

## Leserbrief zur Lichtlaufzeit

In seinem Kommentar zum Leserbrief »Lichtlaufzeit« in SuW 2/2023, S. 6, illustriert Ulrich Bastian den Effekt der Lichtlaufzeit mit den von internationalen oder gar interkontinentalen Live-Interviews bekannten Pausen zwischen Fragen und Antworten, die oft mehrere Sekunden dauern. Ich finde diese Analogie irreführend. Nach meinem Wissen entstehen solche Zeitabstände (Latenzen) nahezu ausschließlich dadurch, dass ein analoges Signal digitalisiert, be- und verarbeitet, beim Empfänger wieder be- und verarbeitet und schließlich per D/A-Wandler wieder in die analoge Welt überführt wird. Dieser Vorgang kann je nach Leistungsfähigkeit, Komplexität und Kompatibilität der verwendeten Systeme durchaus irritierend lange dauern. Die Lichtlaufzeit ist in diesem Zusammenhang eigentlich völlig zu vernachlässigen.

MARKO KOLM, WIEN

*Herr Kolm hat einerseits Recht. Die Verzögerungen innerhalb der ganz erheblichen Kette von Computer- und Antennensystemen, die an einer solchen Datenübertragung im Fernsehen beteiligt sind, reichen als Erklärung für die Pausen vollkommen aus: Wenn man an einer Skype- oder Zoom-Verbindung innerhalb von Deutschland teilnimmt, die wahrscheinlich nicht die Erdatmosphäre verlässt, dann erlebt man auch schon oft eine halbe Sekunde – sehr deutlich zum Beispiel, wenn man den eigenen Lautsprecher nicht abgeschaltet hat und die Stimme eines Partners als mehrfaches Echo hört.*

*Die Lichtlaufzeit ist allerdings nicht immer zu vernachlässigen. Sobald die Verbindung über einen geostationären Satelliten verläuft, dann ist sie erheblich: Für einen einzelnen Satellitensprung (das heißt hin und zurück; das ergibt die Verzögerung einer Antwort) sind viermal 36 000 Kilometer zurückzulegen, was ziemlich genau 0,5 Sekunden entspricht. Für sehr ferne Partner sind zwei Sprünge nötig, und dann sind wir schon bei der vollen Sekunde. Bei erdnahen oder rein terrestrischen Verbindungen erreichen die reinen Laufzeiten dagegen kaum mehr als 0,1 Sekunden.*

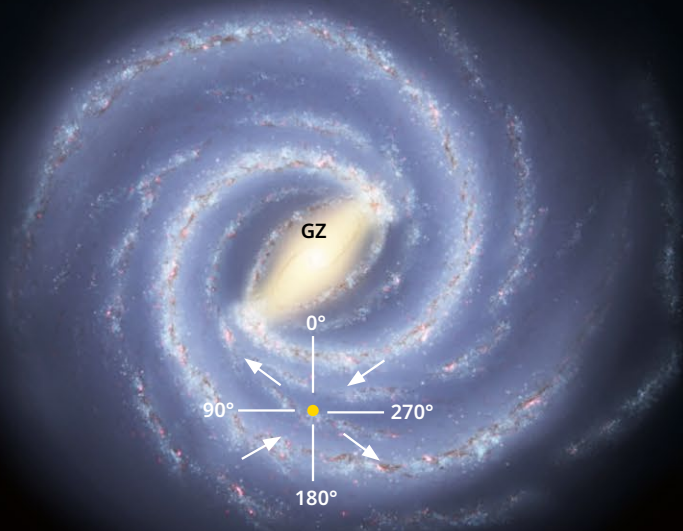
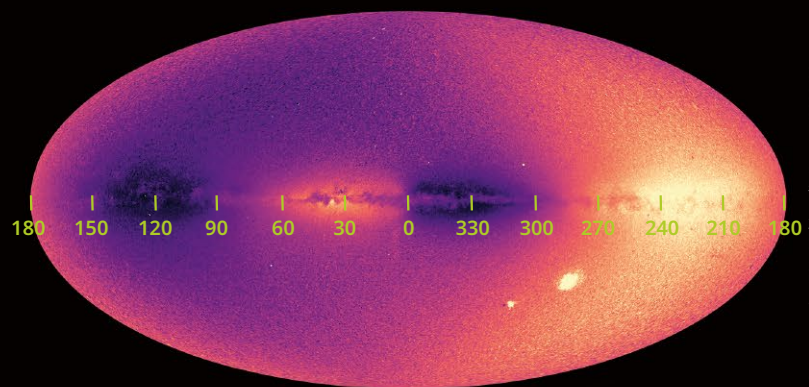
ULRICH BASTIAN

## Gaia und die Rotation des Milchstraßensystems

Auf Seite 10 von SuW 10/2022 ist auf der ersten Grafik oben die Verteilung der Radialgeschwindigkeiten der Sterne aus dem Gaia-Katalog über den gesamten Himmel gezeigt. Diese Grafik eignet sich – in Verbindung mit einer Draufsicht unserer Galaxis – sehr gut für die Veranschaulichung der differentiellen Rotation der Milchstraße um das galaktische Zentrum (GZ). Ich habe versucht, dies in der beigefügten Datei zu illustrieren. Vielleicht können Sie eine schönere Version davon herstellen.

Entlang der Milchstraßenscheibe sind im oberen Bild zwei positive und zwei negative Bereiche der Radialgeschwindigkeit zu erkennen. Überträgt man die aus dem Farbton der oberen Karte entnommenen Radialgeschwindigkeiten in Scheibennähe entlang der galaktischen Länge in die Draufsicht (unteres Bild), so erkennt man für die Massen, die innerhalb der Sonnenbahn zirkulieren, ein Vorauseilen gegenüber der Sonne, während die Massen außerhalb des Sonnenbahnradius zurückbleiben. Daraus folgt, dass die Sterne weiter innen eine kürzere Umlaufzeit um das GZ als die Sonne aufweisen, und weiter außen befindliche Sterne eine längere.

FRITZ SCHAUER, KIRCHZARTEN



**Innenansicht und Aufsicht** Oben ist eine Ganzhimmelskarte der mittleren Radialgeschwindigkeit von Gaia-Sternen dargestellt. Der Farbcode bedeutet, dass dunkle Bereiche auf die Sonne zukommen, während sich helle von ihr entfernen. Entlang des Milchstraßenbands (horizontale Mittellinie) ist die galaktische Längenkoordinate aufgetragen; die Richtung zum galaktischen Zentrum liegt in der Bildmitte (bei Länge null). Die beiden hellen Flecken sind die Magellanschen Wolken, unsere nächsten größeren Nachbargalaxien. Unten wird die mittlere Radialgeschwindigkeit der Sterne relativ zur Sonne (gelber Fleck) bei senkrechter Sicht auf die Milchstraßenscheibe künstlerisch wiedergegeben. Die Sonne läuft im Uhrzeigersinn um das galaktische Zentrum (GZ).

ESA/Gaia/DPAC (www.esa.int/ESA\_Multimedia/Images/2022/06/Gaia\_Exploring\_the\_multi-dimensional\_Milky\_Way\_portrait\_version)/CC BY-SA 3.0 IGO (creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/legalcode)

NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech) (solarsystem.nasa.gov/resources/2887/the-milky-way-galaxy/); Bearbeitung: SuW-Grafik

# Erstmals Kohlendioxid auf Exoplanet aufgespürt

Der Artikel in SuW 1/2023, S. 14, über eine Atmosphäre aus Wasserstoff und Kohlendioxid bei 900 Grad Celsius auf dem Exoplaneten »WASP-39 b« weckte meine Aufmerksamkeit, da ich jahrelang mit Atmosphären in Industriehöfen bei der Stahlherstellung zu tun hatte. Der Gehalt an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wird im Artikel nicht genannt. Aber es ist klar, dass ein reines, aus diesen Komponenten bestehendes Gasgemisch nicht existieren kann. Chemisch ist das Reaktionsgleichgewicht  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  anzusetzen mit der Gleichgewichtskonstante  $K_p = (\text{pCO}_2 \cdot \text{pH}_2) / (\text{pCO} \cdot \text{pH}_2\text{O})$ , wobei p für den Partialdruck des jeweiligen Gases steht. Diese Gleichgewichtskonstante hat die Abhängigkeit  $\log K_p = -1,574 + 1717/T$  von der absoluten Temperatur T in Kelvin. Für 900 Grad Celsius beträgt also die Gleichgewichtskonstante 0,774.

Nimmt man ein Verhältnis von 10:1 für Wasserstoff zu Kohlendioxid an, dann bestünde die Atmosphäre bei 900 Grad Celsius aus 54,98 Prozent H<sub>2</sub>, 5,50 Prozent CO<sub>2</sub> und in Summe 39,52 Prozent H<sub>2</sub>O plus CO. Mit steigender Temperatur fällt der Anteil an H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>, dafür steigt der Anteil an H<sub>2</sub>O und CO in der Atmosphäre. Diese beiden Gase müssten also auf jeden Fall auch in der Atmosphäre des Exoplaneten enthalten sein. Wenn zusätzlich Methan nachzuweisen ist, dann gibt es dazu verschiedene Bildungsgleichgewichte, in denen der Wasserstoffpartialdruck mit der zweiten oder dritten Potenz eingeht. Das bedeutet, dass diese Gleichgewichte zusätzlich zur Temperatur auch vom Druck abhängig sind. Je nach an-

genommenen Gradienten für Temperatur und Druck über die Höhe der Atmosphäre ergibt sich eine komplexe und dynamische Welt.

JAN SUNDERMANN,  
ERKRATH

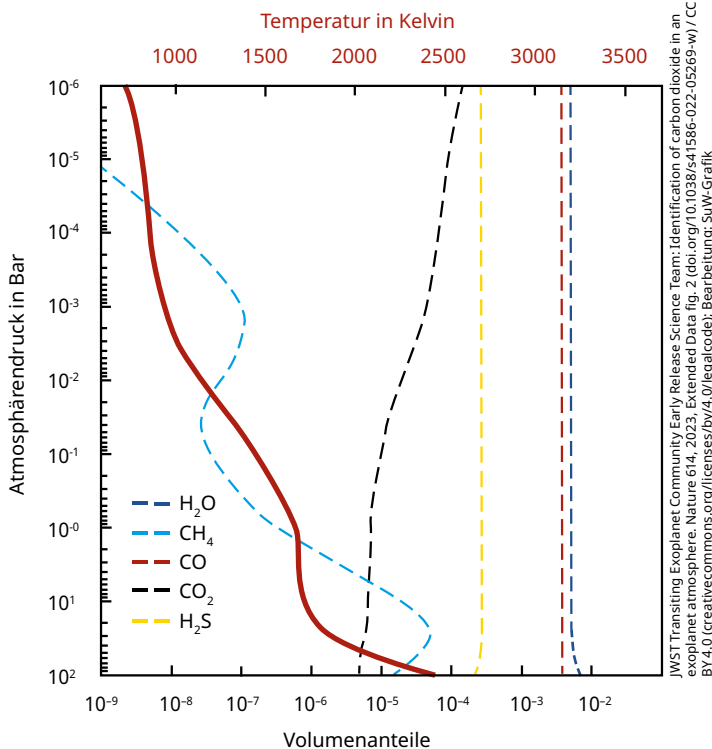
*Herr Sundermann beschreibt zutreffend einige der Komplexitäten, die bei der Untersuchung und Interpretation von Exoplanetenatmosphären zu beachten sind. Die Originalarbeit, die im Web kostenlos bei der Zeitschrift »Nature« eingesehen und heruntergeladen werden kann (suw.link/2305-LB1), berücksichtigt neben den von ihm genannten Molekülen auch noch (mindestens) Helium und Schwefelwasserstoff, sowie diverse Stickstoffverbindungen, außerdem die Konvektion in der Atmosphäre, die Variation der Temperatur mit der Höhe, sowie Aerosole (»Wolken«).*

*Letztlich muss man die ganze Atmosphäre simulieren und verschiedene Simulationen mit den Messdaten vergleichen, um Letztere deuten zu können. Diejenige Simulation, die im Fall von WASP-39 b am besten passt, hat die in nebenstehendem Bild gezeigte Struktur. Diese wird unter der Annahme berechnet, dass alle Elemente außer Wasserstoff (H) und Helium (He) die gleichen Häufigkeitsverhältnisse haben wie in der Sonne. Nur deren Verhältnis zu H und He wird variiert, bis es passt. Das Verhältnis von CO und CO<sub>2</sub> (und all den anderen Molekülen) zu H<sub>2</sub> ist allerdings viel, viel kleiner als in Herrn Sundermanns Berechnungen angenommen – jedoch zehn mal so hoch als zum Beispiel bei Jupiter und Saturn.*

*Schon vor dem Artikel in Nature waren in der Atmosphäre Natrium, Kalium*

## Briefe an die Redaktion

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage unter [www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe](http://www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe), wo Sie auch Ihren Leserbrief direkt in ein Formular eintragen können. Zuschriften per E-Mail: [leserbriefe@sterne-und-weltraum.de](mailto:leserbriefe@sterne-und-weltraum.de)



### Wahrscheinliche Struktur der Atmosphäre von WASP-39b

Nach oben ist der Druck in Bar aufgetragen; jede Zehnerpotenz entspricht etwa 2400 Kilometer in der Höhe. Die fette rote Linie ist die Temperatur, die anderen Kurven bezeichnen die Teilchendichten der einzelnen links unten angegebenen Moleküle im Verhältnis zur gesamten Dichte. Man beachte die enorme Temperaturzunahme mit der Tiefe. Die für den Nachweis des CO<sub>2</sub> entscheidende Schicht ist im Bild etwa auf halber Höhe (um 10<sup>-2</sup> Bar); sie enthält etwa 0,001 Prozent (10 ppm) an CO<sub>2</sub>.

und Wasser nachgewiesen worden. Das Vorkommen von Wasser und CO hat Herr Sundermann ja schon ganz richtig gefordert. Jeder dieser Nachweise ist aber extrem schwierig, und CO<sub>2</sub> war aus Infrarotmessungen des Weltraumteleskops Spitzer schon vermutet worden.

Der Nature-Artikel macht aus dieser vagen Vermutung nun einen definitiven Nachweis. Dessen Grundlage ist die Tatsache, dass der Stern bei

einer Wellenlänge von etwa 4,4 Mikrometern jeweils um rund 0,1 Prozent (!) mehr an Helligkeit verliert als bei benachbarten Wellenlängen, während der Planet alle 4,055 Tage vor der Sternscheibe vorbeiwandert: Wegen der Anwesenheit des CO<sub>2</sub> ist die Atmosphäre des Planeten bei dieser Wellenlänge bis in größere Höhen undurchsichtig, wodurch der Planet etwas größer erscheint.

ULRICH BASTIAN

JWST Transiting Exoplanet Community Early Release Science Team: Identification of carbon dioxide in an exoplanet atmosphere. Nature 614, 2023. Extended data fig. 2 (doi.org/10.1038/s41586-022-05269-w)/CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode); Bearbeitung: SuW-Grafik