

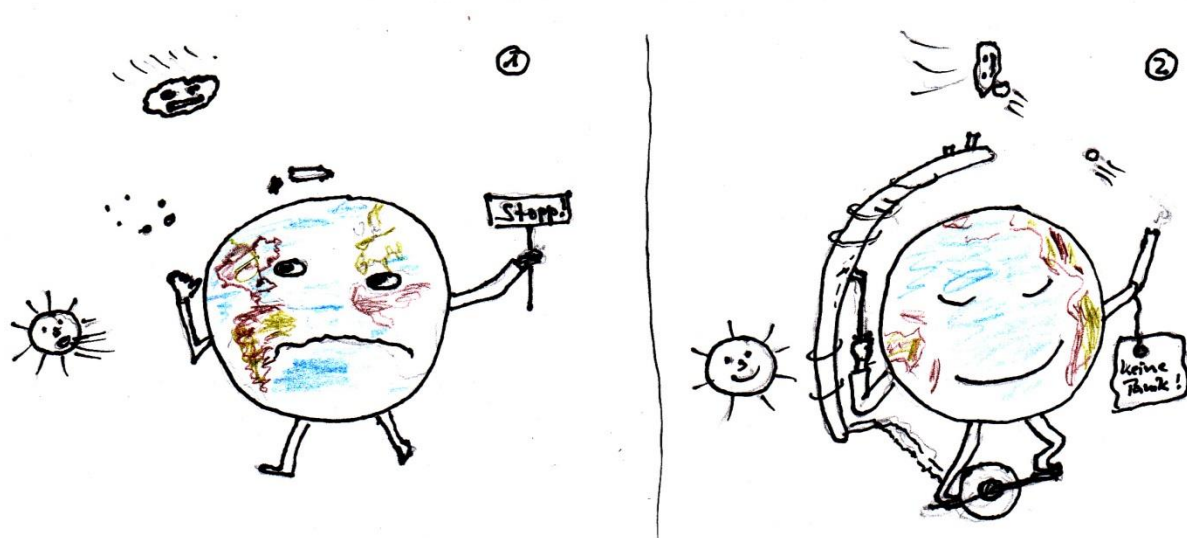
## Fällt uns der Himmel auf den Kopf?

In Bezug auf den Beitrag „Hausbesitzer fordert Schadensersatz von der NASA“ in der Zeitschrift Sterne und Weltraum 02/2025, Rubrik Nachrichten, WIS-ID: 1571264, Zielgruppe: Klassenstufe 9/10, verschiedener Schulformen

Dr. Uwe Herbstmeier

„Fällt uns der Himmel auf den Kopf?“ – Wer kennt sie nicht, diese allgegenwärtige Sorge aus dem kleinen gallischen Dorf einer bekannten Comic-Serie? Und in der Tat ist diese Sorge manchmal durchaus berechtigt. Dieser WIS-Beitrag soll zum selbstständigen Erschließen der Thematik ermuntern. Behandelt werden kosmische Gefahren verschiedenster Art. Elektromagnetische Strahlen, geladene Teilchen, Weltraumschrott und „Schrott“ aus der Entstehungszeit unseres Sonnensystems. In kurzen Präsentationen durch die Schülerinnen und Schüler sollen diese erkundet und die möglichen Gefahren und der Schutz dagegen behandelt werden. Ein zusätzlicher Aspekt ist dabei, Quellen auf Ihre Relevanz und Glaubwürdigkeit in den Blick zu nehmen. Nur so kann nüchtern und sachlich mit den entsprechenden Risiken umgegangen werden. In einer Schlussrunde wird dann ein Fazit bzgl. der wirklichen Risiken gezogen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
<b>Astronomie</b>	Sonne Sonnensystem Galaxien Raumfahrt	<a href="#">Sonnenspektrum</a> , <a href="#">Sonnenwind</a> <a href="#">Meteoroide</a> , <a href="#">Asteroide</a> <a href="#">Kosmische Strahlung</a> <a href="#">Weltraummüll</a>
<b>Fächer- verknüpfung</b>	Astro – Chemie Biologie	<a href="#">Molekülreaktionen durch Strahlung induziert</a>
<b>Lehre allgemein</b>	Kompetenzen  Unterrichtsmittel	<a href="#">Eigenständige Quellenrecherche</a> – Möglichkeiten, Grenzen Fähigkeit Wissen zu komprimieren Kommunikation: <a href="#">Präsentation von Ergebnissen</a> Bücher, Zeitschriften, Internet-Artikel und –Videos



Keine Panik! (Bild: Uwe Herbstmeier)

## Zielsetzung

Die **selbstständige Auseinandersetzung** mit einem vorgegebenen Thema durch die Schülerinnen und Schüler bildet den Grundansatz dieses Artikels. Sie sollen zu Hause mit Hilfe von Literatur aus den verschiedenen Bibliotheken aber auch durch eine Recherche im Internet die jeweiligen vorgegebenen Themen erarbeiten. Die wesentlichen Inhalte sollen auf einem Blatt zusammengefasst werden, das vorab an die Lehrkraft und nach dem Vortrag an die Schülerinnen und Schüler verteilt wird. Die Erkenntnisse aus den Recherchen werden dann in einer **Kurzpräsentation** (10-15 Minuten pro Thema) der Klasse vorgetragen.

Zusätzlich wird hier vorgeschlagen, einen medienpädagogischen Aspekt ins Auge zu fassen: Eigenständige Recherche bedeutet die Nutzung völlig unterschiedlicher, frei zugänglicher **Quellen**. Es ist wichtig am Ende der Vorträge diese genauer unter die Lupe zu nehmen. Es soll dabei auf die Vertrauenswürdigkeit, die Argumentationsfähigkeit und die Sachlichkeit der Quellen eingegangen werden. Eine Arbeit dieser Art wird heutzutage vermutlich oft durch leistungsfähige **Sprachmodelle** (mit Künstlicher Intelligenz – **KI** – bezeichnet) unterstützt. Gerade dann ist es wichtig zu hinterfragen, wie weit Quellenarbeit betrieben worden ist.

In einigen Bundesländern ist eine Recherchearbeit mit anschließender Präsentation in der Klasse für die verschiedenen Schulformen vorgesehen. Beispielsweise ist dies in Baden-Württemberg im Rahmen der gleichwertigen Feststellung der Schülerleistung (GFS) ein Ansatz.

## Die Themenreihe

Die **Grundüberschrift** „Fällt uns der Himmel auf den Kopf?“ soll der gemeinsame Aufhänger für die hier vorgeschlagenen Themen sein. Die vielfältigen Ergebnisse, die sich aus der Erforschung des Universums ergeben, faszinieren sehr viele Menschen. Allerdings werden durch die Beobachtungen des Himmels auch durchaus die ein oder anderen **Gefahr** für uns auf der Erde erkannt, die man nicht leichtfertig übergehen sollte. Doch wie groß sind die **Risiken** der Gefahren wirklich? Gibt es denn dagegen einen natürlichen **Schutz** und was kann noch unternommen werden? Dies sollen ebenfalls Grundfragen für die einzelnen Ausarbeitungen darstellen. Am Ende der Reihe wird nochmals kurz zusammengetragen, wie groß die Gefahren wirklich sind und erkannt, dass Panik nicht angesagt ist.

In der folgenden Tabelle sind **Titelvorschläge** aufgelistet. Jedes dieser Themen kann bei Bedarf auch noch weiter unterteilt oder durch spezielle Themen, die eine konkrete Erläuterung darstellen, ergänzt werden.

Titelvorschlag	Mögliche Themen für eine Vertiefung
Sonnenlicht – ein Risiko?	Die Farben des Lichts  Das Ozonlochs
Kosmische Strahlung – Geschosse aus dem Weltall?	Quellen der hochenergetischen kosmischen Strahlung
Weltraumschrott – Selbstgemachte Gefahr?	Verschiedene Typen von Satelliten und ihre Bahnen
Meteorite und Asteroide – Ständiger Gesteinshagel?	Der Meteoroid über Tscheljabinsk  Asteroidenbahnen im Sonnensystem  Der Untergang der Dinosaurier

Um am Ende der Vortragsreihe eine Gesamtschau zu ermöglichen, kann den einzelnen Themen eine **Grundstruktur** in Form einer **Frageliste** mitgegeben werden. Diese Einzelfragen sollten in jedem Hauptvortrag beantwortet werden.

1. Was fällt auf die Erde herab?
2. Welche Risiken bestehen, insbesondere für den Menschen?
3. Welchen Schutz gibt es?
4. Wie groß ist das Risiko?
5. Was können wir sonst noch tun?
6. Auf welche Quellen wurde zurückgegriffen?

Im [Anhang](#) werden Beispielvorlagen für die Organisation der Vorträge gegeben.

In den folgenden Abschnitten sollen nun zu jedem Thema als Referenz einige wesentliche Fakten aufgelistet werden. Dabei werden die genutzten Quellen angegeben. Sie können auch ggf. zur Hilfestellung an die Schülerinnen und Schüler weitergegeben werden. Darüber hinaus wurden hier folgende Bücher für die entsprechenden Fakten genutzt:

- Voigt H.-H., 2012, Abriss der Astronomie, 6. Auflage, Verlag Wiley-VCH
- Weigert A. u.a., 2006, Astronomie und Astrophysik, Verlag Wiley-VCH

## Thema 1 – Sonnenlicht

Was fällt auf die Erde herab?

Hier besser gefragt: Was strahlt auf die Erde ein. Abbildung 1 zeigt die Intensitätsverteilung im **Sonnenspektrum**, wie sie in der Nähe der Erde gemessen werden kann (Kurve der orange-farbenen Fläche). Das Maximum ist zwar deutlich im optisch (grünen) Bereich, Jedoch gibt es einen durchaus nicht vernachlässigbaren Teil im Ultravioletten (UV) und Infraroten (IR) bzw. Radiobereich.

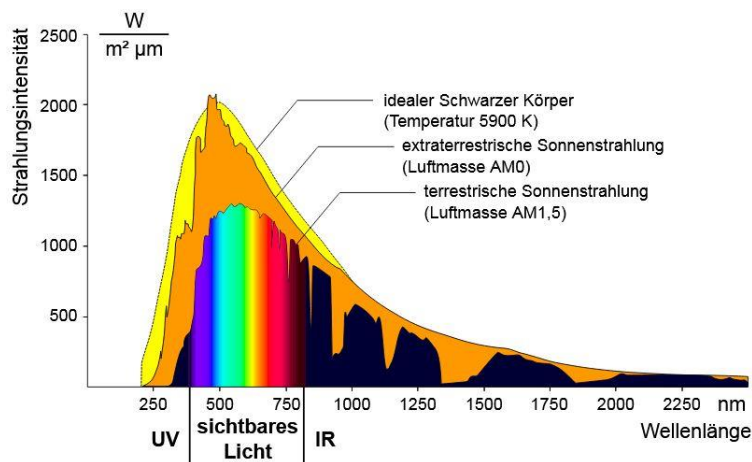


Abbildung 1 – Sonnenstrahlungsintensität außerhalb der Atmosphäre und am Erdboden im Vergleich zur Strahlung eines schwarzen Körpers bei 5900K (Quelle: [Sonne Strahlungsintensität](#), Original von Degreen, überarbeitet von Baba66, [CC BY-SA 2.0 DE](#)).

Die **Energie der Strahlung** bei gleicher Intensität wächst aber mit geringer werdender Wellenlänge des Lichts:  $E = \frac{hc}{\lambda}$ , d. h. UV-Strahlen sind energiereicher als sichtbares Licht und noch deutlicher gegenüber Infrarot- und Radiowellen.

Welche Risiken bestehen, insbesondere für den Menschen?

Die Absorption eines UV-Photons kann in den oberen **Hautschichten** so viel Energie eintragen, dass gewisse Schwellen gewisser chemischen Reaktionen deutlich leichter überwunden werden können. Zum Beispiel können dadurch einfache chemische Bindungen zwischen zwei Atomen aufgebrochen werden so, dass sogenannte **freie Radikale** entstehen. Diese sind dann wiederum recht reaktionsfreudig und greifen andere Moleküle an. Oder es können direkt Umlagerungen von chemischen Bindungen erfolgen, die dann zu einer anderen Struktur der komplexen Biomoleküle führen können. Eine Folge ist zum Beispiel die Entstehung der **Sonnenbräune**, aber auch von **Sonnenbrand**. Eine Häufung der Schäden könnte auch in einzelnen Fällen zu **Hautkrebs** führen (eine gravierende Schädigung der Erbsubstanz DNA).

Welchen Schutz gibt es?

Es gibt sowohl einen geologischen wie auch einen biologischen Schutz gegenüber der Auswirkung von UV-Strahlung. Abbildung 1 zeigt die Wirkung des natürlichen Schutzes durch die **Atmosphäre**. Die Gase in der Atmosphäre der Erde, insbesondere das Ozon filtert die UV-Strahlung zu einem Großteil heraus. Somit ist man auf Meereshöhe bereits einer deutlich reduzierten Strahlungsintensität ausgesetzt. In den Bergen ist allerdings der UV-Anteil noch deutlich höher.

Der biologische Schutz steckt in unserer Haut. Je nach Hauttyp mehr oder weniger findet sich dort der Stoff **Melanin**. Trifft UV-Licht auf ein Melanin-Molekül, wird die Energie sehr schnell in Schwingungen des Moleküls umgewandelt so, dass keine Schädigungen eintreten können. Ein deutlich sichtbarer Effekt dabei ist die **Sonnenbräune** der Haut. Auch hier gibt es Grenzen: Wenn zu viel Strahlung auf die Haut auftrifft, genügt die Menge an Melanin nicht mehr und wir erleiden einen Sonnenbrand.

*Wie groß ist das Risiko?*

Jeder hat wohl in seinem Leben bereits einmal die Erfahrung eines **Sonnenbrands** gemacht, wenn der Aufenthalt von blanker Haut in der prallen Sonne zu lange war, bzw. wenn man im Hochgebirge kaum geschützt Ski gefahren ist (jeder sechste erwachsene US-Amerikaner bekommt pro Jahr mindestens einen Sonnenbrand). Ein Sonnenbrand heilt nach einigen Tagen auch wieder aus, manchmal durch Abschuppen der zerstörten Hautschichten. Wenn man allerdings zu häufig Sonnenbrand erleidet, kann die Haut an diesen Stellen schneller altern.

**Hochenergetische UV-Strahlen**, die ein höheres Risiko für die Schädigung der DNA-Moleküle in der Haut haben, kommen im Sonnenspektrum am Erdboden kaum vor und dringen zusätzlich auch nicht sehr tief in die Hautschichten ein. Aber auch hier gilt: Je häufiger die Haut der UV-Strahlung ausgesetzt wird, insbesondere in hohen Lagen dem härtesten UV-Anteil, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass aus dadurch das Erbmolekül **DNA** in Mitleidenschaft gezogen werden kann. Allerdings besitzen die Zellen auch einen **Reparaturmechanismus**, der die meisten Schäden beseitigt, im Extremfall wird eine schwer geschädigte Zelle zum Absterben gebracht.

Im Wikipedia-Artikel zum Stichwort **Hautkrebs**, der durch eine nicht reparierte Mutation im DNA-Molekül entstehen kann, kann man nachlesen, dass im Jahr 2010 in Deutschland 19.220 Menschen daran erkrankten und 2.711 Menschen starben. Das sind nur etwa 0,4% aller Verstorbenen insgesamt. Das besagt aber nicht, dass diese Erkrankungen wirklich durch die Einwirkung der UV-Strahlung hervorgerufen worden waren. Somit ist das Risiko dieser extremen Gefährdung relativ gering.

Wichtig ist auch zu bemerken, dass wir die direkte Sonneneinstrahlung auf die Haut durchaus benötigen. Denn durch die Strahlen wird in der Haut erst das für uns wichtige **Vitamin D** erzeugt.

*Was können wir sonst noch tun?*

Es gibt einfache Methoden, die Risiken gering zu halten. So sollte man sich nicht allzu lange ungeschützt der Sonne aussetzen. **Kleidung** hilft bereits (auch wenn da immer noch ein geringer Anteil an UV-Strahlung durchscheinen kann). Bei langem Sonnenbaden oder beim Skifahren hilft das Eincremen mit **Sonnenschutzmitteln**.

*Zusatzthema – Das Ozonloch*

Durch die Einstrahlung von UV-Sonnenlicht kommt es in einer Höhe von ca. 20-30 km zur Bildung von **Ozon** (O<sub>3</sub>). Dies filtert aber auch einen großen Anteil der harten UV-Strahlung aus dem Spektrum der Sonne. Durch das Einbringen von radikalen Chloratomen aus **Fluorchlorkohlenwasserstoffen** (FCKW) in diese Schichten, wird das Ozon durch chemische Reaktionen abgebaut und die UV-Strahlung kann vermehrt auf den Erdboden gelangen. Die FCKW stammten aus dem Treibmittel in Sprühflaschen oder auch aus Kühlmitteln in technischen Geräten. Das fehlende Ozon (das Ozonloch) trat vor allem in den niederen Schichten im Bereich der Antarktis und Umgebung auf.

In einer internationalen Anstrengung wurde das sog. **Montreal-Protokoll** beschlossen. Darin werden die kritischen Stoffe verboten und eine entsprechende Überwachung ausgearbeitet. Seitdem diese Regelungen befolgt werden, konnte ein weiterer Abbau der Ozonschicht weitestgehend verhindert werden.

#### Quellen:

#### Artikel:

- Wikipedia (<https://www.wikipedia.de/>) zu den Stichworten: Sonnenspektrum, Ultraviolettstrahlung, Sonnenbrand, Melanin, Hautkrebs, DNA-Reparatur  
*Anmerkung:* Insbesondere die Artikel zu den medizinischen Aspekten sind sehr geprägt von den entsprechenden Fachwörtern. Dennoch kann man hier einige Informationen abgreifen.
- Für das Zusatzthema: Ozonschicht, Ozonloch, Montreal-Protokoll

#### Videos:

- Spektrum: <https://www.spektrum.de/index/das-universum-seine-sterne-und-planeten/1165548>  
Nr. 58 Das Sonnenspektrum
- ZDF-TerraX: Sonnenbrand

## Thema 2 – Kosmische Strahlung

*Was fällt auf die Erde herab?*

Bei der kosmischen Strahlung handelt es sich meist um **geladene Teilchen**, im Wesentlichen um **Protonen** und **Heliumkerne** auf der einen und **Elektronen** auf der anderen Seite. Dazu finden sich aber auch durchaus weitere Kerne von Elementen mit höherer Ordnungszahl. Deren Häufigkeit entspricht im Wesentlichen der im Sonnensystem mit der Ausnahme von Lithium, Beryllium und Bor, die deutlich häufiger in der kosmischen Strahlung zu finden sind.

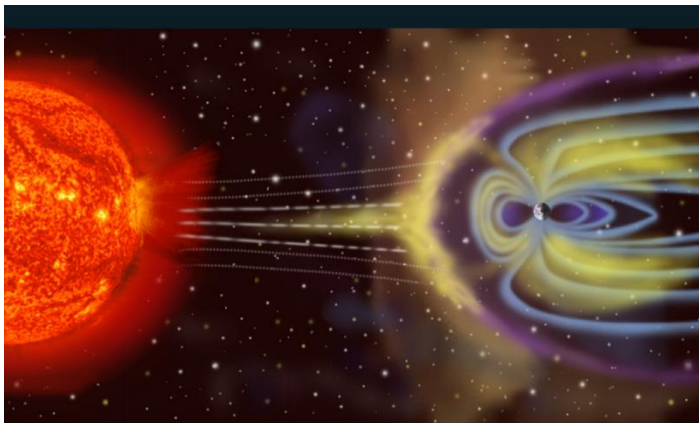


Abbildung 2 – Sonnenwind und Erdmagnetfeld. (Quelle: [NASA](#), [Magnetosphere rendition](#), Lizenz: gemeinfrei).

Die Quellen der kosmischen Strahlung sind zum einen die Sonne, der sogenannte **Sonnenwind**, der den größten Anteil stellt. Aber auch energiereiche Ereignisse im Kosmos führen zur Beschleunigung dieser Teilchen. Dabei wäre zu nennen, dass diese Teilchen in den Stoßwellen, die bei **Supernovaexplosionen** entstehen, beschleunigt werden können. Ähnliches findet man auch in Materieströmen, die im Umfeld von gigantischen schwarzen Löchern in den Zentren von Galaxien erzeugt werden. Diese **Materie-Jets**, gespickt mit Stoßwellen, dringen weit in den intergalaktischen Raum und können zum Phänomen der Radiogalaxien führen.

Kennzeichnend für die kosmische Strahlung ist, dass diese Teilchen sehr schnell durch den Weltraum fliegen und, da sie geladen sind, oftmals durch die Magnetfelder der Galaxien bzw. der Quellen der Teilchen abgelenkt werden. Damit fällt es schwer die Quellen der eintreffenden Teilchen auszumachen.

Die **Bewegungsenergie** des **Sonnenwinds** kann aus den Geschwindigkeiten abgeleitet werden. In der Nähe der Erde sind diese im Mittel etwa bei 400 km/s (die Teilchendichte liegt bei ca.  $6 \text{ cm}^{-3}$ ). Es gibt auch eine schnelle Komponente mit Geschwindigkeiten um 750 km/s, die von einer besonders aktiven Sonne ausgeht.

Die Energie der **kosmischen Strahlung** aus Quellen außerhalb des Sonnensystems erstreckt sich über einen Bereich von einigen GeV bis über  $10^{20} \text{ eV}$ . Teilchen niedriger Energie überwiegen jedoch deutlich: Bei ca. 1 GeV: ca. 100 Teilchen/( $\text{cm}^2 \text{ sr}$ ), bei  $5 \cdot 10^9 \text{ GeV}$ : ca. 5 Teilchen/( $\text{cm}^2 \text{ sr}$ ).

*Welche Risiken bestehen, insbesondere für den Menschen?*

Die Teilchen sind zwar sehr kleine Elementarteilchen oder Atome/Moleküle, sind aber extrem schnell und besitzen somit eine **hohe kinetische Energie**. Wenn sie auf empfindliche Objekte treffen, können sie deshalb einen deutlichen Schaden hinterlassen. So treffen die Teilchen z. B. auf empfindliche **Elektronik** von Satellitensystemen und können diese außer Funktion setzen. Beim Auftreffen auf den menschlichen Körper besitzen die Teilchen ähnlich der UV-Strahlung die Möglichkeit komplexe **Biomoleküle** zu zerstören. Dies kann zu ähnlichen Folgewirkungen für die Zellen führen.

*Welchen Schutz gibt es?*

Für den Sonnenwind bietet die Erde mit ihrem **Magnetfeld** einen sehr guten Schutz. Die geladenen Elektronen und Protonen werden durch das Magnetfeld in Kreisbahnen gezwungen und wandern somit entlang der schalenförmigen Felder gefangen zwischen den Polen parallel zur Erdoberfläche hin und her. Nur an den Stellen, wo das Magnetfeld auf den Erdboden trifft, kommen diese Teilchen dann in tiefere Schichten.

Dort stoßen diese und auch die hochenergetischen Teilchen zunächst einmal mit den **Luftmolekülen** zusammen. Man muss bedenken, dass in einem Kubikmeter Luft in 100 km Höhe ca.  $10^{19}$  Moleküle zu finden sind. Die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes ist somit sehr hoch, d. h. es werden so gut wie alle Teilchen des Sonnenwinds in der Atmosphäre abgefangen. Eine Folge ist dabei das **Polarlicht** in hohen Breiten. Es entsteht bei der Rekombination von Atomen mit Elektronen, die durch die kosmischen Teilchen beim Zusammenstoß den Atomen entrissen worden waren.

Die kosmische Strahlung mit sehr hohen Energien kann das Magnetfeld durchaus überwinden und stößt dann aber direkt auf die Luftmoleküle. Dabei entsteht durch den Zusammenstoß mit den Kernen der Atome eine ganze **Kaskade** an weiteren Elementarteilchen, über die dann die Energie verteilt wird.

*Wie groß ist das Risiko?*

Dadurch dass so gut wie alle Teilchen durch das Magnetfeld und die Erdatmosphäre abgefangen werden, ist die Gefahr für das Leben am Erdboden **gering**. Allein der häufige Aufenthalt in großen Höhen kann zu einer Strahlenbelastung führen. So ist es insbesondere für das **Flugpersonal** durchaus nicht ganz zu vernachlässigen. Bei einem dauerhaften Aufenthalt in Flughöhe ist die Strahlenbelastung für einen Menschen ca. 40 mal so hoch wie die natürliche Strahlenbelastung durch natürliche radioaktive Materialien im Erdboden oder in der Nahrung. Auf der **ISS** (300 bis 400 km über dem Erdboden) ist die Belastung bereits 400-mal so hoch.

*Was können wir sonst noch tun?*

Für Satelliten, Raumstationen und Flugzeuge gibt es einen geringen Schutz durch die **Metallhülle**, die je nachdem auch etwas dicker ausgeführt werden kann. Jedoch sind dem Grenzen gesetzt, da dies auch eine Gewichtszunahme bedeutet. Daher gilt für Flugpersonal allgemein, dass es sich einer **Überwachung** der Strahlenbelastung unterwirft. Die Anzahl der Flüge sollte daher entsprechend beschränkt werden.

Bei Sonnenstürmen kann die ionisierende Strahlung auch bis zum Erdboden gelangen. In der Tat wurden bereits Ausfälle in einigen **Stromnetzen** bei hohen geografischen Breiten (z. B. 1989 bei Quebec,



[zurück zum Anfang](#)

Kanada) erlebt. Durch eine intensive **Beobachtung der Sonne** können auf deren Oberfläche starke Eruptionen, die die Quelle der Sonnenwind-Stürme darstellen, frühzeitig erkannt werden. Da die Teilchen zwar sehr schnell durch den Weltraum fliegen, aber nicht Lichtgeschwindigkeit erreichen, ist somit eine Warnung vor dem Eintreffen möglich. Dadurch können kritische Teile des Stromnetzes abgeschaltet und auch Satelliten in einen Standby-Modus gebracht werden.

#### *Vorschläge für Informationsquellen aus dem Internet*

##### Artikel:

- Spektrum:  
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/sonnenwind/13470> Stichwort: Sonnenwind  
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kosmische-strahlung/8412> Stichwort: kosmische Strahlung
- Wikipedia (<https://www.wikipedia.de/>) zu den Stichworten: Kosmische Strahlung, Strahlenexposition, Sonnensturm

##### Videos:

- Alpha Centauri (ARD-Mediathek - <https://www.ardmediathek.de/>): Harald Lesch: Was ist der Sonnenwind? Was ist kosmische Strahlung?

## Thema 3 – Weltraummüll

*Was fällt auf die Erde herab?*

Dieser WIS-Beitrag ist an einem Bericht aus Sterne und Weltraum zu diesem Thema aufgehängt. Dort geht es um einen Schaden an einem Haus in den USA, der durch ein abstürzendes **Batterieteil der ISS** verursacht worden war, das bewusst zum Absturz gebracht worden ist.

Ein Großteil der Objekte, die im steilen Winkel auf die Erde fallen, wird durch die Reibung mit den Gasteilchen der Atmosphäre so stark erhitzt, dass die Materialien verdampfen. Allerdings bei sehr kompakten (dichten) Objekten bzw. sehr großen Teilen erfolgt dieses **Verglühen** nicht vollständig. Das führt dazu, dass einige Teile dann bis zum Erdboden gelangen können. Siehe dazu auch die Abbildung 3.



**Abbildung 3 – Haupttreibstofftank einer Delta 2 Rakete, der am 22. Januar 1997 nahe Georgetown (USA) auf der Erde aufschlug (Quelle: NASA, Lizenz: gemeinfrei).**

Die in den letzten Jahren deutlich angewachsene Raumfahrttätigkeit führt dazu, dass im erdnahen Orbit Anfang 2021 ungefähr 6.250 **Satelliten** zu finden waren, davon etwa 2350 außer Betrieb. Seit 2021 kamen mehrere tausend neue Satelliten hinzu, z. B. die Starlink-Flotte. Die Satelliten im nahen Erdorbit werden im Laufe ihrer Erdumkreisungen aber immer leicht durch die zwar extrem dünne aber immer noch vorhandene Atmosphäre abgebremst. Somit kommen Sie immer weiter in dichtere Schichten und fallen am Ende vom Himmel. Zusätzlich kommt es auf Grund von Zusammenstößen, Fehlfunktionen und Abwurf nicht mehr gebrauchter Teile (z. B. ausgebrannter Raketentufen – siehe Abbildung 3) zu einer immer größeren Anzahl von **Schrottteilen**, die um die Erde kreisen und je nach Bahn abgebremst werden.

Insgesamt kommt man im Jahr 2018 so auf eine geschätzte Zahl von ca. 20.000 Teilen größer als 10 cm, die um die Erde kreisen.

*Welche Risiken bestehen, insbesondere für den Menschen?*

Wenn ein Teil ungebremst aus dem Orbit auf die Erde fällt, wandelt sich seine potentielle Energie  $E_{pot}$  im Schwerfeld der Erde teilweise um in die Bewegungsenergie  $E_{kin}$ . Zu Beginn ist

$$E_{pot}(h) = -\frac{GMm}{R+h}, \quad E_{kin}(h) = 0$$

( $G$  = Gravitationskonstante =  $6,671 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ ,  $M$  = Masse der Erde =  $5,98 \cdot 10^{24}$  kg,  $m$  = Masse des abstürzenden Teils,  $R$  = Erdradius = 6.370 km,  $h$  = Höhe des Teils über dem Erdboden).

Am Erdboden erhalten wir

$$E_{pot}(0) = -\frac{GMm}{R}, \quad E_{kin}(0) = \frac{1}{2}mv^2$$

( $v$  = Geschwindigkeit beim Einschlag auf der Erde).

Ein aus 100 km Höhe über dem Erdboden abstürzendes Teil erreicht somit eine **Geschwindigkeit** aus  $E_{pot}(h) = E_{pot}(0) + E_{kin}(0)$  von ungefähr  $v = 1.400 \frac{m}{s} = 5.000 \frac{km}{h}$ .

Somit kann ein Körper nicht nur einen Menschen erschlagen, sondern auch durch harte Materialien (Dachziegel) **durchschlagen**.

Allerdings ist der Weltraumschrott auch bereits eine **Gefahr für funktionsfähige Satelliten** im Weltall. Satelliten können kollidieren oder Reststoffe in Raketenteilen können explodieren. Dies führt dann zu einer sprunghaften Erhöhung der Teilchenzahl, die unkontrolliert mit hoher Geschwindigkeit um die Erde kreisen und wie Geschosse andere Objekte zerstören können. Die Relativgeschwindigkeit zwischen Weltraummüll und einem erdnahen Satelliten mit hoher Bahnneigung zum Äquator beträgt größenordnungsmäßig 10 km/s. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit besitzt ein Teilchen mit 1 g Masse eine Energie von 50 kJ, was der Sprengkraft von etwa 12 g TNT-Sprengstoff entspricht, sodass sowohl das Teilchen als auch das unmittelbar getroffene Material explodieren. Dies erhöht dann erneut die Teilchenzahl (sog. Kessler-Effekt).

*Welchen Schutz gibt es?*

Der wesentliche Schutz besteht in der Erdatmosphäre. Zum einen **verglühen** die Schrottteilchen durch die Reibung in den tieferen Atmosphärenschichten je nach Größe fast vollständig oder ganz. Ein Großteil der unbrauchbaren Satelliten bzw. Raketenteile erreichen somit nicht die Erdoberfläche. Zusätzlich bremst die Reibung der Atmosphäre auch die Teile ab, die nicht vollständig verglühen. Diese Reibung wächst proportional mit der Eintrittsgeschwindigkeit.

*Wie groß ist das Risiko?*

Eine **Kollision** zwischen zwei Satelliten ist sehr unwahrscheinlich. So ist der Raum zwischen ca. 150 und 250 km Höhe ca.  $5,3 \cdot 10^5 \text{ km}^3$  groß. Damit ist die Satellitendichte (2021) bei angenommen gleicher Verteilung  $6250 / 5,3 \cdot 10^5 = 1,2 \cdot 10^{-4}$  Satelliten pro  $\text{km}^{-3}$ . Allerdings sind zum einen

nun deutlich mehr Satelliten um die Erde verteilt, andererseits befinden sich nicht alle im Band zwischen 150 und 250 km Höhe über dem Erdboden. Je nach Aufgabe gibt es Bereiche, die für die Satelliten besonders geeignet sind. Dagegen weisen einige Zonen eine hohe Dichte geladener Teilchen, die vom Sonnenwind eingefangen worden sind, auf (s.o., die sog. van-Allen-Gürtel). Diese Zonen werden vermieden, um die Elektronik der Satelliten nicht einem hohen Risiko auszusetzen. Eine weitere Zone mit höherer Dichte an Satelliten ist im geostationären Orbit bei 35.786 km zu finden, da dort die Satelliten über dem Erdboden zu stehen scheinen.

Zusätzlich wird diese Dichte an Objekten durch die vielen kleineren Teile, die unkontrolliert entstehen bzw. die absichtlich durch entsprechende Kollisions-Experimente erzeugt wurden, deutlich erhöht.

Bisher wurden aber nur einige wenige Beschädigungen von Häusern, Schiffen o.Ä. und den dabei auftretenden **Verletzungen** von Menschen berichtet. Von einem handelt der Artikel in Sterne und Weltraum. Bisher ist es auch noch zu **keinem Todesfall** gekommen. Hinzu kommt, dass der unbewohnte Meeresanteil der Erdoberfläche gut zweimal größer ist als die Kontinentalmasse. Die Wahrscheinlichkeit für einen Schaden ist im Breitenbereich zwischen plus und minus 25° ca. dreimal höher als in den restlichen Zonen der Erdoberfläche.

Eine grobe **Abschätzung für die Wahrscheinlichkeit einen Menschen zu treffen** kann folgendermaßen erfolgen: Ca. 8 Mrd. Menschen leben zurzeit auf der Erde, jedem ordnen wir 2 m<sup>2</sup> Fläche zu. Das sind zusammen 16.000 km<sup>2</sup> (Deutschland hat eine Fläche von knapp 357.600 km<sup>2</sup> also mehr als 20-mal so viel. Die Gesamtfläche der Erde beträgt ca. 510 Millionen km<sup>2</sup>. Damit ist die Wahrscheinlichkeit einen Menschen zu treffen bei  $3 \cdot 10^{-5}$ .

*Was können wir sonst noch tun?*

Für größere Satelliten im Orbit (z. B. die ISS) wurden entsprechende **Schutzschilde** angebracht, die zumindest einen gewissen Schutz gegen den Einschlag kleinster Teilchen bieten. Größeren Objekte und Trümmer, die vom Erdboden aus verfolgt werden können (z. B. durch GESTRA in Deutschland), können diese Satelliten durch entsprechende Bahnmanöver ausweichen.

Wichtig ist aber, dass große Teile, die absehbar nicht vollständig verglühen, gezielt so gelenkt werden, dass sie ungefährlich in große, unbewohnte Areale des Pazifischen Ozeans abstürzen. So hat sich im Bereich zwischen Chile und Neuseeland der sog. Point Nemo (südliche Breite knapp 49°, geographische Länge ca. 123,5°) als **Raumschiffriedhof** herausgebildet. Es ist die Stelle, die am weitesten vom Festland bzw. von Inseln entfernt ist.

Ebenfalls können Satelliten in Umlaufbahnen geschossen werden, die so weit entfernt liegen, dass die Gefahren entsprechend über Jahrhunderte gering bleiben. Außerdem untersucht z. B. die ESA (European Space Agency) intensiv, ob Missionen entwickelt werden können, die größere ausgediente Satelliten gezielt einfangen und zum vollständigen Verglühen o. Ä. gebracht werden können.

Zusätzlich ergibt sich durch die **Wiederverwendung** von Raketenstufen (z. B. die Erststufen der Falcon-Reihe des Raumfahrtunternehmens SpaceX) eine Möglichkeit, um den Weltraumschrott zu reduzieren.

### *Vorschläge für Informationsquellen aus dem Internet*

#### Artikel:

- Wikipedia (<https://www.wikipedia.de/>) zu den Stichworten: Weltraummüll, Kessler-Effekt, GESTRA, Point Nemo, Raumschiffriedhof, SpaceX
- ESA: [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Germany/Was\\_ist\\_Weltraummuell](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Was_ist_Weltraummuell) und weitere Kapitel dort
- DLR: <https://www.dlr.de/de/ar/themen-missionen/weltraumsicherheit/weltraummuell>
- ARD, alpha: <https://www.ardalpha.de/wissen/weltall/raumfahrt/weltraumschrott-satelliten-truemmer-bruchstuecke-100.html>
- Spektrum: <https://www.spektrum.de/kolumne/weltraumschrott-bis-einer-stirbt/2222789>

## Thema 4 – Meteoroiden und Asteroiden

*Was fällt auf die Erde herab?*

Bei der **Bildung des Sonnensystems** aus einer Gas- und Staubwolke im interstellaren Raum, entstanden zunächst kleine Körper, die sich immer weiter zusammenballten und am Ende neben der zentralen Sonne, größere Planeten ergaben. Ein Teil der ursprünglichen Gesteinsbrocken blieb aber erhalten und kreist seitdem um die Sonne. Hinzu kommt, dass beim Zusammenstoß dieser Körper durchaus auch wieder kleinere Bruchstücke entstehen konnten. Diese Überreste bezeichnen wir als Meteoroiden und Asteroiden. Der Unterschied zwischen den beiden Klassen liegt letztendlich in der Größe der Objekte.

Meteoroiden sind Teilchen deren **Durchmesser** im Bereich von Bruchteilen eines Millimeters bis einige Meter reichen. Asteroiden erreichen Größen von mehreren zehn Metern bis einige Hundert Kilometer. Der Asteroid Pallas hat z. B. einen Durchmesser von ca. 546 km, Vesta von 516 km.



Abbildung 4 – Asteroid Ida mit Mond Dactyl  
(NASA/JPL, [243 Ida](#), Lizenz: gemeinfrei).

Wenn die Bahnen der Meteoroiden die Erdbahn kreuzen und auch zeitlich am gleichen Ort wie die Erde mit dieser dann kollidieren, dann spricht man von **Meteoriten**. Deren Anzahl ist sehr hoch: 10 Milliarden, mit einer Masse von etwa 1000 t pro Tag. Aktuell sind ca. 1,4 Millionen Asteroiden bekannt. Man schätzt aber die Gesamtzahl auf mehrere Millionen.

Die meisten **Asteroiden** kreisen auf Bahnen zwischen Mars und Jupiter (ca. 90% der bekannten Objekte) und jenseits von Neptun (ca. 70.000 Objekte mit Abmaßen größer als 100 km) um die Sonne. Allerdings gibt es auch eine Reihe Asteroiden, die der Erde recht nahe kommen können. In der Regel werden alle Objekte, deren nächster Bahnpunkt zur Sonne kleiner als 1,3 Astronomische Einheiten (AU = mittlere Distanz Erde-Sonne) zu liegen kommt, als erdnahe Asteroiden bezeichnet. Diese können theoretisch die Erdbahn kreuzen und stellen somit einen potenziellen Kollisionspartner dar.

*Welche Risiken bestehen, insbesondere für den Menschen?*

Kleinste Meteoriten fallen ständig auf den Erdboden ohne dass wir es bemerken. So können wir diese **Mikrometeoriten** durchaus auch sammeln. In dem Artikel *Sternstaub auf dem Dach*, in Sterne und Weltraum 6/2020 wurde gezeigt, dass diese auf größeren Hallendächern durchaus auch gefunden werden können. Zu diesem Artikel findet sich auch ein passender WIS-Beitrag (s.u. unter Quellen).

**Größere Meteoriten** sind ähnlich schnell und können durch ihre hohe Energie durchaus zu gravierenden Schäden führen. Darüberhinaus wird durch das Eintreten größerer Teile in die tiefere Atmosphäre das Objekt so schlagartig erhitzt, dass es dabei expodiert. Die entstehenden Druckwellen können dabei größere Schäden hervorrufen. Ein aus jüngster Zeit bekanntes Beispiel ist das Ereignis von **Tscheljabinsk**. Hier sei ebenfalls auf den dazugehörigen WIS-Artikel verwiesen.

Gravierender sind die Auswirkungen von **größeren Asteroiden**. Die enorme Energie, die beim Auftreffen der Körper auf den Erdboden freigesetzt wird, führt zu starken Stoßwellen in der Erdkruste und ggf. auch im Meerwasser. Dieses Stoßwellen führen zu einem Verdampfen von Gesteinsmaterial des Asteroiden aber auch der Erdkruste, zu Erdbeben, Tsunamis und Explosionsdruckwellen, die im weiteren Umfeld alles zerstören. Dabei werden riesige Mengen Gestein in die Atmosphäre bis in höhere Schichten geschleudert. Dort breiten sich dann diese Staubwolken aus und verdunkeln die Sonne ggf. über einen langen Zeitraum von mehreren Monaten oder Jahren. Zusätzlich regnen die heißen wieder fest gewordenen Gesteinstropfen auf die Erde nieder und führen zu gewaltigen Bränden.

Der **Chicxulub-Krater** am Nordende der mexikanischen Halbinsel Yucatan ist ein Beispiel, auch für die gravierenden Auswirkungen. Dieses Ereignis markierte den Anfang vom Ende der Dinosaurier.

*Welchen Schutz gibt es?*

Gegen die herabfallenden Meteorite ist auch hier die **Erdatmosphäre** der beste Schutz. Der allergrößte Teil verglüht oder wird in der Masse so dezimiert, dass nur noch kleine Körner auf die Erde fallen. Dies gilt ähnlich wie beim Thema Weltraumschrott. Auch hier ist das Abbremsen der Atmosphäre für Teilchen, die die Reibungsenergie fest überstehen, ein weiterer Schutz.

*Wie groß ist das Risiko?*

Durch diesen Schutz kommen von den Milliarden Meteoroiden die **Mikrometeorite** unbemerkt auf die Erde (immerhin bis zu 1.000 bis 10.000 t pro Tag). Es gibt pro Jahr auch nur ca. 10 Berichte über **größere Meteorite**, die den Erdboden erreichen. Ähnlich zu Weltraummüll gibt es durchaus einige Berichte von Schäden, die durch den Einschlag von Meteoriten verursacht worden sind. Bisher gibt es aber nur einen Bericht von **einer Verletzung** und **kein einzigen von einem Todesfall** durch die Gesteine aus dem Weltall. Auch führt damit die Abschätzung für das Risiko, von einem Meteoriten getroffen zu werden auf ähnliche Zahlen, wie für den Weltraumschrott.

Bei der **Druckwelle** von Tscheljabinsk war allerdings die Zahl der Verletzten auf Grund von berstenden Fenstern deutlich höher. Jedoch ist dies ebenfalls ein äußerst seltenes Ereignis.

Für die Kreuzung von **Asteroiden** mit der Erde müssen zwei sehr unwahrscheinliche Ereignisse zusammenkommen. Die Bahnen um die Sonne müssen sich kreuzen und beide Körper müssen gleichzeitig an diesem Kreuzungspunkt eintreffen. Dies wird für die aktuelle Zeitepoche als sehr selten eingeschätzt. So rechnet man auf Grund der bekannten erdnahen Objekte mit einer Wahrscheinlichkeit, dass ein 500 m Asteroiden mit der Erde kollidiert von einem alle 500.000 Jahre, einem 5 km Objekt alle 10 Millionen Jahre und einer mit dem Chicxulub-Ereignis vergleichbaren Kollision alle 100 Millionen Jahre.

In **früheren Zeiten** war diese Wahrscheinlichkeit viel größer. Dies kann man an der Oberfläche des Mondes erkennen, die übersät ist mit Kratern, die von den Einschlägen aus der Anfangszeit des Sonnensystems (in den ersten 100 Millionen Jahren) zeugen. Auch die Erde zeigt ähnliche Kraterreste, wenn auch zum Teil stark durch die Erosion verwischt (z. B. das Nördlinger Ries oder der Barringer-Krater in Arizona, USA).

*Was können wir sonst noch tun?*

Gegen **größere Meteorite** ist kein weiterer Schutz möglich. Falls die Leuchterscheinungen rechtzeitig bemerkt werden und man von einem nahen Ereignis ausgehen kann, kann man sich gegebenenfalls von Teilen (wie Fenstern) fernhalten, die durch die Druckwelle, die nur mit Schallgeschwindigkeit von dem Objekt ausgeht, zerbersten können.

Gegen die Folgen eines Einschlags eines **Asteroiden** gibt es direkt keinen Schutz. Jedoch kann man sich überlegen, die Bahn des Asteroiden möglichst früh soweit abzulenken, dass eine Kollision vermieden wird.

In der Tat gibt es **Überwachungsprogramme** für die Asteroiden, die der Erde nahekommen können und die bereits bekannt sind. Außerdem bleibt man auf der Suche nach noch unbekanntem Objekten, die der Erde gefährlich werden können. Je kleiner diese sind, desto schwieriger ist diese Suche und oftmals entdeckte man die Körper erst kurz bevor sie an der Erde vorbeigeflogen sind.

Im Jahr 2022 gab es einen Versuch mit der US-Raumsonde **DART** (Double Asteroid Redirection Test) die Bahn eines Himmelsobjekts leicht zu verändern. Dabei schlug die Sonde gezielt in den Mond Dimorphos des Asteroiden Didymos ein. Die Bahn des Mondes wurde dadurch in der Tat leicht geändert. Die ESA-Sonde **Hera** soll nun genauere Bilder der Einschlagsstelle liefern, um die Auswirkungen näher zu analysieren. Denn größere Abspaltungen oder die vollständige Zerstörung des Objekts würde ja nur dazu führen, dass die Bruchstücke vermehrt würden und einige von Ihnen dann trotzdem auf die Erde stürzen könnten.

*Vorschläge für Informationsquellen aus dem Internet*

WIS-Artikel:

- Mikrometeorite: <https://www.spektrum.de/alias/material/kosmischer-regen/1421039>
- Tscheljabinsk: <https://www.spektrum.de/alias/material/zentrales-wis-dokument-msos-5-2015/1338163>

Artikel:

- Wikipedia (<https://www.wikipedia.de/>) zu den Stichworten: Meteoroid, Asteroid, Meteorit, DART, Barringer-Krater, Nördlinger Ries

Radiosendungen:

- ARD Audiothek:  
Asteroideneinschlag und der Anfang vom Ende der Dinosaurier:  
<https://www.ardaudiothek.de/episode/wissenschaft-im-brennpunkt/asteroiden-einschlag-der-anfang-vom-ende-der-dinosaurier/deutschlandfunk/13487331/>

Videos:

- Spektrum: <https://www.spektrum.de/index/das-universum-seine-sterne-und-planeten/1165548>  
Nr. 52



## Gesamtschau und Hinweis

Am Ende der Reihe können im Rahmen einer kleinen **Diskussionsrunde** in der Klasse nochmals die verschiedenen Gefahren zusammengetragen werden. Dabei wird das Risiko und der Schutz genauer betrachtet. Somit kann man nochmals darauf eingehen, dass es zwar Gefahren gibt (durchaus bis zur Gefährdung der Biosphäre der Erde), jedoch die Wahrscheinlichkeiten für größere Schäden sehr gering sind. Gegen geringe Schäden können wir uns auch durch unser Verhalten ausreichend schützen. Und auch große Gefahren können durch gemeinsame Anstrengungen vermieden werden. Also: Keine Panik!

### Hinweis

Bei der Recherche zu diesem Artikel bin ich auch auf Folge 52 der Reihe *Universum für alle* auf den Seiten des Spektrum-Verlags gestoßen:

<https://www.spektrum.de/index/das-universum-seine-sterne-und-planeten/1165548>

Diese sehr sehenswerten Videos entstanden aus einer Vortragsreihe von Heidelberger Astronomen vom April bis Juni 2011, die 70 Themen aus der Astronomie vorstellten. Vortrag Nr. 52 ist ein Beitrag von Prof. Wambsganz mit dem Titel *Kann uns der Himmel auf dem Kopf fallen*. Nicht nur der Titel, sondern auch die Intention dieses Vortrags ist diesem WIS-Artikel sehr ähnlich. So möchte ich ausdrücklich auf diesen Beitrag hinweisen.

## Anhang – Vorlagen zur Organisation der Vortragsreihe

Themenliste

*Interessentinnen oder Interessenten bitte eintragen*

(Unterthemen nur falls die Hauptthemen alle vergeben werden können)

Thema / Mögliche Unterthemen	Datum	Wer übernimmt?
<b>Das Licht der Sonne – ein Risiko?</b>		
Das Ozonloch		
<b>Kosmische Strahlung – Geschosse aus dem Weltall?</b>		
Die Quellen der hochenergetischen kosmischen Strahlung		
<b>Weltraumschrott – Ein selbstgemachtes Damoklesschwert?</b>		
Typen und Bahnen der Satelliten		
<b>Meteoroide und Asteroiden – ein ständiger Gesteinshagel?</b>		
Die Bahnen der Asteroiden		
Der Untergang der Dinosaurier		

## Beachte folgende Hinweise

Schreibe eine kurze Zusammenfassung Deines Vortrags (eine Seite) und verteile sie an die Zuhörer (Bitte ein Exemplar \_\_ Tag(e) vorher an mich).

Gehe in Deinem Vortrag auf folgende Fragen ein.

1. Was fällt auf die Erde herab?
2. Welche Risiken bestehen, insbesondere für den Menschen?
3. Welchen Schutz gibt es?
4. Wie groß ist das Risiko?
5. Was können wir sonst noch tun?
6. Auf welche Quellen wurde zurückgegriffen?

Bewerte die Quellen der Informationen, die du genutzt hast aus Deiner Sicht bzgl. Zuverlässigkeit und Sachlichkeit.

Alles Gute!



*Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen finden sie unter der Adresse [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) (Fachgebiet Astronomie).*

*Wir würden uns freuen, wenn sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an die Kontaktadresse des Autors senden könnten.*