

Extremophiles Leben

Leben in lebensfeindlicher Umgebung

Virtuelles SFGH-Treffen 16.05.2020

Überarbeitet 17.+18.05.2020

Vorbemerkung:

Es ist gut 40 Jahre her, dass ich im Magazin GEO erstmals von den „Black Smoker“ oder „Schwarzen Rauchern“ gelesen habe, hydrothermale Quellen am Grund des Ozeans, deren 400 Grad heisses Wasser an diesem Ort Leben ermöglicht, getrennt von der Biosphäre der Erdoberfläche, basierend auf einem Stoffwechsel, der ohne Sonnenlicht und Luftsauerstoff auskommt.

Der Vortrag auf einem der letzten DortCons über mögliches Leben auf den Eismonden unseres Sonnensystems brachte mich dazu, diese wissenschaftliche Entdeckung mit fremdartigen Lebensformen aus der klassischen Science Fiction zu vergleichen.

Fangen wir also an:

Science:

1. Was ist Leben?

Leben bezeichnet in den Naturwissenschaften heute größtenteils eine Organisationsform, die durch gewisse Prozesse charakterisiert ist. Was Leben bzw. ein Lebewesen ist, wird in der modernen Biologie (Synthetische Biologie) nämlich nicht über einzelne Eigenschaften, einen bestimmten Zustand oder eine spezifische Stofflichkeit definiert, sondern über eine Menge von Prozessen, die zusammengekommen für Leben bzw. Lebewesen charakteristisch und spezifisch sind. Zu diesen Prozessen werden üblicherweise gezählt:

- Energie- und Stoffwechsel und damit Wechselwirkung der Lebewesen mit ihrer Umwelt.
- Organisiertheit und Selbstregulation (Homöostase).
- Reizbarkeit, das heißt Lebewesen sind fähig, auf chemische oder physikalische Änderungen in ihrer Umwelt zu reagieren.
- Fortpflanzung, das heißt Lebewesen sind zur Reproduktion fähig.
- Vererbung, das heißt Lebewesen können Informationen (Erbgut) an ihre Nachkommen übermitteln.
- Wachstum und damit die Fähigkeit zur Entwicklung.

Diese Kriterien definieren ein System, das als Grundausstattung folgende Eigenschaften haben muss. Es benötigt:

- eine äußere Membran
- innere Kompartimente,
- (bio)katalytisch wirksame Substanzen.

Weiterhin muss es sich im Fließgleichgewicht zwischen einem Zustrom von Energie bzw. energiereicher Materie und einem Abstrom von Stoffwechselprodukten und anderen nicht benötigten Stoffen befinden.

Ein solches System hoher Komplexität kann nur im Rahmen der Organischen Chemie realisiert werden. Es besteht aus aufeinander aufbauenden und miteinander wechselwirkenden Einheiten, die sich gegenseitig funktionell bedingen und erhalten.

Das einfachste heute bekannte System, das alle diese Forderungen erfüllt, ist eine Zelle (als selbständiger Organismus Einzeiler). Inwieweit Strukturen (inklusive Viren), die nur einen Teil der obigen Forderungen erfüllen, als Leben anzusehen sind, wird diskutiert.

2.1 Extremophiles Leben

Als **extremophil** werden [Organismen](#) bezeichnet, die sich extremen Umweltbedingungen angepasst haben, die im Allgemeinen als lebensfeindlich betrachtet werden. Dabei handelt es sich meist um einzellige [Mikroorganismen](#). Nicht-extremophile Organismen bezeichnet man als [Mesophile](#).

Systematik

Der Begriff *Extremophile* wurde 1974 von R.D. MacElroy geprägt. Viele Extremophile sind Mitglieder der Domäne der [Archaeen](#) und tatsächlich werden gelegentlich die beiden Begriffe [synonym](#) verwendet, obwohl es viele mesophile Archaea gibt, zudem existieren auch zahlreiche extremophile [Bakterien](#) und sogar [Eukaryoten](#). Obgleich der bei weitem größte Anteil an Extremophilen bei den [Einzellern](#) zu finden ist, gibt es auch Beispiele für Vielzeller ([Metazoa](#)) unter diesen Spezialisten. Beispiele für extremophile Vielzeller sind die psychophilen [Grylloblattodea](#) ([Insekten](#)) und der [antarktische Krill](#) ([Crustacea](#)).

Eine wichtige Bedeutung in der Biotechnologie haben [Enzyme](#), die aus extremophilen Organismen stammen und [rekombinant](#) erzeugt wurden. Beispielsweise stammt die in der [Polymerase-Kettenreaktion](#) (PCR) verwendete [thermostabile DNA-Polymerase](#) ursprünglich aus dem thermophilen Bakterium [Thermus aquaticus](#) oder der Archaea [Pyrococcus furiosus](#).

Auch [Viren](#) konnten in extremen Habitaten entdeckt werden, z. B. das [Sulfolobus-Turreted-Icosahedral-Virus](#).

Kategorien von Extremophilen

Es gibt viele verschiedene Kategorien von extremophilen Organismen. Die Klassifizierung entspricht der Art und Weise, wie die Umweltbedingungen des jeweiligen Organismus von dem abweichen, was aus menschlicher Sicht als „normal“ betrachtet wird. Diese Klassifizierung ist nicht exklusiv, das heißt auf manche Extremophile treffen mehrere Kategorien zu. Organismen, die beispielsweise im Inneren von heißen [Gesteinen](#) weit unter der Erdoberfläche leben, sind nicht nur *Endolithe*, sondern auch *thermophil* und *barophil*.

Folgende Kategorien sind bekannt:

- [Thermophile](#): Organismen, die optimal an hohe [Temperaturen](#) (80 °C und mehr) angepasst sind
- [Psychrophile](#): Organismen, die optimal an niedrige Temperaturen (15 °C und niedriger) angepasst sind
- [Kryophile](#): Organismen, die an besonders kalte Umgebungen unter -10 °C angepasst sind. Sie stellen die Steigerung der Psychrophilie dar.
- [Halophile](#): Organismen, die optimal an hohe Salzkonzentrationen (mindestens 0,2 [mol/l](#) Salz) angepasst sind
- [Methanophile](#): Organismen, die an eine hohe Methankonzentrationen angepasst sind, beispielsweise Bakterien im [Methanhydrat](#) und [Hesiocaeca methanicola](#) (nicht zu verwechseln mit den [Methanbildnern](#), die allerdings eine gewisse Konzentration ihres Stoffwechselproduktes ertragen).
- [Alkaliphile](#): Organismen, die optimal an einen hohen [pH](#)-Wert (pH 9 und höher) angepasst sind
- [Acidophile](#): Organismen, die optimal an einen niedrigen pH-Wert (pH 3 und niedriger) angepasst sind
- [Barophile](#): Organismen, die optimal an hohen [hydrostatischen Druck](#) angepasst sind
- [Radiophile](#): Organismen, die sehr hohe Dosen ionisierender Strahlung tolerieren (siehe [Deinococcus radiodurans](#)), oder sogar mithilfe des Pigments [Melanin](#) in Energie umzuwandeln vermögen ([Radiosynthese](#)) und diese für ihr Wachstum nutzen können. Es handelt sich hierbei um bestimmte melaninreiche Pilzarten, die im zerstörten Atomreaktor von [Tschernobyl](#) als schwarzer Belag an den Reaktorwänden auffällig wurden.
- [Endolithe](#): Organismen, die im Inneren von Gesteinen leben
- [Oligotrophe](#): Organismen, die optimal an eine nährstoffarme Umgebung angepasst sind
- [Toxitolerante](#): Organismen, die großen Konzentrationen an zerstörerischen Agenzien wie [Giftstoffen](#) oder [Strahlung](#) widerstehen können. So können manche sogar in [Benzol](#)-gesättigtem Wasser überleben, andere gedeihen im Kühlwasserbehälter eines [Kernreaktors](#)

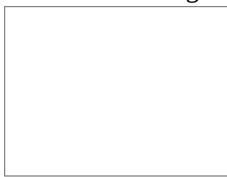
- **Xerotolerante:** Organismen, die an eine wasserarme Umgebung angepasst sind. Beispiele sind extrem *halophile* oder *endolithische* Organismen.

Extremophile, die unter mehreren extremen Umweltbedingungen vorkommen, werden als Polyextremophile bezeichnet. Beispiele für Polyextremophilie sind [Deinococcus radiodurans](#) und [Bärtierchen](#).

Da extremophile Organismen zum Teil auch unter Weltraumbedingungen existieren können, sind sie für [astrobiologische](#) Forschungsprojekte von Interesse, beispielsweise zur Wahrscheinlichkeit von [Panspermie](#).

2.2 Extremophiles Biotop: Schwarze Raucher

Schwarze Raucher ([englisch Black Smoker](#)) gehören zu den [hydrothermalen](#) Quellen am Grund der [Tiefsee](#). Hier tritt heißes Wasser, das verschiedene Stoffe in [Lösung](#) enthält, aus und vermischt sich mit dem kälteren Umgebungswasser. Dabei scheiden sich gelöste Stoffe ab zu röhrenförmigen mineralischen Gebilden und bilden als feine Partikel je nach Zusammensetzung helle oder dunkle Wolken. So entsteht der Eindruck einer Rauchwolke, die aus dem röhren- oder kegelförmigen Gebilde quillt, das daher auch als Schornstein bezeichnet wird.



Hydrothermale Tiefseequellen und ihre Umgebung bilden ein eigenes [Biotop](#) mit vielen, meist nur in dieser Umgebung lebenden [Arten](#). Basis der [Nahrungskette](#) in diesem Biotop bilden [chemolithotroph](#) aktive [Bakterien](#) und [Archaeen](#), die in der heißen Umgebung die Oxidation von [Schwefelwasserstoff](#) als Energiequelle nutzen, um [organische Verbindungen](#) aus anorganischen

Stoffen, unter anderem [Kohlenstoffdioxid](#) als Kohlenstoffquelle, aufzubauen. An einem etwa 2.500 Meter tiefen schwarzen Raucher am [ostpazifischen Rücken](#) wurde ein [Grünes Schwefelbakterium](#) entdeckt, das eine anoxygene [Photosynthese](#) mit Schwefelwasserstoff oder Schwefel als [Reduktionsmittel](#) betreibt. In dieser Tiefe gelangt kein Sonnenlicht zu den Bakterien. Seine äußerst lichtempfindlichen [Chlorosomen](#) vermögen aber die Wärmestrahlung (nahes Infrarot) der austretenden heißen hydrothermalen Lösung des Rauchers aufzufangen und als Energiequelle für die Photosynthese nutzbar zu machen.

Weiter wird das Biotop unter anderem von [Spinnenkrabben](#) ohne Augen, [Hoff-Krabben](#), [Yeti-Krabben](#), [Bartwürmern](#), [Venus-](#) und [Miesmuscheln](#) und [Seesternen](#) bewohnt. Die hier lebenden Bartwürmer besitzen kein [Verdauungssystem](#), sondern erhalten ihre Nährstoffe von Bakterien, mit denen sie in [Symbiose](#) leben. Diese Bakterien leben in gut durchbluteten Organen der Bartwürmer, den sogenannten [Trophosomen](#), wodurch die Bartwürmer direkten Zugang zu den von den Bakterien gebildeten organischen Stoffen haben.



Felder hydrothermaler Tiefseequellen sind nur ungefähr 20 Jahre aktiv. Dann verstopfen die ausgefällten Mineralien die Röhren und Spalten und die Quellen versiegen. Damit stirbt auch die [Fauna](#) in der nun für sie lebensfeindlich gewordenen Umgebung. Wie die Lebewesen an neue Felder hydrothermaler Quellen kommen, ist bisher nicht erforscht. Es gibt derzeit zwei verschiedene Theorien, die allerdings beide noch nicht hinreichend bewiesen sind:

1. Die Tiere geben ihre Eier in das Umgebungswasser ab, durch das sie dann über weite Strecken durch Meeresströmungen weiter getrieben werden. Sobald ein Ei eine hydrothermale Quelle mit optimalen Lebensbedingungen erreicht, wächst daraus eine Larve.
2. Die erwachsenen Tiere sind in der Lage, von Quelle zu Quelle zu „springen“. Wal-Kadaver könnten als „Trittsitebiotop“ von einem Schwarzen Raucher zum nächsten fungieren. Wie dieser Vorgang genau vonstattengeht, darüber sind sich die Forscher nicht einig. Es wurden auch noch keine beweglichen Stadien gefunden.

Nicht nur aus ökologischen Gründen, sondern auch wegen der in ihrer Nähe abgelagerten Erzvorkommen sind schwarze Raucher für den Menschen interessant. Befürchtet wird, dass durch den geplanten Abbau von Gold und seltenen [Buntmetallen](#) die Ökosysteme beeinträchtigt oder sogar zerstört werden könnten. Die autonome Regierung der [Azoren](#) hat 2002 beschlossen, zwei besonders bedeutende Gebiete – die Hydrothermalfelder [Lucky Strike](#) und [Menez Gwen](#) – als [Meeresschutzgebiete](#) unter Schutz zu stellen.

Die extremen Umweltbedingungen, wie sie in den [hydrothermalen](#) Feldern der [Tiefsee](#) in der Nähe der Schwarzen Raucher herrschen, lassen an die Verhältnisse in der frühen [Erdgeschichte](#) denken, in denen Evolutionsbiologen den Ursprung des irdischen Lebens sehen. [Vulkanismus](#) mit hohen [Temperaturen](#) und hohem [Druck](#), Mangel an [Licht](#) und eine hohe Konzentration anorganischer Stoffe haben einige Forscher (u. a. [Günter Wächtershäuser](#)) bewogen, der Umgebung von Schwarzen Rauchern eine besondere Bedeutung in der Entwicklung des Lebens zuzuweisen.

Besonders die [chemoautotroph](#) aktiven Bakterien und [Archaeen](#) [hydrothermaler](#) Quellen, deren [Genom](#) eingehend untersucht wurde und bei vielen Arten vollständig entschlüsselt werden konnte, trugen dazu bei. Sie werden wegen ihres [anaeroben](#) Stoffwechsels und der Energiegewinnung ohne die Möglichkeit der Nutzung von Sonnenlicht sowie ihrem Habitat, das auf der frühen Erde sehr häufig war, von einigen Forschern als repräsentativ für die frühesten Formen des Lebens angesehen.

Andere in der Umgebung von hydrothermalen Quellen lebende Organismen wie die in langen Röhren sitzenden [Bartwürmer](#) und [Pompejiwürmer](#) mit reduzierten Verdauungsorganen oder [Muscheln](#) der Art [Calyptogena magnifica](#), die in Symbiose mit [chemoautotrophen Schwefelbakterien](#) leben, sind hochspezialisiert und angepasst und eher als Produkte einer lange dauernden [Evolution](#) denn als Ursprung zu bezeichnen. Insgesamt haben die Schwarzen Raucher mit ihrem außergewöhnlichen [Ökosystem](#) und neuen [Arten](#) seit ihrer Entdeckung bereits viele intensive Diskussionen und weitergehende Forschungen unter Wissenschaftlern auf allen Gebieten der [Meereskunde](#) und [Geologie](#), aber auch der [Genetik](#), [Paläontologie](#), [Mikrobiologie](#), [Biochemie](#) und [Medizin](#) ausgelöst.

Einige Biologen erwarten, ähnliches Leben auf [Eismonden](#) der Gasplaneten wie z. B. dem [Jupitermond Europa](#) oder dem [Saturnmond Enceladus](#) zu finden, da dort unter dem Eismantel Wasserozeane mit hydrothermalen Quellen vermutet werden.

3. Eismonde: Beispiel Enceladus

Enceladus (von [altgriechisch](#) Ἐγκέλαδος *Enkélados*; auch *Saturn II*) ist einer der größten [Saturnmonde](#). Nach Masse und Durchmesser steht er an sechster Stelle und nach Abstand vom Zentralplaneten [Saturn](#) an vierzehnter Stelle der 82 bekannten [Monde](#). Er ist ein [Eismond](#) und zeigt [kryovulkanische](#) Aktivitäten, deren sehr hohe Fontänen aus [Wassereispartikeln](#) auf der südlichen Hemisphäre eine dünne Atmosphäre erzeugen. Diese Fontänen speisen wahrscheinlich den [E-Ring](#) des Saturns. Im Bereich der vulkanischen Aktivität wurden auch Hinweise auf flüssiges [Wasser](#) gefunden, sodass Enceladus als einer der möglichen Orte im [Sonnensystem](#) mit günstigen Bedingungen für die [Entstehung von Leben](#) gilt.

Entdeckung und Benennung

Enceladus wurde am 28. August 1789 von dem deutsch-britischen [Astronomen Wilhelm Herschel](#) entdeckt. Enceladus ist der sechste entdeckte [Saturnmond](#) und der [zwölfte entdeckte Mond](#) im gesamten [Sonnensystem](#). Durch seine damals am zweitnächsten zu Saturn liegende Umlaufbahn wurde er als zweitinnerster der sieben bis dahin bekannten großen Saturnmonde von der [Internationalen Astronomischen Union](#) (IAU) mit der römischen Nummerierung *II* bezeichnet.

Benannt wurde der Mond nach dem [Giganten Enkelados](#) (lateinische Form: Enceladus) aus der [griechischen Mythologie](#). Der Name wird auf der zweiten Silbe betont.

Innerer Aufbau

Enceladus ist vermutlich überwiegend aus [Wassereis](#) zusammengesetzt. Mit $1,61 \text{ g/cm}^3$ weist er die drittgrößte [Dichte](#) aller großen Saturnmonde auf (übertroffen nur von [Phoebe](#) und von [Titan](#)). In seinem Inneren müssen daher größere Anteile an dichtem Material vorhanden sein, etwa [silikatisches](#) Gestein; es handelt sich demnach um einen [differenzierten](#) Körper.

Oberfläche

Enceladus ist außergewöhnlich hell, da er großflächig mit reinem Wassereis bedeckt ist, das 99 % des eingestrahnten Sonnenlichts reflektiert. Dies ist die höchste [Albedo](#) eines Himmelskörpers im Sonnensystem; sie übertrifft sogar die

[Reflexivität](#) von frisch gefallenem Schnee. Aufgrund der hohen Reflexion des Sonnenlichts herrschen auf Enceladus meist Temperaturen unter $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. unter 70 Kelvin .

Auf seiner Oberfläche konnten verschiedene Terrains ausgemacht werden. Neben [Einschlagkratern](#) sind flache Ebenen sowie ausgeprägte Brüche und Verwerfungen sichtbar. Ein Teil seiner Oberfläche scheint mit einem geschätzten Alter von 100 Millionen Jahren relativ jung zu sein. Dies deutet darauf hin, dass Enceladus geologisch aktiv ist. Ursache ist offensichtlich [Kryovulkanismus](#) (Kältevulkanismus), bei dem Wasser aus dem Innern des Mondes austritt und sich über die Oberfläche verteilt. Enceladus ist der kleinste bekannte Körper im Sonnensystem mit einer geologischen Aktivität dieser Art.

Möglichkeiten für Leben auf Enceladus

Am 9. März 2006 teilte die NASA mit, dass Aufnahmen von Cassini flüssiges Wasser in der Südpolregion von Enceladus vermuten lassen. Es könnte sich in Kammern befinden, die möglicherweise nur einige Meter unter der Oberfläche liegen, und bräche dann ähnlich einem Geysir an die Oberfläche aus. Die geysirartigen Fontänen in der Südpolarregion waren bis in eine Höhe von 500 Kilometern zu beobachten. Ein Teil der Eispartikel fällt auf die Oberfläche zurück und bewirkt das besonders große Rückstrahlungsvermögen von Enceladus. Von dem Großteil der in den Weltraum entwichenen Partikel gelangt ein Teil auf die Oberfläche von anderen Saturnmonden, daher sind auch [Mimas](#), [Tethys](#), [Dione](#) und [Rhea](#) – die Satelliten im Bereich des E-Rings – im Vergleich zu anderen Monden ungewöhnlich hell.

Am 9. Oktober 2008 passierte Cassini Enceladus in einer Distanz von nur 25 Kilometern. Dies war der geringste Abstand beim [Vorbeiflug](#) einer Raumsonde in der [Geschichte der Raumfahrt](#). Dabei flog Cassini durch frisch ausgestoßene Partikel. Zwei Instrumente waren zu diesem Zeitpunkt in Betrieb: Der [Cosmic Dust Analyzer](#) und das [Ion and Neutral Mass Spectrometer](#). Die Messergebnisse zeigten eine viel höhere Dichte von flüchtigen Gasen wie [Wasserdampf](#), [Kohlendioxid](#) und [Kohlenmonoxid](#) als angenommen. Aber auch [organische Materialien](#), die bereits durch eine spektroskopische Analyse einer [Sternbedeckung](#) nachgewiesen wurden, waren häufiger als erwartet. Die Partikeldichte war derart hoch, dass durch sie ein messbares [Drehmoment](#) auf die Sonde wirkte. Eine Überraschung war die chemische Zusammensetzung der ausgestoßenen Partikel, welche der eines [Kometen](#) ähnelte. Im Gegensatz zu den Kometen wird Enceladus aber von innen erwärmt.

Enceladus besitzt somit Wärme, Wasser und organische Chemikalien, einige der wesentlichen Bausteine für die Entwicklung von Leben. Cassini wies außerdem Wasserstoffmoleküle in den Geysir-Eruptionen nach. Dies wurde als Hinweis dafür interpretiert, dass auf dem Boden des Enceladus-Ozeans heiße hydrothermale Quellen existieren, analog wie [auf dem Boden der Ozeane der Erde](#). Es gibt Hypothesen, dass die ersten primitiven Lebensformen auf der Erde in der Nähe solcher heißen Hydrothermalquellen entstanden sind. Damit wird es für möglich gehalten, dass auf Enceladus ebenfalls Leben entstanden sein könnte. Neuere Untersuchungen der Sondendaten von Cassini, nach denen in den ausströmenden Gasfahnen molekularer Wasserstoff vorhanden ist, erhärten die Thesen der hydrothermalen Aktivität, der Entstehung von [Methan](#) und auch der Möglichkeit von Leben auf Enceladus.

An der [FH Aachen](#) entwickelt ein studentisches Team seit 2010 den [Kryobot IceMole](#), der einen Kryovulkan anbohren und das Wasser im Innern untersuchen soll. Realistisch ist eine solche Mission erst ab dem Jahr 2040. Des Weiteren wurde die Mission Enceladus Life Finder im Jahre 2015 vorgeschlagen, aber nicht ausgewählt.

[Gravimetrische](#) Messungen deuten darauf hin, dass sich nicht nur unter dem Eis der Südpolregion ein Ozean aus Wasser befindet, sondern ein globaler [extraterrestrischer Ozean](#) existiert. Dazu wurden Vorbeiflüge von [Cassini](#) genutzt und ausgewertet. Die Massenverteilung im Inneren des Mondes beeinflusst die Flugbahn der Sonde, was über die [Dopplerverschiebung](#) ihrer Funksignale vermessen werden kann. Außerdem wurde die [Libration](#) der Mondoberfläche vermessen. Ein Wasserozean führt dazu, dass die Eiskruste sich unabhängig vom Kern drehen kann, was besser zu den Messwerten passt als eine feste Verbindung mit dem Kern. Damit wurde die Schale höherer Dichte und geringerer Festigkeit entdeckt, die als ein Wasserozean mit einer Tiefe von 10 km unter 30 bis 40 km Eis interpretiert wird.

Am Boden des Ozeans gibt es möglicherweise hydrothermale Quellen. Im Vorbeiflug gesammelte Daten aus den aus Enceladus entweichenden Gasen zeigen die Existenz von molekularem Wasserstoff sowie von komplexen organischen Molekülen an, was die These des Wasserozeans unter dem Eis und die Existenz hydrothermalen Quellen unterstützt. Zudem wurde die Bildung von [Methan](#) im Kontext mit der hydrothermalen Energie als Quelle für den

Wasserstoffausstoß als sehr wahrscheinlich identifiziert, wodurch die Möglichkeit für Leben in diesem Ozean erneut als möglich diskutiert wird.

Fiction:

In der klassischen Science Fiction finden sich viele Darstellungen außerirdischen Lebens, die wie die eben genannten Beispiele in eigentlich lebensfeindlichen Umgebungen existieren:

1. Die Schwarze Wolke (Fred Hoyle)

Dieser klassische SF-Roman des Astrophysikers und Astronomen Fred Hoyle spielt mit einer phantastischen Möglichkeit, das nämlich Leben nicht nur auf Planeten existiert, sondern auch in interstellaren Dunkelwolken, auf deren einzelnen Festkörpern die Teile des Wesens leben, verbunden durch Radiowellen und in der Lage, mit Hilfe elektromagnetischer Felder seine Umwelt zu manipulieren, und die gesamte Wolke von Stern zu Stern zu bewegen, um dort jeweils Energie zu tanken.

Joe, wie die Wolke genannt wird, nachdem man gelernt hat, mit ihr zu Kommunizieren, ist im Gegenteil erstaunt, dass im Schwerkraftfeld eines Planeten intelligentes Leben entstehen kann, da ein solcher Organismus vor allem aus Knochen und Muskeln bestehen muss, und wenig bleibt, um Intelligenz auszubilden.

Die Wolke läßt der Erde einen Zugang zum Sonnenlicht, um das irdische Leben nicht zu gefährden, begibt sich aber nach wenigen Wochen wieder auf die Reise, da in nächster Nähe ein vergleichbares interstellares Wesen Hilfe angefordert hat.

2. Das Drachenei (Robert L. Forward)

Vor etwa 500.000 Jahren explodierte in 50 Lichtjahren Entfernung zur Erde eine Supernova und ließ einen Neutronenstern zurück. Dieser zieht schließlich ins Sonnensystem.

Auf der Oberfläche des Neutronensterns herrschen eine Schwerkraft von 67 Milliarden g und ein extremes Magnetfeld. Diese enorme Schwerkraft sorgt dafür, dass in seinem Inneren alle Atomkerne zu Neutronen verschmolzen sind. Auf seiner Oberfläche allerdings liegt eine relativ dünne Schicht aus neutronenreichen Atomkernen (vor allem Eisen) und Elektronen. In dieser Schicht können "kernchemische" Reaktionen stattfinden, die schließlich zur Entstehung von Leben auf dem Stern führen, der von den Menschen "Drachenei" getauft wird.

Da atomare Reaktionen millionenmal schneller ablaufen als chemische Reaktionen, durchläuft das Leben auf dem Neutronenstern innerhalb kürzester Zeit die Phase vom Entstehen der ersten Organismus bis zu intelligentem Leben. Und noch während der Kommunikation mit einem menschlichen Raumschiff, das sich dem ins Sonnensystem eindringenden Neutronenstern nähert, durchschreitet die Intelligente Lebensform des Neutronensterns, Cheela genannt, sämtliche Phasen von den Anfängen der Zivilisation bis zur technischen Zivilisation, um schließlich die Kenntnisse der Menschen weit hinter sich zu lassen.

3. Andromeda – Tödlicher Staub aus dem All (Buch+Film)

Ich denke, den Film wird jeder schon gesehen haben, da er zu den Klassikern des Genres gehört und jedem Hard-SF-Fan bekannt sein sollte.

Nach dem Absturz einer Raumsonde über einem dünnbesiedelten Gebiet der USA sind in einem nahegelegenen Ort sämtliche Bewohner in Sekunden verstorben, bis auf zwei Ausnahmen, einem Säuger mit Magengeschwür und einem schreienden Baby. In einem für den Fall eines eingeschleppten außerirdischen Organismus eingerichteten Labor werden die beiden untergebracht und die Sonde untersucht.

In tagelanger Arbeit entdecken die Wissenschaftler schließlich die Ursache der Todesfälle und benennen sie „Andromeda“. Es handelt sich um einen einzelligen Organismus mit kristalliner Struktur, der

durch Einatmen infektiös wirkt und jegliche Form von Energie verwerten kann. Nach dieser Erkenntnis gelingt es gerade noch, den eben beschlossenen Abwurf der Atombombe über der betroffenen Region abzuwenden und somit die unkontrollierte Ausbreitung von Andromeda zu verhindern. Während der Simulation dieses Szenarios entdecken die Forscher, dass Andromeda nicht zufällig in die Sonde gelangt ist, sondern Ergebnis einer gezielten Suche nach außerirdischen Organismen war, um Waffen zur biologischen Kriegführung zu gewinnen...

4. Unternehmen Schwerkraft (Hal Clement)

In diesem Roman beschreibt Clement den exotischen Planeten Mesklin, mit schneller Rotation und extrem hoher Schwerkraft. An den Polen herrscht an die 700g, doch die Rotation des jupiterartigen Planeten ist so groß, dass am Äquator nur noch 2-3g zu überwinden sind, weshalb die Menschen dort eine Station aufgebaut haben.

Antigrav gibt es in diesem Universum nicht, und so sind die Menschen auf die Kooperation mit den intelligenten, krebsartigen und methanatmenden Bewohnern des Planeten angewiesen, um eine abgestürzte Sonde vom Nordpol des Planeten zu bergen.

Kulturell befinden sich die Meskliniten in der Phase der Renaissance, und der fahrende Kaufmann Baarlenan und sein Schiff werden zu diesem Zweck angeheuert. Auf seiner Reise Richtung Pol durchfährt das Schiff verschiedene Klimazonen, man trifft unterschiedliche Kulturen (sogar Meskliniten, die das Fliegen beherrschen) und zum Schluß findet die Expedition die abgestürzte Sonde. Aufgrund der Erfahrungen sowie der in der Kommunikation mit den Menschen gewonnenen Erfahrungen erfolgt die Rückreise dann mit einem Heißluftballon, wodurch Baarlenan seine anerzogene Angst vor Sprung und folgenden Fall in der herrschenden Schwerkraft überwindet – Time marches on...

5. Eiswelt (Hal Clement)

Noch ein Clement: Es geht um einen exotischen Eisplaneten, vom dem ein verbrecherisches Syndikat eine Droge importiert, die beim ersten Gebrauch süchtig macht. Aus diesem Grund wird der Naturwissenschaftler Sallmann Ken in die Organisation eingeschleust, um mehr über die Herkunft der Droge zu erfahren. Der Leiter des Syndikats erhofft sich umgekehrt eine Möglichkeit, die Droge selbst anzubauen, da der Tauschhandel mit den primitiven Bewohnern des Eisplaneten sehr unsicher ist. Die Schwierigkeiten sind allerdings enorm: immerhin sind sogar Kalium und Schwefel in fester Form auf dem Eisplaneten zu finden, und die Temperaturunterschiede zu den zivilisierten Planeten der Galaxis mit ihren metallhaltigen Atmosphären betragen mehrere 100 Grad...

6. Die Reise der Space Beagle (Ixtl, Anabis) bzw. Alien (Film)

Ein weiterer Klassiker: A.E. Van Vogt hat diesen Roman aus vier Einzelgeschichten zusammengesetzt, und zwei dieser Geschichten behandeln Wesen aus einer extremen Umwelt:

Ixtl ist ein Wesen, das im Vakuum zwischen den Galaxien seit Millionen von Jahren treibt und dem Wahnsinn nahe ist, als plötzlich das Unmögliche eintritt und ein Raumschiff wegen einer Reparatur in nächster Nähe stoppt. Ixtl gelingt es, sich an Bord zu schleichen, da er seine molekulare Struktur so verändern kann, dass er Metallwände durchdringt. Das Schiff voller Menschen gibt ihm eine neue Chance, seine beinahe untergegangene Rasse wieder zu erwecken, indem er seine Eier in die Menschen implantiert und sie so zu Guuls zu machen, zu Brutorten seiner Nachkommen...

Wem das bekannt vorkommt: Van Vogt hat in einem Vergleich 50.000,00 \$ bekommen, da das Drehbuch von ALIEN offensichtlich von seiner Kurzgeschichte inspiriert worden ist.

Ein weiterer Alien, auf das die Besatzung der Space Beagle beim Erreichen der Nachbargalaxis trifft, ist ein interstellares Gaswesen, das die komplette Galaxis umfasst. Dieses Wesen lebt von der Lebensenergie, die sterbende Wesen im Todeskampf abgeben, und hat deswegen jeden verfügbaren Planeten in eine Dschungelwelt verwandelt, indem die Umlaufbahnen korrigiert und die urzeitlichen Flora und Fauna per Teleportation hinzugefügt wurde. Doch das Wesen ist gewachsen und hat jetzt einen Umfang, das die Dschungelwelten einer ganzen Galaxis nicht mehr

ausreichen, seinen Energiehunger zu stillen. Es will mehr, und erfahren, woher das eindringende Raumschiff kommt. Es versucht deshalb, die Space Beagle zur Umkehr zu bewegen und zu deren Ursprungsgalaxis aufzubrechen...

8. Europa Report (Film)

Es geht um die Mission Europa One, die erste bemannte Expedition zu Europa, dem viertgrößten Mond des Planeten Jupiter. Europa One soll nach Spuren von Leben suchen, das im Ozean unter der Eiskruste des Mondes vermutet wird.

Kurz nach der Landung bemerkt der Chefsingenieur ein seltsames Licht außerhalb des Schiffes. Eine Sonde, die durch eine Bohrung im Eis in den Ozean geschickt wird, wird von einem hell leuchtenden Objekt getroffen und verliert den Kontakt zur Besatzung. Die Meeresbiologin betritt die Oberfläche von Europa, um Bodenproben zu analysieren, und entdeckt in einer Eisprobe einfache Lebensformen. Plötzlich taucht unter ihr ein Licht auf, sie bricht in das Eis ein und verschwindet. Die übrige Besatzung beschließt daraufhin die Heimreise anzutreten. Beim Start kommt es jedoch zu Problemen mit den Triebwerken.

Das Schiff erleidet an einer Stelle, an der das Eis wesentlich instabiler ist, eine Bruchlandung und der Captain verletzt sich tödlich. Das Schiff ist schwer beschädigt, die Überlebenden drohen zu erfrieren. In Anbetracht der aussichtslosen Lage gelingt es dem Chefsingenieur, die Kommunikationseinheit zu reparieren, indem er Teile des Lebenserhaltungssystems dafür verwendet. Er bemerkt, dass nun das gesamte Schiff von den Lichtern umringt ist und zusammen mit ihm einzubrechen beginnt.

Die Pilotin kann die Kommunikation mit der Erde wiederherstellen und übermittelt alle Aufzeichnungen der Mission. Ihren unvermeidlichen Tod vor Augen, möchte sie noch einen letzten Blick auf die Lebensformen werfen. Während das Schiff im Wasser versinkt, öffnet sie die Luftschleuse, woraufhin das Wasser in den Innenraum strömt. Das letzte Bild der Kamera im Innenraum des Schiffes zeigt ein krakenartiges Wesen mit biolumineszenten Körperteilen. Trotz des Verlustes der Besatzung wird die Mission auf der Erde aufgrund der bahnbrechenden Entdeckung als erfolgreich angesehen.

9. Der Sternenschöpfer (Olaf Stapeldon)

Dieser absolut empfehlenswerte Klassiker wimmelt nur so von ausserirdischen Lebensformen, und das meiste diene für die in den letzten 90 Jahren erschienenen SF als Steinbruch der Ideen, seien es Kollektivintelligenzen, Superintelligenzen oder die verschiedenen Formen der Evolution. Die seltsamste Intelligenz aber sind Gaswesen, die sich unter und auf der Oberfläche der Sonnen tummeln, und am Ende Teil der entstehenden Superintelligenz werden, die ihrem Schöpfer entgentreten will...

Fazit:

Schon Hoimar von Ditfurth (wer kennt ihn noch...?) hat in seinem Tb „Zusammenhänge“ (1977) geschrieben: „Ein besonders interessantes Beispiel bildet eine Entdeckung des letzten Jahres, die so gut wie unbeachtet geblieben ist: Schon vor der Entstehung eines Pflanzenkleides muss die Uratmosphäre der Erde geringe Spuren von Sauerstoff enthalten haben, der durch die zunächst ungehindert einfallende ultraviolette Strahlung der Sonne an der Oberfläche der Meere abgespalten wurde. Zusammen mit dem Sauerstoff entstanden aber auch geringe Mengen von Ozon, und Ozon filtert ultraviolettes Licht ab. Es lässt sich nun berechnen, das sich durch diesen selbst regulatorischen Prozess ein Gleichgewichtszustand einpendelte, der einen Sauerstoffgehalt von ziemlich genau 0,1% des heutigen Wertes zur Folge hatte. Das aber ist eine höchst bemerkenswerte, eine in gewisser Hinsicht sogar einzigartige Zahl. Den der einem solchen Sauerstoffgehalt entsprechende Ozon- und Wasserstoffanteil der Atmosphäre bildete einen UV-Filter, der gegen die chemisch aufspaltende Strahlung in erster Linie in dem relativ schmalen Frequenzband zwischen 2600 und 2800 Angström abschirmt. Das ist aber genau der Bereich, innerhalb dessen Proteine und Ribonukleinsäuremoleküle UV-Strahlung gegenüber am empfindlichsten sind! Im ersten Augenblick hat es folglich den Anschein, als ob hier durch eine wahrhaft beispiellose Kette einmaliger Zufälle genau das

höchst spezifische physikalisch-chemische Milieu erzeugt worden wäre, das allein die Entstehung der beiden wichtigsten Bausteine allen Lebens auf der Erde ermöglichen konnte. Aber ehe wir nun verblüfft an dem Geheimnis dieser seltsamen Fügung rumrätseln, sollten wir uns auch hier der eingangs zitierten Tendenz erinnern, die uns stets dazu verführen will, die Welt so zu sehen, als kulminierte alle ihre Entwicklungen in uns. Wenn wir die durch diese anthropozentrische Zwangsvorstellung bewirkte perspektivische Verzerrung aus dem Bild eliminieren, erkennen wir, dass wir auch hier schon wieder in Gefahr waren, den Anlass für unser Staunen an einer falschen Stelle zu suchen. Die Zusammenhänge sind in Wirklichkeit ohne Frage genau umgekehrt zu sehen. Die Entdeckung über die Zusammensetzung der irdischen Uratmosphäre lässt nur eine Deutung zu: Ganz offensichtlich ist die Erde nicht etwa deshalb mit Leben erfüllt, weil ausgerechnet sie – oder womöglich gar allein sie – zufällig gerade die außerordentlich engen und höchst spezifischen Bedingungen erfüllte, die allein die Entstehung von Leben ermöglichten, sondern deshalb, weil die Hervorbringung von Leben eine so universale Potenz der Natur darstellt, dass sie das Leben auch unter extremen Bedingungen verwirklichen kann, selbst unter den so spezifischen und ausgefallenen Bedingungen, wie sie auf der Oberfläche unseres Planeten herrschen.“

Dem ist nichts hinzuzufügen.

Fred Körper

zusammengestellt unter Zuhilfenahme der folgenden Quellen:

<http://scienceblogs.de/hier-wohnen-drachen/2010/11/27/buchtipp-das-drachenei/>

<https://www.phantastik-couch.de/titel/2689-die-expedition-der-space-beagle/>

<https://www.spiegel.de/spiegel/print/d-41760578.html>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Andromeda_\(Roman\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Andromeda_(Roman))

[https://de.wikipedia.org/wiki/Andromeda_-_Tödlicher_Staub_aus_dem_All_\(1971\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Andromeda_-_Tödlicher_Staub_aus_dem_All_(1971))

https://de.wikipedia.org/wiki/Die_letzte_Generation

https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_Report

https://de.wikipedia.org/wiki/Alien_-_Das_unheimliche_Wesen_aus_einer_fremden_Welt

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/eismonde-wie-forscher-im-all-nach-leben-suchen-a-1228084.html>

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/entdeckung-in-der-tiefsee-an-den-schloten-der-hoelle-a-807098.html>

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

<https://www.heise.de/tp/features/Exobiologische-NASA-Mission-zum-Eismond-3367182.html>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Enceladus_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Enceladus_(Mond))

[https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_(Mond))

[https://de.wikipedia.org/wiki/Raucher_\(Hydrothermie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Raucher_(Hydrothermie))