

BERICHTE

SMADLUSEA

Ein TNS-Projekt

Standardisierung messtechnischer Anforderungen an die Größen Feuchte, Druck und Temperatur bei Laborexperimenten unter simulierter extraterrestrischer Atmosphäre (SMADLUSEA)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Einführung

Gegenwärtig gibt es in Deutschland und verschiedenen anderen europäischen Ländern Messlabore, die Laborexperimente zu extraterrestrischen Fragestellungen (zum Beispiel biologischer, chemischer, mineralogischer Art) durchführen und auf die Einstellung und Messung einer speziellen Atmosphäre angewiesen sind. Jedoch sind deren Ausrüstungsgrad (zum Beispiel Gasgemischherstellung) und deren Möglichkeiten zur Messung der erzeugten Atmosphäre (zum Beispiel Feuchte, Druck, Temperatur) zum Teil sehr unterschiedlich, was einen Vergleich der Messergebnisse erschwert beziehungsweise unmöglich macht. Dadurch wird die Frage nach der internationalen Verwertbarkeit der Ergebnisse aufgeworfen. Besonders in dem noch recht jungen, aber stark an Bedeutung gewinnenden Bereich der Astrobiologie, in dem das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) eine führende Rolle einnimmt, ist das Interesse an untereinander vergleichbaren Experimentdaten enorm.

Experimente unter extraterrestrischer Atmosphäre wurden seit den 1960er-Jahren [1, 2] des vorigen Jahrhunderts in nennenswertem Maße durchgeführt, weil der Mars in die technologische Reichweite des Menschen geriet. Damit wurden nicht nur die Fernerkundung, sondern auch In-situ-Messungen möglich, was mit den Landern Viking 1 und 2 eindrucksvoll bestätigt wurde. Besondere Bedeutung erfuhren neben physikalischen Experimenten vor allem biologische Experimente [3] unter extraterrestrischer Atmosphäre. In den 1980er-Jahren nahm das Interesse wie-

der ab, um in den 1990ern und besonders im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts verstärkt wiederzukehren. Mit den gewonnenen Daten der Marsrover Spirit und Opportunity (seit 2004) sowie den Bildern und Daten von MarsExpress (seit 2003) konnte das Wissen über die früheren und gegenwärtigen Bedingungen auf dem Mars erheblich erweitert werden. Die gewonnenen Daten ermöglichen eine wesentlich präzisere Simulation der extraterrestrischen Bedingungen, was zu erhöhten Anforderungen an die Labortechnik, Experimentdurchführung und Messtechnik führt. In den letzten Jahren haben sich die technischen Möglichkeiten, diese Bedingungen nachzustellen und mit Sensoren zu erfassen, erheblich verbessert. Das hat das DLR dazu bewogen, das Mars Simulation Laboratory (MSL) aufzubauen und das Projekt MiniHUM durchzuführen, in dem ein Spurenfeuchte-Messsystem für In-situ-Messungen auf dem Mars entwickelt wurde. Das Labor wurde sukzessiv weiterentwickelt, um den steigenden Anforderungen, wie zum Beispiel die Entwicklung von Spurenfeuchte-Sensoren für Industrie und Labore, nachzukommen. Als besondere Herausforderung sollte sich jedoch die messtechnische Erfassung der atmosphärischen Feuchte in einer simulierten extraterrestrischen Atmosphäre, wie zum Beispiel der Marsatmosphäre, herausstellen, das heißt im Temperaturbereich 25 °C bis –75 °C, bei Grobvakuum von etwa 600 Pa und unterschiedlicher Gaszusammensetzung.

Beim Aufbau des Labors konnte kaum auf Informationen aus der Literatur oder auf Normen zurückgegriffen werden. Es existieren zwar Vorschriften (zum Beispiel [4]) zur Erzeugung eines Kalibrier-

gasgemischs, das für Laborexperimente verwendet werden kann, jedoch müssen bei Experimenten für die Raumfahrt aufgrund der besonderen Anforderungen (geringe Temperaturen, Unterdruck) zusätzliche Gegebenheiten beachtet werden, wie zum Beispiel die Herabsetzung der absoluten Feuchte bei Einbringung des Kalibriergases in einen evakuierten Behälter. Für den Raumfahrtbereich existieren Normen der „European Cooperation for Space Standardization“ (ECSS), die jedoch vorwiegend die Herstellung von Umgebungsbedingungen betreffen, wie sie im Erdorbit (zum Beispiel [5]) oder im Deep-Space zu finden sind. Informationen zu technischen Fragen zum Versuchsaufbau sind in den wissenschaftlichen Veröffentlichungen häufig nur unzureichend beschrieben oder finden sich nur in spezieller Fachliteratur, die teilweise wenig bekannt ist. Beispielsweise kann die Herstellung eines bestimmten Wassergehaltes zum einen durch eine Kältefalle oder durch die Mischung von feuchtem und trockenem Gas erfolgen [6, 7]. Auch werden mitunter Sensoren in Klimakammern beziehungsweise durch das Aufbringen auf ein Peltierelement auf ihre Tieftemperatureignung getestet, was aufgrund des auftretenden Temperaturgradienten zu kaum vergleichbaren Ergebnissen führt. Messtechnische Spezialkenntnisse sind meist nicht allgemein verfügbar und zugänglich, sondern einzelnen Erfahrungsträgern in den jeweiligen Versuchslaboren vorbehalten. Zudem existieren so gut wie keine Informationen über die Verwendbarkeit von Feuchtesensoren unter –20 °C, weil das häufig die unterste Grenze ist, für die im industriellen Bereich Sensoren ausgelegt werden. Die-

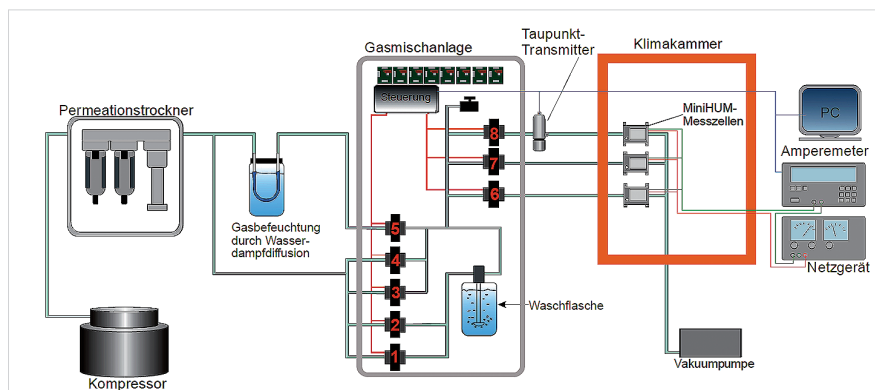


Bild 1: Typischer Experimentaufbau im MSL

Der „weiße Fleck“ im Messbereich von Feuchtesensoren ist noch größer, wenn die Anwendbarkeit bei Unterdruck und verschiedenen Gasen beziehungsweise Gasgemischen berücksichtigt wird. Es existieren keine Normen oder ausreichend andere Veröffentlichungen, wie hier zuverlässig Sensoren geprüft und kalibriert werden können. Das Prüfen und Kalibrieren ist notwendig, weil die Größen Druck, Temperatur und Gaszusammensetzung mitunter einen signifikanten Einfluss auf das Messsignal in Abhängigkeit vom Messprinzip des verwendeten Sensors haben. Eine aktuelle Recherche in Datenbanken des DIN und ECSS ergab ebenfalls, dass keine Normen oder Normungsvorhaben existieren, die sich mit diesen oder ähnlichen Themen auseinandersetzen. Aus diesem Grund wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) das Normungsprojekt „SMADLUSEA“ gefördert, das sich mit der Normung messtechnischer Anforderungen an die Durchführung von Laborexperimenten unter Simulation extraterrestrischer Atmosphäre befasst.

Ziele des Projekts SMADLUSEA

Das Projekt nimmt Bezug auf die Förderrichtlinie „Transfer von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen (FuE) durch Normung und Standardisierung“ (TNS-Projekt). Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) verfolgt mit dieser Förderrichtlinie das Ziel, forschende Institutionen und Unternehmen dabei zu unterstützen, die Normung und Standardisierung als Verwertungsinstrument verstärkt zu nutzen und damit letztlich auch die Wirkung der staatlichen Forschungsförderung zu erhöhen.

Das Ziel des Projektes SMADLUSEA ist es, das am DLR erworbene Know-how im Bereich der Herstellung, Kontrolle und messtechnischen Erfassung extraterrestrischer Atmosphäre zur Erarbeitung eines Norm-Entwurfs zu verwenden, um eine Spezifikation für einheitliche messtechnische Anforderungen an Laborexperimente in der Raumfahrt zu empfehlen, die unter Simulation von extraterrestrischer Atmosphäre erfolgen. Um den Norm-Entwurf in nationalen, aber auch in europäischen wissenschaftlichen Bereichen zu etablieren, wird die Zusammenarbeit mit Vertretern aus Industrie und Wissenschaft angestrebt, die zum Beispiel relevante Messtechnik herstellen oder Experimente unter extraterrestrischer Atmosphäre durchführen, um deren Wissen und Erfahrungen in den Norm-Entwurf einzubringen.

Zu diesem Zweck wird gegenwärtig eine Arbeitsgruppe aus interessierten Gesprächspartnern aus Industrie und wissenschaftlichen Einrichtungen ins Leben gerufen, in der messtechnische Anforderungen, Messverfahren, Arbeitsschritte und Qualitätssicherung diskutiert werden. Grundlage für den Norm-Entwurf sind neben dem Know-how der Arbeitskreisteilnehmer eine möglichst umfassende Übersicht über die Labortechnik und angewandte Messtechnik für Experimente unter extraterrestrischer Atmosphäre. Darüber hinaus sollen sowohl Inhalte aus der vorhandenen Literatur sowie weiterer Normen zu den folgenden Themen in den Norm-Entwurf aufgenommen werden:

- Herstellung und Überwachung von Spurenfeuchte in Gasen bei der Durchführung von Laborexperimenten in der Raumfahrtanwendung

- Beschreibung von Bedingungen zur Erzeugung eines trockenen Gases
- Beschreibung von notwendigen Maßnahmen, die über einen längeren Zeitraum einen konstanten Gasstrom gewährleisten
- Messen der eingestellten Atmosphäre in einer Experimentierkammer (Temperatur, Feuchte, Druck).

Begleitend erfolgt der Aufbau beziehungsweise Ausbau eines Messplatzes im MSL, dessen Potenzial im folgenden Abschnitt genauer dargestellt wird, sowie Experimente zur Überprüfung der favorisierten messtechnischen Anforderungen, Messsysteme und Arbeitsschritte, um definierte atmosphärische Bedingungen (Feuchte, Druck, Temperatur, Gaszusammensetzung) zu erhalten beziehungsweise zu erfassen. Abschließend werden die Ergebnisse in einer Studie zusammengefasst und in einen Norm-Entwurf überführt.

Mit dem Norm-Entwurf (empfohlener Veröffentlichungsrahmen zum Beispiel DIN, EN, ISO) soll eine breite Einführung der ermittelten messtechnischen Anforderungen in Test- und Versuchslabore erreicht und die Einbindung in weitere Normen der nationalen Raumfahrtbehörden sowie in ESA-Vorschriften angestrebt werden. Durch die Anwendung einheitlicher messtechnischer Normen können die Laborexperimente auf ein höheres Niveau gestellt, die Qualität und Aussagekraft der Experimentergebnisse signifikant verbessert und international vergleichbar gemacht werden. Die Vereinheitlichung der messtechnischen Anforderungen hätte zum einen große positive Auswirkungen auf die wissenschaftliche Bedeutung der Experimente für die jeweiligen Fachrichtungen, zum anderen bestehen direkte positive Auswirkungen auf die Hersteller von Mess- und Experimentiertechnik. Auf diesem Gebiet des wissenschaftlichen Gerätebaus sind vor allem deutsche und europäische klein- und mittelständische Unternehmen aktiv. Deren Marktposition könnte durch einheitliche Richtlinien oder Normen wesentlich gestärkt werden.

Aufbau des Mars Simulation Laboratory und bisherige Arbeiten im Labor

Seit 2004 wird am DLR in Berlin das Feuchte-Messlabor HUMILAB betrieben (siehe MessTec-Datenbank am DLR [8]),

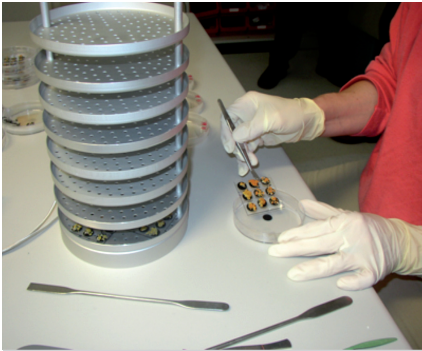


Bild 2: Vorbereitung biologischer Proben für den Einsatz in der Experimentkammer

aus dem das Mars Simulation Laboratory (MSL) hervorgegangen ist. Dort werden unterschiedliche Laborexperimente zur Raumfahrt unter simulierten Planetenbedingungen mit nationaler und internationaler Beteiligung durchgeführt. Die Auslastung des Labors ist seit Jahren sehr hoch, und die technischen Mög-



Bild 3: Experimentkammer (im Klimaschrank unter Marsbedingungen) und Sensorentwicklungen

lichkeiten wurden beständig erweitert, um Experimente unter simulierten extraterrestrischen Bedingungen und terrestrischen Extrembedingungen durchzuführen. Das Labor verfügt über eine Klimakammer, Experimentkammern für biologische Experimente und Sensor-

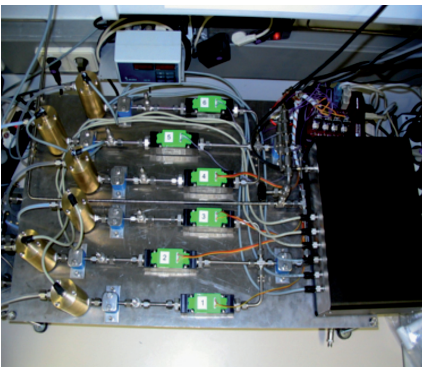


Bild 4: Teststand für die Sensorentwicklung zur Spurenfeuchtemessung in Gasen

tests, zwei Gasmischanlagen, Vakuumpumpen, Sensorteststände und entsprechende Messtechnik. Im Labor können bis zu fünf Gaskomponenten gemischt und mit definierter Feuchte (15 °C Taupunkt bis -70 °C Frostpunkt) an die Testkammern oder Sensorstände ausgegeben werden. In den Testkammern kann ein Unterdruck von bis zu 200 Pa erzeugt werden und Temperaturen zwischen 130 °C und -75 °C. Die genannten Parameter sind zeitlich stufenlos regelbar. Dadurch können beispielsweise Tagesgänge auf dem Mars simuliert werden. Die einzelnen Testkammern können mit entsprechender Sensorik bestückt werden (Feuchte-, Temperatur-, Drucksensoren, Photosynthesemessgerät) und auch über ein Glasfaserkabel mit sonnenähnlichem Licht (XENON-Lampe) versorgt werden. Das Labor war beteiligt an dem ESA-Projekt EXOMARS zur Entwicklung von Sensorik für ein Feuchtemessinstrument auf dem Mars (Projekt MiniHUM). Die Versuche und Tests erfolgten im Wesentlichen im MSL (Bild 1). Im Januar 2009 konnte somit der Technologiereifegrad 5 (TRL 5) für das Instrument erreicht werden.

Regelmäßig werden biologische Experimente (Bilder 2 bis 4) im MSL durchgeführt, sodass einschlägige Erfahrungen zur Bearbeitung des beschriebenen Themas vorliegen. Die erzielten Ergebnisse sind in Fachzeitschriften und Publikationen veröffentlicht worden, zum Beispiel [9, 10, 11, 12]. Gegenwärtig werden biologische Versuche unter extraterrestrischen Bedingungen in Kooperation mit der Universität von Bologna durchgeführt sowie das Transferprojekt „HUMITRACE“: Eine Kooperation zwischen dem DLR und der Industrie zur Überführung wissenschaftlich-technischen Know-hows aus der Weltraumforschung im Bereich der Spurenfeuchtemessung in einen in der Industrie anwendbaren Feuchte-Transmitter. Mit dem MSL und dem seit Jahren angesammelten Wissen über die Probleme und Schwierigkeiten der Herstellung, Kontrolle und messtechnischen Erfassung atmosphärischer Extrembedingungen verfügt das DLR über einen großen Erfahrungsschatz speziell im Bereich der Spurenfeuchtemessung. Durch das vorhandene Know-how hat dieses Labor europaweit eine Sonderstellung für diese Art von Experimenten, was auch durch die große Anzahl an Experimenten mit internatio-

nal Beteiligung unterstrichen und auch von den an den Experimenten beteiligten Wissenschaftlern bestätigt wird.

Schrifttum:

- [1] Hubbard, Jerry S.; Hardy, James P. and Horowitz, Norman H. (1971): Photocatalytic Production of Organic Compounds from CO and H₂O in a Simulated Martian Atmosphere, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 68, No. 3, pp. 574-578, March 1971
- [2] MRI: A Moisture Analyser for Martian Atmosphere/ NASA – JPL. 1962 (Contract No. 950207) – Final Report; x, S. 17, S. 18, S. 23
- [3] Foster, Terry L.; Winans, Luther, JR.; Casey, R. C.; Kirschner, L. E. (1976): Response of Terrestrial Microorganisms to a Simulated Martian Environment, Applied and Environmental Microbiology, Apr. 1978, p. 730-737 0099-2240/78/0035-0730\$02.00/0 Copyright © 1978 American Society for Microbiology Vol. 35, No. 4
- [4] DIN EN ISO 6145-7 „Gasanalyse – Herstellung von Kalibriergasgemischen mit Hilfe von dynamisch-volumetrischen Verfahren – Teil 7: Thermische Massendurchflussregler (ISO 6145-7:2009); Deutsche Fassung EN ISO 6145-7:2010
- [5] ECSS-E-10-04C Space engineering: Space environment. 15.11.2008
- [6] Sears, Derek W.G.; Chevrier, V.; Ulrich, R.; Roe, L. A.; Bryson, K.: Laboratory Measurements On Water Ice under simulated Mars' Conditions, The Science of Solar System Ices (SSSI): A Cross-Disciplinary Workshop (LPI Contribution No. 1406), 2008, Seite 140-141
- [7] Zent, Aaron P.; Hecht, Michael H.; Cobos, Doug R.; Campbell, Gaylon S.; Campbell, Colin S.; Cardell, Greg; Foote, Marc C.; Wood, Stephen E.; Mehta, Manish: Thermal and Electrical Conductivity Probe (TECP) for Phoenix. In: Journal of Geophysical Research 114 (2009), Nr. E3. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JE003052>. – DOI 10.1029/2007JE003052. – ISSN 0148-0227
- [8] http://messtec.dlr.de/de/technologie/plantenforschung/index.php?sid=d62e6954_b866c-5c5964634d3f1cc96254d9c488ad5dab
- [9] de la Vera, Jean-Pierre; Möhlmann, Dierich; Butina, Frederike; Lorek, Andreas; Wernecke, Roland; Ott, Sieglind: Survival Potential and Photosynthetic Activity of Lichens under Mars-Like Conditions: A Laboratory Study, Astrobiology, Volume: 10 Issue 2: April 19, 2010
- [10] Lorek, Andreas; Koncz, Alexander; Wernecke, Roland: Development of a gas flow independent coulometric trace humidity sensor for aerospace and industry. Proceedings Aquametry 2010, Seiten 289-296. MFPA Weimar. Aquametry 2010, 5.-7. Oktober 2010, Weimar, Deutschland
- [11] Koncz, Alexander; Lorek, Andreas; Wernecke, Roland: Characterisation of capacitive humidity sensors under Martian pressure and temperatures down to -120 °C, Proceedings Aquametry 2010, MFPA Weimar. Aquametry 2010, 5.-7. Oktober 2010, Weimar, Deutschland
- [12] de Vera, J. P.; Leya, T.; Lorek, Andreas; Koncz, Alexander; de La Torre Noetzel, R.; Kozdrovska, N.; Burlak, O.; Foing, B.: Photosynthesis and Its Implications for Space Research, Astrobiology Science Conference 2010: Evolution and Life: Surviving Catastrophes and Extremes on Earth and Beyond, held April 26-20, 2010 in League City, Texas. LPI Contribution No. 1538, p. 5139

[Andreas Lorek]

[Alexander Koncz]