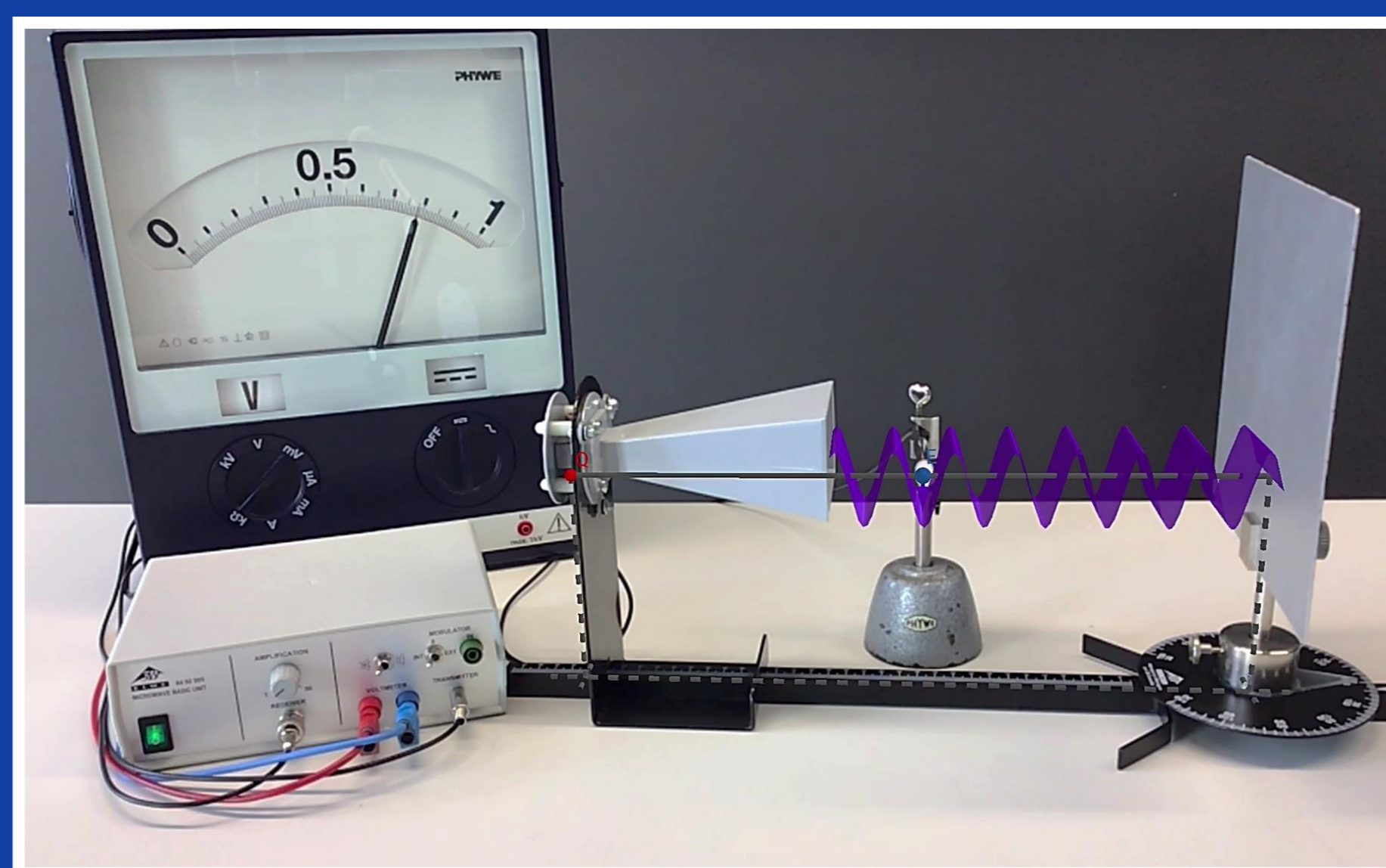


Stehende Welle



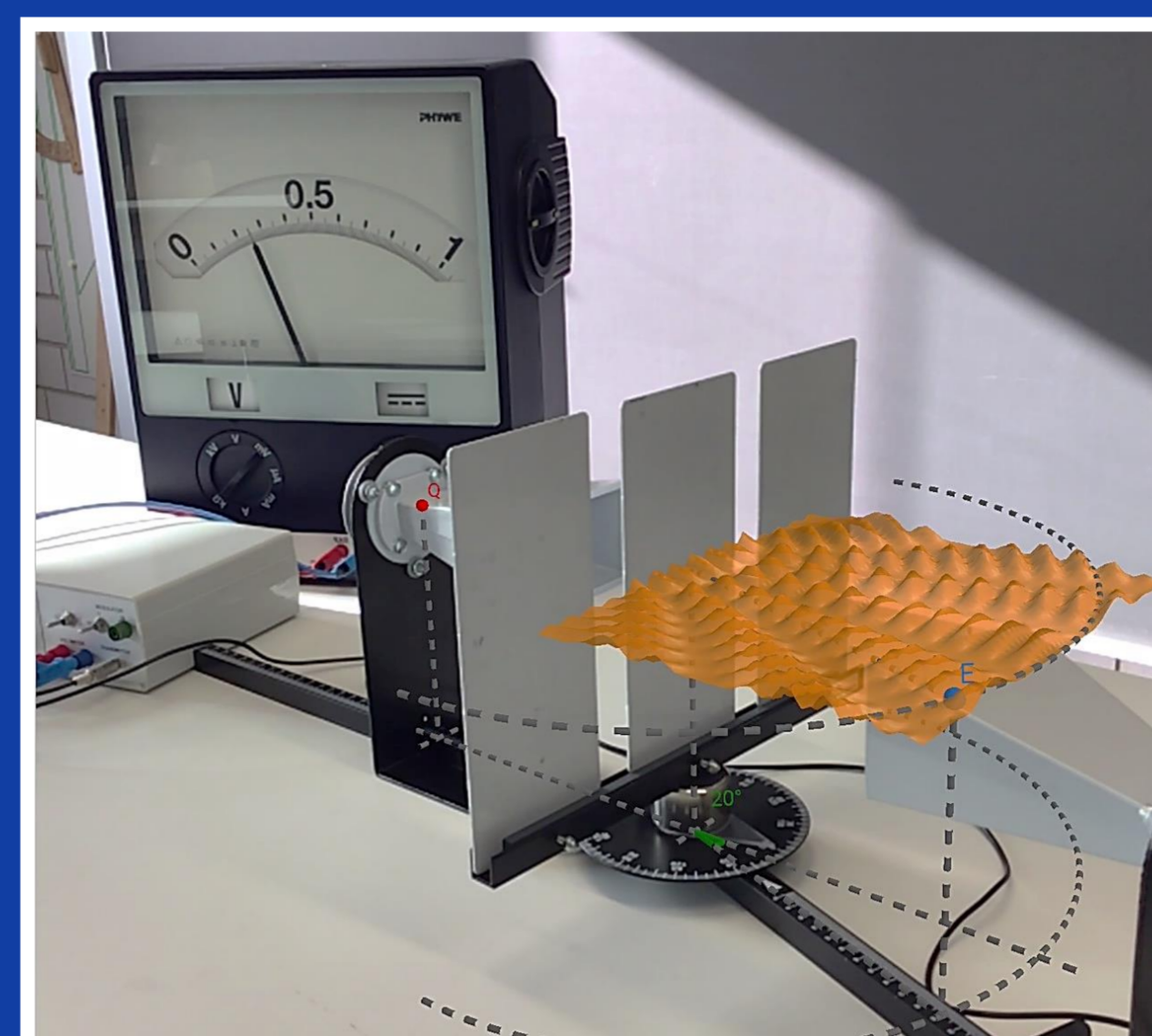
Interferenz an Acrylblöcken



Beugung an einer Kante



Interferenz am Doppelspalt



# Augmented Reality-Experimente zur Wellenphysik

Marlon Grasse, Albert Teichrew, Roger Erb

## 1 Hintergrund

- Augmented Reality (AR) bedeutet, die Sicht auf eine reale Umgebung mit virtuellen Objekten zu überlagern.
- In AR-Experimenten werden reale Experimente durch virtuelle Objekte erweitert, die zum Verständnis des Experiments beitragen [1].
- Wellenphänomene wie Reflexion, Beugung und Interferenz können durch animierte Visualisierungen sichtbar gemacht werden [vgl. 2].
- Als virtuelle Objekte können sie dabei helfen, das Auftreten realer Inhalte zu verstehen (siehe Tabelle 1).
- In Experimenten mit Mikrowellen finden diese Phänomene in einer für AR geeigneten Größenordnung statt.

## 2 Entwicklung

- Mit dem **GeoGebra 3D Rechner** wurden in verschiedenen Farben ebene und kreisförmige Wellen mit der Wellenlänge von 3 cm sowie ihre Überlagerung modelliert (siehe Tabelle 2).
- Sie breiten sich in der xy-Ebene auf der Höhe des Senders aus. Die Amplitude wird auf die z-Achse aufgetragen.

- Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit wurden so gewählt, dass eine sichtbare Schwingung bzw. Wellenausbreitung visualisiert wird.

## 3 Einsatz

- Für die Experimente wird der Mikrowellensatz von **3B Scientific** verwendet.
- Der Mikrowellensender strahlt ein Bündel elektromagnetischer Wellen mit einer Frequenz von 9,4 GHz bzw. einer Wellenlänge von ca. 3 cm ab.
- Die entwickelten Modelle werden auf einem Mobilgerät in der **GeoGebra 3D Rechner App** geöffnet und auf die von der Kamera erkannte Fläche gesetzt.
- Sie müssen per Hand an den jeweiligen Aufbau durch Schieberegler und Touch-Gesten angepasst werden.

## 4 Diskussion

- Der Vergleich von Modell und Experiment zeigt jeweils, dass die Modellergebnisse mit den Messungen übereinstimmen.
- Eine Untersuchung, ob der Lernprozess durch AR-Experimente stärker unterstützt wird als durch herkömmliche Experimente, steht noch aus.

Tabelle 1: Aufzählung von realen und virtuellen Objekten und Inhalten von AR-Experimenten zur Wellenphysik

	Objekte	Inhalte
real	Mikrowellensender, Empfänger und verschiedene Hindernisse	empfangene bzw. nicht empfangene Signale als Zeigerausschläge am Messgerät
virtuell	Visualisierungen von animierten ebenen oder kreisförmigen Wellen	sichtbare Schwingungen bzw. Wellenausbreitung in bestimmte Richtungen

Tabelle 2: Angaben zu den vier AR-Experimenten sowie Links zu den Modellen im Browser () , in der App () und als GeoGebra-Buch ()

reales Hindernis	modellierte Wellen und ihre Farben
mittig angeordnete Metallplatte als Reflektor	<ul style="list-style-type: none"> <li>einlaufende ebene Welle</li> <li>reflektierte ebene Welle</li> <li>Überlagerung</li> </ul>
<a href="http://www.geogebra.org/m/v9cvhbd6">www.geogebra.org/m/v9cvhbd6</a> <a href="http://www.geogebra.org/3d/v9cvhbd6">www.geogebra.org/3d/v9cvhbd6</a>	
versetzte Metallplatte als Beugungskante	<ul style="list-style-type: none"> <li>ebene und kreisförmige Welle an der Kante</li> <li>kreisförmige Welle neben der Kante</li> <li>Überlagerung</li> </ul>
<a href="http://www.geogebra.org/m/jq8wx764">www.geogebra.org/m/jq8wx764</a> <a href="http://www.geogebra.org/3d/jq8wx764">www.geogebra.org/3d/jq8wx764</a>	
Acrylblöcke zur Erzeugung von Gangunterschieden	<ul style="list-style-type: none"> <li>ebene Welle links und kreisförmige Welle rechts</li> <li>ebene Welle rechts und kreisförmige Welle links</li> <li>Überlagerung</li> </ul>
<a href="http://www.geogebra.org/m/fhjgfbwr">www.geogebra.org/m/fhjgfbwr</a> <a href="http://www.geogebra.org/3d/fhjgfbwr">www.geogebra.org/3d/fhjgfbwr</a>	
Doppelspalt aus Metallplatten zur Vermessung von Interferenzmustern	<ul style="list-style-type: none"> <li>kreisförmige Welle links</li> <li>kreisförmige Welle rechts</li> <li>Überlagerung</li> <li>Intensität</li> </ul>
<a href="http://www.geogebra.org/m/vjtcqnx">www.geogebra.org/m/vjtcqnx</a> <a href="http://www.geogebra.org/3d/vjtcqnx">www.geogebra.org/3d/vjtcqnx</a> <a href="http://www.geogebra.org/m/mpgscqpb">www.geogebra.org/m/mpgscqpb</a>	

### Literatur

- [1] Teichrew, A. & Erb, R. (2020). [How augmented reality enhances typical classroom experiments](#). *Physics Education*, 55(6), 065029.
- [2] Girwidz, R. (2020). [Simulating waves and macroscopic phonons](#). *European Journal of Physics*, 42(1), 015801.



QR-Code mit der Kamera scannen, um mehr über AR-Experimente mit GeoGebra zu erfahren.

