

## 30. Karlsruher Didaktik-Workshop 26. und 27. Juni 2020, KIT Karlsruhe

### Relativität und Kosmologie (zum dritten)

gefördert von der Eduard-Job-Stiftung für Thermo- und Stoffdynamik

Ort: KIT Karlsruhe, Campus Süd, kleiner Hörsaal A und B Seminarraum,  
Gebäude 30.22, neben dem Physikhochhaus in der Engesserstraße  
[www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de](http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de)

Organisation: F. Herrmann, M. Pohlig, P. Schmälzle

Die Sitzungen finden am ganzen Freitag und am Sonnabendvormittag statt. Sie sind auch willkommen, wenn Sie nur zu einem Teil der Sitzungen kommen. Eine Anmeldung ist nicht erforderlich. Der Workshop wird „kostenneutral“ organisiert, d.h. kein Tagungsbeitrag, aber auch kein Vortragshonorar.

Es ist reichlich Zeit für Diskussionen vorgesehen. Gelegentlich ändern wir den zeitlichen Ablauf des Programms noch während des Workshops.

Vortragende:

**Antje Bergmann**, Karlsruher Institut für Technologie

**Friedrich Herrmann**, Karlsruher Institut für Technologie

**Ute Kraus**, Universität Hildesheim

**Karl-Heinz Lotze**, Universität Jena

**Werner Maurer**, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

**Michael Pohlig**, Karlsruher Institut für Technologie/WHG-Durmshheim

**Heiner Schwarze**, Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen, Schleswig-Holstein

**Silvia Simionato**, Universität Jena

**Corvin Zahn**, Universität Hildesheim

# Programm

## **Donnerstag 25. Juni**

*abends ab etwa 19:00 h*

zwangloses Treffen im Caminetto (Kronenstraße)

## **Freitag 26. Juni**

*Vormittag, Beginn 9:30 h*

9:30	Herrmann	Begrüßung
9:45	Lotze	Wissenschaftsdidaktische Variationen über die Lichtablenkung im Schwerfeld
10:45	Simionato	Das optische Gravitationslinsen-Experiment
11:30	Bergmann	Analogieexperiment zur Gravitationswellendetektion
12:00	Herrmann/Pohlig	Ist die Masse ein Maß für die Trägheit?

*Nachmittag, Beginn 14:30 h*

14:30	Maurer	Energietransport als relativistisches Phänomen
15:45 bis 16:15		Kaffee-Pause
16:15	Schwarze	Physikbücher werden besser und schlechter. Warum, und wer hat die Schuld? – am Beispiel Metzler Physik
17:30	Zahn	Wurmlöcher und Zeitreisen

## **Samstag 27. Juni**

*Beginn 9:00 h*

9:00 bis 10:30	Kraus	<b>Workshop:</b> Gravitation ist Geometrie
11:00	Pohlig/Herrmann	Ein neues relativistisches Paradoxon

## *Abstracts*

*Maurer*

### **Energietransport als relativistisches Phänomen**

Im Physik-Unterricht wird der Energietransport wenig thematisiert. Wen wundert's, dass sogar Studierende beim elektrischen Stromkreis mit der kinetischen Energie der Elektronen oder in der Hydraulik mit der elastischen Energie des Öls argumentieren. Dieses ziemlich naive Erklärungsmuster versagt spätestens bei der Fahrradkette, wo die Energie gegen die Masse fließt. Für die Elektrodynamik liefert die Feldtheorie in Form des Poynting-Vektors eine befriedigende Beschreibung der Energiestromdichte. Leider lässt sich dieses aus zwei Feldstärken gebildete Vektorprodukt nicht auf die Mechanik übertragen. Erst wenn man den Poynting-Vektor als Teil des Energie-Impuls-Tensor sieht, kann der mechanische Energietransport entsprechend beschrieben werden. Diese Energiestromdichte erscheint aber anders als beim elektromagnetischen Feld nur als kleiner Beitrag in der ersten Zeile des Energie-Impuls-Tensors, also quasi als relativistische Störgröße.

*Zahn*

### **Wurmlöcher und Zeitreisen**

Flüge durch ein Wurmloch zu einem anderen Ort in unserem Universum oder Reisen durch die Zeit gehören in Science-Fiction-Filmen zum Alltag zukünftiger Generationen. Was ist davon Science und was Fiction? In diesem Vortrag geht es darum, was die moderne Physik, insbesondere die Relativitätstheorie Einsteins, den Science-Fiction-Autoren zu bieten hat.

*Kraus*

### **Workshop: Gravitation ist Geometrie**

"Masse krümmt Raum und Zeit" heißt es oft, wenn von der Allgemeinen Relativitätstheorie die Rede ist. Der Workshop zeigt, wie man auf fachlich fundierte Weise erklären kann, was hinter dieser Aussage steckt. Mithilfe von Modellen wird zunächst die Krümmung von Flächen und dann die Krümmung dreidimensionaler Räume veranschaulicht. Auf dieser Grundlage lässt sich der Zusammenhang zwischen Masse und Krümmung explizit formulieren.

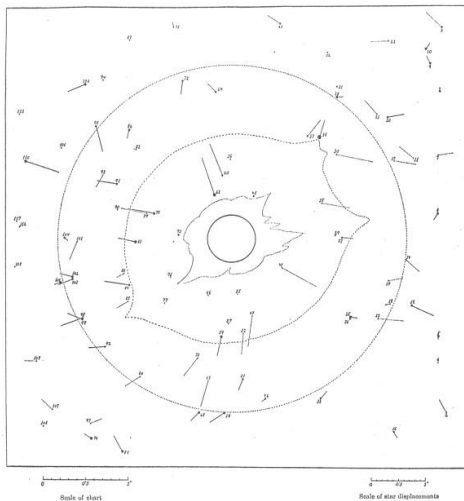
## Wissenschaftsdidaktische Variationen über die Lichtablenkung im Schwerefeld

*K.-H. Lotze, Wilhelm und Else Heraeus Seniorprofessor, Friedrich-Schiller-Universität, Jena*

Im Jahr 2019 beging die wissenschaftliche Gemeinschaft weltweit den 100. Jahrestag der Beobachtung der Lichtablenkung am Sonnenrand. Diese erbrachte eine Bestätigung der Vorhersage, die Albert Einstein auf der Grundlage seiner Allgemeinen Relativitätstheorie machte. Die dieser Vorhersage zugrunde liegende Physik ist die gleiche wie bei anderen Lichtablenkungs-Phänomenen im Universum, die heute als Gravitationslinsen-Effekt bekannt sind. Damit wurde die Lichtablenkung nicht nur in vielen Fällen bestätigt; sie wurde zu einem Werkzeug von Astrophysik und Kosmologie.

Wir vergleichen verschiedene Zugänge zum Phänomen der Lichtablenkung im Schwerefeld, insbesondere in dem der Sonne, um es besser in unser und unserer Schüler und Studenten Vorwissen integrieren zu können. Dazu gehören:

- Die ballistische Lichtablenkung (Newton 1704, Cavendish 1783/84, v. Soldner 1801), derzufolge Licht als Strom klassischer Teilchen aufgefaßt wird, die der Schwerkraft ausgesetzt sind. Dieser Zugang ergibt nur den halben Wert im Vergleich zu Einsteins Vorhersage.
- Die Lichtablenkung wie sie sich aus dem Äquivalenzprinzip ergibt (Einstein 1911) und zu dem gleichen Ergebnis führt wie die ballistische Behandlung des Effekts.
- Die Lichtablenkung in der gekrümmten Raumzeit auf Grundlage der Schwarzschild-Lösung der Einsteinschen Feldgleichungen (Einstein, Schwarzschild 1915/16) mit dem Resultat, das später durch Beobachtungen bestätigt wurde, und das doppelt so groß ist wie vom ballistischen Zugang und mittels Äquivalenzprinzip vorhergesagt.
- Der auf dem Fermatschen Prinzip beruhende Vergleich mit dem Phänomen der Fata Morgana auf der Erde, der zu einer Interpretation der Lichtablenkung Anlaß gibt als ob das Gravitationsfeld ein räumlich inhomogenes optisches Medium wäre.



Desweiteren zeigen wir, wie die Beobachtungen der Sonnenfinsternis vom 21. September 1922 (Campbell und Trumpler, siehe Abbildung) die Vorhersage einer Lichtablenkung am Sonnenrand von 1,75" durch die Allgemeine Relativitätstheorie bestätigen.

Schließlich erklären wir, wie der klassische Effekt der Lichtablenkung durch die Sonne in den allgemeineren Gravitationslinsen-Effekt eingeordnet werden kann.

## Das optische Gravitationslinsen-Experiment

Silvia Simionato, Friedrich-Schiller-Universität, Jena

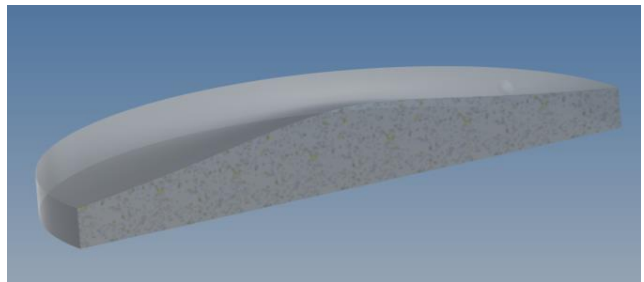


Hauptgebäude der Fakultät für Physik und Astronomie in Jena, durch die berühmte "Weinglasfuß"-Linse gesehen. Foto: Uwe Alberti

Beobachter berücksichtigt werden. All dies ermöglicht es uns, Anzahl, Position, Form und Größe der durch den Gravitationslinsen-Effekt erzeugten Bilder zu bestimmen.

Ein weiterer wichtiger Punkt, den wir untersuchen wollen, ist, wie es möglich ist, den Gravitationslinsen-Effekt in einem Klassenzimmer zu visualisieren. Natürlich mit erstaunlichen Bildern von den besten

Nach der Reise durch die Theorie der Lichtablenkung gehen wir einen Schritt weiter, indem wir die Allgemeine Relativitätstheorie und die Optik kombinieren, um Licht auf gekrümmten Bahnen zu visualisieren. Das Ziel dieses Prozesses ist die Entwicklung nützlicher didaktischer Hilfsmittel und Resultate in der Lehre über Gravitationslinsen. Deshalb beginnen wir mit der Analyse der Linsengleichung für das Phänomen der Gravitationslinsen und ihrer Anwendungen auf verschiedene Himmelsobjekte. Das bedeutet, nicht nur verschiedene Quellen, sondern vor allem verschiedene Fälle der Massenverteilung für die Gravitationslinse zu berücksichtigen. Bei der Linsengleichung müssen der Ablenkungswinkel, die Quellengröße, die Massenverteilung der Linse und die relative Position von Quelle, Linse und



Profil der "Plummer-Sphäre"-Linse. Quelle: Thomas Köhler



Hauptgebäude der Fakultät für Physik und Astronomie in Jena, gesehen durch eine Linse, die das Plummer-Gravitationspotential simuliert. Foto: Uwe Alberti

Teleskopen, aber noch besser zusammen mit den Bildern, die in Echtzeit von Glaslinsen erzeugt werden. Wir haben speziell geformte Linsen entworfen und hergestellt, die für die Reproduktion der von verschiedenen Gravitationslinsen erzeugten Bilder geeignet sind. Die Idee ist, die allgemeine Relativitätstheorie mit der Optik zu kombinieren, um die gleichen Gravitationslinsen-Phänomene zu erhalten, die wir im Universum finden. In diesem Zusammenhang werden wir sehen, wie es möglich ist, die Form zu verstehen, die einer Glaslinse gegeben werden muss, damit sie eine bestimmte Massenverteilung darstellt und die entsprechenden Bilder reproduziert. Schließlich werden wir einige unserer Linsen in Aktion sehen. Wir werden die Gravitationslinsen-Phänomene nachbilden und sie mit schönen realen Bildern vergleichen. All dies wird im Detail für zwei Linsen gezeigt, aber auch die Endergebnisse für einige andere werden vorgestellt.