

# Fernerkundung von optischen Phänomenen im fernen Universum verursacht durch Wirkungen der Schwerkraft

## Remote Sensing of Optical Phenomena in the Wide Cosmos Caused by the Effects of Gravity

Henryk Bryś

Anhand digitaler Bilder aus den letzten 20 Jahren werden die Phänomene des Linseneffekts und der gravitativen Ablenkung von Licht in gekrümmter Raumzeit im Kosmos kurz dargestellt. Als Ergebnis der geometrischen Interpretation neuester hochauflösender Bilder wurde nachgewiesen, dass die optischen Effekte von Fata Morganas und Spiegelungsbildern von Himmelskörpern durch das astrophysikalische Phänomen der gravitativen Lichtablenkung in der Raumzeit von Sternen und Galaxien verursacht werden. Kosmische Phänomene als Gravitationseffekt wurden durch Einsteins Allgemeine und Spezielle Relativitätstheorie auf der Grundlage mathematischer Theorien der Physik vorhergesagt. Die geometrischen und physikalischen Grundlagen der Lichtbahn im Gravitationsfeld der Minkowski-Raumzeit werden vorgestellt. Der Beitrag präsentiert digitale Bilder, die von NASA/ESA-Agenturen stammen und veröffentlicht wurden.

**Schlüsselwörter:** Fernerkundung, Astrogeodäsie, optische Phänomene, Raumzeit, Spiegelreflexion, gravitative Refraktion

*The phenomena of the lens effect and the gravitational deflection of light in curved space-time in the cosmos are briefly presented using digital images from the last 20 years. As a result of the geometric interpretation of the latest high-resolution images, it has been proven that the optical effects of mirages and reflection images of celestial bodies are caused by the astrophysical phenomenon of gravitational light deflection in the spacetime of stars and galaxies. Cosmic phenomena as a gravitational effect were predicted by Einstein's general and special theories of relativity based on mathematical theories of physics. The geometric and physical foundations of the light path in the gravitational field of Minkowski's space-time are presented. The article presents digital images sourced and published by NASA/ESA agencies.*

**Keywords:** Remote sensing, astrogeodesy, optical phenomena, space-time, mirages, gravitational refraction

### 1 EINFÜHRUNG UND ERLÄUTERUNG DES PROBLEMS

Mysteriöse optische Phänomene im fernen Universum sind in der Kosmologie seit Jahrhunderten bekannt /Powell 2018/. Wissenschaftliche Veröffentlichungen zur Geometrie der gravitativen Lichtbeugung erschienen jedoch erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Digitale Bilder enthalten viele aufgezeichnete wichtige Informationen

über den Weltraum von vor mehreren Milliarden Jahren. Ihre geometrische Fotointerpretation ermöglicht die Entdeckung bisher unbekannter optischer Phänomene. Bilder des fernen Weltraums aus den letzten 20 Jahren mit hoher Genauigkeit und Auflösung, aufgenommen von Weltobservatorien und dem Weltraumteleskop Hubble, ermöglichten eine detaillierte geometrische und physikalische Interpretation astrophysikalischer Phänomene, die im Universum ab etwa 3,3 Milliarden Jahren nach dem Urknall auftraten /Beck 2017/.

Teleskope der neuesten Generation – VLT (Very Large Telescope), Hubble-Teleskop, riesiges Sky-Eye-Teleskop mit einem Durchmesser von 500 m (China) u. a. – liefern immer bessere digitale Bilder mit optischen Kosmos-Phänomenen. Im Beitrag wird erläutert, dass es im fernen Kosmos neben den Phänomenen des starken Gravitationslinseneffekts auch Trugbilder in Form von Spiegelreflexionen gibt, die durch die Schwerkraft um Sterne und Galaxien hervorgerufen werden. Die Theorien zu Phänomenen der Lichtablenkung durch die Schwerkraft wurden erst Anfangs des 18. Jahrhunderts entwickelt. Die ersten Berechnungen dieses optischen Phänomens wurden 1801 vom Astronomen und Landvermesser Johann Georg Soldner veröffentlicht /Soldner 1804/. Der Wissenschaftler berechnete, dass ein Lichtstrahl, der in der Nähe der Sonnenscheibe verläuft, um 0,9" gebogen wird /Soldner 1804/. Hingegen berichtet Einstein, dass der Gravitationsablenkwinkel 1,75" beträgt /Einstein 1936/. Die Theorien, Hypothesen und das Phänomen der Lichtausbreitung im fernen Kosmos, geschildert in Einsteins Allgemeiner und Spezieller Relativitätstheorie, wurden experimentell bestätigt und haben die Geschichte der Astronomie über Jahrzehnte verändert /Einstein 1911/, /Einstein 1922/1984/, /Einstein 1936/, /Embacher 2015/. Die Verformung kosmischer Bilder ist ein mächtiges Werkzeug in der neuzeitlichen Astrophysik, weil es die Rekonstruktion des Gravitationspotenzials des Weltalls und die Expansion des Universums ermöglicht. Das Alter des Universums beträgt  $13,799 \pm 0,021$  Milliarden Jahre /Beck 2017/ und optische Phänomene traten etwa 3,3 Milliarden Jahre nach dem Urknall, also vor 10,5 Milliarden Jahren auf. Ziel dieser Bearbeitung ist die fotografische Bestätigung des Auftretens von optischen Phänomenen und Fata Morganas im Gravitationsfeld auf der Basis aktueller NASA/ESA-Bilder.

## 2 GEOMETRISCH-PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN OPTISCHER PHÄNOMENE UND LICHTAUSBREITUNG IM WELTRAUM

Die Gravitation ist eine der fundamentalen Kräfte, die bei der Zeit-Raum-Krümmung auftreten /Embacher 2015/. Die Gravitationstheorie ermöglicht die mathematische, geometrische und physikalische Beschreibung optischer Phänomene im Kosmos, die von Einstein genutzt wurden, um die Ausbreitung von Licht in der lokalen Raumzeit vorherzusagen. In der Allgemeinen Relativitätstheorie ist Gravitation der Effekt der Veränderung der Struktur der Raumzeit durch die gegenwärtigen Körper. Licht im Weltraum kommt von unzähligen Sternen, Galaxien und leuchtenden Gaswolken, dem häufigsten Zustand kosmischer Materie. Das faszinierendste optische Phänomen im fernen Universum ist der starke Gravitationslinseneffekt, der bereits 1915 von Einstein vorhergesagt und erstmals 1979 von den Astronomen Dennis Walsh, Robert F. Carswell und J. Ray beobachtet wurde /Shapiro & Shapiro 2010/. Der Gravitationslinseneffekt, eine Folge der Allgemeinen Relativitätstheorie – der Theorie der gekrümmten Raumzeit –, war schon viel früher bekannt, vor dem Aufkommen der empirischen Bestätigungstheorie. Seitdem ist dieses Phänomen das führende Thema theoretischer Forschungen und astronomischer Beobachtungen in der modernen Astrophysik /Venkatraman Krishnan et al. 2020/

/Schneider et al. 1992/. Dieses optische Phänomen tritt im Welt- raum auf, wenn Lichtstrahlen, die durch ein Gravitationsfeld eine Reihe massereicher Galaxien und/oder Sterne passieren, aufeinanderfolgende Ablenkungen mit unterschiedlichen Krümmungen erfahren (Abb. 1). Das Gravitationsfeld der Sterne und Planeten kann als symmetrisches und kugelförmiges Feld betrachtet werden. Das Resultat des starken Gravitationslinseneffekts ist die beobachtete Zunahme der Stärke der Helligkeit des Lichts des vergrößerten scheinbaren Quasars KL und KP (Abb. 2). Die scheinbare Helligkeit eines Sterns gibt an, wie hell ein Beobachter auf der Erde den Stern wahrnimmt. Die scheinbare Helligkeit wird in Magnituden (mag) angegeben. Sterne mit kleineren mag-Werten werden dabei als heller wahrgenommen als Sterne mit größeren mag-Werten. Eine Gravitationslinse (optische Linse) /Sauer 2010/ fokussiert die abgelenkten Lichtstrahlen auf die Achse zwischen dem Quasar und dem Betrachter. In verschiedenen Abständen  $S_i$  am Objekt vorbeilaufende Lichtstrahlen schneiden aber die Achse in verschiedenen Entfernungen. Die Struktur von Gravitationslinsen besteht aus Sternen, Galaxien oder Galaxienhaufen. Optische Linsen vergrößern oder verringern die Helligkeit einer Lichtquelle. Für die nacheinander folgenden Makrolinsen gibt es mehrere Lichtbahnen – die sogenannten Geodäten. Nur eine Geodäte oder auch geodätische

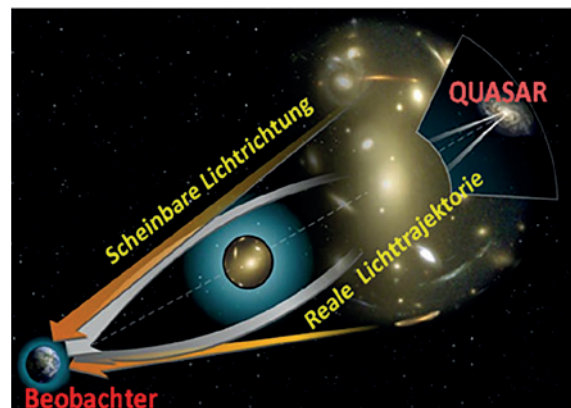


Abb. 1 | Symmetrischer Gravitationslinseneffekt mit sichtbaren Lichtstrahlen von einem entfernten Quasar /NASA/ESA, <https://www.thoughtco.com/introduction-to-gravitational-lensing-4153504/>

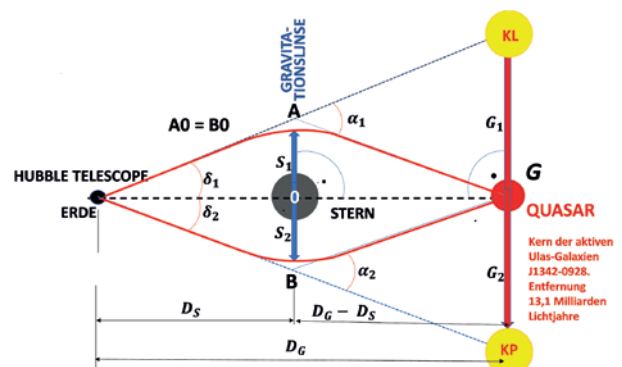


Abb. 2 | Grafische Darstellung der Schwerkraftfokussierung und der Lichtausbreitung in der Nähe eines Himmelskörpers, wie sie von einem Beobachter auf der Erde bzw. vom Hubble-Teleskop gesehen wird. Der Fall der perfekten geometrischen Ausrichtung (KL und KP – scheinbare Quasare, G – Quasar,  $S_1 - S_2$  – Gravitationslinse) /eigene Darstellung/.



Abb. 3 | Bild des kosmischen Makrolinseneffekts vom Beobachter aus gesehen. Die Abbildung zeigt zwei scheinbare Quasare (gelb mit einem verschwommenen Halo) und eine Galaxie dazwischen (blau) /ESA/NASA, Hubble Telescope Acknowledgement: Judy Schmidt/.

Linie stellt den kürzesten Weg dar, die anderen stellen die Extremwerte der Lagrange'schen Lichtausbreitung dar. Die Krümmung der im Minkowskis Raum befindlichen Lichtbahnen werden nur durch die Metrik der Raumzeit /Plebański & Krasiński 2006/, d. h. durch das Feld der Gravitationskräfte bestimmt.

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie zeigt, dass die Schwerkraft im Wesentlichen dasselbe ist wie die Krümmung der Raumzeit, sodass Licht aus einer fernen Galaxie verzerrt wird, wenn es durch die Raumzeit durchläuft. Die vollen Lichtablenkungswinkel (Abb. 2) /Bryś 2017/, nach der relativistischen Berechnung, in Übereinstimmung mit der Notation des Autors des Beitrags, errechnen sich aus Gl. (1) /Embacher 2015/:

$$\alpha_1 = \frac{4G \cdot M}{c^2 \cdot AO} \cdot \rho^g, \quad (1)$$

während die partiellen Winkel durch Gl. (2) beschrieben sind /Alcock et al. 2000/:

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G \cdot M}{c^2} \cdot \frac{D_G - D_S}{D_G \cdot D_S}} \cdot \rho^g. \quad (2)$$

Der Einstein-Radius /Wikipedia 2022/ errechnet sich aus Gl. (3):

$$AO = BO = \delta_1 \cdot D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot G \cdot M}{c^2} \cdot \frac{(D_G - D_S) \cdot D_s}{D_G}} \cdot \rho^g. \quad (3)$$

Bedeutungen der Symbole in den Gl. (1) bis (3) und in Abb. 2:

- $\alpha_1$  voller Ablenkungswinkel in grad,
- $\delta_1$  partieller Ablenkungswinkel in grad,
- $M$  Masse des Sterns in kg,
- $G$  Gravitationskonstante in  $\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ ,
- $c$  Lichtgeschwindigkeit im Vakuum in m/s,
- $S_1, S_2$  die kleinste Entfernung des Lichtstrahls vom Mittelpunkt des Himmelskörpers in m,
- $AO, BO$  Gegenkathete,
- $G_1, G_2$  Entfernung vom Zentrum des Quasars zum Zentrum des scheinbaren Bildes KL und KP
- $D_S$  Entfernung Erde–Stern,
- $D_G$  Entfernung Erde–Quasar,

Winkelmaß (Bogenmaß) =  $63,662 \text{ g} = 57,29578^0$ .

Die gravitative Refraktion ist ein interdisziplinäres Gebiet an der Grenze von Kosmologie, Geodäsie, Physik und Astronomie. Der



Abb. 4 | Spiegelungsreflexion durch Gravitationsfeld einer massiven Galaxie SGSJ143845+145407. /https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2022/hubble-captures-a-mirrored-galaxy/

Gravitationskörper – die Gravitationslinse  $S_1 + S_2$  – lenkt die von der Punktlichtquelle  $G$  ausgesandten Lichtstrahlen ab und der geometrische Effekt sind die partiellen Refraktionswinkel  $\delta_1$  und  $\delta_2$  /Bryś 2017/. Die Lichtstrahlen kreuzen sich am Beobachtungspunkt  $O$  auf der Erde oder häufiger im Weltraum. Heute bilden die Theorie und die astronomischen Beobachtungen von Gravitationslinsen ein eigenes, sehr wichtiges Gebiet der Astrophysik /Schneider et al. 1992/. Die Lichtquelle  $G$  ist meistens ein Einzel-, seltener ein Doppelquasar. Die Lichtstrahlen verlaufen nahe der Geraden, die die Erde mit dem unsichtbaren, direkt verdeckten Quasar verbindet (Abb. 2). Ein Quasar (quasistellare Radioquelle) ist der Kern aktiver Galaxien, der starke Strahlung im Bereich von Radiowellen aussendet. Quasare sind die am weitesten entfernten Objekte im Universum (oft über 13 Millionen Lichtjahren entfernt). Die Häufigkeit und die Auswirkungen des Phänomens des sogenannten Gravitations-Makrolinseneffekts ermöglichten es, die Geschwindigkeit der Expansion des Universums abzuschätzen /Schneider et al. 1992/. Das Phänomen des Gravitations-Makrolinseneffekts ist besonders deutlich und überzeugend in den Abb. 3 und Abb. 4 dargestellt.

Die Ablenkung von Licht im Weltraum ist ein astrophysikalisches Phänomen und mehrfache spiegelnde Ablenkungen und Reflexionen sind die häufigsten Phänomene, die aus der gravitativen Wechselwirkung resultieren. Ein weiteres Beispiel für den effektiven Gravitations-Makrolinseneffekt ist die Galaxie, die in der Mitte des



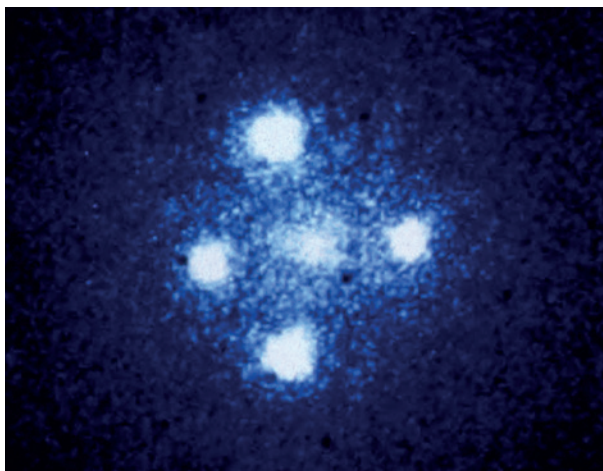
Abb. 5 | Gravitationslinsen-Halo-Effekt. Die axialsymmetrische Konfiguration bewirkt, dass das Bild der fernen Galaxie einen fast vollständigen Ring bildet. Der zentrale weiße Fleck ist der Punkt kern der nichtstationären Galaxie LRG 3-757 /https://apod.nasa.gov/apod/ap111221.html/.



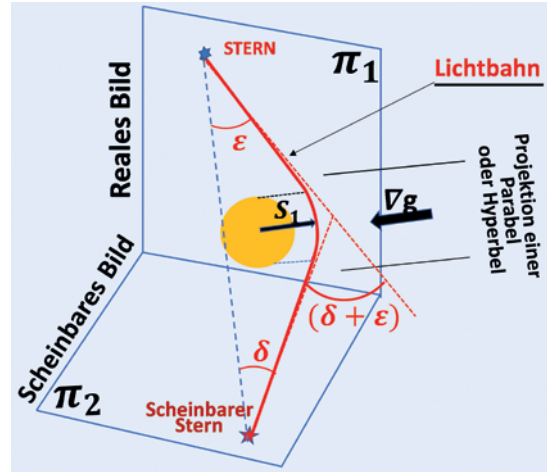
Fotos in *Abb. 5* sichtbar ist. Der Makrolinseneffekt (engl. macrolensing) liefert wertvolle Informationen über die Geometrie der lokalen Raumzeit und verformt diese durch Gravitation. Bis 2010 wurden bereits etwa 200 starke Gravitationslinsen beobachtet. Der englische Name „lensing“ rührt her von der Analogie zu optischen Linsen und der wirkenden Gravitationskraft. Der Mikrolinseneffekt (engl. microlensing) bezeichnet in der Astronomie dagegen den Fall, bei dem der Abstand zwischen den verschiedenen durch die Gravitationslinse erzeugten Bildern des Hintergrundobjekts so gering ist, dass sie von heutigen Teleskopen nicht getrennt beobachtet werden können, und bei dem auch die Lichtablenkung nicht gemessen werden kann.

*Abb. 6* aus dem Jahr 1979 zeigt das berühmteste Beispiel der Gravitationslinse, als „Einstein's Kreuz“ bezeichnet.

Die kosmische Raumzeit ist eine Menge beliebiger Ereignisse im Raum, die zu jeder Zeit auftreten. Die Zeit, die vierte Dimension – die Richtung, in der kosmische optische Phänomene ihre Geometrie, Position und Farbe im Raum ändern können /Minkowski 1909/, /Riemann 1854/. In der gekrümmten Raumzeit (*Abb. 8*) bewegt sich das Photon entlang von Wegen, die Linien extremer Länge zwischen allen möglichen Bögen sind, die die gegebenen und spezifischen Punkte der geodätischen Linie (G–Raumkurve) verbinden. Der Winkel, um den das Licht in einem Gravitationsfeld abgelenkt wird, ist proportional zu dem Winkel, um den die Schwerkraft auf es einwirkt. Die Worte des amerikanischen Atomphysikers John Archibald Wheeler sind äußerst treffend: „Materie erzählt der Raumzeit, wie sie sich zu verhalten hat, und die Raumzeit sagt der Materie, wie sie sich bewegt.“ Das Gravitationsfeld als besonderes kosmisches Medium ist ein neues Verständnis und eine neue Definition des Einflusses der Schwerkraft auf das Universum. Nach Einsteins Hypothese rotiert und bewegt sich die Raumzeit um ein rotierendes kosmisches Objekt /Einstein 1936/, /Venkatraman Krishnan 2020/ (*Abb. 8*). Eine optische Besonderheit des Kosmos ist der gravitative Spiegelungseffekt, der bei großem Winkel durch Lichtablenkung auf



**Abb. 6** | Das vierfache Bild des Quasars QSO 2237 + 0305 (periphere helle Flecken im Bild), das von der Galaxie gebildet wird und als Schleier erscheint, der alle Bilder umgibt. Der Lichtblick im Inneren ist sein Kern /<https://esahubble.org/images/opo9020a/>



**Abb. 7** | Geometrie des Spiegelreflexionseffekts und grafische Visualisierung der Flugbahn von Lichtquanten im Gravitationsfeld eines nahen Sterns:  $\nabla g$ : Gravitationsfeld-Intensitätsgradient,  $(\delta + \epsilon)$ : voller gravitativer Brechungswinkel,  $\delta$ ,  $\epsilon$ : partieller Brechungswinkel /eigene Darstellung/

der gegenüberliegenden Seite des Sterns bzw. der Galaxie auftritt (*Abb. 7*), wobei die folgende Bedingung erfüllt sein muss:

$$S \ll 4G \cdot \frac{M}{c^2} \cdot (\delta + \epsilon), \tag{4}$$

mit

$S$  kleinste Distanz des Lichtstrahls vom Mittelpunkt des Sterns in m,

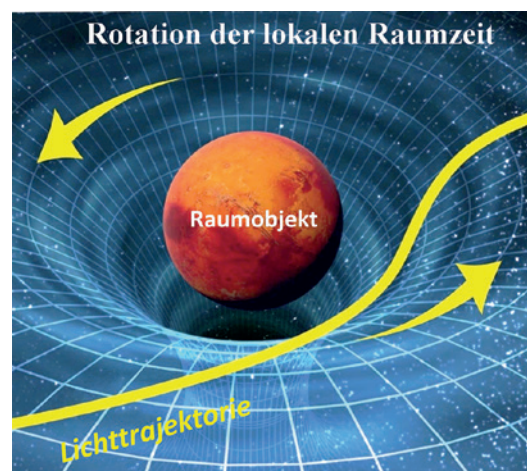
$G$  Gravitationskonstante in  $m^3/(kg \cdot s^2)$ ,

$c$  Lichtgeschwindigkeit in m/s,

$M$  Masse des Körpers in kg,

$(\delta + \epsilon)$  voller gravitativer Ablenkungswinkel in grad.

Nach der relativistischen Theorie wird die Lichtablenkung in einem Gravitationsfeld nur als Krümmung der Raumzeit gesehen. Nach Ergebnissen theoretischer Forschungen, basierend auf der Relativi-



**Abb. 8** | Visualisierung der Geometrie der Torsion und Verformung der Minkowski-Einsteinschen-Raumzeitstruktur, die durch die Nähe eines massiven rotierenden Weltraumobjekts verursacht wird. Anschaulicher Verlauf der Lichtbewegungsbahn, die durch Gravitationswechselwirkung gebogen wird /eigene Darstellung/.

tätstheorie, wird sie aber auch als Lichtablenkung in einem speziellen optischen Medium betrachtet, bei dem der Brechungsindex proportional zum Gravitationspotenzial des Felds ist /Simaciu & Ciubotariu 1992/. Abseits von Körpern ist das Vakuum homogen und isotrop mit einer Teilchendichte von Elektron-Positron-Paaren. In Anwesenheit einer Masse wird das Vakuum zu einem heterogenen optischen Medium. /Feng & Huang 2019/ und /Simaciu & Ciubotariu 1992/ betonen den Zusammenhang zwischen der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in einem dielektrischen Medium und der Ausbreitung derselben Wellen in gekrümmter Raumzeit (Abb. 8). /Feng & Huang 2019/ modellieren das physikalische Vakuum als dielektrisches Medium und leiten folgende Gleichungen für den absoluten Brechungsindex in einem Gravitationsfeld ab:

$$n_{g_i} = 1 + \frac{2G \cdot M}{c^2 \cdot S_i} \approx \left(1 - \frac{2G \cdot M}{c^2 \cdot S_i}\right)^{-1}, \quad (5)$$

mit

- $n_{g_i}$  graviativer Brechungsindex,
- $S_i$  Distanz des Lichtstrahls vom Mittelpunkt der Sterns für bestimmte Punkte der Lichtbahn in m,
- $G$  Gravitationskonstante in  $\text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ ,
- $c$  Lichtgeschwindigkeit in m/s,
- $M$  Masse des Körpers in kg,
- $(\delta + \varepsilon)$  voller Ablenkungswinkel in grad.

Der Gravitationsbrechungsindex des Mars in einer Höhe von 1 000 m über der Planetenoberfläche (mit  $M = 6,4171 \cdot 10^{23}$  kg und  $S = 3,389500 \cdot 10^6$  m) beträgt  $n_M = 1 + 2,807 \cdot 10^{-10}$ , während für die gleiche Höhe über der Erdoberfläche (mit  $M = 5,97219 \cdot 10^{24}$  kg und  $S = 6371,008 \cdot 10^3$  m) der Refraktionsindex  $n_E = 1 + 1,391 \cdot 10^{-9}$  beträgt.

Ein Lichtstrahl folgt immer dem kürzesten Weg, für den er die kürzeste Zeit benötigt, und seine Trajektorie wird zu einer Parabel (Abb. 7) oder einer Hyperbel. Photonen, Teilchen elektromagnetischer Energie, die das Gravitationsfeld passieren, verlieren allmählich ihre Energie. Dieser Effekt wird Gravitations-Rotverschiebung genannt. Ein von einem Stern ausgehender Lichtstrahl, der in der Raumzeit in der Nähe eines massereichen Objekts vorbeiläuft, wird um  $(\delta + \varepsilon)$  abgelenkt und oft auch in Form eines scheinbaren Bildes gespiegelt (Abb. 7) /Bryś 2020/.

Der Lichtstrahl im Gravitationsfeld wird in Richtung des zunehmenden Gravitations-Intensitätsgradienten abgelenkt. Der Wert des vollen Winkels der Gravitationsrefraktion wird aus Gl. (1) bestimmt. Unter Annahme realistischer Werte für einen massereichen Stern (im internationalen SI-System) mit:

$$\begin{aligned} M &= 10^{33} \text{ kg,} \\ G &= 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2), \\ S_1 &= 10^8 \text{ m,} \\ c &= 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

erhält man:

$$(\delta + \varepsilon) = 1,8884^9 = 2,09827^0.$$

Raumzeit ist ein mathematisches Konzept, das dreidimensionale Geometrie plus Zeit beinhaltet und viele wechselnde Bilder mit unterschiedlichen Dimensionen, Formen und Farben erzeugen kann. Im April 2017 zeichnete das EHT (Event Horizon Telescope) erstmals Lichtabsorption durch die Wechselwirkung eines Schwarzen Lochs

auf. 1907 definierte Hermann Minkowski den Begriff der Raumzeit auf geometrische Weise und führte, ähnlich wie Euklids Geometrie, den Begriff der Entfernungen zwischen Punkten ein. Minkowski-Zeitraum behandelt die Zeit als eine der Dimensionen des physikalischen Raums und das Spiegelbild ist der Effekt der Krümmung der Raumzeit /Minkowski 1909/. Die Schwerkraft von Weltraumobjekten erzeugt nichtlineare geometrische Eigenschaften für Kurven. 1908 zeigte Minkowski, wie man den Raum als Funktion der Zeit in Form eines geometrischen Bildes von Raumzeitrahmen modelliert (Abb. 8). Die Spezielle Relativitätstheorie beschreibt die Geometrie des lokalen Raums, die in der Kosmologie als Minkowski-Raum definiert wird. Der geometrische Effekt der Gravitationsstörung ist eine Singularität, d. h. ein Ort, an dem die Struktur der Raumzeit mit gekrümmten Linien des Felds verzerrt und das tatsächliche Bild des Kosmos deformiert wird. In der Quantenfeldtheorie wird die Bewegung eines Teilchens in einem Gravitationsfeld eindeutig durch seinen Ursprung und seine Anfangsgeschwindigkeit definiert. Dies gilt auch für die Raumzeit und für die Minkowski-Metrik.

Das Universum ist von elektromagnetischer Strahlung durchdrungen, insbesondere von hochenergetischer Gammastrahlung, Röntgenstrahlung und Licht. Kosmische Strahlen, die die Erde erreichen, haben einen anderen Namen, eine andere Geschwindigkeit, Frequenz und Wellenlänge. Wir unterscheiden zwischen Gamma-, Röntgen-, Ultraviolett-, Infrarot-, Mikrowellen-, Radio- und sichtbarer Strahlung. Alle Arten von kosmischer Strahlung haben eine gemeinsame Natur und gehorchen denselben Gesetzen der Physik. Photonen, Teilchen elektromagnetischer Energie, bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit, die im Vakuum viele Milliarden Lichtjahre zurücklegen und geraden Linien und Bahnen folgen können, die durch die Gravitationsfelder von Himmelskörpern gebogen werden. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie resultiert die Schwerkraft aus der lokalen Geometrie der Raumzeit der Galaxie, deren Masse in unserer Galaxie mehr als vier Milliarden Sonnen betragen kann. Eine besonders charakteristische und komplizierte Photonenstrahlenbahn tritt in der Ereignishorizontzone des Schwarzen Lochs auf (Abb. 9).

Träger elektromagnetischer Wechselwirkungen ist ein Photon, das weder eine elektrische Ladung noch ein magnetisches Moment besitzt. Photonen sind masselos und bewegen sich daher im Vakuum immer mit Lichtgeschwindigkeit. Ihre Ruhemasse ist null. Sie weisen Wellen-Korpuskular-Dualität auf, d. h. sie haben sowohl

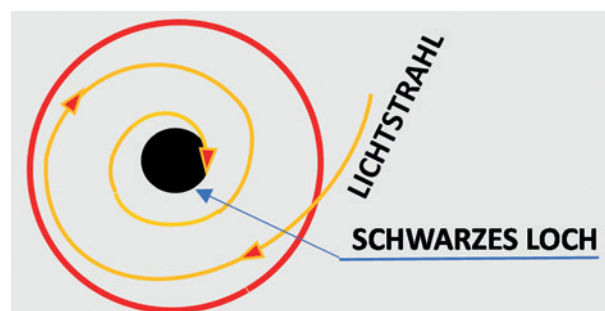


Abb. 9 | Grafische Darstellung der hypothetischen Photonenbahn innerhalb des Ereignishorizonts (Singularität – dreidimensionaler Rand der Raumzeit). Das starke Gravitationsfeld bewirkt, dass das Licht vom Schwarzen Loch völlig absorbiert wird /eigene Darstellung/.

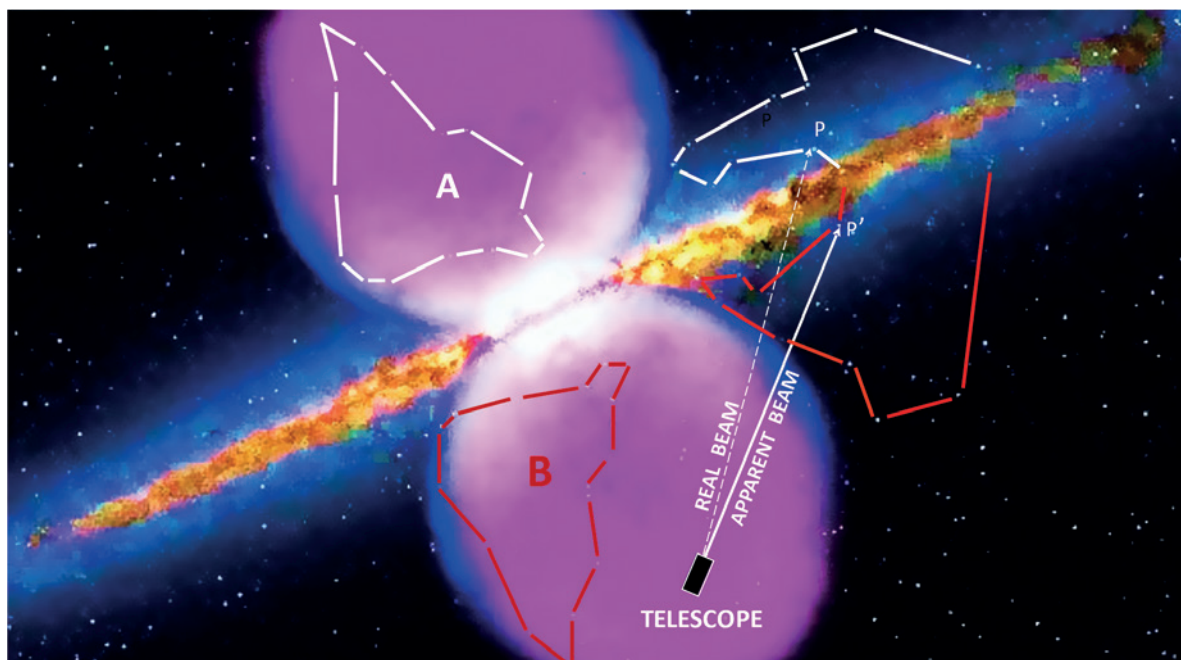
Teilchen- als auch Lichtwelleneigenschaften. Aus Quantensicht ist Licht ein dichter Strom von Photonen /DeGrasse et al. 2016/, /Embacher 2015/. In der Physik ist das Photon ein Quant eines elektromagnetischen Felds, z. B. sichtbares Licht. Die Gravitationskräfte bewirken, dass der Brechungsindex der Raumzeit nicht konstant ist und sich die Frequenzen der Photonenstrahlen ändern.

### 3 FERNERKUNDUNG UND GEOMETRISCHE FOTOINTERPRETATION OPTISCHER PHÄNOMENE VON KOSMISCHEN BILDERN

Die physikalischen Grundsätze des Raums und der nichteuklidischen Geometrie resultieren aus der Theorie von Riemann und Minkowski, die die mathematische Grundlage der Lichtbahn bilden. Das Vakuum krümmt die Raumzeit nach außen, die Massen dagegen nach innen. Eine kosmische Spiegelreflexion in Form einer unteren Fata Morgana kann entstehen, wenn die Lichtstrahlen im Zentrum des Gravitationsfelds kontinuierlich gebogen werden, wodurch invertierte Scheinbilder entstehen. Flugbahnen von Lichtstrahlen in einer Gravitationsumgebung werden gemäß der Theorie von Riemann /Riemann 1854/ und Minkowski /Minkowski 1909/ durch die Emission von hochenergetischen Quantenlicht-Photonen geformt. Spiegelreflexionen sind optische Phänomene des Universums, die als Doppel- oder Mehrfachbilder von Objekten Millionen von Lichtjahren entfernt von einem Teleskop auf der Erde oder im Weltraum beobachtet werden.

Der Effekt der Krümmung der Raumzeit kann eine Fata Morgana sein (Spiegelreflexion – untere Fata Morgana in *Abb. 10*). Spiege-

lungen sind scheinbare Bilder entfernter Objekte als Ergebnis der unterschiedlichen Gradienten des Gravitationspotenzials von Feld und Masse, die das Raum-Zeit-Vektorfeld bilden und die Richtungen des schnellsten Anstiegs des Gravitationspotenzials anzeigen. Das Farbbild (*Abb. 10*) zeigt deutlich symmetrische Spiegelungsreflexion und eine umgekehrte Sternkonstellation namenloser Sterne. Beide Szenen sind durch die unsichtbare gerade Linie des Äquators der Galaxis getrennt. Das Spiegelbild der geometrischen Figuren von A und B im Bild ist ein visueller Beweis für die Spiegelreflexion im weiten Universum. *Abb. 10* mit der unteren Fata Morgana bestätigt Einsteins Vorhersagen vor hundert Jahren über optische Phänomene im Kosmos. Jede Masse krümmt die Raumzeit so um sich selbst, dass gerade Bahnen sich frei bewegender Wellen im Vakuum, einschließlich Licht, gebogen werden, wenn sie das Gravitationsfeld passieren. Die detaillierte geometrische Interpretation der Szenen des Originalfotos im Farb-RGB-Profil zeigt auf den ersten Blick, dass der untere Bereich der B-Konstellation ein Spiegelbild des oberen Teils des A-Felds ist. Es handelt sich tatsächlich um eine äußerst ausgedehnte untere Spiegelreflexion. Die gebogenen Lichtstrahlen – Effekt der Attraktion eines Weltkörpers – treffen scheinbar aus einer anderen Richtung auf das Auge des Beobachters (Raumsonde oder Teleskop). Aufgrund der zufälligen Massenverteilung in einem Sternhaufen werden Lichtstrahlen unterschiedlich gekrümmt, was oft zu mehreren Spiegelbildern führt /Shapiro & Shapiro 2010/. Die Stärke des Gravitationsfelds eines Sternhaufens wird nicht nur durch die Massen der Sterne bestimmt, sondern auch maßgeblich durch die im Raum des Sternhaufens vorhandenen planetarischen Nebel. *Abb. 10* zeigt, dass Sterne, die näher an der Querebene des Äquators liegen, geometrisch genauer abgebildet



**Abb. 10** | Kosmische Spiegelreflexion: Untere Fata Morgana vor dem Hintergrund entfernter FERMI-Blasen /Bryś 2020/. Ein verarbeitetes und fertiggestelltes hochauflösendes Bild des kosmischen Spiegelbildes (B) um die Milchstraße herum, 28 000 Lichtjahre vom Zentrum der Galaxis entfernt. Entwicklung und Interpretation im RGB-Farbprofil mit geometrischen Elementen und Autorzeichnungen zum Vergleich der Symmetriegeometrie der Sternkonstellationen (Referenzfelder: A – weiße Farbe, B – rote Farbe) /Bildbearbeitung: H. Bryś; Original- und vergrößertes Bild basiert auf einem NASA-Poster, <https://fermi.gsfc.nasa.gov/>.



sind als weiter entfernte. Die genaue Identifizierung der Sterne in der tatsächlichen Szene A mit den in Szene B sichtbaren Sternen ist im Allgemeinen schwierig, da das Bild auch Vordergrundsterne erfassen kann, die näher sind als die Galaxie im Hintergrund. Minimale Abweichungen zwischen Verschiebungen und Positionen anonymer Sterne im oberen und unteren Bildbereich (*Abb. 10*) sind damit begründet, dass die Schwerkraft auf den entsprechenden Bereich in Raumzeit, Massenverteilung sowie Zeitskala bezogen ist und Helligkeitsgradienten zwischen benachbarten Bildpunkten sowie Helligkeitsschwankungen (Flimmern) von Sternen auftreten. Auch die Erdatmosphäre ist nicht statisch, die Luft ist in ständiger horizontaler und vertikaler Bewegung (Konvektion und Wind). Luftmassen unterschiedlicher Temperatur und Feuchtigkeit bewegen sich und vermischen sich miteinander, was zu ständigen, schnellen Richtungsänderungen des beobachteten Himmelskörpers führt. Mit bloßem Auge ist dieses Phänomen als flackernder Stern sichtbar. Die Größe der Schwingungen von Sternen wird in der Astronomie „Seeing“ genannt. Der optische Effekt des Flimmerns ist die kontinuierliche Bewegung des Himmelsobjekts im Teleskop, wodurch das Bild unscharf wird. Die Geometrie kosmischer Spiegelreflexionen ist nicht stabil, sie ändert ihre Form in Zeit und Raum.

#### 4 ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN UND PERSPEKTIVEN DER WEITEREN FORSCHUNGEN

Anhand digitaler Bilder analysiert der Autor die Phänomene des starken kosmischen Linseneffekts und der gravitativen Lichtbrechung. Zusammenfassend stellt er fest, dass die Identifizierung und geometrische Interpretation kosmischer Bilder eine nähere Erklärung des Fata-Morgana-Phänomens im fernen Kosmos ermöglichte. Aufgrund der Schwerkraft eines massereichen Sterns oder einer Galaxie können sich im Universum Spiegelbilder von enormen Ausmaßen ausbilden (*Abb. 10*). Hervorzuheben ist, dass Bilder, die mit einem Teleskop aus einer anderen Perspektive der Raumsonde oder zu einer anderen Zeit von verschiedenen astronomischen Observatorien aufgenommen wurden, aufgrund von Änderungen in der gravitativen Anziehungskraft der Rotation einer Spiralgalaxie zunehmend mehr Unterschiede enthalten. Alle Interpretationen der Auswirkungen optischer Phänomene wurden auf der Grundlage von Original-Weltraumbildern erstellt, die von der NASA/ESA aufgenommen und veröffentlicht wurden. Das Thema der kosmischen Fernerkundung von optischen Phänomenen im Weltraum wird in der Fachliteratur nicht häufig behandelt. Die Studie des Autors ist ein Versuch, einen Beitrag zur Schließung dieser Lücke zu leisten. Der Autor hofft, dass basierend auf digitalen Bildern der neuesten Generation von Superteleskopen (u. a. VLT-System – Very Large Telescope, James WEBB Space Telescope für Infrarot-Beobachtungen) aufgenommen von verschiedenen Orten auf der Erde und im Weltraum, eine höhere Bildauflösung erzielt wird und eine detailliertere und umfassendere geometrische und physikalische Interpretation der in dieser Studie präsentierten kosmischen Phänomene möglich werden. Das genaueste von der NASA veröffentlichte Bild (2015) wurde aus einer Menge von mehreren hundert miteinander verbundenen Bildern der Andromeda-Galaxie erstellt, die vom Hubble-

Weltraum-Teleskop aufgenommen wurden, und enthielt insgesamt 1,5 Milliarden Pixel /SwiatObrazu.pl (2015)/. Das vorgestellte astrophysikalische Problem optischer Phänomene im fernen Weltraum erfordert weitere interdisziplinäre Forschungen, sowohl experimentell als auch theoretisch /Powell 2018/. Fortschritt der Wissenschaft, moderne Techniken und Technologien der Fernerkundung optischer Phänomene und die Entwicklung alternativer Methoden zur Verarbeitung und Analyse digitaler Fotos werden zweifellos eine immer detailliertere Interpretation kosmischer Bilder ermöglichen. Dank Online-Plattformen gibt es derzeit Tausende perfekter Bilder und astronomischer Beobachtungen, die das Auftreten rätselhafter kosmischer Erscheinungen bestätigen könnten. Diese Veröffentlichung ist eine zusammenfassende Studie der Ergebnisse der theoretischen astrophysikalischen Forschung, des Studiums der Literatur zu diesem Thema und der geometrischen Interpretation der Originalbilder optischer Phänomene und gleichzeitig ein kleiner Schritt in das unendliche und mysteriöse Universum. Die Errungenschaften und Resultate der neuesten Entdeckungen des Lensing und der Bilder kosmischer Phänomene führen uns von unserem eigenen Sonnensystem bis an die äußersten Grenzen des Weltraums. Der Kosmos birgt noch viele Geheimnisse und Überraschungen, aber es ist zu hoffen, dass bald weitere, bisher unbekannte optische Phänomene entdeckt werden, die Einsteins Vorhersagen von vor über hundert Jahren bestätigen!

„Man könnte sagen, dass Gott der beste Mathematiker ist, der mit sehr komplizierter Mathematik das Universum erschaffen hat“ (Albert Einstein).

#### LITERATUR

Alcock, C.; Allsman, R. A.; Alves, D. R.; Axelrod, T. S.; Becker, A. C.; Bennett, D. P.; Cook, K. H.; Dalal, N.; Drake, A. J.; Freeman, K. C.; Geha, M.; Griest, K.; Lehner, M. J.; Marshall, S. L.; Minniti, D.; Nelson, C. A.; Peterson, B. A.; Popowski, P.; Pratt, M. R.; Quinn, P. J.; Stubbs, C. W.; Sutherland, W.; Tomaney, A. B.; Vandehei, T.; Welch, D. (2000): The MACHO Project: Microlensing Results from 5.7 Years of Large Magellanic Cloud Observations. In: *The Astrophysical Journal* 542(2000)1, 281–307.

Beck, H. P. (2017): Wie berechnet sich das Alter des Universums? In: *universitas* 18(2017)4. <https://www.unifr.ch/universitas/de/ausgaben/2017-2018/erwachsenenfragen/wie-berechnet-sich-das-alter-des-universums.html>.

Bryś, H. (2017): Refraktionsmodelle in der hochpräzisen Ingenieurvermessung. Anwendungen in der industriellen Messtechnik. In: *VDVMagazin* (2017)1, 30–35.

Bryś, H. (2020): Hyperrefraktionseffekt durch Gravitationsfeld und Spiegelungsbilder im Weltall. In: *allgemeine vermessungs-nachrichten* (2020)5, 232–238.

DeGrasse, T.; Strauss, M. A.; Gott, J. R. (2016): *Welcome to the Universe: An Astro-physical Tour*. Princeton University Press, Princeton, NJ., 100–169.

Einstein, A. (1911): Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes. In *Annalen der Physik* 35(1911), 890.

Einstein, A. (1922/1984): *The Meaning of Relativity*. Princeton University Press. Copyright removed 1984 by Hebrew University Jerusalem.

Einstein, A. (1936): Lens-Like action of a star by the deviation of light in the gravitational field. In: *Science* 84(1936), 506–507.

Embacher, F. (2015): *Das Konzept der Raumzeit-Krümmung*. Powerpoint-Präsentation, Vortrag auf der Jahrestagung der Wiener Arbeitsgemeinschaft

für Astronomie Wien, 14.11.2015. <https://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/Raumzeitkrueimmung> (30.08.2022).

Feng, G.; Huang, J. (2019): A geometric optics method for calculating light propagation in gravitational fields. In: *Optik*, 194(2019)163082.

Kraśniński, A. (2016): Sto lat ogólnej teorii względności. In: *Nauka* (2016)1.

Minkowski, H. (1909): Raum und Zeit. In: *Physikalische Zeitschrift* 104(1909)10, 104–111.

Plebański, J.; Kraśniński, A. (2006): An Introduction to General Relativity and Cosmology – Parallel transport and geodesic lines. Cambridge University Press, 33–34.

Powell, J. (2018): Rare Astronomical Sights and Sounds. Springer Nature Switzerland, Cham.

Riemann, B. (1854): Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen [aus dem dreizehnten Bande der Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.] Transcribed by D. R. Wilkins, Preliminary Version: December 1998, Corrected: April 2000, 1–6.

Sauer, T. (2010): Zur Geschichte der Gravitationslinsen. In: *Einstein Online* 4(2010), 3–1104.

Schneider, J.; Ehlers, E. E.; Falco, E. E. (1992): Gravitational Lenses. Springer, Berlin.

Shapiro, S. S.; Shapiro, I. I. (2010): Lichtablenkung durch Gravitation. In: *Einstein Online* 4(2010), 1105.

Simaciu, I., Ciubotariu, C. (1992): Gravitational refractive index and physical vacuum. National Conference on Physics, 21.–24.09.1992, Jassy, Rumänien.

Soldner, J. G. (1804): Ueber die Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht. In: *Berliner Astronomisches Jahrbuch* 1804, 161–172.

SwiatObrazu.pl (2015): 1,5 miliarda pikseli – największe zdjęcie galaktyki Andromedy (1,5 Milliardów Pixel – das größte Bild der Andromeda-Galaxie). <https://www.swiatobrazu.pl/15-miliarda-pikseli--najwieksze-zdjecie-galaktyki-andromedy-31896.html> (30.08.2022).

Venkatraman Krishnan, V.; Bailes, M., van Straten, W.; Wex, N.; Freire, C.; Keane, T.; Tauris, P.; Rosado, A.; Bhat, N.; Flynn, C.; Ostrowski, S. (2020): Lense-Thirring frame dragging induced by a fast-rotating white dwarf in a binary pulsar system. In: *Science* 367(2020)6477, 577–580. DOI: 10.1126/science.aax7007.

Wikipedia (2022): Gravitational microlensing. [https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational\\_microlensing](https://en.wikipedia.org/wiki/Gravitational_microlensing) (30.08.2022).

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. habil. Henryk Bryś

POLNISCHE AKADEMIE DER  
WISSENSCHAFTEN, KOMMISSION FÜR  
GEODÄSIE UND UMWELTECHNIK

ul. Na Błonie 3 B/66 | 30-147 Kraków/Polen  
henryk.brys@o2.pl

