

# Demonstrationsversuche



## Versuch VAD\_Regensensor

—

### **Totalreflexion und Interferenz von Licht**

Christian Schlatow  
(christianschlatow@gmx.net)

09.11.2007



# Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis .....	2
<b>1</b>	<b>Versuchsbeschreibung .....</b>	<b>3</b>
1.1	Notwendigen Geräte.....	3
1.2	Beschreibung .....	3
<b>2</b>	<b>Auswertung .....</b>	<b>5</b>
2.1	Beschreibung der Durchführung.....	5
2.2	Messdaten .....	6
2.3	Auswertung.....	8
<b>3</b>	<b>Fehlerdiskussion .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Reflexion / Alternativen.....</b>	<b>9</b>



# 1 Versuchsbeschreibung

## 1.1 Notwendigen Geräte

Für den Versuch wird benötigt:

- Lichtquelle (am besten Laserlicht, z.B. Laserpointer)
- Photodiode mit Spannungsmessgerät (U-I-Sensor für XPlorer-GLX) oder Lichtsensor für XPlorer-GLX (mit Zubehör)
- Halbkreiskörper (aus Glas)
- Metallplatte
- Stativmaterial
- wahlweise PC mit USB-Anschluss (für direktes Auswerten der vom XPlorer-GLX gesammelten Daten)
- Krokodilklemme (optional)
- Pipette, Glasgefäß
- Wasser (optional auch Spiritus)

## 1.2 Beschreibung

Licht tritt senkrecht zur Oberfläche des Glaskörpers in diesen ein und wird somit nicht abgelenkt. Am der oberen Fläche würde der Lichtstrahl nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_L}{n_G} \quad (1.1)$$

„vom Lot weg“ gebrochen werden, da es vom optisch dichteren Medium Glas ( $n_G$ ) in das optisch dünnere Medium Luft ( $n_L < n_G$ ) übertritt. Für den gebrochenen Winkel gilt nach (1.1)

$$\sin \alpha = \frac{n_L}{n_G} \sin \beta . \quad (1.2)$$

Da  $\sin \beta$  maximal eins wird, kann ab einem gewissen Winkel  $\alpha$  - d.i. wenn  $\sin \beta = 1$  würde und somit für  $\alpha$  gilt:  $\sin \alpha \leq n_L/n_G$  - diese Gleichung nicht mehr erfüllt werden und es tritt die sog. Totalreflexion auf, sodass das Licht einfach am Lot gebrochen wird.<sup>1</sup>

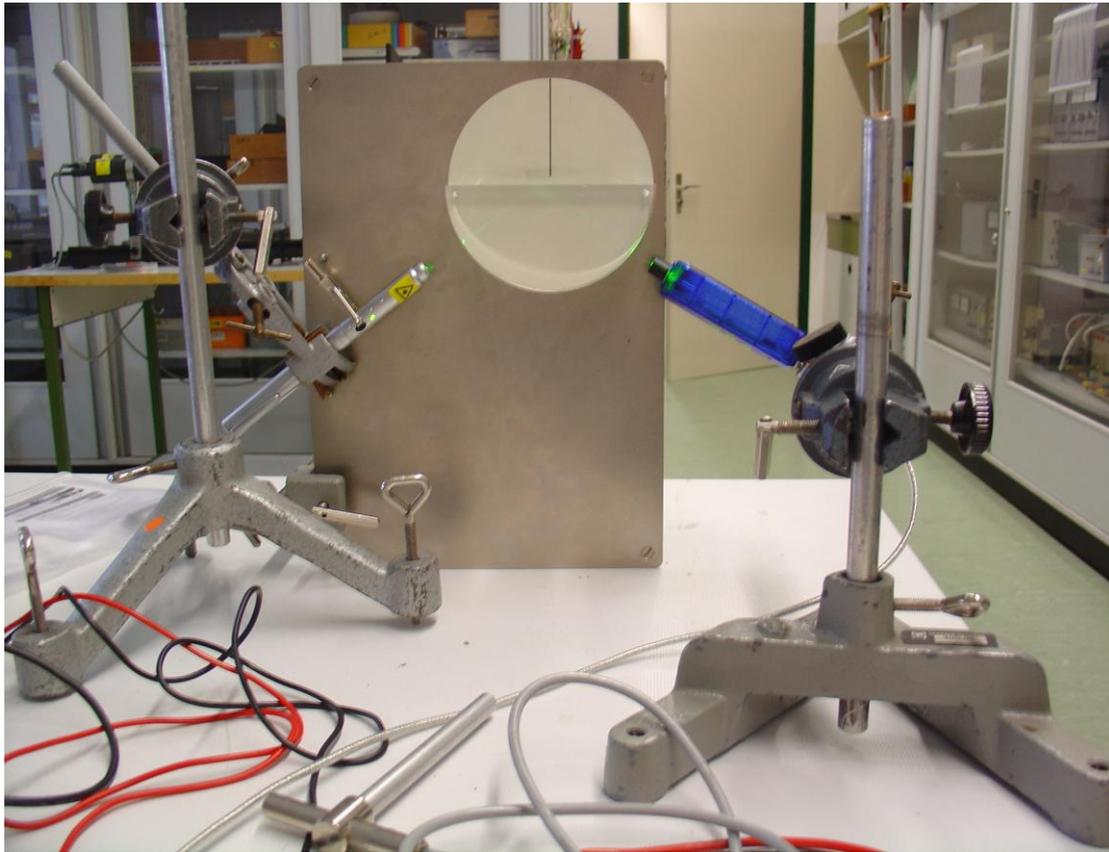
Verändert man nun jedoch die optische Dichte des äußeren Mediums kann der Lichtstrahl wieder an der Oberfläche gebrochen werden und es wird weniger Licht in den Glaskörper reflektiert; dies realisiert man zum Beispiel durch das Aufbringen von Wasser, was ein höhere optische Dichte hat als Luft.

Durch eine Lichtsensor kann man daher feststellen, sich zum Beispiel Wasser auf dem Glaskörper befindet oder nicht, da ohne Wasser Totalreflexion auftritt und die Intensität des Lichts, das in den Glaskörper zurück reflektiert wird, somit sehr stark ist, während beim Vorhandensein von Wasser, o.ä. die Intensität des reflektierten Strahls zugunsten des transmittierten Strahls, der gebrochen wird, abnimmt.

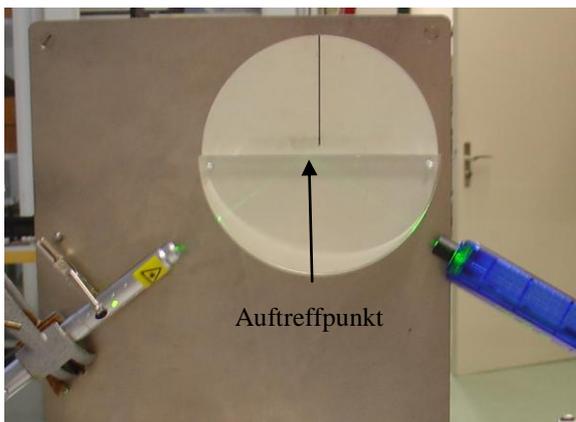
Der Aufbau des Versuchs ist in Abb.1.1 zu sehen.

<sup>1</sup> Dies wird u.a. auch bei den Glasfaserkabeln verwendet, wo die optische Dichte des Glases nach außen hin abnimmt und der Lichtstrahl somit „an den Wänden reflektiert“ wird.

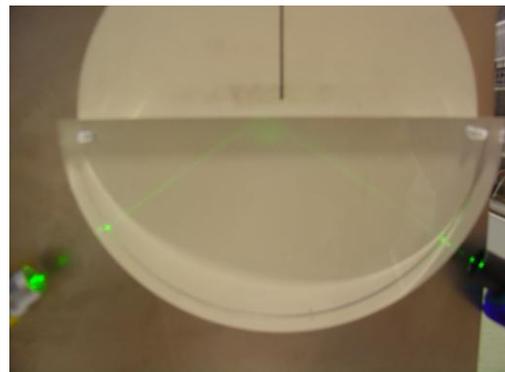




a)



b)



c)

**Abb.1.1** (a) Versuchsaufbau. (b) und (c) Verlauf des Lichtstrahls

Auf der linken Seite befindet sich die Lichtquelle (hier: ein Laserpointer, der mit einer Krokodilklemme auf Dauerbetrieb geschaltet ist, grünes Laserlicht), in der Mitte ist der halbreisförmige Glaskörper zu sehen und auf der rechten Seite der Lichtsensor. In der Abbildung ist der Fall der Totalreflexion ganz leicht zu erkennen, der Lichtsensor misst die maximale Intensität.



## 2 Auswertung

### 2.1 Beschreibung der Durchführung

Der Aufbau des Versuchs war nicht allzu schwer. Es schien von vornherein als praktischer den Versuch auf einem Experimentiertisch denn der Tafel zu installieren, wozu der Halbkreiskörper auch verwendet werden kann, da dieser magnetisch ist. Die Stative für die Lichtquelle und der Lichtsensors (resp. der Photodiode) mussten selbst „angefertigt“ werden.

Zuerst wurde grünes Laserlicht verwendet und eine Photodiode als Sensor benutzt, die eine Spannung lieferte, welche mit dem U-I-Sensor auf dem PC sichtbar gemacht wurde. Die Tatsache, dass Laserlicht verwendet wurde, ermöglichte sogar den Betrieb bei normalem Tagesbetrieb.

Der oben beschriebene Effekt (verminderte Totalreflexion bei Vorhandensein von Wasser) wurde durch eine Spannungsveränderung von circa 0,1V sehr gut zu erkennen, s. Abb.2.1. Hiermit ließe sich – möglicherweise durch eine Zwischenschaltung eines Spannungsverstärkers – schon ein Elektromotor schalten. Es wurde auch versucht durch „Verwischen“ die Wassermenge auf dem Glaskörper zu minimieren und so die Intensität der transmittierten (gebrochene) Intensität zu verringern.

Des Weiteren wurde anstelle der Photodiode (PD) der Lichtsensor verwendet, der sich ja prinzipiell nicht von der PD unterscheidet.

Der Versuch wurde nun mit dem neuen Sensor wiederholt (ohne Abb.), welches das gleiche Ergebnis lieferte: Wenn kein Wasser vorhanden war ist die Intensität des reflektierten Strahl größer (also die Intensität des transmittierten Strahls geringer, s. Abb.2.2) als bei Vorhandensein von Wasser im Auftreffpunkt auf dem Glaskörper (da dann mehr transmittiert wird, s. Abb.2.1).

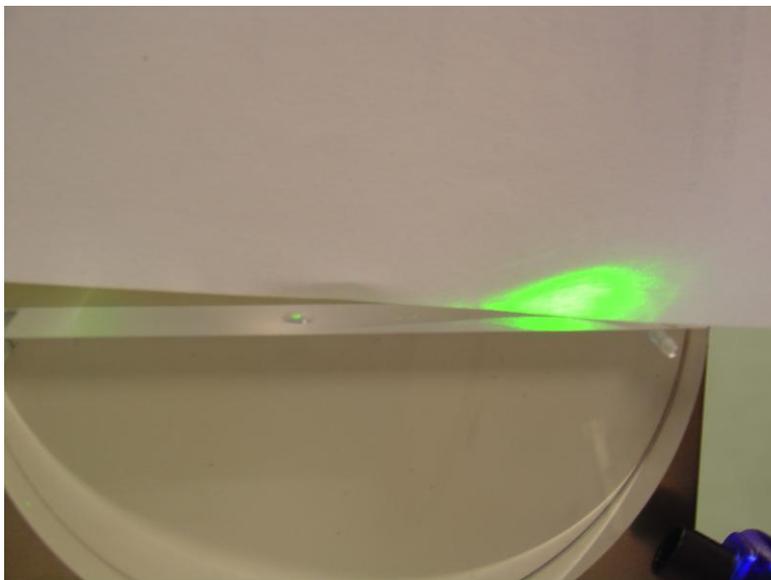
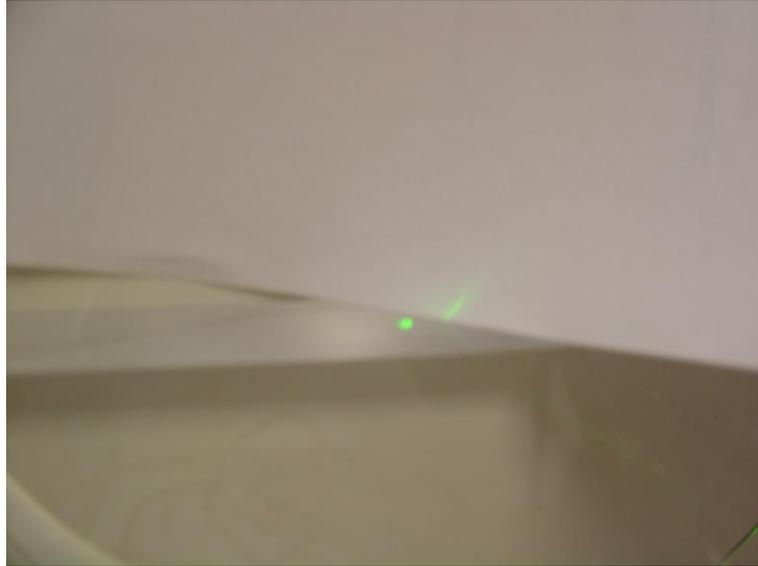


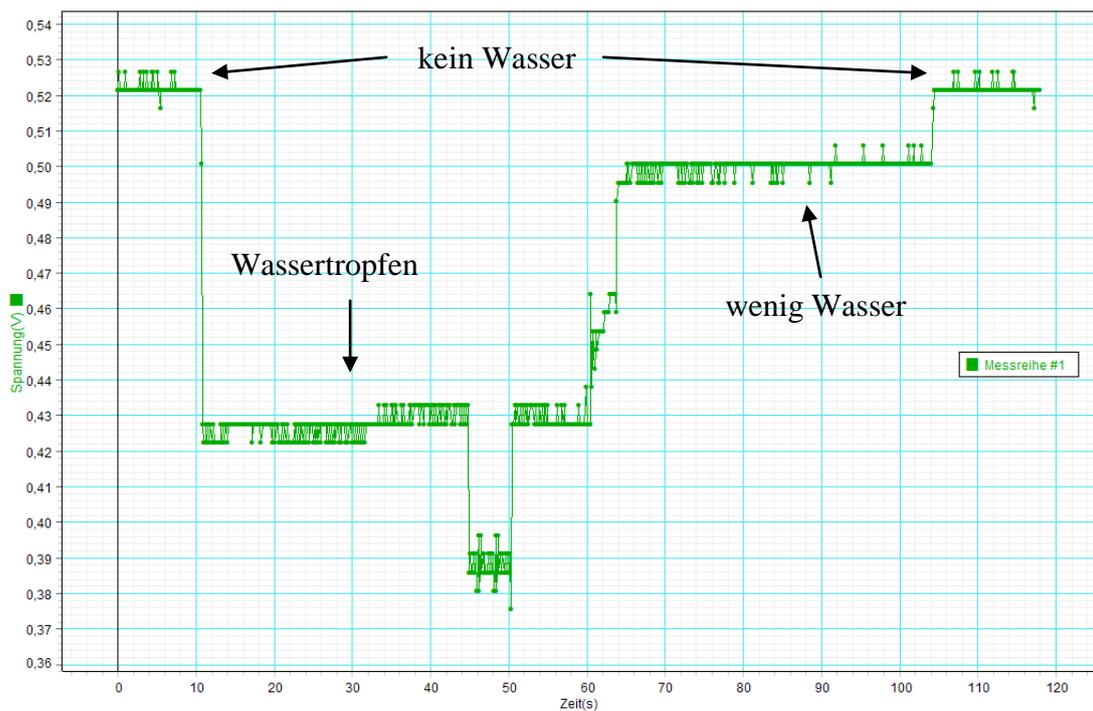
Abb.2.1 Transmittierter Lichtstrahl bei Anwesenheit eines Flüssigkeitstropfens



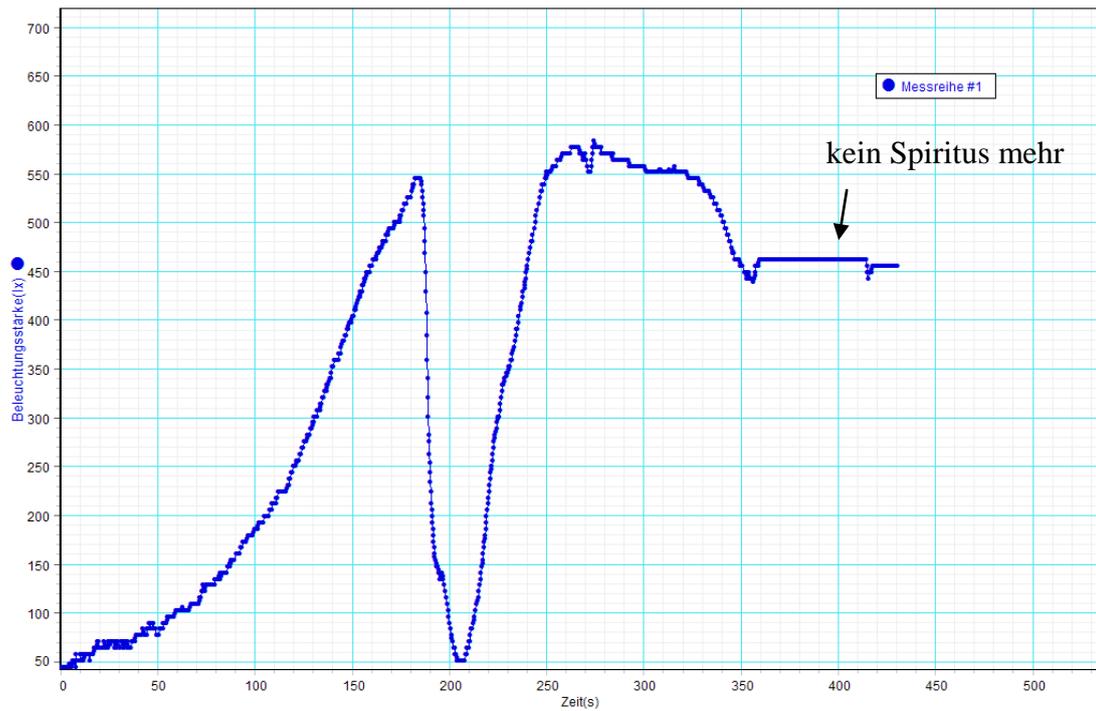
**Abb.2.2** Geringe Transmission beim Übergang Glas-Luft (keine Flüssigkeit auf dem Glaskörper)

Weiterhin wurde der Versuch nun so abgewandelt: Um die Abhängigkeit der transmittierten (und somit auch der reflektierten) Intensität von der Flüssigkeitsmenge besser zu untersuchen, wie es ansatzweise schon oben (mit dem Verwischen) versucht wurde, wurde – mit den freundlichen Hinweis von Herrn Kranzinger – das Wasser durch Brennspritus ersetzt, da dieser schneller verdampft. Dabei wurde erstaunlicherweise Interferenzphänomene sichtbar, für die jedoch der Versuch ursprünglich nicht vorgesehen war (weilers s.u.).

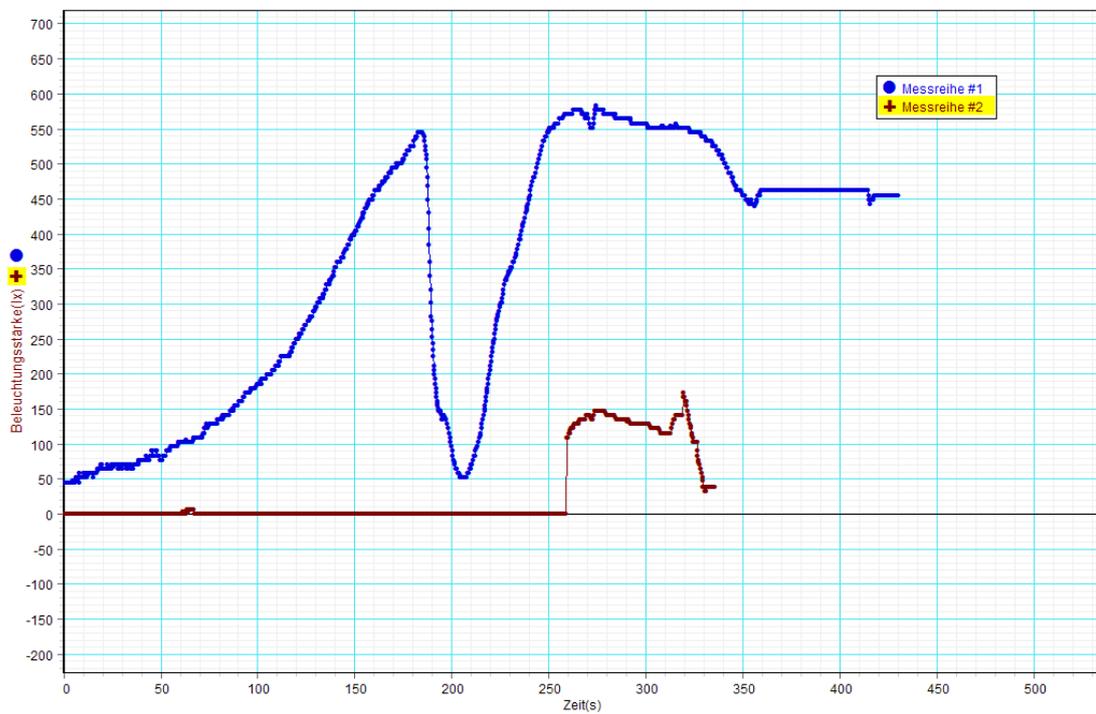
## 2.2 Messdaten



**Abb.2.3** Spannung der Photodiode



**Abb.2.4** Erste Messung der Intensität des reflektierten Lichtstrahls während des Verdampfens von Brennspritus



**Abb.2.5** Zusätzliche Messung mit Wasser



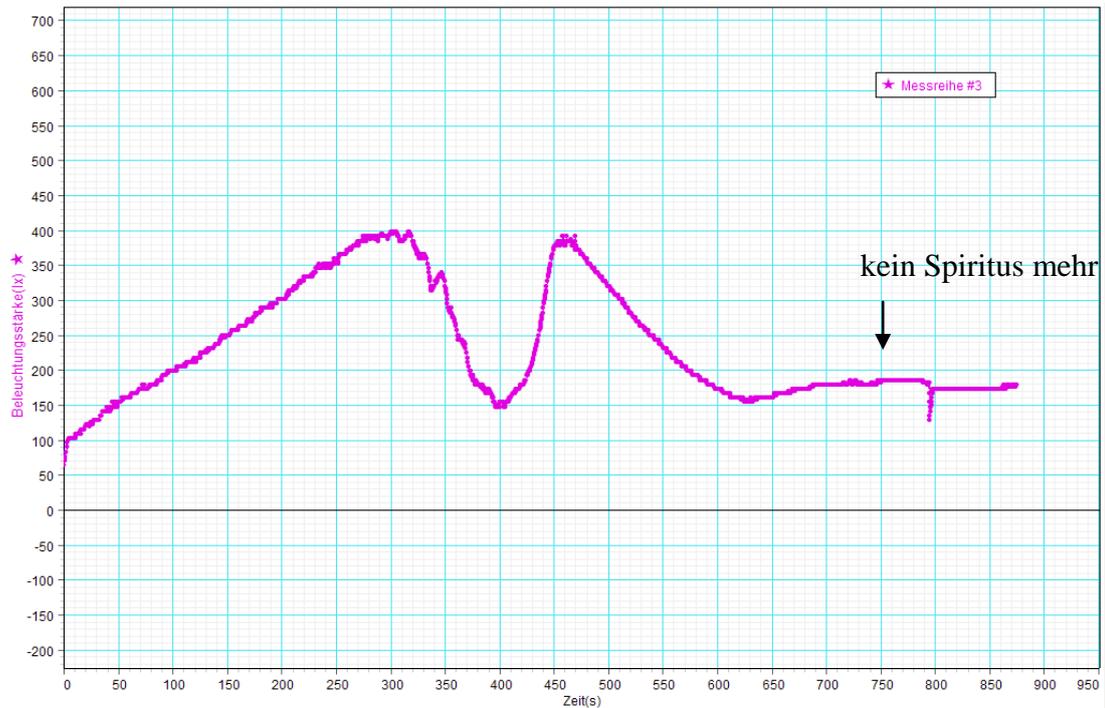


Abb.2.6 Messung mit rotem Laser und Brennspritus

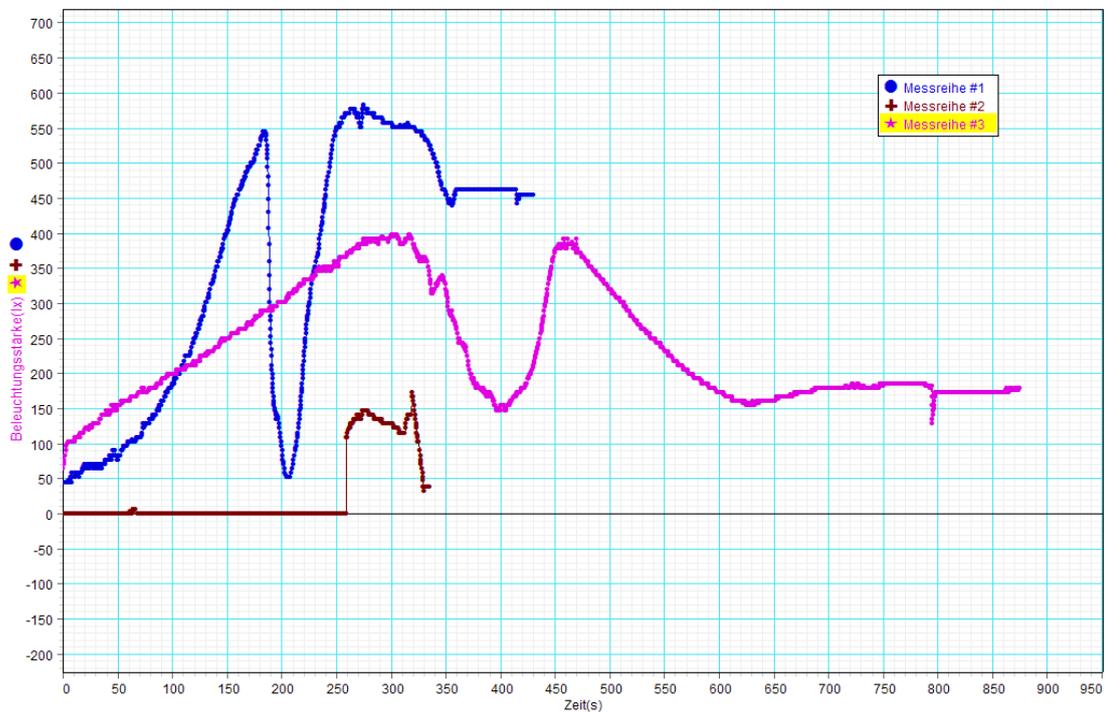


Abb.2.7 Alle drei (mit dem Lichtsensor aufgenommenen) Versuche gemeinsam

## 2.3 Auswertung

Bei der von der Photodiode aufgenommenen Spannung in Abb.2.3 lässt sich sehr schön der Unterschied der Intensitäten der reflektierten Lichtstrahlen erkennen, auch wenn sich die Differenz nur in einem relativ kleinen Spannungsintervall von 0,1V abspielt. Zur Verdeutlichung wurden in die Abbildung eingetragen, wann sich wie viel Wasser auf dem Auftreffpunkt (s. Abb.1.1) befand.



In den Abbildungen 2.4 und 2.6 ist nun ein anderer Effekt zu sehen. Wie schon beschrieben war das Ziel der weiteren Untersuchung der Intensitätsabhängigkeit des reflektierten Lichts<sup>2</sup> von der Flüssigkeitsmenge, wie auch schon beim Wasser in Abb.2.3 untersucht wurde. Hierfür wurde auf Brennspritus als Flüssigkeit umgestiegen, wegen der schon angesprochenen besseren Flüchtigkeit im Vergleich mit Wasser.

Wie in Abb.2.4 zu sehen ist, stimmt der anfängliche Verlauf der Kurve mit den Erwartungen überein. Jedoch wurde ab einer gewissen Flüssigkeitsmenge (bzw. im Diagramm: ab einem bestimmten Zeitpunkt) ein Abnehmen der Intensität festgestellt, obwohl sich immer weniger Flüssigkeit auf der Glasoberfläche befand!!!

Dies lässt folgendermaßen erklären: Ab einer bestimmten Dicke der Flüssigkeitsmenge können die Lichtstrahlen des Laserslichts miteinander sowohl konstruktiv als auch destruktiv interferieren. Das heißt, die Schichtdicke der Flüssigkeit ist auf wenige molekulare Schichten reduziert (bis hin zu einer monomolekularen Schicht) an denen die Strahlen des Lichtes - wie auch i.e. bei der Gitterspektroskopie verwendet wird - miteinander interferieren. Diese Behauptung lässt sich dadurch bekräftigen, dass sowohl in Abb.2.4 als auch in Abb.2.5 eindeutige Maxima und Minima zu erkennen sind, wobei die Maxima über der Grundintensität bei nicht vorhandener Flüssigkeit liegen, was auch in den jeweiligen Abbildungen gekennzeichnet wurde.

Somit wurde bei diesem Versuch sogar mehr als ursprünglich angenommen erreicht: Nicht nur der Umstand der Totalreflexion und deren Abhängigkeit von den unterschiedlichen optischen Dichten benachbarter Medien konnte gezeigt werden. Vielmehr hat sich aus der geringen Veränderung des Versuchsapparats ein Vielstrahlinterferometer – ähnlich einem Fabry-Perot-Interferometer - ergeben, mit dem man zum Beispiel sehr schön auch die destruktive Interferenz zeigen kann, die technisch mit den sog. Antireflexschichten auf Glasoberflächen (wie etwa bei Brillen oder Fotoobjektiven) im heutigen Alltag Verwendung findet.<sup>3</sup>

### 3 Fehlerdiskussion

Das Zittern der Kurve in Abb.2.3 hat den Grund wahrscheinlich in Messfehlern, da man in der Abbildung eine sehr kleine Skala verwendet - und ist vernachlässigbar, da der Haupteffekt ja sehr gut zu sehen ist. Der kleine Ausschlag nach unten zwischen 45 und 50 Sekunden kann nicht konkret erklärt werden.

In der Abb.2.4 sind neben dem Hauptminimum (bei 200 s) noch zwei kleinere Nebenminima zu sehen. Das erste Maximum ist sehr gut zu erkennen, wobei das zweite Maximum sehr verbreitert ist; dies hat den Grund wahrscheinlich darin, dass es eine Veränderung der Verdunstungsgeschwindigkeit gegeben hat, da diese nicht immer gleich abzulaufen scheint. Zum Schluss ist noch ein Versatz zu sehen, der durch die Berührung des Experimentators zustande gekommen ist, als er den Rest des Spiritus<sup>4</sup> wegwischte; dadurch hat sich die Anordnung etwas verändert.

Dasselbe gilt für die Abb.2.6.

In Abb.2.5 ist die Kurve für das Wasser nicht sehr gut geworden. Es ist zwar deutlich, dass zu Beginn kein Licht den Sensor erreicht, da sich auf dem Auftreffpunkt Wasser befindet. Jedoch ist beim Wegwischen des Wassers keine schöne konstante Lichtintensität mehr zu sehen, wahrscheinlich wegen einer leichten Vermischung des Spiritus<sup>4</sup> mit dem Wasser oder wegen der Bewegung des Wasser, infolgedessen sich die Oberfläche des Wasser verändert hat.

### 4 Reflexion / Alternativen

Der Versuch funktioniert einwandfrei und liefert erstaunlicherweise mehr Ergebnisse als man erwartet hat.

Möglicherweise lässt sich durch einen zweiten Glaskörper auch noch die sog. evaneszente Welle nachweisen, somit ein weiterer (quantenmechanischer) Effekt der mit dem (alleinigen) Teilchenbild des Lichts unvereinbar ist.

<sup>2</sup> und damit natürlich auch des transmittierten Lichts

<sup>3</sup> Freilich wird hierbei nicht Brennspritus aufgebracht, sondern i.e. Magnesiumfluorid ( $MgF_2$ ).

