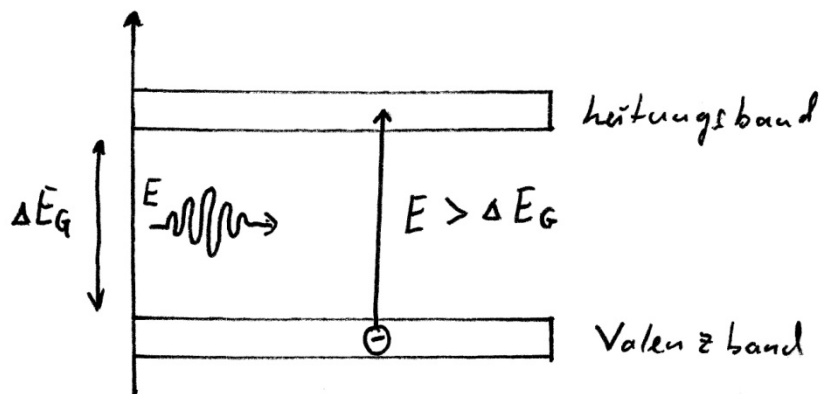


1.1.

In der folgenden Skizze ist zu erkennen, dass ein Photon seine Energie an ein Elektron abgibt, womit das Elektron vom Valenzband in das Leitungsband aufsteigen kann. Dabei ist mit Aufsteigen modellhaft das Verlassen des Elektrons aus einem niedrigeren Energieniveau auf ein höheres Energieniveau gemeint. Das Photon wird somit absorbiert. Die erforderliche Energie für den Vorgang der Absorption entspricht der Bandlückenenergie ΔE_G . Somit ist zu erkennen, dass Photonen mit kleinerer Energie $E = hf$ als der Bandlückenenergie ΔE_G nicht absorbiert werden.



Dabei steckt in der Gleichung zur Energie eines Photons $E = hf$ der Zusammenhang zwischen Wellenlänge und der Absorption.

$$E = hf \geq \Delta E_G$$

$$h \frac{c_0}{\lambda} \geq \Delta E_G$$

$$\lambda \leq \frac{h \cdot c_0}{\Delta E_G}$$

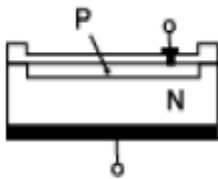
1.2.

Fotodioden können aus einzelnen Materialien aber auch aus Kombinationen verschiedener Halbleitermaterialien zusammengesetzt sein. Dabei bestimmt die Zusammensetzung den nutzbaren Wellenlängenbereich. Folgende Tabelle zeigt einige Beispiele.

Material	D^* in $\frac{cm \cdot \sqrt{Hz}}{W}$	Ansprechzeit in μs	Wellenlängenbereich in nm
Si	$3 \cdot 10^{13}$	0,5	300 ... 1100
Ge	10^{12}	5	800 ... 1700
InGaAs	10^{12}	0,04	800 ... 1700
InSb (77 K)	10^{12}	0,1	500 ... 2500
HgCdZnTe	$5 \cdot 10^{10}$	0,1	2000 ... 12000

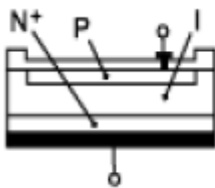
1.3

Planar – Diffusions – Type



kleiner Dunkelstrom

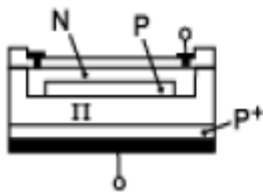
PIN - Type



I-Layer: extra hohe Widerstandsschicht

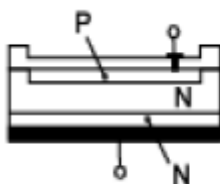
- kleiner Leckstrom
- hohe Festigkeit gegen Zerstörung
- geringer Dunkelstrom
- HF-Technik - gleichstromgesteuerter Widerstand
- HF-Schalter - gleichspannungsgesteuert

Avalanche Type



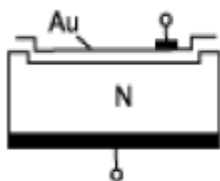
- Avalanche Fotodioden sind wie PIN Dioden aufgebaut mit zusätzlicher interner Verstärkung
- Ladungsträgermultiplikation durch Stoßionisation in der Nähe des metallischen Übergangs

Low – Capacitance Planar Diffusion Type



- geringe Verzögerung / kleine Ansprechzeit
- hohe Empfindlichkeit für UV-Strahlung

Shottky – Type



- hohe UV - Empfindlichkeit

1.4

Die Empfindlichkeit s ist ein Maß bei welcher Wellenlänge ein Detektor (z.B. Fotodiode) die empfangenen Photonen in einen Strom umsetzen kann, also wie viele Elektronen-Loch-Paare durch die auftreffenden Photonen erzeugt werden und somit zum Fotostrom beitragen.

$$s(\lambda) = \frac{e \cdot \eta \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{I_{hv}}{\Phi_e}$$

Die äquivalenten Rauschleistung NEP (Noise Equivalent Power) beschreibt die kleinste nachweisbare Strahlungsleistung, welche ein Ausgangssignal erzeugt, das dem Detektorrauschen entspricht

$$NEP = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot T \cdot B}{s^2 \cdot R}}$$

Das Nachweisvermögen D (detectivity) kennzeichnet das Rauschen und ist der NEP indirekt proportional.

$$D = \frac{1}{NEP}$$

$$D^* = \frac{A \cdot \sqrt{B}}{P_R}$$

1.5.

Fotoelement:

Ohne Last ist die Spannung gleich der Leerlaufspannung und hat somit keinerlei Abhängigkeit von der Belastung. Wenn das Fotoelement nun belastet wird, so dass man Leistungsanpassung hat ist die FD (bzw. reagiert die FD) sehr langsam und eignet sich nicht zur Detektion schneller Signale, da diese nicht erkannt werden. Im Gegensatz zu einem Fotowiderstand wird keine externe Spannungsquelle benötigt.

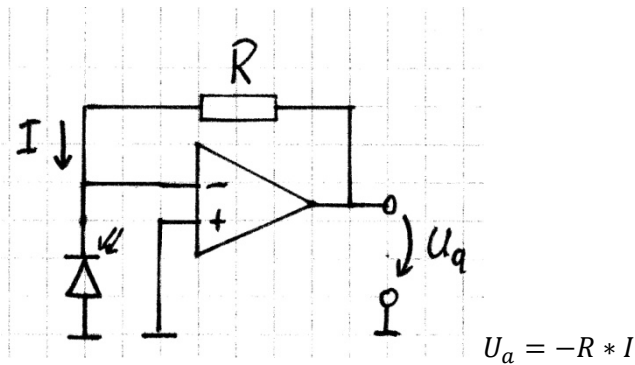
Sperrbereich

Beim Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung fließt ein linear von der Beleuchtungsstärke abhängiger Sperrstrom, welcher einen Einfluss auf die Sperrschichtkapazität hat. Je höher die Spannung desto kleiner wird die Sperrschichtkapazität und umso kürzer die Reaktionszeit. Der Dunkelstrom steigt mit steigender Spannung und Temperatur.

Quasi-Kurzschluss

Die Fotodiode wird quasi kurzgeschlossen, wodurch ein über mehrere Größenordnungen hinweg von der Beleuchtungsstärke linear abhängiger Strom geliefert wird. Wird als Transimpedanzwandler realisiert.

1.6.



Transimpedanzwandler

Der Transimpedanzwandler ist ein Strom-Spannungswandler, welcher den Eingangsstrom in eine dazu proportionale Ausgangsspannung wandelt. Er ermöglicht somit das Messen kleiner Ströme.

Empfindlichkeit:

$$\text{Strom: } E_I = \frac{I_F}{\Phi} \left[\frac{A}{W} \right]$$

$$\text{Spannung: } E_U = \frac{U_a}{\Phi} \left[\frac{V}{W} \right]$$

I_F und U_a sind abhängig von R bzw. dem Eingangswiderstand r_e der OPV-Schaltung.

1.7

$$I_D = 1 \text{ nA}$$

$$I = 10 \cdot I_D = 10 \text{ nA}$$

$$A_l = \frac{1}{4} (3,5 \text{ mm})^2 \cdot \pi = 3,6 \text{ mm}^2$$

$$\frac{I}{s_0} = \frac{10 \text{ nA}}{0,95 \frac{A}{W}} = 10,52 \text{ nW}$$

da r groß folgt

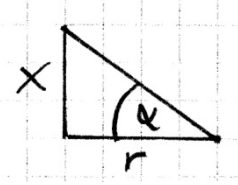
$$E = \frac{I \cdot \Omega_0}{r^2} = \frac{20 \text{ mW} \cdot \cos^2(\alpha)}{(4 \text{ m})^2}$$

$$E = \frac{10,52 \text{ nW}}{9,6 \text{ mm}^2} = \frac{20 \text{ mW} \cdot \cos^2(\alpha)}{(4 \text{ m})^2}$$

$$\cos^2 \alpha = 0,876$$

$$\cos^2 \alpha = 0,936$$

$$\alpha = 20,56^\circ$$



$$x = \tan \alpha \cdot r$$

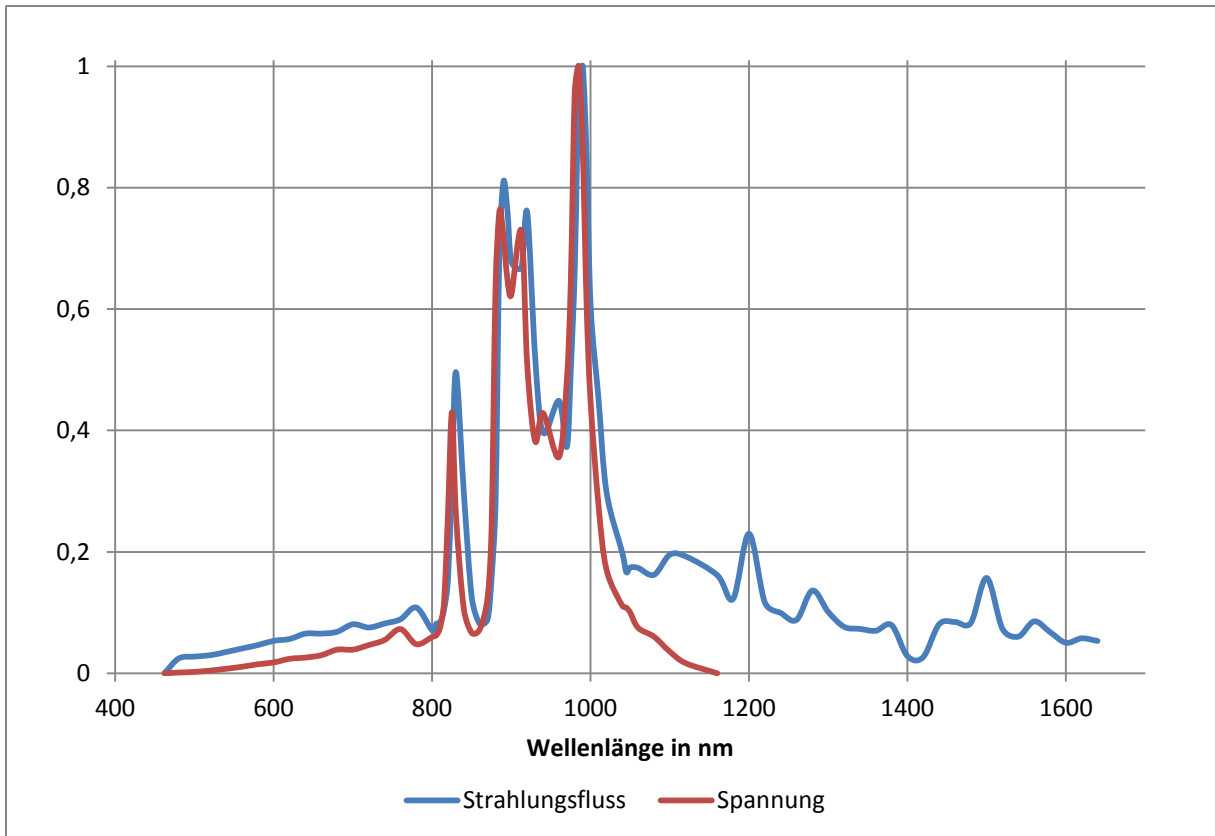
$$\underline{\underline{x = 1,5 \text{ m}}}$$

2.2.

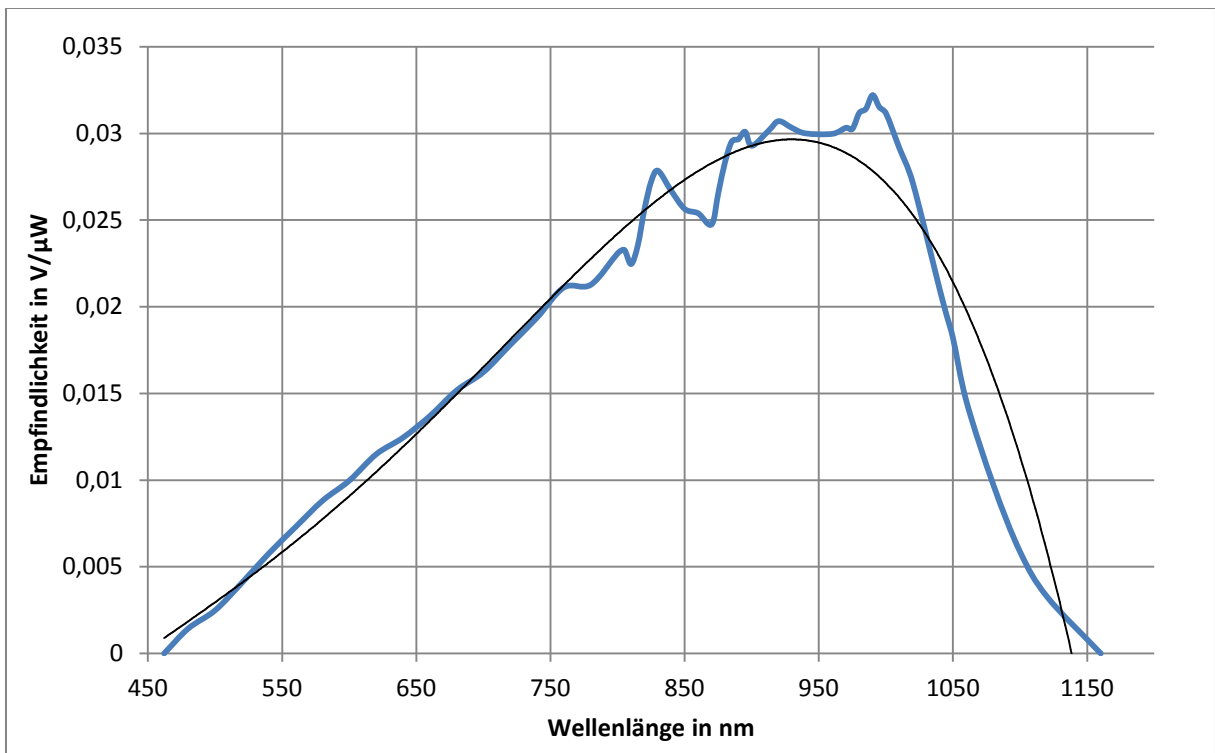
Alle Messungen beziehen sich auf die Si-FD. Weitere Fotodioden standen uns nicht zur Verfügung.

Wellenlänge in nm	Strahlungsfluß Φ_e in μW	Spannung in V	spektrale Empfindlichkeit in $\frac{\text{V}}{\mu\text{W}}$
462	7,1	0	0
480	8	0,0115	0,0014375
500	8,65	0,0215	0,00248549
520	10,2	0,0416	0,004078431
540	11,85	0,0683	0,005763713
560	13,5	0,0985	0,007296296
580	15,5	0,1365	0,008806452
600	16,38	0,1633	0,009969475
620	18,95	0,2177	0,011488127
640	18,96	0,236	0,012447257
660	19,83	0,2715	0,013691377
680	23,4	0,355	0,01517094
700	21,87	0,355	0,016232282
720	23,78	0,4235	0,017809083
740	25,8	0,5	0,019379845
760	31,4	0,663	0,02111465
780	20,5	0,436	0,021268293
800	23,6	0,5447	0,023080508
805	24,36	0,567	0,023275862
810	30,5	0,685	0,022459016
815	45,25	1,0652	0,023540331
820	93,6	2,4	0,025641026
825	143,7	3,913	0,027230341
830	85,8	2,389	0,027843823
840	36,1	0,963	0,0266759
850	23,6	0,605	0,025635593
860	25,88	0,657	0,025386399

870	45,9	1,1358	0,024745098
875	81,8	2,173	0,026564792
880	203,6	5,77	0,028339882
885	234,7	6,93	0,029527056
890	220,6	6,544	0,029664551
895	196,4	5,91	0,03009165
900	193,8	5,675	0,029282766
912,7	219,74	6,63	0,030172021
920	150,8	4,63	0,030702918
930	114,8	3,48	0,030313589
940	130	3,9	0,03
960	108,1	3,24	0,029972248
970	144,8	4,39	0,03031768
975	193,3	5,85	0,030263839
980	279,1	8,7	0,031171623
985	289,7	9,1	0,031411805
990	245,6	7,91	0,03220684
995	175,5	5,53	0,031509972
1000	131	4,08	0,031145038
1010	86,7	2,526	0,029134948
1020	57,5	1,56	0,027130435
1040	48,3	1,014	0,020993789
1045	50,5	0,987	0,019544554
1050	50,3	0,913	0,018151093
1060	47	0,682	0,014510638
1080	56,6	0,55	0,009717314
1100	55,8	0,326	0,005842294
1120	46,8	0,153	0,003269231
1160	35,6	0	0



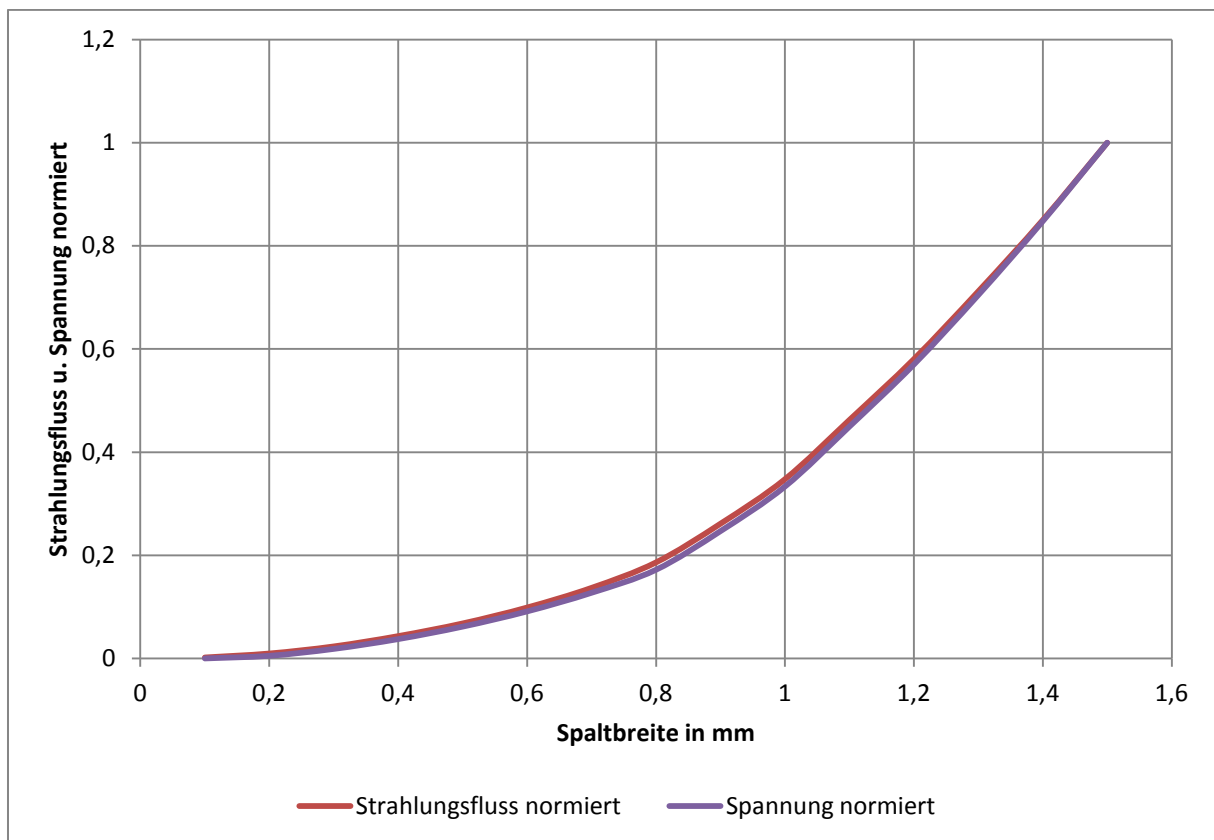
Es ist zu erkennen, dass die Spannung der Fotodiode dem Strahlungsfluss folgt. Weiterhin erkennt man, dass ab einer Wellenlänge von 1050 nm die Spannung gegen 0 strebt, was daran liegt, dass die Energie der Photonen zum bilden eines Elektronen-Loch-Paares nicht mehr ausreichend ist.

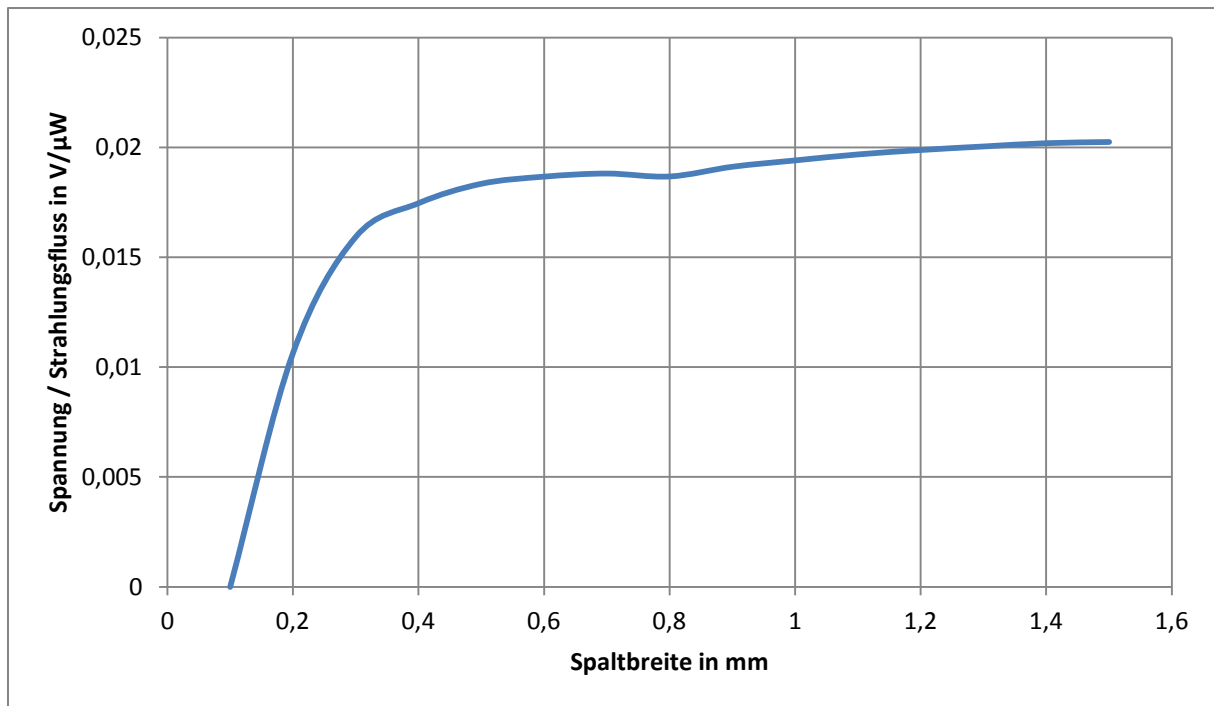


In Bezugnahme auf die Tabelle im Abschnitt 1.2 die für Silizium einen Wellenlängenbereich von 300 nm bis 1100 nm angibt, kann dies für die zur Messung zur Verfügung gestandenen Fotodiode bestätigt werden.

2.3

Spaltbreite in mm	Strahlungsfluss in μW	Spannung in V
0,1	1	0
0,2	4,7	0,05
0,3	11,3	0,18
0,4	20,9	0,365
0,5	32,7	0,6
0,6	47,5	0,887
0,7	65,8	1,238
0,8	89,5	1,672
0,9	125,5	2,4
1	166,9	3,24
1,1	222	4,37
1,2	278,6	5,54
1,3	341,7	6,85
1,4	408	8,24
1,5	480	9,72

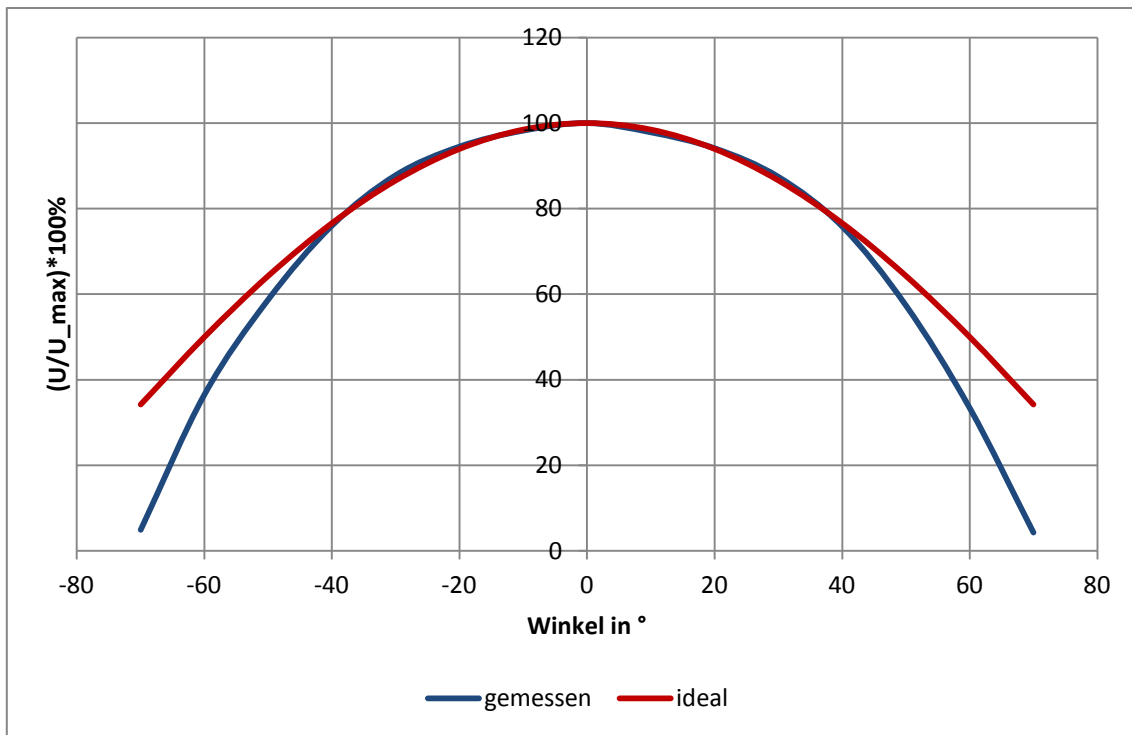




Es ist zu erkennen, dass die Spannung nahezu dem Strahlungsfluss folgt und somit eine gewisse Proportionalität der Spannung zum Strahlungsfluss zu erkennen ist. Allerdings ist im zweiten Diagramm, zu dieser Messreihe, zu erkennen, dass im Bereich 0,1 mm bis etwa 0,6 mm man nicht unbedingt von einem konstanten Proportionalitätsfaktor sprechen kann. Ideal wäre eine Proportionalität über den gesamten Bereich.

2.4.

Winkel in °	Spannung in V
70	0,2177
60	1,7
50	2,92
40	3,86
30	4,45
20	4,79
10	4,98
0	5,09
-10	5
-20	4,81
-30	4,47
-40	3,87
-50	2,99
-60	1,86
-70	0,25



relative Spannung zum Winkel (ideal und gemessen)

Der Verlauf von -40° bis 40° ist identisch zum theoretischen Verlauf. Durch die Bauart ergibt sich eine Abweichung in den außerhalb von -40° bis 40° liegenden Winkeln. Dies liegt daran, dass die Fotodiode in das Gehäuse eingelassen ist und somit das Gehäuse eine teilweise abschirmende Wirkung verursacht.