

## Gefühl für Zeiträume

In Bezug zu „Sternentstehung und Sterntod“ in der Zeitschrift „*Sterne und Weltraum*“ 02/2024, Rubrik „*Nachrichten*“, Zielgruppe: Anfang Unterstufe der weiterführenden Schulen, WIS-ID: 1571234

Dr. Uwe Herbstmeier

28 Stunden, 13,87 Milliarden Jahre, 4 % des heutigen Weltalters ... viele Artikel über neue Erkenntnisse in der Astronomie sind gespickt mit Angaben über Zeiträume der verschiedensten Art – Messzeiten, Lebensdauern, Zeitperioden usw. Oft lesen wir über die Zahlen einfach hinweg, oder ein Vergleichsmaßstab fehlt uns, um die Zahlen sinnvoll einzuordnen.

In diesem Beitrag werden daher einige dieser Zeitintervalle betrachtet und in Bezug zueinander gesetzt. Vergleiche, Analogie und Modellexperimente nahe am Alltag sollen die Zeitdauern für die Schülerinnen und Schüler besser erfahrbar machen.

Eingeteilt wird dies in die Darstellung der [Zielsetzung](#) der Unterrichtseinheit, gefolgt von einem möglichen [Einstieg](#) in die Lektüre des Artikels. Dann widmen wir uns den angegebenen [Beobachtungszeiten](#) und lernen dabei zusätzlich auch etwas über die Grundvoraussetzungen des Beobachtens kennen. [Zeiträume im Sonnensystem](#) schaffen den ersten Schritt auf der Brücke zu den [langen Zeiträumen](#), die bei vielen der astronomischen Objekte in großer Entfernung ermittelt werden. Am Ende mündet das Ganze in einen [Vorschlag zur Unterrichtsgestaltung](#) zu diesen Themen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Astropraxis, Planeten, Sterne, Kosmos	Beobachtungsmethodik, Zyklen und Zeitintervalle, Messzeit, Belichtungszeit, Lichtlaufzeit, <a href="#">Lebensdauer eines Sterns</a> , <a href="#">Umlaufzeit</a> , Weltalter, Planeten im Sonnensystem
Fächer- verknüpfung	Astro - Mathematik Astro - Geschichte Astro - Kunst Astro - Psychologie	<a href="#">Bruchrechnen</a> , Rechnen mit großen Zahlen <a href="#">Zeiträume im Geschichtsunterricht</a> <a href="#">Bildlicher Vergleich von Zeiträumen</a> <a href="#">Zeitdauer und Zeitgefühl</a>
Lehre allgemein	Erkenntniskompetenz, Lehr-/ Sozialformen, Unterrichtsmittel	Gezieltes Lesen, analoges Schließen, <a href="#">Zeitdauern vergleichen</a> , <a href="#">grafisches Gestalten</a> , <a href="#">spielerische Simulation</a> , <a href="#">Gruppenarbeit</a> , <a href="#">spielerisches Lernen</a> , <a href="#">Zeitschriftenvorlage</a> , <a href="#">Arbeitsblätter</a> , Vergleiche, Analogien, <a href="#">Analogieexperiment</a> , <a href="#">Planetenuhr</a> , <a href="#">Lichtlaufband zur modellhaften Demonstration der Lichtlaufzeiten im Sonnensystem</a> , <a href="#">Vorschlag zur Unterrichtsgestaltung</a>

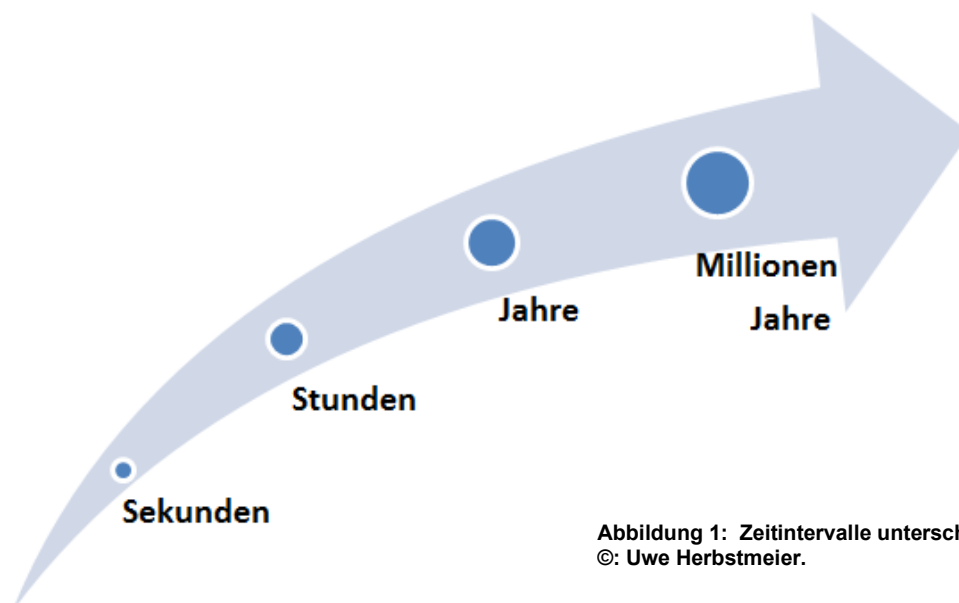


Abbildung 1: Zeitintervalle unterschiedlichster Länge.  
©: Uwe Herbstmeier.

## Zielsetzung

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Wer bereits den WIS-Artikel „Exotische Welten und das Gefühl für Zahlen“ [1] für den Unterricht ins Auge gefasst hatte, war mit einer Idee konfrontiert, die auch hier wieder thematisiert wird: Zahlen, die eine physikalische Größe angeben, bleiben als reiner Wert oftmals abstrakt. Hier konzentrieren wir uns nun auf die Zeit, genauer gesagt auf Zeitdauern. Sie sollen für Schülerinnen und Schüler greifbarer werden. Erreichen wollen wir dies mit Hilfe von einfachen Vergleichen und Analogien, die sich an den Alltagserfahrungen der Kinder festmachen und Stück für Stück zu größeren Zeitintervallen weitergebaut werden.

Nebenbei wird auch noch erkundet, warum gerade in der Astronomie oder anderen vergleichbaren Naturwissenschaften die Zeitdauer einer Beobachtung bzw. Messung wichtig ist, um eine relevante Aussage über das beobachtete Objekt machen zu können. Dies ist auch ein erster Berührungspunkt mit dem Zufall. Es wird ein Weg aufgezeigt, wie man sehr lange Beobachtungszeiten des sich ständig verändernden Himmels technisch möglich machen kann.

## Einstieg

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Eine Möglichkeit, sich den Zeitangaben zu nähern ist es, diese im Referenzartikel zunächst einmal herauszuarbeiten. Der Artikel wird verteilt und die Schülerinnen und Schüler lesen den Artikel gezielt durch. Dabei sollen Fragen beantwortet werden: Welche Angaben finden wir überhaupt zu den erwähnten Beobachtungen? Mit welchem Instrument wurde beobachtet? Welche Angaben geben Zeiten wieder?

Blättert man in den Heften von Sterne und Weltraum, so finden sich dort immer einige Himmelsfotografien. Ab und an werden dazu Messzeiten (Belichtungszeiten) für die einzelnen Aufnahmen angegeben. Diese Abbildungen könnten ebenfalls hinzugezogen werden.

Im *Sterne-und-Weltraum*-Referenzbeitrag werden zwei grundsätzlich unterschiedliche Angaben zu Zeiten gemacht. Zum einen wird die **Messzeit** mit dem ALMA-Instrument angegeben. Sie beträgt **28 Stunden**. **Belichtungszeiten** von Himmelsaufnahmen in den Begleitartikeln bewegen sich dagegen meistens im **Bereich weniger Minuten**.

Als zweites sind im Referenzartikel die **Zeitintervalle der beobachteten Objekte** zu finden. Konkret ist es die Zeit, die seit dem Urknall bis zu dem Augenblick verstrichen war, an dem das Licht der Galaxie mit dem Namen MACS0416\_Y1 ausgesendet wurde, das wir heute beobachten können. Auf Grund der großen Entfernung und der nicht unendlich hohen Geschwindigkeit des Lichts, kommt dieses erst heute bei uns an. Dieses Zeitintervall (**Lichtlaufzeit**) wird mit **600 Millionen Jahren** angegeben. Bereits jetzt wird ein erster Vergleich gezogen, allerdings auch als abstrakte Zahl: Dieser Zeitabschnitt entspricht **4 % des Weltalters**. Dazu wird dann das aktuell abgeschätzte Alter des Universums mit **13,87 Milliarden Jahren** ergänzt. Und auch die Differenz **13,2 Milliarden Jahre** ist noch zusätzlich aufgeführt.

Achtung, es gibt hier eine Falle, die die Astronomen ausgelegt haben. So findet man im Referenzartikel die Angabe „1000 Lichtjahre“. Dabei handelt es sich aber nicht um eine Zeitangabe sondern um eine Längeneinheit, die die Strecke angibt, die das Licht innerhalb eines Jahres zurücklegt (9,46 Billionen km).

Auch gibt es zwei indirekte Zeitangaben, die aber ein astronomisches Vorwissen benötigen: Zum einen wird schon im Titel auf Beginn und Ende der Sterne verwiesen. Das fulminante Ende massereicher Sterne nach einer **Lebenszeit** von ca. 5-10 Millionen Jahren in einer Supernova-Explosion wird aus den Beobachtungen abgeleitet. Zum anderen kann aus dem Durchmesser der dabei geschaffenen „Hohlräume“ und einer Schätzung für die „Sternwindgeschwindigkeit“ auch die Zeit abgeschätzt werden, seit wann der Hohlraum existiert. Das wird wegen der Komplexität nicht weiter betrachtet.

Neben den Angaben im Artikel und den Himmelsaufnahmen sowie den **Lebensdauern der Sterne** sollen noch weitere Zeiten berücksichtigt werden, die ebenfalls in der Astronomie eine wichtige Rolle spielen. Dies sind die **Umlaufzeiten** der Planeten in unserem Sonnensystem, d. h. die Dauer eines Umlaufs der Planeten um die Sonne.

## Mess- und Beobachtungszeiten

[\[zurück zum Anfang\]](#)

### *Messzeiten im Vergleich und Zeitgefühl*

Werden Messzeiten in der Astronomie für die Beobachtung sehr schwacher Quellen angegeben, dann sind diese meist recht hoch. Kurze (Belichtungs-)Zeiten finden sich bei einfachen Fotografien prominenter, heller Himmelsobjekte. Diese Werte von einigen Minuten und mehreren Stunden sind für die Einschätzung durch die Kinder kein Problem. Interessant ist hier der Vergleich der beiden Zeitintervalle im Kontext: Beobachtung heißt einen Himmelsausschnitt über eine festgelegte Zeit ohne Störungen zu betrachten. Eine Belichtungszeit von etwa **3 Minuten** (Küchen- oder Stoppuhr nutzen) kann für eine konzentrierte Beobachtung oder eine andere ruhige Aufgabe leicht eingehalten werden. **28 Std** bedeutet aber, dass die Messung / Arbeit erst am folgenden Schultag zur selben Zeit plus 4 Stunden endet. Hier zeigt sich bereits die Schwierigkeit. Selbst wenn man sich tagsüber auf eine Sache konzentrieren kann, kommt einem die Nachtruhe in die Quere. Auch kann überlegt werden, wie oft eine 3 Minuten-Messung wiederholt werden muss, um auf eine Summe von 28 Std. zu kommen. Im Ergebnis kommt man auf  $28 \cdot 60 \text{ min} / 3 \text{ min} = 560$  mal.

Ein zusätzlich interessanter Aspekt ist die **persönliche Einschätzung einer Zeitdauer**. Diese ist nicht immer gleich. Auch wenn die Uhr immer das gleiche Zeitintervall angibt, ist es je nach Umstand für den betroffenen Menschen unterschiedlich lang. Schon bei einer stillen Konzentration in der Klasse über 3 Minuten, wird die Zeit sehr gedehnt empfunden. Von welchen entsprechenden Erfahrungen können die Schülerinnen und Schüler noch berichten? Dazu zwei Beispiele: Die letzten Minuten der Nachspielzeit eines knapp stehenden Fußballspiels - hier dauern 3 Minuten ewig. Tolle Ferienzeiten - hier sind die letzten 28 Std. viel zu kurz.

### *Warum diese Zeitunterschiede bei Beobachtungen?*

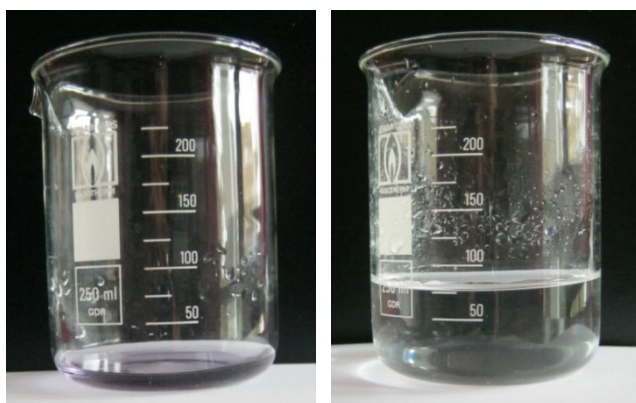
Warum ist es erforderlich, derartig unterschiedlich lange zu messen, um ein Ergebnis zu erzielen? Das betrachten wir mit Hilfe eines Analogieexperiments oder eines Spiels:

Für das **Analogieexperiment** nehme man einen Wasserhahn im Klassenraum oder ein Glas- oder Kunststoffgefäß mit Regelventil (z. B. Tropfbewässerungssystem für einen Blumentopf) und ein Becherglas. Die Quelle wird auf einen langsam tropfenden oder fließenden Zustand eingestellt die Menge wird über ca. 1 Minute (oder wenige Sekunden, je nach einstellbarer Menge) gesammelt. Das gleiche wird über einen deutlich längeren Zeitraum ausgeführt (z. B. 15 Minuten).

Bei der kurzen Sammlung ist fast nichts im Becherglas zu finden und eine Messung der Menge wird sehr schwer. Anders bei der längeren Zeit. Hier ist ausreichend Wasser im Glas und die Menge kann leicht festgestellt werden. Das gleiche kann nun mit einer stärker tropfenden bzw. fließenden Quelle

ausgeführt werden. Hier ist bereits nach einer kurzen Zeit ausreichend viel im Becherglas. Bei langer Erfassungszeit könnte sogar das Glas überlaufen.

Die Übersetzung des Modells in die Realität: Die Wassertropfen stehen für die Lichtmenge, die innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls auf das Beobachtungsinstrument einfällt. Wenn wenig Wasser ankommt, spricht wenig Licht einer schwachen Quelle, dann muss lange gesammelt werden, um die Menge zu messen, ggf. das Objekt überhaupt zu erkennen ist. Wenn zu lange beobachtet wird, kann das Glas überlaufen oder anders ausgedrückt, das Beobachtungsinstrument kann gesättigt werden, d. h. das Bild ist überbelichtet.



**Abbildung 2:** Beispiele für das Sammeln tropfender Wasserhähne. Links: schwacher Tropfen über ca. 15 Sekunden gesammelt. Das Wasser wurde leicht mit Tinte angefärbt. Rechts: nun über 3 Minuten gesammelt. ©: Uwe Herbstmeier.

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Ein weiteres Problem bei Messungen ist der nie völlig vermeidbare, zufällige Messfehler, der durch die Messinstrumente oder die Umgebung eingebracht wird. So können neben dem Licht der Himmelsobjekte auch andere Effekte in der technischen Ausführung (z. B. die Messelektronik) ein schwaches Signal vortäuschen. Allerdings geschieht das im Laufe der Messzeit für jeden Messpunkt zufällig, während die Quelle immer erfasst wird. Das zusätzliche Signal nennt man Rauschen.

Eine Möglichkeit dies akustisch zu demonstrieren ist das Rauschen eines einfachen Radioempfängers, der nicht genau auf den Sender eingestellt ist.

Wieso bei schwachen Quellen eine längere Beobachtungszeit helfen kann, soll nun **spielerisch mit Hilfe einer Simulation** dargestellt werden. Ein Feld mit  $3 \times 3$  Punkten (siehe Abb. 3) soll den Empfängerchip einer Beobachtungskamera mit 9 Erfassungselementen (sogenannten Pixeln – Vergleichsbeispiel Smartphone-Kamera) darstellen. In einer Gruppe zu je neun Schülerinnen oder Schülern bekommt nun jeder die Verantwortung für die Beobachtung mit einem Pixel (es können auch andere Einteilungen vorgenommen werden). Jetzt darf jeder würfeln. Ein Wurf steht für ein Ergebnis des Rauschens pro Pixel innerhalb eines Messzeitintervalls. Dabei wird ein Wurf der Augen von 1-3 mit keinem Rauschereignis (0) in Verbindung gebracht, ein Wurf zwischen 4 und 6 mit einem zusätzlichen Rauschsignal, das einer Lichteinheit (1) entspricht. Alle Würfe werden für jedes Feld separat zusammengezählt. Zusätzlich platzieren wir in der Mitte des Felds eine Quelle, die bei jedem Wurf eine Lichteinheit zusätzlich liefert. Jedes Kind würfelt nun für sein Feld 3-mal und trägt die Summe in das Feld ein (Abb. 3 zeigt ein Beispiel). Das Ganze wiederholt man zum einen für eine Quelle, die bei jedem Wurf nicht nur eine, sondern fünf Lichteinheiten liefert und zum anderen mit 15 (anstatt 3) Würfeln pro Feld.

Was stellen wir am Ende fest? Wo ist der größte Wert im Feld zu finden? Gibt es mehrere Werte mit der gleichen Augenzahl (= gleichhell)?

Bei einer hellen Lichtquelle (5 Lichteinheiten) ist es egal, wie oft wir würfeln, sprich wie lange wir messen. Sie wird deutlich als höchster Wert erkannt. Bei der schwachen Lichtquelle (1 Lichteinheit) ist es schwieriger. Je nach Zufall kann es sein, dass andere Felder den höchsten Wert zeigen oder zumindest keine großen Unterschiede zu erkennen sind (wie im Beispiel in Abb. 3).

		Wurf			Ergebnis
Pixel		1	2	3	
1	1	1	0	0	1
2	2	1	0	1	2
3	3	0	1	1	2
4	4	0	1	0	1
5	5Q	1+0	1+0	1+0	3
6	6	1	1	0	2
7	7	1	0	1	2
8	8	0	1	0	1
9	9	1	1	1	3

1	2	2
1	3	2
2	1	3

2 Quellen?

Abbildung 3: Zwischenstand beim Würfeln für eine Quelle (im Feld 5), die bei jedem Wurf eine Lichteinheit (1) liefert. Für Feld 5 wurde 3-mal ein Wert zwischen 1 und 3 gewürfelt, für Feld 9 wurde 3-mal ein Wert zwischen 4 und 6 gewürfelt.  
©: Uwe Herbstmeier.

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Bei 28 Std. Messzeit, sprich Konzentration auf ein Himmelsfeld, haben wir ja schon festgestellt, dass dies gar nicht so leicht möglich ist. Betrachten wir dazu die konkrete Messanlage ALMA. Dabei handelt es sich um ein sog. Radiointerferometer. Dies ist ein Feld mit mehreren Radioantennen (siehe Abb. 4), die zusammengesaltet werden. Bei einer Messung werden alle Spiegelantennen auf das ausgewählte Objekt ausgerichtet und folgen ihm im Laufe der Beobachtungszeit. Da sich die Erde unter dem Himmel hindurchdreht (das Objekt geht deswegen im Osten auf und im Westen unter), müssen die Antennen dem Objekt nachgeführt werden. Aber je nach Position des Objekts am Himmel kann es höchstens über die Zeit verfolgt werden, in der es über dem Horizont sichtbar bleibt. Und das sind oft weniger als 24 Std. (wenn man davon ausgeht, dass man die Radiostrahlung auch am Taghimmel registrieren kann).

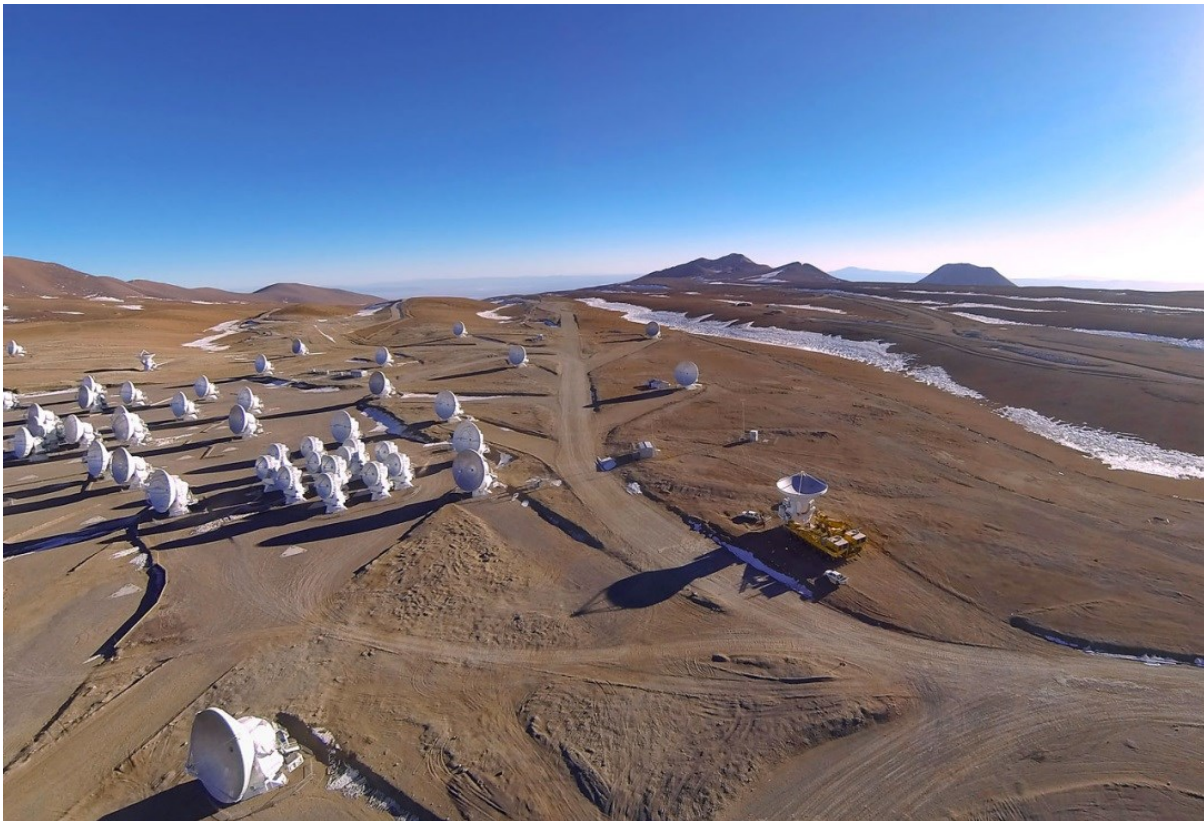


Abbildung 4: Das ALMA-Teleskop der ESO in Chile. ©: A. Marinkovic/X-Cam/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

Wie können dann die 28 Stunden (1680 Minuten) zusammenkommen? Antwort: Ähnlich wie bei den bereits betrachteten Modellen: Einzelne Messungen über mehrere Beobachtungsintervalle werden einfach gesammelt. Wir erinnern uns, wir können z. B. 560 3-Minuten-Intervalle beobachten, um dann auf die Gesamtzeit zu kommen. Bei einem Interferometer werden aber meistens ganze Sichtbarkeitsperioden einer Quelle ausgenutzt und die Signale dann zusammengeführt.

Ein möglicher Exkurs: Wenn wir unterschiedlich lange beobachten, wird die gemessene Helligkeit einer Quelle in der Mitte unseres  $3 \times 3$ -Felds entsprechend unterschiedlich ausfallen. Wie kann man die Helligkeit eines Objekts dann angeben?

In der Tat sammeln wir im Laufe der Messung immer mehr die Energie auf, die von der Quelle auf unser Messinstrument fällt. Um die Helligkeit der Quelle anzugeben, teilen wir das Ergebnis durch die Messzeit, d. h. wir erfassen die Strahlungsleistung. Dies kann ebenfalls mit all unseren neun Feldern durchgeführt werden: Wir teilen die Ergebnisse durch die Anzahl der Würfe pro Feld und erhalten somit die entsprechenden Werte der Quelle unabhängig von der Messdauer – natürlich nur beeinflusst vom Rauschen, das auch an der Position der Quelle nicht nachlässt. Dies ist auch eine anschauliche Übung zum einfachen **Bruchrechnen**.

## Zeiträume im Sonnensystem

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Betrachten wir nun die Zeiträume, die charakteristisch für astronomische Objekte sind und fangen bei den Planeten an, die in Zeiträumen, die immer noch recht gut mit alltäglich erfahrbaren Zeitdauern verglichen werden können, die Sonne umlaufen (**Umlaufzeiten**). Die Planeten in unserem Sonnensystem benötigen aber unterschiedlich lange für ihre Umläufe.

<i>Planet</i>	<i>Umlaufzeit (auf Tage gerundet)</i>
<b>Merkur</b>	<b>88 Tage</b>
<b>Venus</b>	<b>225 Tage</b>
<b>Erde</b>	<b>1 Jahr</b>
<b>Mars</b>	<b>1 Jahr und 322 Tage</b>
<b>Jupiter</b>	<b>11 Jahre und 318 Tage</b>
<b>Saturn</b>	<b>29 Jahre und 168 Tage</b>
<b>Uranus</b>	<b>84 Jahre und 237 Tage</b>
<b>Neptun</b>	<b>165 Jahre und 179 Tage</b>

**Tabelle 1: Umlaufzeiten der Planeten (Planetenjahre) im Sonnensystem: Das sind die Zeiten, die die Planeten benötigen, um einmal um die Sonne zu laufen - in Erdentagen bzw. -jahren gemessen.**

Die Klasse kann nun zu den Umlaufzeiten **Vergleichszeiträume** suchen, die den Schülern aus ihrem Alltag bekannt sind, also schon „vorstellbar“ sind. Mögliche Ergebnisse dieser Suche:

- **Merkur:** 88 Tage = nicht ganz 3 Monate, ungefähr die Zeit von Neujahrstag bis Ostern, nicht ganz die Dauer eines Sommers (20. Juni bis 22. September im Jahr 2024).
- **Venus:** 225 Tage = knapp 7 ½ Monate. Etwas mehr als ein halbes Jahr. Etwas länger als die Zeit von Sylvester bis zu den Schulferien (in Baden-Württemberg) / zum Feriende (in anderen Bundesländern).
- **Erde:** 1 Jahr: Einmal mit Geburtstag, Weihnachten, mit Ostern, einmal Sommerferien, einmal Jahreszeugnis, einmal neues Schuljahr.
- **Mars:** Von Feriende bis zum nächsten Feriende und dann nochmals bis zum folgenden Ferienbeginn.
- **Jupiter:** Das entspricht in etwa dem Alter der Schülerin oder des Schülers (je nach Klasse).
- **Saturn:** Vergleich mit dem Alter der Eltern, des Lehrers anderer Personen im Umfeld der Schule.
- **Uranus:** Alter der (Groß-)Eltern des Lehrers, anderer Personen
- **Neptun:** Hier ist es nicht mehr leicht, das Intervall einfach einem vertrauten Zeitraum zuzuordnen. Eine Möglichkeit besteht im Vergleich der Zeit mit den Angaben, die aktuell im Geschichtsunterricht behandelt werden. Oder ein aktueller Vergleich: Wir setzen den Beginn des Umlaufs ins Jahr 1858 mit dem Ergebnis, dass Neptun heute einmal um die Sonne gekreist ist. Auch entspricht der Umlauf in etwa zweimal dem des Uranus. So haben wir einen Einstieg in den Vergleich zwischen schon erfassten Zeitmaßen.

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Um dies bildlich zu veranschaulichen kann eine große analoge Uhr herangezogen werden. Wir gestalten daraus eine **Planetenumlaufuhr** und legen fest, dass 1 Stunde auf der Uhr einem Jahr entspricht. Eine Aufgabe wäre es auszurechnen, wieviel Zeit auf der Uhr vergehen muss, um dann den Umlauf eines Planeten anzugeben.

### Resultat:

- Nach 11 Minuten wäre das Merkurjahr schon vorbei, nach 37 Minuten das Venusjahr. Am Ende einer Schulstunde wären wir im Herbst des Erdenjahres. Bei Mars vergehen 2,5 Schulstunden (Doppelstunde plus die nächste halbe Schulstunde). Jupiter braucht auf dieser Uhr schon einen halben Tag, d. h. wenn um 8 Uhr in der Schule beginnt, dann ist nach einem Jupitermodelljahr 20 Uhr Abend. Bei Saturn wäre erst am Tag darauf plus 5 Stunden das Jahr vorbei. Und die beiden äußersten Planeten benötigen zum einen 3 ½ Tage (Uranus), bzw. knapp eine Woche (2 ½ Stunden weniger).

Oder anders: 1 Stunde entspricht der längsten Umlaufzeit, der von Neptun mit 165 Jahren und 179 Tagen. So könnte am Rand der Uhr die folgende Beschriftung eingetragen werden:

<i>Planet</i>	<i>Planetenjahr auf Stundenuhr</i>
<b>Merkur</b>	<b>5 Sekunden</b>
<b>Venus</b>	<b>13 Sekunden</b>
<b>Erde</b>	<b>22 Sekunden</b>
<b>Mars</b>	<b>41 Sekunden</b>
<b>Jupiter</b>	<b>4 Minuten</b>
<b>Saturn</b>	<b>11 Minuten</b>
<b>Uranus</b>	<b>31 Minuten</b>
<b>Neptun</b>	<b>60 Minuten</b>



©: Jahobr - Eigenes Werk, CC0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=58350320>

Tabelle 2: Modell für eine Planetenuhr, wenn eine Stunde einer Umlaufzeit von Neptun entspricht.

Das bedeutet, dass in der ersten Minute eine starke Häufung der Markierungen auftritt.

Noch ein zusätzlicher Exkurs: Bei den frühen Entdeckungen von Planeten um andere Sterne (sog. Exoplaneten, hierzu gibt es zahlreiche WIS-Artikel) wurden sehr viele Objekte gefunden, die in etwa so massereich sind wie Jupiter, dem massereichsten Planeten in unserem Sonnensystem (ungefähr 318 mal die Erdmasse, siehe auch [2]). Diese sog. Heißen Jupiter hatten aber oftmals eine Umlaufzeit von nur wenigen Tagen, bewegen sich also ganz nah um ihren Stern. Im Vergleich zu den bisher gefunden Zahlen würde eine Umlaufzeit von 3 Tagen auf unserer Uhr, deren Stunde einem Erdenjahr entspricht, 30 Sekunden bedeuten. Ein Vergleich mit den 11 Minuten des innersten Planeten Merkur in unserem Sonnensystem zeigt die enorme Geschwindigkeit, mit der ein derartiger Exoplanet seinen Stern umläuft.

## Sternleben, Galaxien und das Alter des Universum

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Ausgehend von den bisher noch überschaubaren Umlaufzeiten von Planeten wenden wir uns jetzt der Betrachtung von Sternen, Galaxien bis hin zum gesamten Universum zu. Nun sprechen wir oft von Millionen oder gar Milliarden von Jahren, weit jenseits alltäglicher Erfahrungen. Daher helfen uns hier nur Vergleiche mit bisherigen Einschätzungen.

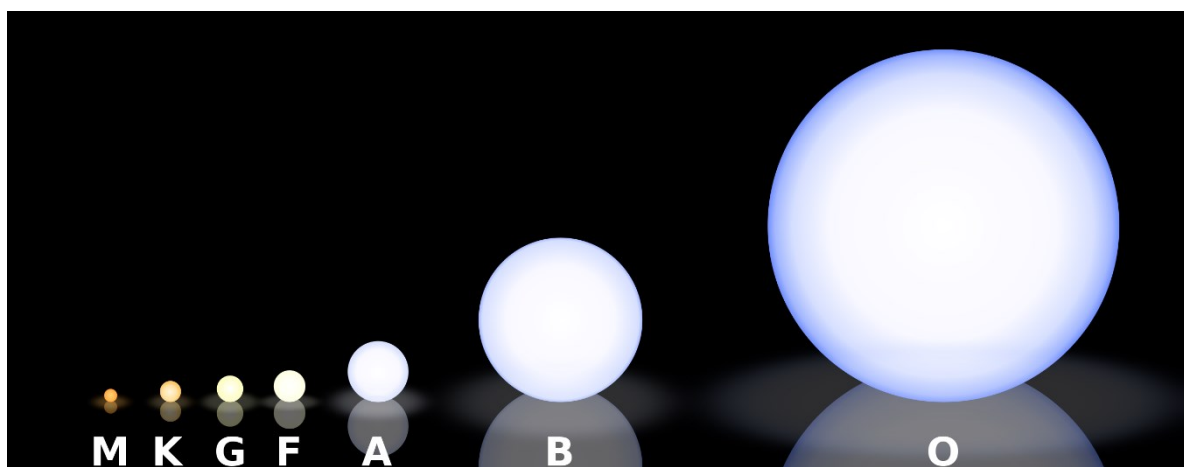
Im [Artikel in Sterne und Weltraum](#) lesen wir vom Licht der Galaxie MACS0416\_Y1, das 600 Millionen Jahre nach dem Urknall, der vor 13,87 Milliarden Jahren stattgefunden hatte, ausgestrahlt worden ist und das wir erst heute empfangen. Nehmen wir dann noch astronomische Kompendien wie z. B. [2] zu rate, können wir auch im **Vergleich dazu** die **Lebensdauern von Sternen** hinzuziehen. Sterne werden unterschiedlich alt. D. h. der Zeitraum vom Beginn der Kernverschmelzungen im Inneren bis zum Verbrauch eines Großteils der verfügbaren Materie für diese Prozesse hängt von der Masse des Sterns ab. Allgemein für sogenannte Hauptreihensterne (siehe z. B. auch [3] und [4]) gilt, dass die Lebensdauer länger ist je leichter bzw. kleiner der Stern ist: Sehr helle bläuliche Sterne brennen nur kurz, schwache rötliche Sterne viel länger.

<i>Klasse der Sterne</i>	<i>Sterndurchmesser (relativ zur Sonne)</i>	<i>Lebensdauer (Entwicklungszeit)</i>
<b>M-Stern</b>	<b>0,32</b>	<b>1 Billionen Jahre</b>
<b>G-Stern (Sonne)</b>	<b>1</b>	<b>7 Milliarden Jahre</b>
<b>B-Stern</b>	<b>3,8</b>	<b>49 Millionen Jahre</b>
<b>O-Stern</b>	<b>18</b>	<b>5 Millionen Jahre</b>

**Weitere Altersangaben:**

- **Alter der Sonne heute**  
( = ungefähr das Alter der Erde): **4,6 Milliarden Jahre**
- **Erste Urzeitmenschen:** **vor 2 Millionen Jahren**

Tabelle 3: Verschiedene Sternklassen, ihre Größe und Lebensdauer. Entwicklungszeit ist 1/10 der nuklearen Zeitskala. Das ist die Zeit die vergeht bis der gesamte Kernbrennstoff im Stern durch die Kernfusion aufgebraucht sein wird.



©: Von Rursus - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3015833>.



### Die Vergleichsleiter zur Erfassung der Zahlen

[\[zurück zum Anfang\]](#)

Die ersten Urzeitmenschen traten vor etwa 2 Millionen Jahren auf. Das ist 988 mal 2024, d. h. die Zahl der Jahre vom Beginn unserer Zeitrechnung, der Römerzeit, bis heute. Und diese Zeit umfasst **die meisten Themen, die im Geschichtsunterricht in der Schule behandelt werden.**

Oder wir vergleichen es im Anschluss zu unserem ersten Schritt mit dem Umlauf von Neptun. In dieser Zeit ist Neptun 12085-mal um die Sonne gelaufen. Das entspricht einer Zeit auf unserer Neptun-Uhr (ein Umlauf = 1 Stunde) von ca. 1,4 Jahren.

Diese 2 Millionen Jahre passen 2300-mal in das Alter der Sonne, bzw. Erde. D. h., der Mensch tritt erst sehr spät im Entwicklungsablauf der Erde auf die Bühne der Weltgeschichte.

Auch hier können wir wieder unsere Uhr verwenden:

Wir wählen nun 1 Std = 4,6 Milliarden Jahre, das Alter der Sonne. Dann gilt. Der Urmensch tritt in den letzten 1 ½ Sekunden der ganzen Stunde auf den Plan. Und für die Lebensdauer der Sonne können wir dann noch knapp eine weitere Stunde erwarten.

Wie ordnen sich in diese Uhr nun die anderen Zeiten ein:

<b>Objekt / Ereigniss</b>	<b>Zeit auf der Uhr</b> (1 Std = 4,6 Milliarden Jahre)
<b>Lebensdauer O-Stern</b>	<b>4 Sekunden</b>
<b>Lebensdauer B-Stern</b>	<b>38 Sekunden</b>
<b>Ausstrahlung des Lichts von MACS0416_Y1 nach dem Urknall</b>	<b>8 Minuten</b>
<b>Alter des Universums</b>	<b>3 Stunden</b>
<b>Lebensdauer M-Stern</b>	<b>9 Tage</b>

**Tabelle 4: Tabelle 3 nun mit anderen Zeiten. Auf der Vergleichsuhr (wir erinnern uns: 1 Std = 4,6 Milliarden Jahre) wurde das Licht von MACS0416\_Y1 8 Minuten nach dem Urknall abgestrahlt.**

Man erkennt, dass die sehr massereichen Sterne nur ganz kurz leben. 1400-mal könnten O-Sterne während der Lebenszeit der Sonne entstehen und wieder vergehen. Ein O-Stern existiert nur etwas mehr als doppelt so lange wie die Menschheit bisher. Das ganze Universum ist in etwa nur 3-mal älter als die Sonne. Und ein M-Stern hat eine Lebenserwartung, die enorm ist, 143-mal länger als die Sonne und 72-mal so lange wie das Alter des Universums bisher.

So können über Vergleiche der Modelle untereinander und durch Vergrößerung der jeweiligen Skalierungen in den Modellen die Zeiträume Schritt für Schritt besser eingeordnet werden. Auch Vergleiche sind an Hand der Modelle direkt erfassbar.

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung

[\[zurück zum Anfang\]](#)

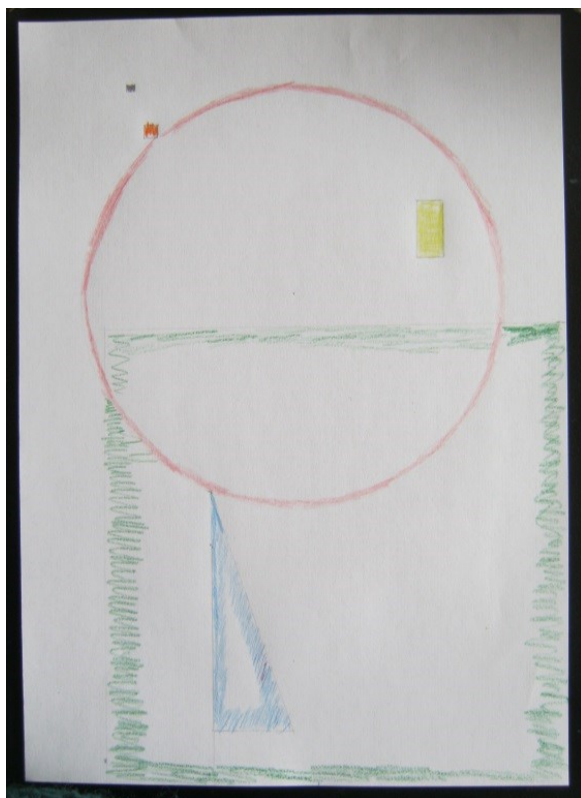
### *Möglicher Aufbau einer (Doppel-)Stunde und Materialien dafür*

Die im Artikel erwähnten Themenmöglichkeiten werden hier kurz zusammengefasst. Dazu werden für jeden Schritt [Arbeitsblätter](#) aufgeführt, die für die einzelnen Blöcke verwendet werden können. Dies soll als Hilfestellung dienen, je nach Verwendung im Unterricht die einzelnen Punkte aufzugreifen.

Materialien für den Unterricht: Artikel aus *Sterne und Weltraum*, Arbeitsblätter mit mehreren Aufgaben, Küchen- bzw. Stoppuhr, Tropfflasche bzw. Wasserhahn mit definiertem Auslauf, Becherglas, evtl. Tinte, evtl. altes Radio, Würfel, analoge Uhr

- **Schritt 1:** Genauere Lektüre der Artikel, Arbeitsblätter - Aufgabe 1: Fragen zum Artikel.
- **Schritt 2:** Betrachtung der Messzeiten: Konzentration für 3 Minuten, Einschätzung zu 28 Std., Zeitgefühl. Arbeitsblätter - Aufgabe 2: Messzeiten und Zeitgefühl.
- **Schritt 3:** Versuch - Wasser wird im Becherglas aufgefangen, zur Veranschaulichung der Resultate unterschiedlich langer Messungen und unterschiedlich heller Quellen.
- **Schritt 4:** Würfelmodell zur Verdeutlichung des Rauschens, Arbeitsblätter - Aufgabe 3: Erfassung der Würfelergebnisse.
- **Schritt 5:** Planetenjahre erfassen. Vergleich mit Zeiten aus dem Alltag der Kinder, Vergleich mit den 2 speziellen Stundenuhren (Arbeitsblätter - Aufgabe 4).
- **Schritt 6:** Weitere Schritte auf der Vergleichsleiter: Zeiträume für Sterne, Galaxien und das Universum erfassen. (Arbeitsblätter - Aufgabe 5).

### *Weitere zusätzliche Möglichkeiten*



Wenn in höheren Klassen eine Elektronik- oder Informatik-AG angeboten wird, kann dort in Kooperation die Aufgabe gestellt werden, für den Unterricht ein **Lichtlaufband zur modellhaften Demonstration der Lichtlaufzeiten im Sonnensystem** für den Klassenraum oder den Schulflur zu erstellen, das die Entfernungen im Sonnensystem in Lichtlaufzeit anzeigt. In diesem LED-Band könnte z. B. nach einer Stunde die LED am Ort der Erde leuchten und nach etwa 5 Stunden die LED am Ort des Jupiter.

Eine weitere Möglichkeit wäre eine **Kooperation mit dem Kunstunterricht**. Es könnten Flächen oder Objekte mit Bleistift oder Farben gestaltet werden, um die unterschiedlich langen Zeitintervalle darzustellen.

**Abbildung 5:** Unterschiedliche Zeiten bildlich dargestellt (ganzes A4-Blatt: Weltalter, grünes Quadrat; Lebensdauer eines G-Sterns, roter Kreis; Alter der Sonne, blaues Dreieck; Zeit der Aussendung des Lichts von MACS0416\_Y1 nach dem Urknall, gelb: Lebensdauer eines B-Sterns, orange: Lebensdauer eines O-Sterns, schwarz: Alter der Menschheit). ©: Uwe Herbstmeier.

## Dank

Ich danke den Teams der Sternwarte Sonneberg und des angeschlossenen Museums für die Anregung, einmal einen Artikel über Zeitintervalle zu verfassen. Denn dort konnte man ein LED-Lichtlaufband sehen, das die Zeit anzeigt, die ein Lichtstrahl benötigt, wenn er von der Sonne ausgesendet wird und zu den jeweiligen Objekten gelangt. Wir WIS-Autoren hatten die Möglichkeit uns dort in der freundlichen Atmosphäre über unsere Arbeit auszutauschen. Für die Organisation dieser Möglichkeiten danke ich Olaf Fischer, dem Leiter des WIS-Projekts.

## Quellen

- [1] <https://www.spektrum.de/alias/material/exotische-welten-und-das-gefuehl-fuer-zahlen/1377449>  
WIS-Beitrag 2017: Uwe Herbstmeier, *Exotische Welten und das Gefühl für Zahlen*
- [2] Voigt, Hans-Heinrich, 2012, Abriss der Astronomie, 6. Auflage, Wiley-VCH Verlag Weinheim
- [3] <https://www.spektrum.de/alias/material/das-hertzprung-russel-diagramm/1285846>  
WIS-Beitrag 2015: Thomas Jahre, *Das Hertzsprung-Russel-Diagramm*
- [4] <https://www.spektrum.de/alias/material/zentrales-wis-dokument-07-2021-so2/1855261>  
WIS-Beitrag 2021: Olaf Fischer, Thomas Müller, *Die HRD-App für Sterne*

## Anhang 1 – Arbeitsblätter

### Aufgabe 1 – Wir lesen die Angaben im Text genau

Lese den Artikel und schreibe in kurzen Stichworten Antworten zu folgenden Fragen auf:

<b>Fragen</b>	<b>Antworten</b>
<b>Was wird hier beobachtet?</b>	
<b>Mit welchem Instrument wird die Beobachtung ausgeführt?</b>	
<b>Welche Zeitangaben sind im Artikel zu finden und was bedeuten sie?</b>	

## Aufgabe 2 Wir erleben Zeiten

<b>Aufgabe</b>	<b>Deine Ergebnisse</b>
<p><b>Konzentriere dich für eine Zeit von 3 Minuten auf einen Punkt.</b></p> <p><b>Wie war dein Empfinden? Sind dir die 3 Minuten lang oder kurz vorgekommen?</b></p>	
<p><b>Wie wäre es, wenn du 28 Stunden diesen einen Punkt betrachtest? Geht das überhaupt? Was spricht dagegen?</b></p>	
<p><b>Kennst du Momente, an denen die Zeit fast nicht vorbeiging oder die zu schnell vorüber waren, obwohl die Uhr etwas anderes erzählte?</b></p>	
<p><b>Berechne: Wie viele Male kann ich 3 Minuten lang belichten, um eine Gesamtzeit von 28 Stunden zu erreichen?</b></p>	

### Aufgabe 3 – Wir spielen beobachten

Wir haben eine Beobachtungskamera die 9 Beobachtungselemente (Pixel) im Quadrat angeordnet hat (siehe die Skizze unten).

Es soll ein Himmelfeld beobachtet werden, in dem ein Stern zu finden ist. Er zeigt sich im mittleren Pixel des Feldes. Allerdings zeigt jedes Pixel der Kamera auch bei jedem Messmoment zufällig ein sogenanntes Rauschsignal (oder nicht).

Mit unseren Würfeln stellen wir das nach. Jeder ist für ein Feld verantwortlich. Jeder Wurf entspricht einem kurzen Messzeitraum.

- Wenn ihr die Zahlen 1, 2 oder 3 würfelt, ist das Rauschsignal eures Pixels 0
- Wenn ihr die Zahlen 4, 5 oder 6 würfelt, dann ist es 1.
- In der Mitte strahlt ein schwacher Stern mit einem Signal, das je Messmoment eine 1 zusätzlich ergibt.

#### Erste Runde:

Würfelt nun 3-mal und addiert die Ergebnisse für jedes Pixel jeder für sich und tragt das Ergebnis dann in das Feld ein. Denkt daran, den Stern jedes Mal im mittleren Feld zu berücksichtigen. Kann der Stern erkannt werden, oder gibt es andere Felder, die einen Stern vortäuschen?

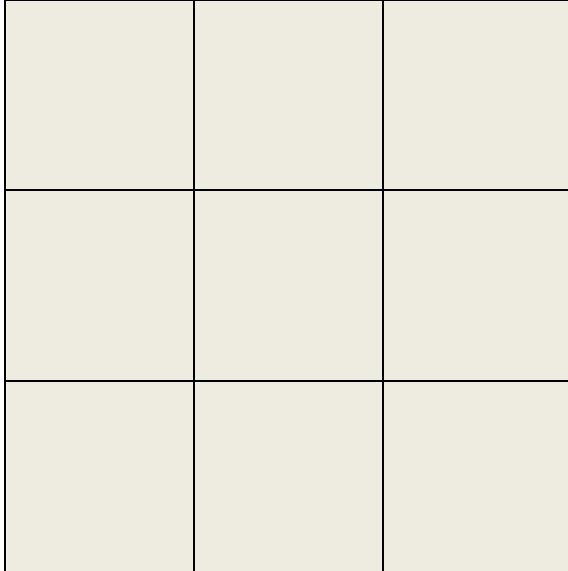
#### Zweite Runde:

Würfelt nun 15-mal. Wie sieht es jetzt aus?

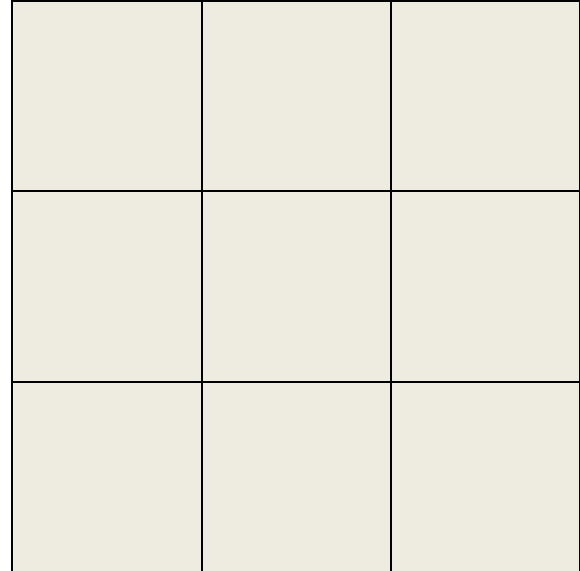

3 Würfe


15 Würfe

Wie wäre es gewesen, wenn der Stern bei jedem Wurf 5-mal so hell geleuchtet hätte?



3 Würfe



15 Würfe

Vergleicht eure Ergebnisse auch untereinander.

Teilt nun das Ergebnis jedes Pixels durch die Zahl der Würfe. Was fällt Euch für das Ergebnis der Quelle im Vergleich aller Runden auf?

## Aufgabe 4 – Planetenjahre

Schaut euch die Umlaufzeiten der Planeten an. Vergleicht diese Angaben mit den Zeiten, die ihr selbst schon erlebt habt, bzw. die Menschen in eurer Umgebung erfahren haben.

<b>Planet</b>	<b>Umlaufzeit (gerundet) Ein Umlauf um die Sonne</b>	<b>Was haben ich oder andere bereits erlebt während eines Planetenjahres?</b>
<b>Merkur</b>	<b>88 Tage</b>	
<b>Venus</b>	<b>225 Tage</b>	
<b>Erde</b>	<b>1 Jahr</b>	
<b>Mars</b>	<b>1 Jahr und 322 Tage</b>	
<b>Jupiter</b>	<b>11 Jahre und 318 Tage</b>	
<b>Saturn</b>	<b>29 Jahre und 168 Tage</b>	
<b>Uranus</b>	<b>84 Jahre und 237 Tage</b>	
<b>Neptun</b>	<b>165 Jahre und 179 Tage</b>	



Wie lange würden Planeten für einen Umlauf um die Sonne benötigen, wenn 1 Erdenjahr nur 1 Stunde lang wäre?

Wie lang wären sie unterwegs, wenn Neptun in nur einer Stunde um die Sonne kreisen würde?

<b>Planet</b>	<b>Umlaufzeit (real)</b>	<b>Umlaufzeit, falls die Erde 1 Std. benötigen würde</b>	<b>Umlaufzeit, falls Neptun nur 1 Std. benötigen würde</b>
<b>Merkur</b>	<b>88 Tage</b>		
<b>Venus</b>	<b>225 Tage</b>		
<b>Erde</b>	<b>1 Jahr</b>	<b>1 Stunde</b>	
<b>Mars</b>	<b>1 Jahr und 322 Tage</b>		
<b>Jupiter</b>	<b>11 Jahre und 318 Tage</b>		
<b>Saturn</b>	<b>29 Jahre und 168 Tage</b>		
<b>Uranus</b>	<b>84 Jahre und 237 Tage</b>		
<b>Neptun</b>	<b>165 Jahre und 179 Tage</b>		<b>1 Stunde</b>

## Aufgabe 5 – Sterne, Galaxien und das Universum – enorm lange Zeiten

In der Tabelle findet ihr typische Zeiten für das Leben der Sterne und das Alter des Universums und seiner Objekte. Wir nutzen wieder die Stundenuhr und suchen einen Zeitvergleich. Allerdings wählen wir nun das Alter der Sonne als Ausgangspunkt: Berechnet die Zeiten, wenn die Sonne nur 1 Std. alt wäre.

Ergänze die fehlenden Angaben in der Tabelle. Schau dazu auch in den Artikel „Sternentstehung und Sterntod“ aus der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ 02/2024.

<b>Sterne, Zeitangaben im Artikel</b>	<b>D</b>	<b>Lebensdauer / Zeitangaben (mal 1 Mio. Jahre)</b>	<b>Zeit auf der Spezial-Uhr</b>
<b>M-Stern</b>	<b>0,32</b>	<b>1</b>	
<b>G-Stern (Sonne)</b>	<b>1</b>	<b>7000</b>	
<b>B-Stern</b>	<b>3,8</b>	<b>49</b>	
<b>O-Stern</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	
<b>Weitere Zeitangaben</b>			
<b>Sonne</b>		Alter der Sonne heute (ungefähr das Alter der Erde) <b>4600</b>	<b>1 Stunde</b>
<b>Erste Urzeitmenschen</b>		<b>vor 2</b>	
<b>Ausstrahlung des Lichts von MACS0416_Y1 nach dem Urknall</b>		<b>600</b>	
<b>Alter des Universums</b>		<b>13,87</b>	

D ist der Durchmesser des Sterns in Sonnendurchmessern, Mio ist die Abkürzung für Million.

## Anhang 2

### Zusammenfassung aller Ergebnisse zu den Arbeitsblättern

#### Zu Aufgabe 1 und 2:

Zeitangaben im Text und deren Bedeutung und Rechnung zu Aufgabe 2

<i>Bedeutung</i>	<i>Zeitangabe</i>
Messzeit der Galaxie mit ALMA	28 Stunden
Zeitpunkt der Aussendung des beobachteten Lichts der Galaxie MACS0416_Y1	600 Millionen Jahre nach Urknall
Dieses Intervall	entspricht 4 % des Weltalters
Weltalter	13,87 Milliarden Jahre
Zeit seitdem das Licht abgestrahlt wurde	13,2 Milliarden Jahre
Anzahl der Wiederholungen einer 3 Minuten Messung innerhalb von 28 Std.	560-mal

#### Aufgabe 4 und 5:

Zusammenfassung der Stundenuhren

<i>Planet</i>	<i>Planetenjahr (gerundet) 1 Umkreisung der Sonne</i>	<i>Umlaufzeit, falls die Erde 1 Std. benötigen würde</i>	<i>Umlaufzeit, falls Neptun nur 1 Std. benötigen würde</i>
Merkur	88 Tage	11 Minuten	5 Sekunden
Venus	225 Tage	37 Minuten	13 Sekunden
Erde	1 Jahr	1 Stunde	22 Sekunden
Mars	1 Jahr und 322 Tage	1 Stunde 52 Minuten	41 Sekunden
Jupiter	11 Jahre und 318 Tage	11 Stunden 52 Minuten	4 Minuten
Saturn	29 Jahre und 168 Tage	29 Stunden und 28 Minuten	11 Minuten
Uranus	84 Jahre und 237 Tage	84 Stunden 40 Minuten	31 Minuten
Neptun	165 Jahre und 179 Tage	165 Stunden 29 Minuten	1 Stunde

<i>Sterne, Zeitangaben im Artikel</i>	<i>D</i>	<i>Lebensdauer / Zeitangaben (in Mio. Jahren)</i>	<i>Zeit auf der Spezial-Uhr</i>
<b>M-Stern</b>	<b>0,32</b>	<b>1</b>	<b>9 Tage</b>
<b>G-Stern (Sonne)</b>	<b>1</b>	<b>7000</b>	<b>1 Stunde 31 Minuten</b>
<b>B-Stern</b>	<b>3,8</b>	<b>49</b>	<b>38 Sekunden</b>
<b>O-Stern</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>4 Sekunden</b>
<i>Weitere Zeitangaben</i>			
<b>Sonne</b>	<b>1</b>	Alter der Sonne heute (rund das Alter der Erde) <b>4600</b>	<b>1 Stunde</b>
<b>Erste Urzeitmenschen</b>		<b>vor 2</b>	<b>1,5 Sekunden</b>
<b>Ausstrahlung des Lichts von MACS0416_Y1 nach dem Urknall</b>		<b>600</b>	<b>8 Minuten</b>
<b>Alter des Universums</b>		<b>13,87</b>	<b>3 Stunden</b>