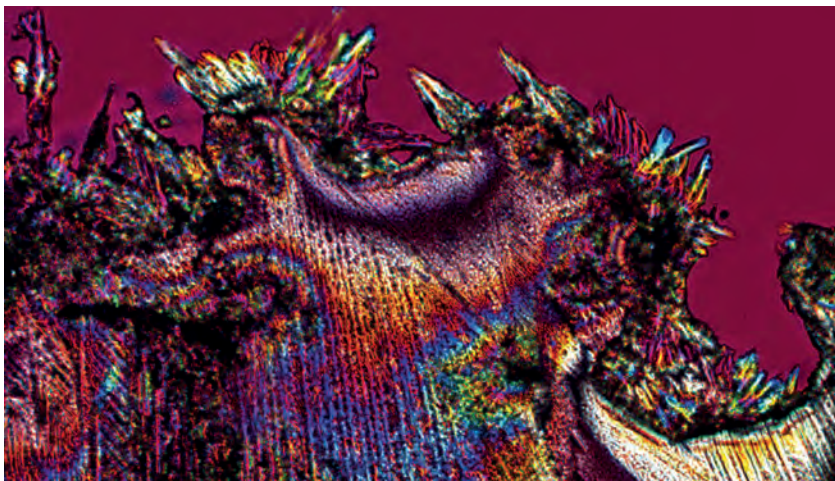


## ■ Harnstoff und der Ursprung des Lebens

Ein internationales Forscherteam von schweizerischen und deutschen Forschungseinrichtungen hat von einer neuentwickelten Methode berichtet (YIN et al. 2023), die es erlaubt, sehr schnelle chemische Reaktionsprozesse in wässriger Lösung zu verfolgen. Dazu bestrahlten sie einen sehr dünnen Flüssigkeitsfilm (Flat Jet: ca.  $0,5\ \mu\text{m}$ ) aus hochkonzentrierter Harnstofflösung (10 molar (m) und 5 m) zunächst mit einem ultrakurzen harten Laserstrahl (Puls von ca. 30 Femtosekunden Dauer, Wellenlänge: 400 nm; Intensität:  $1 \times 10^{14}\ \text{W}/\text{cm}^2$ ). Dann nahmen sie das Absorptionsspektrum eines weichen gepulsten Röntgenstrahls auf (Breitband-Röntgenstrahlung).

Der erste harte Röntgenpuls bewirkt, dass einige Harnstoffmoleküle



**Abb. 1** Mikroskopische Aufnahme von Harnstoffkristallen. (Wikimedia: Photon 400 750, CC BY-SA 4.0, Ausschnitt)

ein Elektron verlieren und dadurch ionisiert werden. In der Folge bilden ein ionisiertes und ein ungestörtes Harnstoffmolekül einen Dimerkomplex, bei dem über eine Art Wasserstoffbrücke ein Proton vom ionisierten auf das andere Harnstoffmolekül übertragen wird. Dank der hohen Zeitauflösung konnte gezeigt werden, dass der Vorgang der Protonenübertragung bereits nach 150 fs abgeschlossen ist (1 Femtosekunde:  $10^{-15}$ , d. h. also eine Billionstel Sekunde), also sehr rasch abläuft. Durch den initiierten Protonentransfer entstehen ein Harnstoff-Radikal und ein weiteres positiv geladenes Harnstoffmolekül. Radikale sind hochreaktive Spezies, die unmittelbar Folgereaktionen mit weiteren Molekülen eingehen. In der hier angeführten Arbeit untersuchten die Autoren die Übertragung von Protonen zwischen Harnstoffmolekülen. Die Resultate dieser Studie, deren Interpretation durch theoretische Berechnungen (Quantenmechanik und Molekülorbitale) unterstützt wurde, machen verständlich, dass durch die sehr schnelle Protonenübertragung zwischen Harnstoffmolekülen (bei den gewählten hohen Konzentrationen) andere Reaktionen (z. B. Wechselwirkung mit Wasser) keine Rolle zu spielen scheinen.

Die Bedeutung der von YIN et al. (2023) vorgestellten Methode liegt darin, dass mit dieser experimentellen Anordnung die Röntgen-Spektrometrie, mit der bisher Reaktionen in der Gasphase untersucht wurden, jetzt auch auf wässrige Lösungen angewendet werden kann. Damit

werden auch biochemische Reaktionen in wässrigem Medium, also sehr naturnah, für analytische Untersuchungen zugänglich. Die Autoren machen abschließend deutlich, dass die von ihnen vorgestellte Methode jetzt noch weiter in Richtung einer noch höheren Zeitauflösung (Attosekunden (as):  $10^{-18}$  Sekunden) entwickelt werden kann. Dadurch können grundlegende biochemische Reaktionen, die durch einen Protonentransfer ausgelöst werden, genauer analysiert werden, was das Verständnis von Reaktionsmechanismen in der Biochemie künftig deutlich verbessern wird.

Die Bedeutung der Studie hinsichtlich der präbiotischen Chemie, also der ungesteuerten und unspezifischen Synthese von Stoffen, die zum Aufbau erster zellähnlicher Gebilde notwendig sind, soll hier noch kritisch bedacht werden. Die Wahl von Harnstoff als Untersuchungssubstanz hat neben verschiedenen chemischen Gründen auch den, dass eine Verknüpfung mit Fragen der Lebensentstehung die Aufmerksamkeit vieler Leser weckt. YIN et al. nutzen diesen Effekt und erwähnen den Zusammenhang zwischen Harnstoff und der Chemie der Lebensentstehung gleich in der Einleitung ihres Artikels. Sie tun das aber deutlich zurückhaltender als das dann in populären Medien kommuniziert worden ist; dort wird z. B. getitelt: „Wie Harnstoff das Leben in Gang brachte“ (PODBREGAR 2023).

Die Verwendung von hochreinem Harnstoff, der in sehr hoher Konzentration in hochreinem

Wasser gelöst ist, erweist sich zwar im Sinne der Planung eines experimentellen Set-ups als nachvollziehbar, ist aber präbiotisch nicht plausibel. Bei sehr viel geringeren Konzentrationen und in Gegenwart weiterer Stoffe – was unter unspezifischen Bedingungen für die Modelle der präbiotischen Chemie plausibel ist – sind komplexere und deutlich weniger einheitliche Reaktionsverläufe zu erwarten.

Harnstoff ist in der Geschichte der Chemie im Zusammenhang mit Leben bereits bekannt geworden. Als Friederich Wöhler 1928 aus anorganischem Cyanat Harnstoff synthetisierte, demonstrierte er, dass diese aus Lebewesen bekannte Substanz im Labor aus anorganischen Stoffen herstellbar ist. Damit leistete er einen wichtigen Beitrag zur Etablierung der Organischen Chemie. Auch wenn es Publikationen gibt, in denen präbiotischen Szenarien Harnstoff mit hohen Erwartungen aufgeladen wird (SALVÁN et al. 2020), so soll hier daran erinnert werden, dass in der uns vertrauten Biochemie Harnstoff von Organismen genutzt wird, um Aminogruppen von Aminosäuren über die Niere zu entsorgen, also eher ein Abfallprodukt darstellt. Daraus kann man ebenso wenig Schlüsse auf die präbiotische Bedeutung von Harnstoff ziehen wie aus der Erfahrung, dass Harnstoff einen sehr potenten Stickstoffdünger darstellt.

YIN et al. (2023) eröffnen mit ihrer Studie neue Untersuchungsmöglichkeiten von biochemischen Reaktionsmechanismen in wässriger Lösung und damit in Situationen, die nahe an Verhältnissen in Organismen sind. Inwiefern ihre bisherigen Erkenntnisse aber für eine plausible Chemie der Lebensentstehung relevant sein könnten, ist bisher nicht erkennbar.

[PODBREGAR N (2023) Wie Harnstoff das Leben in Gang brachte, <https://www.scinexx.de/news/technik/wie-harnstoff-das-leben-in-gang-brachte/> • SALVÁN CM et al. (2020) Prebiotic origin of pre-RNA building blocks in a urea „warm-little-pond“ scenario. *Chem-BioChem.* 21, 3504-3510 • YIN Z et al. (2023) Femtosecond proton transfer in urea solutions probed by X-ray spectroscopy. *Nature*, <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06182-6>] H. Binder