

Unterrichtsmaterialien zum Thema

# All.taglich – Erfindungen der Raumfahrt

JAHRGANGSSTUFE 8-10

Schulermaterial

## Einleitung

Die Raumfahrt ist eines der interessantesten Wissenschaftsfelder der Physik. Hier stößt die Forschung noch an die Grenzen des bisher Möglichen und kann immer wieder diese Grenzen überwinden und zuvor unmögliches erreichen. Wer hätte vor 100 Jahren gedacht, dass die Menschheit einmal auf dem Mond stehen werde? Oder dass wir einen Roboter auf dem Mars fahren können? Und was wird die

Raumfahrt in 100 Jahren erreicht haben, was für uns heute undenkbar ist?

Um immer neue Ziele zu erreichen, müssen zahlreiche Probleme durch neue Technologien und Erfindungen gelöst werden. Viele dieser Technologien haben allerdings nicht nur in der Raumfahrt einen Nutzen. Auch hier auf der Erde können sie, manchmal in ungeahnter Weise der Menschheit helfen.

## Aufgaben

1. Lies dir die Einleitung in Einzelarbeit durch und sichte deine Materialien sorgfältig. Stelle dir dabei folgende Fragen:
  - Worum geht es?
  - Wie kann es unser Leben auf der Erde verbessern?
  - Was hat es mit Raumfahrt zu tun?
2. Stell dein Thema deinem Partner vor. Diskutiert zu zweit in welchem Zusammenhang eure Materialien stehen und wie sie sich auf Physik und Raumfahrt beziehen lassen.
3. Setzt euch in den vorher bestimmten Vierergruppen zusammen. Stellt euer Thema den anderen beiden Gruppenmitgliedern vor. Setzt zu viert das gesamte Thema zusammen und beantwortet erneut diese Fragen:
  - Worum geht es?
  - Wie kann es unser Leben auf der Erde verbessern?
  - Was hat es mit Raumfahrt zu tun?
4. Erstellt gemeinsam ein Plakat, indem euer Thema so anschaulich dargestellt wird, dass es in einer Ausstellung hängen könnte und befestigt es an einer Wand.
5. Wenn alle Plakate hängen, dann sieh sie dir in deiner Geschwindigkeit und nach deinem Interesse an.

# Brennstoffzellen

*Material Schüler 1:*

## Energie speichern

Wind-, Sonnen- und Gezeitenenergie? Schön und gut, wenn es stürmt oder bei Sonnenschein. Dann ist der Öko-Strom da – muss aber sofort verbraucht werden. Könnte man ihn nicht speichern, für Zeiten, in denen Flaute herrscht oder die Sonne eben nicht scheint? Die Lösung: Wasserstoff. Er wird mit dem Strom aus Erzeugungsspitzen erzeugt, ist lagerfähig und kann später – ganz nach Bedarf- wieder in Strom zurückgewandelt werden. Beispielsweise als Zukunftstreibstoff in einer hoch effizienten und emissionsarmen Brennstoffzelle.

Strom und Wärme für zuhause: Brennstoffzellen für Einfamilienhäuser gibt es in Deutschland, Japan und der Schweiz bereits für rund 30.000 Euro. Sie werden an das normale Erdgasnetz angeschlossen, produzieren mit einem Reformier aus Erdgas (oder Biogas) den Wasserstoff und aus diesem wiederum relativ viel Strom und zugleich wenig Wärme. Das ist der große Vorteil gegenüber anderen Kraft-Wärme-Kopplungssystemen, denn Strom wird immer gebraucht, Wärme dagegen nicht.



*Bild 1: Im Projekt HYDROSOL 2 wird schon heute Energie im großen Stil aus der Sonne gewonnen und gespeichert.*

# Brennstoffzellen

Material Schüler 2:

## Powerd bei Raumfahrt

Schon die Apollo-Mission der NASA, deren Ziel in den 1960er Jahren die Landung auf dem Mond war, führte alkalische Brennstoffzellen an Bord. Sie dienten als „unerschöpfliche“ Energiequellen, produzieren den Strom (bis zu 2.300 Watt pro Modul), Wärme und auch Trinkwasser. Der Treibstoff: flüssiger Wasserstoff und flüssiger Sauerstoff.

Auch heute spielt die Brennstoffzellen-Technologie in der Raumfahrt eine bedeutende Rolle: Wie wird sich beispielsweise eine bemannte Mars-Station mit Energie und vielem anderen versorgen? Ohne Tankstelle, ohne Wasserquelle, ohne Supermarkt? Die Idee: der geschlossene Kreislauf eines Lebenserhaltungssystems auf Basis von

reversiblen (also umkehrbaren) Wasserstoffsystemen. Statt Wasserstoff und Sauerstoff in riesigen Mengen mitzunehmen, könnte der „Proviant“ vor allem aus Wasser bestehen. Vor Ort erzeugen Solarzellen Strom. Per Elektrolyse wird das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Strom, Wärme, Luft, Wasser – in einem ewigen Kreislauf. Zusätzlichen Sauerstoff könnten Algenkulturen erzeugen – aus denen zugleich Nahrung gewonnen wird. Die Erforschung solcher geschlossenen Systeme wird vom DLR Raumfahrtmanagement intensiv gefördert, denn sie sind auch für die Erde sehr interessant. Sie könnten nämlich die Lösung für die Speicherproblematik erneuerbarer Energien sein.



*Bild 2: Eine Marsstation die sich komplett selbst versorgt ist seit Jahren eine Vision der Raumfahrt. Dafür ist es essenziell wichtig Energie speichern und wiederverwerten zu können.*

# Brennstoffzellen

Material Schüler 3:

## Kombiniere Solar und Wasserstoff

Was einer Marsstation eine autonome Energieversorgung ermöglicht, funktioniert auch im Eigenheim. Solarzellen auf dem Dach produzieren tagsüber Strom. Strom, der nicht unmittelbar verbraucht wird, erzeugt via Elektrolyse Wasserstoff. Ein Zwischenlager, das

angezapft wird, wenn die Sonne nicht scheint: In einer Brennstoffzelle wird aus dem Wasserstoff wieder Strom und Wärme (Heizung, Warmwasser). Oder der Wasserstoff wird ins Auto getankt. Oder ins Netz eingespeist.

## Wasserstoff aus der Sonne

Um aus Wasser Wasserstoff herzustellen, braucht man bei der Elektrolyse zugeführte Energie, üblicherweise Strom. In einem „Sonnenofen“ ist es Wissenschaftlern des DLR gelungen, den Wasserstoff statt mit Strom unmittelbar mit gebündelten Sonnenstrahlen

aus Wasser zu erzeugen. Das Folgeprojekt HYDROSOL 2 überträgt die Technologie bereits auf einen deutlich größeren Maßstab. Wird hier der Super-Kraftstoff der Zukunft einfach nur aus der Sonne geerntet?



Bild 3: Wasserstoffspeicher des Projektes HYDROSOL 2

# Brennstoffzellen

Material Schüler 4:

## Regenerative Brennstoffzellen-Systeme

Der Strom, der Satelliten oder Sonden betreibt, stammt von Solarzellen. Um die produzierte Energie zu speichern, sind große Akkus zu schwer. Bisher war deshalb die Erforschung von Schattenseiten von Himmelskörpern eingeschränkt. Airbus und das DLR Raumfahrtmanagement setzten daher auf reversible Brennstoffzellen. Nur wenig Wasser-

und Sauerstoff werden als Treibstoff an Bord mitgeführt und bei Sonnenmangel in einer Brennstoffzelle verstromt. Dabei entsteht Wasser, das in einem Tank gesammelt wird. Wenn wieder ausreichend Sonnenstrahlung verfügbar ist, wird der Solarstrom genutzt, um aus dem Wasser wiederum die Wasserstoff- und Sauerstoff-Vorräte aufzufüllen.



*Bild 4: Selbst die Raumkapsel der Apollo-Mission der NASA hatte in den 1960er-Jahren schon Brennstoffzellen an Bord.*



# ISS

*Material Schüler 1:*

## An Bord:

Die Hauptaufgabe der Astronauten auf der ISS ist Forschung. Wie jeder andere Arbeiter stehen sie morgens auf und machen sich an ihre Arbeit. Dabei gibt es so viel zu tun, dass kaum noch Zeit für anderes bleibt. Denn auf der ISS werden stets hunderte verschiedene Experimente und Forschungen aus allen Bereichen der

Wissenschaft durchgeführt. Beispielsweise werden im Columbus Modul der ISS zahlreiche Experimente unter deutscher Leitung oder Beteiligung durchgeführt. Ein Beispiel dafür ist MagVektor/MFX des DLR. Hier wird erforscht, wie Magnetfelder Raumschiffe vor Sternenstrahlung schützen können.



*Bild 1: Astronaut Alexander Gerst in einer Sojus-Kapsel auf dem Weg zur ISS.*



*Bild 2: Astronauten trainieren die Bewegung in der Schwerkraft auf einem Parabelflug.*

# ISS

*Material Schüler 2:*

## Leben auf der ISS

Das Weltall setzt den menschlichen Körper Bedingungen aus, die er von der Erde nicht gewohnt war. Durch die Schwerelosigkeit muss das Herz das Blut nicht mehr mit der gleichen Kraft aus den Beinen ins Gehirn pumpen. Da der Körper diese Bedingungen jedoch nicht gewohnt ist pumpt das Herz weiterhin mit voller Kraft. Die Folge ist, dass zu viel Blut aus den Beinen in den Kopf gepumpt wird, die Beine werden schlapp und der Kopf läuft rot an. Erst nach ein paar Tagen hat sich der Körper an die Schwerelosigkeit gewöhnt und passt sich den neuen Bedingungen an. Gerade solchen völlig neuen Belastungen bieten jedoch auch eine neue Chance den menschlichen Körper besser

zu verstehen. Daher wird auf der ISS umfänglich im Bereich der Weltraummedizin geforscht.

Auch das alltägliche Leben im All gestaltet sich aufwendiger als auf der Erde. Neben den komplizierten Forschungen und den vielen Stunden Sport, die ein Astronaut täglich durchführen muss, sind auch ganz normale Dinge wie essen, Zähne putzen oder schlafen viel aufwändiger. In der Schwerelosigkeit, muss alles fixiert sein und Essen und Getränke können nur direkt aus der Tüte konsumiert werden. Selbst die Astronauten müssen sich zum Schlafen festschnallen, damit sie nicht durch die Gegend schweben.



*Bild 3: Die meisten Mitarbeiter der Raumfahrt sitzen hier auf der Erde und arbeiten mit den Astronauten zusammen.*



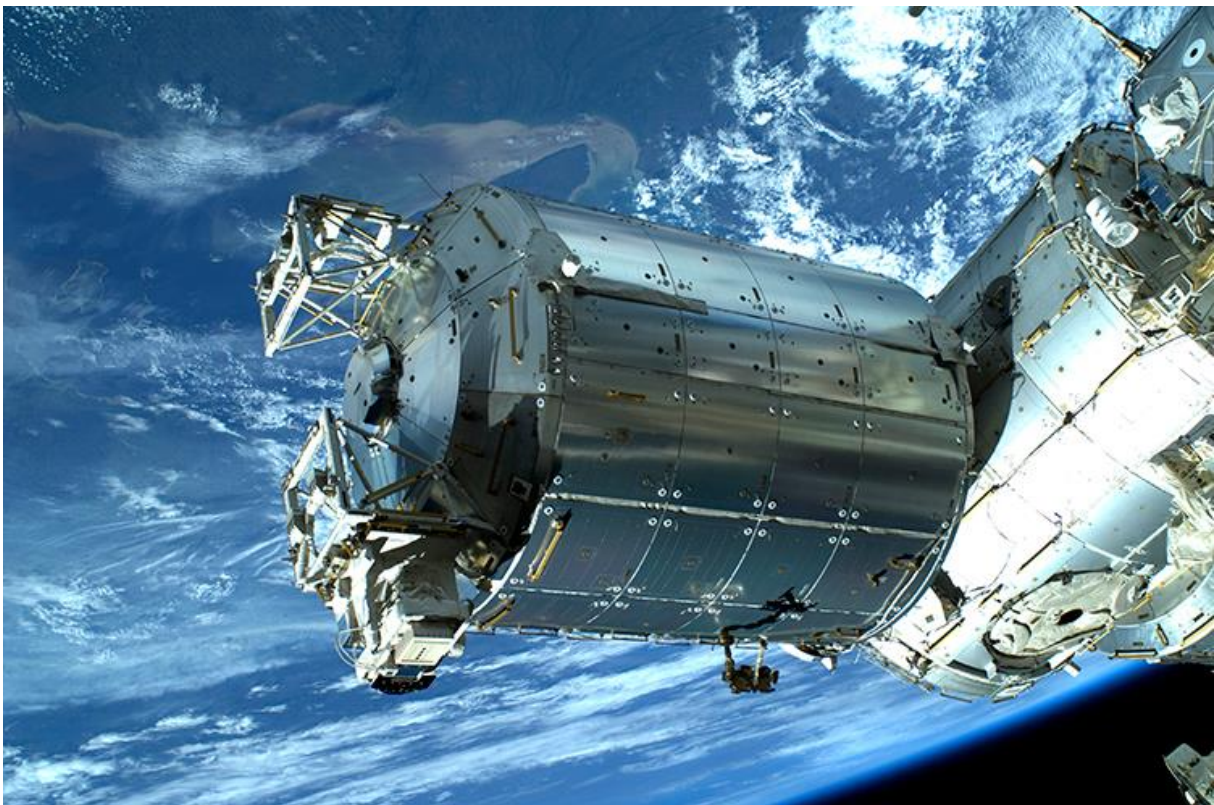
# ISS

*Material Schüler 3:*

## Columbus

Das Columbus-Modul ist der europäische Teil der ISS. Gebaut wurde es von EADS Bremen und einem Konsortium von 41 Unternehmen aus 14 Ländern. Es wurde im Rahmen der STS-122 Mission am 11.02.2008 zur ISS gebracht und an ihr montiert. Insgesamt investierte die ESA (Europäische Raumfahrtorganisation) bis zur Inbetriebnahme des Moduls ca. 1,4 Milliarden Euro in Columbus. Das Labor ist aufgebaut wie

ein Zylinder und hat eine Länge von 6,8 Metern und einen Durchmesser von 4,5 Metern. Trotz dieser geringen Größe finden zahlreiche Geräte und Labore in ihm Platz. So zum Beispiel ein Labor für Mikroorganismen, ein Schmelzofen und eine Blutzentrifuge. Bei solch einer großen Investition muss das Columbus Modul natürlich auch intensiv genutzt werden, so finden aktuell ca. 100 Experimente parallel statt.



*Bild 4: Das europäische Forschungsmodul Columbus als Teil der ISS*

# ISS

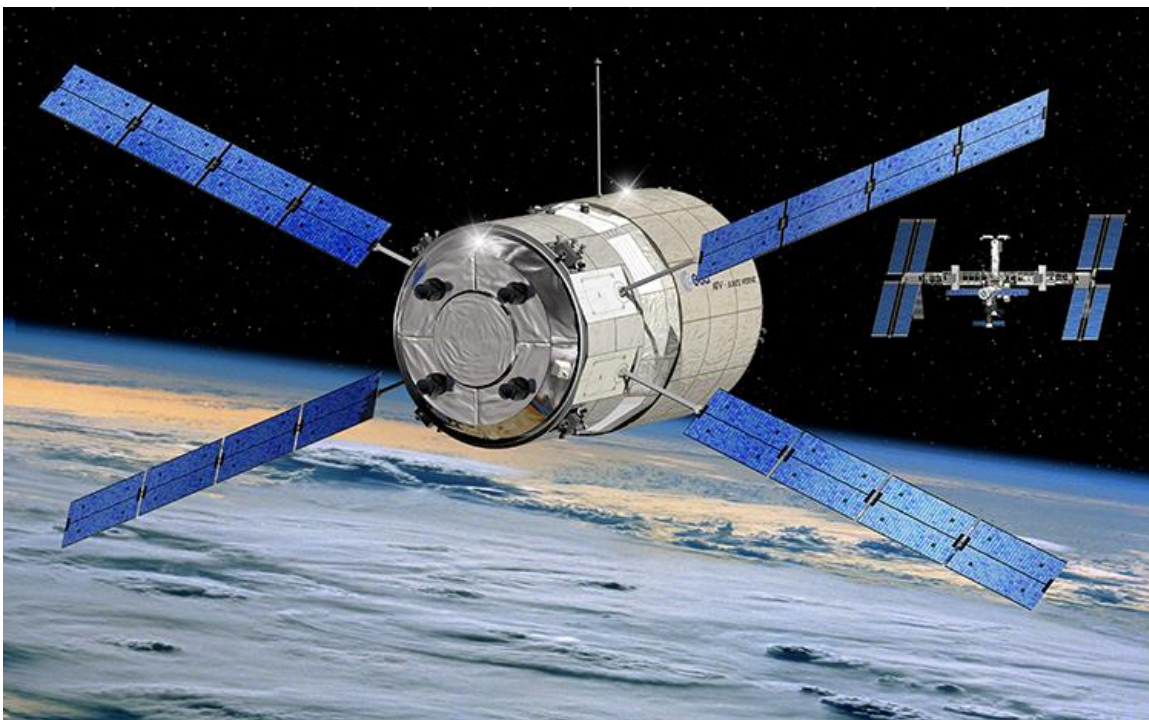
*Material Schüler 4:*

## Sojus und ATV

Sojus-Kapsel: Exklusives Fluggerät: 3 Sitzplätze, keine Toilette; kein Bordservice. Aber dafür das Monopol bei Tickets zur ISS. Preis für Hin- und Rückflug: 71 Millionen US-Dollar pro Person, allerdings inklusive Training, Landung und Rettung.

ATVs – Die Weltraumfrachter: ATVs sind die Einweg-Weltraum-LKW. Der 20 Tonnen schwere europäische Weltraumfrachter hat so viel Laderaum wie ein großer 7,5-Tonner und bringt

über 6 Tonnen Fracht zu ISS. Mit an Bord: Teile für Experimente, Ersatzteile, Kleidung, Lebensmittel, Wasser, Sauerstoff und Treibstoff. Ein ATV steuert ohne Pilot und selbstständig die ISS an. Das ATV wird nach und nach entladen, und nach bis zu 6 Monaten bringt der Frachter den Müll runter: Müll rein, Tür zu, Kurs auf Erde programmieren – und das ATV verglüht beim Eintritt in die Erdatmosphäre.



*Bild 5: Die ATVs sind die LKWs des Weltraums. Sie können bis zu 6 Tonnen Fracht zur ISS bringen und nehmen dafür Müll wieder mit.*

# Solarenergie

*Material Schüler 1:*

## Solarenergie

1953 wurde die erste Solarzelle gebaut und schon kurz darauf, 1958, war ein Satellit mit der neuen Technik ausgestattet. Aus der Raumfahrt erwuchs auch später der Bedarf nach immer besseren Solarzellen. Aber die Raumfahrt ist kein Massenmarkt. Erst seit der Ölkrise 1974 gewannen erneuerbare Energien – und damit auch Photovoltaik- an Bedeutung und wurden

immer besser und preisgünstiger. Noch in den 1970er-Jahren kostete 1 Watt elektrische Leistung 200 US-Dollar. Heute zahlen Hausbesitzer mit einer Solaranlage (inklusive Installation) nur noch 1,70 Euro pro Watt. Aber da geht noch mehr! Und zwar mit Solarzellen der nächsten Generation. Sie sind entweder superdünn, oder super-effizient.



*Bild 1: Im Projekt HYDROSOL 2 wird schon heute Energie im großen Stil aus der Sonne gewonnen und gespeichert.*



# Solarenergie

*Material Schüler 2:*

## Superdünn

Die Firma Solarion erforschte und erprobte mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt den Einsatz von flexiblen Dünnschicht-Solarzellen im All (CIGS). Weil sie nur wenige Mikrometer dünn sind, auf Basis einer Kunststoffolie produziert werden und kein Glas verwendet wird, sind die günstig, unzerbrechlich und biegsam. Außerdem lassen sie sich im wahrsten Sinne flexibel verbauen: auf

Autodächern, auf Hausdächern, Fassaden und weil sie sogar ein wenig durchsichtig hergestellt werden können- in Glasfassaden. So könnten in Zukunft sehr viele Oberflächen zugleich zu Energieerzeugern werden. Bei der Fertigung wird mit einer patentierten Ionenstrahl-Technologie eine hauchfeine Halbleiterschicht aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen aufgebracht (CIGS).



*Bild 2: Diese Solarzellen sind dünn und flexibel.*

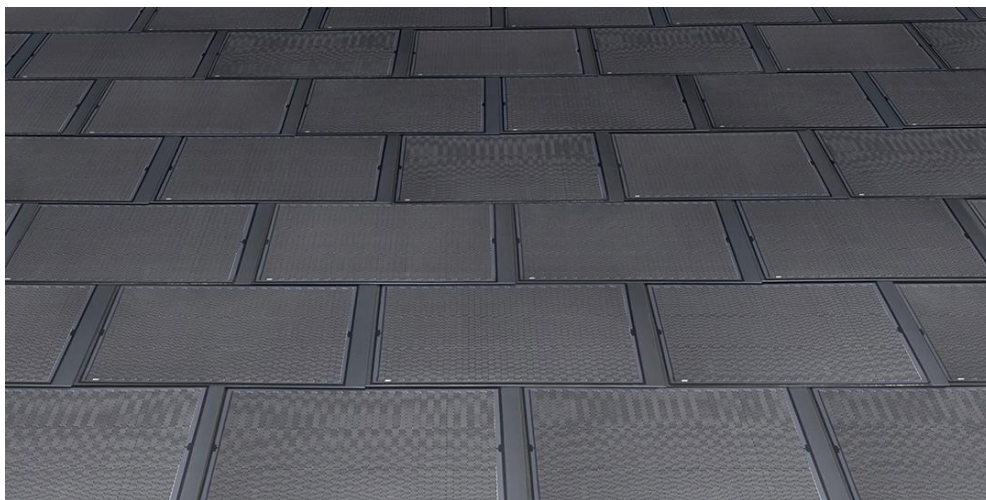
# Solarenergie

*Material Schüler 3:*

## Solar-Dachbahnen

Auf Basis der sogenannten CIGS-Technologie (Kupfer, Indium, Gallium, Selen) wurden Dachschindeln aus Aluminiumblech entwickelt, auf die ein Solarmodul laminiert ist. Die Schindeln eignen sich für Schrägdächer und Fassaden, sind leicht (3,5 kg/ Quadratmeter),

unzerbrechlich und lassen sich schnell und einfach installieren – ganz normale Dachdeckerarbeit. So können Solarzellen viel leichter, schneller und billiger auf Dächern verbaut werden.



*Bild 3: Diese Solarzellen lassen sich wie Dachschindeln auf Hausdächern verlegen.*



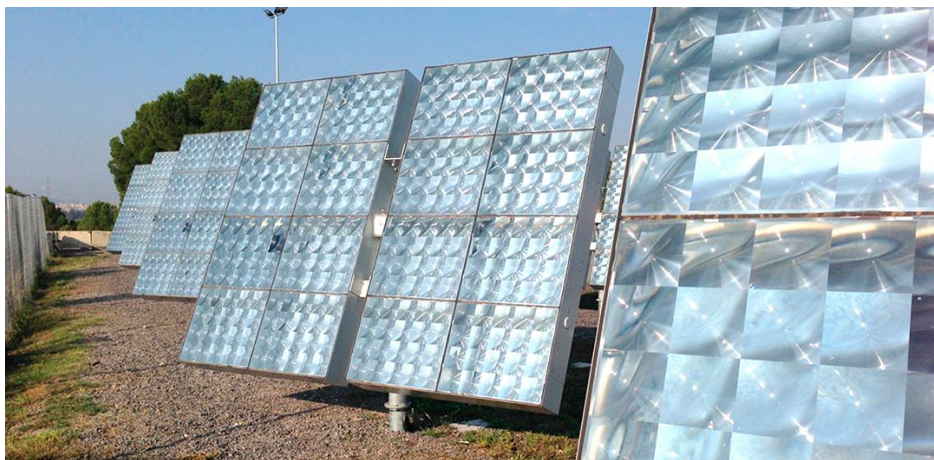
# Solarenergie

*Material Schüler 4:*

## Solar-Kraftwerke

Konzentrator-Zellen sind schon heute wirtschaftlicher als normale Silizium-Zellen, vorausgesetzt, die Sonne scheint konstant. Zwar „wandert“ sie im Tagesverlauf, jedoch bewirken die Linsen der Konzentrator-Zellen, dass die Sonneneinstrahlung, egal aus welchem Winkel sie auftrifft, immer auf den Halbleiter gelenkt

wird. Dadurch geht keine Sonnenenergie mehr durch den schrägen Lichteinfall der Sonnenenergie verloren. In Südafrika wird derzeit ein 44-MW-Kraftwerk ausschließlich aus Konzentrator-Zellen gebaut. Kann Solarenergie also endlich Kohle und Atomkraft ablösen?



*Bild 4: Diese Solarzellen sind sehr effizient und werden daher in Solarkraftwerken eingesetzt.*

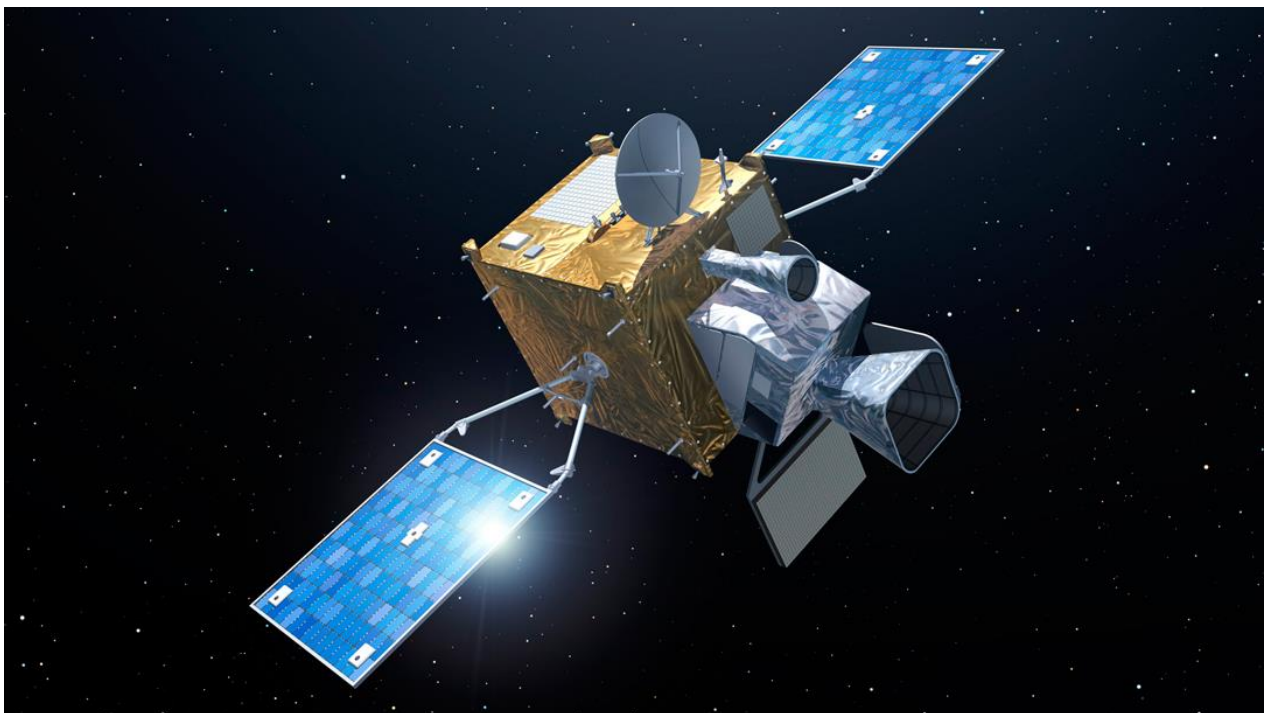
# Wettervorhersage aus dem All

Material Schüler 1:

## Wettersatelliten

Bevor es Wettersatelliten gab, mussten Meteorologen für Vorhersagen mühsam Daten wie Luftdruck und Temperatur von Wetterstationen am Boden aus sammeln und auswerten, ab und an ergänzt um die Daten von Wetterballonen. Seitdem es Wettersatelliten gibt, haben sich die Wettervorhersagen deutlich

verbessert. Meteorologen können die Daten nun leichter erheben und das komplette Wetter in 3D rund um die Erde beobachten, in allen Luftschichten, und auch am Boden und über dem Meer. Mithilfe von numerischen Modellen und Supercomputern werden daraus heute Wettervorhersagen erstellt.



*Bild 1: Die zukünftigen Meteosat-Satelliten werden kastenförmig und nicht mehr rund gebaut.*

# Wettervorhersage aus dem All

Material Schüler 2:

## Radar und Infrarot

In den 1960er Jahren sahen Wettersatelliten nur Wolken mit normalen Kameras. Aber bereits seit den 1970er Jahren sehen sie deutlich mehr als nur das Sichtbare Licht (reflektierte Sonnenstrahlung) nämlich zusätzlich Infrarot-Strahlung (Temperatur) – Tag und Nacht. Meteorologen kombinieren die Daten, um die Verteilung des Wasserdampfs in der

Atmosphäre zu bestimmen, Wolken zu untersuchen oder die Verteilung von Temperaturen zu bestimmen. Zusätzlich sind heute Radarsysteme an Bord der Satelliten, mit denen z.B. Wellen auf Meeren beobachtet werden – daraus lassen sich Windrichtung und – Geschwindigkeit errechnen.



Bild 2: Ein geostationärer MetOp-Satellit

# Wettervorhersage aus dem All

Material Schüler 3:

## Meteosat und MetOp

Heute deckt ein Netz aus Wettersatelliten die gesamte Erde ab. Zwei Satelliten-Typen ergänzen sich dabei: geostationäre und polarumlaufende. Die wichtigsten Wettersatelliten für uns sind die der Meteosat- und der MetOp-Reihe. Die Meteosats – aktuell die zweite Reihe – sind geostationär also wie Fernsehsatelliten von der Erde aus gesehen immer am selben Ort, in 53.786 Kilometern Höhe über dem Äquator beim Golf von Guinea. Deshalb sehen sie immer denselben Ausschnitt: Europa, Afrika und Ostatlantik, in den

Polarregionen sind sie allerdings fast blind. Mit jeder Generation werden mehr und genauere Wetterdaten erfasst, heute wird die Erdoberfläche mit einer Auflösung von maximal einem Kilometer in zwölf Bildkanälen erfasst und alle 5 min zur Erde gesendet, ab 2018 erhöht sich die Auflösung auf bis zu 0,5 Kilometer und bis zu 16 Kanäle. Eine wichtige Ergänzung sind die polarumlaufenden MetOP-Satelliten, die in nur 820 Kilometern Höhe die Erde umkreisen. Sie scannen die komplette Erdoberfläche inklusive.



Bild 3: Ein geostationärer Wettersatellit der Meteosat-Reihe

# Wettervorhersage aus dem All

Material Schüler 4:

## Der Wetterbericht

Fernsehen, Radio, Online-Medien, Zeitungen – sie alle greifen für den Wetterbericht auf Satellitendaten und –vorhersagen zurück, die der Deutsche Wetterdienst aufbereitet. Und wie lange die Sonne scheint, ist auch nicht nur für Landwirtschaft und Freibäder, sondern auch in vielen anderen Bereichen höchst interessant:

**Katastrophenschutz:** Wenn aus Wetter Unwetter wird, helfen Satellitendaten, die Bedrohung einzuschätzen und lange genug vorzuwarnen – große, schwere Unwetter werden fast eine Woche vorher erkannt. Gewitter und Sturm werden zusätzlich sehr kurzfristig vorhergesagt.

**Wachstumsvorhersage:** Alles, was der Landwirt braucht: Die Daten zur Entwicklung der Bodentemperatur, der Bodenfeuchte und der Vegetation helfen dabei, die richtigen Zeitpunkte für die Aussaat, Düngung,

Bewässerung und Ernte zu planen. Gute Vorhersagen schützen auch vor Missernten und damit vor Hungersnöten.

**Flugwetter:** Flugzeuge sind mittendrin im Wetter, in Höhen von 0 bis über 10.000 Metern. Weltweit verlässliche Wetterdaten sind in der Luftfahrt für die Sicherheit entscheidend – ohne Wetterbericht kein Flugzeugstart.

**Seewetter:** Ob Containerriesen oder Segelboot – die Schifffahrt ist auf Daten zum aktuellen und kommenden Wetter angewiesen, um sichere Routen zu planen. Oder wenn es zu unsicher ist, im Hafen zu bleiben.

**Klimamonitoring:** Wetter ist kurzfristig, Klima ist langfristig. Wer also das Wetter über einen langen Zeitraum überwacht und die Daten aufarbeitet, überwacht auch das Klima – Klimaveränderungen werden sichtbar.



Bild 4: Unsere Wettervorhersage nutzt hauptsächlich die Informationen von Wettersatelliten.



# Augenlasern

*Material Schüler 1:*

## Augenlasern

Heute lassen sich immer mehr Menschen ihre Fehlsichtigkeit durch eine Laser-Operation am Auge beheben. Präzision ist bei der Laser-Steuerung oberstes Gebot – und das ist nicht einfach, denn das Auge bewegt sich ständig und unvorhersehbar. Bewegungen müssen deshalb sehr genau erfasst werden, um den Laser exakt steuern zu können. Dabei hilft Technik aus der Raumfahrt, erforscht und hergestellt in Deutschland: Eine Kamera filmt das Auge, erkennt die Pupille und trackt die Bewegung –

bis zu 1.000 mal die Sekunde. Die Technik sollte ursprünglich helfen, die Ursachen der „Reisekrankheit“, unter der Astronauten im Weltall leiden und die dort auch „Raumkrankheit“ genannt wird, besser zu verstehen. Ihnen ist schwindelig, wegen der Schwerelosigkeit ist der Gleichgewichtssinn gestört. Über die Bewegung des Auges lässt sich erkennen, wie gut der Gleichgewichtssinn funktioniert und wie er sich auf die Schwerelosigkeit einstellt.

# Augenlasern

Material Schüler 2:

## Wenn der Gleichgewichtssinn und die Augen aus dem Takt kommen

Der menschliche Körper und damit auch der Gleichgewichtssinn sind an Schwerkraft gewöhnt. Fehlt die Schwerkraft, kommt auch der Gleichgewichtssinn aus dem Tritt. Deshalb leidet rund die Hälfte aller Astronauten in den ersten 3 Tagen im All an Schwindelgefühlen. Dagegen helfen zwar die auf der Erde üblichen Medikamente gegen Reisekrankheit, aber die machen oft müde – beim vollen Terminplan der Astronauten ist das nicht so gut. Deshalb wird seit vielen Jahren nach den Ursachen der Raumkrankheit geforscht, um das Problem ohne Medikamente in den Griff zu bekommen. Augen und Gleichgewichtssinn sind evolutionsbedingt eng gekoppelt: Das Hirn wertet die Signale aus, die Augen, Muskeln, Haut und vor allem das Gleichgewichtsorgan im Innenohr liefern. Denn das Innenohr reagiert am

sensibelsten auf Schwerkraft-Signale und ist für die Orientierung im Raum und die Koordination von Bewegungen verantwortlich. Die Annahme: Wenn die Augen Informationen liefern, die denen des Innenohrs widersprechen, ist das Gleichgewicht gestört – es wird einem schwindelig. Aber wie stark sind welche Sinnesorgane beim Stabilisieren des Gleichgewichtssinns beteiligt? Und welchen Anteil hat das Auge daran? Wie verändert sich das interne Koordinatensystem, das von Auge und Gleichgewichtsorgan ermittelt wird, wenn in der Schwerelosigkeit die Schwerkraft-„Sensoren“ der Otolithen im Innenohr keine richtigen Signale mehr liefern – und die Augen die Welt trotzdem in „oben“ und „unten“ einteilen?

# Augenlasern

*Material Schüler 3:*



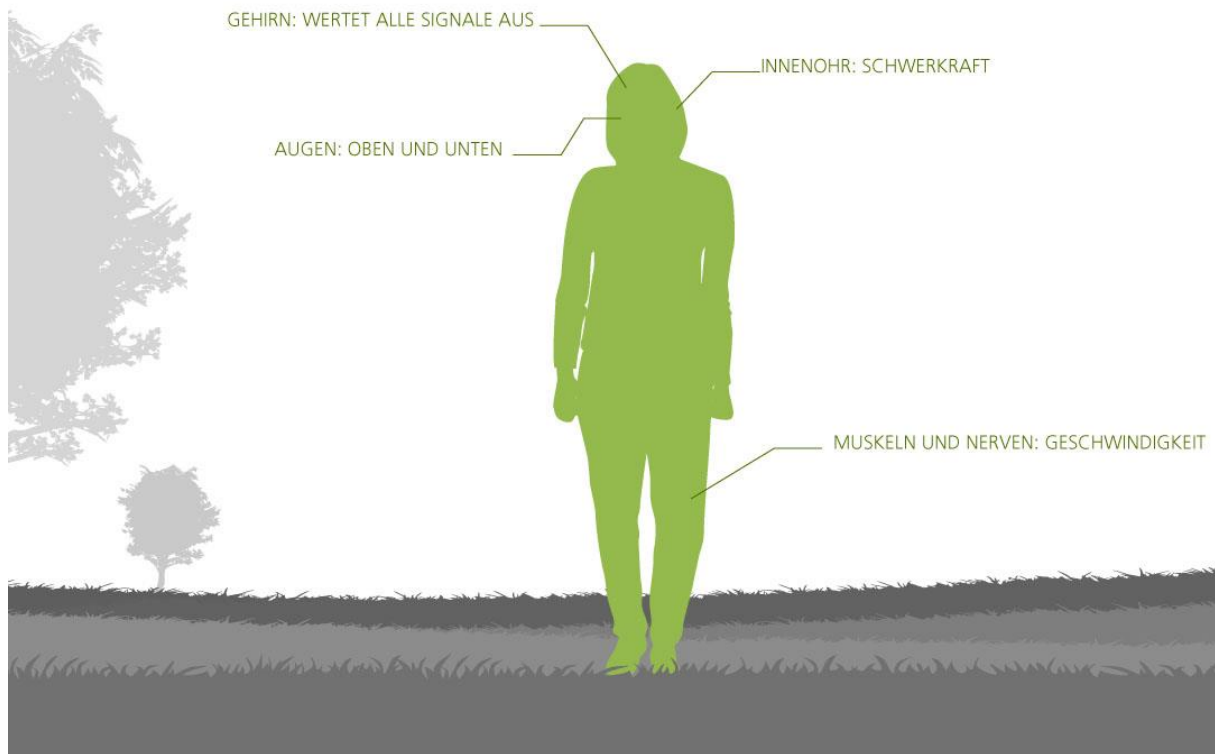
*Bild 1: Bevor das C-ETD zur Diagnose von Gleichgewichtstörungen eingesetzt wurde, wurde es von Astronauten im All getestet, um so auch ihre Gleichgewichtsprobleme zu verstehen.*



*Bild 2: Heutzutage können manche Sehschwächen mit einer Laser-Operation einmalig und für immer geheilt werden. Dafür wird eine perfekte Präzision benötigt.*

# Augenlasern

Material Schüler 4:



*Bild 3: Der Gleichgewichtssinn des Menschen wird nicht nur durch das Innenohr bestimmt. Das Gehirn wertet zudem auch die Bewegungsinformation der Muskeln und auch die visuellen Daten unserer Augen aus. Wenn die Informationen dieser drei nicht überein stimmen wird uns schwindelig.*



*Bild 4: Diagnose Gleichgewichtsstörung: ist es Migräne, eine Infektion oder sogar ein Tumor? Das C-ETD unterstützt Ärzte bei der Diagnose.*

# Gleitsichtgläser

*Material Schüler 1:*

## Die Vermessung der Augen

Ab 40 werden die „Arme kürzer“. Altersweitsichtigkeit. Diese lässt sich durch eine Lesebrille beheben. Viele Menschen sind aber außerdem noch kurzsichtig. Brillen mit nahtlosem Übergang zwischen beiden Bereichen gibt es seit den 1950ern: Gleitsichtbrillen. Aber die Brillen waren nicht individuell anpassbar, sogar Selbstverständlichkeiten wie der Augenabstand konnten nicht berücksichtigt werden. Der Effekt: Brillenträger kamen mit den Gleitsichtbrillen nicht so gut zurecht. Erst seit den 2000ern gibt es individuelle Gleitsichtgläser. Auf Basis der eigenen, exakten Daten der Augen werden die Gläser eigens einzeln hergestellt, auf den tausendstel Millimeter genau. In der Produktion werden dafür spezielle, hochgenaue Diamant-Schneidwerkzeuge eingesetzt, die für den deutschen Röntgensatelliten ROSAT entwickelt wurden. Damals konnten erstmals so exakte und

glatte Oberflächen hergestellt werden – heute profitieren davon vor allem Brillenträger mit Werten, die nicht dem Durchschnitt entsprechen. Durch die Individualisierung verbessert sich die Verträglichkeit, der nutzbare Sehbereich wird größer, die bevorzugte Leseentfernung wird berücksichtigt – und die Größe der Brillenfassung wird mit einberechnet. Grundlage für derart perfekt geschliffene Gläser ist ein zuvor ebenso perfekt vermessenes Auge. Bei der Vermessung kommt eine Technik zum Einsatz, die ebenfalls aus der Weltraumforschung stammt: das Wellenfront-Messverfahren. Bei der Herstellung individualisierter Brillengläser ermöglicht die Wellenfront-Messung das Auge über die gesamte Pupillenöffnung so exakt zu vermessen, dass jede Ungenauigkeit der Iris erkannt und durch den individualisierten Schliff der Brillengläser ausgeglichen wird.



# Gleitsichtgläser

Material Schüler 2:

## Wellenfront-Messverfahren

Es korrigiert Abweichungen beim „Empfang“ von Lichtimpulsen, nachdem deren Weg – beispielsweise durch die Erdatmosphäre oder die niemals perfekte Optik der menschlichen Iris – „gestört“ wurde. Ursprünglich diente die Wellenfront-Messung dazu, Verzerrungen in der Abbildung ferner Objekte durch Teleskope auszugleichen und die Abbildungsqualität zu

verbessern. Unter normalen Bedingungen würden die Lichtimpulse von Lichtquellen in gleichmäßigen, konzentrischen Wellenfronten ausgehen. Durch Atmosphärische Störungen werden die Wellenfronten jedoch verzerrt und treffen so auf die Optik des Teleskops. Das Bild ist verzerrt und muss mit Hilfe des Wellenfront-Messverfahrens ausgeglichen werden.

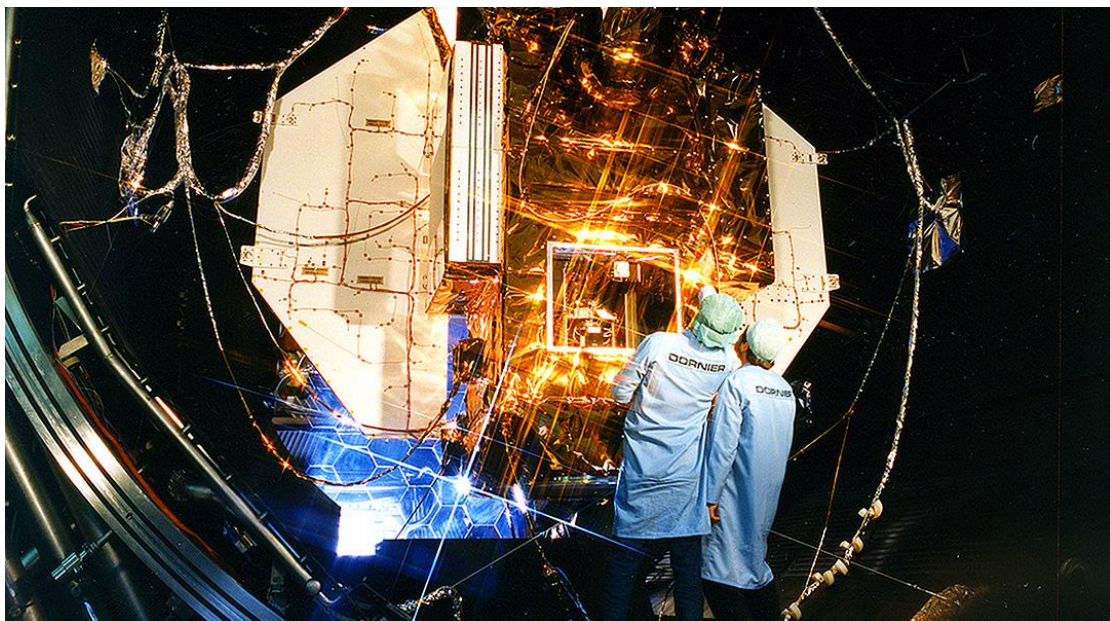


Bild 1: Für die das Teleskop des ROSAT-Satelliten wurde ein spezielles glaskeramisches Material namens Zerodur verwendet. Mit Gold überzogen ist es formstabil bei extremer Hitze und Kälte sowie kratzfest.

# Gleitsichtgläser

Material Schüler 3:

## ROSAT

Viele Planeten im Weltall strahlen kein sichtbares Licht aus. Selbst mit dem besten Teleskop kann man sie nicht sehen. Was sie aber ausstrahlen, sind Röntgenstrahlen. Das Weltall ist voll von Quellen von Röntgenstrahlung, von der Erde aus lässt sich die aber schlecht messen. Also wurde in Deutschland ein Satellit gebaut, der den gesamten Himmel im Röntgenbereich nach und nach erfassen sollte – der ROSAT. Bevor ROSAT startete, waren im Weltraum 840 Röntgenquellen bekannt. Durch ROSAT konnten 125.000 neue Röntgenquellen entdeckt werden, darunter Neutronensterne und Supernova-Überreste. Die erfolgreiche Mission endete nach acht Jahren, die gewonnenen Daten veränderten unser Bild des Weltraums nachhaltig – nachzulesen in 7.000

wissenschaftlichen Publikationen. Bis es so weit war, musste erst eine große Hürde überwunden werden: Röntgenstrahlen kann man nicht so einfach in einer Linse bündeln wie Licht. Um Licht zu bündeln, genügen Linsen aus Glas. Röntgenstrahlen kann man besser mit Spiegeln bündeln. Weil die Wellenlänge der Röntgenstrahlen sehr gering ist, müssen diese Spiegel extrem glattgeschliffen werden. Für die Ziele von ROSAT wurden Spiegel benötigt, die so noch nie hergestellt wurden. Es wurden 8 Spiegel produziert, die mit einer Rest-Genauigkeit von nur 0,3 Nanometern unvorstellbar glatt sind. Dies entspricht dem Durchmesser von 3 Wasserstoffatomen. Damals war das die glatteste Oberfläche der Welt.

# Gleitsichtgläser

Material Schüler 4:

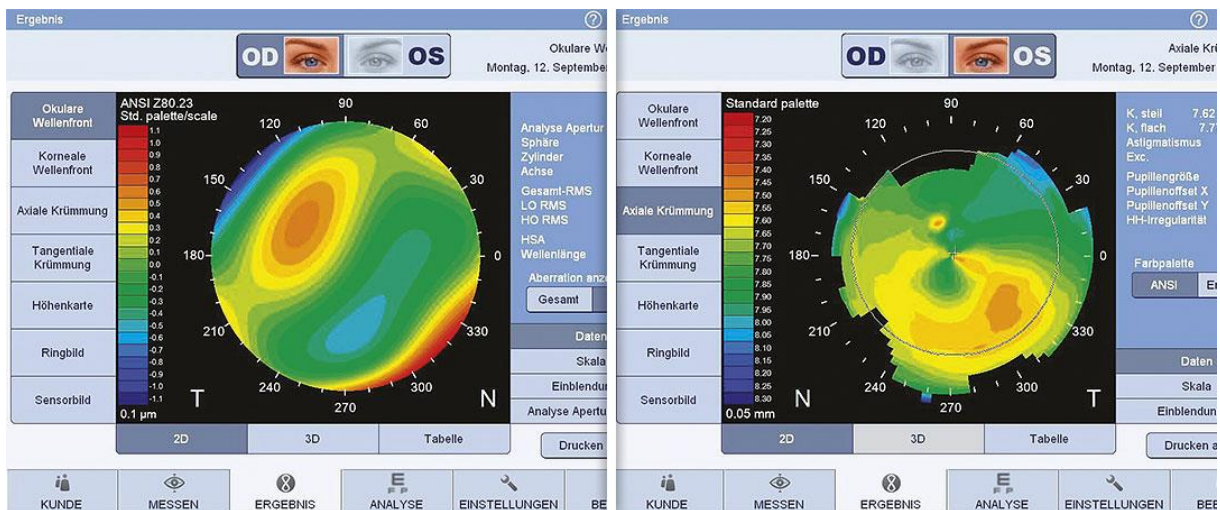
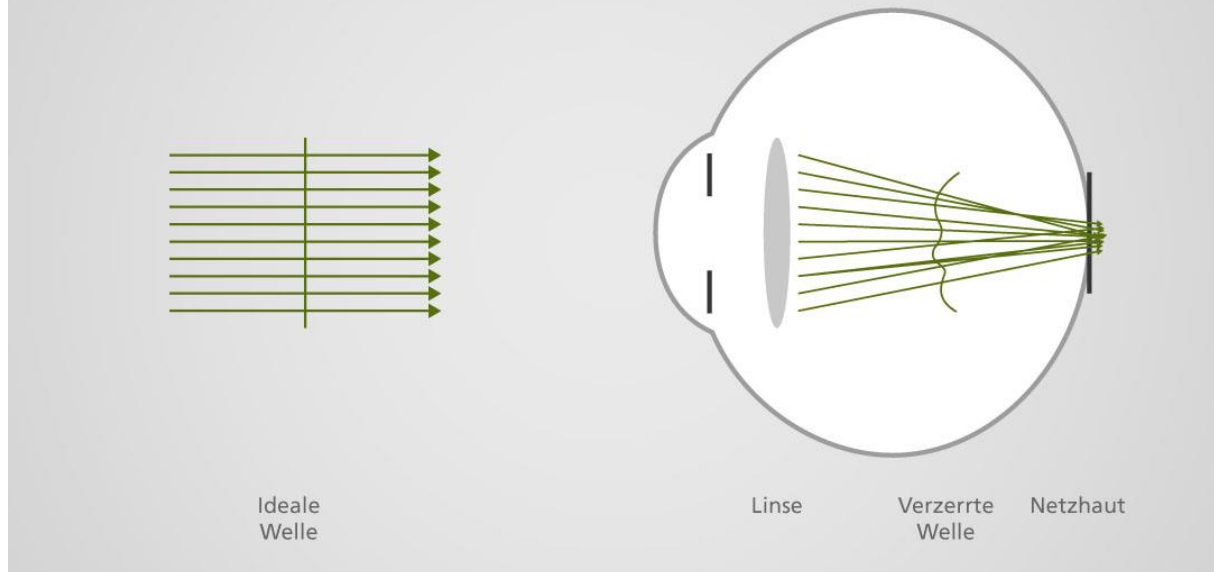


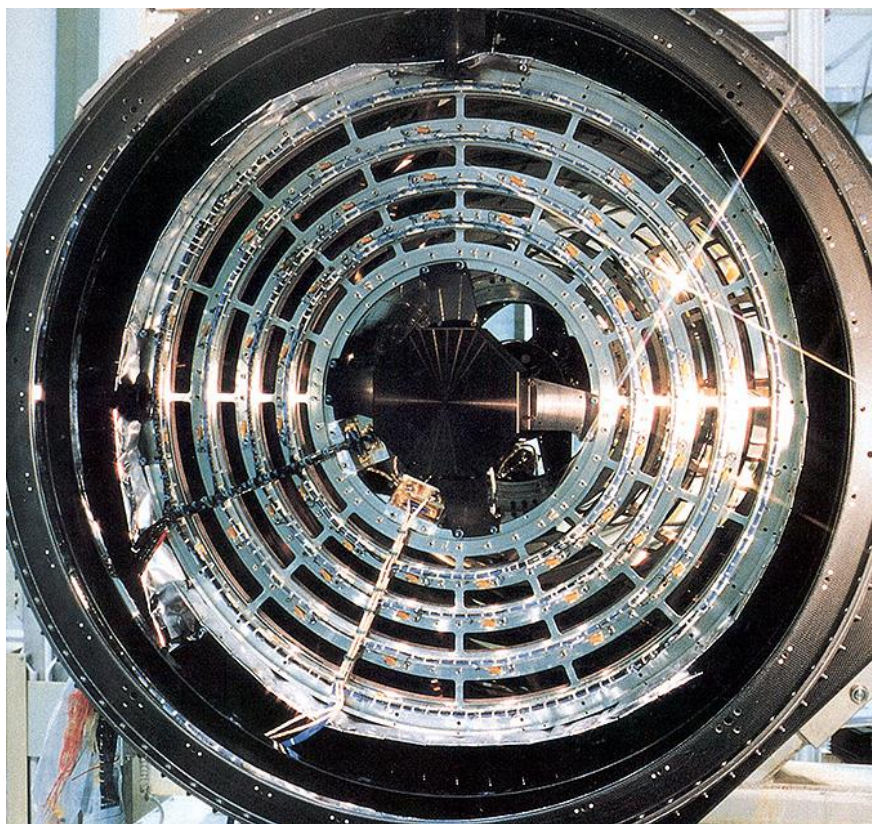
Bild 2; 3: Augenärzte vermessen heute die Augen ihrer Patienten Millimeter genau. Dadurch können sie ein individuelles Profil der Augen erstellen und geben falls eine individuelle Gleitsichtbrille herstellen lassen.



## GESTÖRTE VERMESSUNG DES AUGES



*Bild 4: Bei vielen Sehstörungen bündelt die Linse im Auge die einfallenden Lichtstrahlen nicht mehr so, dass sie auf einen Punkt gebündelt werden. Da aber jede Linse die Lichtstrahlen anders bricht entstehen individuelle Sehschwächen.*



*Bild 5: Für den Röntgen-Satelliten ROSAT wurden Spiegel mit einer Restgenauigkeit von 0,3 Nanometer benötigt. Spiegel, die so unvorstellbar glatt sind, wurden zuvor noch nie hergestellt.*