

Kann das Leben aus dem All kommen?

Teilnehmer:

BRASS Paul (15)

SCHNITZLER Marie Pacale (14)

DÜRRSCHMIDT Andre (14)



Abb. 1: Foto vom Start der Sonde am 5.10.2018 Schulhof des HGH

Schule: Helmholtz-Gymnasium Hilden

Projektbetreuer:

Katharina Ebell

Bernhard Osterwind

Fachgebiet: Biologie

Wettbewerbssparte Schüler experimentieren

Bundesland: Nordrhein-Westfalen

Wettbewerbsjahr: 2019

Kurzfassung

„Kann das Leben aus dem All kommen?“ Dies ist die Fragestellung, mit der wir uns über ein Jahr lang in unserer Jugend forscht-Arbeit beschäftigt haben, um zu überprüfen, ob die Hypothese, dass das erste Leben mit Meteoriten auf die Erde gebracht wurde, also extraterrestrischen Ursprungs ist, trotz der extremen Strahlung im All überhaupt möglich wäre.

Die Idee zu dieser Arbeit ist aufgrund eines schulinternen Wettbewerbs aufgekommen, in dem die Schülerschaft aufgerufen war, Experimente für einen geplanten Stratosphärenflug bis 39 km Höhe vorzuschlagen.

Zusammen und mit Hilfe von Herrn Dr. Peist überlegten wir uns erste Konzepte zu dieser Fragestellung. Der Plan war mit Hilfe von Bakterien, die in unterschiedlichem Grad abgeschirmt wurden, zu testen, ob und wie gut Lebensformen in der Stratosphäre überleben können.

Die sehr starke Höhenstrahlung (kosmische Strahlung) in der Stratosphäre soll uns näherungsweise Bedingungen wie im All bieten. Die schlussendliche Fragestellung ergab sich erst im Laufe der Erarbeitungsphase und auch der Versuchsaufbau änderte sich bis zum Flug noch einige Male, da wir häufig die theoretischen Möglichkeiten unseren tatsächlichen Möglichkeiten anpassen mussten. Dazu gehört z.B. die starke Gewichtseinschränkung auf unserem Flug.

Wir entschieden uns letztendlich für die Verwendung eines *E. coli* Stammes, zum Teil durch Basalt geschützt. Wir wollen also testen, ob diese Bakterien, durch Gestein geschützt, die Strahlungsbedingungen, niedrige Temperatur sowie niedrige Druckbedingungen überleben können.

Um das Ergebnis des Versuchs auf die Bedingungen des Stratosphärenfluges zurückführen zu können, überlegten wir uns eine Reihe von Kontrollmessungen. Leider unterlief uns dabei wohl ein methodischer Fehler. Außerdem können wir den absoluten Messwerten nicht trauen, was allerdings für die Auswertung des Versuches keine Rolle spielt, da wir nur auf die Verhältnisse angewiesen sind. Diese relativen Messergebnisse zeigen aber eine gute Übereinstimmung mit unserer Vermutung, dass Gestein eine hohe Wirksamkeit hat, das Überleben von einfachen Lebensformen unter diesen lebensfeindlichen Bedingungen deutlich zu erhöhen. Auch haben wir den Zusammenhang mit den extrem niedrigen Temperaturen erfassen können.

Wir werden Vorschläge machen, wie das Experiment im Wiederholungsfall verbessert werden kann.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Vorgehensweise, Materialien und Methoden	5
2.1. Planung des Versuchsaufbaus.....	5
2.2. Praktische/theoretische Arbeiten zur Hülle.....	6
2.3. Finaler Versuchsaufbau und Kontrollen	7
2.4. Praktische/theoretische Arbeiten im Labor und der Stratosphärenflug	8
2.5. Auswertung der Ergebnisse	10
3. Ergebnisse	11
3.1. Allgemeine Flugdaten	11
3.2. Darstellung der Ergebnisse	12
4. Ergebnisdiskussion	14
4.1. Erkenntnisse aus den Ergebnissen	14
4.2. Fehler	15
4.3. Fazit aus den Ergebnissen und Fehlern	16
4.4. Ähnliche Entdeckungen	16
4.5. Verbesserungsvorschläge und weitere Experimente.....	17
5. Zusammenfassung	17
6. Quellen- und Literaturverzeichnis	18
6.1. Bildernachweis.....	18
6.2. Internetquellen	18
6.3. Literatur.....	20

1. Einleitung

Kann der Ursprung irdischen Lebens tatsächlich mit Meteoriten auf die Erde gebracht worden sein?

Im 19. Jahrhundert entstand, durch die biologische Evolutionstheorie von Charles Darwin und das Experiment zur Urzeugung von Louis Pasteur, die Frage nach der Herkunft der ersten Lebewesen auf der Erde. Es gab viele Theorien, unter anderem auch die Theorie der Abiogenese, bei der eine unbekannte Mischung anorganischer Substanzen (Ursuppe), die Entstehung von Leben ermöglichen soll. Dagegen formulierten Wissenschaftler, wie Hermann von Helmholtz, Jöns Jakob Berzelius, Louis Pasteur, Hermann Richter und Lord Kelvin, Gedanken ähnlich der Panspermie-Theorie¹. Die Theorie besagt, dass einfache Lebensformen sich z.B. mit Kometen/Meteoriten über große Distanzen im Weltall bewegen können und somit durch einen Meteoriteneinschlag, die „Saat“ für das Leben auf die Erde gekommen wäre. An Meteoriten anhaftende Lebensformen oder z.B. DNS Stücke stammen von Bruchstücken (ehemals?) bewohnbarer Planeten anderer Sonnensysteme.

Wir wollten herausfinden, ob die Entstehung des Lebens laut der Panspermie-Theorie überhaupt möglich sei, denn eigentlich müsste allein schon durch die energiereiche Höhenstrahlung alles Lebende zerstört werden. Wie sollen es dann einfache Lebensformen, oder auch nur DNS-Stücke geschafft haben, unbeschadet auf die Erde zu gelangen? Dies geht nur mit einem Schutz, welcher die Höhenstrahlung abhält. Mit dieser Vermutung stellten wir uns die Frage, was dieser Schutz gewesen sein könnte. Schnell kamen wir zu dem Ergebnis, dass es am logischsten wäre, dass dieser natürlicherweise in Meteoriten zu finden sein müsste, demnach eventuell Meteoritengestein diesen Schutz darstellte. Falls wir in unserem Versuch feststellen könnten, dass das Gestein eine schützende Wirkung hat, dann wäre die Entstehung des Lebens laut der Panspermie-Theorie zumindest nicht unmöglich.

Anfang 2018 beschloss unsere Schule einen Stratosphärenflug zu planen und durchzuführen. Ziel war es, dass möglichst viele Schüler und Kurse in verschiedenen Bereichen an diesem Flug planend und durchführend teilnehmen konnten. Außerdem sollte den Schülern die Möglichkeit gegeben werden, ihr eigenes Experiment mit in die Höhe schicken zu können. Dafür wurde innerhalb der Schule ein Wettbewerb gestartet, um das/die bestmögliche/n Experiment/e zu ermitteln. Die Kriterien waren relativ offen gesetzt; es sollte nur im besten Fall möglichst leicht, billig und natürlich erfolgsversprechend sein. Wir hatten von Anfang an den Plan, an diesem Flug beteiligt zu sein und beschäftigten uns deshalb mit Möglichkeiten für ein Experiment.

Schnell wurde klar, dass das Experiment die Höhenstrahlung und die sonstigen lebensunfreundlichen Verhältnisse in 39 km Höhe zum Gegenstand haben sollte. Unser simpler Plan war es deshalb, irgendetwas Lebendiges auf unterschiedliche Arten geschützt mit dem Stratosphärenballon in große Höhe zu befördern und zu untersuchen, wie sich die extremen Bedingungen darauf auswirken.

Die Idee hierfür, die bereits viel erforschten *Escherichia coli* (*E. coli*) Bakterien zu verwenden, wurde von Herrn Dr. Peist, dem Vater von Paul, ins Spiel gebracht. Wir fanden an der Verwendung dieses einfachen Organismus Gefallen und der Grundstein für unser Experiment war gelegt. Nachdem wir uns ausgiebig über die für uns bisher unbekanntes Thematik informiert hatten und den Möglichkeiten, die Überlebensrate von Bakterien zu messen, fokussierten wir uns auf die Fragestellung, wie sie im Titel unserer Arbeit zum Ausdruck kommt. Herr Osterwind berichtete uns von der Theorie, dass das erste Leben auf der Erde durch Meteoriten aus dem All auf die Erde gekommen sein könnte. Die Erde also praktisch mit einfachen Lebensformen oder mindestens DNS „geimpft“ wurde. Die Entstehung der ersten Zelle müsste auf evolutionärem Weg eigentlich ein sehr komplizierter Vorgang gewesen sein, welcher demzufolge eine lange Zeit in Anspruch genommen hätte. Tatsächlich traten erste Zellen schon recht früh auf der besiedelbaren Erde auf. Sofort stellten wir uns die Frage, ob die Besiedelung der Erde, trotz der starken Höhenstrahlung im All überhaupt möglich gewesen wäre, und wir beschlossen diese Frage durch unser Experiment

¹ <https://www.sapereaudepls.de/2016/09/07/panspermie/>

zu überprüfen. Wenn das Leben aus dem All gekommen sein soll, dann müssten einfache Lebensformen z.B. in oder auf Meteoriten der kosmischen Strahlung lange Zeit stand gehalten haben. Die Proben halten mit dem Stratosphärenflug nur relativ kurz in Bereichen sehr starker Höhenstrahlung auf. Wir können mit unserem Experiment also keineswegs den Beweis für die Herkunft des Lebens aus dem All führen, wohl aber im Fall des Scheiterns (= Bakterien überleben den Stratosphärenflug nicht) zumindest die außerirdische Herkunft begründet in Zweifel ziehen.

Das Experiment ist so aufgebaut, dass die *E. coli* Bakterien mit Meteoritengestein geschützt, zum einen in die Stratosphäre, zum anderen vergleichend auf der Erde exponiert werden. Der Vergleich der Proben sollte ermöglichen, den Einfluss der Bedingungen während des Stratosphärenfluges abzuschätzen. Um die mögliche Schutzwirkung durch Meteoritengestein zu simulieren, wählten wir eine Hülle aus Basaltsplitt.

2. Vorgehensweise, Materialien und Methoden

2.1. Planung des Versuchsaufbaus

Bevor wir uns überhaupt genauerer Gedanken zu unserem geplanten Projekt machen konnten, mussten wir uns erst mal mit der für uns unbekanntem Thematik des Ausbaus der DNS, Höhenstrahlung, Meteoriten, Aufbau der Atmosphäre und Durchführung eines Stratosphärenfluges machen. Wir orientierten uns dabei an der Fragestellung: Kann Leben aus dem All gekommen sein? Hierfür recherchierten wir im Internet, berechneten Flugdaten, nutzten Biologie- und Sachbücher und ließen uns Teile von unserem Projektbetreuer und Biologielehrer Herrn Osterwind im Fach Praktische Naturwissenschaft erklären.

Methode, Zielsetzung und experimentelle Rahmenbedingungen (Stratosphärenflug) standen in einer sich gegenseitig ständig verändernden Beziehung, was zu einer enormen „Dynamik“ führte, welche im Rahmen dieser kurzen Arbeit nicht detailliert beschrieben werden kann.

Da wir uns schon einen groben Plan zum Experiment ausgedacht hatten, bevor wir überhaupt unsere abgeleitete Fragestellung (können Bakterien die Bedingungen in 39.000 m Höhe überleben?) präzisiert hatten, mussten wir unseren Versuchsaufbau nochmals u.a. wegen des nur geringen Frachtgewichtes überarbeiten. Allerdings war das im Laufe unserer Arbeit sowieso häufiger der Fall durch einige nicht sofort bedachte oder neu auftretende Probleme.

Zu Beginn war geplant, ein Plasmid (Klonierungsvektor) in einer noch nicht definierten Schutzhülle, mit der Sonde in die Stratosphäre schicken. Dieses Plasmid wird üblicherweise zur Blau-Weiß-Selektion bei Klonierungen verwendet. Hierfür wird das Plasmid in dem bereits umfangreich erforschten Darmbakterium *Escherichia coli* (*E. coli*) eingefügt. Es codiert unter anderem das Gen für eine beta-Galaktosidase (LacZ Gen). Wenn das Plasmid erfolgreich eingefügt wurde, ist das Bakterium in der Lage, das beta-Galaktosidase Protein zu bilden. Das Protein spaltet den eigentlich farblosen Stoff X-Gal, wodurch er sich und damit das ganze Bakterium, blau färbt. Wenn das Plasmid und damit das beta-Galaktosidase Gen durch die Höhenstrahlung mutiert wäre, könnte das Bakterium den Farbstoff nicht spalten und würde weiß bleiben. Der Farbstoff wäre in dem Platten-Nährmedium, auf dem die Bakterien mit Plasmid ausgesät worden wären enthalten gewesen. Da auf dem Plasmid zusätzlich eine Antibiotikaresistenz vorhanden ist, wäre zusätzlich garantiert, dass Bakterien ohne Plasmide kaum überleben würden, da der ausgesuchte Bakterienstamm an sich keine Resistenz besitzt.

Die Idee war, den Bakterienstamm, der das Plasmid enthält, mit dem Höhenballon in die Stratosphäre zu schicken. Leider wies dieses erste Konzept ein Problem auf. Es verstößt gegen die

Gentechnik-Sicherheitsverordnung genetisch modifizierte Bakterien außerhalb eines speziell darauf eingestellten Labors aufzubewahren, oder zu riskieren, dass diese in die Natur gelangen.

Das daraufhin entwickelte Konzept, die Plasmide außerhalb der Bakterien in die Stratosphäre zu schicken, hätte keinen Verstoß gegen die Gentechnik-Sicherheitsverordnung bedeutet. Hierbei hätte die Möglichkeit bestanden, dass eine Vielzahl andere Teile in dem Plasmid mutieren, die Blau-Weiß-Selektion jedoch trotzdem möglich gewesen, sodass am Ende trotz höherer Mutationsrate der sichtbare Effekt niedriger gewesen wäre. Mutation (Veränderung der DNS) ist ja in diesem Fall ein zufälliges und nicht gezieltes Ereignis. Das ist allerdings ein grundsätzliches Problem, denn man benutzt die Messung eines Mutationereignisses nur als Indikator einer insgesamt wahrscheinlich wesentlich höheren Mutationszahl. Natürlich „arbeitet“ das Plasmid dann auch nicht mehr, wenn z.B. der gesamte Organismus stirbt. Außerdem ist das „Einpflanzen“ der Plasmide in die Bakterien relativ aufwändig und es gibt hohe experimentelle Fehlerraten, die nur sehr aufwändig zu minimieren gewesen wären.

Letztendlich entschieden wir uns für die Variante, auf die Blau-Weiß-Selektion zu verzichten und stattdessen lediglich *E. coli* Bakterien² hochzuschicken. Hieraus ergab sich ein weiteres zu lösendes Problem: *E. coli* Bakterien, werden im Gegensatz zu den aus DNS bestehen Plasmiden³ durch Temperaturen unter dem Nullpunkt möglicher Weise geschädigt oder sind zumindest weniger in der Lage sich zu teilen. Wir mussten also einen Weg finden die Bakterien vor der Eiskristallbildung, welche die Biomembran schädigen und die in der Regel in wässriger Lösung stattfindenden Lebensvorgänge behindert, durch die Kälte zu schützen. Die Idee war, die Bakterien und eine entsprechende Kontrolle nach dem Flug verdünnt auf Agar-Platten (Plastikschälchen gefüllt mit ein Nährmedium, welches die Bakterien gut wachsen lässt) auszusäen (ausplattieren). Danach wollten wir sie über Nacht wachsen lassen, sodass die einzelnen Bakterien auf kleine, jedoch mit dem bloßen Auge zu zählende (!), Kolonien heranwachsen würden. Die von der Temperatur oder Höhenstrahlung zu stark geschädigten Bakterien würden nicht mehr in der Lage sein, sich zu teilen, sodass man sie nicht sehen könnte. Da man die ausplattierte Zahl der Bakterien je nach Verdünnung relativ genau bestimmen kann, würde man bei der Auswertung erkennen, wie viele Bakterien, nachdem sie in Kontakt mit der Strahlung und der Kälte waren, noch in der Lage waren zu wachsen. Somit könnte man dann die Wirkung der verschiedenen Schutzhüllen vergleichen, und feststellen, ob und ggf. unter welchen Bedingungen vitale Bakterien in großer Höhe überleben.

2.2. Praktische/theoretische Arbeiten zur Hülle

Meteoriten bestehen aus verschiedenen Gesteinssorten. 86,9 % alle Meteoriten sind Chondriten, welche eine Unterkategorie der Steinmeteoriten sind. Weitere 7,9% sind Achodriten, ebenfalls eine Unterkategorie der Steinmeteoriten. Die restlichen 5,2% sind Eisen oder Stein-Eisen Meteoriten, demnach sind 94,8% der Meteoriten vollwertige Gesteinsmeteoriten.⁴ Diese bestehen allem voran aus Magmagestein wie Gabbro und Peridotit.⁵ Da die Eigenschaften von Gabbro ähnlich dem Basalt sind,⁶ und auch Peridotit in Basalt vorkommt, haben wir uns dazu entschlossen, den leichter verfügbaren Basalt als Testhülle zu nutzen.

² E.coli Stamm: W1485 (F+ met str, T1s T6s lambda-. A lambda- derivative of Escherichia coli strain K12)

³ <https://de.serlo.org/biologie/genetik-gentechnik/gentechnik-methoden-anwendung/gentechnische-veraenderung-bakterienzellen>

⁴ http://www.meteoroids.de/wiss_met_a.htm

⁵ <http://www.steine-und-minerale.de/artikel.php?topic=2&ID=302>

⁶ <http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=3&l=G&name=Gabbro>

Klar war, dass unser Hauptaugenmerk auf die Basaltproben gerichtet sein musste. Konnten Bakterien im All überleben, weil ihnen Gesteine ähnlich dem Basalt einen Schutz vor der kosmischen Strahlung bieten? Unsere Aufgabe war also, Basalt so zu „formen“, dass er die Bakterien schützt.



Abb. 2: Foto von Basalthülle

Zur Herstellung dieser artifiziellen Schutzhüllen setzten wir uns mit Herrn Dr. Pleschinger, der Techniklehrer an unserer Schule ist, zusammen. Er kennt sich mit Baustoffen verschiedenster Art aus und ist selber sehr erfahrener Betreuer von Jugend forscht Arbeiten. Wir wollten die Schutzhüllen mit drei verschiedenen Schichtdicken von 2,5 mm, 5 mm und 10 mm gestalten, um einen Wirkungsgradienten ablesen zu können. Nach einiger Überlegung stellten wir fest, dass unsere beste Chance darin bestehen würde, aus handelsüblichem reinen Basaltsplitt und einem Kleber, einen Zylinder mit Loch für ein 0,2 ml Eppendorf Reaktionsgefäßes (Eppi) zu formen. In diesem Eppi würden sich die Bakterien befinden., Den Zylinder würden wir dann mit einem ebenfalls zylindrischen Deckel aus demselben Material verschließen. Dieses Vorgehen testeten wir in einigen Versuchen mit unterschiedlichen Klebern, Formen und Techniken. Schließlich gelang es uns eine Hülle mit Loch für das Eppi, samt Deckel mit Hilfe eines speziellen PU Klebstoffes CSR-ZB079, welcher aus der Autoindustrie stammt, herzustellen⁷. Allerdings gelang uns das nur für die 10 mm Schichtdicke, da bei den andern die Wände nicht dick/stabil genug waren und zerbrachen. Nach dem Trocknen versuchten wir die Hüllen so gleichmäßig wie möglich abzuschleifen. Da wir wegen mangelnder Gewichtskapazitäten keine noch dickeren Gefäße verwenden konnten, blieben uns letztendlich nur noch die 10 mm Proben. Für die Variante bei der sich die Bakterien auf/in dem Basalt befinden, hielten wir es für das Beste, in die Eppis etwas sterilisierten Basalt zu geben.

2.3. Finaler Versuchsaufbau und Kontrollen

Um ein möglichst eindeutiges Ergebnis zu bekommen, überlegten wir uns eine Reihe von Kontrollen:

- Um der Gefahr vorzubeugen, dass eines der Eppis nicht richtig verschlossen wäre oder ein anderer Fehler unterlaufen wäre, entschieden wir uns dazu alle Proben doppelt zu haben.
- Wir bereiteten das gleiche Experiment mit möglichst gleichen Bedingungen, für denselben Zeitraum vor. Dies Proben sollten auf der Erde verbleiben um zu prüfen, wie sich die Bakterien unter Normalbedingungen (gerade herrschendes „Normalwetter auf der Erdoberfläche“) auf dem Erdboden verhalten.
- Da wir nicht riskieren wollten, dass möglicherweise alle Bakterien wegen der Kälte sterben, versetzten wir einige Proben mit Dimethylsulfoxid (DMSO), was die Kristallbildung in wässriger Lösung beim Einfrieren verhindert. Natürlich hatten wir auch hier eine Kontrolle um zu überprüfen, ob und welchen Unterschied dieses Mittel macht, wenn es Kontrollprobe am Boden zugefügt wird.

⁷ https://www.amazon.de/CSR-Automotive-Elch-Pro-1K-PU-Kleber-CSR-ZB079/dp/B00FYR6V7A/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1547372804&sr=8-1&keywords=elch+p1

Letztendlich entschieden wir uns für folgende Proben:

Erdproben (im Folgenden Kontrollproben genannt)		Flugproben	
Buchstabe	Inhalt	Buchstabe	Inhalt
A	Basalt innen 1	L	Basalt innen 1
B	Basalt innen 2	M	Basalt innen 2
C	Basalt innen 1	N	Basalt innen 1
D	Basalt innen 2	O	Basalt innen 2
E	ohne alles 1	P	ohne alles 1
F	ohne alles 2	Q	ohne alles 2
G	ohne alles 1	R	ohne alles 1
H	ohne alles 2	S	ohne alles 2
I	Alu	T	Alu 1
J	Basalt 1	U	Alu 2
K	Basalt 2	V	Basal 1
		W	Basalt 2

Abb. 3: Tabelle mit Übersicht der Proben

Legende	
XXXXX	Mit DMSO
XXXXX	für das Experiment unwichtig und nicht ausgewertet
XXXXX	Plasmide (Absicherung)
Ohne alles	Komplett ungeschützte Proben
Basalt innen	Proben mit Basalt in den Eppis
Basalt	Proben in Basalt-hülle

Im weiteren Verlauf werden die Proben immer mit den oben zu sehenden Buchstaben genannt. Außerdem werden die Farben: rot=Kontrollen, blau=Flugproben beibehalten. Wegen der Doppelbestimmung bezeichnen zwei Buchstaben jeweils identische Proben [AB, CD, EF, GH, JK, LM, NO, PQ, RS, VW]. Im Folgenden werden diese Pärchen Doppelbestimmungen genannt.



Abb. 4: Foto vom Gießen der Platten

2.4. Praktische/theoretische Arbeiten im Labor und der Stratosphärenflug

Jetzt, da wir den genauen Versuchsaufbau vor Augen hatten, mussten wir nur noch auf den Stratosphärenflug warten. Eine Woche vor dem Flug begannen wir mit den Vorbereitungen. Standort all unserer Arbeiten im Zusammenhang mit den Bakterien war der, mit einem großen Standort in Hilden vertretene, Bio-Tech Konzern QIAGEN GmbH. Zugang hierzu verschaffte uns ebenfalls Herr Dr. Peist, der dort in der Forschung und Entwicklung tätig ist. Ohne die professionelle Unterstützung und die Bereitstellung der speziellen Gerätschaften, sowie die Übernahme sämtlicher Forschungskosten, die sich auf mehrere Hundert Euro beliefen, wäre das ganze Projekt so nicht möglich gewesen.

Bei unserem ersten Besuch im Labor am 4. Oktober, also einen Tag vor dem Flug, haben wir die sogenannten Agar-Platten gegossen, auf denen wir nachher die Bakterien ausplattieren und wachsen lassen würden, sodass man sie am Ende mit bloßem Auge zählen können würde.

Allgemein versuchten wir selbstverständlich so viele Schritte wie möglich selbst zu machen. Hierbei wurden wir wiederum von Herrn Dr. Peist unterstützt und angeleitet. Nach einer Laborsicherheitsschulung konnte die praktische Arbeit beginnen. Das Gießen der Agar-Platten war einer der einfacheren Schritte, da das bereits fertig gekaufte Nährmedium-Pulver Agar Mischung in Wasser gelöst und in einem Dampfsterilisator sterilisiert wurde. Dann wurde die abgekühlte Flüssigkeit aus den Flaschen in runde Plastikplatten (Petrischalen) gegossen. Beim Abkühlen verfestigt sich der Agar wieder und es entsteht eine dreidimensionale Nährbodenmatrix auf der die Bakterien wachsen können. Sehr wichtig war es allerdings bei jedem Schritt, sowie bei den späteren Arbeiten im Labor, nichts zu berühren und möglichst sauber zu arbeiten (Steriles Arbeiten), da fremde Bakterien die Platte unbrauchbar gemacht hätten. Die Platten haben einen Deckel, der den Inhalt zwar schützt, jedoch nur lose aufgelegt ist, sodass problemlos Luft ins Innere gelangen kann. Nach dem Gießen ließen wir die Platten zum Erhärten stehen. Nach einigen Stunden wurden sie dann in den Kühlraum gestellt.

Als nächstes begannen wir bereits mit dem Abfüllen der Bakterien. Verwendet wurde der Stamm W1485, welcher über Nacht bei 37°C in LB-Medium angezogen wurde. In jedes Eppendorfgefäß wurden steril je 100 µl der „Übernacht“ (ÜN)-Kultur überführt. Einige der entsprechend gekennzeichneten Proben wurden mit 7% DMSO versetzt. Zu Proben, die nicht mit DMSO versetzt wurden, wurden weitere 7 µl LB Medium zugegeben. Um alle löslichen Verunreinigungen aus dem Basaltsand zu entfernen, wurde dieser mehrmals in destilliertem Wasser gewaschen. Dann wurde er 1-mal mit Ethanol gewaschen. Letzteres wurde mit Aqua dest. ausgewaschen. Mit diesen Basaltkörnern wurden einigen Eppendorf Reaktionsgefäße befüllt. In jedes Eppendorfgefäß wurden steril je 100 µl der ÜN-Kultur +/-DMSO gegeben. Alle Proben wurden über Nacht im Kühlschrank gelagert. Damit wir die Proben nachher noch unterscheiden konnten, wurden diese entsprechend markiert und wir notierten uns selbstverständlich genauestens die Anordnung/Markierung der Proben. Aus praktischen Gründen zur Befestigung nutzten wir hier, natürlich abgesehen von den Basaltproben, 0,2 ml Eppendorf Reaktionsgefäße in 12 Streifen anstatt einzelner Gefäße. Alle Proben wurden über Nacht im Kühlschrank gelagert.



Abb. 5: Foto von den „abgefüllten“ Bakterien

Damit hatten wir, bis auf die Befestigung an der Sonde, alle Vorbereitungen für den Flug und das Experiment getan. Der Start der Sonde war für den 5. Oktober um 8: 15 Uhr geplant. Wir kamen allerdings schon deutlich früher in die Schule, um das Kontrollexperiment vorzubereiten, sowie um die Flugproben mit Hilfe von Tau/Schnur und Drähten an der Oberseite der Sonde zu befestigen. Der Flug startete pünktlich und zur selben Zeit stellten wir die Kontrollproben nach draußen. Der Flug verlief unproblematisch, bis auf die Tatsache, dass der Ballon etwas zu früh patzte (oberhalb von Meschede) und deshalb anstatt den geplanten 39000 Höhenmetern nur 34624 m erreichte. Der WDR hat in seinem Bericht den enormen Aufwand, den viele Schülergruppen bei der Realisierung des Fluges hatten, schön dokumentiert⁸. Bei der Landung verfiel sich die Sonde allerdings im ca. 170 km entfernten Stormbruch in einer Fichte, sodass das Bergungsteam auf die Hilfe des Försters angewiesen war, was die Rückkehr zur Schule verzögerte. Sobald das Experiment durch die Bergungsteams die Schule wieder erreichte (ca. 19:00 Uhr), wurden alle Proben, (Flugproben sowie die Kontrollproben) sofort in einen Kühlschrank gelagert, was die weitere Entwicklung der Bakterien bestmöglich aufhielt.

⁸ <https://www1.wdr.de/mediathek/video/sendungen/lokalzeit-duesseldorf/video-duesseldorfer-schueler-starten-ins-weltall--100.html>

2.5. Auswertung der Ergebnisse

Dort blieben sie für ca. 70 h bis zum darauffolgenden Montag, dem 8. Oktober stehen, da wir über das Wochenende keinen Zugang zu einem Labor hatten. Am Montag fuhren wir dann mit den Proben wieder zu QIAGEN, wo wir diese verdünnten und ausplattierten. Da wir nicht wussten, wie viele der Bakterien überlebt hatten, überlegten wir uns eine Reihe von Verdünnungen, um den auswertbaren Bereich zu ermitteln. Wenn mehr als 1.000 Bakterien auf einer Platte wachsen ist ein Auszählen sehr aufwändig, weshalb man nicht zu viele lebende Bakterien auf einer Platte haben darf. Nimmt man allerdings eine zu starke Verdünnung, sieht man am Ende gar keine Überlebenden. Deshalb wählten wir bei den Flugproben Verdünnungen, die zu ca. 1.000 (10^8 -fach verdünnt), 10.000 (10^7 -fach verdünnt) und 100.000 (10^6 -fach verdünnt) Bakterien pro Platte führen sollten. Bei den Kontrollproben wurden die Verdünnungen so gewählt, dass etwa eine Größenordnung von 100 Bakterien (10^9 -fach verdünnt) und 1000 (10^8 -fach verdünnt) Bakterien pro Platte zu erwarten waren, da wir hier nicht damit rechneten, dass viele sterben würden. Es ist wichtig zu erwähnen, dass es keinesfalls nötig war genau auf die angestrebte Verdünnung zu kommen, da totale Zahlen für unser Experiment nicht wichtig sind, sondern es um Verhältnisse und Vergleiche zwischen den Proben geht. Auch hier wurde von jeder Verdünnung eine Doppelbestimmung durchgeführt. Es wurde somit von jeder Bedingung eine doppelte Doppelbestimmung durchgeführt (4 Platten jeder Verdünnung pro experimentellem



Abb. 6: Foto vom Ausplattieren der Bakterien

Ansatz).

Verdünnt wurde mit dem LB-Medium. Wir arbeiteten mit sehr genauen Laborpipetten, die auf Mikroliter genau sind und auswechselbare Spitzen haben. Nachdem wir die unterschiedlichen Verdünnungen hatten, begannen wir mit dem Ausplattieren. Hierfür gaben wir eine bestimmte Menge der Flüssigkeit auf die Platte, welche sich auf einem drehbaren Untersatz befanden. Dieser wurde dann ange dreht und die Flüssigkeit mit Hilfe eines Plastikspatels gleichmäßig verteilt. Um Material zu sparen nutzten wir pro Probe nur einen Spatel. Damit der Spatel nicht hängengebliebene Flüssigkeit einer höheren Verdünnung auf der nächsten verteilte, plattierten wir von der kleinsten Verdünnung zu größten aus. Als Beschriftung nahmen wir einfach den bereits vorher festgelegten Buchstaben und dann je nachdem ob Probe oder Kontrollproben die Zahlen Eins bis Sechs oder Eins bis Vier für die unterschiedlichen Verdünnungen von klein nach groß.

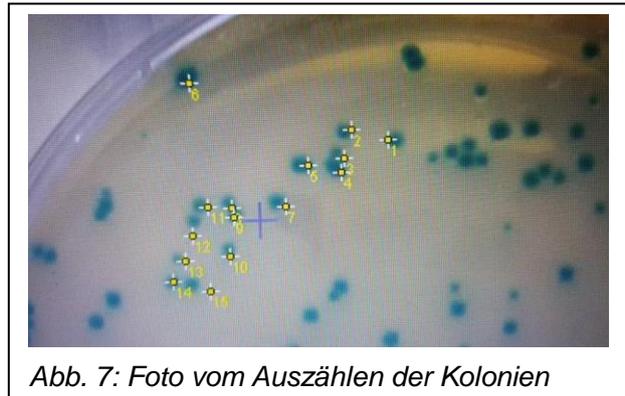


Abb. 7: Foto vom Auszählen der Kolonien

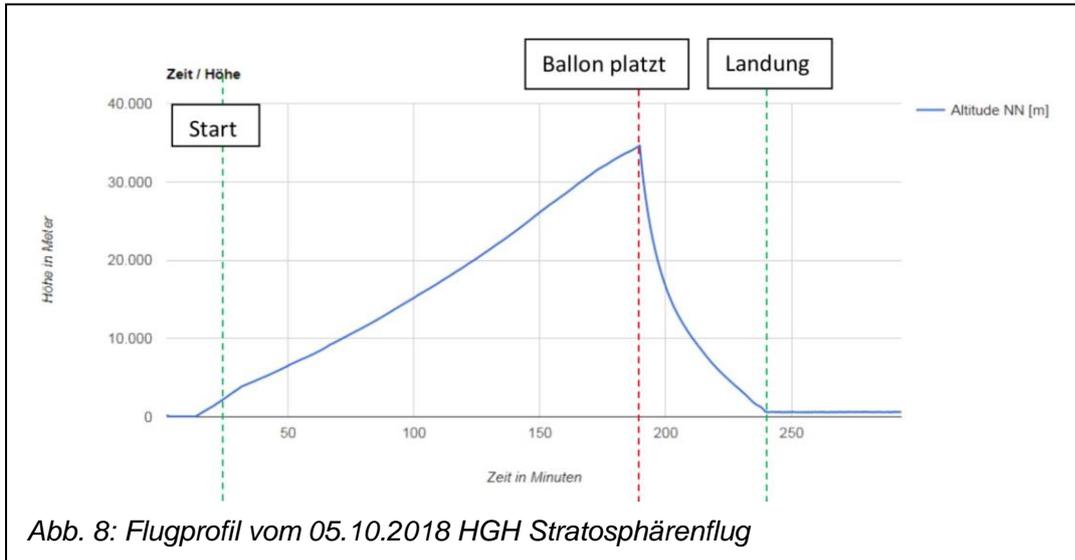
Nach dem Beschriften und Ausplattieren stellten wir die Platten wieder in den Inkubator (Brutschrank) bei 37°C , wo sie genau eine Nacht stehen blieben, damit die Bakterien sich auf gut sichtbare Weise vermehren konnten und die Kolonien kleine Punkte bildeten. Danach wurden sie bis zum Auszählen in einen Kühlschrank gestellt.

Am 10. Oktober kamen wir wieder ins Labor um die Platten zu fotografieren, da das Auszählen einige Zeit dauert. Auf diese Weise hatten wir einige Zeit, die Kolonien bequem Zuhause am Rechner mit dem speziell auf diese Art von Forschung ausgelegten Programm⁹ auszuzählen. Man muss lediglich mit der Maus die einzelnen Kolonien anklicken, welche man mit ein wenig Übung sehr schnell erkennt und auseinanderhalten kann, und das Programm zählt automatisch mit. Beim Fotografieren sortierten wir schon grob die nicht auszählbaren Platten aus.

⁹ <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

3. Ergebnisse

3.1. Allgemeine Flugdaten



Zusammenfassung	
max. Innentemperatur:	35.375 °C
min. Innentemperatur:	-10.875 °C
max. Außentemperatur:	30.375 °C
min. Außentemperatur:	-56.125 °C
max. Höhe:	34623.5 m
max. Geschwindigkeit:	158 km/h
min. Druck:	6.409 hPa
max. Luftfeuchtigkeit (außen):	90.744 %
min. Luftfeuchtigkeit (außen):	0.1 %

Abb. 9: Zusammenfassung der Flugdaten vom 05.10.2018

Die Proben befanden sich also fast 73 Minuten oberhalb von 20.000 m und 27,3 Minuten oberhalb von 30.000 m Höhe. Die Strahlenbelastung durch die sogenannte Höhenstrahlung beträgt auf dem Erdboden ca. 0,3 mSv / a, steigt in 3000 m Höhe auf durchschnittlich 1,1 mSv / a.an.

Bei noch höheren Flügen treten sprunghaft höhere Dosen auf¹⁰, in 20 km Höhe wird der intensivste Strahlungsgürtel durchflogen. „Die größte Strahlungsintensität herrscht in der Atmosphäre in zwei Zonen (also eigentlich zwei Strahlungsgürtel) etwa zwischen 1.000 km und 6.000 km und zwischen 15.000 km und 25.000 km über der Erdoberfläche“¹¹. Ein absoluter Wert kann nicht angegeben werden, da die Strahlungsintensität schwankt.

¹⁰ http://www.fs-ev.de/Nachwuchs/Arbeiten_2013/Projekt_Goethe_Stratos_Hoehenstrahlung.pdf

¹¹ <https://www.wissen.de/lexikon/strahlungsguertel>

3.2. Darstellung der Ergebnisse

Ergebnisse Kontrollproben in absoluten Zahlen:

	10 ⁹ (1)	10 ⁹ (2)	10 ⁸ (3)	10 ⁸ (4)	Reihe Ø	Ges. Ø
A	260	263	k.A	k.A	261,5	497,25
B	718	748	k.A	k.A	733	
C	611	473	k.A	k.A	542	421
D	299	303	k.A	k.A	301	
E	864	>1000	k.A	k.A	>1000	>1000
F	>1000	>1000	k.A	k.A	>1000	
G	>1.000	>1.000	k.A	k.A	>1.000	>1000
H	425	354	k.A	k.A	389,5	
J	>1000	>1000	k.A	k.A	>1000	>1000
K	341	302	k.A	k.A	321	

Abb. 10: Tabelle der Ergebnisse von den Kontrollproben in absoluten Koloniezahlen. k.A. = nicht ausgezählt wegen zu vieler Kolonien, größer 1000 = nicht ausgezählt wegen zu vieler Kolonien, im Bereich >1000 und <2000 pro Platte, rote Schrift = mit DMSO. AB = Basalt innen + DMSO, CD = Basalt innen, EF = ohne alles + DMSO, GH = ohne alles, JK = Basalthülle + DMSO

In der Tabelle (Abb. 10) sind die Ergebnisse der Kontrollproben in absoluten Zahlen dargestellt. Der Verdünnungsfaktor ist in der Kopfzeile angegeben. In den ersten vier Spalten sind die Ergebnisse der ersten, zweiten, dritten und vierten Platte für jede Einzelbestimmung dargestellt. In der Spalte „Reihe Ø“ sind die Ergebnisse sämtlich Platten einer Probe im Durchschnitt dargestellt. In der Spalte „Ges. Ø“ ist der Gesamtschnitt pro Doppelbestimmung aufgeführt, also der Schnitt aus sämtlichen Platten der zwei Einzelbestimmungen.

Die Doppelbestimmungen einer Probe befinden sich alle größenordnungsmäßig im selben Bereich. Die unabhängigen Proben zeigen eine etwas größere Abweichung (maximale Abweichung ca. um Faktor 3, bei Proben JK).

Die Anzahl der wachsenden Kolonien der Proben, die mit DMSO stabilisiert wurden, sind vergleichbar mit den Proben ohne DMSO (vergleiche z.B. AB mit CD). Auch die Proben mit oder ohne Basalt innen zeigen vergleichbar große Kolonien-Zahlen, allerdings sind die Kolonien-Zahlen konsistent um den Faktor 2 höher, wenn in den Proben kein Basalt war (vergleiche z.B.: CD mit GH). Auch ist die Anzahl der wachsenden Kolonien der Probe JK praktisch identisch mit der Kontrolle ohne Basalt (vergleiche JK mit EF).

Die Proben mit den Bakterien, die mit dem Stratosphärenballon (siehe Tabelle 11) geflogen sind, zeigen sehr konsistente Ergebnisse bei den Doppelbestimmungen einer Probe (siehe z.B. P). Die unabhängigen Proben zeigen keine auffällige Abweichung (maximale Abweichung ist bei keiner Probe größer als 20 %).

Die Anzahl der wachsenden Kolonien der Proben, die mit DMSO stabilisiert wurden, sind in jedem Vergleich zu der entsprechenden Vergleichsprobe ohne DMSO deutlich höher (vergleiche LM mit NO oder PQ mit RS). Auch die Proben mit oder ohne Basalt innen zeigen große Unterschiede. Im Gegensatz zu den Kontrollproben, ist hier die Zahl der gewachsenen Kolonien pro Platte, der Proben mit Basalt innen deutlich höher, als die der Proben ohne Basalt innen. Auf den Platten der Proben ohne alles (RS) sind am wenigsten Kolonien gewachsen. Die zweitwenigsten wuchsen auf den Platten der Proben, die nur mit Basalt geschützt waren (NO). Darauf folgen auf Platz drei die Platten der Proben nur mit DMSO (PQ) und dann die mit DMSO und Basalt innen (LM). Mit Abstand am meisten wuchsen auf den Platten mit Basalthülle und DMSO (JK). Die Anzahl der wachsenden Kolonien der DMSO Proben (PQ) sind um den Faktor 1000 größer als die, der Vergleichsprobe (RS). Basalt innen mit DMSO (LM) verbessert diesen Schutzeffekt nur leicht. Basalt innen

Ergebnisse Flugproben in absoluten Zahlen:

	10 ⁸ (1)	10 ⁸ (2)	10 ⁷ (3)	10 ⁷ (4)	10 ⁶ (5)	10 ⁶ (6)	Reihe Ø	Ges. Ø
L	428	246	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	337	332
M	283	371	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	327	
N	30	25	190	155	k.A.	k.A.	22,375	24,19
O	21	34	231	259	k.A.	k.A.	26	
P	276	288	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	282	270,5
Q	233	285	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	259	
R	0	0	5	3	38	39	0,2617	0,2684
S	0	0	4	3	41	54	0,275	
V	1691	1965	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1828	1974
W	2070	2170	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2120	

Abb. 11: Tabelle der Ergebnisse von den Flugproben in absoluten Koloniezahlen. k.A. = nicht ausgezählt wegen zu vieler Kolonien, größer 1000 = nicht ausgezählt wegen zu vieler Kolonien, im Bereich >1000 und <2000 pro Platte, rote Schrift = mit DMSO. LM = Basalt innen + DMSO, NO = Basalt innen, PQ = ohne alles + DMSO, RS = ohne alles, VW = Basalthülle + DMSO

(NO) verbessert die Überlebensrate gegenüber der Kontrollprobe ohne alles (RS) um den Faktor 100. Eine noch deutlich höhere Zahl von wachsenden Kolonien wurden aus der Kombination von DMSO mit einer 10 mm Basalthülle erreicht.

In der Tabelle (Abb. 11) sind die Ergebnisse der Flugproben in absoluten dargestellt. Der Verdünnungsfaktor ist in der Kopfzeile angegeben. In den ersten sechs Spalten sind die Ergebnisse der ersten, zweiten, dritten, vierten, fünften und sechsten Platte für jede Einzelbestimmung dargestellt. In der Spalte „Reihe Ø“ sind die Ergebnisse sämtlich Platten einer Probe im Durchschnitt dargestellt. In der Spalte „Ges. Ø“ ist der Gesamtschnitt pro Doppelbestimmung aufgeführt, also der Schnitt aus sämtlichen Platten der zwei Einzelbestimmungen. Die Proben VW wurden trotz der extrem hohen Anzahl an Kolonien und dem damit verbundenen Aufwand ausgewertet, da sie die wichtigsten Proben in diesem Versuch waren.

Vergleich Kontrollproben mit Flugproben:

Proben	Kontrollproben	Flugproben
Basalt innen + DMSO	497,25	33,2
Basalt innen	421	2,419
ohne alles + DMSO	>1000	27,05
ohne alles	>1000	0,02684
Basalthülle + DMSO	>1000	197

Abb. 12: Tabelle Vergleich zwischen Kontrollproben und Flugproben

Die originalen Ergebniszahlen der Flugproben wurden, um die unterschiedlichen Verdünnungsfaktoren auszugleichen, da ein direkter Vergleich andernfalls nicht möglich wäre, durch 10 dividiert.

In der Tabelle (Abb. 12) sind die Ergebniszahlen der Doppelbestimmungen im Schnitt, von Kontrollproben und Flugproben dargestellt. In der ersten Spalte ist die Art des Schutzes dargestellt. In Zeile zwei und drei ist die Anzahl der gewachsenen Kolonien der identischen Kontroll- und Flugproben zu sehen.

Die Kontrollproben zeigen eine signifikant höhere Anzahl an wachsenden Kolonien, als die korrespondierenden Flugproben. Die einzige Ausnahme bildet die Probe, die durch DMSO und einer 10 mm Basalthülle geschützt wurde (siehe Zeile fünf). Den größten Unterschied zwischen Kontroll- und Flugprobe zeigt

(siehe Zeile fünf). Den größten Unterschied zwischen Kontroll- und Flugprobe zeigt

die Probe ohne jeden Schutz (siehe Zeile vier). Hier wachsen auf der Kontrollprobe mehr als 30 000-mal mehr Bakterien als auf der Flugprobe. Die Verbesserung der Überlebensrate durch DMSO ist deutlich. Zugabe von DMSO alleine verbessert das Überleben der Flugproben. Sie sind jetzt nur noch ca. 40fach reduziert gegenüber der Kontrollprobe (siehe Zeile drei). Auch Basalt innen erhöht den Anteil der wachsenden Bakterien. Die Anzahl der wachsenden Bakterien der Flugproben ist 200fach vermindert (siehe Zeile zwei). Die Basalthülle in Kombination mit dem DMSO ermöglicht den besten Schutz. Die Anzahl der wachsenden Bakterien ist lediglich auf etwa 20% reduziert (siehe Zeile 5).

4. Ergebnisdiskussion

4.1. Erkenntnisse aus den Ergebnissen

Wir stellten fest, dass die Ergebnisse im Wesentlichen unseren Erwartungen entsprachen. Bei den komplett ungeschützten Proben überlebt auf den Platten mit den höchsten Verdünnungen überhaupt keine Bakterien. Auch die Bakterien, die durch „Basalt innen“ (ohne DMSO) geschützt wurden, zeigten nur eine sehr geringe Überlebensrate, jedoch mehr als bei den ungeschützten Proben. Bei allen Proben mit DMSO überlebten deutlich mehr als bei vergleichbaren Proben ohne DMSO, überraschenderweise sogar bei den sonst komplett ungeschützten. DMSO könnte in diesem Fall verschiedene Funktionen gehabt haben. Bekannt war, dass es die Teilungsfähigkeit nach Lagerung bei sehr tiefen Temperaturen erhält. Könnte DMSO auch als Strahlenschutz fungieren? Hierüber war uns bisher nichts bekannt. Interessanterweise verbessert auch Basalt innen die Überlebensfähigkeit der Bakterien. Die Kombination von DMSO und Basalt verbessert allerdings die Überlebensfähigkeit im Vergleich zu der Schutzwirkung von DMSO alleine nicht stark. Das könnte darauf hindeuten, dass beide Komponenten ähnliche Wirkmechanismen haben, die durch Kombination nicht nennenswert verbessert werden. Überraschend für uns war, dass die Kombination von DMSO mit schützender Basalthülle nahezu so gute Anwachsrate ermöglichte wie die, die mit den Proben erzielt wurden, die auf der Erde verblieben sind.

Interessanter Weise sind bei den Kontrollproben die größeren Schwierigkeiten in der Deutung aufgetreten. Mit Basalt innen sind weniger Bakterien gewachsen als bei allen weiteren Kontrollen. Das könnte natürlich daran liegen, dass die Experimente nicht mit der notwendigen Sorgfalt durchgeführt worden sind, z.B. Verdünnungen könnten nicht korrekt durchgeführt worden sein. Der Basaltsand ist, bevor er den Bakterien zugesetzt wurde, sorgfältig mit Wasser und Ethanol gewaschen worden um mögliche Verunreinigungen, die die Bakterien potentiell zusätzlich schädigen könnten zu entfernen. Nicht auszuschließen ist, dass eventuell verbleibende Kontaminationen wachstumsinhibierende Wirkung haben. Vielleicht wirkt Basalt selbst antibiotisch? Dagegen spricht allerdings, dass der Basaltsand das Überleben der Bakterien während des Fluges verbessert hat. Möglich wäre allerdings auch, dass es sich um zwei gegenläufige Effekte handelt, Schutz vor Höhenstrahlung und Wachstumsinhibition, die sich überlagert haben könnten.

Die Zahl der wachsenden Bakterien auf den Kontrollproben war insgesamt zu hoch. Die Verdünnungen waren so angelegt, dass bei der höchsten Verdünnung (10^9) etwa 100 wachsende Kolonien erwartet wurden, tatsächlich erhielten wir auf den meisten Platten mehr als 1000 Kolonien. Da die optische Dichte der Über-Nacht-Kultur nicht bestimmt, sondern nur geschätzt wurde, könnte sich dabei ein erster Fehler eingeschlichen haben (bis Faktor 5). Weiterhin könnte es einen methodischen Verdünnungsfehler gegeben haben, der die Anzahl der plattierten Bakterien auf allen Platten betreffen würde, da das Verfahren immer gleich durchgeführt wurde. Wir haben bei der genauen Analyse der Durchführung der Experimente weitere mögliche Fehlerquellen identifiziert die in später folgenden Abschnitten noch diskutiert werden.

Unsere Ergebnisse zeigen:

1. Ungeschütztes Überleben ist in dieser Höhe, wie erwartet, bei den verwendeten Bakterien unwahrscheinlich.
2. Wenn die Bakterien mit Basalt gemischt werden, so überleben zwar immer noch wenige Bakterien, jedoch deutlich mehr, demnach hat Basalt eine schützende Wirkung.
3. Ein von uns etwas unterschätzter Faktor beim Überleben ist die mit der tiefen Temperatur verbundene Schädigung der Bakterien. Das DMSO hilft hier anscheinend deutlich mehr als die Mischung mit Basalt und selbst wenn die Bakterien sonst nicht geschützt werden, überleben mit DMSO überraschend viele. DMSO wirkt entweder selbst strahlungsabsorbierend oder es schützt die Bakterien wie beabsichtigt nur vor dem Erfrieren. Immerhin kamen wir bei unserem Flug in Regionen unter -50°C .
4. Am besten schützte die Kombination von DMSO mit einem 10 Millimeter dicken Basaltschutz. Leider hatten wir keine Basalt-geschützten Proben ohne DMSO, sodass wir diese, nicht uninteressanten Zahlen nicht vergleichen konnten.

4.2. Fehler

Wie oben schon kurz diskutiert fällt insbesondere bei den Kontrollproben auf, dass die Anzahl der wachsenden Kolonien um mindesten den Faktor 15 zu hoch ist und weiterhin die Streuung zwischen den unabhängigen Replikaten oberhalb unserer Erwartung liegt.

Nach einer genauen Rekonstruktion und einem Abgleich sämtlicher Schritte, um das Problem, der sich stark unterscheidenden Werte der Kontrollproben zu finden, fanden wir mehrere mögliche Fehler,

Verwendung des Spatels:

Es handelt sich hierbei um einen dummen Flüchtigkeitsfehler, welcher das Ergebnis allerdings nicht verfälschen dürfte, jedoch trotzdem erwähnt werden sollte. Wir hatten „in die falsche Richtung“ ausplattiert, also von der Lösung mit der höchsten Konzentration zu den niedrigsten, wodurch wir mit dem Spatel immer einen Teil der weniger verdünnten Lösung auf die nächste Platte mitschleppten. Aus zwei Gründen sollte sich dieser Fehler jedoch nicht auf das Ergebnis auswirken. Zum einen kann es sich bei der mitgeschleppten Flüssigkeit nur um minimale Mengen handeln, sodass nicht sonderlich viele Bakterien mehr auf der nächsten Platte vorhanden sein sollten. Zum anderen wären von diesem Fehler alle Proben außer den zuerst ausplattierten Proben betroffen. Da wir aber sowieso nur eine Probe haben, bei der diese Platten ausgewertet wurde und die gleichmäßige Verschiebung der Anzahl von Kolonien auf den restlichen Platten egal ist, sind wir nicht auf die genauen Zahlen angewiesen.

Lagerung der Kontrollproben:

Auch hierbei handelte es sich um einen eigentlich zu vermeidenden Fehler. Da wir die Kontrollproben während des Fluges auf das Dach des Nebengebäudes gestellt hatten, konnten sich die Bakterien wahrscheinlich teilweise weiter teilen. Dadurch, dass der Stamm erst 2 Tage zuvor kontrolliert angezogen wurde, und bis zum Flug dauerhaft im Kühlschrank gelagert worden war, wären eigentlich eine definierte Anzahl Bakterien in jeder Probe zu erwarten. Eigentlich wäre ein weiteres Teilen der Bakterien nicht möglich gewesen, da die Bakterien bereits ausgewachsen waren. Durch die Zugabe der 7% LB-Medium zum Ausgleich des Frostschutzmittels konnten sich jedoch in den Proben ohne Frostschutzmittel Bakterien weiter teilen, da ihnen durch das Medium Kohlenstoff zugeleitet wurde. Im Ergebnis sind jedoch nicht immer die Proben ohne Frostschutzmittel, die mit den meisten Kolonien pro Platte. Dies liegt daran, dass durch die Position auf dem Dach, die Sonne ungehindert auf einige der Proben scheinen konnte. Andere Proben dagegen lagen die ganze Zeit, oder zumindest teilweise im Schatten. Somit starben in einzelnen Proben viele Bakterien durch UV-Strahlung. Das zusätzliche Teilen und das nicht nachvollziehbare Sterben der Bakterien durch die Sonne, machen die Kontrollproben relativ unbrauchbar. Man kann jedoch zumindest sagen, dass dem Anschein nach sehr viele der ausgezählten Bakterien gewachsen sind, und demnach keine nennenswerten Verluste auf dem Erdboden zu messen waren. Dieser Fehler trat nur bei den Kontrollproben auf, da die Flugproben fast durchgängig stark gekühlt waren und dadurch ein weiteres Teilen unmöglich ist.

Hiermit ist eine plausible Erklärung für die stark untereinander abweichenden Kontrollproben gefunden.

4.3. Fazit aus den Ergebnissen und Fehlern

Mit dem Wissen, dass wir nicht nach den absoluten Zahlen gehen konnten, welche sowieso für unsere Bewertung eher unwichtig sind, schauten wir uns die Flugproben genauer an und verglichen die Ergebnistendenzen untereinander, also die relativen Zahlenverhältnisse.

Die Ergebnisse entsprechen unseren Vermutungen. Bei den komplett ungeschützten Proben überlebt auf den Tausenderplatten überhaupt keine. Auch die „Basalt innen“ Proben ohne DMSO überlebten nur sehr wenige, jedoch mehr als bei den ungeschützten Proben. Bei allen Proben mit DMSO überlebten deutlich mehr als bei denselben Proben ohne DMSO, überraschenderweise sogar bei den sonst komplett ungeschützten.

Schaut man sich die relativen Verhältnisse also an, so ist es eher unwahrscheinlich, dass dies alles nur zufällig so ähnlich wie unsere Erwartungen aussieht, demnach die Ergebnisse der Flugproben wahrscheinlich in ihrer Relation (!) korrekt sind.

Es ist nochmals wichtig zu erwähnen, dass dieses Ergebnis nur auf groben Tendenzen beruht, die, wenn auch unwahrscheinlich, nur zufällig entstanden sein könnten. Geht man allerdings davon aus, dass diese halbwegs reproduzierbar sind, so haben wir die schützende Wirkung von Basalt in großen Höhen bewiesen. Weiter sind wir noch zu dem Ergebnis gekommen, dass die Temperatur (zumindest bei vitalen Lebensformen), sowie natürlich die hohe Strahlung eine wichtige Rolle spielt. Ein massiver Meteorit, dessen Außenhülle auch die Temperaturschwankungen durch die hinzukommende enorme Hitze beim Eintritt in die Erdatmosphäre abhält, könnte organische Moleküle, eventuell sogar einfachste Lebensformen wie Bakterien oder auch Viren im Inneren des Meteoriten das Überleben ermöglichen.

Das Überleben von DNS in vitalen Organismen, was laut der Panspermie-Theorie in Betracht gezogen werden kann, wird durch unser Experiment nicht widerlegt.

Im Weltall sind die Bedingungen noch mal schwieriger und die „Reise“ solcher Trümmer von ehemaligen Planeten muss extrem lange gedauert haben.

4.4. Ähnliche Entdeckungen

Dass möglicherweise Sporen von Bakterien im All außerhalb eines Raumschiffs mit Atmosphäre überleben könnten, zeigte schon Apollo 12 mit seinen Proben vom Mond. „Bei der Untersuchung der Kamera von Surveyor 3, welche die Astronauten zurück zur Erde gebracht hatten, wurde festgestellt, dass in der Isolierung (!) der Kamera getrocknete Bakterien (*Streptococcus mitis*) mit zum Mond gereist waren.“¹² Auch hier zeigt sich aber, dass eine schützende Isolierung gegen die Weltraumstrahlung vorhanden war. *E. coli* bilden im Gegensatz zu vielen anderen Bakterien keine Sporen, auch wenn sich der Stoffwechsel unter extrem Bedingungen natürlich ebenfalls ändert. *E.coli* ist daher ein geeigneter Organismus, um die Wirkung der Faktoren auf vitale Organismen zu messen, da sich *E. Coli* nicht über einen Zustand der Stoffwechsellinaktivität in Sporen „retten“ kann.

Das ist nicht so bei der phantastischen Überlebensfähigkeit der Bärtierchen. Wenn auch im „entwässerten“ Zustand, haben diese Vielzeller einen Flug im All und in die Stratosphäre bereits überlebt. Im Erdorbit in 270 km Höhe wurden diese Tiere schutzlos dem All ausgesetzt.¹³

Unsere Ergebnisse mit nicht sporenbildenden Bakterien ergänzt diese spärlichen Befunde: Ein Überleben unter Einfluss hoher kosmischer Strahlung und sehr niedriger Temperatur ist nur denkbar, wenn der jeweilige Organismus z.B. durch Gestein (unsere Ergebnisse) oder künstliche Isolation (Apollo 12) geschützt wird oder sich selber schützt, indem er in einem entwässerten Zustand vorliegt (Tardigrada – vgl. dazu unsere korrelierenden Ergebnisse mit dem Frostschutzmittel).

¹² <https://www.wasistwas.de/archiv-wissenschaft-details/apollo-12-die-zweite-mondlandung.html>

¹³ https://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Baertierchen_im_Weltall1771015585298.html

4.5. Verbesserungsvorschläge und weitere Experimente

Selbstverständlich ist unser Experiment nur eine Annäherung an die Fragestellung, ob die Panspermiehypothese Bestand haben kann.

Wir sollten die Ergebnisse des ersten Experimentes durch ein weiteres Experiment bestätigen. Des Weiteren könnten wir die experimentellen Bedingungen etwas variieren (z.B. auch ohne DMSO mit Basalthülle), auf eine kontrolliertere Exposition der Kontrollproben achten sowie Vor-Tests auf die biologische Wirkung von Basalt durchführen.

Zur Gewinnung weiterer Erkenntnisse würden wir gerne weitere Flüge auch in größere Höhen durchführen, zumal die Grundausstattung für weitere Flüge an unserer Schule inzwischen vorhanden ist. Ebenfalls hilfreich wäre die Erprobung weiterer Gesteinsarten sowie die Testung weiterer Lebensformen. Die Exposition reiner Plasmidproben wäre ebenfalls interessant.

Bei der Auswertung des Versuchs könnte man sich zukünftig eventuell genauere Verdünnungsmethoden ausdenken.

Offensichtlich lassen sich in diesem Themenfeld noch sehr viele weitere Versuche herleiten, da es nicht bekannt ist welche Lebensform sich wie geschützt auf welchen Objekt auf die Erde bewegt hat, ja ob dies überhaupt der Fall war.

5. Zusammenfassung

Wie bereits erwähnt und von Anfang an sowieso klar, können wir die Frage nach der Gültigkeit der Panspermiehypothese nicht mit Sicherheit beantworten, lediglich mithilfe unserer Ergebnisse und angelesenem Wissen, Vermutungen formulieren.

In Betracht all unserer Ergebnisse halten wir die Panspermie-Theorie durch unser Experiment nicht für widerlegt.

Für uns war dieser Versuch trotz einiger Höhen und Tiefen während der Arbeiten ein voller Erfolg. Wir haben uns mit vielen neuen Themen beschäftigt, die uns teilweise auch noch zukünftig in der Schule begegnen werden. Zusätzlich zu jeder Menge theoretisches Wissen über Evolutionstheorien, Meteoriten, Aufbau der Atmosphäre, Bedingungen eines Ballonfluges haben wir auch viele praktische, uns bisher völlig unbekannte Arbeiten durchgeführt. Außerdem wurden wir herangeführt, wie man ein eigenes Experiment selber plant, wobei man die Fragestellung dann doch immer mal den tatsächlichen Möglichkeiten anpassen (= reduzieren) muss. Wir haben festgestellt, wie schwierig, aufwändig, teuer und fehleranfällig ein Experiment sein kann, besonders, wenn mal wieder ein neues, unvorhergesehenes Problem auftritt, welche bewältigt werden muss. Trotz alledem oder gerade deswegen war diese Jugend Forscht Arbeit ein einmaliges Erlebnis für uns.

Abschließend bedanken wir uns für die Unterstützung der Arbeit bei Herrn Dr. Pleschinger, welcher uns bei dem Bau der Basaltabschirmung sehr half, bei Herrn Dr. Peist, welcher uns Zugang zu QIAGEN verschaffte und durch sein Fachwissen unterstützte und Ideen hinzugab, und bei der Firma QIAGEN, welche uns Räumlichkeiten und sämtliches Material kostenlos zur Verfügung stellte. Die Spardabank und die gesamte Schulgemeinschaft mit VFF und Schulleitung, Eltern und Schülern ermöglichten durch ihre alljährliche Spendenwahl die Finanzierung des Stratosphärenfluges. Die Firma Vodafone ermöglichte, den Flug phasenweise live in die Aula zu übertragen. Wir danken den anderen Schülergruppen und betreuenden Lehrern, den Bergungsteams, welche für die Durchführung des Fluges und das Kontrollzentrum verantwortlich waren, sowie natürlich unseren Projektbetreuern Frau Ebell und Herrn Osterwind, welcher die Gesamtleitung des Fluges hatte.

6. Quellen- und Literaturverzeichnis

6.1. Bildernachweis

Foto 1: Helmholtz-Gymnasium Hilden

<http://www.hgh.hilden.de/Aktuelles/index.php?La=1&object=tx,2459.62.1&kat=&kuo=2&sub=0>
05.01.2019

ansonsten: Eigene Bilder mit Copyright bei den Verfassern dieser Arbeit

6.2. Internetquellen

Panspermiethorie:

(1) <https://www.sapereaudepls.de/2016/09/07/panspermie/>

08.01.2019

<https://news.rub.de/wissenschaft/2017-04-10-astrochemie-kam-das-leben-aus-dem-all>

08.01.2019

Plasmide:

(3) <https://de.serlo.org/biologie/genetik-gentechnik/gentechnik-methoden-anwendung/gentechnische-veraenderung-bakterienzellen>

13.01.2019

Anteil von Steinmeteoriten an allen Meteoriten:

(4) <https://de.serlo.org/biologie/genetik-gentechnik/gentechnik-methoden-anwendung/gentechnische-veraenderung-bakterienzellen>

13.01.2019

Hauptbestandteile von Steinmeteoriten:

(5) <http://www.steine-und-minerale.de/artikel.php?topic=2&ID=302>

13.01.2019

Eigenschaften von Gabbro:

(6) <http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=3&l=G&name=Gabbro>

13.01.2019

PU-Klebstoff CSR-ZB079:

(7) https://www.amazon.de/CSR-Automotive-Elch-Pro-1K-PU-Kleber-CSR-ZB079/dp/B00FYR6V7A/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1547372804&sr=8-1&keywords=elch+p1

13.01.2019

WDR Lokalzeit Düsseldorf Bericht:

(8) <https://www1.wdr.de/mediathek/video/sendungen/lokalzeit-duesseldorf/video-duesseldorfer-schueler-starten-ins-weltall--100.html>

13.01.2019

Vodafone News Bericht:

<https://www.vodafone.de/medien/digitales-leben/jugend-forscht-am-rande-des-weltalls/>

13.01.2019

RP-online Bericht:

https://rp-online.de/nrw/staedte/hilden/schule-ruestet-sich-fuer-stratosphaeren-flug_aid-22558319

13.01.2019

Programm zum Auszählen der Kolonien:

(9) <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

13.01.2019

Strahlenbelastung durch Höhenstrahlung:

(10) http://www.fs-ev.de/Nachwuchs/Arbeiten_2013/Projekt_Goethe_Stratos_Hoehenstrahlung.pdf

11.01.2019

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/hoehenstrahlung-strahlenbelastung-durch/683505.01.2019>

10.01.19

Strahlungsgürtel:

(11) <https://www.wissen.de/lexikon/strahlungsguertel>

05.01.2019

Sporen überleben auf dem Mond:

(12) <https://www.wasistwas.de/archiv-wissenschaft-details/apollo-12-die-zweite-mondlandung.html>

10.01.19

NASA untersucht Strahlungswirkung auf *E.coli* im All:

<https://www.nasa.gov/centers/ames/multimedia/images/2006/genebox.html>

10.01.19

Bärtierchen überleben im All:

(13) https://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Baertierchen_im_Weltall1771015585298.html

11.01.19

6.3. Literatur

Erste Erwähnung des *E. coli* Stamms:

Lederberg, E. M., Lederberg, J. (1953). Genetic studies of lysogenicity in *Escherichia coli*. *Genetics* 38: 51-64.

Erklärung Blau-Weiß-Selektion:

Frey, Bruno and Suppmann, Bernhard: Demonstration of the Expand™ PCR System's Greater Fidelity and Higher Yields with a *lacI*-based PCR Fidelity Assay. *Biochemican* 2: 8-9. 1995.

Wirksamkeit von DMSO:

Solocinski J, Osgood Q, Wang M, Connolly A, Menze MA, Chakraborty N. Effect of trehalose as an additive to dimethyl sulfoxide solutions on ice formation, cellular viability, and metabolism. *Cryobiology*. S. 134-143. 2017

Buch über allgemeine Klonierungsmethoden:

Joe Sambrook: *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, Third Edition
Cold Spring Harbor Laboratory Press; 3rd edition (January 15, 2001)