

Bachelorarbeit

Feldmessung einer IMPATT Diode

Silvia Grafinger 1326747

November 2016

Unter der Leitung von:

Prof. Dr. Andrei Pimenov

Dr. Alexey Shuvaev

Wlad Dziom

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Motivation	3
1.2	Vorgehensweise	3
2	Beschreibung der verwendeten Geräte	3
2.1	Quelle	3
2.2	Chopper und Modulation	3
2.3	Polarisationsfilter	4
2.4	Detektor	4
3	Messungen und Auswertungen	4
3.1	Grundsätzlicher Versuchsaufbau	4
3.2	Bodenreflexion	5
3.3	Abschwächung der Strahlung	6
3.4	Fernfeldbestimmung	9
3.4.1	ohne Linse	10
3.4.2	mit einer Linse	10
3.4.3	Linse im Abstand von 22mm	10
3.4.4	Linse im Abstand von 44mm	11
3.4.5	Linse im Abstand von 2mm	13
3.4.6	mit zwei Linsen	14
3.5	Polarisationmessung	15
4	Zusammenfassung	22
5	Literatur	23
6	Anhang	24

1 Einleitung

1.1 Motivation

Das Ziel der Arbeit war eine elektromagnetische Quelle auszumessen, mit der des späteren Versuche unternommen wurden. Es galt festzustellen, wie sich das Feld durch die Entfernung verändert, des weiteren wie sich die Fokussierung des Strahles durch verschiedene Aufbauten von Linsen verändert. Die Polarisation des Feldes wurde auch auf mehrere Arten bestimmt.

1.2 Vorgehensweise

Die ausgemessene Lampe ist eine IMPATT-Diode (Funktionsweise siehe unten). Der genutzte Detektor misst bei eingestellter Schrittlänge in x und y Position die Intensität an einzelnen Punkten. Bei sehr kleiner Schrittlänge und durch Verschieben in z -Richtung konnten dadurch 3D-Bilder der Intensität gemessen werden. Der Detektor kann nur bis zu einem gewissen Wert Intensitäten messen, deshalb mussten Wege gefunden werden um das Signal gleichmäßig abzuschwächen, diese wurden auch ausgemessen.

2 Beschreibung der verwendeten Geräte

2.1 Quelle

Die verwendete Quelle ist eine sogenannte IMPATT-Diode (Impact Ionization Avalanche Transit Time Diode). Im deutschen Sprachgebrauch ist sie auch unter dem Namen Lawinen-Laufzeit-Diode bekannt. Durch Stoßionisation und Transitzeiteigenschaften der Elektronen entsteht ein negativer Widerstand. Der negative Widerstand wird als Energiequelle genutzt. Die Diode strahlt mit einer Frequenz von 140GHz . Das ergibt mit einer Lichtgeschwindigkeit von $3 \cdot 10^8\text{m/s}$ durch $\lambda = c/f$ ein Licht mit einer Wellenlänge von $2,1\text{mm}$. Dadurch befindet man sich bei dem Versuch im Bereich der Millimeterspektroskopie. Um diesen theoretischen Wert auch experimentell zu überprüfen, wurde nach der Methode eines Fabry-Pérot Interferometer vorgegangen, dafür wurde der z -Abstand zwischen zwei Maxima gemessen. $\Delta d = \lambda/2n$ Es wurde ein Abstand $\Delta d = 1,07\text{mm}$ gemessen. Mit diesem Ergebnis kommt man durch die obige Formel ebenfalls auf eine Wellenlänge von $2,1\text{mm}$.

2.2 Chopper und Modulation

Alle Körper senden laufend thermische Strahlung aus, damit der gemessene Wert möglichst genau ist, misst der Detektor veränderliche Signale. Um das kontinuierliche Feld der Quelle in ein veränderliches Feld zu verwandeln, wurde anfangs in den Versuchsaufbau direkt nach der Quelle ein Chopper installiert, der durch Drehen das Signal kontinuierlich abgehakt hat. Die Nachteile dieser Technik sind, dass jede thermische Strahlung, welche hinter dem Chopper ist, abgehakt wird und dadurch für den Detektor messbar

ist. Des weiteren kann das Nahfeld der Quelle nicht gemessen werden, da der Chopper als zusätzliches Bauteil entsprechend Platz braucht.

Um diesen Problemen zu entgehen, wurde eine Verbindung zwischen einem Generator (Teil eines Oszilloskop) und dem Eingang der Quelle gelötet. Dadurch konnte die Quelle direkt moduliert werden, somit wurden weder zusätzliche Fehlsignale mitgemessen, noch wurde der Platz direkt hinter der Quelle für Messungen blockiert.

2.3 Polarisationsfilter

Grundsätzlich gibt es lineare und zirkulare Polarisationsfilter. Bei dieser Versuchsreihe wurden lineare Polarisationsfilter verwendet. Ein solcher besteht aus vielen dünnen Fäden, welche sich sehr knapp nebeneinander befinden und lässt Licht nur in der Polarisationsrichtung durch.

Wenn das auftreffende Licht polarisiertes Licht ist, dann kann dieses durch den Filter auch ausgelöscht werden. Durch das Drehen der Gitterfäden kann die aktuelle Polarisationsrichtung abgeändert werden.

2.4 Detektor

Der genutzte Detektor kann ein Feld von maximal 50*50 mm abfahren und dort an jedem Punkt die Intensität messen. Die Schrittlänge kann von min. 0,1 mm bis max. 2 mm eingestellt werden, wovon natürlich die Messzeit sehr stark beeinflusst wird. Die Daten wurden von dem genutztem Programm in einer 3D-Tabelle mit den Parametern: x -Koordinate, y -Koordinate sowie Wert der Intensität dargestellt. Wie schon erwähnt, kam mit dem Detektor das Problem auf, dass dieser ab einer gewissen Intensität übersteuert und somit keinen sinnvollen Messwert liefert. Mit einer Abschirmung für diesen Bereich konnte das Problem behoben werden (siehe unten).

Um auch die z -Abhängigkeit des Feldes messen zu können wurden mit den gleichen Einstellungen viele Messungen in unterschiedlicher z -Entfernung gemacht, welche des späteren analysiert wurden.

3 Messungen und Auswertungen

3.1 Grundsätzlicher Versuchsaufbau

Der grundsätzliche Versuchsaufbau war (in Figure 1 von links nach rechts) die Quelle, verschiedene optische Geräte und ganz rechts in veränderlichem Abstand der Detektor. Alle Längenangaben sind in Millimeter zu verstehen und von der Spitze der Quelle zur Spitze vom Detektor gemessen.



Abbildung 1: Versuchsaufbau allgemein

3.2 Bodenreflexion

Die Bodenplatte, sowie die Schiene, auf der die Versuchsanordnung montiert ist, besteht aus Metall. In der ersten Messung wurde getestet, ob Reflexionen an den Metallteilen am Boden die Messergebnisse verfälschen. Dafür wurde die Versuchsanordnung siehe Figure 2 installiert.



Abbildung 2: Versuchsaufbau Bodenreflexion

Es wurden zwei Messungen gemacht, wobei der einzige Unterschied in den Messungen eine Absorberabdeckung am Boden darstellte.

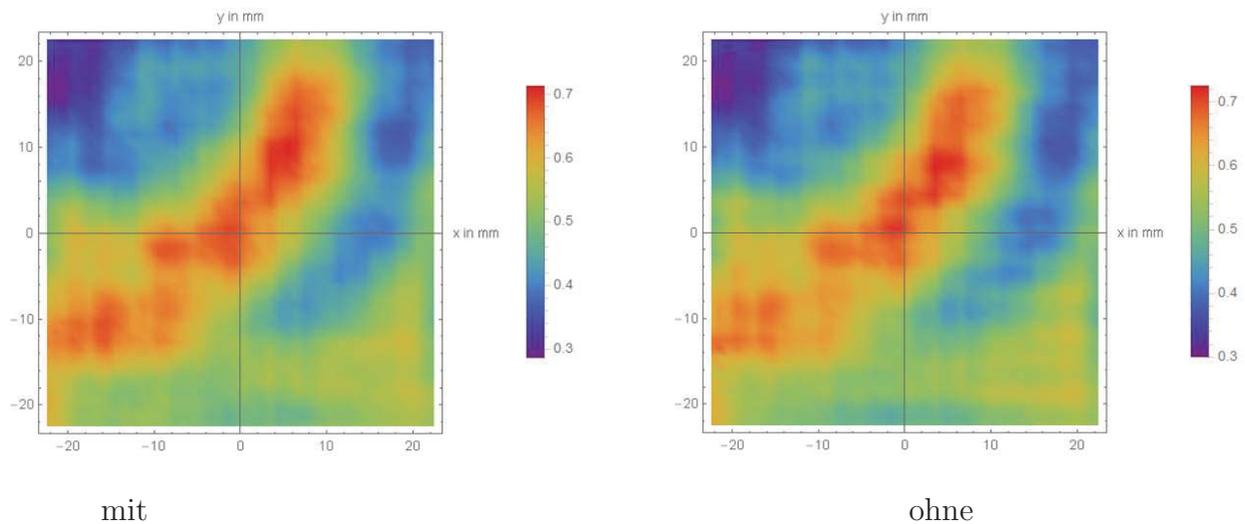


Abbildung 3: Intensität bei Bodenreflexionsmessung

In Abb. 4 die Differenz der beiden Messungen auf die erste Messung normiert dargestellt. Die Werte liegen zwischen $-0,05$ und $+0,05$.

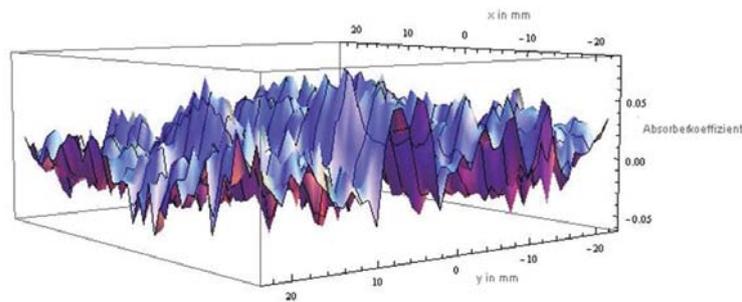


Abbildung 4: Bodenreflexion

Dadurch kann man erkennen, dass die beiden Messungen keine nennenswerten Abweichungen besitzen. Somit konnten die Messungen fortgesetzt werden ohne jeweils den Boden abdecken zu müssen.

3.3 Abschwächung der Strahlung

Nachdem sich herausgestellt hat, dass der Detektor in der Nähe der Quelle übersteuert, wurde nach einer Lösung gesucht, um das Signal gleichmäßig abzuschwächen. Zwei Möglichkeiten kamen in Frage. Einerseits die gewerblich erhältlichen Attenuatoren und andererseits aus Absorbermaterial dünn geschnittene Scheibchen, welche direkt an den Ausgang der Quelle geklebt wurden.

Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Um festzustellen mit welcher Methode weitergemessen werden soll, wurde mit jedem Attenuator und auch mit verschiedenen

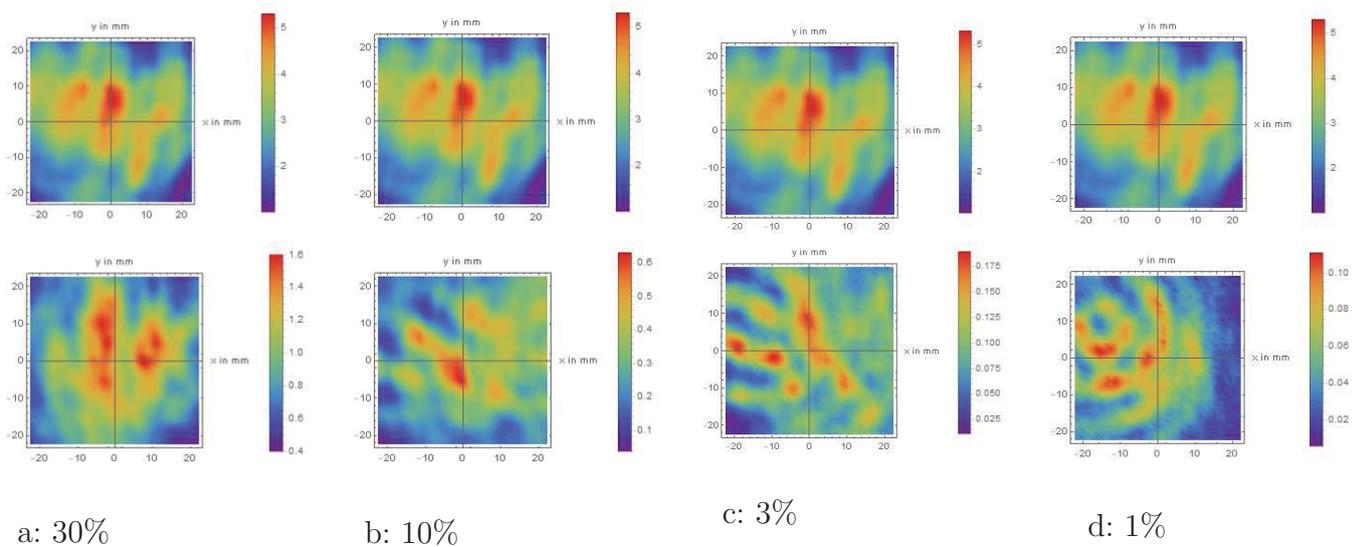


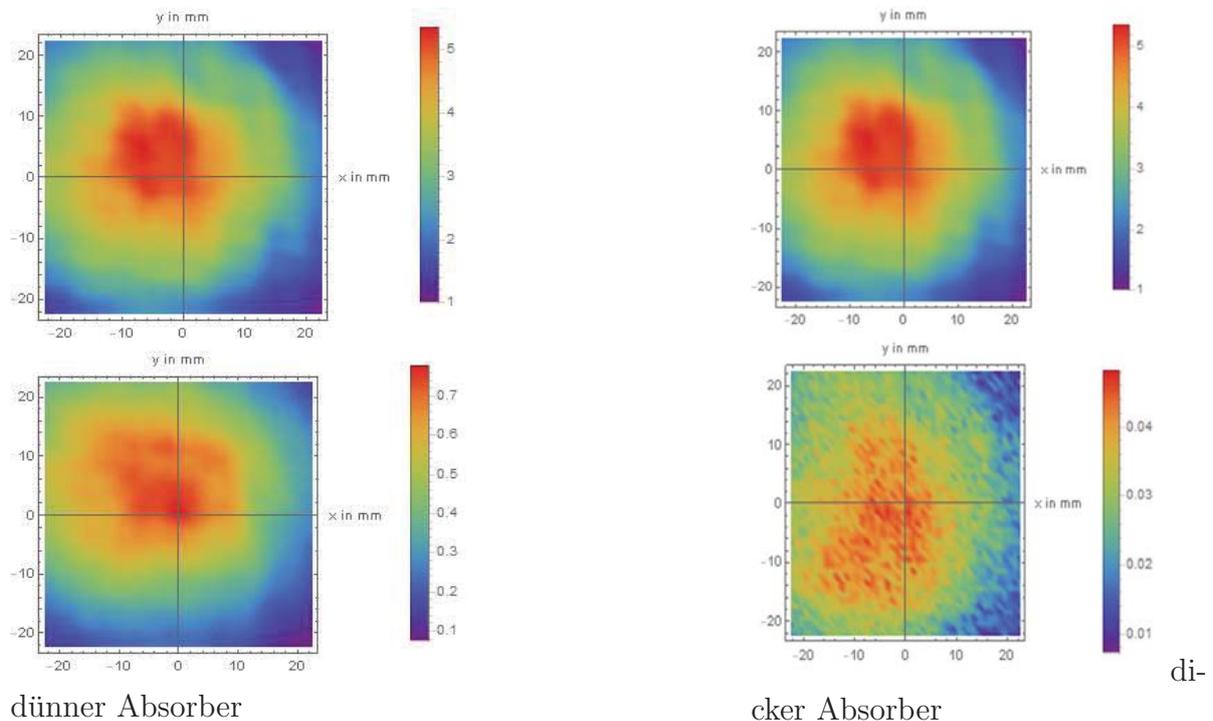
Abbildung 5: Intensitätsmessungen mit verschiedenen Attenuatoren

dicken Absorberabdeckungen jeweils im gleichen Abstand eine Messung mit und eine ohne Abschwächung unternommen.

In Abb. 5 sieht man jeweils die Messung mit und ohne in farblicher Intensitätsverteilung und als 3D Bild. Der schwächste Attenuator transmittiert 30% der eintreffenden Strahlung, der weitere reflektiert er etwa 30% der Rest wird absorbiert. Für die stärkeren Attenuatoren 1%, 3% und 10% gilt, dass sie mit Reflexion arbeiten und der absorbierte Anteil verschwindend gering ist. Bei der Messung Abb. 5a kann man sehen, dass das Grundmuster der Messung ohne Abschwächung (oberes Bild) bei der Messung mit Abschwächung (unteres Bild) gerade noch erkennbar ist. Ab einer Transmission von 10% siehe Abb. 5b verliert sich das Muster und somit ist auch keine gleichmäßige Abschwächung gegeben. Bei der Transmission von 1% siehe Abb. 5d ist das Muster nicht einmal mehr näherungsweise zu erkennen. Es treten beugungsähnliche Ringe auf, welche natürlich die Gleichmäßigkeit der Abschwächung und dadurch die Absorptionsebene stark beeinflussen.

Die auftretenden Fehler können einerseits darauf zurückzuführen sein, dass zwischen Quelle und Attenuator ein Abstand besteht. Da auf einem Bauteil alle Attenuatoren montiert sind und dieser eine endliche Ausdehnung hat, kann dies auch nicht minimiert werden. Die Arbeitsweise der Attenuators kann auch zu Fehlern führen, da die Abschwächung in diesem Fall durch Rückreflexion überflüssiger Strahlung erreicht wird. Dadurch können sich durch Mehrfachreflexionen zusätzlich Fehler einschleichen. Da mit den gewerblichen Attenuatoren keine hinreichend guten Ergebnisse erzielt werden konnten, wurde als neuer Lösungsansatz der Austrittsschnabel der Quelle mit einem dünnen Stück Absorber abgedeckt.

Dadurch sind zwei bekannte Fehlerquellen der Attenuatoren aufgehoben. Der Abstand zwischen Quelle und abschwächendem Material ist minimiert und nachdem in diesem Fall mit Absorption agiert wird, sind auch etwaige Rückreflexionen eingedämmt. In Abb. 6



dünnere Absorber

dickere Absorber

Abbildung 6: Intensität bei Messungen mit eigenerzeugtem Absorber

kann man jeweils die Messung ohne und mit Absorberabdeckung sehen. Einerseits eine mit einem sehr dünnen Absorberstück (etwa 1mm) und andererseits mit einem etwas dickerem Stück mit ca. 2mm. Man kann an den Bildern deutlich erkennen, dass hier die Form des Bildes trotz der Abschwächung erhalten geblieben ist. Bei dem dickeren Absorber kann man spitze Intensitätspeaks erkennen. Diese sind darauf zurückzuführen, dass nur mehr so wenig Intensität durchgelassen wird, dass das Rauschen sichtbar wird. Wenn man jedoch die Skala betrachtet, ist ersichtlich, dass es sich um ganz kleine Unterschiede handelt. Bei der Messung mit dem dünnen Absorber kann man erkennen, dass der Peak in eine Richtung weniger stark abfällt, wie die Messung ohne Abschwächung. Das führt dazu, dass der Absorberkoeffizient nicht konstant ist, dennoch ist er noch viel besser als die gewerblichen Attenuatoren.

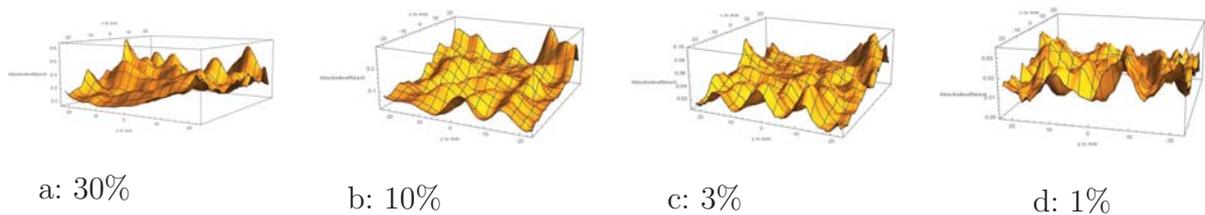
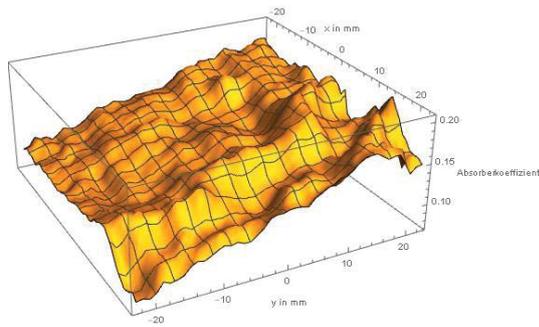
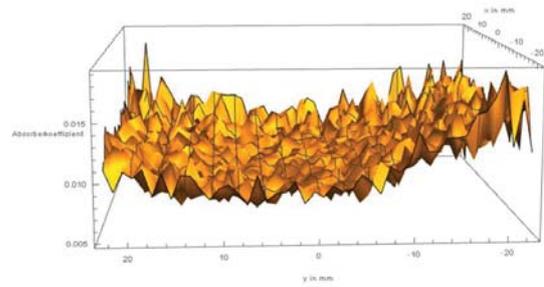


Abbildung 7: Absorptionskoeffizienten mit verschiedenen Attenuatoren

In Abb. 7 und 8 sind für alle Messungen der Abschwächung die Originalmessungen mit den abgeschwächten Messungen durchdividiert. Im Idealfall sollte dieses Bild eine



a: dünner Absorber



b: dicker Absorber

Abbildung 8: Absorberkoeffizienten bei Messungen mit eigenerzeugtem Absorber

Ebene darstellen, da dann jeder Punkt genau gleich abgeschwächt wäre. Obwohl beim Attenuator mit der Transmission von 30% die Intensitätsbilder ähnlich aussehen, kann man an diesen Ebenen erkennen, dass sogar hier ungleichmäßige Hügel auftreten. Bei den gewerblichen Attenuatoren mit anderer Transmission ist das Bild kein anderes. Die vermeintlichen Ebenen sind nur mit groben Näherungen erreichbar.

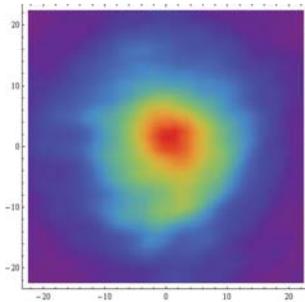
Bei den Absorberebenen aus der selbst erzeugten Abdeckung sieht die Situation etwas besser aus. Beim dickeren Stück ist in Abb. 8b eine gleichmäßig leicht gekrümmte Fläche mit nur einzelnen Ausreißern zu erkennen. Deshalb kann dieser Absorber für die weiteren Messungen ohne Bodenabdeckung zur Abschwächung genutzt werden. Nachdem in dem Abstand, wo mit dem dicken Absorber schon Rauschen gemessen wurde, der Detektor bei Messungen mit Linsen jedoch immer noch übersteuerte, musste auch der dünne Absorber genutzt werden. An der Absorbitionsebene von diesem kann man, wie schon erwähnt, den ungleichmäßigen Abfall des Peaks erkennen. Dies zeigt sich in Abb. 8a durch die schief liegende Ebene. Dieser Fehler ist darauf zurückzuführen, dass der so dünn geschnittene Absorber nicht überall gleich dick und homogen ist. Für die weiteren Messungen wurden der dicke und der dünne, selbst gebaute, Absorber genutzt. Da sich der Absorbtionskoeffizient von diesen durch die genaue Position des Aufklebens geringfügig ändert, wurden in jeder Messreihe bei der Position, wo der Absorber gewechselt oder entfernt wurde, zwei Messungen gemacht, um den aktuellen Absorbtionskoeffizienten möglichst genau zu bestimmen.

3.4 Fernfeldbestimmung

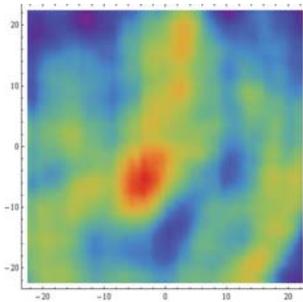
Nachdem die zu benutzenden Hilfsmittel getestet und für gut befunden wurden, konnte nun das Fernfeld der Quelle ausgemessen werden. Gemessen wurde einerseits das Feld der Quelle ohne Linsen, andererseits kamen Linsen zum Einsatz. Mit Linsen wurde ein Parallelstrahl gemessen, welcher durch eine einzelne Linse erzeugt wurde und ein fokussierter Strahl mit zwei Linsen.

3.4.1 ohne Linse

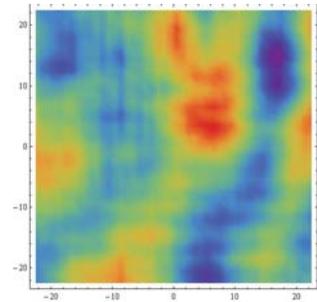
Bei der ersten Fernfeldmessung wurden keine optischen Geräte genutzt. Ausgemessen wurde der Bereich knapp hinter der Quelle bis 760mm, diese Messung wurde noch mit Chopper gemacht. Man kann in Abb. 9 erkennen, dass es sich nicht um eine perfekt punktförmige Quelle handelt.



a: 0mm



b: 260mm



c: 760mm

Abbildung 9: Intensitätsverteilung ohne Linse

3.4.2 mit einer Linse

Um später die Probe in einem Parallelstrahl messen zu können, wurde wie schon erwähnt, durch eine Linse die idealisiert punktförmige Quelle auf einen Parallelstrahl aufgeweitet. Um aus dem von der Quelle erzeugten Licht einen Parallelstrahl zu erhalten, wurde der Detektor an das Ende der messbaren Leiste gestellt. Das Signal wurde durch Verschieben der Linse in jede Richtung maximiert. Dadurch erhielt man einen Abstand zwischen Quelle und Linse von 22mm. Um die Abhängigkeit vom Abstand zwischen Quelle und Linse darstellen zu können wurden auch im Abstand von 2mm bzw. 44mm Messungen durchgeführt. Die Rohdaten wurden bei allen Messungen auf die gleiche Art und Weise aufgearbeitet. Von jeder Messung kann ein 3D Bild von den Ortskoordinaten x, y mit der jeweiligen Intensität betrachtet werden (siehe Anhang). Man kann deutlich erkennen, dass für jede Linseneinstellung andere Abstände markant sind.

3.4.3 Linse im Abstand von 22mm

Der Versuchsaufbau ist in Abb.10 zu sehen. Von links nach rechts befinden sich erst die Diode, dann in einem Abstand von 22 mm die Linse. Der Detektor hat einen Bereich von 2mm bis 839mm gemessen. Nachdem die ideale Position gefunden wurde, konnten die Messungen gestartet werden. Anfangs wurden in z -Richtung kleine Schritte gewählt um etwaige Veränderungen gut erkennen zu können. Da die ersten paar Zentimeter unauffällig verlaufen sind, ist man später zu größeren Schritten übergegangen. Zur Veranschaulichung wurden drei aussagekräftige Messungen ausgesucht. Zum besseren Vergleich wurden bei allen drei gemessenen Abständen die gleichen Detektor-Linsen-Abstände ausgesucht.

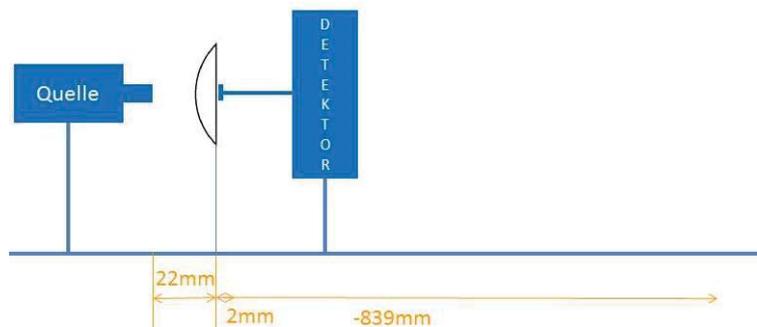


Abbildung 10: Versuchsaufbau mit einer Linse ($F=40\text{mm}$) im Abstand von 22mm

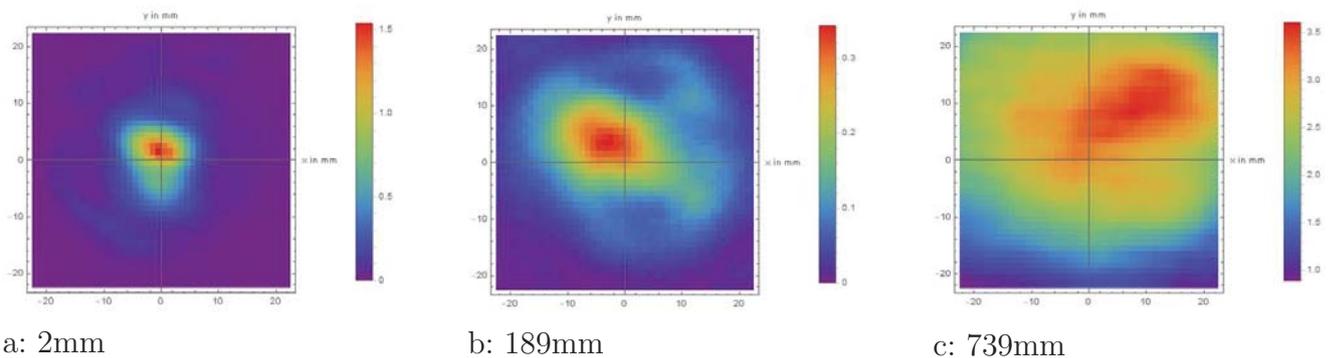


Abbildung 11: Intensitätsverteilung mit einer Linse im Abstand von 22mm

Das war erstens ganz nahe an der Linse siehe Abb. 11a (22mm) die zweite dargestellte Messung ist bei 189mm Abb. 11b. Dieser Punkt wurde ausgesucht, da bei der Messung im Abstand von 44mm hier ein Fokus vorliegt. Die dritte Messung die hier zu sehen ist Abb. 11c ist die am weitesten entfernte Messung, welche alle Versuchsaufbauten noch zugelassen haben. An diesen drei Bildern Abb. 11 kann man erkennen, dass der gemessene Peak sich zwar auf der Entfernung langsam aufweitet, aber im großen und ganzen wie erhofft einem Parallelstrahl entspricht. Um alle Messungen zu veranschaulichen wurde ein Schnitt durch die Mitte gemacht ($y = 0$) und alle Messungen in z -Richtung in einem gemeinsamen Intensitätsbild graphisch dargestellt Abb. 12. Um der Messart, am Anfang genau und am Ende immer größere Abstände besser zu entsprechen, wurde auf gleiche Art und Weise jeweils eine logarithmische Grafik berechnet.

3.4.4 Linse im Abstand von 44mm

Der Versuchsaufbau Abb. 13 ist bis auf die Abstandsänderung bei der Linse ident. Der gemessene Bereich reicht auch hier von ganz nahe an der Linse (2mm) bis zu einem Abstand von 739mm . Leider konnte aufgrund des größeren Messaufbaus die letzte Messung im Abstand von 839mm nicht mehr gemacht werden. Aus diesem Grund wurden die Messungen im Abstand von 739mm als Vergleichswerte angenommen, obwohl es bei den beiden anderen Messreihen auch Messungen weiter hinten geben hätte.

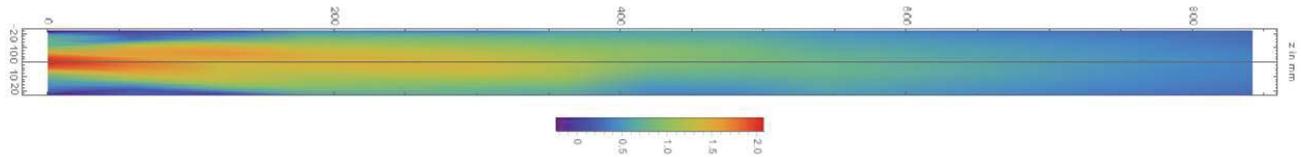


Abbildung 12: Intensität aller Messungen mit Schnitt durch die Mitte bei 22mm (Log Scale)

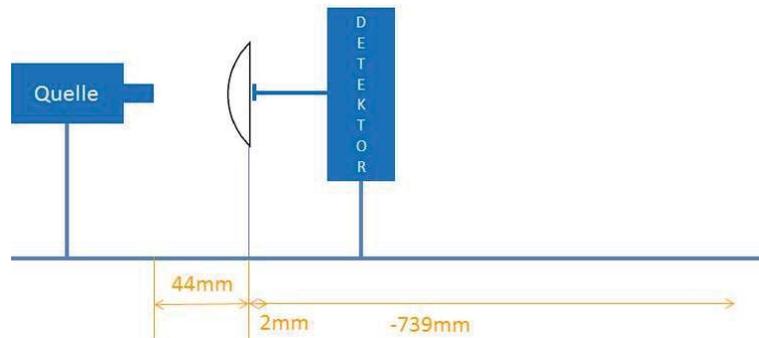
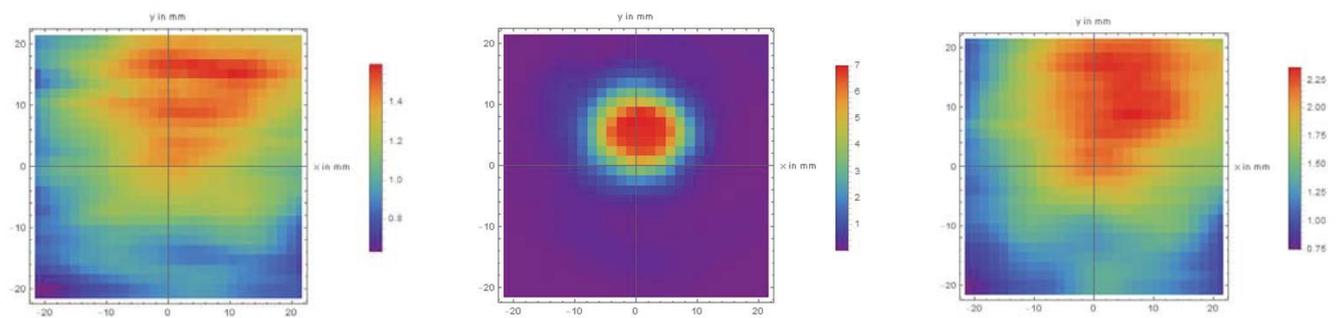


Abbildung 13: Versuchsaufbau mit einer Linse ($F=40\text{mm}$) im Abstand von 44mm

Wie schon erwähnt wurden auch bei dieser Messreihe die gleichen drei Messungen betrachtet siehe Figur 14. Man kann gut erkennen, dass es sich hierbei keinesfalls um einen Parallelstrahl handeln kann, da klar erkennbar ist, dass bei Abb. 14b ein konzentriertes Intensitätsmaximum zu sehen ist. Dieses verläuft sich dann in weiterem Abstand wieder. Da wie erwartet hier kein Parallelstrahl vorhanden ist wird diese Messreihe auch nicht hergenommen um später mit der Probe zu messen. Auch bei dieser Messung wurde ein logarithmischer Schnitt Abb. 15 durch die Mitte gemacht um die Gesamtheit der Messreihe betrachten zu können.



a: 2mm

b: 189mm

c: 739mm

Abbildung 14: Intensitätsverteilung mit einer Linse im Abstand von 44mm

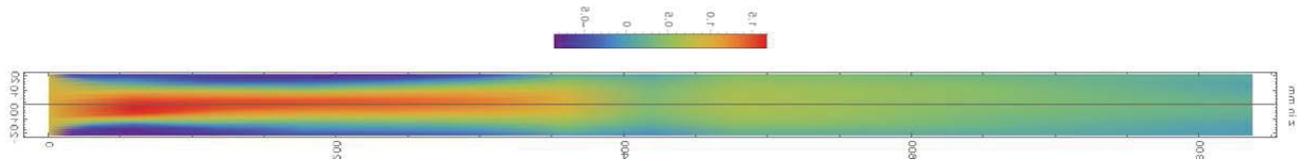


Abbildung 15: Intensität aller Messungen mit Schnitt durch die Mitte bei 44mm (Log Scale)

3.4.5 Linse im Abstand von 2mm

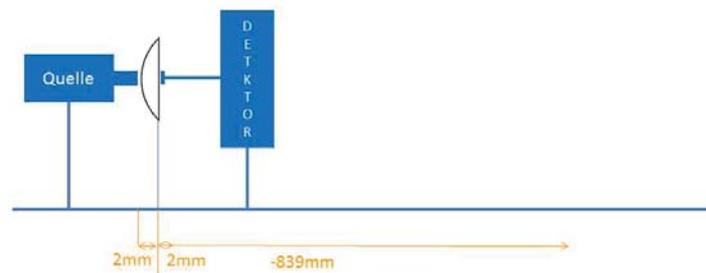


Abbildung 16: Versuchsaufbau mit einer Linse ($F=40\text{mm}$) im Abstand von 2mm

Für die dritte Messreihe, welche mit einer Linse gemacht wurde, ist die Linse in einem Abstand von 2mm zur Quelle gestellt worden. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 16 zu sehen. Auch hier wurden wieder die gleichen drei Messungen ausgewählt Abb. 17 um mit den anderen zu vergleichen. Bei diesem Aufbau sieht die Situation sehr ähnlich aus wie bei der Messreihe mit einem Linsenabstand von 22mm, da am Anfang ein deutlicher Peak zu sehen ist Figur 17a. Dieser Peak weitet sich auch hier auf, wie man in Abb. 17b sehr schön erkennen kann. Doch ein großer Unterschied zu der anderen Messreihe besteht darin, dass hier am hinteren Ende der Messanordnung siehe Abb. 17c kein klares Bild mehr erkennbar ist. Wie schon bei den vorherigen Messungen wurde auch hier die Messreihe als gesamtes in einem logarithmischen Schnitt durch die Mitte dargestellt. Wie erwartet stellt die als erstes gefundene Messanordnung mit dem Abstand von Quelle-Linse von 22mm den bestmöglichen Aufbau für einen Parallelstrahl dar. Deshalb wurde mit dem Aufbau weiterexperimentiert.

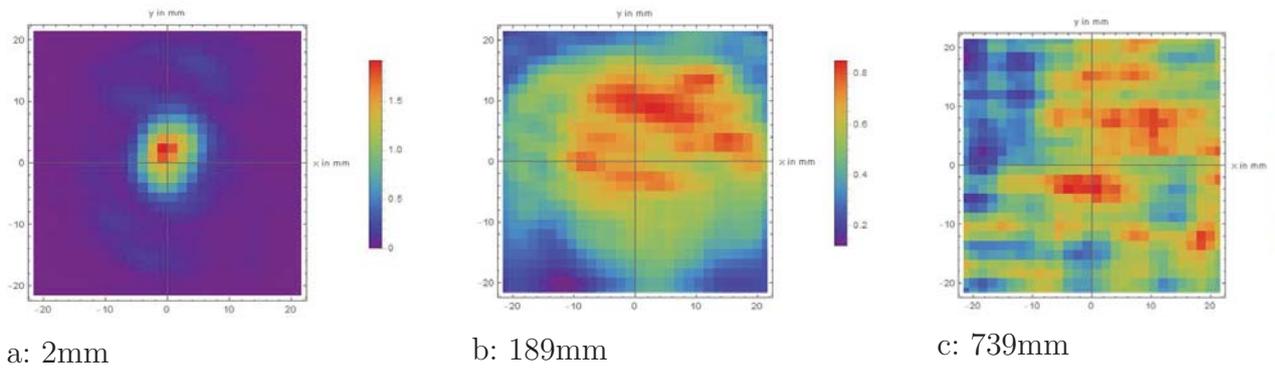


Abbildung 17: Intensitätsverteilung mit einer Linse im Abstand von 2mm

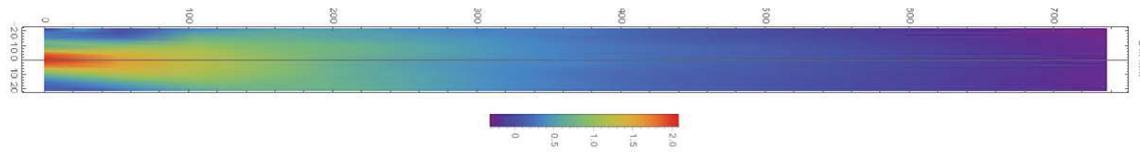


Abbildung 18: Intensität aller Messungen mit Schnitt durch die Mitte bei 2mm (Log Scale)

3.4.6 mit zwei Linsen

Um später die Probe auch im fokussierten Feld messen zu können, wurde auch das fokussierte Feld der Diode gemessen.

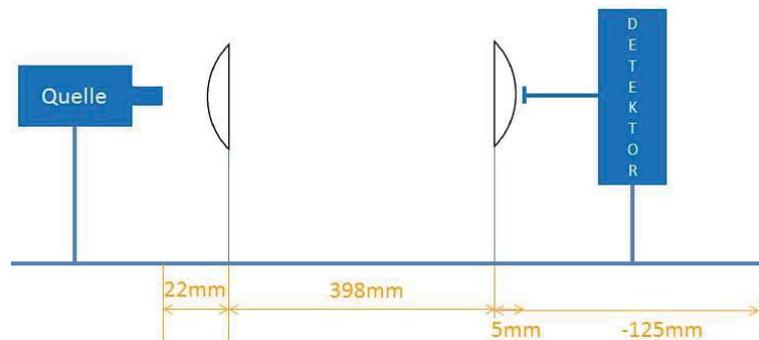


Abbildung 19: Versuchsaufbau mit zwei Linsen

Dafür war der Versuchsaufbau dargestellt in Abb. 19 von links nach rechts erst die Quelle, danach eine Linse, welche von der Quelle wieder einen Parallelstrahl erzeugt. In einem Abstand von 398mm eine zweite Linse, welche den parallelen Lichtstrahl fokussiert. Dieser Abstand wurde gewählt um einerseits einen gewissen Abstand von Linse 1 zu haben, damit der gesamte Parallelstrahl aufgenommen werden kann. Andererseits darf die zweite Linse nicht zu weit hinten stehen, damit noch genug Abstand bleibt um

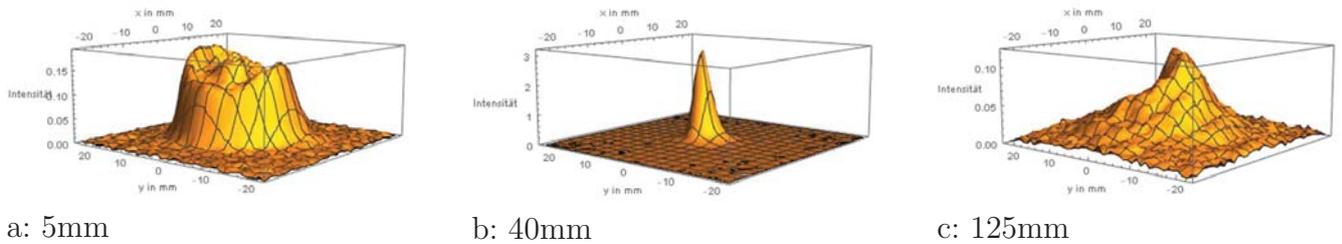


Abbildung 20: 3D Intensitätsbilder mit 2 Linsen

das Feld messen zu können. Um mehr Informationen über das Feld zu erhalten wurde nicht nur im Fokus sondern das gesamte Feld hinter der Linse gemessen. Wie schon mit einer Linse wurden die Messungen nahe der Linse in kleinen z -Abständen gemessen und weiter hinten wurden die Abstände vergrößert. Hier wurden ebenfalls drei Einzelbilder zur Veranschaulichung ausgesucht. Diesmal als 3D-Bilder dargestellt.

Das erste Bild Abb. 20a, ist in einer Entfernung von 5mm vom Scheitel der zweiten Linse aufgenommen worden. Man kann auf diesem Bild deutliche Ringmuster erkennen. Es ist anzunehmen, dass diese durch Beugung am Linsenrand entstehen, da diese Muster bei Messungen die etwas weiter weg sind von der Linse nicht auftreten. In Abb. 20b hat man deutlich ein Maximum. Hier werden alle auf Linse 2 parallel eintreffenden Strahlen fokussiert. Diese Messung wurde in einem Abstand von 40mm von Linse 2 gemessen. An der Skala kann man erkennen, dass hier die Intensität um einen Faktor 20 größer ist als direkt hinter der Linse. Abb. 20c zeigt den weitesten Punkt von Linse 2 welcher noch gemessen werden konnte (Entfernung 125mm). Man sieht, dass der vorhandene Peak sich etwas verlaufen hat und deutlich schwächer geworden ist, aber es sind keine Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Wie auch schon bei den anderen Messungen, wurde auch hier ein gesamtes Intensitätsbild von allen Messungen in z -Richtung geschaffen siehe Abb. 21. Man kann sehr deutlich erkennen, wie von der linken Seite des Bildes das breite Feld hin zu 40mm fokussiert wird und dann kontinuierlich abschwächt wird. Damit wurde klar festgestellt, dass die Brennweite der genutzten Linsen 40mm entspricht.

Um die Relationen des Peaks besser erkennen zu können wurde hier im Mittelpunkt ($x = 0; y = 0$) eine 2D Grafik erstellt, in der die Intensität in Abhängigkeit von der z -Entfernung zu erkennen ist.

3.5 Polarisationsmessung

Die Polarisation des ausgesandten Lichts wurde in vier verschiedenen Messungen festgestellt. Grundsätzlich waren die Messungen wie in Abb. 23 aufgebaut. Von links nach rechts gesehen, die Quelle, eine Linse, dann Polarisationsfilter und zum Schluss in einem fixen Abstand der Detektor. Die Linse in diesem Aufbau dient dazu, dass der Polarisationsfilter in einem Parallelstrahl steht. Für diese Messung wurde der Detektor nicht seinem Zweck entsprechend verwendet um ein x -, y - Feld zu messen, sondern nur um an einem Fixpunkt die aktuelle Intensität zu messen. Hierfür wurde die Intensität am Detektor ohne Polarisationsfilter maximiert und der Detektor in eine Entfernung ge-

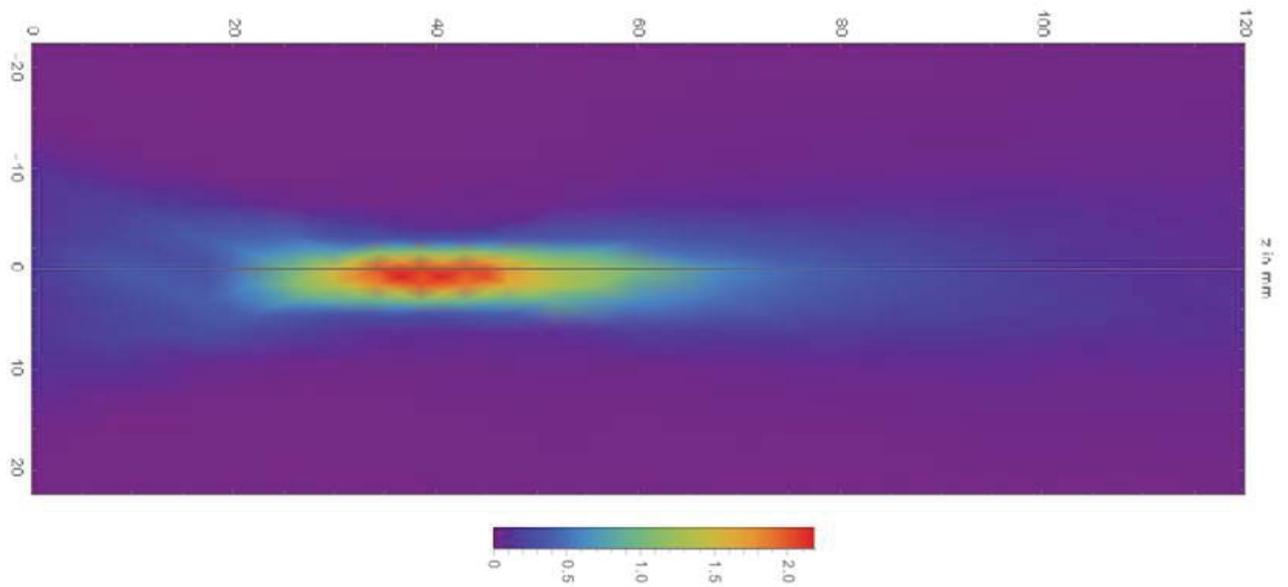


Abbildung 21: Die Intensität aller Messungen mit Schnitt durch die Mitte bei 2 Linsen

stellt, bei welcher er ohne Filter auch nicht übersteuert. An dieser Stelle wurden dann alle Messungen durchgeführt.

Die erste Messung unterschied sich dadurch von den anderen, dass hier noch mit Chopper gemessen wurde. Das heißt, dass die Quelle nicht intern moduliert wurde, sondern das Signal stattdessen durch eine drehende Scheibe abgehackt wurde. Außerdem wurde hier zusätzlich mit einer zweiten Linse gemessen, um den polarisierten Strahl auf den Detektor zu fokussieren. Auch wenn die Messung dadurch mit den anderen Messungen nicht direkt vergleichbar ist, kann man doch sehen, dass man auf annähernd gleiche Ergebnisse kommt. Der Messaufbau Abb. 24 war von links nach rechts Quelle, Chopper, Linse, ein Polarisationsfilter, zweite Linse und Detektor. Der Polarisationsfilter wurde vor jeder Messung um 5 Grad gedreht. Es wurde darauf geachtet, dass die Drehung in die gleiche Richtung erfolgte, da es sonst Abweichungen im Messergebnis gegeben hätte. Wie leicht sich solche Abweichungen einschleichen, konnte man daran erkennen, dass am Ende der Messung (nach einer ganzen Umdrehung) regelmäßig ein anderer Wert gemessen wurde als beim Beginn. Die durch die Messung entstandene periodische Kurve Abb. 27 wird des späteren noch genauer analysiert.

Für die weiteren Messungen wurde der Messaufbau leicht abgeändert. Die Quelle wurde mithilfe eines im Oszilloskop eingebauten Generator moduliert, dadurch konnte der Chopper weggelassen werden. Des weiteren wurde von der Fokussierung auf den Detektor abgesehen, indem die zweite Linse entfernt wurde. Dadurch ergab sich folgender Versuchsaufbau (Abb. 23) von links nach rechts erst die Quelle, danach ein Polarisationsfilter und am Schluss wieder der Detektor. Auch hier wurde durch das Drehen des Polarisators um insgesamt 360 Grad eine periodische Kurve gemessen Abb. 28.

Bei der dritten Messung wurden zwei Polarisationsfilter genutzt Abb. 25. Der erste

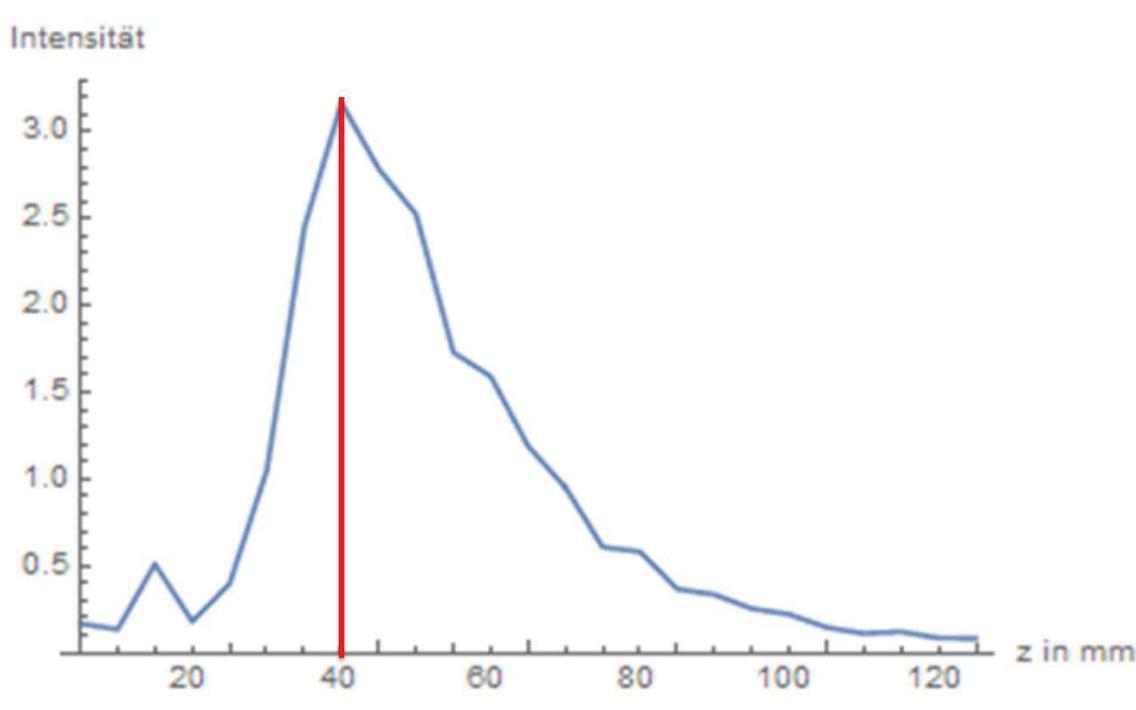


Abbildung 22: Intensität in Abhängigkeit von z ($x=0; y=0$)

Polarisationsfilter war auf 45° eingestellt. Der zweite Filter wurde auch hier jeweils um 5 Grad gedreht und dahinter die Intensität gemessen. Diese Messung ergab auch eine nahezu periodische Kurve Abb. 29, welche später mit allen anderen gemeinsam mathematisch angenähert wurde.

Die vierte Messung war sehr ähnlich dem Versuchsaufbau der dritten Messung. Der Unterschied war, dass die Welle zwischen den beiden Messungen elliptisch polarisiert wurde. Dadurch entstand der Versuchsaufbau wie in Figure 26. Die in Abb. 30 sichtbare gemessene Kurve unterscheidet sich auf den ersten Blick nicht deutlich von den anderen, doch bei der Auswertung durch mathematische Näherung ist dann klar zu erkennen, dass es sich um eine elliptisch polarisierte Welle handelt. (siehe später) Betrachtet man die gemessenen Kurven, kann man erkennen, dass jeweils die beiden Maxima nicht exakt auf gleicher Höhe sind. Rein theoretisch sollte dies aber der Fall sein, da die Welle eigentlich nicht unterscheiden kann ob der Filter um 180 Grad gedreht ist. Dieser Unterschied rührt daher, dass der Filter nicht perfekt ist. Ein anderes Problem kann sein, dass die Quelle nicht exakt auf die Mitte des Polarisationsfilters geleuchtet hat und dadurch durch die Drehung des Filters eine andere Stelle angeleuchtet wurde, welche aber nicht genau gleich ist wie die vorherige.

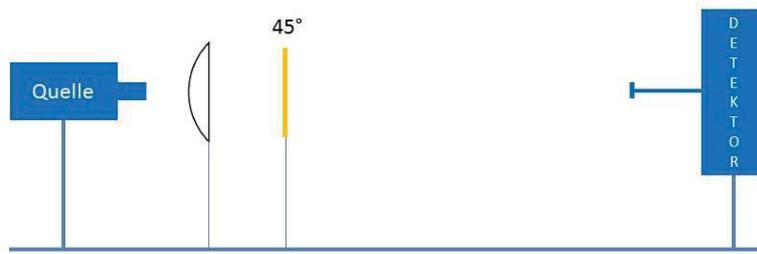


Abbildung 23: Versuchsaufbau für Polarisationsmessungen

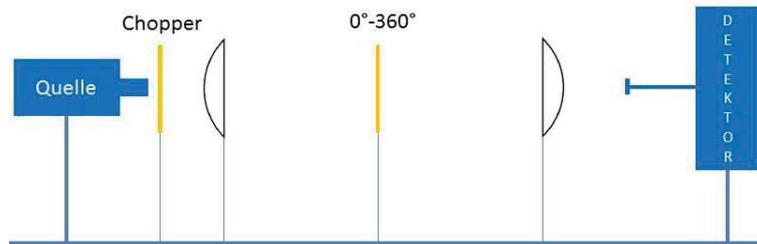


Abbildung 24: Versuchsaufbau für Polarisationsmessungen mit Chopper und zwei Linsen

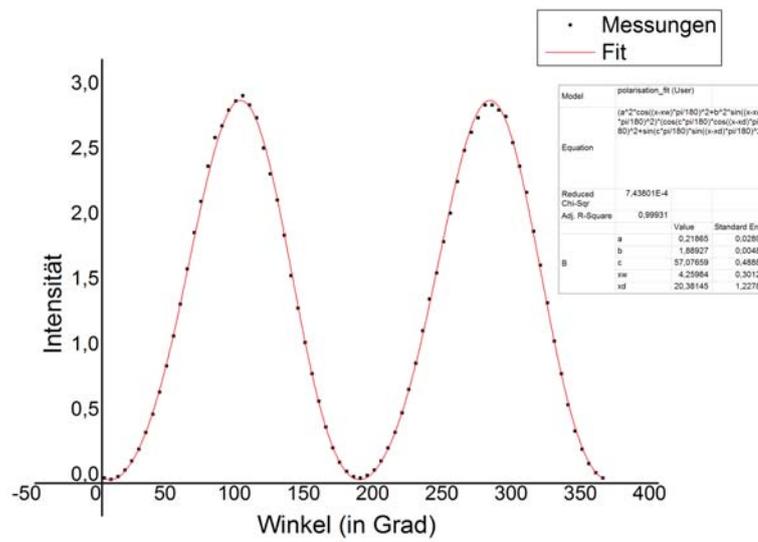


Abbildung 27: Polarisationsmessung mit Chopper und zwei Linsen

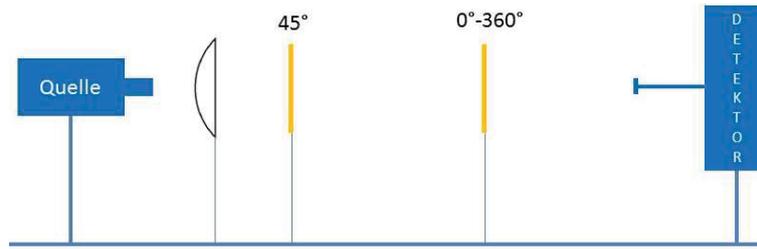


Abbildung 25: Versuchsaufbau für Polarisationsmessungen mit zwei Polarisatoren

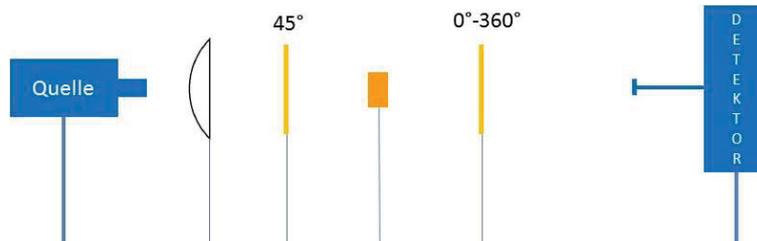


Abbildung 26: Versuchsaufbau für Polarisationsmessungen mit elliptisch polarisierter Welle

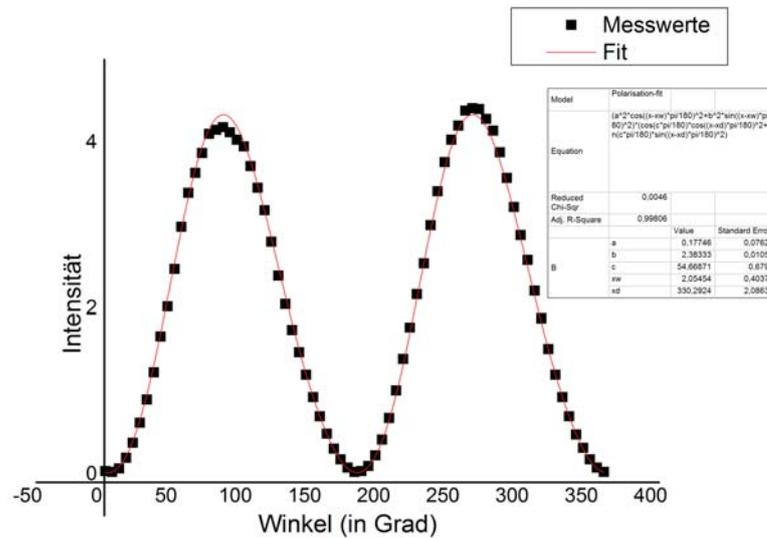


Abbildung 28: Polarisationsmessung mit einem Polarisator

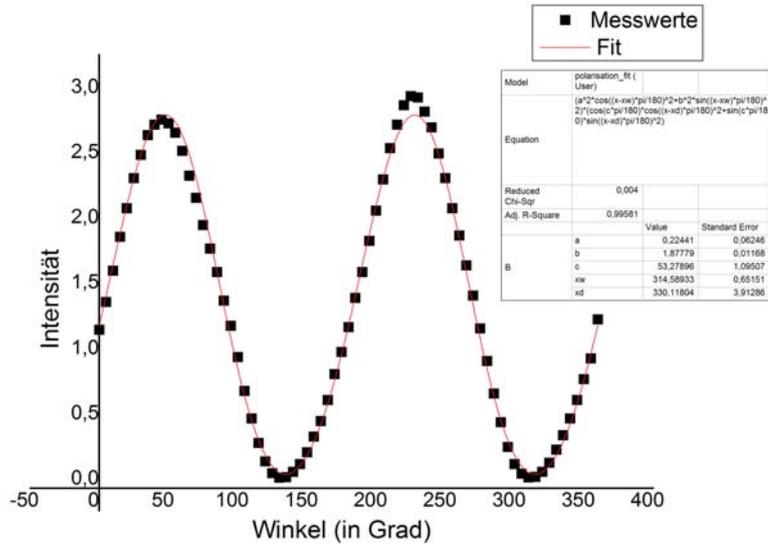


Abbildung 29: Polarisationsmessung mit zwei Polarisatoren

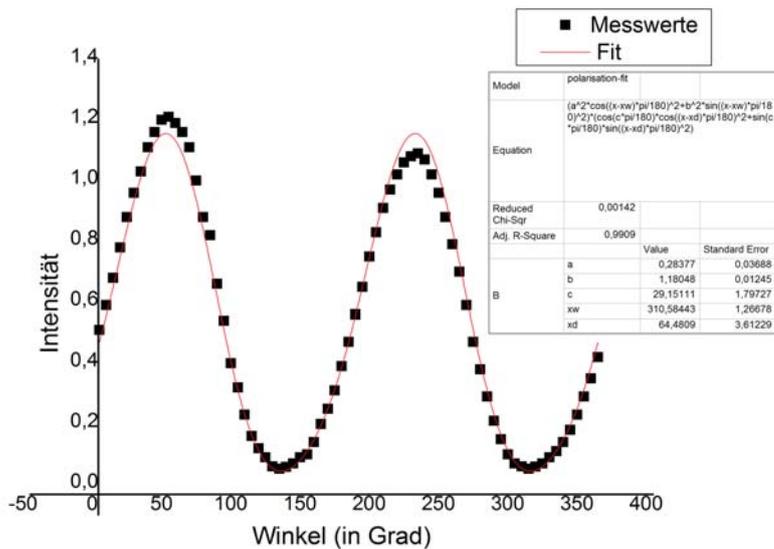


Abbildung 30: Polarisationsmessung einer elliptisch polarisierten Welle

In Abb. 27-30 kann man sehr deutlich erkennen, dass es sich jeweils um eine zusammengesetzte sinus-/cosinus- Funktion handeln muss. Zusammengesetzt deshalb, weil es sich um mehrere unbekannte Parameter handelt. Wir haben einerseits die Welle und

andererseits den Detektor. Die Welle ist im allgemeinen elliptisch polarisiert, die beiden Hauptachsen der Ellipse sind a und b . Bei der Betrachtung der Näherung wird zu sehen sein, dass es sich bei der Welle, welche von unserer Quelle erzeugt wird um eine quasi linear polarisierte Welle handelt. Die beiden Parameter c und d stellen die Hauptachsen der Detektorellipse dar. Bei dieser geht es darum, dass der Detektor nicht in alle Richtungen gleich empfindlich ist. Diese Anisotropie des Detektors ist, wie zu erwarten, bei allen Messungen nahezu ident. Wobei Parameter d durch die anderen Parameter ausgedrückt wurde, da ansonsten zu viele freie Parameter für eine sinnvolle Näherung vorhanden gewesen wären. Die beiden Werte xw und xd sind jeweils der Winkel um welchen die Ellipse der Welle bzw. des Detektors gekippt ist. Auch hier sollte der Detektorwert von Messung zu Messung keinen Unterschied aufweisen.

Mathematisch gesehen handelt es sich bei der zusammengesetzten sinus-/cosinus-Funktion um eine Linearkombination der Winkelfunktionen von den verschiedenen Parametern:

$$(a^2 \cos^2(x - xw) + b^2 \sin^2(x - xw)) * (c^2 \cos^2(x - xd) + d^2 \sin^2(x - xd))$$

Durch Vereinfachung, wie durch die Elimination von d und durch die Umformung auf Polarkoordinaten, erhält man die Formel, mit der die einzelnen Kurven angenähert wurden. Liest man aus Abb. 27-30 die jeweiligen Parameter ab, kann man erkennen, dass sie sehr gut zusammenpassen. Zur besseren Ansicht wurden die Parameter der gleich aufgebauten Messungen in einer Tabelle zusammengefasst (auf 3 Nachkommastellen gerundet):

	a	b	c	xw	xd
2 Linsen 27	0,219	1,889	57,077	4,2598	20,381
1 Polarisator Abb. 28	0,177	2,383	54,669	2,055	330,292
2 Polarisatoren Abb. 29	0,224	1,878	53,277	314,589	330,118
elliptisch polarisiert Abb. 30	0,284	1,180	29,151	310,584	64,481

Die Detektorparameter bleiben nahezu unverändert, nachdem der Detektor sich in keins-ter Weise verändert hat, war dies auch so zu erwarten. Die dennoch existenten kleinen Abweichungen, sind darauf zurückzuführen, dass es sich hierbei nur um eine mathematische Näherung handelt und außerdem schon kleine Messfehler einen Einfluss darauf haben. Betrachtet man nun die Hauptachsen der Welle, kann man erkennen, dass die Hauptachse a mindestens um einen Faktor 10 kleiner ist als die Hauptachse b . Das heißt, dass es sich um eine sehr langgezogene Ellipse handelt. Man kann dadurch näherungsweise sagen, dass es sich um eine linear polarisierte Welle handelt. Eine Ausnahme bildet hierbei die vierte Messung Abb. 30, da bei dieser die Welle zwischen den beiden Polarisatoren elliptisch polarisiert wurde. Man kann erkennen, dass hier der Unterschied nur mehr einen Faktor 5 beträgt. Das bedeutet, dass diese Welle wie erwartet leicht elliptisch polarisiert ist.

4 Zusammenfassung

Das Ausmessen der IMPATT-Diode hat ein eher diffuses Feld der Quelle ergeben. Durch eine Linse im Abstand von 22mm konnte ein Parallelstrahl erzeugt werden (siehe Abschnitt 3.4.3.), der für weitere Messungen mit dieser Quelle geeignet ist. Eine weitere Möglichkeit für Messungen ist es eine Probe in den fokussierten Strahl zu platzieren (siehe Abschnitt 3.4.6.). Letzterer konnte durch zwei Linsen erzeugt werden, indem eine Linse einen Parallelstrahl erzeugt und die zweite diesen bündelt. Ein weiteres Problem war, dass der Detektor nur einen Intensitätsbereich hat, welchen er messen kann. Um diesen Bereich nicht zu überschreiten musste der Strahl teilweise abgeschwächt werden. Da sich gezeigt hat, dass gewerbliche Attenuatoren das Feld ungleichmäßig schwächen wurde hier Abhilfe geschaffen durch zugeschnittene Absorberstücke, welche auf den Detektor geklebt wurden (siehe Abschnitt 3.3)

5 Literatur

[1] Park, Chunghyun; Park, Jung-Hoon; Rodriguez, Christophe; Yu, HyeonSeung; Kim, Minkwan; Jin, Kyoungsuk; Han, Seungyong; Shin, Jonghwa; Hwan Ko, Seung; Nam, Ki Tae; Lee, Yong-Hee; Cho, Yong-Hoon; Park, YongKeun. Full-Field Subwavelength Imaging Using a Scattering Superlens. *Physical Review Letters*. 09.2014

[2] Kozlov, Gennadi; Volkov, Alexander. *Millimeter and Submillimeter Wave Spectroscopy of Solids*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1998

[3] Demtröder, Wolfgang. *Experimentalphysik 2 Elektrizität und Optik*. Springer Berlin Heidelberg. 2013

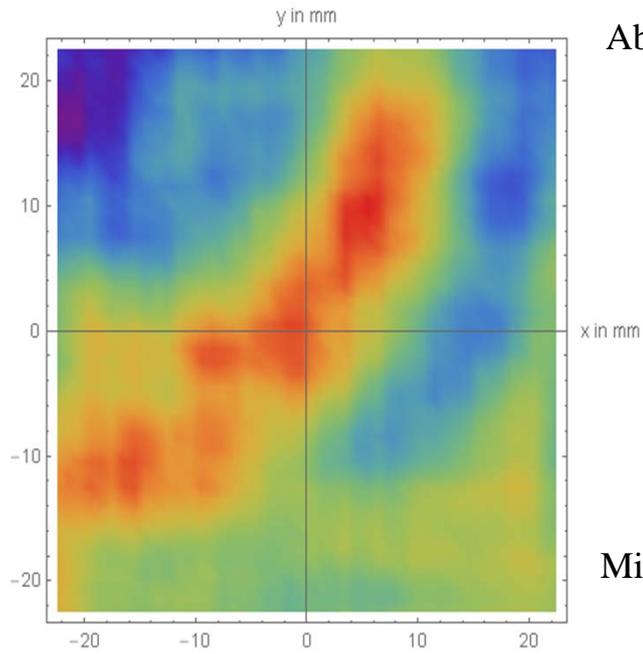
[4] M. Scheffler, M. Dressel:
[http : //www.pi1.uni-stuttgart.de/forschung/methoden/thzspektroskopie.html](http://www.pi1.uni-stuttgart.de/forschung/methoden/thzspektroskopie.html)(24.11.16)

[5] S.N. Sabki CHAPTER 8: MICROWAVE DIODES, QUANTUM EFFECT and HOT ELECTRON DEVICES. *[http : //slideplayer.com/slide/8889372/](http://slideplayer.com/slide/8889372/)* (24.11.16)

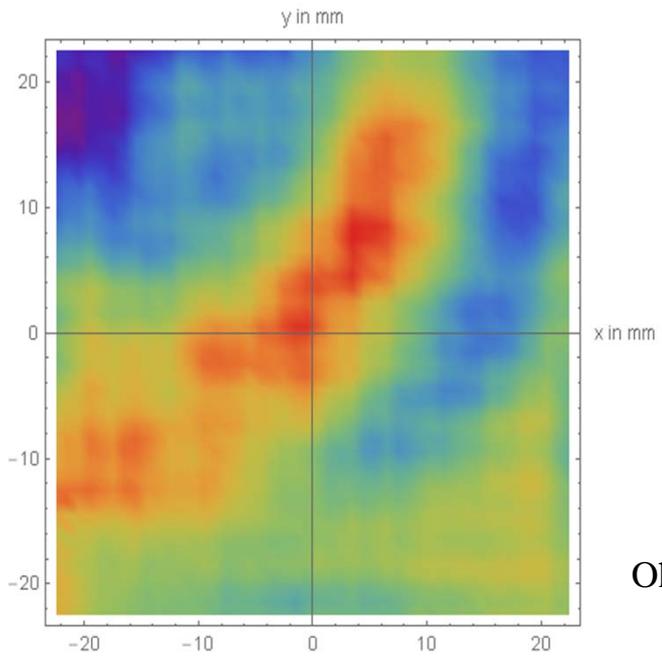
[6] *[https : //de.wikipedia.org/wiki/IMPATT - Diode](https://de.wikipedia.org/wiki/IMPATT-Diode)* (24.11.16)

6 Anhang

Abb 3: Intensität bei Bodenreflexionsmessung



Mit Absorber am Boden



Ohne Absorber am Boden

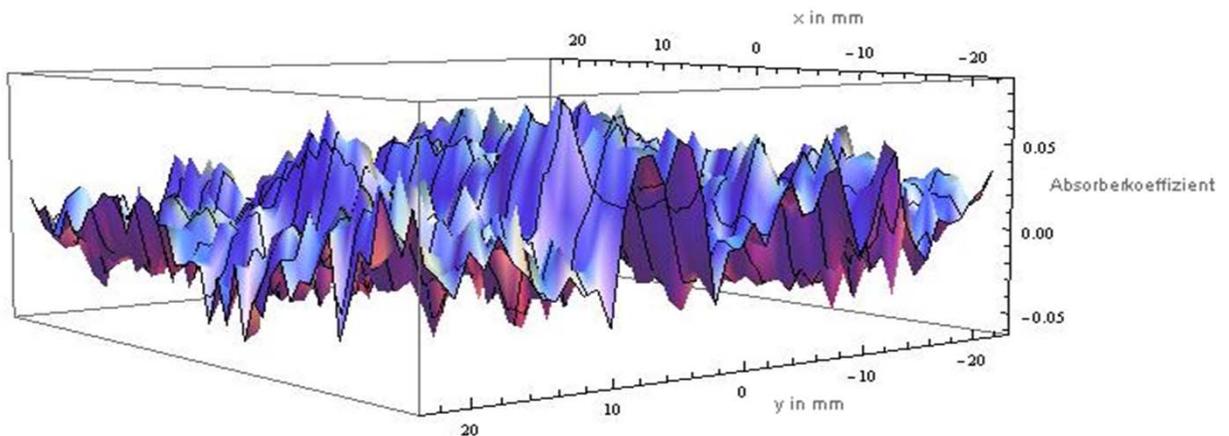
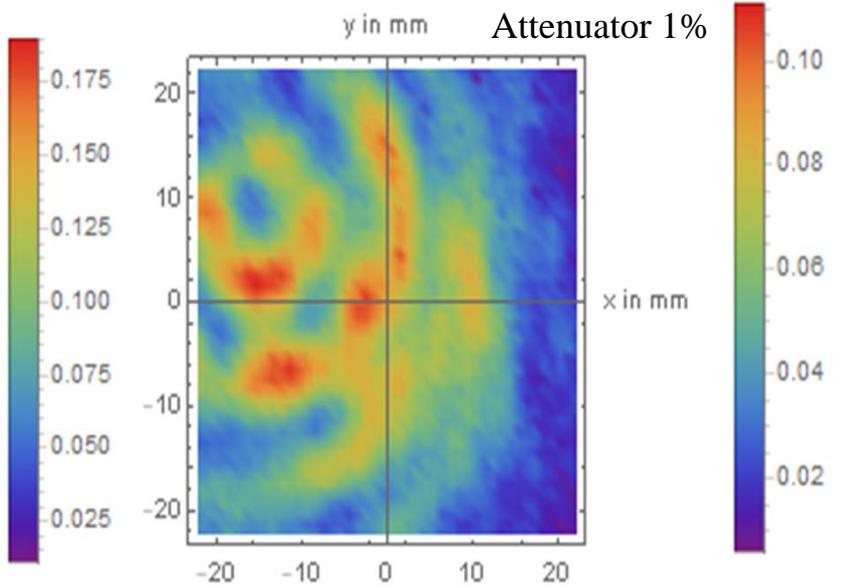
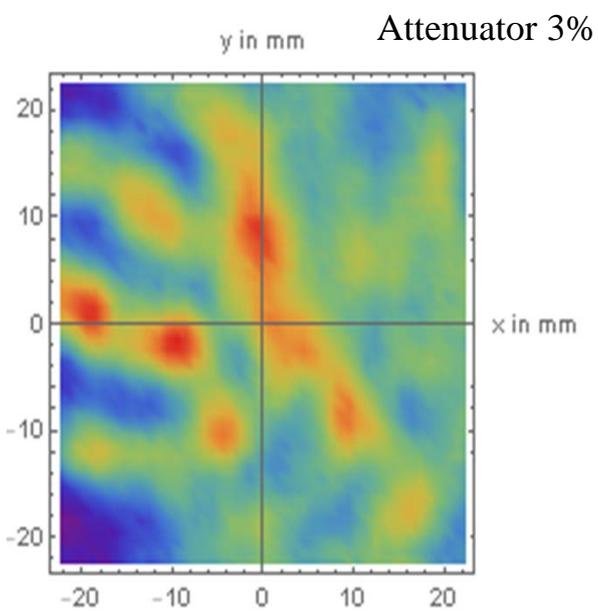
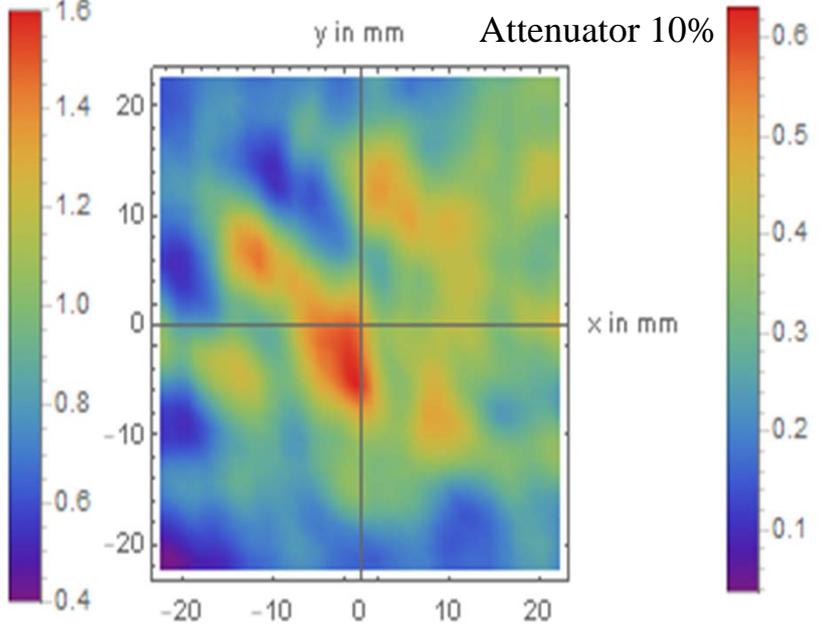
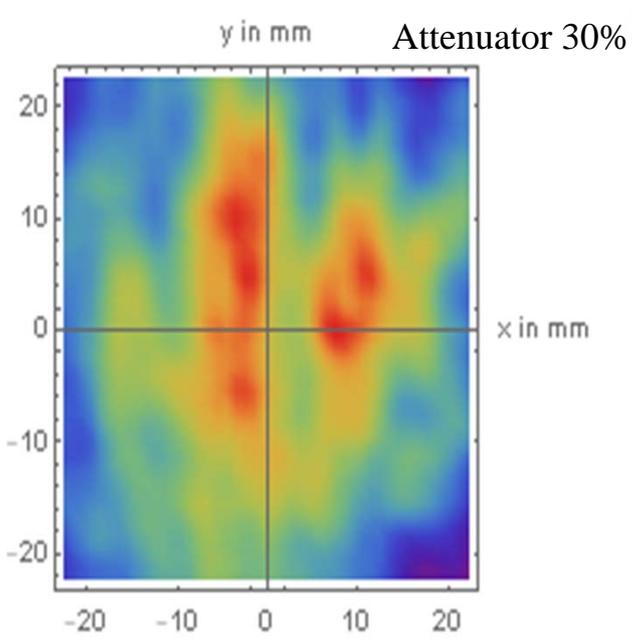
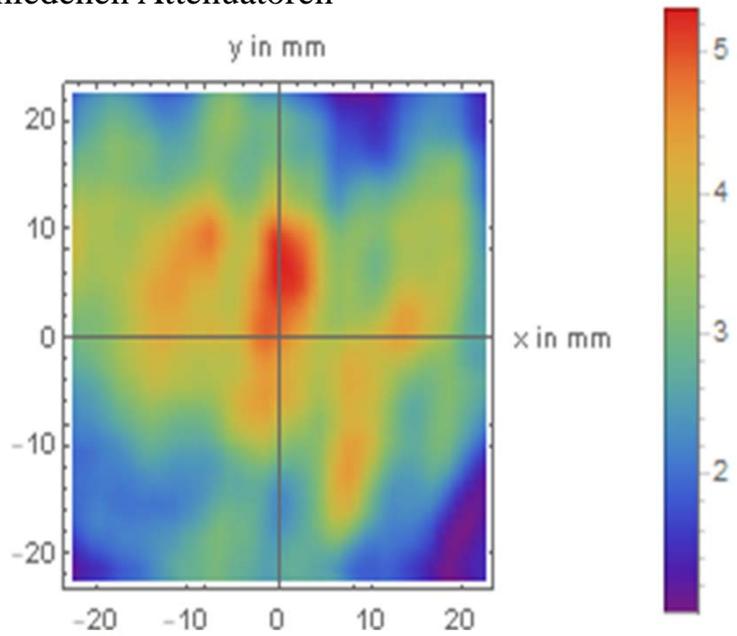


Abb 4: Differenz der Bodenreflexion normiert auf die erste MEssung

Abb. 5: Intensitätsmessung mit verschiedenen Attenuatoren

Vergleichsmessung ohne Attenuator



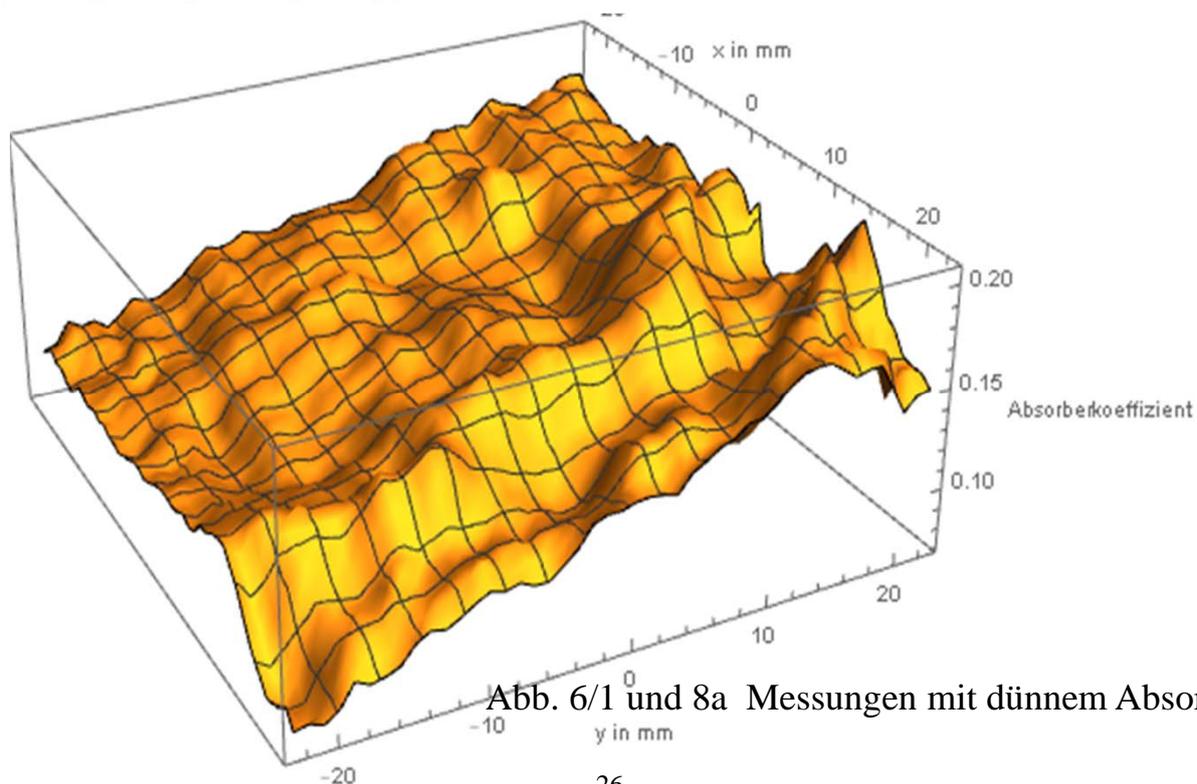
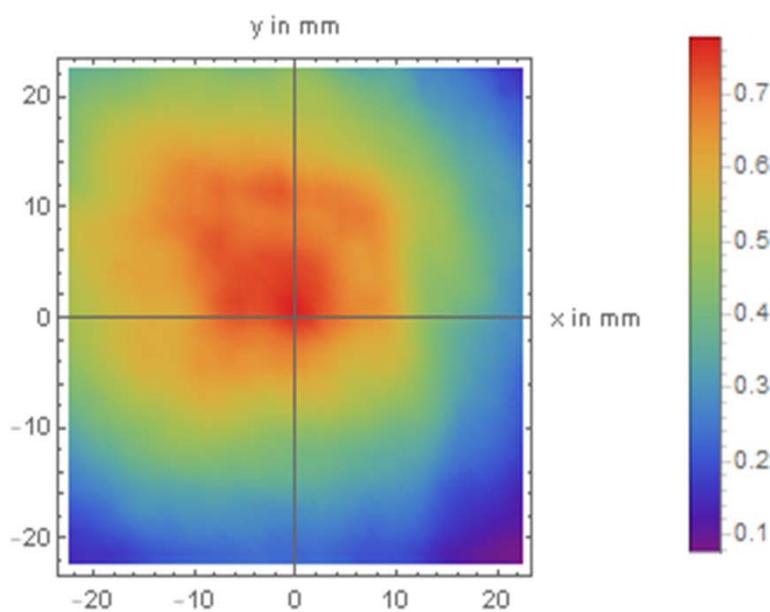
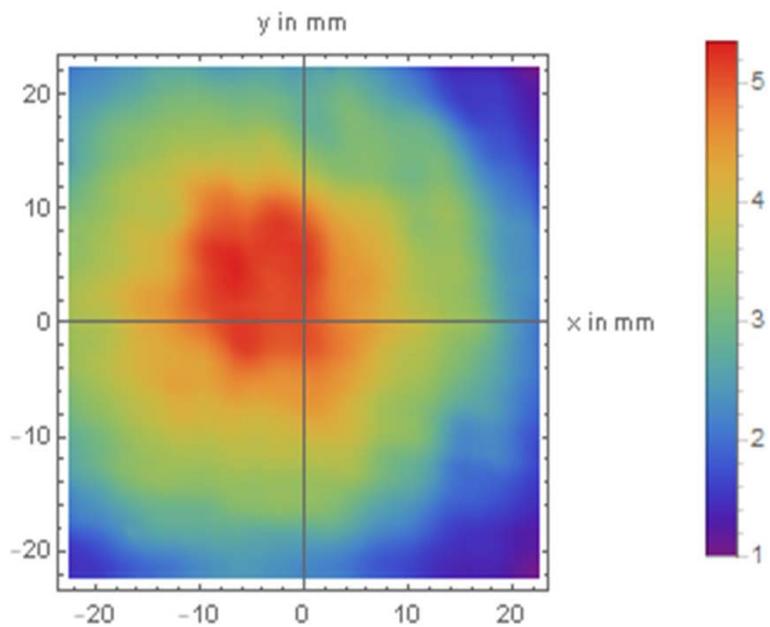
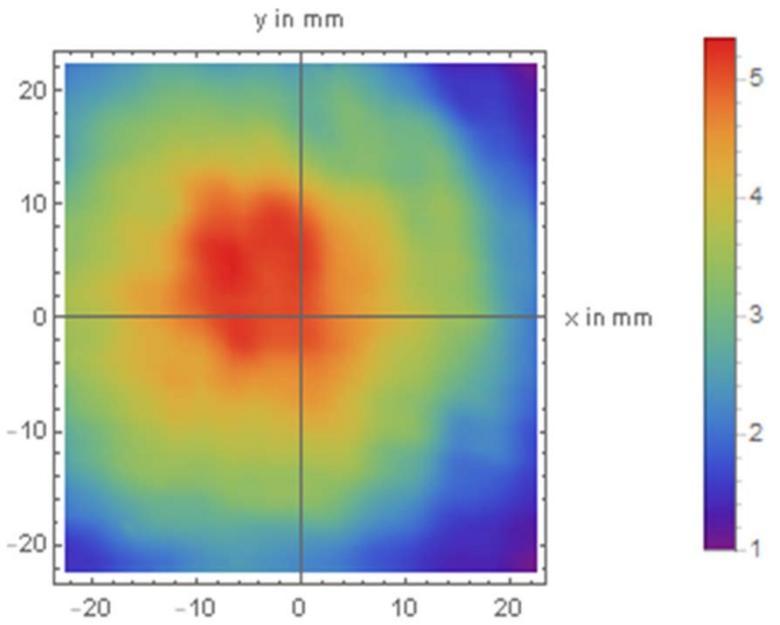
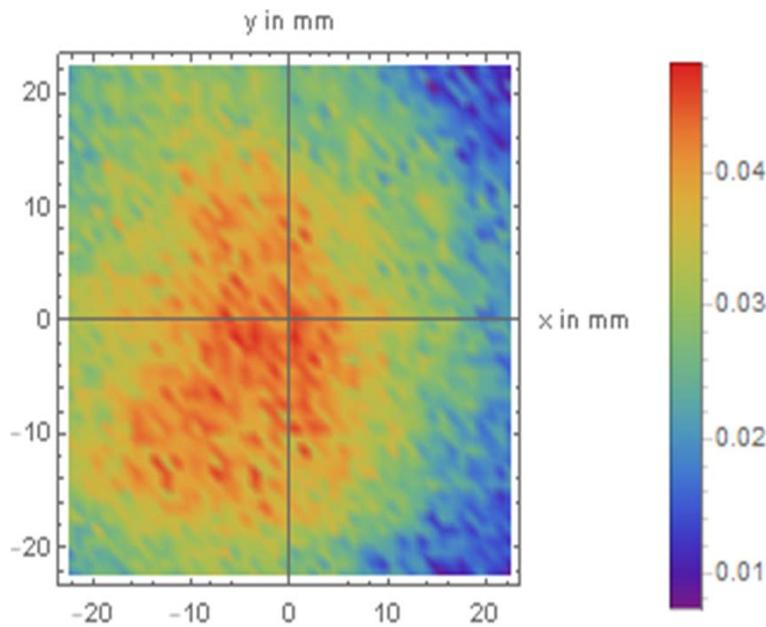


Abb. 6/1 und 8a Messungen mit dünnem Absorber



Vergleichsmessung ohne Absorber



Messung mit dickem Absorber

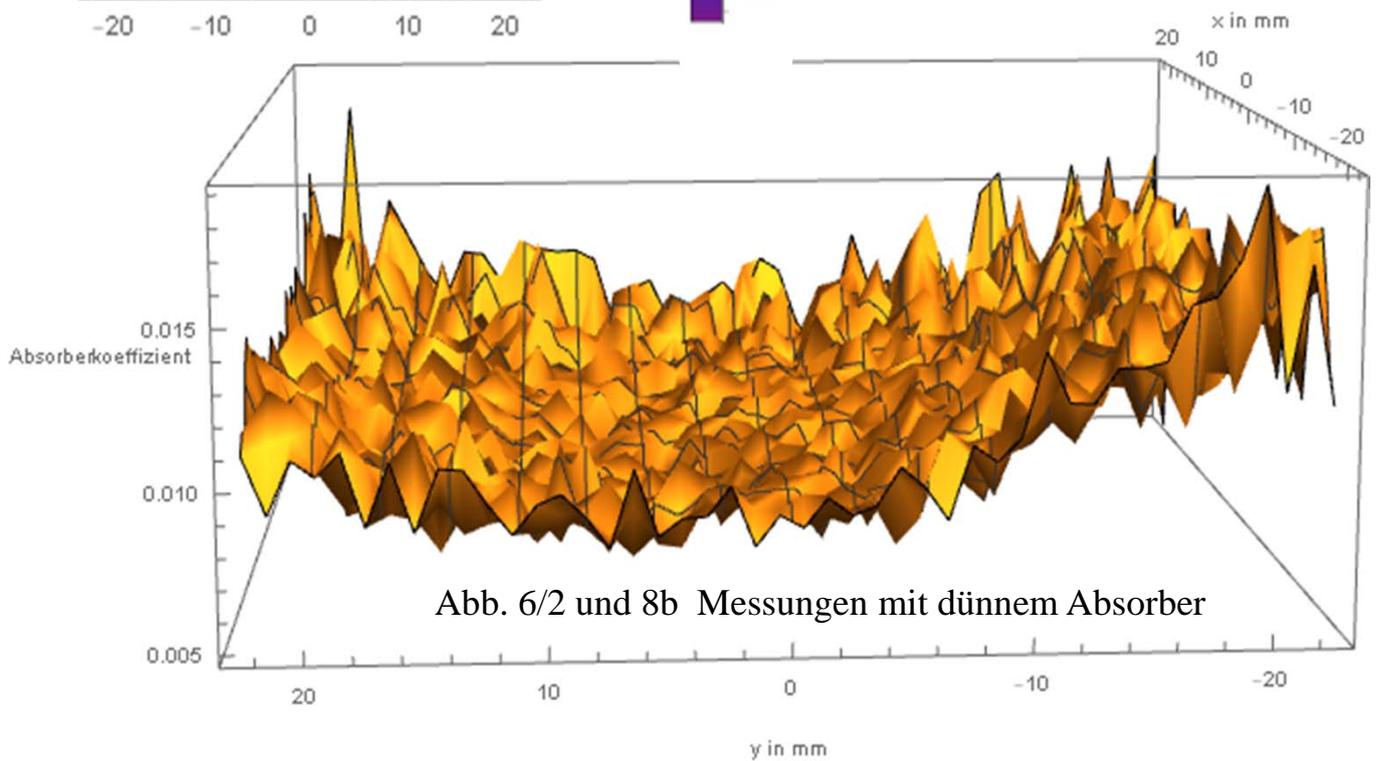
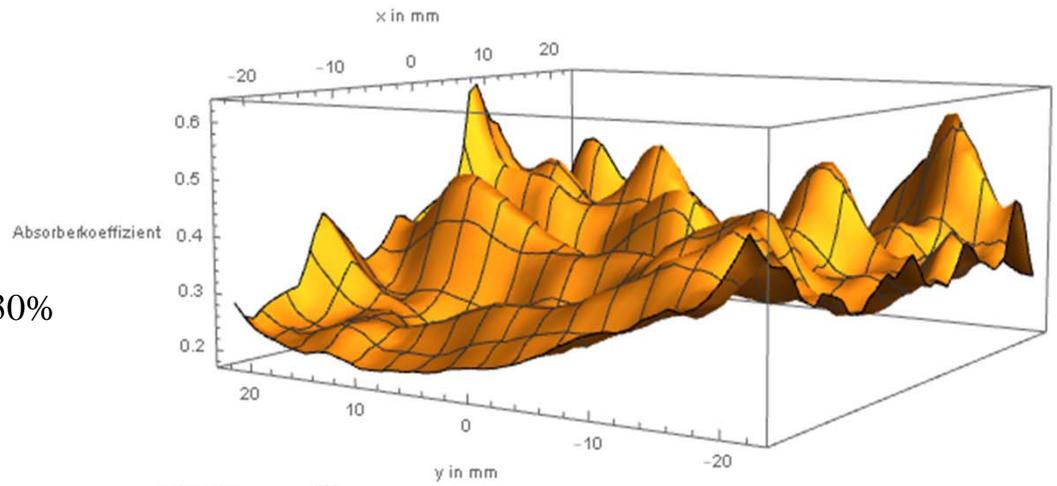


Abb. 6/2 und 8b Messungen mit dünnem Absorber

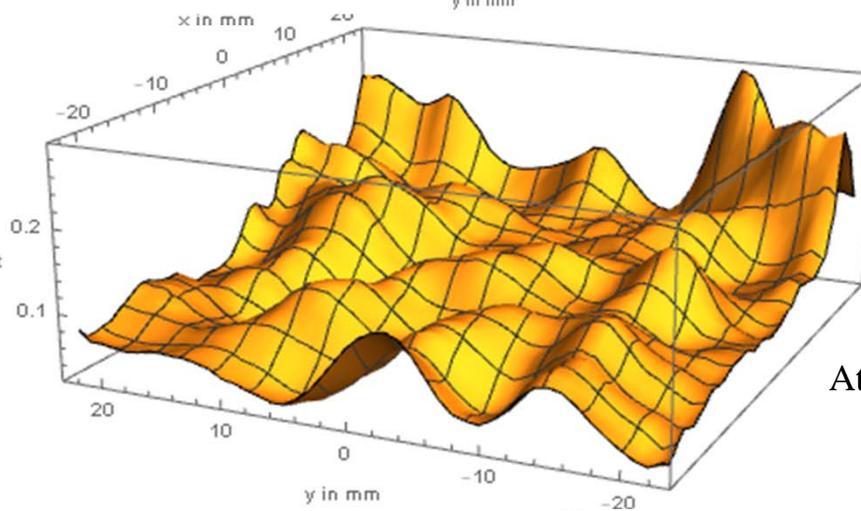
Abb. 7 Absorptionskoeffizient mit verschiedenen Attenuatoren

Attenuator 30%

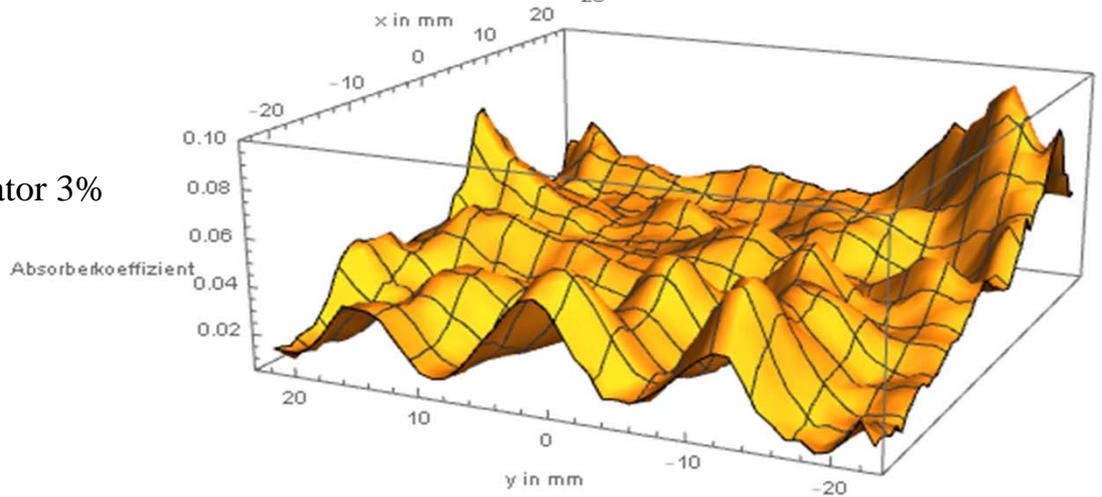


Absorberkoeffizient

Attenuator 10%



Attenuator 3%



Absorberkoeffizient

Attenuator 1%

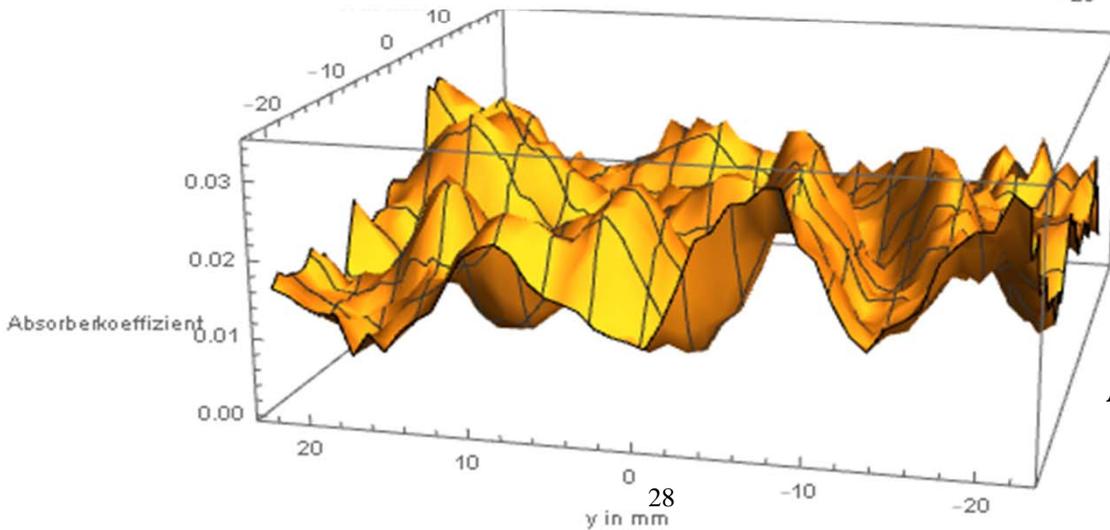
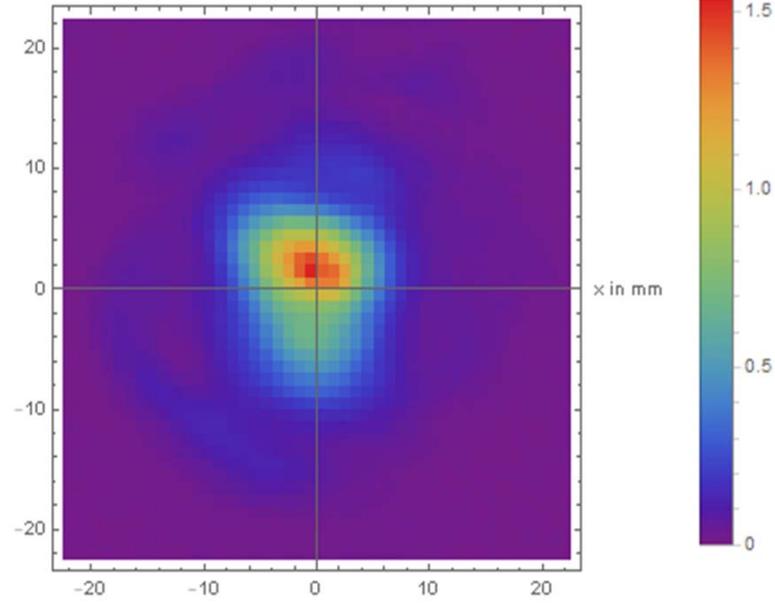
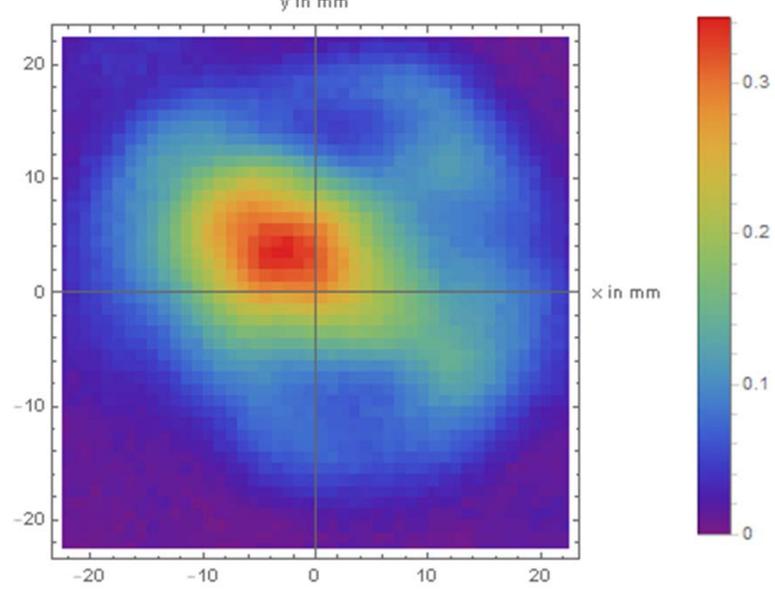


Abb. 11 und 12 Linse im Abstand von 22 mm

Linse-Detektor 2mm y in mm



Linse-Detektor 189mm y in mm



Linse-Detektor 739mm y in mm

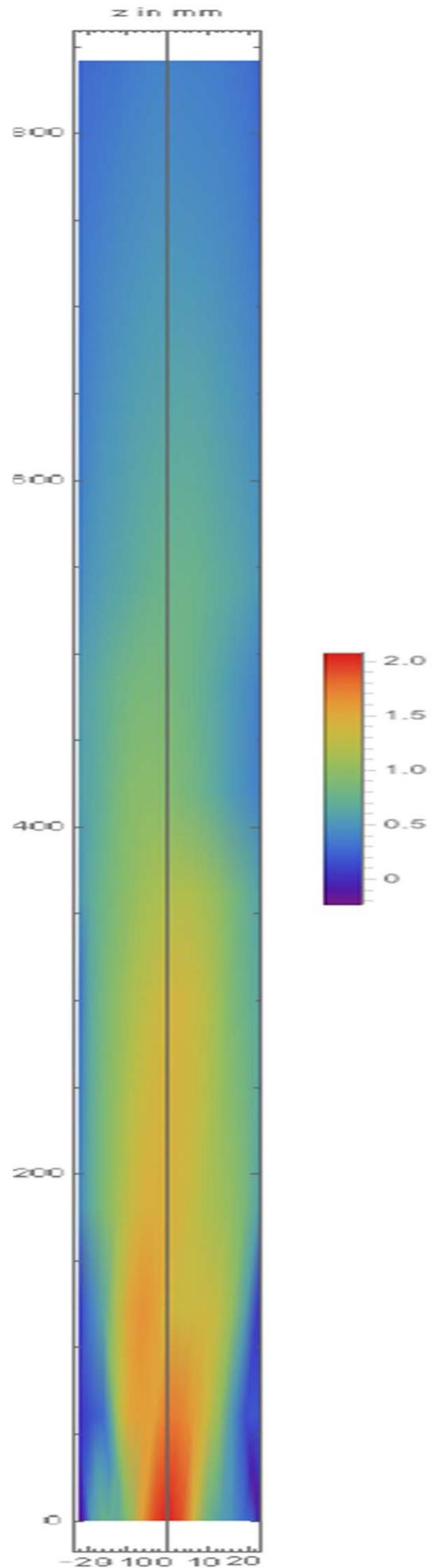
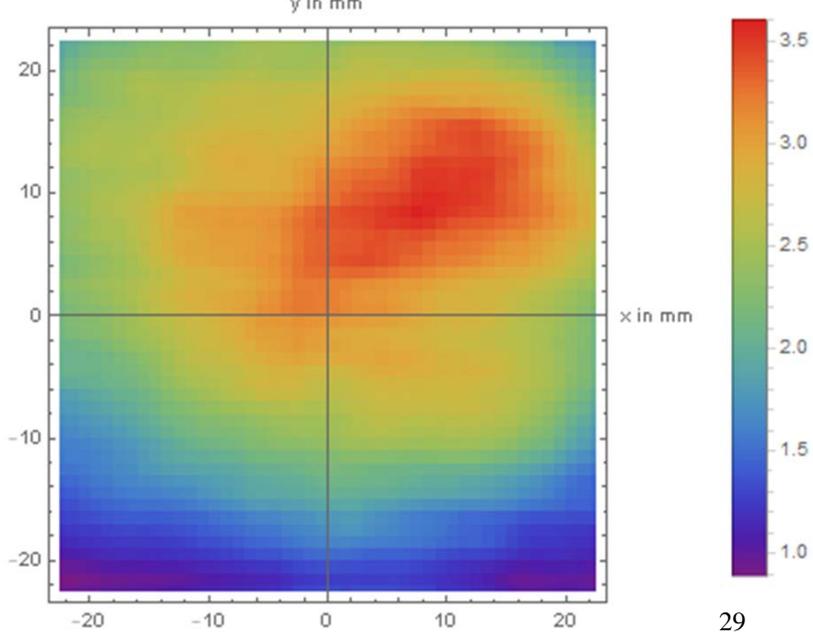
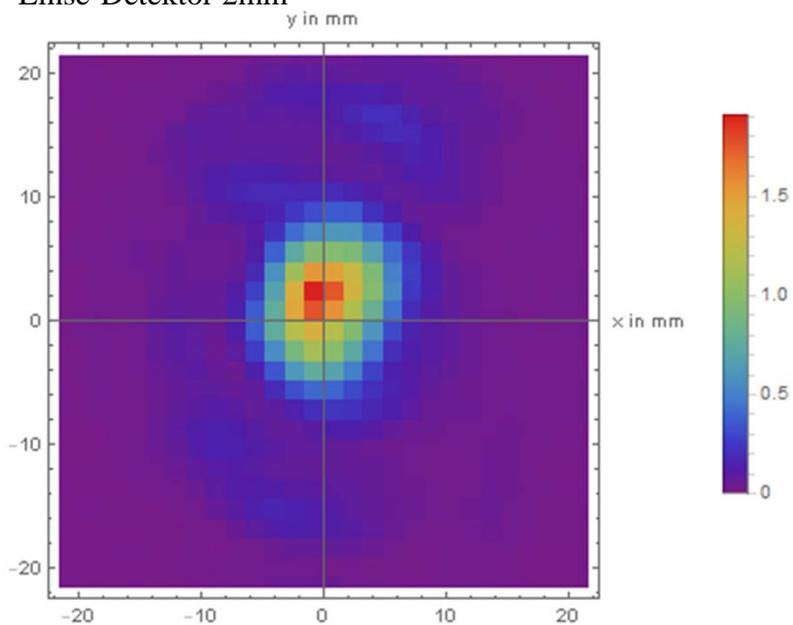
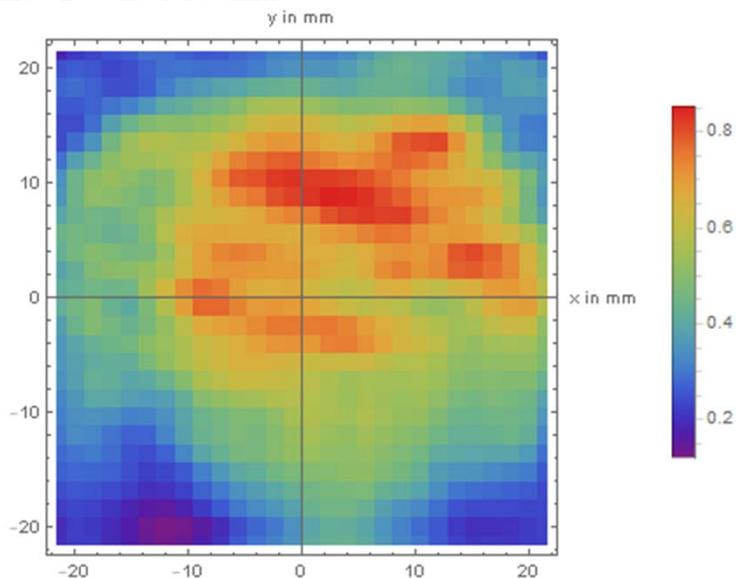


Abb. 14 und 15 Linse im Abstand von 2 mm

Linse-Detektor 2mm



Linse-Detektor 189mm



Linse-Detektor 739mm

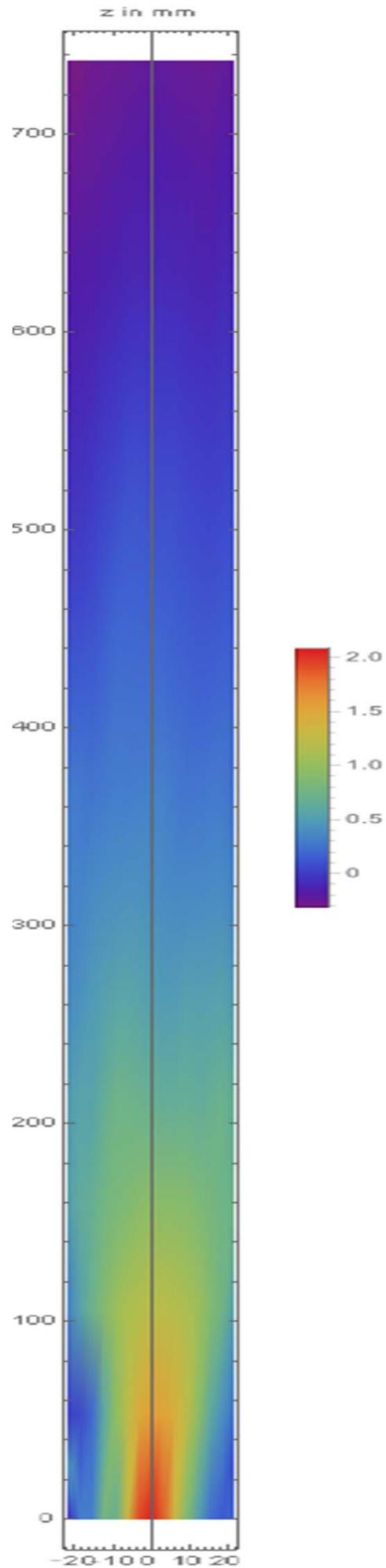
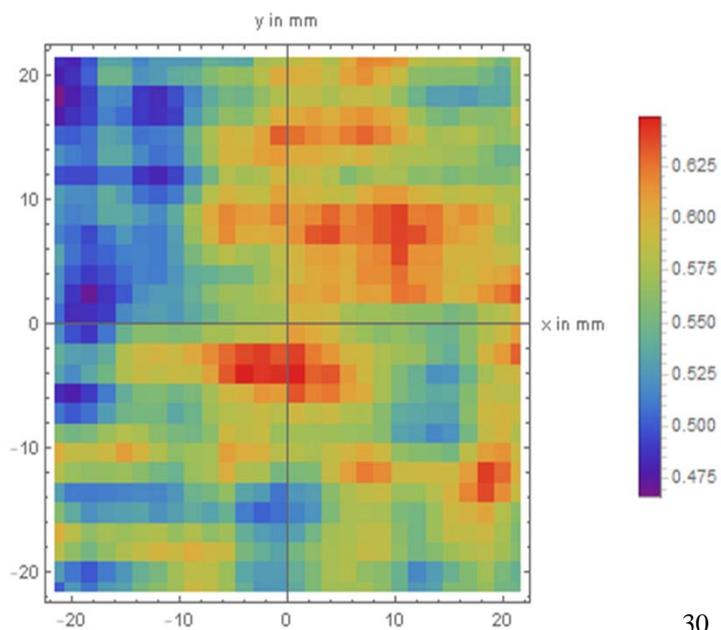
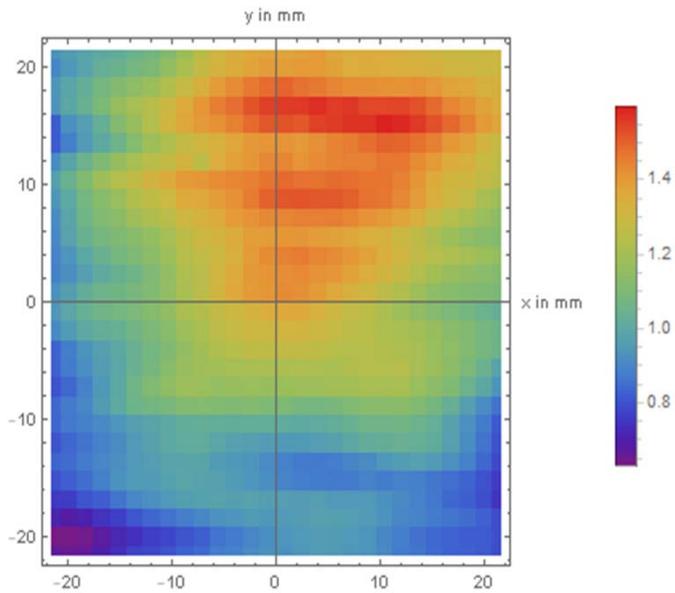
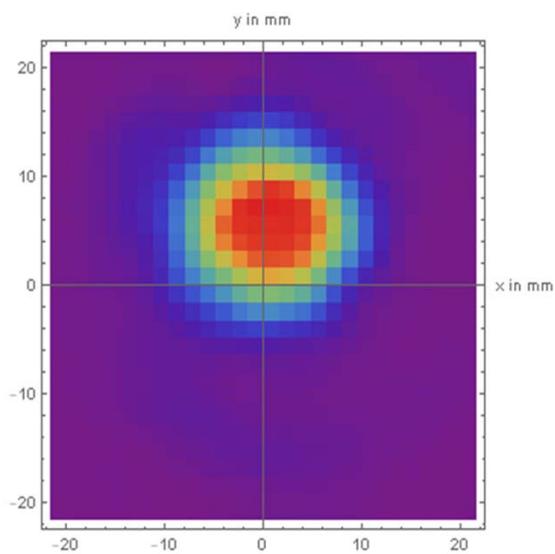


Abb. 14 und 15 Linse im Abstand von 44 mm

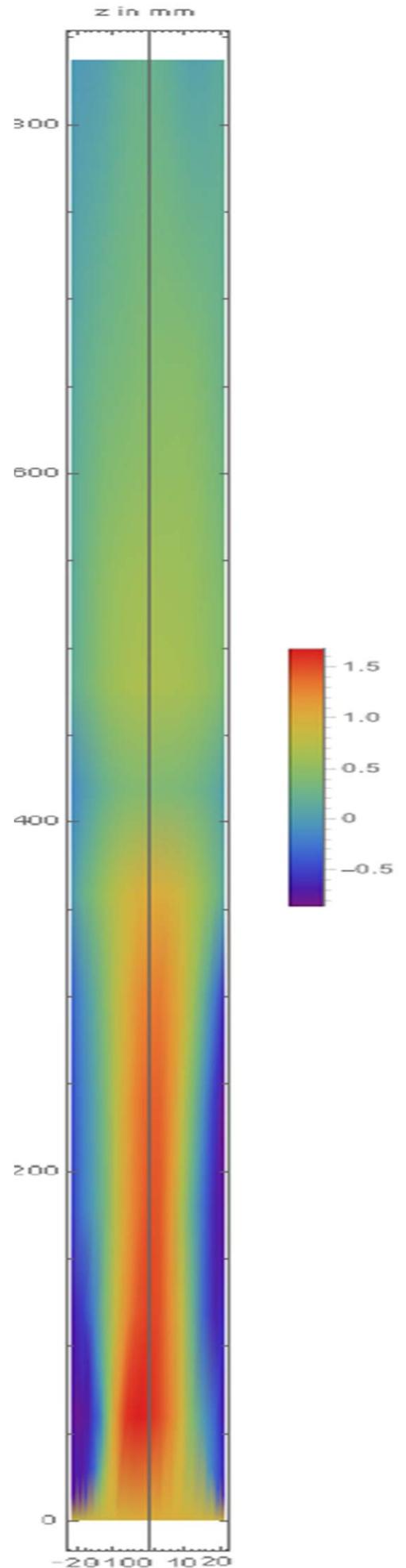
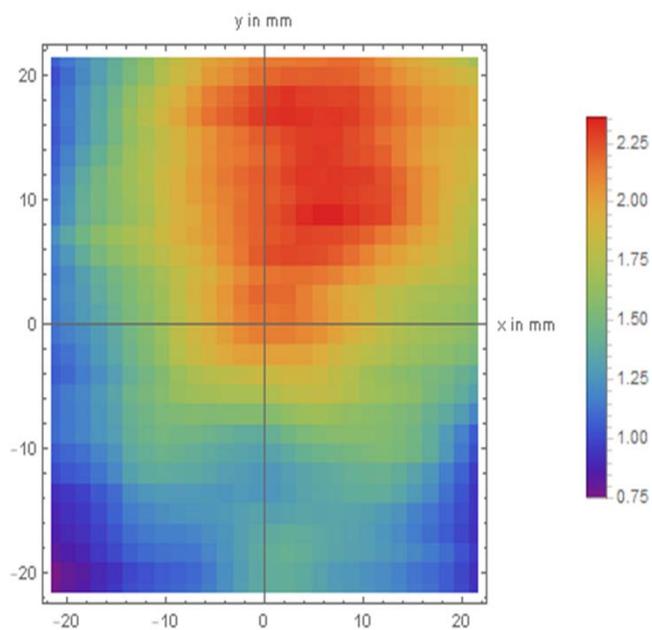
Linse-Detektor 2mm

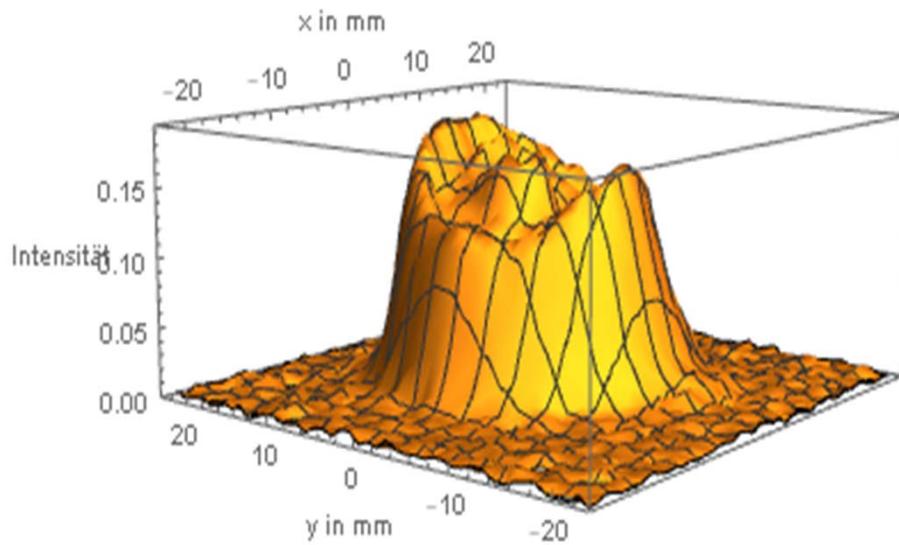


Linse-Detektor 189mm

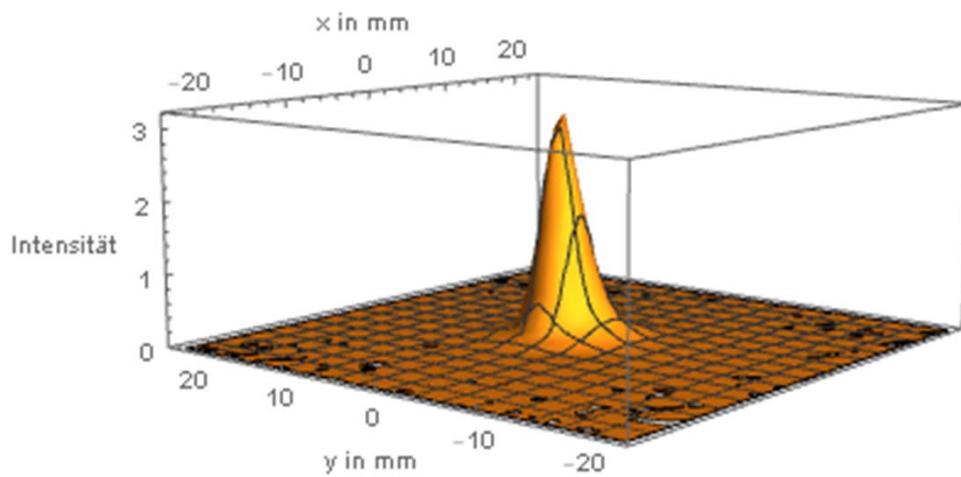


Linse-Detektor 739mm

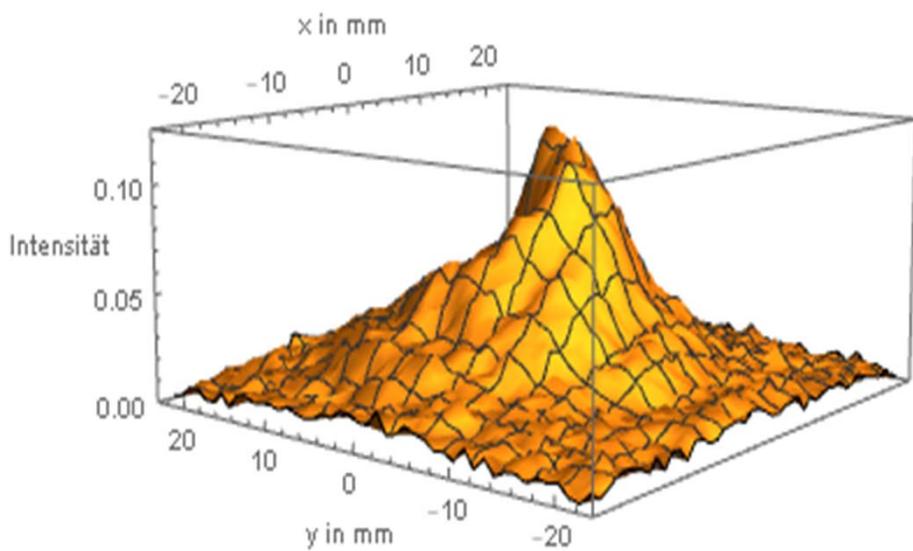




Abstand 5mm



Abstand 40mm



Abstand 125mm

Abb. 20: 3D Intensitätsbilder mit 2 Linsen

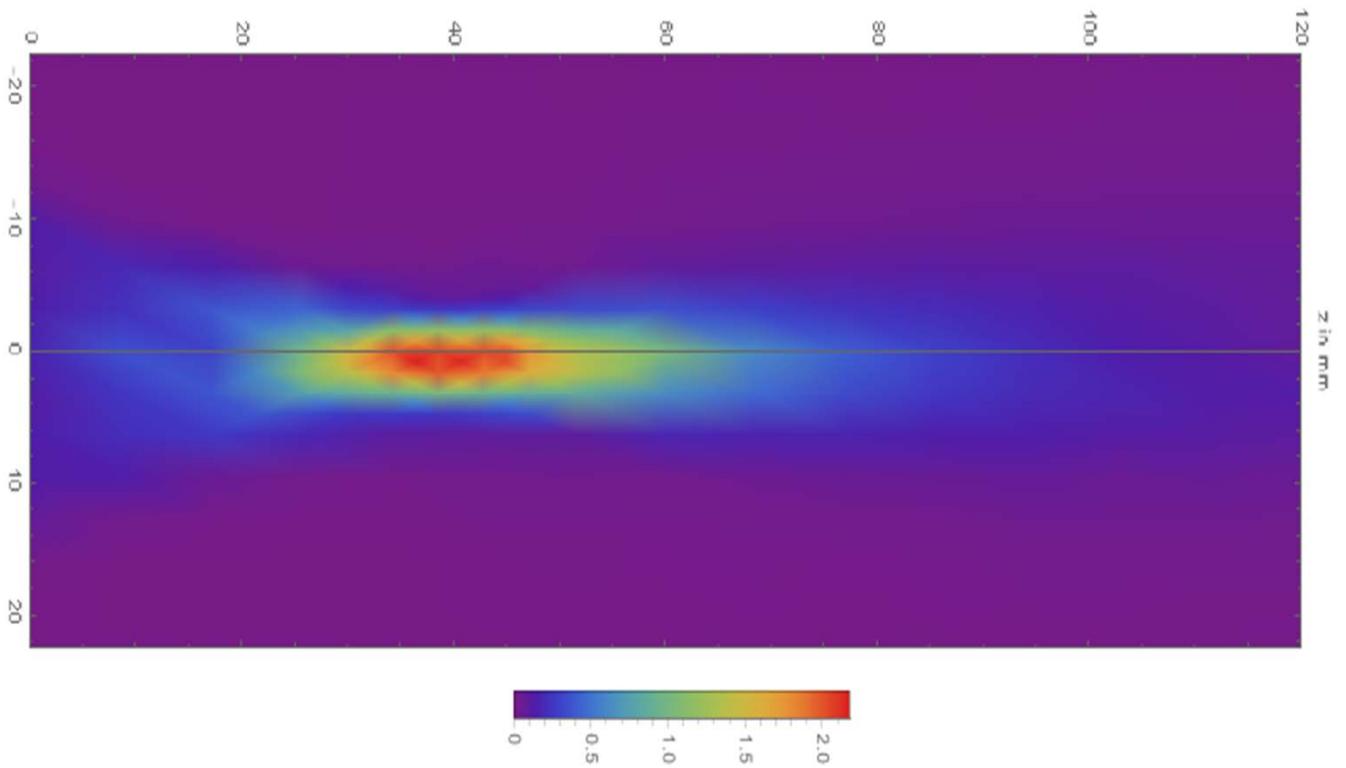


Abb. 21: 3D Intensität aller Messungen mit Schnitt durch die Mitte bei 2 Linsen

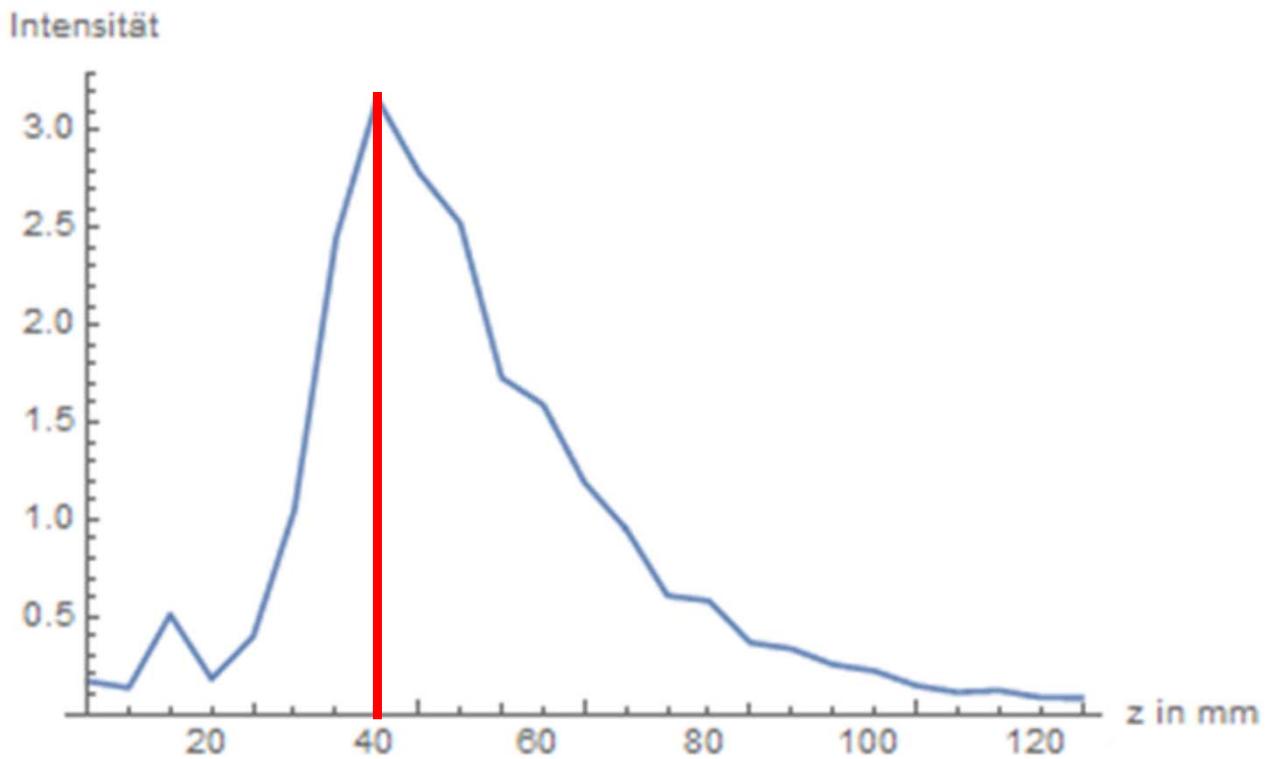


Abb. 22: 3D Intensität in Abhängigkeit von z ($x=0, y=0$) mit 2 Linsen