



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

Programme and Abstracts of the Lectures

The Origin and Beginning of Life

Annual Conference 2024

26 to 27 September 2024



LEOPOLDINA
ANNUAL CONFERENCE



Bildnachweis

Titelbild: ©Leopoldina

The Origin and Beginning of Life

Thanks

We would like to thank the Leopoldina Academy Circle of Friends for the generous support for a programme which enables the participation of secondary school pupils in the Leopoldina Annual Conference.

Furthermore, the Leopoldina awards travel grants to young scientists for participation in the Annual Meeting. The Leopoldina would like to thank again the Leopoldina Academy Circle of Friends and the Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung as well for providing the funding.



LEOPOLDINA
AKADEMIE
FREUNDESKREIS



Alfried Krupp von Bohlen
und Halbach-Stiftung

Media Partner



Contents

Programme

Thursday, 26 September 2024

Musical Prelude	6
Welcoming and Opening Speech	6
Welcoming Address	6
Award Ceremony	6
Introduction	6
Keynote Lecture	6
Evening Lecture	7
Reception	7

Friday, 27 September 2024

Lecture of the Early Career Awardee	7
Session I	7
Session II	8
Session III	8
Session IV	9
Closing Remarks	9
Dinner	9

Abstracts of the Presentations

Keynote Lecture

Zurbuchen, Thomas: Whispers from Other Worlds: NASA's Search for Life in the Cosmos 10

Evening Lecture

Queloz, Didier: The Exoplanet Revolution 12

Session I

Rapp, Christof: Origin and Definition of Life According to Ancient Greek Philosophers 14

Krishnamurthy, Ramanarayanan: Eschenmoser Memorial Lecture: Reinventing the (chemistries leading to) Origin of Life..... 16

Session II

Kreidberg, Laura: The Quest for Atmospheres on Rocky Planets 18

Sasselov, Dimitar: Early Earth Geochemical Models: Environments for the Origin of Life..... 20

Session III

Scheu, Bettina: The Role of Volcanic Processes in the Emergence of Life..... 22

Benner, Steven: Ribonucleic Acid (RNA) could not *not* have Emerged on Early Earth 24

Session IV

Boinowitz, Erik: The Origin of the Organic Building Blocks of Life on the Early Earth 26

Bonfio, Claudia: Shaping Early Life: The Chemistry of Primitive Compartments 28

Schleper, Christa: From Microorganisms to Complex Life Forms 30

Organising Committee

Foto: Carell Group



Prof. Dr. Thomas Carell ML* is a chemist. He has been working at the Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in Munich since 2004, where he heads a research group specializing in chemical biology. Thomas Carell is speaker for the Excellence Cluster (EXC114) on protein chemistry and the DFG-funded Collaborative Research Center CRC-1309 on Chemical Epigenetics. Thomas Carell has been a member of the Supervisory Board of BASF SE since 2019.

Foto: Latest Thinking



Prof. Dr. Thomas Henning ML is an astrophysicist. He served as a Director at the Max Planck Institute for Astronomy in Heidelberg since 2001 and established the “Heidelberg Initiative for the Origins of Life”. The focus of his research is the process of star and planet formation and the characterization of the physics and chemistry of the interstellar medium. He is investigating the formation of planetary systems and is studying exoplanets and their atmospheres. His experimental studies deal with the synthesis of small solid particles and complex organic molecules under the conditions of the interstellar medium.

* ML stands for member of the German Academy of Sciences Leopoldina.

Programme

The conference will be held in English and will be simultaneously translated into German.

Thursday, 26 September 2024

2:00 – 5:15

| **Opening Ceremony**

Musical Prelude

Welcoming and Opening Speech

*Gerald Haug ML
President of the Academy*

Welcoming Address

*Rainer Robra
Head of the State Chancellery and
Minister for Culture of Saxony-Anhalt*

Award Ceremony

*Cothenius-Medal 2024
Medal of Merit 2024
Zukunftswissen – Early Career Award 2024 of the
Academy Leopoldina and Commerzbank-Stiftung*

Introduction

*Thomas Carell ML
Chair for Organic Chemistry I, LMU Munich*

Keynote Lecture

**Whispers from Other Worlds: NASA's Search for
Life in the Cosmos**

Thomas Zurbuchen, Zurich (Switzerland)

| **Break**

6:00 | **Evening Lecture**

Moderator:

*Gerald Haug ML
President of the Academy*

The Exoplanet Revolution

Didier Queloz, Zurich (Switzerland)

| **Reception**

Friday, 27 September 2024

9:30 – 9:30 | **Lecture of the Early Career Awardee 2024**

Moderator:

*Ulla Bonas ML, Halle (Saale)
Vice-President of the Academy*

**Resurrecting Ancient Proteins to Understand
the Biochemical Past and Present**

Dr. Georg Hochberg, Marburg

9:30 – 10:50 | **Session I**

Moderator:

Charlotte Klönk ML, Berlin

9:30 – 10:00 | **Origin and Definition of Life According to
Ancient Greek Philosophers**

Christof Rapp ML, Munich

10:00 – 10:30 | **Eschenmoser Memorial Lecture: Reinventing
the (chemistries leading to) Origin of Life**

Ramanarayanan Krishnamurthy, La Jolla (USA)

Discussion

10:50 – 11:20 | Break

11:20 – 12:40 | Session II

Moderator:

Thomas Henning ML, Heidelberg

11:20 – 11:50

The Quest for Atmospheres on Rocky Planets

Laura Kreidberg, Heidelberg

11:50 – 12:20

Early Earth Geochemical Models: Environments for the Origin of Life

Dimitar Sasselov, Cambridge (USA)

Discussion

12:40 – 2:00 | Lunch

2:00 – 3:20 | Session III

Moderator:

Thomas Carell ML, Munich

2:00 – 2:30

The Role of Volcanic Processes in the Emergence of Life

Bettina Scheu, Munich

2:30 – 3:00

Ribonucleic Acid (RNA) could not *not* have Emerged on Early Earth

Steven Benner, Gainesville (USA)

Discussion

3:20 – 3:50 | **Break**

3:50 – 5:50 | **Session IV**

Moderator:

Roland Lill ML, Marburg

3:50 – 4:20

The Origin of the Organic Building Blocks of Life on the Early Earth

Erik Boinowitz, Munich

4:20 – 4:50

Shaping Early Life: The Chemistry of Primitive Compartments

Claudia Bonfio, Strasbourg (France)

4:50 – 5:20

From Microorganisms to Complex Life Forms

Christa Schleper, Vienna (Austria)

Discussion

6:00 | **Closing Remarks**

Thomas Henning ML, Heidelberg

7:00 | **Dinner**

(for members of the Leopoldina and the Leopoldina Academy Circle of Friends as well as invited guests)

Venue

Restaurant „Speiseberg“

Kröllwitzer Straße 45, 06120 Halle (Saale)

Keynote Lecture

Thomas Zurbuchen, Zurich (Switzerland)

Whispers from Other Worlds: NASA's Search for Life in the Cosmos

Whether life exists beyond Earth is among the most exciting – and toughest – mysteries that science can solve. For millennia, humans have wondered whether we were alone in the cosmos, but those musings lived almost exclusively in the realm of philosophy, not science. Finding life beyond Earth is now one of NASA's most challenging goals, and it is one of the most compelling. We will first frame the discussion of looking for extraterrestrial life in the context of the famed 1961 Drake equation, a framework that connects physical, chemical and biological processes with the development of detectable civilizations within our own galaxy. And, though the Drake equation's original form has survived unchanged, we will highlight some changes in our understanding and definition of the equation's variables – modifications that are a direct result of our growing understanding of life's tenacity on our home world. Subsequently, our focus will shift towards ongoing and upcoming space missions directed at targets within our solar system. Simultaneously, we will delve into endeavors aimed at identifying potentially habitable worlds orbiting distant stars.

Geflüster aus anderen Welten: Die Suche der NASA nach Leben im Kosmos

Ob es jenseits der Erde Leben gibt, gehört zu den spannendsten – und schwierigsten – Rätseln, die die Wissenschaft lösen kann. Seit Jahrtausenden fragen sich die Menschen, ob wir allein im Kosmos sind, aber diese Überlegungen spielen sich fast ausschließlich in der Philosophie ab, nicht in der Wissenschaft.

Die Suche nach Leben jenseits der Erde ist heute eines der herausforderndsten und faszinierendsten Ziele der NASA. Wir werden die Diskussion über die Suche nach außerirdischem Leben zunächst im Kontext der berühmten Drake-Gleichung aus dem Jahr 1961 führen, einem Rahmenwerk, das physikalische, chemische und biologische Prozesse mit der Entwicklung nachweisbarer Zivilisationen in unserer eigenen Galaxie verknüpft. Und obwohl die ursprüngliche Form der Drake-Gleichung unverändert geblieben ist, werden wir einige Änderungen in unserem Verständnis und in der Definition der Variablen der Gleichung hervorheben – Änderungen, die ein direktes Ergebnis unseres wachsenden Verständnisses der Beständigkeit des Lebens auf unserem Heimatplaneten sind.

Anschließend werden wir uns auf laufende und bevorstehende Weltraummissionen konzentrieren, die auf Ziele in unserem Sonnensystem abzielen. Gleichzeitig werden wir uns mit den Bemühungen befassen, potenziell bewohnbare Welten in der Umlaufbahn ferner Sterne aufzuspüren.

Foto: Daniel Kellenberger/ETH-Rat



Prof. Dr. Thomas Zurbuchen is a professor and leader of Space Programs at ETH Zurich. As NASA's head of science from 2016 to 2022, he oversaw the launch of 37 science missions and initiated 54 projects, including the James Webb Space Telescope and Mars Ingenuity helicopter.

Evening Lecture

Didier Queloz, Zurich (Switzerland)

The Exoplanet Revolution

The most recent knowledges gathered by modern science has opened up a profound shift of perspectives about the question of life in the Universe. The diversity and the prolific number of planets discovered revolutionized our outstanding about the nature and the formation history of planets. It opened up a surprising new perspective on the possible rarity of planetary systems similar to our own but also exciting prospects about the potential of probing planet atmosphere. All these findings have profoundly modified our perception of our place in the Universe. It also presents an opportunity of historical perspectives and an irresistible call to look for signs of life on these new worlds as a way to explore our own origins. The talk will present an outlook of this landscape and will discuss the implications of these recent findings. New insights about the origins of life will be presented in the light of recent experiments about a possible origin of prebiotic chemical building blocks as well as a possible long-range pathway for detecting Earth-like systems amenable for remote study of life.

Die Revolution in der Exoplanetenforschung

Die jüngsten Erkenntnisse der modernen Wissenschaft haben einen tiefgreifenden Perspektivenwechsel in Bezug auf die Frage nach dem Leben im Universum eingeleitet. Die Vielfalt und die große Zahl der entdeckten Planeten haben unser Wissen über die Natur und die Entstehungsgeschichte der Planeten revolutioniert. Sie eröffnete eine überraschend neue Perspektive auf die mögliche Seltenheit von Planetensystemen, die unserem eigenen ähnlich sind, aber auch aufregende Aussichten auf das Potenzial der Erforschung der Planetenatmosphäre. All diese Erkenntnisse haben unsere Wahrnehmung unseres Platzes im Universum tiefgreifend verändert. Sie bieten auch die Möglichkeit historischer Perspektiven und sind ein unwiderstehlicher Aufruf, in

diesen neuen Welten nach Anzeichen von Leben zu suchen, um so unsere eigenen Ursprünge zu erforschen. Der Vortrag gibt einen Ausblick auf diese Landschaft und erörtert die Auswirkungen dieser jüngsten Erkenntnisse. Neues Wissen über die Ursprünge des Lebens werden im Lichte jüngster Experimente über einen möglichen Ursprung präbiotischer chemischer Bausteine sowie über einen möglichen langfristigen Weg zur Entdeckung erdähnlicher Systeme, die sich für die Fernuntersuchung von Leben eignen, vorgestellt.

Foto: ETH Zürich, Heidi Hostettler



Prof. Dr. Didier Queloz is at the origin of the “exoplanet revolution” in astrophysics when in 1995 during his PhD with his supervisor, they announced the first discovery of a giant planet orbiting another star, outside the solar system. This seminal discovery has spawned a revolution in astronomy and kick started the field of exoplanet research. Since then, Didier Queloz’s scientific contribution has essentially consisted of advances in the detection and measurement of exoplanet systems with the aim of obtaining information about their physical structure in order to better understand their formation and evolution in relation to our solar system. He was awarded the 2019 Nobel Prize in Physics for his work.

Session I

Christof Rapp ML, Munich

Origin and Definition of Life According to Ancient Greek Philosophers

Phenomena related to the origin of life and the variety of life forms have always sparked the interest of Ancient Greek philosophers. Some of them approach these phenomena by suggesting various kinds of stuff, e.g. fire, water, warm breath, vital heat, as explanations for the origin of life. Others think that the difference between living and lifeless beings is owing to the possession of what people call "soul" (*psuchê*). But what is the soul? A specific stuff or mixture of stuffs again? Or rather a set of capacities, such as the capacities for nourishment, growth, reproduction, sense-perception, self-motion and thought? And are all living beings characterized by the same life-indicating capacities and activities? How and at which stage of cosmogony does the soul enter the cosmos? And how does the soul arrive at the individual germ or embryo?

Ursprung und Definition des Lebens in der Antiken Griechischen Philosophie

Phänomene rund um den Ursprung des Lebens und die Vielfalt der Lebensformen haben schon immer das Interesse der antiken Griechischen Philosophen geweckt. Einige von ihnen schlagen unterschiedliche Stoffe, wie z.B. Feuer, Wasser, warme Atemluft, lebensermöglichende Hitze vor, die den Ursprung des Lebens erklären sollen. Andere dagegen gehen davon aus, dass der Unterschied zwischen lebendigen und leblosen Dingen vom Besitz dessen abhängt, was man gemeinhin als „Seele“ (*psychê*) bezeichnet. Aber was hat man sich unter der Seele vorzustellen? Wiederum einen besonderen Stoff oder eine besondere Mischung von Stoffen? Oder eher eine Menge von Fä-

higkeiten, so wie z. B. die Fähigkeit zur Ernährung, zum Wachstum, zur Fortpflanzung, zur Sinneswahrnehmung, zur Selbstbewegung und zum Denken? Sind alle Lebewesen durch dieselbe Art von Fähigkeiten und Tätigkeiten geprägt, die das Lebendig-Sein anzeigen? Wie und auf welcher Stufe der Entwicklung des Kosmos kommt die Seele in die Welt? Und wie gelangt die Seele in den individuellen Keim oder Embryo?

Foto: LMU, Manu Theobald



Prof. Dr. Christof Rapp holds the Chair of Ancient Philosophy and is Co-Director of the Munich School for Ancient Philosophy (MUSAΦ). He is also currently Director of the LMU Center for Advanced Studies (CAS). His field of research is the philosophy of antiquity, with a further focus on ancient rhetoric, biology and political theory. He also works on the methodology of ancient philosophy and the history of philosophy and examines the influence of ancient philosophy on contemporary debates.

Ramanarayanan Krishnamurthy, La Jolla (USA)

Eschenmoser Memorial Lecture: Reinventing the (chemistries leading to) Origin of Life

Our understanding of the prebiotic chemistries of origin of life on early Earth is guided by focusing (solely) on extant biological molecules and biochemical pathways and extrapolating them back to prebiotic Earth. However, this perspective generally ignores the early co-evolutionary role of contemporary prebiotic molecules, chemistries and processes. Therefore, a different approach would be to begin with what would have been plausible prebiotic reaction mixtures – which may have no obvious or direct connection to life's chemical building blocks and processes – and allow their chemistries and interactions (under defined conditions) to guide and illuminate as to what processes and systems can emerge. Such a concept gives rise to the prospect that chemistry of life-as-we-know-it is not the only result (“destiny”), but one that has emerged among many potential possibilities (“destination”).

The lecture will describe a non-teleological (non-purposeful) approach which has led to the “18th camel paradigm” in our research endeavours – raising the question of whether the actual historical pathways of life's origin on early Earth can be discovered or have to be (re)invented.

Eschenmoser Gedächtnisvortrag: Die (chemischen) Grundlagen der Entstehung des Lebens neu erfinden

Unser Verständnis der präbiotischen chemischen Grundlagen des Ursprungs des Lebens auf der frühen Erde basiert auf der (alleinigen) Fokussierung auf vorhandene biologische Moleküle und biochemische Wege und die Extrapolation derselben auf die präbiotische Erde. Bei dieser Sichtweise wird die frühe koevolutionäre Rolle moderner präbiotischer Moleküle, Chemie und Prozesse im Allgemeinen jedoch außer Acht gelassen. Es wäre dementsprechend ein anderer Ansatz, damit zu beginnen, was plausible präbiotische Reaktionsgemische waren – die möglicherweise keine offensichtliche oder direkte Verbindung zu den chemischen Bausteinen und Prozessen des Lebens

haben – und zuzulassen, dass wir uns durch deren chemischen Prozesse und Wechselwirkungen (unter definierten Bedingungen) leiten und aufzeigen lassen, welche Prozesse und Systeme auftreten können. Dieses Konzept geht mit der Vorstellung einher, dass die Chemie des Lebens, wie wir es kennen, nicht das einzige Ergebnis („destiny“) ist, sondern eines, das sich als eine von vielen potenziellen Möglichkeiten ergeben hat („destination“). In diesem Vortrag wird ein nicht theologischer (nicht zielgerichteter) Ansatz beschrieben, der in unseren Forschungsbestrebungen zum „Paradigma des 18. Kamels“ geführt hat – was die Frage aufwirft, ob die tatsächlichen historischen Wege des Ursprungs des Lebens auf der frühen Erde aufgedeckt werden können oder (neu) erfunden werden müssen.

Foto: The Scripps Research Institute



Prof. Dr. Ramanarayanan Krishnamurthy is currently a Professor of Chemistry in the department of chemistry at The Scripps Research Institute in California. His research focusses on employing the tools of synthetic organic chemistry to understand the prebiotic chemical roots of life's processes (the "Why") and its emergence (the "How") under early Earth Environments.

Session II

Laura Kreidberg, Heidelberg

The Quest for Atmospheres on Rocky Planets

One of the most stunning discoveries in the last two decades was the presence of an abundance of Earth-size planets orbiting stars other than the sun. Thanks to the newly launched James Webb Space Telescope (JWST), the next decade is expected to see rapid progress in characterizing these planets in detail, to detect their atmospheres and measure their chemical compositions and climates. In this talk, I will give a status report on observations of rocky planets with JWST. I will cover the latest results on the iconic TRAPPIST-1 system, the study of the surface of the airless planet LHS 3844b, the search for atmospheres on lava worlds, and observations of planets in the radius valley at the boundary of rocky and gaseous worlds. Taken together, these results provide a first picture of the building blocks available for the origin of life on terrestrial planets beyond the solar system.

Die Suche nach Atmosphären auf Gesteinsplaneten

Eine der bemerkenswertesten Entdeckungen in den letzten zwei Jahrzehnten war das Vorhandensein einer Vielzahl erdgroßer Planeten, die andere Sterne als die Sonne umkreisen. Es wird davon ausgegangen, dass im nächsten Jahrzehnt dank des neuen James-Webb-Weltraumteleskops (JWST) rasante Entwicklungen bei der detailgenauen Erforschung dieser Planeten, der Untersuchung ihrer Atmosphären und der Messung ihrer chemischen Zusammensetzungen und Klimate zu verzeichnen sein werden. In diesem Vortrag werde ich über Beobachtungen von Gesteinsplaneten mittels JWST berichten. Ich werde auf die jüngsten Ergebnisse in Bezug auf das ikonische TRAPPIST-1-System, die Untersuchung der Oberfläche des luftlosen Planeten LHS 3844b, die Suche nach Atmosphären auf Lavawelten und Beobachtungen von Planeten im Radius-Tal an der Grenze von Gesteins- und Gaswelten eingehen. Zusammengekommen ermöglichen diese Ergebnisse ein erstes Bild der für den Ursprung

des Lebens auf terrestrischen Planeten jenseits des Sonnensystems zur Verfügung stehenden Bausteine.

Foto: Fabian Wolf



Prof. Dr. Laura Kreidberg is the founding director of the new APEX Department at the Max Planck Institute for Astronomy in Heidelberg, Germany. Her research focuses on atmosphere characterization of extrasolar planets, and she is a frequent user of space-based telescopes. She has received numerous awards for her work, including the 2016 International Astronomical Union Division F PhD Prize Prior and the 2021 Annie Jump Cannon Award of the American Astronomical Society.

Dimitar Sasselov, Cambridge (USA)

Early Earth Geochemical Models: Environments for the Origin of Life

What is the best approach to constrain the geochemical scenarios for the origins of life on Earth? We advocate an iterative approach between advances in early Earth geochemical models and constraints from prebiotic chemistry. As an illustration we will discuss the requirement from prebiotic chemistry that life's molecular building blocks be homochiral and the specific stereochemistry of their polymers emerged early. The few plausible solutions to the homochirality problem constrain the initial geochemical conditions in very different ways. This bodes well for the iterative approach.

I will review recent work on reconstructing planetary environments for prebiotic chemistry and discuss relevance to Mars and exoplanets. Even if not yet successful in giving us a complete and definitive understanding of the different processes required to account for the multi-step syntheses at life's origins, the progress achieved so far is already giving us clues to inform our exploration of the solar system and exoplanets, and the possibilities for primitive life's prevalence in the Universe.

Geochemische Modelle der frühen Erdgeschichte: Umgebungen für den Ursprung des Lebens

Welches ist der beste Ansatz, um die geochemischen Szenarien für den Ursprung des Lebens auf der Erde einzugrenzen? Wir verfolgen einen iterativen Ansatz zwischen den Fortschritten in den geochemischen Modellen der frühen Welt und den Hindernissen der präbiotischen Chemie. Zur Veranschaulichung werden wir die Anforderung der präbiotischen Chemie erörtern, dass die molekularen Bausteine des Lebens homochiral sein müssen und die spezifische Stereochemie ihrer Polymere früh auftrat. Die wenigen plausiblen Lösungen für das Homochiralitätsproblem schränken die initialen geochemischen Bedingungen auf sehr unterschiedliche Art und Weise ein. Dies verspricht nur Gutes für den iterativen Ansatz.

Ich werde auf jüngere Arbeiten zur Rekonstruktion planetarer Umgebungen für die präbiotische Chemie eingehen und die Relevanz für den Mars und Exoplaneten erörtern. Auch wenn wir noch nicht zu einem absoluten und definitiven Verständnis der unterschiedlichen Prozesse gelangt sind, die für einen Nachweis der mehrstufigen Synthesen am Ursprung des Lebens erforderlich sind, gibt uns der bislang erzielte Fortschritt bereits Hinweise für unsere Erkundung des Sonnensystems und der Exoplaneten und die Möglichkeiten des Vorhandenseins von primitivem Leben im Universum.

Foto: Jon Chase, Harvard



Prof. Dr. Dimitar Sasselov is a Phillips Professor of Astronomy at Harvard University and the founding director of the Harvard Origins of Life Initiative. His research is generally in radiative transfer in stellar and planetary atmospheres, with work on the early universe and exoplanet hunting, and emphasis on spectroscopy of all shapes. His recent exploration involves ultrafast spectroscopy of molecular photodynamics relevant to the origins of life.

Session III

Bettina Scheu, Munich

The Role of Volcanic Processes in the Emergence of Life

Life as we know it could most likely not have emerged in absence of active geological processes and the environments shaped by them. Volcanism is likely one of the key players hereby. Ever since our planet was cool enough to form a solid crust, active volcanism shaped its surface. However, volcanism is much more than only an “landform architect”, it is one of the key processes in recycling, mixing, and transporting elements from inside our planet to its surface and atmosphere. The quest of the most probable environment(s) is amongst the most challenging and heavily debated topics on the emergence of life. A key challenge remains however to identify environments favorable for a plethora of reactions allowing to progress from the synthesis of small molecules forming the simple building block of life, to complex organic molecules such as e.g. sugars or lipids and finally to functional polymers with the ability to metabolism and replication. The vast majority of promising geological environments is intimately linked to volcanic processes. Key to all such environments are physical and /or chemical disequilibria driving change, in form of fluid-solid interaction such as e.g. leaching, precipitation and remineralization – all dynamically shaping their micro- and macro-environment. In that way, volcanic processes provide key elements as well environments fostering the emergence of life.

Die Rolle vulkanischer Prozesse bei der Entstehung des Lebens

Das Leben, wie wir es kennen, hätte ohne aktive geologische Prozesse und die von ihnen geprägten Umgebungen höchstwahrscheinlich nicht entstehen können. Vulkanismus ist dabei wahrscheinlich einer der Hauptakteure. Seitdem unser Planet kühl genug war, um eine feste Kruste zu bilden, hat aktiver

Vulkanismus seine Oberfläche geformt. Vulkanismus ist jedoch viel mehr als nur ein "Landschaftsarchitekt", er spielt eine Schlüsselrolle bei Recycling, Vermischung und Transport von Elementen aus dem Erdinneren an die Oberfläche sowie in die Atmosphäre. Die Suche nach dem/den wahrscheinlichste(n) Ort(en) für die Entstehung von Leben gehört zu den herausforderndsten und am heftigsten diskutierten Themen auf diesem Gebiet. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, Umgebungen zu finden, die eine Fülle von Reaktionen begünstigen, von der Synthese einfacher Moleküle (den grundlegenden Bausteinen des Lebens) über komplexe organische Moleküle wie z. B. Zucker oder Lipide bis hin zu funktionellen Polymeren mit der Fähigkeit zum Stoffwechsel und zur Replikation. Die große Mehrheit vielversprechender geologischer Umgebungen ist eng mit vulkanischen Prozessen verbunden. Essenziell bei all diesen Umgebungen sind physikalische und/oder chemische Ungleichgewichte, die Veränderungen in Form von Fluid-Festkörper-Wechselwirkungen wie z. B. Auslaugung, Ausfällung und Remineralisierung bewirken, die alle dynamisch ihre Mikro- und Makroumgebung gestalten. Auf diese Weise liefern vulkanische Prozesse Schlüsselemente sowie Umgebungen für das Entstehen von Leben.



Foto: Bettina Scheu

Prof. Dr. Bettina Scheu is Professor at the LMU Munich and leader of the world-wide renown laboratory for experimental volcanology. She is an expert in explosive volcanism, hydrothermal eruptions, fluid-rock interactions as well as volcanic lighting, bringing her expertise in the field of the emergence of life.

Steven Benner, Gainesville (USA)

Ribonucleic Acid (RNA) could not *not* have Emerged on Early Earth

The surface of the Earth (and Mars) 4.3 ± 0.05 billion years ago was covered with a mildly oxidizing surface of basalt, was being bombarded with asteroid-sized impactors, and had its atmosphere of carbon dioxide, water, and dinitrogen (CO₂, H₂O, N₂) irradiated by an active Sun. Under these conditions, certain chemistry could not *not* have occurred, including:

Formation of two simple carbohydrates, formaldehyde (HCHO) and trace glycolaldehyde (HOCH₂CHO) by Solar irradiation and lightning in that atmosphere; Capture of these carbohydrates by volcanic SO₂, raining ~100 grams/year/km² of organic minerals into constrained aquifers on that surface; Maturation of these organics in those aquifers, whereby borate prevented the formation of "tar"; Transient reduction of the atmosphere by shattered impactor cores, giving NH₃, HCN, HCCCN, and other reduced nitrogen compounds, which give RNA bases; Coupling of these bases with ribose phosphates made from energetic phosphate derivatives leached from the basaltic glass; Formation of nucleoside triphosphates from cyclic triphosphate catalyzed by Ni²⁺ from impactor cores; Formation of polyribonucleic acid from these triphosphates on basaltic glass.

Each of these steps also has experimental support from laboratory experiments, allowing us to move from speculation about "origins" towards hypothesis-based research. This talk will report our many efforts to challenge and discredit our model, efforts required in the normal practice of science.

Ribonukleinsäure (RNA) kann nicht *nicht* in der frühen Erdgeschichte entstanden sein

Die Oberfläche der Erde (und des Mars) war vor 4,3 ± 0,05 Milliarden Jahren mit einer mild oxidierenden Basaltoberfläche bedeckt und wurde mit Impaktoren in der Größe von Asteroiden bombardiert und ihre aus Kohlenstoffdioxid, Wasser und Distickstoff (CO₂, H₂O, N₂) bestehende Atmosphäre wurde

von einer aktiven Sonne bestrahlt. Es ist es unmöglich, dass bestimmte chemische Prozesse unter diesen Bedingungen nicht *nicht* aufgetreten sind, so etwa die Folgen:

Bildung von zwei einfachen Kohlenhydraten, Formaldehyd (HCHO) und Spuren von Glycolaldehyd (HOCH₂CHO), durch Sonneneinstrahlung und Blitzschläge in dieser Atmosphäre; Festhalten dieser Kohlenhydrate durch vulkanisches SO₂, Einregnen von ~100 Gramm/Jahr/km² organischer Mineralien in eingeschränkte Grundwasserleiter auf dieser Oberfläche; Reifung dieser organischen Stoffe in diesen Grundwasserleitern, wobei Borat die Bildung von „Teer“ verhinderte; vorübergehende Reduktion der Atmosphäre durch zerschlagene Impaktorkerne unter Bildung von NH₃, HCN, HCCCN und anderen reduzierten Stickstoffverbindungen, aus denen RNA-Basen entstehen; Kuppeln dieser Basen mit aus energiereichen Phosphatderivaten, die aus Basaltglas ausgelaugt wurden, bestehenden Ribosephosphaten; Bildung von Nukleosidtriphosphaten aus cyclischem Triphosphat, katalysiert durch Ni²⁺ aus Impaktorkernen; Bildung von Polyribonukleinsäure aus diesen Triphosphaten auf basaltischem Glas.

Jeder dieser Schritte ist auch experimentell durch Laborversuche gestützt, so dass wir von Spekulationen über die „Ursprünge“ zu auf Hypothesen beruhender Forschung übergehen können. In diesem Vortrag werden unsere zahlreichen Bemühungen zum Hinterfragen und Anzweifeln unseres Modells, wie sie in der Wissenschaft geboten sind, betrachtet.



Foto: Steven Benner

Prof. Dr. Steven Benner heads the non-profit Foundation for Applied Molecular Evolution and a biotech company Firebird Biomolecular, both in Florida. His research seeks to join natural history to the physical sciences to understand how life originated, what forms life might take in the galaxy, how we might find life regardless of its biochemistry, how we might synthesize life in the lab, and how we might use synthetic life to help the human condition.

Session IV

Erik Boinowitz, Munich

The Origin of the Organic Building Blocks of Life on the Early Earth

Life on Earth most likely began with the formation of reactive feedstock molecules in the Hadean eon, from which amino acids and nucleosides were derived as the key building blocks of life. These subsequently condensed to give proteins and oligonucleotides. These starting materials are commonly thought to have been small reactive nitriles such as HCN, cyanoacetylene or malononitrile, which form efficiently in a strongly reducing atmosphere. To our current knowledge, the Hadean atmosphere however was only slightly reducing and dominated by CO₂, N₂, H₂O and SO₂. In such an atmosphere, the robust formation of these feedstock molecules in significant quantities is not conceivable. Here, we report on chemical routes towards amino acids and nucleosides independent of atmospheric HCN which are compatible with Hadean conditions. The Hadean atmosphere is capable of producing simple feedstock molecules such as formaldehyde and nitrogen-containing inorganics, which can be combined deterministically to yield a small set of reactive feedstock molecules. From these, amino acids as well as purine and pyrimidine nucleosides can be obtained through closely linked chemical pathways. Thus, the uncovered chemistry provides a self-contained route from inorganic matter to the molecules of life under the conditions of the early Earth.

Der Ursprung der organischen Bausteine des Lebens auf der frühen Erde

Das Leben auf der Erde begann höchstwahrscheinlich mit der Bildung reaktiver Ausgangsmoleküle im Hadaikum, aus denen sich Aminosäuren und Nucleoside als Bausteine des Lebens entwickelten. Diese kondensierten später zu Proteinen und Oligonucleotiden. Als Ausgangsstoffe werden gemeinhin

kleine reaktive Nitrile wie HCN, Cyanoacetylen oder Malononitril angenommen, die sich in einer stark reduzierenden Atmosphäre effizient bilden. Nach unserem derzeitigen Kenntnisstand war die Atmosphäre im Hadaikum jedoch nur schwach reduzierend und wurde von CO₂, N₂, H₂O und SO₂ dominiert. In einer solchen Atmosphäre ist die robuste Bildung dieser Ausgangsmoleküle in nennenswerten Mengen nicht plausibel. Hier berichten wir über chemische Wege zur Bildung von Aminosäuren und Nucleosiden, die unabhängig von atmosphärischem HCN und mit den Bedingungen des Hadaikum kompatibel sind. Die hadäische Atmosphäre ist in der Lage, einfache Ausgangsmoleküle wie Formaldehyd und stickstoffhaltige Anorganika zu produzieren, die deterministisch kombiniert werden können, um eine kleine Anzahl reaktiver Ausgangsmoleküle zu erhalten. Aus diesen können Aminosäuren sowie Purin- und Pyrimidin-Nucleoside über eng verknüpfte chemische Wege gewonnen werden. Somit bietet die aufgedeckte Chemie eine in sich geschlossene Route von anorganischer Materie zu den Molekülen des Lebens unter den Bedingungen der frühen Erde.

Foto: Picture People



Erik Boinowitz is currently completing his doctorate in Professor Thomas Carell's working group on the topic "Origin of life under the conditions on the early Earth".

Claudia Bonfio, Strasbourg (France)

Shaping Early Life: The Chemistry of Primitive Compartments

The complexity of modern biochemistry suggests that a systems biochemistry approach is required to understand and potentially recapitulate the network of prebiotic reactions that led to the emergence of life.

Early cells probably relied upon interconnected chemistries to link nucleic acids, peptide-based catalysts and membranes. In this context, I will discuss our recent advancements about:

- What, how and when membrane-based and membrane-less compartments appeared on early Earth; and
- What functions these primitive compartments could exhibit.

Addressing all these points can help us to elucidate the prebiotic pathways that led to the emergence of functional primitive cells and, from there, the rise of life as we know it.

Die Gestaltung des frühen Lebens: die Chemie der primitiven Kompartimente

Die Komplexität der modernen Biochemie legt nahe, dass ein systemischer biochemischer Ansatz erforderlich ist, um das Netz präbiotischer Reaktionen, die zur Entstehung von Leben führten, zu verstehen und potenziell zu rekapitulieren.

Frühe Zellen beruhten wahrscheinlich auf vernetzten chemischen Prozessen zur Verknüpfung von Nukleinsäuren, Katalysatoren auf Peptidbasis und Membranen. In diesem Zusammenhang werde ich unsere jüngsten Erkenntnisse dahingehend erörtern:

- welche, wie und wann membranbasierte und membranlose Kompartimente auf der frühen Erde in Erscheinung traten; und
- welche Funktionen diese primitiven Kompartimente haben konnten.

Die Auseinandersetzung mit all diesen Punkten kann uns bei der Untersuchung der präbiotischen Wege helfen, die zum Auftreten funktionaler primitiver Zellen und weiter zur Entstehung des Lebens, wie wir es kennen, führten.

Foto: Royal Society of Chemistry



Prof. Dr. Claudia Bonfio has recently started as an Associate Professor at the Department of Biochemistry, University of Cambridge, where her group focuses on the design and development of functional primitive cells capable of Darwinian evolution.

Christa Schleper, Vienna (Austria)

From Microorganisms to Complex Life Forms

How did complex life forms, including humans, emerge from the simpler structures of single-celled microorganisms? This question on the origin of eukaryotes (i.e. plants, animals, fungi) addresses one of the fundamental mysteries in life's evolution. A cellular compartment in every eukaryotic cell, the mitochondrion, testifies to the endosymbiosis, when a bacterium was engulfed by a host cell. This event has probably initiated the emergence of complex cell forms about 2 billion years ago. But who was the recipient of that bacterium? Who was the host of the endosymbiont and thus the ancestor of all eukaryotes?

The discovery of Asgard Archaea might have brought the answer. Archaea have been known since the 1970s as a second fundamental lineage of microorganisms beside bacteria, but Asgard Archaea were only discovered in 2015 through genomic studies in deep ocean sediments. First laboratory cultures of Asgard were recently obtained in Japan and Austria. They reveal a surprising genomic and cellular complexity and thus point to those evolutionary inventions that were possibly needed for the formation of the first complex and compartmentalized cell forms.

Von Mikroorganismen zu komplexen Lebensformen

Wie sind aus den einfacheren Strukturen einzelliger Mikroorganismen die komplexen Lebensformen, darunter auch der Mensch, entstanden? Das Rätsel um den Ursprung der Eukaryoten (d. h. der Pflanzen, Tiere und Pilze) gehört zu einer der großen Fragen in der Evolution des Lebens. Ein Zellkompartiment in jeder eukaryotischen Zelle, das Mitochondrium, zeugt von der Endosymbiose, jenem Moment als ein Bakterium von einer Wirtszelle verschlungen wurde. Dieses Ereignis, das vor etwa 2 Milliarden Jahren geschah, hat wahrscheinlich die Entstehung komplexer Zellformen eingeleitet. Aber wer war der Empfänger dieses Bakteriums, also der Wirt des Endosymbionten und damit der Vorfahre aller Eukaryoten?

Die Entdeckung von Asgard-Archaeen scheint die Antwort gebracht zu haben. Archaeen sind seit den 1970er Jahren als zweite Abstammungslinie von Mikroorganismen neben Bakterien bekannt, Asgard-Archaeen wurden jedoch erst 2015 durch Genomstudien in der Tiefsee entdeckt. Erste Laborkulturen dieser Gruppe wurden nun kürzlich in Japan und Österreich gewonnen. Sie offenbaren eine überraschende zelluläre Komplexität und weisen damit auf jene evolutionären Erfindungen hin, die wahrscheinlich für die Bildung der ersten komplexen und kompartimentierten Zellformen erforderlich waren.

Foto: Christa Schleper



Prof. Dr. Christa Schleper is Professor of Microbiology and Genetics at the University of Vienna (since 2007) and head of the Archaea and Ecogenomics Unit in the Department of Functional and Evolutionary Ecology. Her research focuses on the ecology, physiology and evolution of archaea, in particular the ammonia-oxidising archaea in natural and agricultural soils and the Asgard archaea from marine sediments.

Venue

The German National Academy of Sciences Leopoldina
 Jägerberg 1
 06108 Halle (Saale)



Getting to the Leopoldina

From Flughafen Leipzig/Halle airport

by taxi in 30 to 40 minutes (around 50 €) or
 with Deutsche Bahn in 15 minutes (trains run hourly)

From Halle's main train station

by taxi in 5 to 10 minutes or
 by tram line 7 (to Kröllwitz) alighting Moritzburgring

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.
German National Academy of Sciences Leopoldina

Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)
Phone: (0345) 472 39-600
Fax: (0345) 472 39-919
E-Mail: leopoldina@leopoldina.org

The Leopoldina originated in 1652 as a classical scholarly society and now has 1,600 members from almost all branches of science. In 2008, the Leopoldina was appointed as the German National Academy of Sciences and, in this capacity, was invested with two major objectives: representing the German scientific community internationally, and providing policymakers and the public with science-based advice.

The Leopoldina champions the freedom and appreciation of science. It promotes a scientifically enlightened society and the responsible application of scientific insight for the benefit of humankind and the natural world. In its interdisciplinary discourse, the Academy transcends thematic, political and cultural boundaries. It is also an advocate of human rights.

doi: [10.26164/leopoldina_02_01196](https://doi.org/10.26164/leopoldina_02_01196)
www.leopoldina.org