

Titan – Spurensuche in einer anderen Welt

In Bezug auf den SuW-Beitrag „Tropische Methanseen auf Titan“ (in Heft 9/2012, Blick in die Forschung: Nachrichten)

Inga Gryl

Das flüssige Methan auf der Oberfläche des [Saturnmondes Titan](#), so sehr es auch in seiner Wirkung an Wasser auf der Erde erinnert, gibt der Wissenschaft einige Rätsel auf. Forschendes Lernen soll daher auch der Ansatzpunkt dieses Unterrichtsmaterials sein, in dem mit Hilfe der Methode des „[Mystery](#)“ SchülerInnen lernen, Einzelinformationen in logische Zusammenhänge setzen, um zu klärenden Hypothesen und Schlussfolgerungen zu gelangen. Das Erkunden der unbekannteren Welt von Titan hebt hierbei die Perspektive vom beobachtbaren Alltag ab und fordert den Transfer bekannter physikalischer Prinzipien auf andere Umgebungsbedingungen als die heimischen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Kleinkörper	Monde, Titan
Physik	Materie	Aggregatzustände, Stoffkreisläufe
Fächer- verknüpfung	Astro-Geographie	Oberflächenformen, Erosion, Wetter, Jahreszeiten, Tektonik, räumliches Vorstellungsvermögen
	Astro-Mathematik	Winkel (Achsenneigung)
Lehre allgemein	Kompetenzen	Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Argumentationskompetenz
	Unterrichtsmittel	Arbeitsblatt (Mystery)
	Lehr- und Sozialformen	Kleingruppenarbeit (auch möglich: Einzelarbeit)
	Lernpsychologie	Vernetzung, Hypothesen aufstellen, Schlussfolgern, Transfer
	Kategorien des didaktischen Materials	forschend-entdeckendes Lernen, Mystery

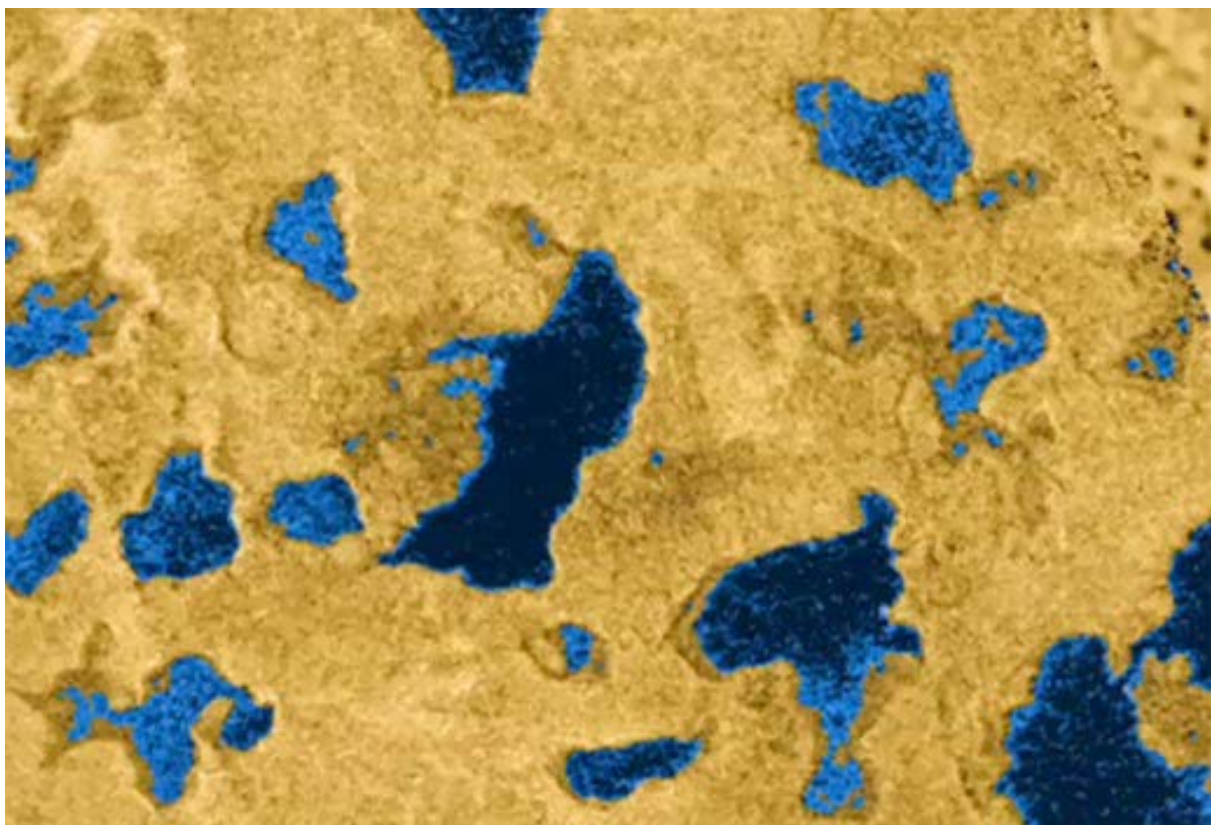


Abbildung 1: Titanseen. Radarbild eines Ausschnitts der Oberfläche von Titan mit Falschfarbendarstellung von als Seen identifizierten Flächen. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA09183>.
Credit: NASA/JPL-Caltech/ASI, [public domain](#).

Titan – eine bedingt erdähnliche Welt?

Die Beschäftigung mit dem Saturnmond Titan ist faszinierend: Bereits seine Größe von 5150 km Durchmesser, seines Zeichens damit zweitgrößter Mond im Sonnensystem nach Ganymed, fast 1,5-mal so groß wie der Mond und größer als Merkur, ist beeindruckend (NASA 2011). Seine Atmosphäre, dichter und massereicher als die der (wesentlich größeren) Erde (IGMK 2010), aber ist einzigartig unter den Monden des Sonnensystems. Die Cassini-Huygens-Mission sorgte zudem für einen deutlichen medialen Widerhall um die geheimnisvolle Welt unter dem Wolkenschleier, wobei ein Höhepunkt die Landung der Sonde Huygens auf Titans Oberfläche zum Anfang des Jahres 2005 war. Weitere wichtige Daten lieferten die zahlreichen engen Vorbeiflüge von Cassini an Titan. Die Mission wurde nunmehr bis 2017 verlängert (ESA 2000-2012).

Die bemerkenswerte **Atmosphäre**, die im Hinblick auf ihren hohen Stickstoffanteil (97 %) der Erdatmosphäre recht ähnlich ist, ist vermutlich vor allem durch ein Bombardement von Meteoriten in das Wasser- und Ammoniakis der Oberfläche Titans entstanden, wobei Stickstoff aus diesen Stoffen wiederum durch chemische Reaktionen in Folge von Sonneneinstrahlung freigesetzt wurde. Daneben lassen sich Argon und Methan feststellen. Da aber Titan ohne nennenswertes Magnetfeld dem Sonnenwind wenig entgegenzusetzen hat, entstehen unter dessen Einwirkung rasch komplexe Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen. Diese schweren Moleküle sinken auf die Titanoberfläche ab (IGMK 2010).

Diese Moleküle wiederum und weitere Beobachtungen nähren die Idee über die **Möglichkeit primitiven Lebens auf Titan**, das auf Wasserstoff und Acetylen angewiesen wäre. Gerade Acetylen entsteht in Folge der Wirkung der Sonneneinstrahlung ständig in der Atmosphäre, wird aber nur in sehr geringem Umfang nachgewiesen. Eine definitive Aussage zum Vorhandensein von Leben oder seiner Vorstufen auf Titan lässt sich bisher nicht treffen (NG 2012), aber das Potential stärkt die Idee über einen erdähnlichen, und doch zugleich ganz anderen Ort als den unsrigen.

An die Erde erinnert auch der Wechsel der **Jahreszeiten auf Titan** (obgleich dieser prinzipiell für jeden Planeten oder Mond, dessen Achse zu seiner Umlaufbahn um die Sonne geneigt ist, zu beobachten ist). Die Neigung der Saturnachse zu seiner Umlaufbahn beträgt knapp 27° (NASA 2010). Da seine Monde wiederum Bahnen in der Umgebung seiner Äquatorebene besitzen, sind deren Rotationachsen ebenfalls geneigt. (Die eigene Bahnneigung von Titan gegenüber der Äquatorebene von Saturn und seine eigene Achsenneigung gegenüber seiner Bahn fallen dank geringer Ausmaße weniger ins Gewicht.) Im Laufe eines Saturnjahres von rund 30 Erdjahren bewegt sich eine Zeit lang der Zenitstand der Sonne über die südliche Hemisphäre von Titan und eine Zeit lang über die nördliche. Diese räumlich veränderliche Einstrahlung hat Auswirkungen auf die Atmosphäre. Die damit zusammenhängenden meteorologischen Erscheinungen haben sich auch in die Oberfläche des Mondes eingegraben.

Es sind tatsächlich **fluviale Formen auf der Oberfläche** von Titan erkennbar (Abb. 2), das heißt Täler, Flussbetten und Becken, die durch fluide Medien entstanden sein müssen. An Stelle von Wasser kommt angesichts der Durchschnittstemperaturen um -180 °C Methan als Medium in Frage, das zwischen -182 und -162 °C flüssig und auf Titan vorhanden ist. Anstelle des irdischen Wasserkreislaufes scheint es einen Methankreislauf zu geben aus Verdunstung und Abregnen (Ball 2008), der die Eisoberfläche durch Auswaschung formt. Dünen in der Äquatorregion wiederum zeigen auf, dass Winde auf Titan ebenfalls eine Rolle spielen.

Ein näherer Blick auf **das meteorologische Geschehen** durch dessen Simulation unter anderem auf Basis von Windmessungen durch Huygens eröffnet, dass die Wärmeverteilung auf Titan vor allem über eine einzige große Hadleyzelle erfolgt, die den gesamten Mond erfasst und Luft von der Sommerhemisphäre in die winterliche, kältere transportiert, während bodennahe kalte Luft zurückströmt. Dank dieser massiven Ausgleichsbewegungen bleiben die Temperaturunterschiede auf Titan letztendlich gering (ESA 2007). Allerdings wird auf diese Weise der Flüssigkeitshaushalt umgeschichtet, wie Methan- und Ethanwolken (aus Methan entstanden) insbesondere über der vom Winter betroffenen Polarregion zeigen (Shiga 2006). Das Tageszeitenklima bringt trotz der langen Tage (16 Erdtage) dank der Ausgleichswirkung der Atmosphäre eher geringe Effekte mit sich (Althaus 2012c).

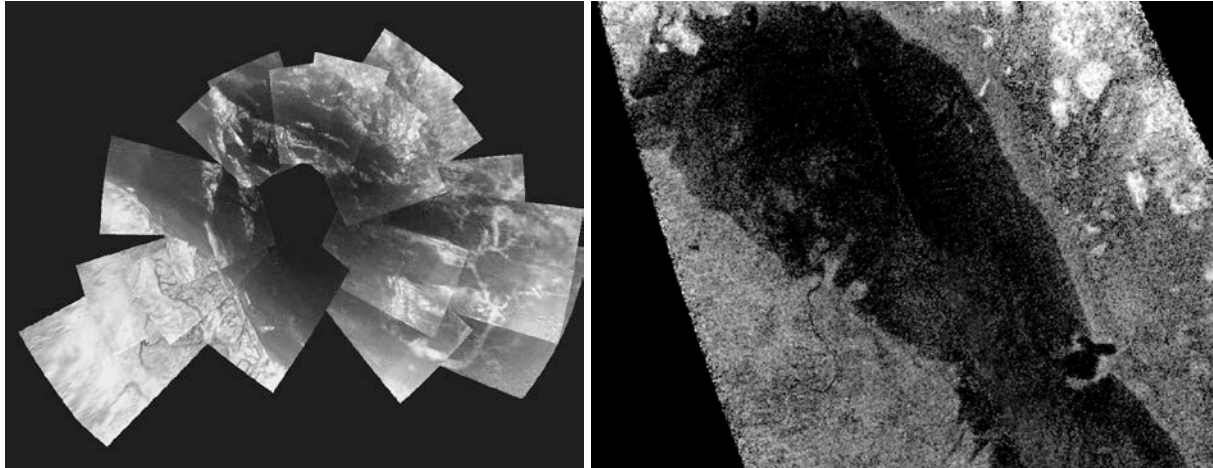


Abbildung 2: Links: fluviale (durch fluide Medien entstandene) Erosionsformen auf Titan nahe der Huygens-Landesstelle. Copyright: http://m.esa.int/About_Us/Law_at_ESA/Intellectual_Property_Rights/ESA_copyright_notice. Credit: ESA / NASA / JPL / University of Arizona. Rechts: Ontario Lacus nahe des Südpols. Credit: NASA / JPL-Caltech / ASI, [public domain](https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA13172). <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA13172>.

Das Hauptaugenmerk dieses Unterrichtsmaterials liegt auf der Erforschung der Ursachen der Existenz der im Radarbild identifizierten **Seen auf der Oberfläche von Titan**, wobei die oben aufgeführten Charakteristika zur Annäherung an das Problem beitragen. Diese Seen, benannt nach irdischen Seen und mythologischen Seeungeheuern, sollen vor allem mit Methan gefüllt sein. Sie liegen zahlreich in der nördlichen Polarregion, als größerer konnte in der südlichen Polarregion der Ontario Lacus (Abb. 2) beobachtet werden, und wiederum einige finden sich in der Äquatorregion des Mondes. Einige Seen scheinen nicht kontinuierlich Flüssigkeit zu führen, sondern weisen Ähnlichkeiten mit Salzpflanzen auf, wenn das enthaltene Methan verdunstet (Knispel 2012). Dies ist vor allem bei Erhöhung der Temperatur im Sommer der Fall, so dass die Hadleyzelle methanhaltige Luftmassen in die kühleren Regionen der winterlichen Hemisphäre befördern kann, in der sie abregnen. Die deutlich größere Anzahl an Seen in der nördlichen Polarregion kann damit erklärt werden, dass im Zuge der exzentrischen Umlaufbahn des Saturns die südlichen Sommer zwar kürzer, aber wärmer sind als die nördlichen, so dass vermehrt Methan verdunstet. Dieses Verhältnis ist allerdings nicht von Dauer, da die Umlaufbahn des Saturn ebenfalls im Laufe von mehreren zehntausend Jahren um die Sonne rotiert (Aharonson et al. 2009). Das Rätsel der kürzlich entdeckten äquatornahen Seen besteht darin, dass in der Äquatorregion keine Niederschläge beobachtet wurden, die ausreichen würden, um dortige Seen, aus denen wiederum beständig Methan verdunstet, zu füllen, denn Niederschläge gehen vor allem in den Polarregionen der winterlichen Hemisphäre nieder. Es werden unterirdische Methanzuflüsse und -quellen vermutet (vgl. **Basisartikel**: Althaus 2012a).

Dennoch bleibt auch die **Herkunft des Methans in den Seen** ein Rätsel. Durch die intensive Sonneneinstrahlung werden aus Methan in der Atmosphäre schnell komplexe Moleküle gebildet, so dass Methan langfristig seinem Kreislauf entzogen wird (Ball 2008). Als mögliche Quelle für den Methannachschub wird Kryovulkanismus angesehen. Durch radioaktiven Zerfall und durch Gezeitenkräfte im Zusammenspiel mit Saturn dringen durch Erwärmung Wasser bzw. Wassereis und Kohlenwasserstoffe aus dem Inneren an die Oberfläche und setzen dabei bislang gefrorenes Methan frei. Der Nachweis tektonischer Störungen auf der Oberfläche scheint diese Annahme zu stützen. Eine genaue Analyse der Bahnänderungen von Cassini im Schwerfeld von Titan lässt zudem darauf schließen, dass sich unter der Eiskruste des Titans ein flüssiger Wasserozean befinden könnte. Ein derartiger Ozean macht wiederum die Kruste darüber beweglicher, was Kryovulkanismus begünstigt (Althaus 2012b).

Dieses **Unterrichtsmaterial** setzt die Frage nach dem Ursprung der Seen auf Titan als Ankerpunkt ein, um ein Verständnis der globalen Zirkulation vor dem Hintergrund der Jahreszeiten auf Titan, der Stoffflüsse und des Verhaltens und der Wirkung von Materie unter verschiedenen Bedingungen zu erlangen. Im Zentrum steht hierbei immer der wissenschaftliche Erkenntnisgang, die Bedeutsamkeit des Schlussfolgerns und die Hypothesenhaftigkeit, Hinterfragbarkeit und potentielle Revidierbarkeit von Erkenntnis.

„Mystery“ – eine forschend-entdeckende Methode

Die Methode des „Mystery“ (Leat & Nichols 1999; Vankan et al. 2007) setzt bei der Idee an, die Lösung einer rätselhaften **Ausgangsfrage** durch logisches Schlussfolgern zum Unterrichtsinhalt zu machen, um auf diese Weise komplexes Denken zu schulen und fachliche Inhalte mit erhöhter Aktivität der Schüler und SchülerInnen (SuS) zu erschließen. Angelehnt ist diese Idee an den klassischen Kriminalroman: Am Tatort wird eine Ausgangsfrage, etwa die nach dem Täter, aufgeworfen, die über eine Sammlung von Einzelinformationen (bzw. Indizien, Spuren) und deren sinnreiche Kombination schlüssig beantwortet werden muss. Die Aufgabe der SuS ist die eines Detektivs (wobei von der Altersgruppe abhängt, ob man sich diese Analogie zunutze machen möchte oder nicht). Im vorliegenden Fall lautet die Frage:

Warum kann es überhaupt Seen auf Titan geben?

Dieses Rätsel wird durch eine **Situationsbeschreibung** eingeführt, welche dessen Problemhaftigkeit verdeutlicht. Das damit angestoßene problemorientierte Lernen (z.B. Jank & Meyer 1994) besitzt den Vorteil der Motivation, eine intuitiv als unbefriedigend empfundene Situation des Unerklärlichen zu klären, und zugleich die explizite Aufforderung, dass Wissen angewandt werden muss, was tragem Wissen (Deci & Ryan 1993) entgegentritt.

Schon früh wurde durch Fernrohrbeobachtungen ersichtlich, dass Titan anders ist als andere Monde im Sonnensystem. Nicht nur, dass Titan zu den größten Monden im Sonnensystem gehört – er ist sogar größer als der Planet Merkur – sondern besonders seine dichte Atmosphäre, die ihn einmalig unter den Monden macht, fällt auf. Erst aber durch die Mission der Raumsonden Cassini und Huygens konnte näher in Augenschein genommen werden, was sich unter der Atmosphäre abspielt. Im Radarbild konnten spiegelglatte Flächen, die man als Seen identifiziert hat, entdeckt werden. Zudem waren in verschiedenen Aufnahmen Flusstäler und andere Auswaschungen erkennbar. Mit diesen Oberflächenformen fühlen wir uns an die Erde erinnert. Hier sorgt das Wasser für Erosionen und Auswaschungen, die ganz charakteristische Oberflächenformen erzeugen. Nun ist Titan als Mond des Saturns wesentlich weiter von der Sonne weg als die Erde. Wasser in flüssiger Form, dass solche Strukturen erzeugen könnte, ist auf Grund der niedrigen Temperaturen so weit draußen im Sonnensystem kaum denkbar. Auf Titan übernimmt Methan diese Rolle. Wie aber ist das möglich, da wir Methan doch auf der Erde als Gas kennen? Warum kann es überhaupt fließendes Methan und Methanseen auf Titan geben und wo kommt das Methan her?

Der lebensweltliche Bezug der Situationsbeschreibung besteht in dem Schaffen einer Verbindung und zugleich einer Differenz zu den bekannten, irdischen Verhältnissen und der angedeuteten Erkenntnis, dass irdische Erklärungsmuster auf Titan möglicherweise nicht ausreichend sind. Die Situationsbeschreibung kann, auch unterstützt durch Abb.1 (siehe **Abbildung Einstieg**), vorgelesen oder vorgetragen werden. Sie kann ersetzt werden durch ein hypothesengeleitetes Heranführen an die Problematik durch Abb.1 (vgl.: Methode des „Befragens von Bildern“, z.B. Vankan et al. 2007).

Im weiteren **Verlauf** erhalten die SuS Informationskärtchen (oder einen Bogen zum Ausschneiden der Kärtchen, siehe **Arbeitsblatt Mystery**), die Einzelinformationen zur Lösung der Problemstellung beinhalten. Diese Einzelinformationen stehen allerdings noch in keinem Zusammenhang, sondern müssen durch die SuS erst in diesen gesetzt werden. Zugleich bilden die Kärtchen die Gewissheit, dass trotz der Grenzen bekannter Erklärungsmuster das Handwerkszeug für die Lösung der Problematik auf dem Tisch liegt. Das Besondere an den Kärtchen ist, dass sie zwar alle fachlich korrekte Informationen beinhalten (im Rahmen bisheriger Theorien), aber nicht alle gleichermaßen relevant für die Problemlösung sind.

Die SuS ordnen die Kärtchen nun zu Netzwerken der Zusammenhänge an. Im Prozess des Anordnens allerdings sind immer wieder Verschiebungen notwendig. Am besten geschieht dies auf einer größeren Unterlage (z.B. A3-Blatt, Packpapier). Hierbei...

- ... gruppieren die SuS zusammengehörende Kärtchen und ordnen sie in selbst gewählte Oberkategorien ein,
- ... greifen die SuS immer wieder auf Vorwissen aus Geographie, Physik und Mathematik zurück,
- ... wichten die SuS die Kärtchen hinsichtlich ihrer Erklärungskraft und schließen irrelevante Informationen aus und gliedern weniger relevante Informationen eher randlich an,
- ... ordnen die SuS Kärtchen in Wirkungszusammenhänge ein, entwickeln Kausalketten durch Einordnung der Informationen als Ursache oder Wirkung, und bilden Netzwerkstrukturen, die sie mit Hilfe einer entsprechenden Anordnung und durch Verbindungslinien/ Pfeile visualisieren,
- ... bezeichnen die SuS ggf. die Verbindungslinien zwischen den Kärtchen mittels relationalen Begriffen wie „daraus folgt“, „beeinflusst“, „bewirkt“,
- ... stellen die SuS mit Hilfe ihres Schemas Hypothesen zur Beantwortung der Ausgangsfrage auf, die sie an Hand ihres Schemas prüfen,
- ... verwerfen die SuS ggf. Hypothesen, wenn diese sich als inkonsistent vor dem Hintergrund der Informationskärtchen erweisen und modifizieren vorhandene Anordnungen, um zu neuen Hypothesen zu gelangen,
- ... kommen die SuS schlussendlich zu einer Antwort auf die Ausgangsfrage, die sie mit Hilfe des von ihnen geschaffenen Schemas begründen.

Einen ersten Eindruck des Prinzips der Anordnung zeigt Abb. 3 auf.

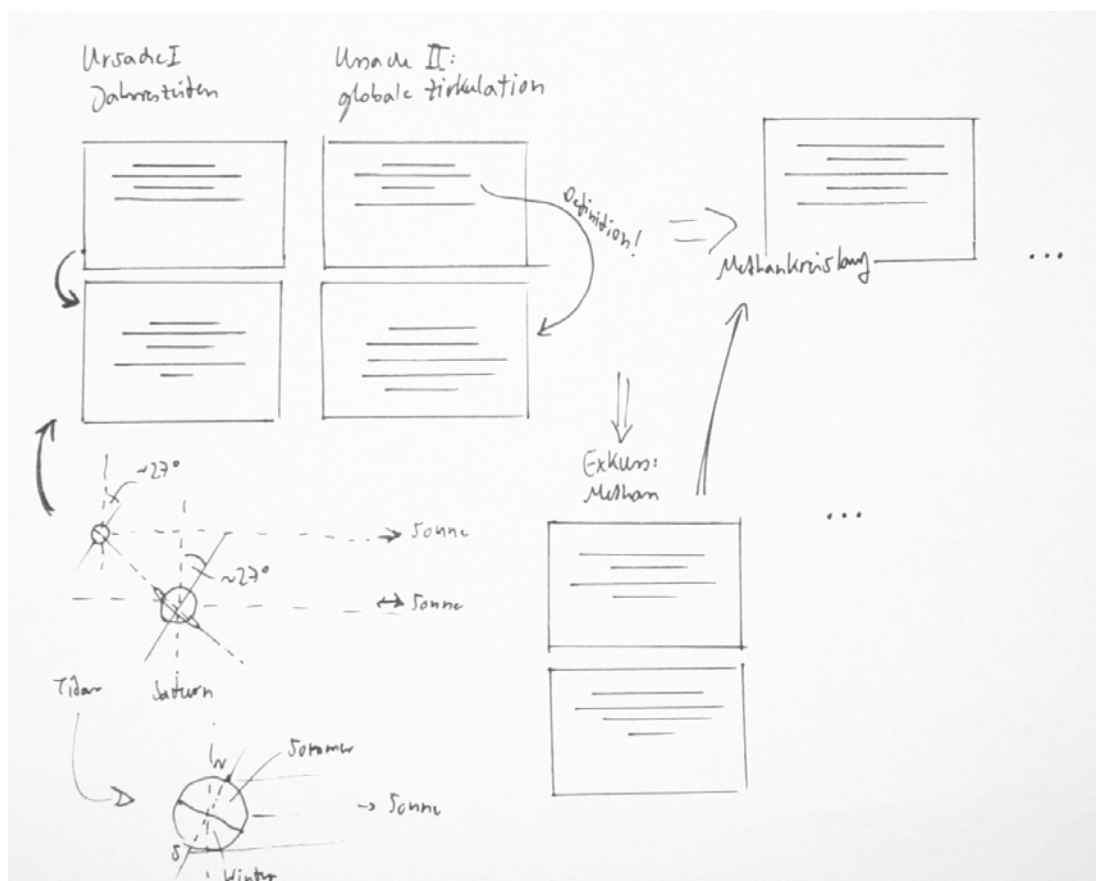


Abbildung 3: Prinzip der möglichen Anordnung und Beschriftung von Informationskärtchen. Zusätzliche Skizzen durch die SuS, wie hier zur Entstehung von Jahreszeiten, sind zur Steigerung des Verständnisses sehr sinnvoll.

Demnach erlangen die SuS mit Hilfe der vorgestellten Methode eigenständig **Kompetenzen** im Bereich Fachwissen über Titan und über das Funktionieren von physischen Systemen. Sie denken vernetzt und in Zusammenhängen statt in Einzelfakten. Sie werten Informationen an Hand ihrer Erklärungskraft und lernen Wichtiges von in einer konkreten Situation Unwichtigem zu trennen. Sie wechseln die Perspektive durch Erschließen eines neuen Kontexts mit bisher unbekanntem Bedingungen und lernen zugleich bekannte Erkenntnisse über physikalische Prinzipien und physisch-geographische Zusammenhänge auf diese neuen Bedingungen zu transferieren unter Bewusstsein der bestehenden Differenzen. Dies ist zugleich eine gute Übung, Bekanntes im scheinbar Fremden zu erkennen und scheinbar Bekanntes zu hinterfragen. Die SuS erlernen den Gang der Erkenntnisgewinnung aus Hypothesenbildung und Überprüfung und wenden ihn auf eigene Erklärungen an, was eine bewusste und reflektierte Haltung gegenüber eigenen Schlussfolgerungen schult.

Die Methode kann zwar in Einzelarbeit durchgeführt werden; besser eignen sich aber **Kleingruppen** mit ca. drei Teilnehmern (Vankan et al. 2007), die einerseits sicherstellen, dass alle Beteiligten alle Kärtchen lesen können, und andererseits für einen vielperspektivischen Austausch sorgen. Prinzipiell sind sehr unterschiedliche Gruppierungen, Kategorisierungen und Anordnungen der Kärtchen trotz identischen fachlichen Hintergrunds möglich, so dass die SuS diese Anordnung untereinander aushandeln müssen und dabei ihre Argumentationskompetenz schulen. Zugleich erkennen sie unterschiedliche Strategien, Informationen und schließlich Wissen zu strukturieren, was hilfreich für die Entwicklung der eigenen Selbstorganisations- und Lernfähigkeiten sein kann. Das gegenseitige Hinterfragen von Hypothesen und Erklärungsmustern schafft neue Erkenntnisse in der gesamten Gruppe und gibt Anregung zu einer reflektierten Haltung.

Im **Anschluss** an die Gruppenarbeit sollte aus ebendiesen Gründen des Austauschs noch einmal über die fachlichen Ergebnisse (exemplarisch Antwort und Begründung an Hand eines vor der Klasse vorgestellten Schemas), aber auch über die Strategien bei der Lösungsfindung diskutiert werden. Gerade letztere haben ein hohes Potential auch in anderen Problemfällen Anwendung zu finden, wenn sie individuell geschult und etabliert werden.

Die **Aufgabe des Lehrenden** ist neben der Moderation des auswertenden Gesprächs die Begleitung der Arbeit der SuS am Mystery. Nach einer genauen Einführung über die Prinzipien der Auswahl, Kategorisierung, Anordnung und visuellen Verbindung von Informationskärtchen, wird der Lehrende in den einzelnen Gruppen durch gezielte Fragestellungen den Arbeitsprozess da vorantreiben, wo er stagniert. Fehlenden Kategorisierungen etwa kann er begegnen, indem er eine mögliche Oberkategorie zu einem von ihm gewählten Kärtchen nennt und die SuS fragt, welches weitere Kärtchen ebenfalls in diese Kategorie passen würde. Fehlende Zusammenhänge kann er beheben, indem er nach Ursache und Wirkung für einzelne Informationskärtchen fragt. Fehlende Verbindungen zwischen bereits durch die SuS geschaffenen Gruppierungen kann er durch die Frage nach gemeinsamen Aspekten zwischen den Gruppierungen erschließen. Selbstverständlich gehört es auch zu seiner Aufgabe, die SuS anzuregen, ihr Vorwissen zu reaktivieren, etwa im Hinblick auf Winkelbeziehungen aus der Mathematik, wenn es um die Bahnneigung des Saturn geht und die daraus folgende mögliche Neigung der Achsen seiner Monde, oder etwa im Hinblick auf die Entstehung von Jahreszeiten.

Die Ergebnisse der SuS werden in ihrer Erklärungsdichte unterschiedliche Niveaus erreichen, so dass eine **Binnendifferenzierung** (Vankan et al. 2007) zwischen einfachen, punktuellen und unvollständigen Hypothesen und komplexen, viele Faktoren zusammenführenden Erklärungen zu Tage treten wird. Der Lehrende kann das Mystery im Vorfeld auch dem Leistungsstand seiner Gruppe entsprechend anpassen und zusätzliche Kärtchen anfügen (siehe freie Kärtchen auf dem Arbeitsblatt Mystery). Diese können weitere Aspekte einbringen, Hinweise geben oder zusätzliche Erklärungen, etwa für möglicherweise unbekannte Begriffe. Genauso können Kärtchen von vorneherein durch den Lehrenden ausgeschlossen werden, wie etwa jene, die auf das Phänomen der äquatornahen Seen hindeuten oder jene, die die unterschiedliche Verteilung von Seenflächen auf der Nord- und Südhemisphäre zum Thema machen.

Benötigtes Material

- ggf. Situationsbeschreibung (hier im Text) und **Abbildung Seen**
- **Arbeitsblatt Mystery** für jede Gruppe (= Bogen mit Kärtchen)
- Schere für jede Gruppe (oder der Lehrende bereit die Kärtchen ausgeschnitten vor)
- Stifte für jede Gruppe
- A3-Papier (oder größer, mehrere pro Gruppe, falls zu viele bereits visualisierte Verknüpfungen und Hypothesen revidiert werden müssen)
- Kleber für jede Gruppe (zum Fixieren der Kärtchen am Ende des Arbeitsprozesses)

Quellen

- Aharonson, O., Hayes, A.G., Lunine, J.I., Lorenz, R.D., Allison, M.D. & Elachi, C (2009): An asymmetric distribution of lakes on Titan as a possible consequence of orbital forcing. In: Nature Geoscience 2, 851-854. <http://www.nature.com/ngeo/journal/v2/n12/full/ngeo698.html> (Zugriff: 2012-07-25)
- Althaus, T. (2012a): Tropische Methanseen auf Titan. In: spektrum.de. <http://www.spektrum.de/alias/saturnmonde/tropische-methanseen-auf-titan/1154718> (Zugriff: 2012-07-24).
- Althaus, T. (2012b): Unterirdischer Wasserozean auf Titan. In: spektrum.de. <http://www.sterne-und-weltraum.de/alias/saturnmonde/ein-unterirdischer-wasserozean-auf-titan/1155844> (Zugriff: 2012-07-24).
- Althaus, T. (2012c): Dynamische Atmosphäre und innere Struktur von Titan enthüllt. <http://www.spektrum.de/alias/planetenmond/dynamische-atmosphaere-und-innere-struktur-von-titan-enthuehlt/1143149> (Zugriff: 2012-07-26).
- Ball, P. (2008): Titanic climate change in store. There's not enough methane on Titan to sustain its weather. In: Nature news. <http://www.nature.com/news/2008/080206/full/news.2008.553.html> (Zugriff: 2012-07-25).
- Deci, E.L. & Ryan, R.M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. In: Zeitschrift für Pädagogik 1993, 2, 223-239.
- ESA (2000-2012): Cassini-Huygens. <http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=12> (Zugriff: 2012-07-27).
- ESA (2007): The way the wind blows on Titan. http://www.esa.int/esaSC/SEMF9F9RR1F_index_0.html (Zugriff: 2012-07-26).
- IGMK (Institut für Geologie und Meteorologie der Universität Köln) (2010): Willkommen beim Saturnmond Titan. <http://www.geomt.uni-koeln.de/allgemein/forschung/weltraumgeophysik/titan/> (Zugriff: 2012-07-26).
- Jank, W. & Meyer, H. (1994³): Didaktische Modelle. Cornelsen.
- Knispel, B. (2012): Titansee verwandt mit afrikanischer Salzpflanze. In: ASTROnews (Sterne und Weltraum). <http://www.sterne-und-weltraum.de/alias/saturnmond-titan/titansee-verwandt-mit-afrikanischer-salzpflanze/1149461> (Zugriff: 2012-07-27).
- Leat, D. & Nichols, A. (1999): Theory into practice. Mysteries make you think. Geographical Association.
- NASA (2010) Saturn fact sheet. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/saturnfact.html> (Zugriff: 2012-07-28).
- NASA (2011): Saturnian satellite fact sheet. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/saturniansatfact.html> (Zugriff: 2012-07-28).
- NG (National Geographic) (2012): Es gibt Leben auf dem Saturnmond Titan. <http://www.nationalgeographic.de/aktuelles/es-gibt-leben-auf-dem-saturnmond-titan> (Zugriff: 2012-07-27).
- Shiga, D. (2006): Huge ethane cloud discovered on Titan. <http://www.newscientist.com/article/dn10073-huge-ethane-cloud-discovered-on-titan.html> (Zugriff: 2012-07-27).
- Vankan, L., Rohwer, G. & Schuler, S. (2007): Diercke Methoden. Westermann.