



Horst Reiner Menzel

# Astronomie - Physik - Universum - Künstliche Intelligenz - Robotik

Fragen, Anregungen und Ideen  
zum besseren Verständnis ohne Formeln

# **Inhalts-Verzeichnis**

Letzte Überarbeitung Oktober 2022

## Teil 1

Denkanstöße – Fragen, Anregungen und Ideen zu  
Astronomie – Physik – Universum – Dunkle Materie ohne  
Denkverbote. Philosophische Überlegungen über den  
Sinn und Zweck unseres Seins im Universum –  
Gedanken über die Schöpfung, Weltbild - Ethik - Moral  
des Universums.

## Teil 2

KI - Künstliche Intelligenz, Robotik – was kann sie leisten  
Information und Informationsgeschwindigkeit

Autor Horst Reiner Menzel Entstanden in den Jahren  
2005 - 2022

## **Vorwort 1. Teil**

Philosophische Betrachtungen über Sinn und Zweck unseres Seins im Universum. "Habe Vertrauen zum Leben - und es trägt dich lichtwärts." (Seneca) Zu höchsten Höhen und Erfolgen könnte man ergänzen, aber vielen Menschen fehlt die Basis, das Urvertrauen, welches nach dem behüteten Leben im Elternhaus oft verloren geht, wenn es mit den Alltagsrealitäten konfrontiert, viele Risse bekommt.

Platon machte sich auch solche Gedanken, in seinem Gleichnis:

„Wir sind gefesselte und verbringen mit dem Rücken zur Wahrheit unser Leben. Gefangene in einem Schauspiel und vertun unser Leben mit der Frage aller Fragen und kommen ihr nicht näher: „Wozu sind wir da?“

Hermann Hesse meint: „Wir verlangen, das Leben müsse einen Sinn haben; aber es hat nur so viel Sinn, als wir selber ihm zu geben imstande sind“. Ja, warum sind wir entstanden, wozu sind wir erschaffen worden? Ist das zu hinterfragen Blasphemie? Nein, die Frage muss erlaubt sein. Was hat das Universum mit uns vor? Was bleibt von uns? Hinterlassen wir Spuren oder Informationen? Der Versuch eine Antwort darauf zu finden, welchen Sinn unser Dasein gehabt haben könnte, wenn wir physisch nicht mehr existieren, muss erlaubt sein. Werter Leser, vor ein paar Tagen wurde ich 84 Jahre alt, ich mache mir seit Jugendzeiten meine Gedanken, warum es uns Menschen gibt, ob unsere Spezies sinnlos verschwinden wird, ohne eine Spur zu hinterlassen. Im Laufe der Jahre hat sich bei mir die Erkenntnis durchgesetzt, dass es einen tieferen Grund für unsere Existenz geben muss, denn: Aus nichts, geschieht nichts und ohne Grund auch nicht. Was bei

meinen Überlegungen herausgekommen ist, erhebt keine wissenschaftlichen Ansprüche, gehört eher in den Bereich der Philosophie. Meine Gedanken gehen beim Aufbau des Universums oft in eine andere Richtung, als es die Fachwelt vorgibt, aber was wäre die Welt ohne Querdenker, denn gerade sie sind oft jene, die frei vom Balast der Wissenschaften neue Ideen entwickeln. Wenn es Sie interessieren sollte, geben Sie mein kleines Essay vielleicht an Ihnen bekannte Denker oder Wissenschaftler weiter, ich bin neugierig, ob es schon Überlegungen in der von mir angedachten Richtung gibt.

Der Autor

## **Das kleine Pflänzchen - Sinnbild neuen Lebens**



Quelle: Pixabay

## **Die Suche nach dem Sinn des Lebens**

Auf der Suche nach dem Sinn des Lebens errichtete die Menschheit seit Anbeginn die unterschiedlichsten Religionen. Doch es ist nur eine Flucht, mit der wir versuchen die Unausweichlichkeit des Endes unserer physischen Existenz, eine weitere Sinnhaftigkeit anzuhängen. Doch alle Wege diesem Ziel nahezukommen, sind unrealistische Irrwege, nicht zu Ende gedachte Metamorphosen des Geistes. Die gedachte Richtung nach oben in den Himmel, in die wir dieses Ziel verlagern stimmt zwar, nur, wo sollte da oben ein Gott, der alles lenkt wohnen? Im Weltraum wäre ein göttliches Wesen nicht beständig, wäre auch als Geistwesen gedacht, nur in der Fantasie für uns Menschen vorhanden und zuständig, also undenkbar. Einen Gott personifiziert zu sehen ist ebenso Unsinn. Wenn wir ehrlich sind, müssen wir das gesamte Universum als unseren wahren Schöpfer ansehen und annehmen, ganz einfach, weil es uns geschaffen hat, erhält und unser Leben bestimmt. Wenn es das ewige Leben gibt, dann müssen wir es in einem alles durchdringenden Energiefeld, oder bisher unbekannten Informationsfeldern im Universum sehen. Mit Sicherheit aber nicht als das von den Religionen versprochene ewige Leben, in seiner physischen oder geistigen Form. Bei unserer Geburt ist das „Ich“ wohl schon vorhanden, im weiteren Laufe unseres Lebens, entwickelt es sich zum Ich-Bewusstsein. Mit unseren Erfahrungen, mit unserem Wissen, Können und Fertigkeiten entsteht ein Persönlichkeitsbild, sodass wir uns selbst erkennen können und mit dem wir anderen begegnen. Unser materieller Körper besteht zunächst aus zwei Zellen, aus denen sich unsere äußere Gestalt nach einem Bauplan,

der DNA entwickelt hat. Die Materie, aus der unser Körper besteht, wird im Laufe unseres Lebens immer wieder ausgetauscht und erneuert sich jeden Tag um Millionen Male. Beständig sind nur die Informationen, die in unseren Genen, wie in einer Betriebssystem-Software gespeichert lagern. Variable Informationen können nur unsere Hirnzellen verarbeiten und speichern. Diese Informationen können mit anderen Gehirnen über verschiedene Informations-Wege, wie Sprache-Hören-Sehen, Schrift-Lesen, Gefühl, Geschmack, Gestik und neuerdings über das Internet ausgetauscht oder weitergegeben werden.

Unser Bewusstsein ist demzufolge nur Information. Aus dieser grundlegenden Erkenntnis ergeben sich folgende Fragen: War vor unserer Geburt, nur der Bauplan mit allen genetischen Informationen der DNA zum Aufbau unseres Körpers vorhanden, oder wurden auch variable Informationen mitverarbeitet und wo kamen sie her? Informationen, die über die Gene transportiert werden, sind ja nur im Zeitrahmen des zeugungsfähigen Alters möglich, können deshalb nur in dieser Phase von einer zur nächsten Generation weitergegeben werden. Was passiert aber mit den Informationen, die wir im Laufe unseres Lebens im Gehirn ablegen, bei unserem Tode, gehen sie verloren?

## **Die Suche nach den Informationswegen**

Wenn man den Naturgesetzen folgt, geht im Universum vermutlich nichts verloren, demzufolge auch keine Informationen. Damit erhebt sich die Frage, wo werden Informationen gespeichert, bzw., woher kamen die Informationen, die zu unserer Entstehung führten oder wurden sie auch schon ständig, während unserer Lebensphase gespeichert und dies eventuell nicht nur in unseren Gehirnen? Da alles was einen Menschen ausmacht, nicht nur das Ergebnis eines einzigen Lebens sein kann, müssen wir davon ausgehen, dass die meisten Informationen schon in den Genen und unseren ererbten Anlagen, bei unserer Entstehung in diesen zwei Zellen vorhanden waren. Diese Denkweise wird heute von der Wissenschaft angenommen, was dabei aber keine Berücksichtigung findet ist eigentlich, dass es noch eine tiefere Ebene der Informationsspeicherung geben muss. Diese kann logischer Weise nur in den Bausteinen des Universums zu finden sein, aus welchen auch wir bestehen. Wenn wir dieser Logik folgen, ergibt sich ein Bild der permanenten Vernetzung aller Informationsträger unserer eigenen Welt, mit dem Universum. Wenn unsere ganz persönlichen Informationsspeicher bei unserem Tode zerstört werden, die Informationen aber erhalten bleiben, müssen wir davon ausgehen, dass die Informations-Speicher auch in den kleinsten Bausteinen des Universums zu finden sind, denn unsere Gehirne bestehen ja auch aus Atomen. Wenn diese Annahme richtig ist, endet die Suche nach dem Informationsnetz bzw. Datenspeicher beim Atom. Da es im Weltall zwar viel Materie gibt und auch dunkle Materie geben soll, dieser Punkt ist leider noch nicht ganz geklärt,

denn die dunkle Materie existiert bisher nur rein rechnerisch in den Köpfen der Mathematiker. Vermutlich handelt es sich aber um „unsichtbare Materie“, die sich für uns Menschen nur hinter dem sichtbaren Ereignishorizont verbirgt. Physiker wie Alexander Unzicker, bezweifeln nicht nur die Existenz von dunkler Materie, sondern halten auch die Lichtgeschwindigkeit unter bestimmten Bedingungen für variabel, wenn ich das richtig verstanden habe? Aber, lesen Sie dazu besser mal hier nach.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtgeschwindigkeit>

Ich bin hier anderer Meinung, die ich weiter unten ausführlich erläutern werde. Natürlich kann sich jeder vorstellen, dass das Licht und Strahlungen, durch Masse im Kosmos ausgebremst wird und sich auf seinem Milliarden Jahre langen Weg durchs Universum verlangsamt oder zerstreut. Vorstellbar ist aber auch, dass es durch die Elektrodynamik beschleunigt werden kann, also eine Energiezufuhr bekommt. Das wird durch die Überlegung interessant, dass das Licht einer ständigen Drehbewegung unterliegt, die ihm beim durchlaufen von Elektromagnetischen Feldern Energie zuführt. Der Grund für die Drehbewegung (Spin), dürfte darin zu finden sein, dass es sich ohne Energiezufuhr auffächern und zerstreuen müsste. Meiner Meinung nach, kann Licht nicht ohne weitere Energiezufuhr, ewig seine Endgeschwindigkeit beibehalten, genau so wenig wie Materie, die auf ihrem Weg durch das All beschleunigt und auch gebremst wird, dürfte es sich auch mit dem Licht und allen anderen Strahlungen verhalten. Beispielhaft sei hier erwähnt, dass das die Lichtimpulse der Laser-Dioden in Glasfaserkabeln, auch immer wieder mit Energie-Impulsen verstärkt werden muss, sonst würden beim Empfänger keine Informationen mehr ankommen.

Eine andere Überlegung ist die, - was passiert eigentlich, wenn eine Lichtquelle, also ein Stern durch das All rast, aber gleichzeitig auch mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs ist, mit seinem Licht und seiner Strahlung, die er aussendet?

Nach allgemeinem Verständnis geht man immer davon aus, das Licht wie bei uns zuhause von einer Lampe ausgehend mit Lichtgeschwindigkeit auf eine Wand auftrifft. Vergisst aber, dass sich das gesamte System, also unsere Galaxie auch weiterbewegt. Demnach würden sich Eigenbewegung und Lichtgeschwindigkeit addieren, das Licht müsste sich also stauchen, wenn es auf Materie auftrifft oder strecken, wenn von seiner Lichtquelle sozusagen vor sich hergeschoben würde, denn schneller darf es ja gemäß Relativitätstheorie nicht sein. Stellen sie sich das vergleichsweise so vor, als wenn sie sich in einem fahrenden Zug in Fahrtrichtung bewegen, dann sind sie jedenfalls für eine kurze Zeit lang scheller als der Zug fährt. Gehen sie nach hinten passiert das Gegenteil. Also ein Paradoxon, oder? Demnach muß mit der endlichen Lichtgeschwindigkeit irgend etwas nicht stimmen. Aber darin ist sich die Wissenschaft bisher uneinig.



Das obige Bild zeigt einen Vorgang, den Heinrich Herz entdeckte und den man als Frequenz bezeichnet. Elektromagnetische Strahlungen und dazu gehört auch das Licht, werden in Wellenlängen und Amplituden physikalisch ausgedrückt. Das Bild zeigt deutlich, wie Licht, aber auch der Schall gestaucht oder gestreckt werden kann. Licht wird heller oder dunkler, bei Schallschwingungen verändert sich die Tonhöhe. Das hat aber noch nichts mit der endlichen Schallgeschwindigkeit von 343 m/sek oder mit der Lichtgeschwindigkeit von 299 792 458 m/sek zutun.

Das hier beschriebene Phänomen gilt natürlich auch für jegliche elektromagnetischen Strahlungen bzw. im Wellenspektrum, wobei die Verhältnisse da noch komplexer sein dürften. Überhaupt noch nicht richtig geklärt ist, - wie schnell sich eine Lichtquelle im Raum bewegen kann und wie schnell das Licht der Masse vorauselt, wenn sich die

Lichtquelle auch in Bewegung befindet. Nach heutigen Erkenntnissen kann eine bewegte Masse nur die endliche Lichtgeschwindigkeit erreichen. Wenn sich Objekte im Raum bewegen, benötigen sie Energie, grundsätzlich gilt. Je schneller, desto mehr Energie. Das ist wie bei einem Auto, je schneller es fährt, desto mehr Sprit verbraucht der Motor. Bei Lichtgeschwindigkeit wird auch die Geschwindigkeit der bewegten Masse endlich. Es ist also unmöglich, ein Masse-Objekt auf Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen. Wenn also ein Auto die Scheinwerfer anhat, eilt das Licht nur abzüglich der Fahrzeuggeschwindigkeit voraus. Fährt das Auto langsamer, wird das Licht schneller und umgekehrt.

Also doch ein Paradoxon?

Nehmen wir an, ein Handballspieler läuft mit dem Ball auf ein Tor zu und beschleunigt seinen Körper, mit hoch erhobenenem Arm beschleunigt er den Ball weiter, indem er ihn mit dem Arm und der Hand zur Höchstgeschwindigkeit steigert, bevor er ihn beim Abwurf ins Netz befördert. Die Grund-Geschwindigkeit des Spielers addiert sich beim Abwurf zur Beschleunigung seines Armes. Würde dieser Spieler beim Abwurf auf einem fahrenden Auto stehen, würde der Ball eine weitere Beschleunigung erfahren. Nehmen wir nun mal an, der Spieler würde statt eines Balles eine Taschenlampe in der Hand halten, würde er nun den sozusagen geworfenen Lichtstrahl beschleunigen? Wohlbemerkt: Taschlampe und Lichtstrahl werden schon beschleunigt? Jeder Normalgescheite würde wohl urteilen, – das Licht wird schneller. Richtig, aber es kann eben nur bis zu seiner Endgeschwindigkeit beschleunigt werden, dann treffen die Photonen auf das Tor, auf das Netz auf den Torwart und werden absorbiert. Einige Lichtstrahlen werden durch das Netz hindurch sausen und an den Hallenwänden,

enden sie in einem Energiebündel, das in Wärme umgewandelt wird.

Messungen haben folgendes ergeben. Doch lesen Sie dazu was die Astronomin Wendi L. Freedman dazu schreibt:

## **Die Expansionsgeschwindigkeit des Universums - Spektrum der Wissenschaft**

Alter, Entwicklung und weiteres Schicksal des Weltalls sind mit seiner Ausdehnungsgeschwindigkeit verknüpft. Um diese ermitteln zu können, suchen Astronomen mit verschiedenen neuen Verfahren die Entfernung zahlreicher Galaxien genauer zu bestimmen.

In diesem Jahrhundert haben Kosmologen zahlreiche Erkenntnisse gewonnen, die unser Weltbild entscheidend veränderten und erweiterten: Das Milchstraßensystem und alle anderen Galaxien streben mit großer Geschwindigkeit voneinander weg; diese Fluchtbewegung ist eine Folge des Urknalls, mit dem das Universum als heißer Feuerball begann. Des Weiteren hat man eine kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung entdeckt und sie dann als Relikt des frühen Universums erkannt, zudem den Ursprung der chemischen Elemente ermittelt und die großräumige Struktur und Bewegung der Galaxien erkundet.

Trotz dieser und vieler anderer Fortschritte bleiben noch viele grundlegende Fragen unbeantwortet: Wann begann die ungeheure Expansionsbewegung? Wird sich das Universum für immer ausdehnen, oder wird die Bewegung durch die Schwerkraft abgebremst, so daß das All schließlich wieder in sich zusammenfällt?

Seit Jahrzehnten schon suchen die Kosmologen nach Antworten, indem sie Größenskala und Ausdehnungsgeschwindigkeit des Universums ermitteln. Dazu müssen sie bestimmen, wie schnell sich die Galaxien bewegen und wie weit sie überhaupt von uns entfernt sind. Für die galaktischen Geschwindigkeitsmessungen gibt es

allgemein anerkannte Methoden. Die Entfernungsbestimmungen hingegen sind weitaus komplizierter; indes haben in den letzten zehn Jahren, mehrere Forschungsgruppen unabhängig voneinander dafür bessere Verfahren entwickelt, so daß sich für das Ausmaß der kosmischen Expansion völlig neue Abschätzungen ergeben.

Gegenwärtig weisen mehrere Indizienketten auf eine schnelle Ausdehnung hin. Demnach müßte das Universum vergleichsweise jung sein, vielleicht nur zehn Milliarden Jahre alt. Auch legen sie nahe, daß das Weltall für immer weiter expandieren wird. Dennoch betrachten meine Kollegen und ich aus mehreren Gründen diese Hinweise nicht als endgültig, und wir diskutieren die Vor- und Nachteile jeder der Bestimmungsmethoden ausführlich.

Eine genaue Kenntnis der kosmischen Expansion ist nicht nur wichtig, um Alter und Schicksal des Universums bestimmen zu können, sondern auch, um Randbedingungen für kosmologische Theorien und Modelle der Galaxienbildung abzuleiten. Des Weiteren braucht man sie, um grundlegende Größen wie den Anteil der nichtleuchtenden Materie im Weltall oder die Größe von Galaxienhaufen abzuschätzen. Und da man zudem genaue Entfernungsangaben benötigt, um Leuchtkraft, Masse und Größe astronomischer Objekte zu berechnen, hängt letztlich die gesamte extragalaktische Astronomie mehr oder weniger stark von der kosmischen Entfernungsskala ab.

## Der Hubble-Parameter

Wie schnell der Kosmos expandiert, schätzten Astronomen erstmals vor etwa sechzig Jahren ab. Edwin P. Hubble vom Mount-Wilson-Observatorium in Kalifornien entdeckte 1929, daß nahezu alle Galaxien mit enormen Geschwindigkeiten

von der Erde wegstreben. Zudem machte er die bemerkenswerte Beobachtung, daß diese Fluchtgeschwindigkeit proportional zur Entfernung der Galaxien ist – der erste experimentelle Hinweis, daß das gesamte Universum expandiert.

Die Proportionalitätskonstante in dieser Beziehung – mittlerweile Hubble-Parameter genannt – ist sozusagen die Expansionsrate des Universums. Sie ergibt sich aus der Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie dividiert durch ihre Entfernung. Eine grobe Abschätzung liefert einen Wert von 100 Kilometern pro Sekunde und Megaparsec.

(Die Astronomen benutzen als kosmische Entfernungseinheit entweder das Lichtjahr – die Strecke, die Licht in einem Jahr zurücklegt, also etwa 9,463 Billionen Kilometer – oder das Parsec, das 3,257 Lichtjahren entspricht; ein Megaparsec sind eine Million Parsec.) Dies bedeutet, daß bei Zunahme der Entfernung um ein Megaparsec die Expansionsgeschwindigkeit um 100 Kilometer pro Sekunde zunimmt. Eine Galaxie im Abstand von 50 Megaparsec zur Erde bewegt sich demnach mit einer Geschwindigkeit von etwa 5000 Kilometern pro Sekunde von uns weg, eine andere in 500 Megaparsec Entfernung hingegen mit 50000 Kilometern pro Sekunde – das wären immerhin 180 Millionen Kilometer pro Stunde!

Seit Hubbles erster Berechnung – er hatte einen Wert von 500 Kilometern pro Sekunde und Megaparsec erhalten – diskutieren die Astronomen immer wieder über den genauen Wert der Expansionsgeschwindigkeit. Nach Hubbles Tod 1953 setzte sein Schüler Allan R. Sandage, der ebenfalls am Mount-Wilson- und zudem am Mount-Palomar-Observatorium tätig war, das Programm zur Bestimmung der Expansionsgeschwindigkeit fort. Aufgrund genauerer und umfassenderer Beobachtungen von ihm und anderen Forschern ergab sich schließlich ein Wert im Bereich zwischen 50 und 100 Kilometern pro Sekunde und

Megaparsec. Demnach müßte das Universum weit größer sein als ursprünglich angenommen.

Die Neuberechnungen des Hubble-Parameters in den letzten beiden Jahrzehnten ergaben Werte, die zumeist entweder am unteren oder am oberen Ende dieses Bereichs lagen. So haben Sandage und der lange mit ihm zusammenarbeitende Gustav A. Tammann von der Universität Basel einen Wert nahe 50, Gérard de Vaucouleurs von der Universität von Texas in Austin hingegen einen Wert nahe 100 Kilometer pro Sekunde und Megaparsec gefunden. Damit ergab sich die unbefriedigende Situation, daß man für den Hubble-Parameter jeden Wert zwischen diesen beiden Extremen annehmen kann.

## Anmerkung des Autors

Wissenschaftler denken und reden immer von der Ausbreitungsgeschwindigkeit, ohne zu erklären von welchem Punkt sie ausging oder begann? Wenn unser Urknall-Universum sich nach allen Seiten ausdehnt, so müsste es einen Mittelpunkt geben, an dem diese Expansion begann. Unsere Observatorien schauen und messen immer gleichzeitig in alle Richtungen um die Erde herum. Deshalb frage ich die Experten:

Da die Erde sich mit unserem Galaxienhaufen ebenfalls in Bewegung befindet, fragt sich noch in welche Richtung, - wenn es im Weltall überhaupt eine Richtung gibt, wie kann es sein, von einem im All „schwimmenden“ Erdpunkt aus, eine Expansionsgeschwindigkeit zu bestimmen, wenn der Messpunkt nicht in sich ruhend ist, sondern ebenfalls mit rasender Geschwindigkeit unterwegs ist? Ich habe viel darüber gelesen, aber immer den Eindruck gewonnen, dass alle anderen Himmelskörper ob fern oder nah, sich immer von uns wegbewegen. Der Logik folgend, müssten auch ferne Galaxien auf uns zurasen. Das wird wohl auch so interpretiert, aber bei den Ergebnissen der Messungen vernachlässigt. Da sich ganze Galaxien begegnen und durchdringen, wobei es kaum zu Kollisionen kommt, werden zudem die Abstände und Richtungen durch die starke Gravitation neu geordnet und langfristig verändert.

Wenn es den Urknall wirklich gab und darauf deuten ja die heute noch aufgezeichneten Erschütterungen hin, so hätte eine solche kosmische Katastrophe oder auch Explosion, einen Mittelpunkt und wir würden uns mit der Erde von diesem Mittelpunkt aus wegbewegen. Je nachdem wo wir uns dann gerade befinden, würden sich alle anderen

Objekte, mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten von und weg, auf uns zu oder mit uns zusammen irgendwohin bewegen. Da die Beschleunigung, die Richtungen und die Gravitation diese Expansionen beeinflusst, ist es von unserem Standpunkt der Erde - unmöglich genaue Messungen durchzuführen, weil sich alles in Bewegung befindet. Dies wäre nur möglich, wenn wir sie von Zentrum des Urklalls aus durchführen könnten.

Im Prinzip ist dessen Bestimmung einfach, da sie lediglich die Messung der Entfernung und der Geschwindigkeit erfordert. Während sich letztere auf einfache Weise ermitteln lässt, ist die Entfernung aber vergleichsweise schwierig zu bestimmen.

Die Geschwindigkeit - genauer: die radiale Komponente der Geschwindigkeit, - mit der sich eine Galaxie von uns weg bewegt, ergibt sich aus ihrem Spektrum, das man erhält, wenn man ihr Licht in die einzelnen Wellenlängen zerlegt. Das Spektrum weist diskrete Emissions- oder Absorptionslinien auf, deren Wellenlängen für bestimmte chemische Elemente charakteristisch sind, die in den Sternen und in den Gaswolken der betreffenden Galaxie vorkommen. Bewegt sich eine Galaxie von uns weg, erscheinen die Spektrallinien gegenüber denen, die von einer ruhenden Quelle stammen, zu größeren Wellenlängen - also zum roten Ende des sichtbaren Spektrums hin - verschoben, und zwar proportional zur Radialgeschwindigkeit. Für die Entfernungsbestimmung können die Astronomen auf mehrere Methoden zurückgreifen. Jede hat zwar ihre Vorzüge, aber offensichtlich auch gewisse Schwächen.

Cepheiden = Veränderliche als Entfernungsindikatoren

Die genauesten Entfernungswerte für nahe Galaxien lassen sich aus der Beobachtung von Sternen einer bestimmten Klasse, der Cepheiden-Veränderlichen, ermitteln. Ihre Strahlung ändert sich in periodischer und charakteristischer Weise: Jeder Zyklus beginnt mit einem sehr raschen Helligkeitsanstieg, während nach Erreichen des Maximums die Helligkeit langsamer abnimmt (Bild 2). Im Mittel sind Cepheiden etwa 10000mal heller als die Sonne.

### Anmerkung des Autors

Cepheiden sind Pulsare, also ausgebrannte Sterne, die in ihrer Helligkeit schwanken, also mit einer hohen Frequenz exakt gleichmäßig pulsieren. Als Pulsare bezeichnet man das was übrigbleibt, wenn ein Stern wie unsere Sonne seine Wasserstoffvorräte einmal, man rechnet in 4 Milliarden Jahren, aufgebraucht haben wird und sich zunächst ausdehnt und danach zu einem Neutronenstern zusammenschrumpft.

Bemerkenswerterweise lässt sich der Abstand eines Cepheiden, von der Erde aus an seiner Periode (der Dauer eines vollständigen Zyklus) und seiner mittleren scheinbaren Helligkeit (jener, wie sie von der Erde aus erscheint) berechnen. Im Jahre 1908 entdeckte nämlich Henrietta S. Leavitt vom Harvard-College-Observatorium in Cambridge (Massachusetts), daß die Periode der Cepheiden eng mit ihrer Leuchtkraft korreliert: je länger die Periode, desto heller der Stern. Diese Beziehung hat ihre Ursache darin, daß die Leuchtkraft eines Cepheiden proportional zu seiner Oberfläche ist und große Sterne dieses Typs länger für eine Schwingung brauchen. (Aus einem ähnlichen Grunde klingen große Glocken tiefer – die Resonanzfrequenz ist niedriger, die Schwingungsdauer daher größer als bei kleineren Glocken.) Bestimmt man nun nach längerer Beobachtung der Lichtkurve Periode und mittlere scheinbare Helligkeit eines Cepheiden, lässt sich seine absolute

Helligkeit berechnen (jene, wie sie von der Erde aus erschiene, wenn der Stern sich in einem Abstand von 10 Parsec befinden würde! 1 Parsec = 3,26 Lichtjahre). Zudem weiß man, wie die scheinbare Helligkeit mit der Entfernung abnimmt, die das Licht zurücklegen muß. Folglich läßt sich aus dem Verhältnis von absoluter zu scheinbarer Helligkeit die Entfernung des Cepheiden berechnen. Diese Veränderlichen sind aus mehreren Gründen nützliche Entfernungsindikatoren. Insbesondere sind sie wegen ihrer Periodizität und hohen Leuchtkraft relativ einfach zu identifizieren und zu messen.

In den zwanziger Jahren vermochte Hubble daran überhaupt zu erkennen, daß weit außerhalb unseres Milchstraßensystems andere Galaxien existieren (bis dahin hatte man sie für Nebel innerhalb der Galaxis gehalten). Auf Photographien des (zumeist immer noch so genannten) Andromeda-Nebels M 31 vermochte er lichtschwache sternähnliche Bildscheibchen zu identifizieren, deren Helligkeit sich mit der Zeit geringfügig änderte (Bild 1). Er konnte außerdem zeigen, daß die Art des Lichtwechsels mit der von nahen Cepheiden übereinstimmt. Indem er Perioden und scheinbare Helligkeiten der Cepheiden in M31 maß, wies er nach, daß dieses Gebilde einige hunderttausend Lichtjahre von der Sonne entfernt ist, also weit außerhalb des Milchstraßensystems liegt, und eine Galaxie für sich ist. Zwischen 1930 und 1960 entdeckten Hubble, Sandage und andere bei systematischer Suche zahlreiche extragalaktische Cepheiden und konnten so die Entfernung zu etwa einem Dutzend Galaxien bestimmen. Gleichzeitig bereicherten sie damit das Datenmaterial zur Ermittlung des Hubble-Parameters oder -Konstante. (Sie beschreibt die gegenwärtige Entfernungsrate der Expansion des Universums.

Die Cepheiden-Methode ist jedoch mit einem großen Problem behaftet: Der interstellare Staub schwächt das Sternlicht, indem er es teilweise absorbiert und streut, so daß die scheinbare Helligkeit geringer ist, als es bei klarer