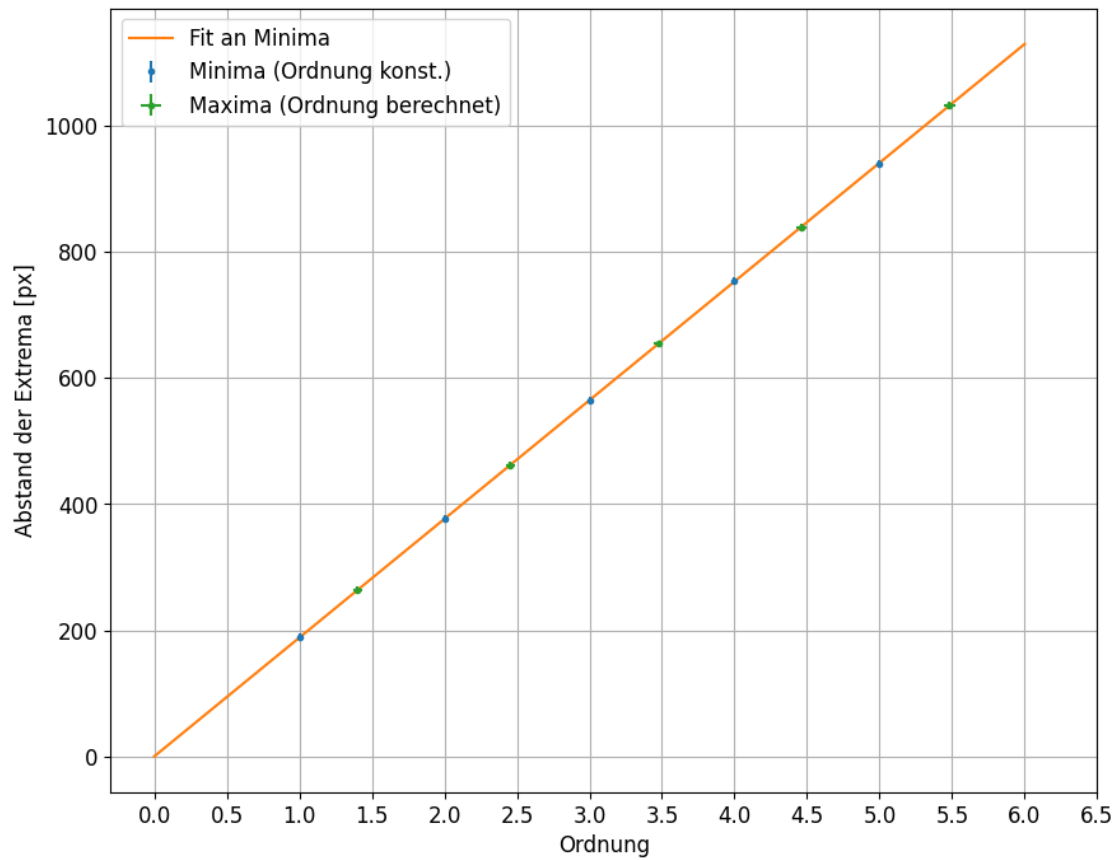
2.455 \pm 0.032

1.403 \pm 0.031

Spaltbreite: ValErr(0.26206879813963296, 0.006637243188822095)







```
[379]: # Theoretisches Beugungsbild Einfachspalt

def beugung_spalt(x):
    return np.sinc(x)**2

ds_anzahl_max = 3

x = np.linspace(-(ds_anzahl_max + 1), (ds_anzahl_max + 1), 300)

es_i_theo = beugung_spalt(x)

maxima, _ = find_peaks(es_i_theo)

print(maxima)

plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.xlabel(r'$\pi x$')
plt.ylabel('Intensitaet [b.E.]')
plt.plot(x, es_i_theo, linestyle='-', label='Einfachspalt')
```

```

plt.xticks(np.arange(-(ds_anzahl_max + 1), (ds_anzahl_max + 1) + .5, .5))
plt.ylim((0, 1.1))
plt.grid()
plt.legend()

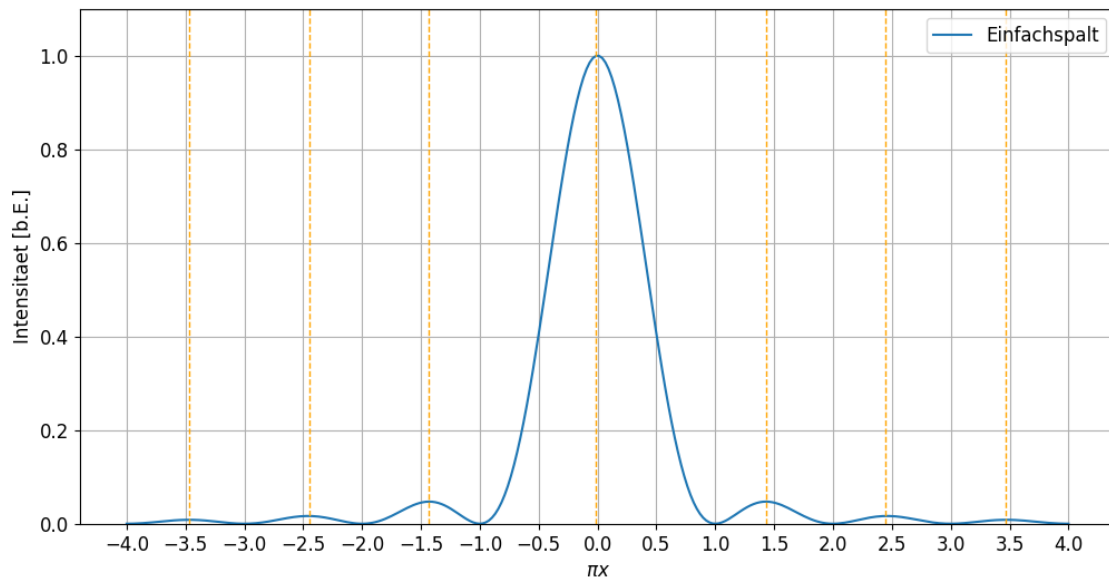
maxord = -3
for ma in maxima:
    print(f'Maximum {np.abs(maxord)}. Ordnung:', x[ma], es_i_theo[ma])
    plt.axvline(x=x[ma], linewidth=1, linestyle='--', color='orange')
    maxord = maxord + 1

```

```

[ 20  58  96 149 203 241 279]
Maximum 3. Ordnung: -3.4648829431438126 0.008337319535150484
Maximum 2. Ordnung: -2.448160535117057 0.0164607813062689
Maximum 1. Ordnung: -1.431438127090301 0.04718984269470836
Maximum 0. Ordnung: -0.013377926421404673 0.9994113545177198
Maximum 1. Ordnung: 1.431438127090301 0.04718984269470836
Maximum 2. Ordnung: 2.448160535117057 0.0164607813062689
Maximum 3. Ordnung: 3.464882943143812 0.008337319535150484

```



## 0.0.2 Doppelspalt

[371]: *# Theoretisches Beugungsbild Doppelspalt*

```

s1_s = ValErr(381, 4)
s1_m = ValErr(509, 4)
s1_e = ValErr(637, 4)
s2_s = ValErr(966, 4)

```

```

s2_m = ValErr(1089, 4)
s2_e = ValErr(1212, 4)

ds_abstand = s2_m - s1_m
ds_breite = ((s1_e - s1_s) + (s2_e - s2_s)) / 2

ds_v = ds_abstand / ds_breite

print('v:', ds_v)

def beugung_doppelspalt(x):
    return np.sinc(x)**2 * np.cos(np.pi * ds_v.val * x)**2

ds_anzahl_max = 3

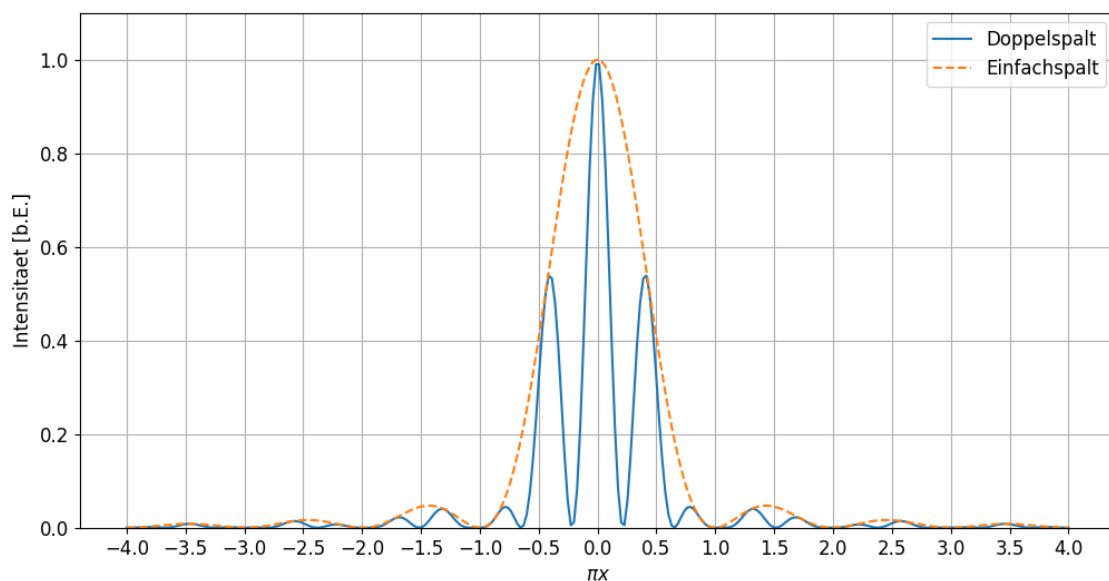
x = np.linspace(-(ds_anzahl_max + 1), (ds_anzahl_max + 1), 300)

plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.xlabel(r'$\pi x$')
plt.ylabel('Intensitaet [b.E.]')
plt.plot(x, beugung_doppelspalt(x), label='Doppelspalt')
plt.plot(x, beugung_spalt(x), linestyle='--', label='Einfachspalt')
plt.xticks(np.arange(-(ds_anzahl_max + 1), (ds_anzahl_max + 1) + .5, .5))
plt.ylim((0, 1.1))
plt.grid()
plt.legend()

```

v: ValErr(2.310756972111554, 0.04317401124341805)

[371]: <matplotlib.legend.Legend at 0x7f2fc012c450>



```

[105]: # Gemessenesa Beugungsbild

ds_nsaett_x, ds_nsaett_intensity = np.loadtxt('data/3/
↳a3_doppelspalt_I_ord0_nicht_saett.txt', skiprows=0,
                                converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
                                comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.plot(ds_nsaett_x, ds_nsaett_intensity, label='Beugungsbild Doppelspalt')
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')
plt.xlim((400, 1200))
plt.grid()

ds_nsaett_hmax = (0, 785, 4, ValErr(1021.9729, 1))

ds_nsaett_max_left = [
    (1, 744, 4, ValErr(628, 2)),
    (2, 705, 4, ValErr(58, 2))
]

ds_des_max_left = [
    (1, ValErr(0.5417, 0.0001)),
    (2, ValErr(0.0449, 0.0001))
]

ds_nsaett_max_right = [
    (1, 826, 4, ValErr(616, 2)),
    (2, 865, 4, ValErr(55, 2))
]

ds_des_max_right = [
    (1, ValErr(0.5417, 0.0001)),
    (2, ValErr(0.0449, 0.0001))
]

plt.axvline(x=ds_nsaett_hmax[1], linewidth=1, linestyle='--', color='orange',
↳label='Nebenmaxima 0. Ordnung')

plt.legend()

for ma in (ds_nsaett_max_left + ds_nsaett_max_right):
    plt.axvline(x=ma[1], linewidth=1, linestyle='--', color='orange')

```

```

normfactor = 1 / ds_nsaett_hmax[3]
print('Normfaktor:', normfactor.strfmtf2(5,-4).ljust(20))
print('0', 'I'.ljust(10), 'I (normiert)'.ljust(22), 'I (theo)'.ljust(22), 'Abw')
print('Linksseitige Maxima')
for i in range(0, 2):
    lmax = ds_nsaett_max_left[i][3]
    lmaxnorm = lmax * normfactor
    lmaxlit = ds_des_max_left[i][1]

    print(i + 1, lmax.strfmtf2(0,0).ljust(10), lmaxnorm.strfmtf2(5,0).
↪ljust(22), lmaxlit.strfmtf2(5,0).ljust(22), lmaxnorm.sigmadiff_fmt(lmaxlit))

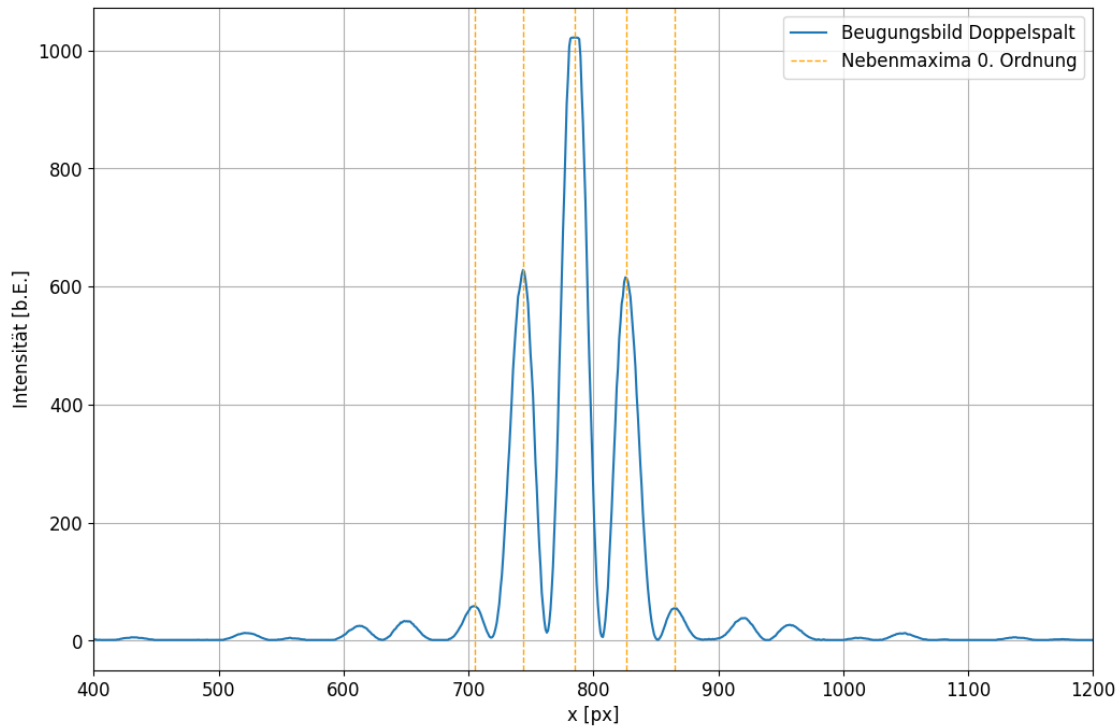
print('Rechtsseitige Maxima')
for i in range(0, 2):
    rmax = ds_nsaett_max_right[i][3]
    rmaxnorm = rmax * normfactor
    rmaxlit = ds_des_max_right[i][1]

    print(i + 1, rmax.strfmtf2(0,0).ljust(10), rmaxnorm.strfmtf2(5,0).
↪ljust(22), rmaxlit.strfmtf2(5,0).ljust(22), rmaxnorm.sigmadiff_fmt(rmaxlit))

```

Normfaktor: (9.78500 ± 0.00957)e-4

0	I	I (normiert)	I (theo)	Abw
Linksseitige Maxima				
1	628 ± 2	0.61450 ± 0.00205	0.54170 ± 0.00010	35.52
2	58 ± 2	0.05675 ± 0.00196	0.04490 ± 0.00010	6.05
Rechtsseitige Maxima				
1	616 ± 2	0.60276 ± 0.00204	0.54170 ± 0.00010	29.84
2	55 ± 2	0.05382 ± 0.00196	0.04490 ± 0.00010	4.55



### 0.0.3 Berechnung Spaltbilder Einzelspalt

```
[335]: #  $1 / g = 1 / f - 1 / b \Leftrightarrow g = 1 / (1 / f - 1 / b)$ 

#  $B / G = (b - f) / f$ 

brennw = ValErr(80, 2) # mm
bildw = ValErr(350, 10) # mm
B_over_G_val = (bildw.val - brennw.val) / brennw.val
B_over_G_err = np.sqrt( (1 / brennw.val)**2 * bildw.err**2 + (bildw.val /
    ↪ brennw.val**2)**2 * brennw.err**2 )
B_over_G = ValErr(B_over_G_val, B_over_G_err)
print('B/G:', B_over_G.strfmtf2(3, 0))

spalt_start = ValErr(274, 4)
spalt_ende = ValErr(915, 4)
spalt_breite_px = spalt_ende - spalt_start

pixel_zu_mm = 3.45 * 10**(-3)
spalt_breite_mm = spalt_breite_px * pixel_zu_mm

OBJBILD_PX_MM_FAKTOR = pixel_zu_mm
```

```

print('Spaltbreite:', splat_breite_mm.strfmtf2(4, 0), 'mm')

d = splat_breite_mm.val
def spalt(k, y):
    return d / np.pi * (np.sin(k * d / 2) / (k * d / 2)) * np.cos(y * k)

Y = np.linspace(-1, 1, 400) * d

n_vals = [1, 2, 3, 5]

from scipy.signal import find_peaks

objbilder_theorie = {}

for n in n_vals:
    #print('Ord', n-1)
    f_modifiziert = []
    for i in range(len(Y)):
        y = Y[i]
        result, error = quad(spalt, 0, 2 * np.pi * n / d, args = (y, ))
        f_modifiziert.append(result ** 2)

    f_modifiziert = f_modifiziert / np.max(f_modifiziert)

    plt.figure(figsize=(12, 8))
    plt.plot(Y, f_modifiziert)
    plt.xlabel('y [d]')
    plt.ylabel('Intensitaet [b.E.]')
    plt.title(f'Modifiziertes Objektbild Einzelspalt bis Ordnung {n - 1}')
    plt.ylim((0, 1.1))
    plt.xticks(np.arange(-2, 2.1, 0.5))
    plt.grid()

    maxima, _ = find_peaks(f_modifiziert)
    minima, _ = find_peaks(-f_modifiziert)

    comp_max = []
    comp_min = []

    for mx in maxima:
        if Y[mx] > -1 and Y[mx] < 1:
            #print(Y[mx], f_modifiziert[mx])
            comp_max.append((Y[mx], f_modifiziert[mx]))
            plt.axvline(x=Y[mx], linewidth=1, linestyle='--', color='orange')

    for mi in minima:

```

```

    if Y[mi] > -1 and Y[mi] < 1:
        #print(Y[mi], f_modifiziert[mi])
        comp_min.append((Y[mi], f_modifiziert[mi]))
        plt.axvline(x=Y[mi], linewidth=1, linestyle='--', color='red')

    objbilder_theorie[f"obj{n-1}"] = (comp_max, comp_min)

print(objbilder_theorie)

```

B/G:  $3.375 \pm 0.166$

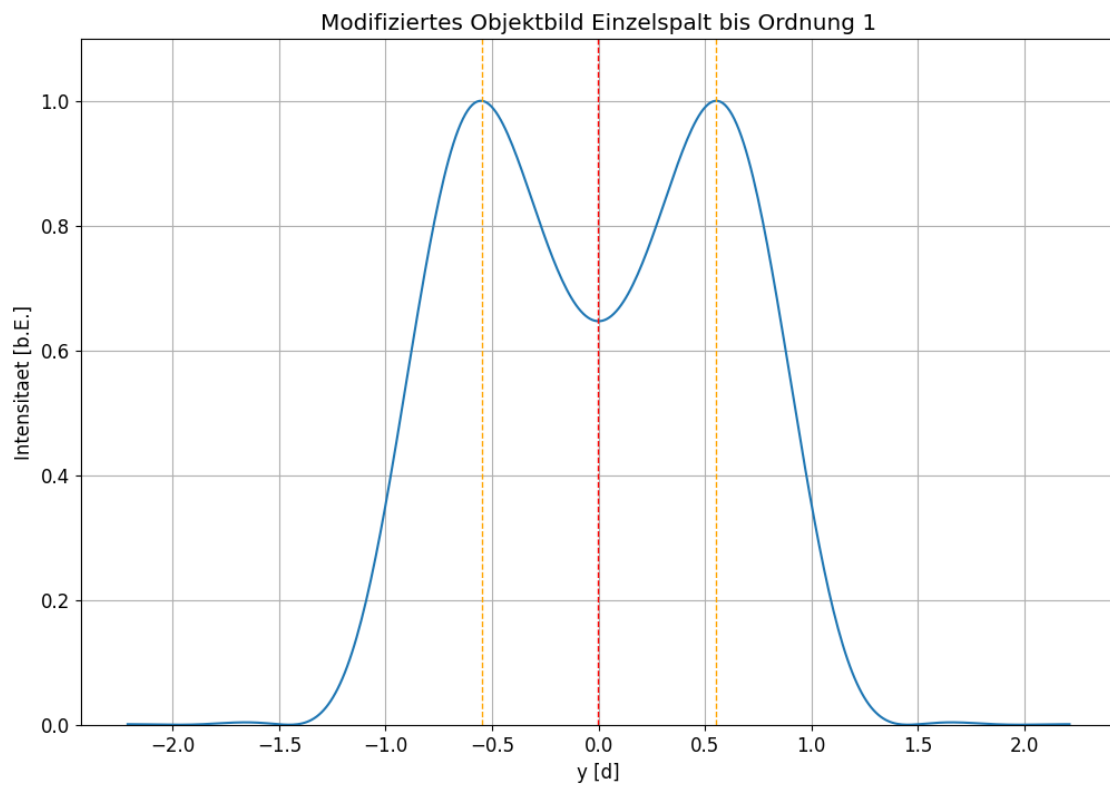
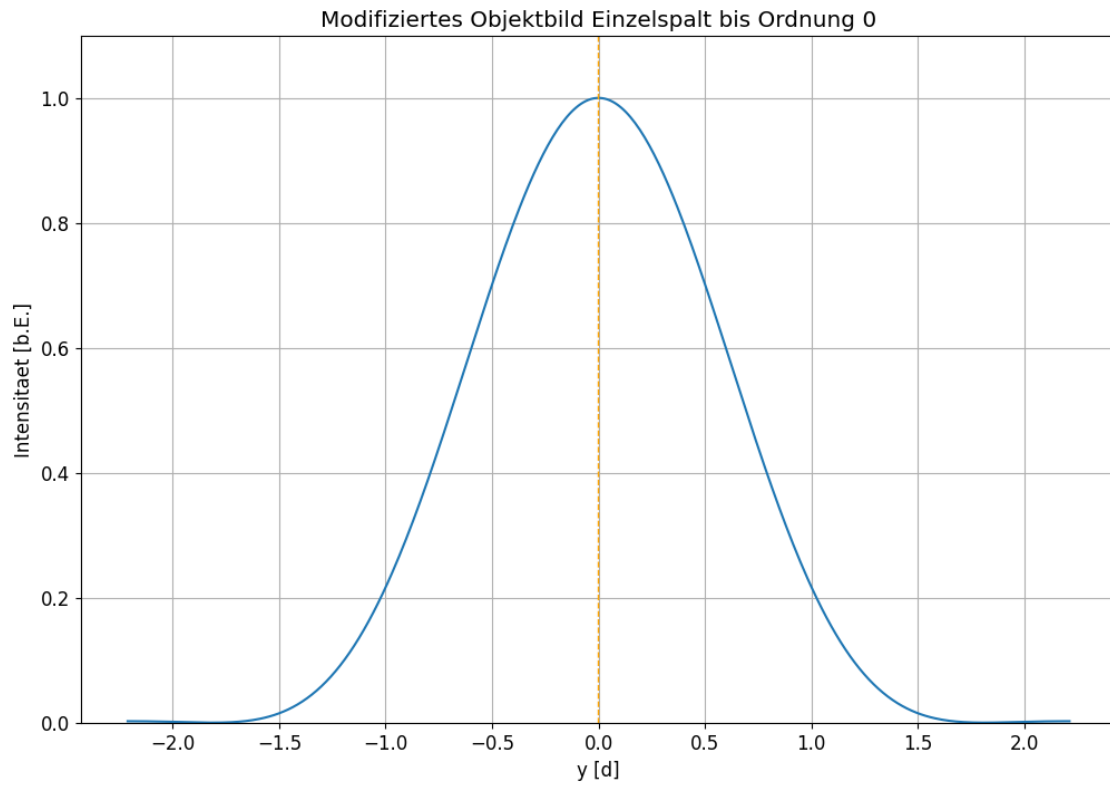
Spaltbreite:  $2.2115 \pm 0.0195$  mm

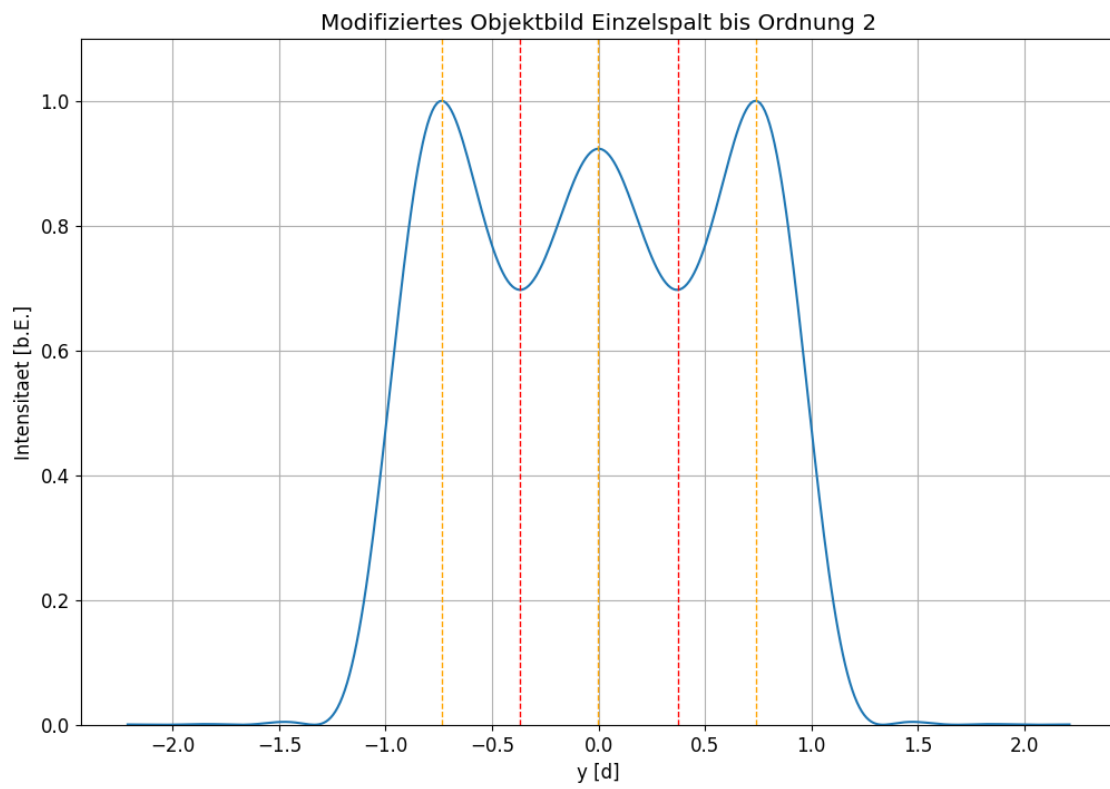
```

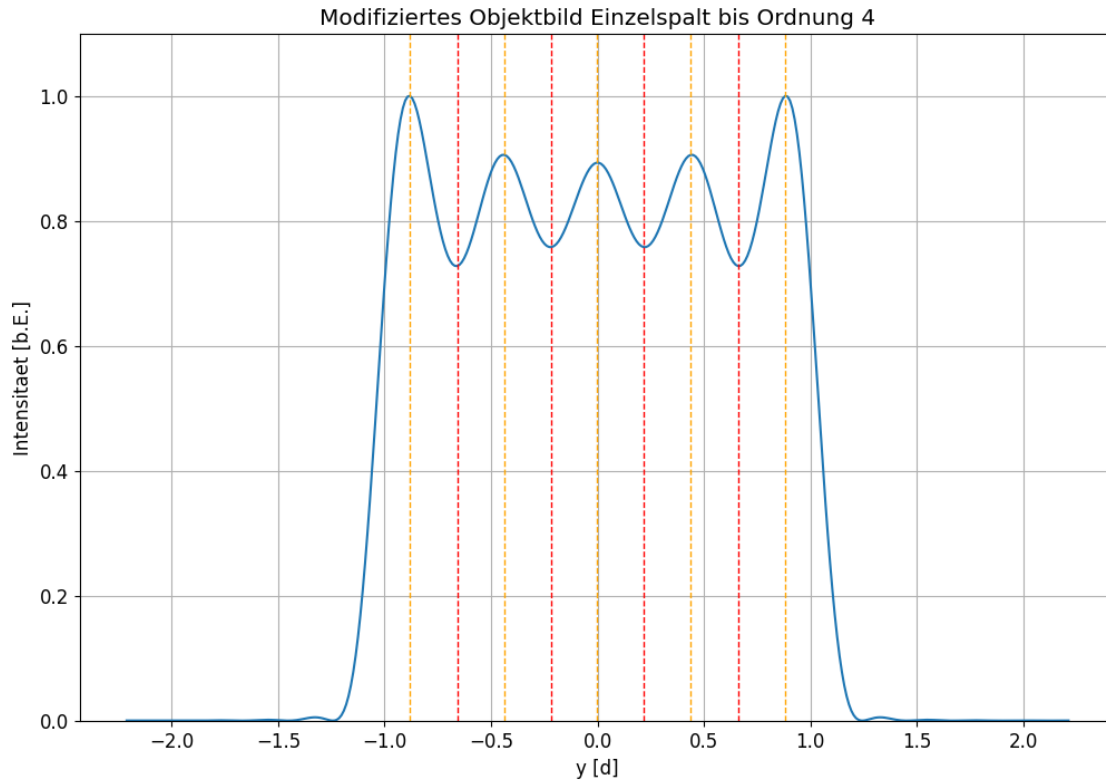
{'obj0': ((np.float64(-0.005542481203007641), np.float64(1.0))), [], 'obj1':
((np.float64(-0.5487056390977445), np.float64(1.0)),
(np.float64(0.548705639097744), np.float64(1.0))),
[(np.float64(-0.005542481203007641), np.float64(0.6469131013526667))]), 'obj2':
((np.float64(-0.7371500000000001), np.float64(1.0)),
(np.float64(-0.005542481203007641), np.float64(0.923154441771326)),
(np.float64(0.7371499999999999), np.float64(1.0))),
[(np.float64(-0.3713462406015039), np.float64(0.6970580043831478)),
(np.float64(0.3713462406015034), np.float64(0.6970580043831476))]), 'obj4':
((np.float64(-0.8812545112781957), np.float64(1.0)),
(np.float64(-0.43785601503759414), np.float64(0.905693163422683)),
(np.float64(-0.005542481203007641), np.float64(0.89306963344911)),
(np.float64(0.43785601503759414), np.float64(0.905693163422683)),
(np.float64(0.8812545112781957), np.float64(1.0))),
[(np.float64(-0.6595552631578948), np.float64(0.7277231628837859)),
(np.float64(-0.21615676691729335), np.float64(0.7581061231197915)),
(np.float64(0.21615676691729335), np.float64(0.7581061231197915)),
(np.float64(0.6595552631578948), np.float64(0.7277231628837859))])}]

```









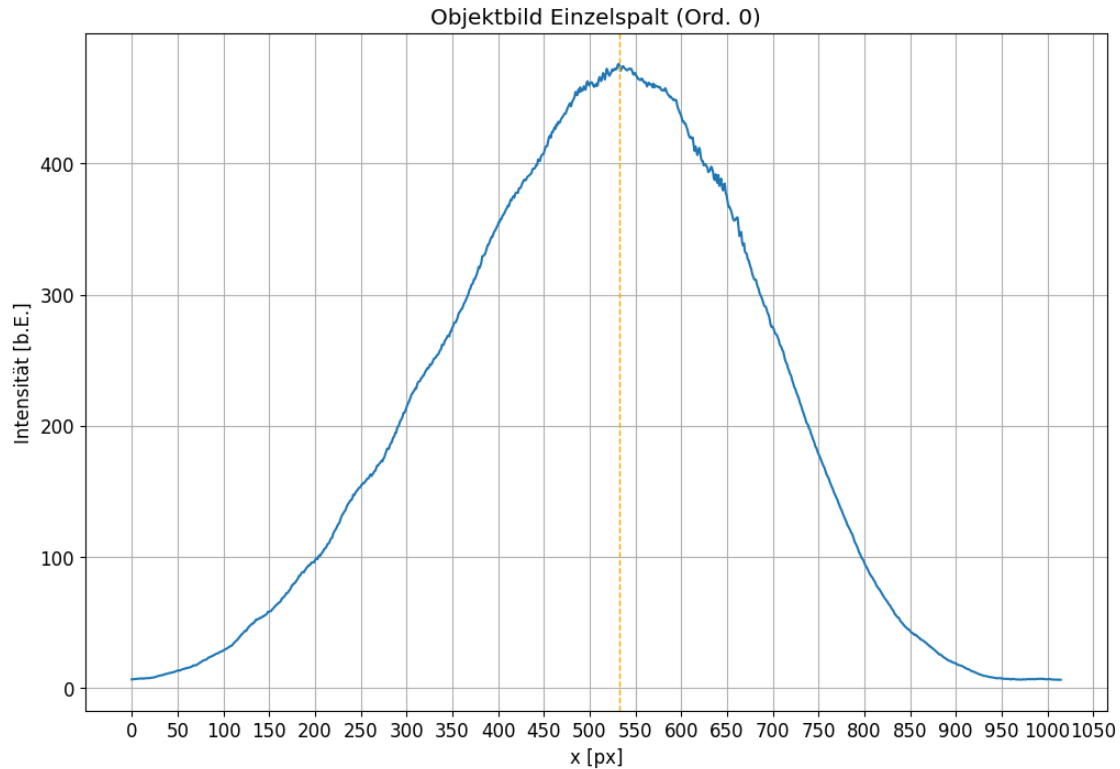
```
[328]: es_objbild_ord0_x, es_objbild_ord0_intensity = np.loadtxt('data/4/
↳a4_einzelsplt_objbild_I_ord0.txt', skiprows=0,
                                converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
                                comments='>', unpack=True)

#es_objbild_ord0_intensity = es_objbild_ord0_intensity / np.
↳max(es_objbild_ord0_intensity)

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.title('Objektbild Einzelspalt (Ord. 0)')
plt.plot(es_objbild_ord0_x, es_objbild_ord0_intensity)
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')
plt.xticks(np.arange(0, 1060, 50))
plt.grid()

es_objbild_ord0_max = [
    (ValErr(532, 4), ValErr(476.0, 2))
]

for mx in es_objbild_ord0_max:
    plt.axvline(x=mx[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='orange')
```



```
[329]: es_objbild_ord01_x, es_objbild_ord01_intensity = np.loadtxt('data/4/
    ↪a4_einzelsplt_objbild_I_ord01.txt', skiprows=0,
        converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
        comments='>', unpack=True)

#es_objbild_ord0_intensity = es_objbild_ord0_intensity / np.
    ↪max(es_objbild_ord0_intensity)

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.title('Objektbild Einzelspalt (Ord. 1)')
plt.plot(es_objbild_ord01_x, es_objbild_ord01_intensity)
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')
plt.xticks(np.arange(0, 840, 50))
plt.grid()

es_objbild_ord01_max = [
    (ValErr(265, 4), ValErr(542.7, 2)),
    (ValErr(569, 4), ValErr(602.7, 2))
]

es_objbild_ord01_min = [
```

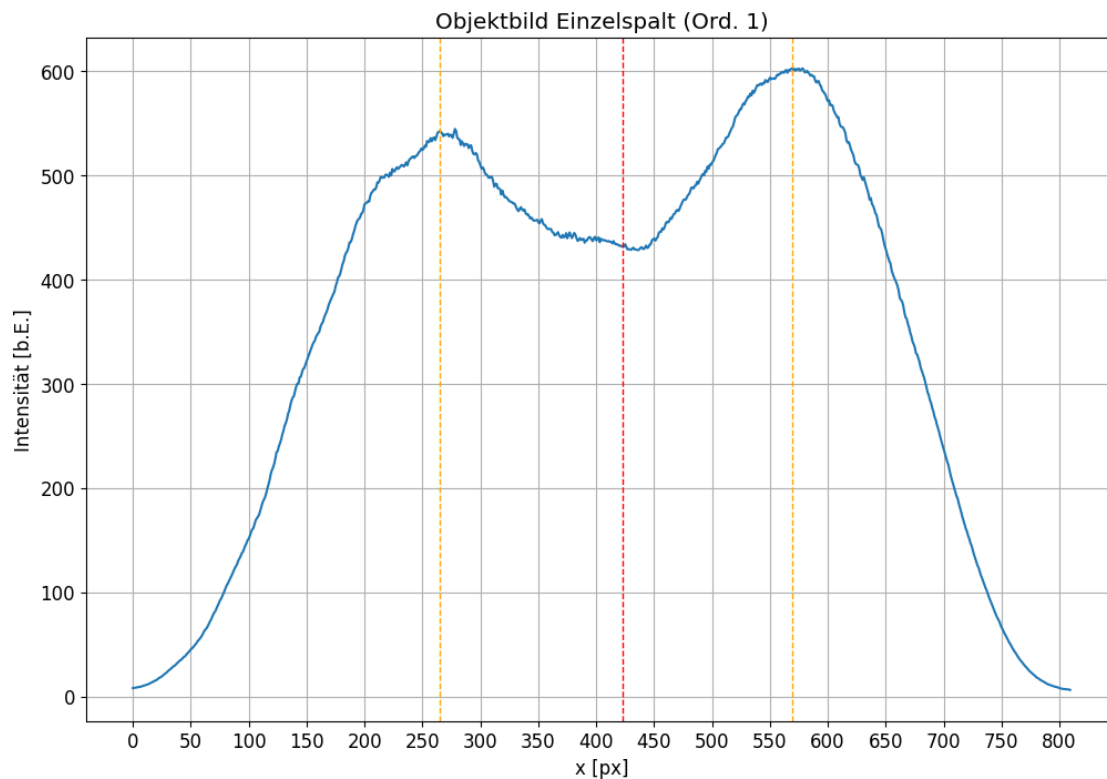
```

    (ValErr(423, 4), ValErr(431.5, 2)),
]

for mx in es_objbild_ord01_max:
    plt.axvline(x=mx[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='orange')

for mi in es_objbild_ord01_min:
    plt.axvline(x=mi[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='red')

```



```

[330]: es_objbild_ord012_x, es_objbild_ord012_intensity = np.loadtxt('data/4/
    ↪a4_einzelsplt_objbild_I_ord012.txt', skiprows=0,
        converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
        comments='>', unpack=True)

#es_objbild_ord0_intensity = es_objbild_ord0_intensity / np.
    ↪max(es_objbild_ord0_intensity)

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.title('Objektbild Einzelspalt (Ord. 2)')
plt.plot(es_objbild_ord012_x, es_objbild_ord012_intensity)
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')

```

```

plt.xticks(np.arange(0, 900, 50))
plt.grid()

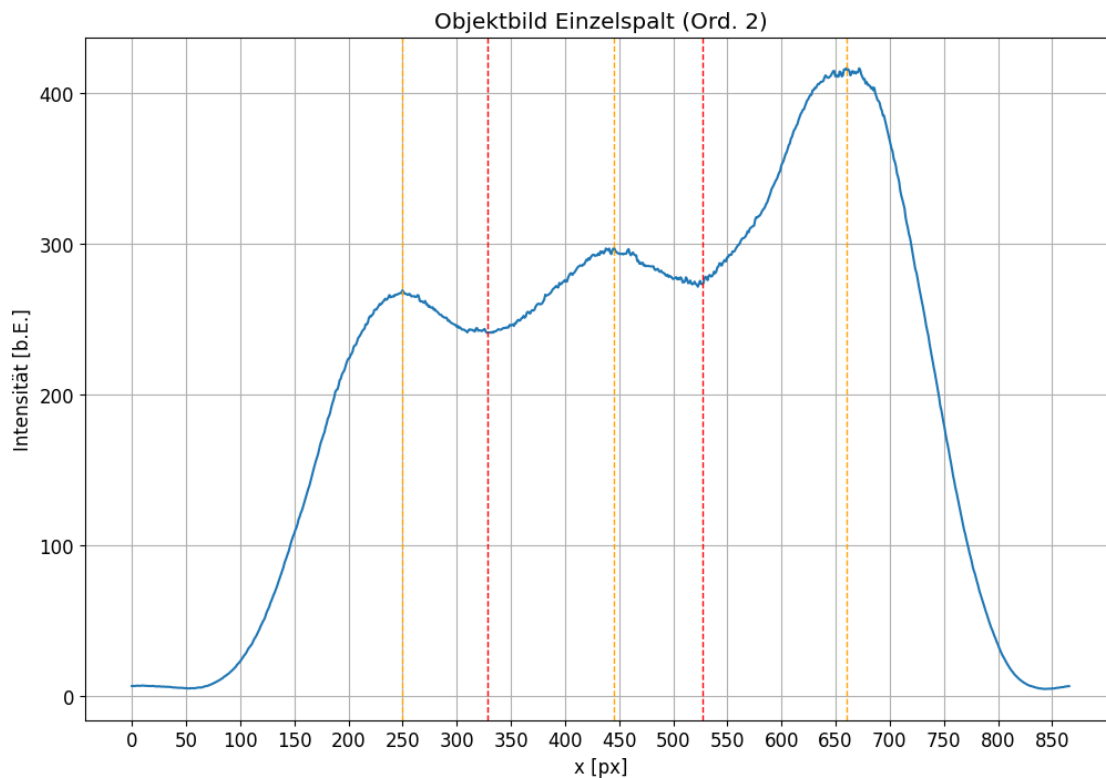
es_objbild_ord012_max = [
    (ValErr(250, 4), ValErr(269.1, 2) ),
    (ValErr(445, 4), ValErr(296.8, 2)),
    (ValErr(660, 4), ValErr(416.4, 2))
]

es_objbild_ord012_min = [
    (ValErr(328, 4), ValErr(241.0, 2)),
    (ValErr(527, 4), ValErr(273.2, 2))
]

for mx in es_objbild_ord012_max:
    plt.axvline(x=mx[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='orange')

for mi in es_objbild_ord012_min:
    plt.axvline(x=mi[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='red')

```



```

[331]: es_objbild_ord0123_x, es_objbild_ord0123_intensity = np.loadtxt('data/4/
    ↪a4_einzelsplt_objbild_I_ord0123.txt', skiprows=0,

```

```

        converters= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float},
        comments='>', unpack=True)

#es_objbild_ord0_intensity = es_objbild_ord0_intensity / np.
    ↪max(es_objbild_ord0_intensity)

plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.title('Objektbild Einzelspalt (Ord. 3)')
plt.plot(es_objbild_ord0123_x, es_objbild_ord0123_intensity)
plt.xlabel('x [px]')
plt.ylabel('Intensität [b.E.]')
plt.xticks(np.arange(0, 910, 50))
plt.grid()

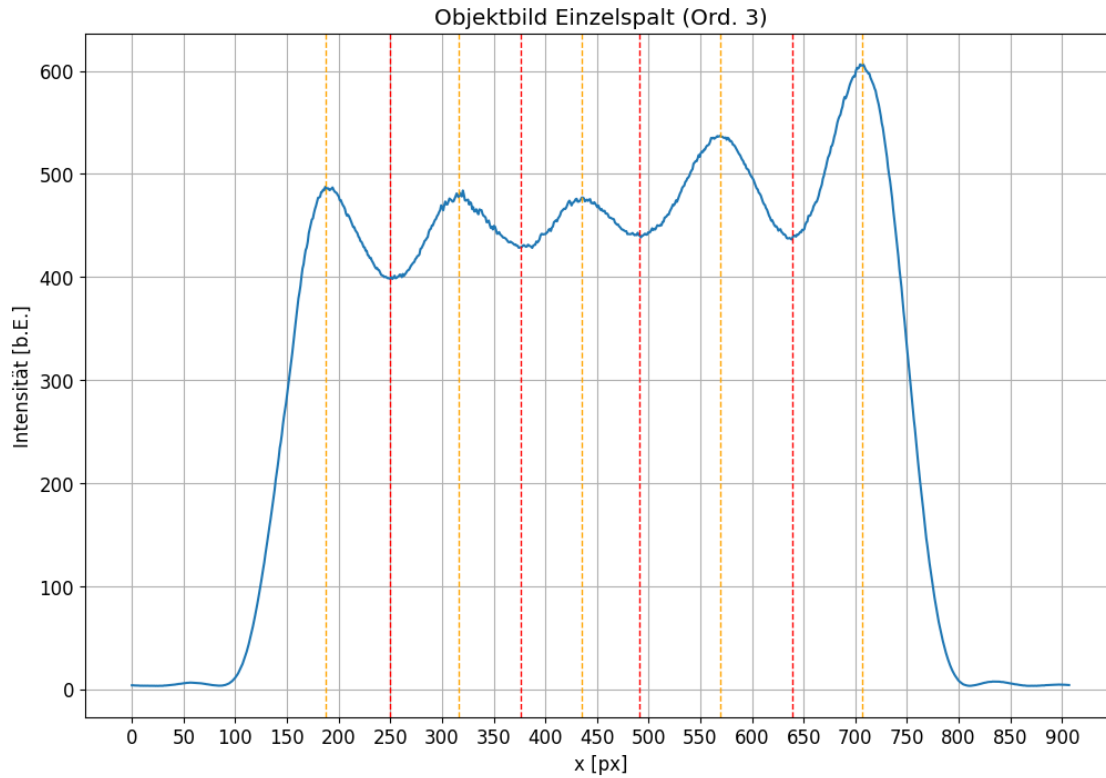
es_objbild_ord0123_max = [
    (ValErr(187, 4), ValErr(487.6, 2) ),
    (ValErr(316, 4), ValErr(477.3, 2) ),
    (ValErr(435, 4), ValErr(477.2, 2) ),
    (ValErr(569, 4), ValErr(537.1, 2)),
    (ValErr(707, 4), ValErr(605.2, 2))
]

es_objbild_ord0123_min = [
    (ValErr(250, 4), ValErr(398.3, 2)),
    (ValErr(376, 4), ValErr(429.0, 2)),
    (ValErr(491, 4), ValErr(440.6, 2)),
    (ValErr(639, 4), ValErr(436.5, 2))
]

for mx in es_objbild_ord0123_max:
    plt.axvline(x=mx[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='orange')

for mi in es_objbild_ord0123_min:
    plt.axvline(x=mi[0].val, linewidth=1, linestyle='--', color='red')

```



```
[368]: objbild_data = [
    ('Analyse bis 1. Ordnung', 'obj1', es_objbild_ord01_max,
    ↪es_objbild_ord01_min),
    ('Analyse bis 2. Ordnung', 'obj2', es_objbild_ord012_max,
    ↪es_objbild_ord012_min),
    ('Analyse bis 4. Ordnung', 'obj4', es_objbild_ord0123_max,
    ↪es_objbild_ord0123_min),
]

for data in objbild_data:
    print('#', data[0])
    c_theo_max = objbilder_theorie[data[1]][0]
    c_theo_min = objbilder_theorie[data[1]][1]
    c_meas_max = data[2]
    c_meas_min = data[3]

    c_theo_first_max_x = c_theo_max[0][0]
    c_theo_first_max_i = c_theo_max[0][1]
    c_theo_first_max_i_faktor = 1 / c_theo_first_max_i

    c_meas_first_max_x = c_meas_max[0][0]
```



```

c_meas_first_max_i = c_meas_max[0][1]
c_meas_first_max_i_faktor = 1 / c_meas_first_max_i

print('### Maxima\n')
for i in range(len(c_meas_max)):
    print('Maximum:', i)
    c_meas_max_x = c_meas_max[i][0]
    c_meas_max_i = c_meas_max[i][1]
    c_meas_max_x_dist = c_meas_max_x - c_meas_first_max_x
    c_meas_max_x_dist_mm = c_meas_max_x_dist * OBJBILD_PX_MM_FAKTOR

    c_theo_max_x = c_theo_max[i][0]
    c_theo_max_i = c_theo_max[i][1]
    c_theo_max_x_dist = c_theo_max_x - c_theo_first_max_x
    print('\tPosition (gemessen):', c_meas_max_x.strftime2(0, 0))
    print('\tDistanz zum 1. Max (gemessen):', c_meas_max_x_dist.strftime2(3, 0))
    print('\tDistanz zum 1. Max (gemessen, in mm):', c_meas_max_x_dist_mm.strftime2(3, 0))

    print('\tPosition (theorie):', c_theo_max_x)
    print('\tDistanz zum 1. Max (theorie):', c_theo_max_x_dist)

    print('\tAbweichung: ', c_meas_max_x_dist_mm.sigmadiff_fmt(ValErr(c_theo_max_x_dist, 0)))

    print('')

    c_meas_max_i_normed = c_meas_max_i * c_meas_first_max_i_faktor
    print('\tIntentiät (gemessen):', c_meas_max_i.strftime2(2, 0))
    print('\tIntentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):', c_meas_max_i_normed.strftime2(5, 0))

    c_theo_max_i_normed = c_theo_max_i * c_theo_first_max_i_faktor
    print('\tIntentiät (theorie):', c_theo_max_i)
    print('\tIntentiät (theorie, normiert auf 1. Max):', c_theo_max_i_normed)

    print('\tAbweichung: ', c_meas_max_i_normed.sigmadiff_fmt(ValErr(c_theo_max_i_normed, 0)))

    print('')

print('')
print('### Minima\n')

```

```

for i in range(len(c_meas_min)):
    print('Minimum:', i)
    c_meas_min_x = c_meas_min[i][0]
    c_meas_min_i = c_meas_min[i][1]
    c_meas_min_x_dist = c_meas_min_x - c_meas_first_max_x
    c_meas_min_x_dist_mm = c_meas_min_x_dist * OBJBILD_PX_MM_FAKTOR

    c_theo_min_x = c_theo_min[i][0]
    c_theo_min_i = c_theo_min[i][1]
    c_theo_min_x_dist = c_theo_min_x - c_theo_first_max_x
    print('\tPosition (gemessen):', c_meas_min_x.strftime2(0, 0))
    print('\tDistanz zum 1. Max (gemessen):', c_meas_min_x_dist.strftime2(3, 0))
    print('\tDistanz zum 1. Max (gemessen, in mm):', c_meas_min_x_dist_mm.
    strftime2(3, 0))

    print('\tPosition (theorie):', c_theo_min_x)
    print('\tDistanz zum 1. Max (theorie):', c_theo_min_x_dist)

    print('\tAbweichung: ', c_meas_min_x_dist_mm.
    sigmadiff_fmt(ValErr(c_theo_min_x_dist, 0)))

    print('')

    c_meas_min_i_normed = c_meas_min_i * c_meas_first_max_i_faktor
    print('\tIntentiät (gemessen):', c_meas_min_i.strftime2(2, 0))
    print('\tIntentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):',
    c_meas_min_i_normed.strftime2(5, 0))

    c_theo_min_i_normed = c_theo_min_i * c_theo_first_max_i_faktor
    print('\tIntentiät (theorie):', c_theo_min_i)
    print('\tIntentiät (theorie, normiert auf 1. Max):',
    c_theo_min_i_normed)

    print('\tAbweichung: ', c_meas_min_i_normed.
    sigmadiff_fmt(ValErr(c_theo_min_i_normed, 0)))

    print('')

```

# Analyse bis 1. Ordnung

### Maxima

Maximum: 0

Position (gemessen): 265 ± 4

Distanz zum 1. Max (gemessen): 0.000 ± 5.657

Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm): 0.000 ± 0.020

Position (theorie): -0.5487056390977445

Distanz zum 1. Max (theorie): 0.0  
Abweichung: 0.0

Intentiät (gemessen):  $542.70 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.00000 \pm 0.00521$   
Intentiät (theorie): 1.0  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 1.0  
Abweichung: 0.0

Maximum: 1

Position (gemessen):  $569 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $304.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $1.049 \pm 0.020$   
Position (theorie): 0.548705639097744  
Distanz zum 1. Max (theorie): 1.0974112781954886  
Abweichung: 2.5

Intentiät (gemessen):  $602.70 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.11056 \pm 0.00551$   
Intentiät (theorie): 1.0  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 1.0  
Abweichung: 20.08

### Minima

Minimum: 0

Position (gemessen):  $423 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $158.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.545 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.005542481203007641  
Distanz zum 1. Max (theorie): 0.5431631578947369  
Abweichung: 0.1

Intentiät (gemessen):  $431.50 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.79510 \pm 0.00471$   
Intentiät (theorie): 0.6469131013526667  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.6469131013526667  
Abweichung: 31.48

# Analyse bis 2. Ordnung

### Maxima

Maximum: 0

Position (gemessen):  $250 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $0.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.000 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.7371500000000001

Distanz zum 1. Max (theorie): 0.0

Abweichung: 0.0

Intentiät (gemessen):  $269.10 \pm 2.00$

Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.00000 \pm 0.01051$

Intentiät (theorie): 1.0

Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 1.0

Abweichung: 0.0

Maximum: 1

Position (gemessen):  $445 \pm 4$

Distanz zum 1. Max (gemessen):  $195.000 \pm 5.657$

Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.673 \pm 0.020$

Position (theorie): -0.005542481203007641

Distanz zum 1. Max (theorie): 0.7316075187969925

Abweichung: 3.02

Intentiät (gemessen):  $296.80 \pm 2.00$

Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.10294 \pm 0.01106$

Intentiät (theorie): 0.923154441771326

Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.923154441771326

Abweichung: 16.25

Maximum: 2

Position (gemessen):  $660 \pm 4$

Distanz zum 1. Max (gemessen):  $410.000 \pm 5.657$

Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $1.415 \pm 0.020$

Position (theorie): 0.7371499999999999

Distanz zum 1. Max (theorie): 1.4743

Abweichung: 3.07

Intentiät (gemessen):  $416.40 \pm 2.00$

Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.54738 \pm 0.01369$

Intentiät (theorie): 1.0

Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 1.0

Abweichung: 39.98

### Minima

Minimum: 0

Position (gemessen):  $328 \pm 4$

Distanz zum 1. Max (gemessen):  $78.000 \pm 5.657$

Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.269 \pm 0.020$

Position (theorie): -0.3713462406015039

Distanz zum 1. Max (theorie): 0.3658037593984962

Abweichung: 4.96

Intentiät (gemessen):  $241.00 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.89558 \pm 0.00998$   
Intentiät (theorie): 0.6970580043831478  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.6970580043831478  
Abweichung: 19.9

Minimum: 1

Position (gemessen):  $527 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $277.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.956 \pm 0.020$   
Position (theorie): 0.3713462406015034  
Distanz zum 1. Max (theorie): 1.1084962406015035  
Abweichung: 7.84

Intentiät (gemessen):  $273.20 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.01524 \pm 0.01059$   
Intentiät (theorie): 0.6970580043831476  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.6970580043831476  
Abweichung: 30.05

# Analyse bis 4. Ordnung

### Maxima

Maximum: 0

Position (gemessen):  $187 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $0.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.000 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.8812545112781957  
Distanz zum 1. Max (theorie): 0.0  
Abweichung: 0.0

Intentiät (gemessen):  $487.60 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.00000 \pm 0.00580$   
Intentiät (theorie): 1.0  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 1.0  
Abweichung: 0.0

Maximum: 1

Position (gemessen):  $316 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $129.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.445 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.43785601503759414  
Distanz zum 1. Max (theorie): 0.4433984962406015  
Abweichung: 0.09

Intentiät (gemessen):  $477.30 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.97888 \pm 0.00574$   
Intentiät (theorie): 0.905693163422683

Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.905693163422683  
Abweichung: 12.76

Maximum: 2

Position (gemessen):  $435 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $248.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.856 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.005542481203007641  
Distanz zum 1. Max (theorie): 0.875712030075188  
Abweichung: 1.04

Intentiät (gemessen):  $477.20 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.97867 \pm 0.00574$   
Intentiät (theorie): 0.89306963344911  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.89306963344911  
Abweichung: 14.92

Maximum: 3

Position (gemessen):  $569 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $382.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $1.318 \pm 0.020$   
Position (theorie): 0.43785601503759414  
Distanz zum 1. Max (theorie): 1.3191105263157898  
Abweichung: 0.07

Intentiät (gemessen):  $537.10 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.10152 \pm 0.00610$   
Intentiät (theorie): 0.905693163422683  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.905693163422683  
Abweichung: 32.1

Maximum: 4

Position (gemessen):  $707 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $520.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $1.794 \pm 0.020$   
Position (theorie): 0.8812545112781957  
Distanz zum 1. Max (theorie): 1.7625090225563913  
Abweichung: 1.62

Intentiät (gemessen):  $605.20 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $1.24118 \pm 0.00654$   
Intentiät (theorie): 1.0  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 1.0  
Abweichung: 36.9

### Minima

Minimum: 0

Position (gemessen):  $250 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $63.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.217 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.6595552631578948  
Distanz zum 1. Max (theorie): 0.22169924812030084  
Abweichung: 0.23

Intentiät (gemessen):  $398.30 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.81686 \pm 0.00530$   
Intentiät (theorie): 0.7277231628837859  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.7277231628837859  
Abweichung: 16.83

Minimum: 1

Position (gemessen):  $376 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $189.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $0.652 \pm 0.020$   
Position (theorie): -0.21615676691729335  
Distanz zum 1. Max (theorie): 0.6650977443609023  
Abweichung: 0.67

Intentiät (gemessen):  $429.00 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.87982 \pm 0.00546$   
Intentiät (theorie): 0.7581061231197915  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.7581061231197915  
Abweichung: 22.28

Minimum: 2

Position (gemessen):  $491 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $304.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $1.049 \pm 0.020$   
Position (theorie): 0.21615676691729335  
Distanz zum 1. Max (theorie): 1.097411278195489  
Abweichung: 2.5

Intentiät (gemessen):  $440.60 \pm 2.00$   
Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.90361 \pm 0.00553$   
Intentiät (theorie): 0.7581061231197915  
Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.7581061231197915  
Abweichung: 26.33

Minimum: 3

Position (gemessen):  $639 \pm 4$   
Distanz zum 1. Max (gemessen):  $452.000 \pm 5.657$   
Distanz zum 1. Max (gemessen, in mm):  $1.559 \pm 0.020$   
Position (theorie): 0.6595552631578948  
Distanz zum 1. Max (theorie): 1.5408097744360905

Abweichung: 0.96

Intentiät (gemessen):  $436.50 \pm 2.00$

Intentiät (gemessen, normiert auf 1. Max):  $0.89520 \pm 0.00551$

Intentiät (theorie): 0.7277231628837859

Intentiät (theorie, normiert auf 1. Max): 0.7277231628837859

Abweichung: 30.43

[ ]: