



Foto © Petra Homeier



Foto © UR/Editorial Office

## Liebe Leserinnen, liebe Leser,

es ist uns eine große Freude, dass Sie trotz der anhaltenden Herausforderungen der Corona-Pandemie die Ausgabe 42/43 von »Blick in die Wissenschaft« in Ihren Händen halten können.

Unser Campus-Leben war in den letzten eineinhalb Jahren stark eingeschränkt und weite Teile der universitären Zusammenarbeit sind für drei Semester in den digitalen Raum umgezogen. So mussten Online-Formate und Homeoffice an die Stelle von Präsenzlehre und unmittelbaren Gesprächen treten. Forschungsprojekte, Tagungen und internationale Kooperationen konnten häufig nicht wie geplant umgesetzt werden und viele Studierende konnten den Campus der Universität Regensburg und das universitäre Leben vor Ort noch nicht persönlich kennenlernen.

Umso größer ist unsere Freude, im Wintersemester 2021/22 – trotz der nach wie vor gebotenen Vorsicht und den notwendigen Infektionsschutzmaßnahmen – nun wieder in einen weitreichenden Präsenzbetrieb und insbesondere zur Präsenzlehre auf unserem Campus zurückkehren zu können. Ich bin zuversichtlich, dass wir auch das Wintersemester 2021/22 und die vor uns liegende Über-

gangsphase erfolgreich gestalten werden und die positiven Errungenschaften der digitalen Möglichkeiten mit in die Zukunft nehmen.

Die Universität Regensburg hat in den vergangenen eineinhalb Jahren die Herausforderungen der Pandemie erfolgreich bewältigt und viel zur Eindämmung der Pandemie in der Stadt und in der Region beigetragen. Dies ist uns dank des enormen und großartigen Einsatzes vieler Menschen in den unterschiedlichsten Feldern und Tätigkeiten und dank des großen gegenseitigen Vertrauens und Respekts in unserer universitären Gemeinschaft gelungen. Wir haben in den Corona-Semestern unsere digitalen Kompetenzen erweitert, wir haben digital flexibel und bestmöglich auf die Planungsunsicherheiten der Pandemie reagiert und trotz eingeschränkter Mobilität den wissenschaftlichen und persönlichen Austausch in virtuellen Formaten weitergeführt. Um die Chancen der Digitalisierung weiter zu nutzen, hat die Universität Regensburg erheblich in die Infrastruktur für digitale Lehre und deren Unterstützung investiert. So sind nun zum Beispiel alle Hörsäle und Seminarräume mit Videokonferenztechnik ausgestattet.

Auch wenn Präsenzunterricht an der Universität Regensburg der Regelfall ist und bleibt, nehmen wir die digitalen Innovationen mit in die kontinuierliche Verbesserung der universitären Lehre und in den Ausbau des wissenschaftlichen Austausches.

Den Studierenden und Lehrenden sowie allen Mitarbeiter\*innen der Universität Regensburg in den unterschiedlichsten Tätigkeitsbereichen gebührt großer Dank für ihr außerordentliches Engagement, ihre hohe Motivation und vor allem auch für ihre Innovationsbereitschaft und ihre Planungsoffenheit in diesen Zeiten. Unser Dank richtet sich im gleichen Maße an den Redaktionsbeirat, das Redaktionsbüro und alle Autor\*innen der Ihnen nun vorliegenden Ausgabe von »Blick in die Wissenschaft«: Ungeachtet der anhaltenden Herausforderungen der Corona-Pandemie ist es dank ihres Einsatzes gelungen, in bewährter Weise einen Einblick in das breite Spektrum der Forschung unserer Universität zu ermöglichen.

So berichtet diese Ausgabe über moderne Wissenschaft an der Schnittstelle zwischen Chemie, Pharmazie, Medizin und Umwelt. Sie liefert griffige Beispiele dafür, wie Grundlagenforschung zu The-

men wie »Grenzflächen und Nanomaterialien« wichtige Impulse für neue Entwicklungen und konkrete Anwendungen geben kann, beispielsweise für den Schutz unserer Umwelt, für eine zielgenaue und nebenwirkungsarme Darreichung von Medikamenten oder für innovative und schnelle diagnostische Testverfahren. Unweigerlich schlägt man beim Lesen der beiden letztgenannten Beiträge die Brücke zu innovativen Behandlungsmöglichkeiten und Nachweisverfahren von SARS-CoV-2. Dazu passend: »Test positiv – Trotzdem gesund?« – ein Beitrag aus der Mathematik, der aufzeigt, wie wichtig es für Ärzt\*innen und Patient\*innen ist, statistische Informationen verständlich abzubilden. Eine verständliche Darstellung sowie mathematische Modelle, die helfen, beispielsweise das Wachstum von Tumoren zu verstehen und darauf aufbauend Behandlungsoptionen zu verbessern, rücken die oft als abstrakt und theoretisch wahrgenommene Mathematik in einen sehr konkreten Anwendungsbezug.

Ein Highlight dieser Ausgabe ist das Interview von Prof. Klaus Richter mit Prof.

Hans Joachim Schellnhuber bei dessen Besuch zum Dies Academicus 2019 anlässlich des 50jährigen Jubiläums des Lehrbetriebs der Fakultät für Physik. Prof. Schellnhuber hat in den 70-er Jahren in Regensburg Physik studiert und gilt als einer der weltweit renommiertesten Klimaexperten. Er gründete 1992 das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, das er als Direktor bis 2018 leitete. Als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) und langjähriges Mitglied des Weltklimarats (IPCC) prägte er die internationale politische Diskussion mit Blick auf eine nachhaltige Lösung des Klimaproblems und forderte zeitnahe politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Maßnahmen zur Erreichung des Zwei-Grad-Ziels, unter anderem durch die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen. In seinem Interview kritisiert er die Rolle der Wissenschaft, die besonders in Deutschland ihrer gesellschaftlichen Aufgabe nicht gerecht geworden sei: »Wer mehr weiß, der trägt auch mehr Verantwortung«. Das gilt, wie er sagt »für einen Piloten, der

ein Flugzeug steuert, während die Passagiere sich bequem zurücklehnen können ebenso, wie für einen Virologen, der weiß, dass ein gefährlicher Organismus um die Welt reisen und eine Pandemie auslösen kann.« Das Interview führte Prof. Richter zwei Monate vor dem Bekanntwerden der ersten Corona-Fälle.

Abgerundet wird diese Ausgabe durch eine Darstellung der »Abstammung als rechtliches Zuordnungskonzept« sowie Beiträge aus den Medienwissenschaften, die das Internet als »Akustischen Raum« beschreiben und auf dem Hintergrund der Corona-bedingten Internet-Transformation »Aufklärung im Zeitalter der Digitalisierung« anmahnen.

Genießen Sie die Lektüre dieser Ausgabe und bleiben Sie gesund.

Prof. Dr. Udo Hebel  
Präsident der Universität Regensburg

Prof. Dr. Ralf Wagner  
Vorsitzender Redaktionsbeirat

**Blick in die Wissenschaft**  
**Forschungsmagazin**  
**der Universität Regensburg**

ISSN 0942-928-X  
Heft 42/43  
30. Jahrgang

**Herausgeber**

Prof. Dr. Udo Hebel  
Präsident der Universität Regensburg

**Redaktionsleitung**

Prof. Dr. rer. nat. Ralf Wagner

**Redaktionsbeirat**

Prof. Dr. jur. Christoph Althammer  
Prof. Dr. rer. nat. Ferdinand Evers  
Prof. Dr. rer. nat. Stefan Friedl  
Prof. Dr. rer. nat. Mark W. Greenlee  
Prof. Dr. theol. Andreas Merkt  
Prof. Dr. phil. Omar W. Nasim  
Prof. Dr. rer. nat. Klaus Richter  
Prof. Dr. rer. pol. Daniel Rösch  
Prof. Dr. med. Ernst Tamm  
Prof. Dr. paed. Oliver Tepner  
Prof. Dr. phil. Christiane Heibach

Universität Regensburg  
93040 Regensburg  
Telefon (09 41) 9 43-23 00  
Telefax (09 41) 9 43-33 10

**Verlag**

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
Leibnizstraße 13, 93055 Regensburg  
Telefon (09 41) 7 87 85-0  
Telefax (09 41) 7 87 85-16  
info@univerlag-regensburg.de  
www.univerlag-regensburg.de  
Geschäftsführer: Dr. Albrecht Weiland

**Abonnementservice**

Andrea Winkelmayr  
bestellung@schnell-und-steiner.de

**Anzeigenleitung**

Larissa Nevecny  
MME-Marquardt  
info@mme-marquardt.de

**Herstellung**

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
info@univerlag-regensburg.de

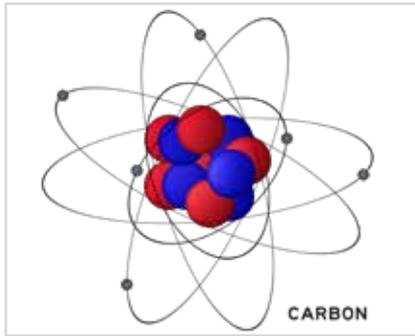
**Einzelpreis € 7,00**

**Jahresabonnement**

bei zwei Ausgaben pro Jahr  
**€ 10,00 / ermäßigt € 9,00**

Für Schüler, Studierende und Akademiker/innen im Vorbereitungsdienst (inkl. 7 % MwSt.) zzgl. Versandkostenpauschale € 1,64 je Ausgabe. Bestellung beim Verlag. Für **Mitglieder des Vereins der Ehemaligen Studierenden der Universität Regensburg e.V.**, des **Vereins der Freunde der Universität Regensburg e.V.** und des **Vereins ehemaliger Zahnmedizinstudenten Regensburg e.V.** ist der Bezug des Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag enthalten.

# Inhalt



**Nano – von Zwergen und Grenzflächen**

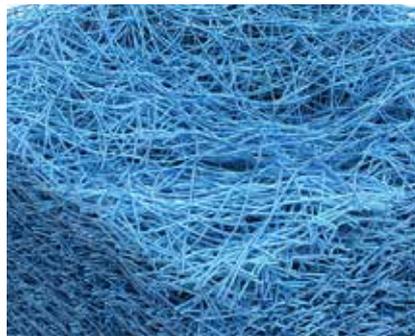
4

*Oliver Tepner*

**Die flüssige Messie-Welt**

7

*Werner Kunz*



**»Chemisches Zielen« in der Nanotherapie**

14

*Achim Göpferich*

**Nanomaterialien und Biosensoren**

22

*Antje Bäumner*



**Im Dialog mit Prof. Dr. Joachim Schellnhuber**

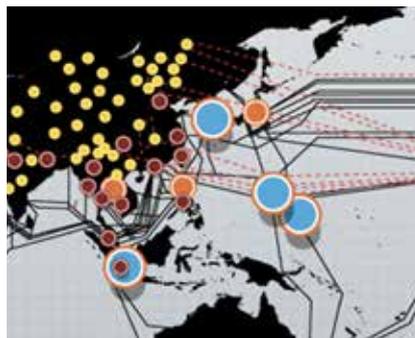
29

*Klaus Richter*

**Die Abstammung als rechtliches Zuordnungskonzept**

33

*Claudia Mayer*



**E-Normalität**

39

*Bernhard Dotzler*

**Im Rausch(en) der Informationen**

45

*Solveig Ottmann*



**Test positiv – Trotzdem gesund?**

52

*Karin Binder*

**Die Schöne und das Biest**

56

*Harald Garcke*

# Die flüssige Messie-Welt

## oder wie man sich unordentliche Flüssig-flüssig-Grenzflächen für eine ordentliche Chemie zunutze machen kann

Prof. Dr. Werner Kunz

»Das Volumen des Festkörpers wurde von Gott geschaffen, seine Oberfläche aber wurde vom Teufel gemacht.« hat angeblich der österreichisch-schweizerische Physiker und Nobelpreisträger Wolfgang Pauli gesagt oder sein Vater, ein durchaus bekannter Kolloidchemiker. Von Flüssigkeiten war da noch gar nicht die Rede. Aber wenn schon Oberflächen des Teufels sind, wer hat dann erst die noch viel ungeordneteren Flüssigkeiten gemacht? In der Tat ist für viele Physiker auch heute noch der flüssige Zustand ein Graus, weil er viel unordentlicher ist, als z. B. die schönen Kristalle und damit auch viel schwieriger zu beschreiben.

Dummerweise finden viele chemische Reaktionen in Flüssigkeiten statt und auch unser Leben wäre ohne die flüssige Phase undenkbar. Also müssen wir uns mit solchen Systemen befassen, wenn wir die

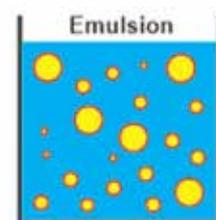
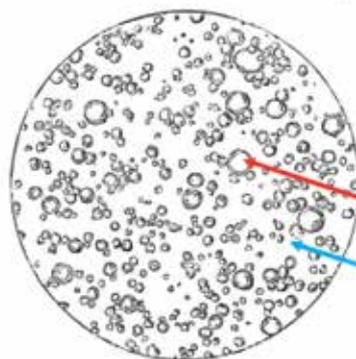
Natur besser verstehen wollen und technisch-industrielle Prozesse zum Wohl der Menschheit und der Umwelt verbessern wollen.

In einem ersten Schritt könnte man, wie viele Wissenschaftler es auch machen, seien es Chemiker oder Physiker oder Biologen, eine Flüssigkeit einfach als einen völlig ungeordneten See aus Molekülen betrachten. Dieses Medium bzw. seine Moleküle/kleinsten Teilchen besitzen demnach einfach eine gewisse Polarität (»Ladungsverteilung«) und man geht davon aus, dass sich »Gleiches mit Gleichem« mischt. So kann man Schnaps mit Wasser verdünnen und Öl mit Terpentin. Schwieriger wird es schon bei sogenannten Emulsionen oder noch allgemeiner Dispersionen. Das sind Gemische aus zwei oder mehreren Flüssigkeiten, die früher oder später in zwei makroskopisch trennbare Phasen aufspal-

ten, die durch eine scharfe Flüssig-flüssig-Grenzfläche getrennt sind. Jeder kennt das von der Milch. Mit einer Zentrifugation kann man den fettigen Rahm schnell von der wässrigen Magermilch abtrennen, sodass die Rahmphase oben schwimmt und die wässrige Phase unten. Außerdem kann man die Milch leicht mit Wasser verdünnen. Das liegt daran, dass, vereinfacht gesprochen, die wässrige Phase die äußere, kontinuierliche ist und die Rahmphase die innere »Tröpfchenphase« [1]. Und nur die äußere lässt sich mit »Gleichem« verdünnen. Bei Lippenstiften sind die Phasen vertauscht [2]. Wassertröpfchen sind hier in einer äußeren Ölphase dispergiert (»verteilt«) und geben dem modernen Lipgloss die gewisse Leichtigkeit. Der Lipgloss lässt sich deshalb auch leicht mit Öl verdünnen – probieren Sie's zu Hause aus.

1 Öltröpfchen, einer Milchemulsion – unterm Mikroskop gesehen links und Auftrennung der inneren Fetttropfenphase nach Zentrifugation, rechts. Der rote Pfeil weist auf die Fett- (Ölphase) hin, der blaue auf die wässrige.

Milch unter Mikroskop



© Dr. Hluc



© Prof. Dr. Werner Kunz

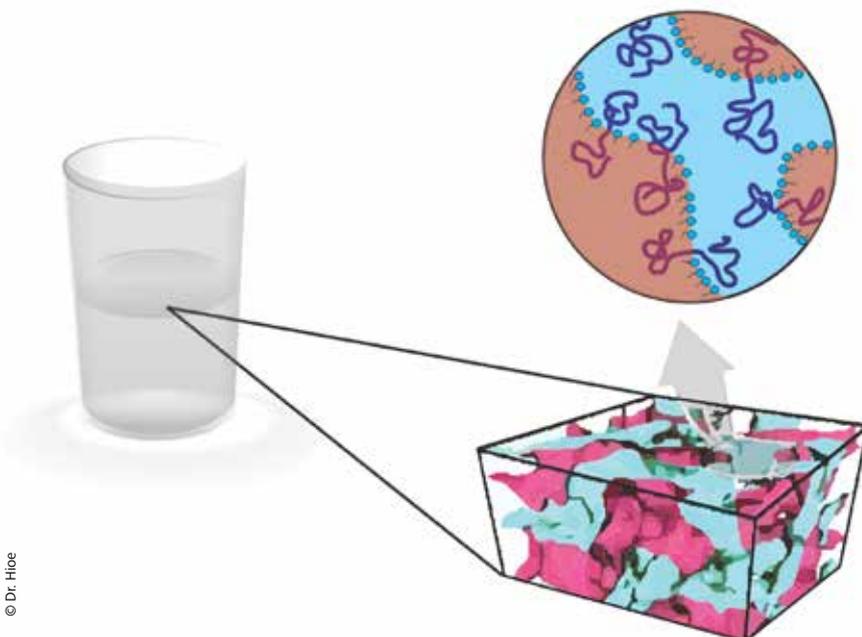
2 Mikroskopische Aufnahme der Emulsion eines Lipgloss (ohne Farbstoff), hundertfache Vergrößerung. Die weißen Bereiche sind wässrige Tröpfchen.

Man sieht schon, im Alltag begegnen uns häufig Flüssig-flüssig-Grenzflächen, etwa in Lebensmitteln, Reinigungsmitteln, Kosmetika, Medikamenten, Lacken und Farben, usw. usw. Selbst lebende Zellen bestehen aus Flüssig-flüssig-Gleichgewichten. So liegen lebenswichtige Eiweiße in Körperzellen nicht einfach in der wässrigen Zellflüssigkeit gelöst vor, sondern oft abgegrenzt als eigene flüssige Phase. Diese relativ neue Erkenntnis führt zu interessanten Einblicken in die Funktionsweise von lebenden Zellen.

Nun könnte man meinen, wenn man einmal die beiden Phasen getrennt hat (zum Beispiel einfach durch langes Warten oder Zentrifugieren), würde man zwei struktur- und grenzflächenlose Flüssigkeiten erhalten. Weit gefehlt. Denn selbst die separaten makroskopisch homogenen Phasen können noch nanoskopisch kleine Grenzflächen enthalten und gerade die sind spannend – und geradezu der Alptraum eines Wissenschaftlers, der sich mit der Schönheit und Ordnung von Kristallen beschäftigt.

Flüssigkeiten, die sich makroskopisch homogen geben, also sich nicht in zwei Phasen aufspalten lassen, dazu transparent sind (also nicht milchig wie eine Emulsion), niederviskos und so langweilig wie Wasser aussehen, nanoskopisch aber wohl strukturiert, werden als sogenannte Mikroemulsionen bezeichnet. Sozusagen die Messias unter allen irgendwie geordneten Systemen. [3] zeigt so eine Flüssigkeit. Sie sieht im Glas aus wie eine homogene unstrukturierte Flüssigkeit. Zoomt man aber mit einer millionenfachen Auflösung hinein, erkennt man, dass sie aus einer Mischung aus Öl und Wasser besteht mit fluktuierenden Grenzflächen, die mit einem Emulgator, grob gesagt, einem »Waschmittel«, stabilisiert sind. Stellen Sie sich dazu einfach einen Schwamm vor. Der feste Teil ist dann eine Flüssigkeit und der Gasanteil im Schwamm die andere. Nur ist die Schwammstruktur nicht in der Größenordnung von Millimetern oder Zentimetern sondern von Nanometern ( $10^{-9}$  m) und damit für das Auge unsichtbar. Hier liegt nicht nur eine Flüssig-Flüssig-Grenzfläche, sondern, trotz aller schneller Fluktuationen dieser Grenzfläche, auch eine gewisse Ordnung vor. Diese Ordnung kann unter bestimmten Bedingungen sogar noch zunehmen. Dann spricht man von sogenannten Flüssigkristallen. Aber diese sollen hier nicht Gegenstand der Betrachtung sein. Wir bleiben lieber bei diesen »unordentlichen« Grenzflächen von Mikroemulsionen.

Neben den in Abbildung 3 gezeigten, sogenannten »bikontinuierlichen«



© Dr. Hise

3 Makroskopisches und mikroskopisches Bild einer bikontinuierlichen Mikroemulsion. Die Farben auf der rechten Seite sollen lediglich die beiden verschiedenen »Pseudophasen« in der makroskopisch homogenen, klaren und farblosen Lösung links darstellen. Die blauen Punkte und Fäden symbolisieren Emulgatormoleküle. Der rechts unten gezeigte Ausschnitt hat eine typische Dimension von unter 100 Nanometern.

(schwammartigen) Phasen mit ihren schnell wabernden Grenzflächen gibt es auch noch Mikroemulsionen mit »geschwollenen Mizellen«, siehe [4].

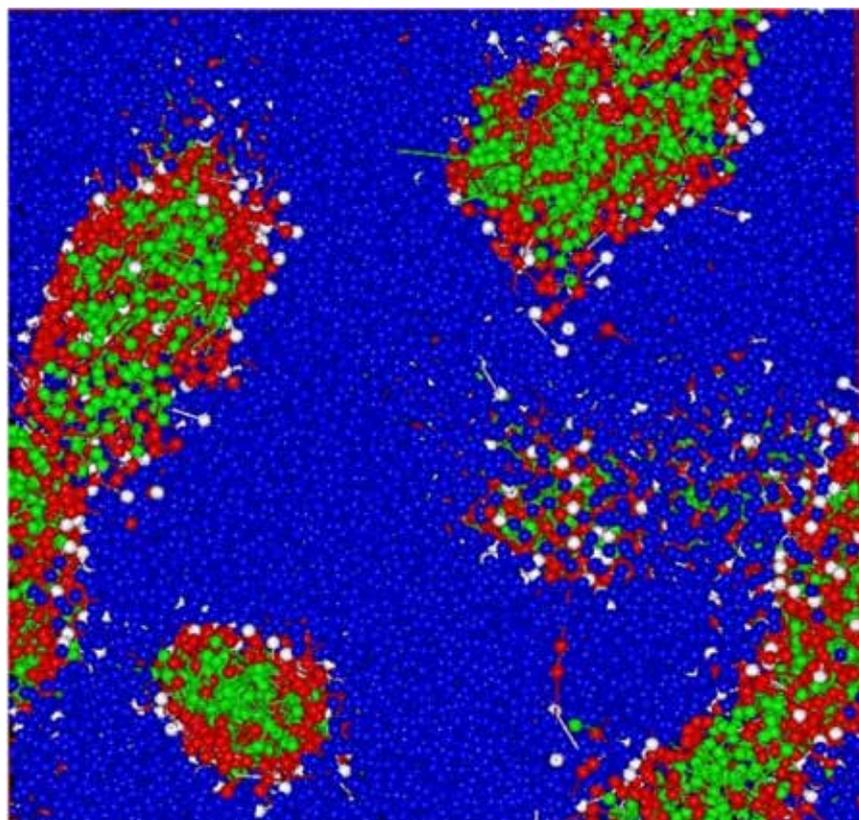
Solche Mikroemulsionen mit nanoskopischen Flüssig-Flüssig-Grenzflächen sind schon lange bekannt und wurden bereits praktisch angewendet, bevor man ihre Struktur auch nur erahnte. Weil sie manchmal so schön bläulich schimmern (aufgrund der Größe der fluktuierenden Strukturen), hat man sie schon vor mehr als hundert Jahren als Schuhwische verwendet, später in der Autowäsche und, ganz prominent, ab den 1970er Jahren für die Erdölgewinnung. Dabei und bei vielen anderen Anwendungen, zum Beispiel als Reinigungsmittel, macht man sich zunutze, dass diese flüssigen Medien sowohl polare als auch ölige Substanzen sehr gut lösen können. Oft wissen die Anwender nicht mal, dass sie mit Mikroemulsionen arbeiten. So beispielsweise in der Druckindustrie, wenn Tinten verwendet werden, oder in verschiedenen klaren und transparenten Reinigungsmitteln. Oder in einer milchigen Öllotion, bei der die beiden beteiligten flüssigen Phasen wiederum aus solchen einphasigen, aber nanostrukturierten Phasen bestehen.

Nun kann man sich vorstellen, dass sowohl die Simulation als auch die experimentelle Charakterisierung von solchen »Messie«-Strukturen und Grenzflächen alles andere als einfach ist. Oft helfen mikroskopische Techniken nicht weiter und man muss auf Röntgen- oder gar Neutronenstreutechniken – oder am besten beides in Kombination – zurückgreifen. Dazu braucht man recht hohe Strahlungsintensitäten, wie sie zum Beispiel am Europäischen Synchrotron in Grenoble (ESRF) und dem Institut Laue-Langevin, ebenfalls in Grenoble, zur Verfügung stehen.

### Nanoskopische Flüssig-flüssig-Grenzflächen und chemische Reaktionen

Bisher war von solcherlei seltsamen und schwer zu fassenden Grenzflächen überwiegend in diversen Produkten und Verfahren die Rede. Aber die Chemie ist die Lehre von der Umwandlung der Stoffe, und da möchte man gerne wissen, ob und wenn ja, wie, solche Grenzflächen auch chemische Reaktionen beeinflussen können.

Hier kommt die Organische Chemie ins



© Dr. Hubert Kühn, CAM-D Technologies.

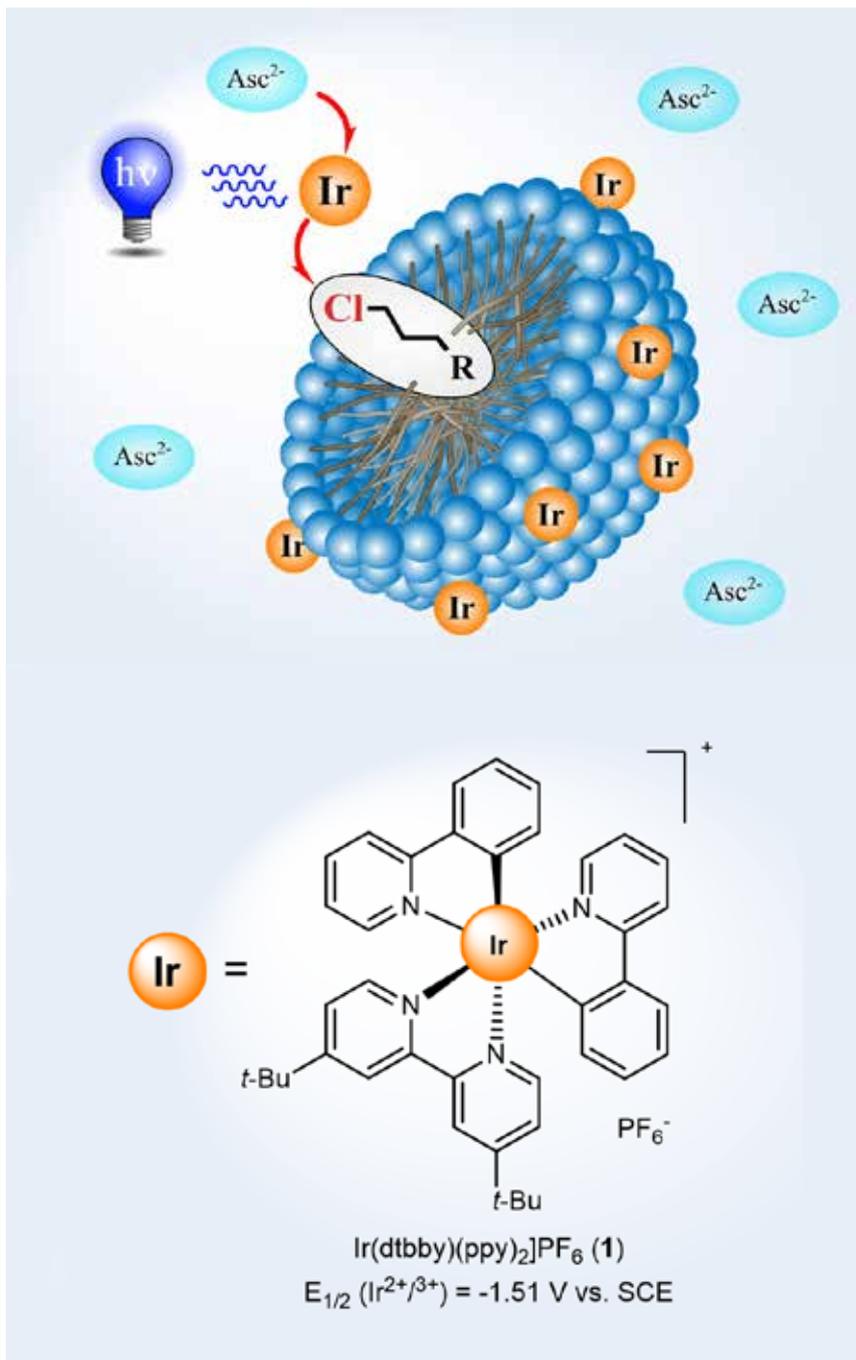
4 »Geschwollene Mizellen«, d. h. Nanotröpfchen bestehend aus einem Öl (grün) in einer wässrigen Umgebung (blau). Die Grenzfläche und damit die gesamte Mikroemulsion stabilisieren sogenannte Emulgatormoleküle (rot und weiß). Der gesamte Bildausschnitt hat eine Länge von ca. 30 nm.

Spiel. Prof. König und sein Team befassen sich schon lange mit chemischen Reaktionen, die die für die Reaktion nötige Aktivierungsenergie aus Lichtquellen beziehen, am besten aus sichtbarem Licht. Nun ist ein solches Licht, im Gegensatz zum ultravioletten Licht, recht energiearm, jedenfalls nicht energiereich genug, um chemische Bindungen, etwa zwischen Kohlenstoffmolekülen zu knüpfen oder zu spalten. Gott sei Dank für uns, denn sonst könnten wir uns gar nicht mehr in die Sonne setzen, ohne gleich »abzureagieren«, eventuell zu einem Häufchen Asche oder CO<sub>2</sub> und Wasser. Auf der anderen Seite weiß man heute recht genau, wie die Natur dieses Problem der mangelnden Energie des Sonnenlichts umgeht, um Bindungen zu knüpfen, für die viel höhere Energien, sprich viel kürzerwelliges Licht vonnöten wäre: die Photosynthese. Dabei wird, vereinfacht gesagt, ein Elektron gleich durch zwei Photonen hintereinander angeregt und damit auf das benötigte Energielevel gehoben, um die gewünschten chemischen Reaktionen einzuleiten.

Im Labor kann man solche Reaktionen im Prinzip nachbauen, allerdings bislang nur mit Katalysatoren, die zum Beispiel

das Metall Iridium enthalten, und ziemlich teuer und schwer zu recyceln sind. Der Knackpunkt dabei ist, dass der Katalysator in der Reaktionslösung auf der einen Seite von einem Donor (»Elektronenspendender« zum Beispiel Ascorbinsäure (»Vitamin C«)) ein Elektron aufnehmen muss, dann kurz hintereinander zwei Photonen schlucken und das angeregte Elektron gleich wieder an den weiteren Reaktionspartner abgeben muss. Wie in [5] gezeigt, gelingt dies am besten, wenn der Katalysator in eine fluktuierende und doch genügend stabile Grenzfläche in einer wässrigen Lösung quasi eingebettet ist und auf der einen Seite Zugang zum hydrophilen, also wasserlöslichen Elektronendonator hat und auf der anderen Seite zum hydrophoben (»wasserabweisenden«) Reaktionspartner, der chemisch umgesetzt werden soll.

Die Herausforderung, die wir in einer Kooperation mit der Arbeitsgruppe König meistern konnten, war, den Katalysator im Zeitmittel auf ein Zehnmilliardstel (!) Meter genau in der flüssigen Grenzfläche zu positionieren und dort auch während der natürlich in der Flüssigkeit auftretenden hohen Fluktuationsrate über Stunden zu halten. Natürlich, und wie schon erwähnt,



5 Ein Iridium-Katalysator ist in der Grenzfläche einer »geschwollenen« Mizelle eingebettet und fängt in einem Zwei-Photonenprozess genügend Energie aus sichtbarem Licht ein, um ein energiereiches Elektron aus der Ascorbinsäure in der umgebenden wässrigen Pseudophase an die organischen Reaktionspartner im Inneren der Mizelle weiter zu geben.

Publiziert in Fig. 1 in: Maciej Giedyk, Rok Narobe, Sophia Weiss, Didier Touraud, Werner Kunz, and Burkhard König, Photocatalytic activation of alkyl chlorides by assembly-promoted single electron transfer in microheterogeneous solutions, *Nature Catalysis* 3 (January 2020), 40-47. doi:10.1038/s41929-019-0369-5. Editionshaus: Springer Nature Portfolio.

gibt es noch so manche Hindernisse zu überwinden, und vielleicht wird es auch nie gelingen, sich auf diesem Weg die Photosynthese zum Vorbild zu nehmen und in großem Maßstab chemische Moleküle oder Materialien aufzubauen. Aber als Proof of Concept taugt es allemal und ein, wenn auch noch recht akademischer, Bei-

trag zum Energiesparen durch Ausnützen des Sonnenlichts für eigentlich energetisch damit unmögliche Prozesse ist es auch. Erwähnt sei noch, dass die Photosynthese zur Reduktion von CO<sub>2</sub> durch mittels Sonnenlichts energiereich gemachten Elektronen die dazu nötigen außerordentlich komplexen Moleküle in Membranen, also

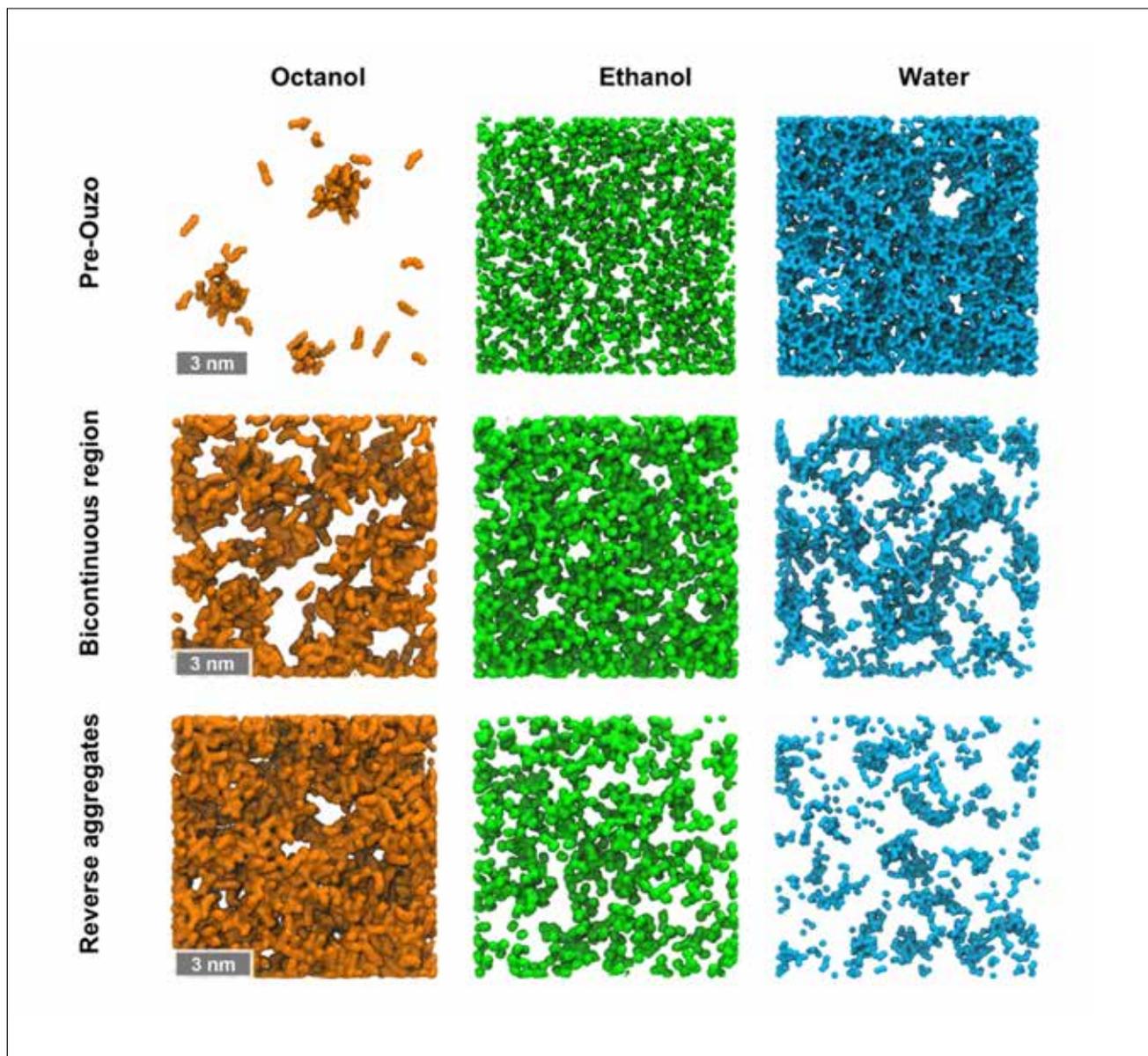
klar ausgebildeten Grenzflächen zwischen zwei Flüssigkeiten, einlagert. Es kann nicht das Ziel sein, die Natur in ihrer Komplexität nachzubauen, aber sich biomimetisch von den Prinzipien der Natur inspirieren zu lassen, ist ein eventuell gangbarer Weg, um leichter ans Ziel zu kommen.

## Tensidfreie Mikroemulsionen – keine Fantasterei

Über viele Jahre war es Konsens unter den Wissenschaftlern, dass Mikroemulsionen mit ihren hier diskutierten Flüssig-flüssig-Grenzflächen sogenannte Tenside, auch »Emulgatoren« oder »waschaktive Substanzen« genannt, brauchen, damit sich solche Grenzflächen überhaupt ausbilden können. Und so manche sind davon immer noch überzeugt und glauben nicht, was jetzt kommt. Sie sind der Meinung, dass sich zwei Flüssigkeiten ohne Tenside entweder gar nicht mischen, oder wenn sie sich mischen, sie dies ohne Ausbildung von richtigen Grenzflächen tun, also allenfalls einige undefinierte Aggregate bilden, ohne dass man dabei von Grenzflächen sprechen kann. Die vermeintlich dazu benötigten Tenside sind sogenannte amphiphile Moleküle. Sie enthalten einen Teil, der wasserlöslich ist und einen anderen, der öllöslich ist. Mischt man sie mit Wasser und Öl, wirken sie als Lösungsvermittler, bilden Mizellen und Mikroemulsionen und bei höheren Konzentrationen auch flüssigkristalline Phasen, zum Beispiel Schichten zwischen Öl und Wasser. In jedem Fall wirken sie aber als Lösungsvermittler. Und lange galt: kein Tensid, also kein Mizellbildner, keine Mikroemulsion.

Erste Risse bekam diese Vorstellung, als Biochemiker schon in den 1970er Jahren beobachteten, dass Enzyme in Mischungen aus einem wässrigen Puffer, einem Öl und einem einfachen Alkohol eine ungewöhnlich hohe Aktivität entfalten. Dies sollten sie eigentlich keineswegs tun, denn die verwendeten Enzyme brauchen, um aktiv zu sein, zwingend Grenzflächen – und die sollte es in solchen tensidfreien Systemen nicht geben. Seitdem tauchten immer mal wieder Publikationen auf, in denen Grenzflächen und sogenannte tensidfreie Mikroemulsionen (TFME) postuliert wurden, aber so richtig ernst nahm man die Veröffentlichung in der eigentlich zuständigen »Kolloid-Community« nicht.

So waren wir wohl die ersten, die in den Jahren von 2014 bis 2017 die Existenz



6 Snapshots von Mischungen aus Wasser, Oktanol (das »Öl«) und Ethanol (der nicht-tensidische Lösungsvermittler). Klar zu sehen sind die Oktanolmizellen links oben im wasserreichen Gebiet und, etwas weniger ausgeprägt, die Wasseraggregate im ölrreichen Gebiet, rechts unten. In der Mitte das bikontinuierliche Gebiet. Die einzelnen Typen von TFMEs bilden sich je nach der Zusammensetzung der ternären, makroskopisch klaren und homogenen Lösung.

publiziert als Fig. 3 in Tobias Lopian, Sebastian Schöttel, Sylvain Prévost, Stéphane Pellet-Rostaing, Dominik Horinek, Werner Kunz, and Thomas Zemb, Morphologies observed in ultra-flexible microemulsions with and without the presence of a strong acid, ACS Central Science 2 (2016) 467-475

dieser seltsamen Systeme zweifelsfrei beweisen konnten. Dazu war eine jahrelange Kooperation zum einen mit französischen Experten für Röntgen- und Neutronenstreuung an komplexen Flüssigkeiten nötig und zum anderen mit Spezialisten zur theoretischen Beschreibung und Simulation von solchen ungewöhnlichen Fluiden. Besonders hervorzuheben sind dabei die sogenannten molekulardynamischen Computersimulationen von Prof. Horinek, hier in Regensburg. Sogenannte Snapshots von Simulationen in seiner Arbeitsgruppe sind in [6] gezeigt. Wie zu erwarten, sind die Grenzflächen weit weniger definiert als in

»echten« Mikroemulsionen. Trotzdem sind sie offensichtlich ausreichend, um Enzyme zu stabilisieren und zu aktivieren.

Ist das nun alles exotische Grundlagenwissenschaft ganz oben im Elfenbeinturm? Mitnichten. Zunächst sei festgestellt, dass Emulgatoren im Allgemeinen nicht gut für die Umwelt sind. Seifen zum Beispiel sind haut- und augenreizend, sie schäumen und andere sind schlecht bioabbaubar oder mehr oder minder umweltschädlich, wie viele weitverbreitete technische Tenside. Könnte man sie wenigstens zum Teil durch einfache, biogene Lösungsmittel ersetzen oder einfach ganz weglassen, wäre

das ein signifikanter Fortschritt, auch und gerade für die Umwelt.

Einige Anwendungen haben wir bereits ins Auge gefasst. So gelang es unserem Kollegen Prof. Matysik aus der Analytischen Chemie, eine potente Analysemethode, die sogenannte Mikroemulsions-Elektrokinetik-Chromatographie weiterzuentwickeln und mit der Elektrospray-Ionisations-Massenspektrometrie zu verknüpfen. Was so sperrig klingt, kann beispielsweise dazu benutzt werden, neutrale Vitamine verschiedener Polarität auf elegante Weise voneinander zu trennen und damit zu unterscheiden. Entscheidend für das Gelingen

dieser Verknüpfung von Messtechniken war, dass durch die Verwendung von TFMEs kein Tensid mehr verwendet werden musste, was die Detektion entscheidend gestört hätte. – Eine erste ganz praktische Anwendung der neuen tensidfreien Mikroemulsionen.

In einer weiteren Zusammenarbeit mit Prof. König aus der Organischen und Prof. Pfitzner aus der Anorganischen Chemie ergab sich, dass die Strukturen in diesen TFME nicht nur die Geschwindigkeit von enzymkatalysierten, sondern auch von viel einfacheren organischen Reaktionen beeinflussen können. Ein solcher Einfluss war für recht simple Flüssigkeitsmischungen bisher in der Chemie weitgehend unbekannt und sollte die Möglichkeit eröffnen, chemische Umsetzungen weit gezielter als bisher steuern zu können.

Und schließlich eine weitere Anwendungsmöglichkeit, die wir zurzeit intensiv untersuchen: die Extraktion und nachfolgende direkte Anwendung von Pflanzeninhaltsstoffen. Ein Beispiel dafür ist Curcumin. Dieser gesunde gelb-orange Farbstoff kann mit TFMEs, die neben Wasser nur aus trinkbaren Flüssigkeiten bestehen, auf einfache und kostengünstige Weise aus dem käuflichen Curcuma-Pulver extrahiert werden und sogar wasserlöslich gemacht werden. Damit kann in Lebensmitteln der noch weitverbreitete, aber gesundheitlich höchst problematische gelbe Farbstoff Tartrazin (E102) ersetzt werden, der u. a. in Senf, Pudding und Keksen enthalten sein kann. Dies ist ein weiterer Beitrag der Verwendung von Flüssig-flüssig-Grenzflächen zur Verbesserung chemischer Prozesse. Eine Reihe weiterer Anwendungen von TFMEs, beispielsweise in der Kosmetik, aber auch für ganz andere Bereiche wie Kunststoffherstellung und eine umweltfreundliche und billigere Biodiesel-Formulierung sind ebenfalls geplant oder sogar schon untersucht und zum Patent angemeldet.

## Und wo bleibt das Umweltbewusstsein?

Wie schon angedeutet, kann die Forschung auf dem Gebiet der Flüssig-flüssig-Grenzflächen zu verbesserten, weniger giftigen und umweltfreundlicheren Produkten und Verfahren führen. Dies ist nur ein Beispiel dafür, wie intensiv an der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Universität Regensburg daran gearbeitet wird, einen signifikanten Beitrag zu einer besseren Lebensqualität und Umwelt zu leisten. Ohne neue Ideen in der Chemie wird es keine signifikante Energieeinsparung geben. Ein zentrales Forschungsgebiet ist die chemische Katalyse, also die gezielte Steuerung von chemischen Reaktionen unter Minimierung des Energieaufwandes. Hier ist das Institut für Organische Chemie ganz vorne mit dabei. Auch eine genaue, aber kostengünstige Analytik, gepaart mit minimalem Aufwand, sodass sie sogar in Entwicklungsländern einsetzbar ist, ist ein wichtiger Beitrag zu einer saubereren Umwelt. Das Verständnis physiologischer Prozesse und die darauf aufbauende Entwicklung neuer Arzneien und deren Darreichungsformen, so wie sie in der Pharmazie erforscht werden, gehören natürlich auch dazu.

Mit der Forschung einher geht ein Umdenken in der Lehre. Stand über Jahrzehnte das Erlernen der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Stoffen und deren chemischer Umsetzung im Fokus, so sind jetzt Fragen der (Öko-)Toxizität, Bioabbaubarkeit oder der Energieeffizienz und allgemein der Umweltverträglichkeit und der damit einhergehenden Gesetzgebung in der Ausbildung der zukünftigen Chemiker angelangt. Chemie ist nicht mehr da, wo »es kracht und stinkt«, sondern wo ökologische Probleme gelöst werden müssen. War die Chemie über lange Zeit mitverantwortlich für die Verschlechterung

der Umwelt, so will sie jetzt die treibende Kraft zu ihrer Verbesserung sein.

Wer weiß, vielleicht heißt es ja in einigen Jahrzehnten nicht mehr »Da ist keine Chemie drin«, sondern: »Da ist die richtige Chemie drin«, um ökologische und gesunde Produkte und Verfahren zu bewerten.

## Literatur

Thomas Zemb, Michael Klossek, Tobias Lopian, Julien Marcus, Sebastian Schöttl, Dominik Horinek, Sylvain Prevost, Didier Touraud, Olivier Diat, Stjepan Marčelja, Werner Kunz, How to explain microemulsions formed by solvent mixtures without conventional surfactants, *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 113 (16) (2016) 4260–65.

Tobias Lopian, Sebastian Schöttl, Sylvain Prévost, Stéphane Pellet-Rostaing, Dominik Horinek, Werner Kunz, and Thomas Zemb, Morphologies observed in ultra-flexible microemulsions with and without the presence of a strong acid, *ACS Central Science* 2 (2016) 467–475.

Urška Mohorič, Andrea Beutner, Sebastian Krickl, Didier Touraud, Werner Kunz, Frank-Michael Matysik, Surfactant-free microemulsion electrokinetic chromatography (SF-MEEKC) with UV and MS detection – a novel approach for the separation and MS detection of neutral compounds, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 408 (30) (2016) 8681–8689.

Sebastian Krickl, Thomas Buchecker, Andreas Uwe Meyer, Isabelle Grillo, Didier Touraud, Pierre Bauduin, Burkhard König, Arno Pfitzner, and Werner Kunz, A systematic study of the influence of mesoscale structuring on the kinetics of a chemical reaction, *Physical Chemistry Chemical Physics* 19 (2017) 23773–23780.

Maciej Giedyk, Rok Narobe, Sophia Weiss, Didier Touraud, Werner Kunz, and Burkhard König, Photocatalytic activation of alkyl chlorides by assembly-promoted single electron transfer in microheterogeneous solutions, *Nature Catalysis* 3 (2020), 40–47.

