

Anfängerpraktikum der Fakultät für Physik



Versuch 19

Mikrowellen

Praktikant/in: Carlo von Carnap

Jakob Schlegel

Philipp Rademacher

E-Mail: carlo.voncarnap@stud.uni-goettingen.de

jakob.schlegel@stud.uni-goettingen.de

philipp.rademacher@stud.uni-goettingen.de

Tutor: Daniel Schöning

Durchführung: 22.11.2022

Abgabe: 29.11.2022

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Theorie	1
2.1 Elektromagnetische Wellen	1
2.2 Hohlraumresonator	1
2.3 Lecherleitung	2
3 Durchführung	2
3.1 Versuchsaufbau	2
3.2 Versuchsdurchführung	3
3.2.1 Wellenbestimmung an stehenden Mikrowellen	3
3.2.2 Mikrowellen in einer Lecherleitung	3
4 Auswertung	4
4.1 Bestimmung der Wellenlänge der abgestrahlten Mikrowellen	4
4.2 Bestimmung des Brechungsindexes von PVC	6
5 Diskussion	6
5.1 Bestimmung der Wellenlänge der abgestrahlten Mikrowellen	6
5.2 Feldstärkeverlauf entlang der Lecherleitung	6
5.3 Bestimmung des Brechungsindexes von PVC	7
Literaturverzeichnis	8

1 Einleitung

Als Mikrowellen werden im Allgemeinen elektromagnetische Wellen einer Wellenlänge zwischen einem und 300 mm bezeichnet. Bekannt ist der Name „Mikrowelle“ vor allem als der Name des gleichnamigen Küchengerätes, bei welchem die Moleküle in Lebensmitteln mittels einer stehenden Welle im Geräteinneren angeregt werden und damit die Nahrung erwärmt wird. Hierbei ist bei handelsüblichen Mikrowellen eine Wellenlänge von 12,25 cm gebräuchlich, welches 2450 MHz entspricht. [1] Unterhalb des Frequenzspektrums der Mikrowellen finden sich die längerwelligen Radiowellen, oberhalb beginnt mit dem infraroten Licht der nicht-sichtbare Bereich des optischen Spektrums.

In diesem Versuch soll die Wellenlänge einer stehenden Mikrowelle sowohl in Luft, als auch im PVC-Medium bestimmt werden. Die stehende Welle wird hierbei auf zwei verschiedene Arten - einmal über die Reflexion an einer Metallplatte und einmal mittels Lecherleitung - erzeugt und jeweils per E-Feld-Sonde gemessen.

2 Theorie

2.1 Elektromagnetische Wellen

Elektromagnetische Wellen bestehen sowohl aus einem elektrischen, als auch einem magnetischen Feld. Dabei sind die Eigenschaften elektromagnetischer Wellen lediglich abhängig von ihrer Wellenlänge und von der damit verbundenen transportierten Energie. [2] Stehen elektrischer und magnetischer Feldvektor senkrecht zueinander, spricht man von einer ebenen elektromagnetischen Welle. Der Wellenvektor k einer elektromagnetischen Welle steht senkrecht auf \vec{E} und \vec{B} . [3, S.196]

Trifft eine elektromagnetische Welle der Form $\vec{E}_{\text{ein}}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz)$ mit der Polarisierung und Amplitude $\vec{E}_0 = \{E_{0x}, 0, 0\}$, der Frequenz ω und der Wellenzahl k nun auf eine leitende Oberfläche bei $z = 0$, so wird diese reflektiert mit $\vec{E}_{\text{ges}}(z = 0, t) = 0$ [3, S.203]. Mit

$$\vec{E}_{\text{refl}}(x = 0, t) = -\vec{E}_{\text{ein}}(x = 0, t)$$

ergibt sich für die Gesamtwellen \vec{E}_{ges} durch Superponieren der eingehenden und reflektierten Welle die stehende Welle [3, S.203]

$$\vec{E}_{\text{ges}} = \vec{E}_{\text{refl}} + \vec{E}_{\text{ein}} = 2\vec{E}_0 \sin(kx) \cdot \sin(\omega t). \quad (1)$$

2.2 Hohlraumresonator

Im Inneren eines hohlen Quader der Kantenlängen a, b und c können sich stehende, elektromagnetische Wellen ausbilden. Mit einem Koordinatensystem mit Ursprung in einem der Eckpunkte, sowie seinen Achsen auf den Kanten des Quaders, verschwinden auf den Rändern jeweils die Tangentialkomponenten des Feldes. In einem solchen Hohlraumresonator bildet sich eine stehende Welle mit Wellenvektor

\vec{k} genau dann aus, wenn

$$k = \begin{bmatrix} n\pi/a \\ m\pi/b \\ q\pi/c \end{bmatrix}, \quad n, m, q \in \mathbb{Z}$$

erfüllt ist. Hieraus folgt entsprechend der Betrag des Wellenvektors als [3, S.204]

$$|k| = \pi \sqrt{\frac{n^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} + \frac{q^2}{c^2}}. \quad (2)$$

2.3 Lecherleitung

Zwei parallel verlaufende Drähte, die an einem Ende kurzgeschlossen sind nennt man Lecherleitung. Bringt man diese Vorrichtung in ein elektromagnetisches Feld, so treten innerhalb der Leitung stehende elektromagnetische Wellen auf. Dies lässt sich anhand des Spannungsverlaufs und des Stromverlaufs entlang der Leitung messen. Ersteres kann mithilfe einer Glühlampe realisiert werden, während die Stromverteilung über ihr Magnetfeld mit einer Induktionsspule gemessen wird. Bei dieser Vorgehensweise wird festgestellt, dass die Spannung am offenen Ende ein loses Ende darstellt, also ein Spannungsbauch vorliegt, während an dem kurzgeschlossenen Ende keine Spannungsänderung gemessen wird, also ein Spannungsknoten vorliegt. Für die Stromverteilung gilt dementsprechend das Gegenteil. [3, S.211]

3 Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

Für den in zwei Teilen durchzuführenden Versuch sind ein Gunn-Oszillator mit Hornantenne, eine Sonde zur Messung des elektrischen Feldes, ein Spannungsmessgerät und ein Maßstab wie in Abbildung 1 aufzubauen. Für den ersten Versuchsteil (links) werden zusätzlich eine Metallplatte und eine PVC-Platte benötigt, während beim zweiten Versuchsteil (rechts) lediglich eine Lecherleitung zum Versuchsaufbau hinzugefügt wird.

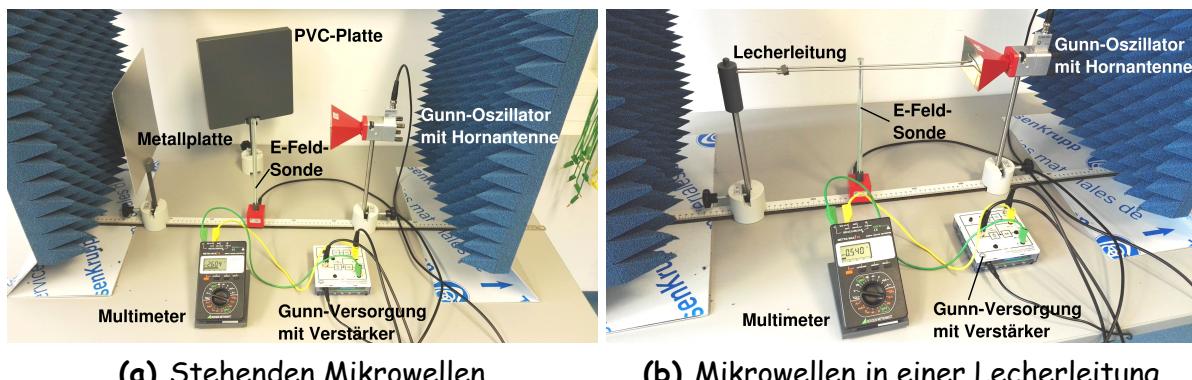


Abbildung 1: Aufbau zum ersten (links) und zweiten (rechts) Versuchsteil. [4]

3.2 Versuchsdurchführung

Bei diesem Versuch sollte darauf geachtet werden, dass äußere Einflüsse, wie dem Versuchsaufbau zu nahe stehende Personen und Gegenstände möglichst reduziert werden.

Zunächst sind der Gunn-Oszillator mit der Gunn-Versorgung und die Sonde zur Messung der elektrischen Feldstärke, sowie das Spannungsmessgerät mit dem Verstärker zu verbinden. Zum Einstellen der Modulationsfrequenz wird die Sonde mittig vor die Hornantenne gestellt und die Frequenz der Mikrowellen so gewählt, dass ein maximaler Ausschlag gemessen wird.

3.2.1 Wellenbestimmung an stehenden Mikrowellen

Bei diesem ersten Versuchsteil wird die Metallplatte in einem Abstand von 200 mm zu der Hornantenne aufgestellt (siehe Abbildung 1). Nun ist die elektrische Feldstärke in Schritten von 5 mm von 50 mm vor der Hornantene bis zu 50 mm vor der Metallplatte zu messen. In den Umgebungen von je fünf zu erkennenden Maxima und Minima ist die Feldstärke in feineren Schritten zu messen.

Nach Vergrößerung des Abstandes zwischen Metallplatte und Hornantenne wird die Position eines Minimums der Feldstärke notiert. Nun ist zwischen Metallplatte und Hornantenne die PVC-Platte zu stellen und die Sonde zur Messung der elektrischen Feldstärke zur PVC-Platte zu verschieben, um die Position des Minimums zu bestimmen.

3.2.2 Mikrowellen in einer Lecherleitung

Mithilfe des Kurzschlussbügels ist in diesem zweiten Versuchsteil die Lecherleitung wie in Abbildung 1 zu befestigen. Die am Ende der Lecherleitung angebrachte Induktionsschleife wird in die Hornantenne eingeführt.

Über die gesamte Länge der Lecherleitung wird nun in Schritten von 2 mm die Feldstärke gemessen.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Wellenlänge der abgestrahlten Mikrowellen

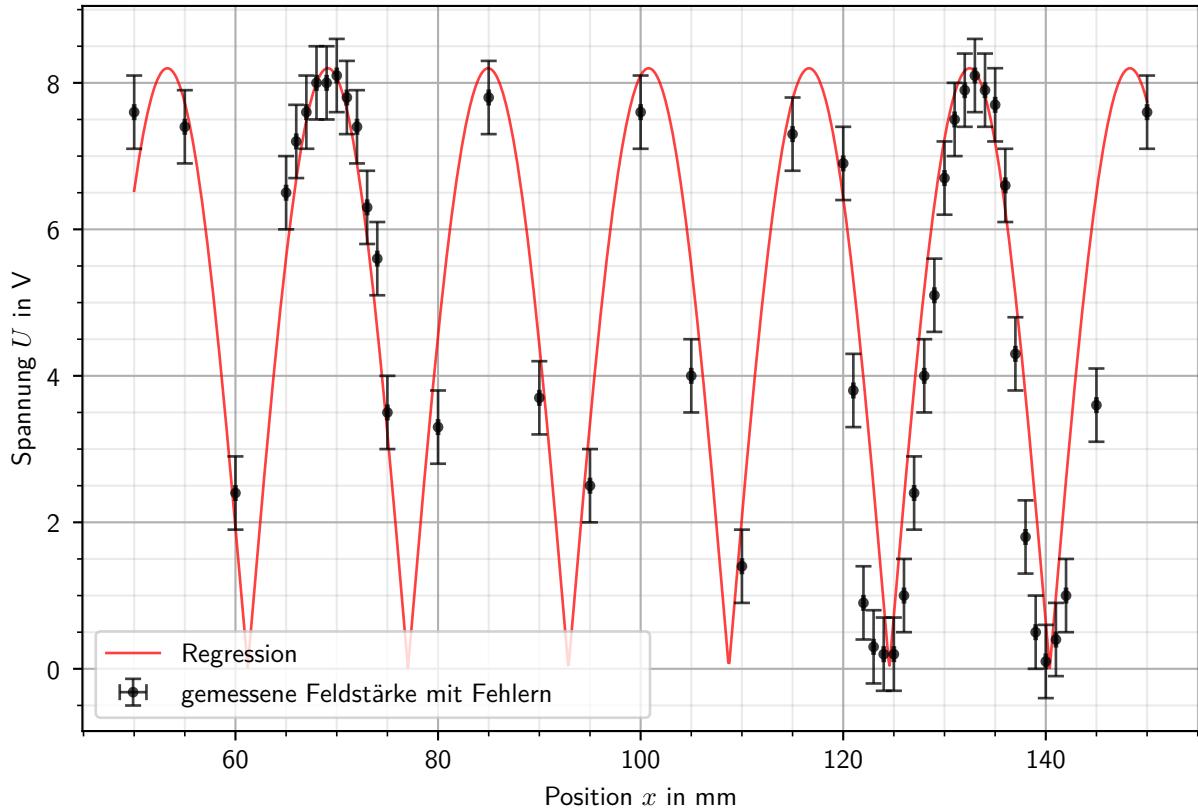


Abbildung 2: Bestimmung der Wellenlänge an stehenden Mikrowellen über die Auftragung der zur Feldstärke E proportionalen Spannung U für verschiedene Abstände zur Hornantenne. Für die Fitfunktion ergeben sich folgende Parameter $U_0 = (4,100 \pm 0,013) \text{ V}$, $k = (0,1983623 \pm 0,0000012) \text{ 1/mm}$ und $\varphi_0 = (49,839 \pm 0,014)$, wobei m und b auf null festgelegt wurden.

In Abbildung 2 und Abbildung 3 ist die Spannung U , die proportional zur elektrischen Feldstärke E ist in Abhängigkeit zur Position x aufgetragen. Bei dem ersten wurde dabei als Medium Luft gewählt, während bei zweiterem eine Lecherleitung verwendet wurde. Für die Regression wurde nach Gleichung 1 in beiden Fällen der Ansatz

$$U = |2U_0 \sin(kx - \varphi_0)| + mx + b$$

gewählt, wobei U_0 die Amplitude, k die Wellenzahl, φ_0 eine etwaige Verschiebung entlang der Abszisse, m die Steigung und b den Ordinatenabschnitt bezeichnen.

Zur Berechnung der Wellenlänge λ_{exp} kann der Zusammenhang $k = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{exp}}}$ genutzt werden, wobei der aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung resultierende Fehler wie folgt berechnet wird

$$\sigma_{\lambda_{\text{exp}}} = \sigma_k \frac{2\pi}{k^2}. \quad (3)$$

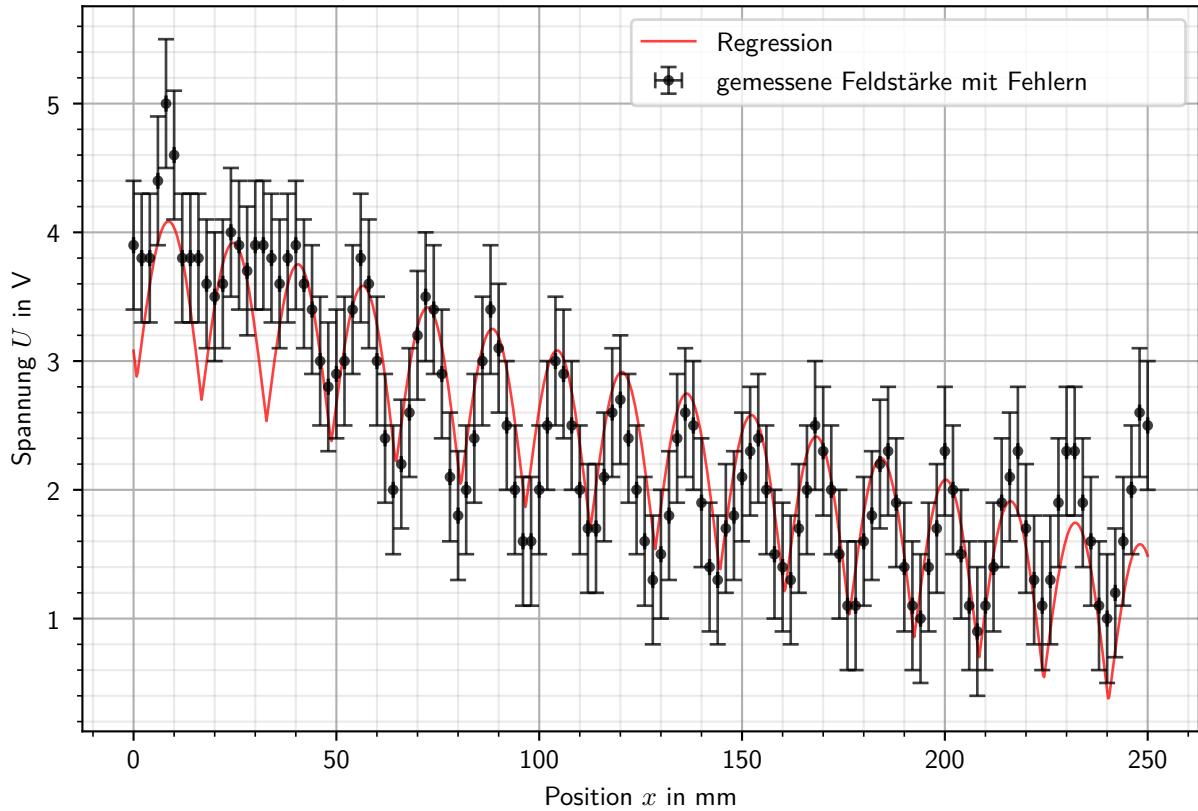


Abbildung 3: Bestimmung der Wellenlänge mittels Lecherleitung über die Auftragung der zur Feldstärke E proportionalen Spannung U für verschiedene Positionen auf der Leitung. Für die Fitfunktion ergeben sich die Parameter $U_0 = (0.654 \pm 0,004) \text{ V}$, $k = (0.1967407 \pm 0.0000003) \frac{1}{\text{mm}}$, $\varphi_0 = (50,427 \pm 0,006)$, $m = (-0.0104750 \pm 0.0000003) \frac{\text{V}}{\text{mm}}$ und $b = (2.870 \pm 0.011) \text{ V}$.

Mithilfe der Dimensionen des Hohlraumresonators lässt sich die Wellenlänge theoretisch berechnen. Hierfür verwenden wir Gleichung 2 zusammen mit $k = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{theo}}}$, vernachlässigen die Höhe und nehmen die niedrigstmögliche Frequenz an. Somit erhalten wir für die theoretische Wellenlänge λ_{theo} mit der Breite l_B und der Länge l_L des Hohlraumresonators den Zusammenhang

$$\lambda_{\text{theo}} = 2 \left(\frac{1}{l_B^2} + \frac{1}{l_L^2} \right)^{-\frac{1}{2}},$$

wobei der aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung resultierende Fehler wie folgt berechnet werden kann

$$\sigma_{\lambda_{\text{theo}}} = \sqrt{\sigma_{l_B}^2 \left(\frac{2}{l_B^3 \left(\frac{1}{l_B^2} + \frac{1}{l_L^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right)^2 + \sigma_{l_L}^2 \left(\frac{2}{l_L^3 \left(\frac{1}{l_B^2} + \frac{1}{l_L^2} \right)^{\frac{3}{2}}} \right)^2}.$$

In Tabelle 1 sind die resultierenden Ergebnisse für die experimentell und theoretisch bestimmte Wellenlänge eingetragen.

Tabelle 1: Bestimmte Wellenlänge für experimentelle und theoretische Bestimmungsart

Bestimmungsart	Wellenlänge λ in mm
experimentell (Luft)	$31,67530 \pm 0,00020$
experimentell (Lecherleitung)	$31,93638 \pm 0,00005$
theoretisch	$31.80 \pm 0,21$

4.2 Bestimmung des Brechungsindex von PVC

In diesem Versuchsteil soll der Brechungsindex von PVC bestimmt werden. Dafür wurden die Position eines Minimums ohne ($x_0 = (144 \pm 0,5)$ mm), sowie mit PVC-Platte ($x_{PVC} = (142 \pm 0,5)$ mm) bestimmt. Die Dicke der PVC-Platte wurde im Handbuch als $d = 20$ mm beziffert und als nicht fehlerbehaftet angenommen. Zunächst wird das Differenzdelta Δx der Minima bestimmt als

$$\Delta x = x_{PVC} - x_0 = (-2,0 \pm 1,5) \text{ mm},$$

wobei der aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung resultierende Fehler wie folgt berechnet werden kann

$$\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\sigma_{x_{PVC}}^2 + \sigma_{x_0}^2}.$$

Daraus folgt der Brechungsindex n als

$$n = \frac{\Delta x}{d} + 1 = 0,90 \pm 0,08$$

mit dem Fehler $\sigma_n = \sigma_{\Delta x}/d$.

5 Diskussion

5.1 Bestimmung der Wellenlänge der abgestrahlten Mikrowellen

Die mithilfe von Tabelle 1 experimentell bestimmten Werte der Wellenlänge befinden sich sowohl bei Bestimmung mittels Reflexion als auch mittels Lecherleitung in der ersten σ -Umgebung des theoretisch ermittelten Wertes. Die der experimentell bestimmten Werte sind wahrscheinlich deutlich höher, denn der angegebene Fehler ist der Fehler der Fitfunktion an die Messpunkte. Hierbei wird der Fehler der Messpunkte nicht berücksichtigt, obwohl dieser beträchtlich ist. Auch für den theoretisch ermittelten Wert ist der Fehler eventuell höher als angegeben. Hier wurde die Höhe des Hohlraumresonator vernachlässigt, was im Fehler nicht berücksichtigt wurde.

5.2 Feldstärkeverlauf entlang der Lecherleitung

Die proportional zur elektrischen Feldstärke E verlaufende Spannung U weist wie in Abbildung 3 zu erkennen Ungenauigkeiten für geringen Abstand zur Hornsonde

auf. Erst ab einem Abstand von ungefähr 50 mm fällt auf, dass der Verlauf zu dem Betrag einer Sinusfunktion passt. Diese Ungenauigkeit ist darauf zurückzuführen, dass sich das Ablesen der stark schwankenden Werte für die Spannung als schwierig erwiesen hat. Mit zunehmendem Abstand hat die Routine dafür gesorgt, dass die Werte konsistenter abgelesen wurden.

Eindeutig zu erkennen ist, dass besagte Sinusfunktion mit zunehmendem Abstand abnimmt. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Welle kugelsymmetrisch streut, die Intensität auf der Lecherleitung wird also geringer. An der Fitfunktion ist hierbei zu kritisieren, dass ihre Genauigkeit durch eine hinzugefügte Gerade zwar erhöht wurde, die Intensität aber nicht linear zu fallen scheint. Anstatt von einer Geraden könnte also ein antiproportionaler Zusammenhang genutzt werden, um die Genauigkeit noch zu erhöhen. Da dies jedoch nur wenig an der Wellenzahl ändert wurde hier darauf verzichtet.

Insgesamt ist eine generelle Ungenauigkeit durch die Empfindlichkeit des elektrischen Feldes zu erwähnen. So wird das Feld durch elektrische Geräte oder sich bewegende Personen beeinflusst. Ebenfalls kann nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Praktikumsteilnehmer auch während des unbewegten Sitzvorganges im Besitz eines Polari-Energie-Pen des Typs „Bio-Quantenmatrix“ zum Preis von nur 49,99€ waren. Solche Lichtquanten-Impulsgeber strahlen nach Herstellerangaben vermutlich Oregonenergie ab und können daher möglicherweise vorhandene Energiefelder verstärken, sowie Informationen und Energie auf die Materie potenzieren. [5]

5.3 Bestimmung des Brechungsindexes von PVC

Ein Literaturwert der Brechungsindexe von PVC ist $n = 1.54$ [6]. Damit befindet sich dieser nur in der achten σ -Umgebung des von uns bestimmte Werts. Auffällig ist das der von uns bestimmte Brechungsindex kleiner als eins ist, was physikalisch widersprüchlich ist. Eine Erklärung kann sein, das nicht zwei mal der gleiche Knotenpunkt gemessen wurde. Wiederholt man die Auswertung mit der Annahme, die zweite Messung den vorherigen Knotenpunkt misst und somit ist die Position des Minimums mit der halben Wellenlänge verschoben, erhalten wir mit Verwendung der theoretische Ermittelten Wellenlänge einen Brechungsindex 1.70 ± 0.08 . Der Literaturwert liegt in der zweiten σ -Umgebung dieses Werts, was eine erhebliche Verbesserung darstellt.

Literatur

- [1] HEA-Fachgemeinschaft. **Fachwissen Mikrowellen**. url: <https://www.hea.de/fachwissen/mikrowellen/energietransport> (besucht am 18.11.2022).
- [2] chemie.de. **Elektrmagnetische Wellen**. url: https://www.chemie.de/lexikon/Elektrmagnetische_Welle.html (besucht am 21.11.2022).
- [3] Wolfgang Demtröder. **Experimentalphysik 2 - Elektrizität und Optik. 7. Auflage**. Berlin und Heidelberg: Springer Spektrum, 2017. doi: 10.1007/978-3-662-55790-7.
- [4] Peter Schaaf. **Lehrportal Uni Göttingen. Mikrowellen**. url: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/8269> (besucht am 16.11.2022).
- [5] Universeller Geist ELION ABA RAMA GOTT ATMANN BUDDHA. **Life Bio. Teslaantenne, Hausharmonie, EMF-Schutz 5G**. url: <https://www.life-bio.de/bio-resonanz-produkte/> (besucht am 28.11.2022).
- [6] Polivynil chloride. url: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_DE_CB8294089.htm (besucht am 28.11.2022).