

ren CO₂ elektrochemisch an Kupferfolien.¹⁸⁾ Dabei erhalten sie je nach Elektrodenbehandlung Kohlenwasserstoffe mit Kettenlängen bis zu C₆, die Produktverteilung hängt dabei vom Elektrodenpotential ab.

Michael Bron, Jahrgang 1967, studierte Chemie an der Universität Oldenburg und promovierte anschließend an der TU Chemnitz bei Rudolf Holze. Nach einem Postdoc-Aufenthalt am Hahn-Meitner-Institut Berlin ging er als Habilitand zu Peter Claus nach Darmstadt. Seit 2007 leitet er eine Nachwuchsgruppe an der Universität Bochum. Er beschäftigt sich mit der Elektrokatalyse für PEM-Brennstoffzellen und heterogen katalysierten Gasphasenreaktionen.



Literatur

- 1) D. J. Schiffrin, *Faraday Discuss.* 2008, 140, 439.
- 2) S. Koh, P. Strasser, *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 12624.
- 3) R. Srivastava, P. Mani, N. Hahn, P. Strasser, *Angew. Chem.* 2007, 119, 9146.
- 4) S. Chen, P. J. Ferreira, W. Sheng, N. Yabuuchi, L. F. Allard, Y. Shao-Horn, *J. Am. Chem. Soc.* 2008, 130, 13818.
- 5) V. R. Stamenkovic, B. S. Mun, M. Arenz et al., *Nat. Mater.* 2007, 6, 241.
- 6) J. Zhang, K. Sasaki, E. Sutter, R. R. Adzic, *Science* 2007, 315, 220.
- 7) S. von Kraemer, K. Wikander, G. Lindbergh, A. Lundblad, A. E. C. Palmqvist, *J. Power Sources* 2008, 180, 185.
- 8) A. F. Gullá, L. Gancs, R. J. Allen, S. Mukerjee, *Appl. Catal. A: General* 2007, 326, 227.
- 9) J. Yang, D.-J. Liu, N. N. Kariuki, L. X. Chen, *Chem. Commun.* 2008, 329.
- 10) T. Schilling, M. Bron, *Electrochim. Acta* 2008, 53, 5379.
- 11) M. Tada, S. Murata, T. Asakoka et al., *Angew. Chem.* 2007, 119, 4388.
- 12) M. C. Smith, J. A. Gilbert, J. R. Mawdsley, S. Seifert, D. J. Myers, *J. Am. Chem. Soc.* 2008, 130, 8112.
- 13) K. J. J. Mayrhofer, J. C. Meier, S. J. Ashton et al., *Electrochem. Commun.* 2008, 10, 1144.
- 14) J. Solla-Gullón, F. J. Vidal-Iglesias, A. López-Cudero et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2008, 10, 3689.
- 15) Y. E. Seidel, A. Schneider, Z. Jusys, B. Wickman, B. Kasemo, R. J. Behm, *Faraday Discuss.* 2008, 140, 167.
- 16) A. U. Nilekar, M. Mavrikakis, *Surf. Sci.* 2008, 602, L89.
- 17) H. A. Hansen, J. Rossmeisl, J. K. Nørskov, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2008, 10, 3722.
- 18) H. Shibata, J. A. Moulijn, G. Mul, *Catal. Lett.* 2008, 123, 186.

Ionische Flüssigkeiten

◆ 10⁹ bis 10¹⁸ ionische Flüssigkeiten sind denkbar, bis Ende 2008 sind mehr als 1000 verschiedene veröffentlicht worden, und es gibt bereits fast 20 kommerzielle industrielle Anwendungen.¹⁾ In ultrareiner Qualität hergestellt und umfassend charakterisiert sind allerdings keine 50 ionischen Flüssigkeiten (Abbildung 1). Leider beschäftigen sich noch immer zu viele Gruppen – insbesondere Einsteiger – mit Flüssigkeiten mit den hydrolyseempfindlichen PF₆⁻ und BF₄⁻-Anionen; dies führt häufig zu schlecht reproduzierbaren und widersprüchlichen Ergebnissen.

Dennoch hat sich in nur zehn Jahren aus einer Laborkuriosität ein international beachtetes Forschungsgebiet entwickelt. Allein im Jahr 2008 sind 3100 begutachtete Publikationen erschienen, seit 1998 gut 13 000 in der Summe. Etwa ein Drittel dieser Publikationen behandelt physikalisch-chemische Aspekte (Spektroskopie, Thermodynamik, Elektrochemie, Theorie/Simulation, Oberflächen, Katalyse). Unterstützt durch das Schwerpunktprogramm Ionische Flüssigkeiten der Deutschen Forschungsgemeinschaft²⁾ arbeiten in Deutschland mittlerweile rund 30 Gruppen aus physikalischer Chemie und Experimentalphysik an ionischen Flüssigkeiten. Für einen Einstieg in das Gebiet sei an dieser Stelle – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – auf drei neuere Bücher verwiesen.^{3–5)} Im Folgenden werden einige aus Sicht des Autors erwähnenswerte Aspekte ionischer Flüssigkeiten herausgegriffen: Dampfdruck, Adsorption/Solvatschichten, Nanopartikel und Elektrochemie.

Dampfdruck

◆ Bis Ende 2005 war die Meinung, ionische Flüssigkeiten hätten keinen Dampfdruck, weit verbreitet, denn selbst im Hochvakuum und bei erhöhter Temperatur erreichte man keine sichtbaren Destillationsraten.

Allerdings lernt jeder Naturwissenschaftler, dass jeder Stoff einen Dampfdruck hat. So kamen die ersten Veröffentlichungen in den Jahren 2005 und 2006 über Dampfdrücke bei ionischen Flüssigkeiten bei erhöhter Temperatur nicht überraschend.^{6–8)} Earle et al. haben für einige Flüssigkeiten mit dem Bis-(trifluoromethylsulfonyl)amid-Ion sogar Destillationsraten bestimmt.⁶⁾

Neuere Arbeiten wie von der Gruppe Andreas Heintz in Rostock erwähnen Verdampfungsenthalpien. Diese können 200 kJ·mol⁻¹ betragen, wobei aufgrund der zahlreichen Anionen-Kationen-Kombinationen sowohl höhere als auch niedrigere Werte denkbar sind (zum Vergleich: Wasser hat eine Verdampfungsenthalpie von ungefähr 40 kJ·mol⁻¹, Blei etwa 180 kJ·mol⁻¹ und NaCl zirka 200 kJ·mol⁻¹). Bei Raumtemperatur liegen die Dampfdrücke der meisten ionischen Flüssigkeiten bei vernachlässigbaren 10⁻¹⁰ mbar, die je nach Flüssigkeit bei Temperaturen um 200 °C auch 10⁻³ mbar betragen können. Solche Dampfdrücke erlauben nahe Raumtemperatur Messungen unter Ultrahochvakuum,^{9–11)} sowie stabile Niederdruck-Plasmen.^{12,13)} Noch nicht vollständig geklärt ist die Frage, welche Spezies in der Dampfphase vorliegen.¹⁴⁾ Wegen der Fülle verschiedener Flüssigkeiten ist eine allgemeine Aussage hierzu schwierig.

Adsorption und Solvatschichten

◆ Obwohl sich unsere Gruppe seit Jahren mit Rastertunnelmikroskopie (STM) an der Grenzfläche zwischen Metall und ionischen Flüssigkeiten beschäftigt, ist es uns nicht gelungen, die Struktur von Au(111) oder von Pt(111) in luft- und wasserstabilen Flüssigkeiten (Abbildung 2) atomar aufzulösen. Es gibt Hinweise, dass dies in Flüssigkeiten auf AlCl₃-Basis gelingt.¹⁵⁾

STM-Bilder von Au(111) in 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium-bis-(trifluoromethylsulfonyl)amid ([Py_{1,4}][Tf₂N]) zeigen unter stromlosen Bedingungen (open circuit po-

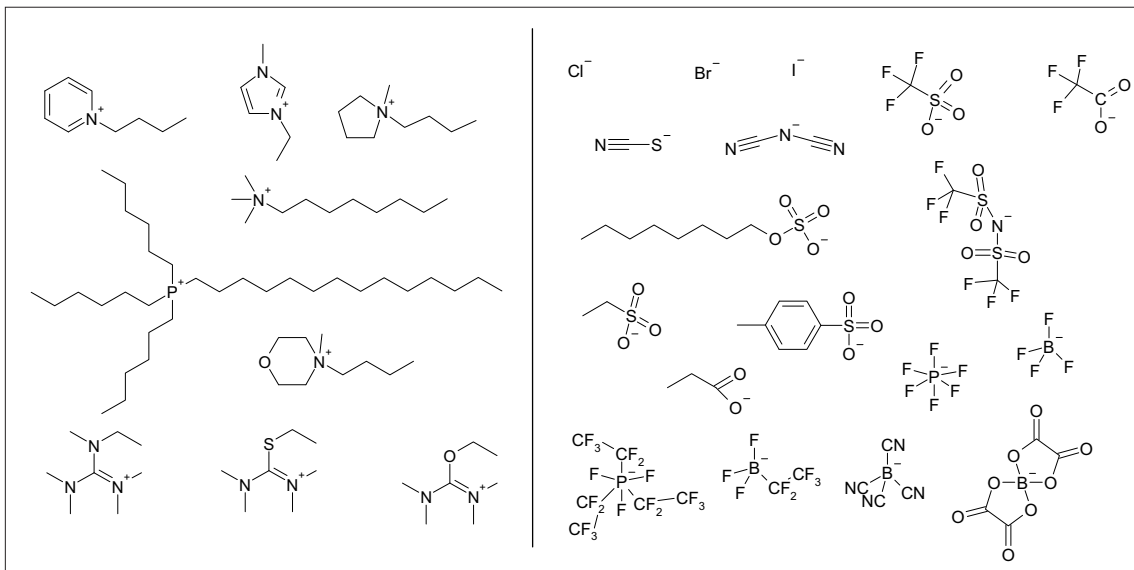


Abb. 1. Einige Kationen und Anionen luft- und wasserstabiler ionischer Flüssigkeiten, die häufig beschrieben wurden oder kommerziell erhältlich sind.

tential) eine wurmartig strukturierte Oberfläche. In 1-Ethyl-3-methylimidazolium-bis(tri-fluoromethylsulfonyl)amid ([EMIm]Tf₂N) ist diese Strukturierung sehr viel weniger ausgeprägt (Abbildung 2). Wenn man nun unter elektrochemischer Kontrolle das Elektrodenpotenzial in negative Richtung verschiebt, benötigt man in [Py_{1,4}]Tf₂N mehr als 1,2 V kathodische Polarisierung, damit eine glatte Goldoberfläche entsteht, während in [EMIm]Tf₂N 0,3 bis 0,4 V genügen. Wir folgerten bereits früher, dass [Py_{1,4}]Tf₂N stark mit der Oberfläche wechselwirkt.^{16,17)}

Messungen mit Rasterkraftmikroskopie (AFM) von Atkin et al. haben ergeben, dass $[\text{Py}_{1,4}]\text{TF}_2\text{N}$ vier Mal stärker auf Au(111) adsorbiert wird als $[\text{EMI}]\text{TF}_2\text{N}$. Im ersten Fall lassen Kraft-Abstands-Kurven auf bis zu fünf adsorbierte Schichten Flüssigkeit schließen, im zweiten Fall sind nur zwei bis drei Schichten feststellbar (Abbildung 3).¹⁸⁾ Nach davon unabhängigen Messungen werden Flüssigkeiten mit dem Tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphat-Anion auf Saphir in bis zu sechs Schichten adsorbiert.¹⁹⁾ Auch für Graphit wurde über solche Solvatschichten berichtet.²⁰⁾ Aus diesen Beobachtungen leiten sich grundlegende Fragen ab: Wie sieht die elektrochemische Doppelschicht

aus? Unter welchen Bedingungen kann man erwarten, dass man in ionischen Flüssigkeiten einkristalline Metalloberflächen auf Knopfdruck atomar abbildet? Wie kann man solche fest anhaftenden Solvatschichten entfernen? Katalytische Untersuchungen an Rutil- und Anatas-Nanopartikeln bei uns in Clausthal haben z.B. ergeben, dass die Materialien selbst nach Soxhlet-Extraktion und trotz Oberflächen von 200 bis 300 m²·g⁻¹ anfänglich erstaunlich wenig aktiv sind und erst im Laufe des Experimentes aktiv werden. Grundsätzlich haften Monolagen von ionischen Flüssigkeiten recht fest an der Grenzfläche zu Festkörpern und beeinflussen deren Oberflächeneigenschaften drastisch, beispielsweise durch Adsorption an Defekten und katalytischen Zentren.

Nanopartikel

◆ Ionische Flüssigkeiten eignen sich vorzüglich zur Synthese von Nanopartikeln. Die Hydrolyse von TiCl_4 in luft- und wasserstabilen Flüssigkeiten führt je nach Reaktionsbedingungen zu Rutil-Nanopartikeln oder zu Anatas-Nanopartikeln, wobei die Flüssigkeit selber den Reaktionsweg beeinflusst.^(21,22) Erstaunlich ist die Robustheit des Prozesses, in dem Partikel mit Korngrößen unter 10 nm und Oberflächen von bis zu $400 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ reproduzierbar entstehen.⁽²³⁾

Okazaki et al. haben mit einer simplen Anlage zum Magnetron-Sputtern, in welcher Gold, Silber oder Gold und Silber zugleich auf eine ionische Flüssigkeit gesputtert werden, Partikel von nur wenigen Nanometern Durchmesser her-

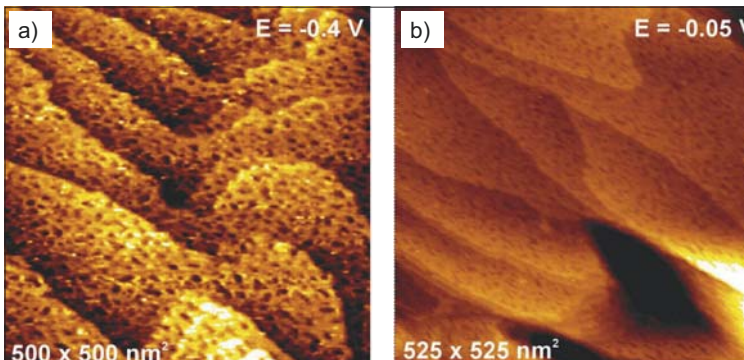


Abb. 2. STM-Bilder der Oberflächenstruktur der Au(111)-Fläche a) in $[Py_{1,4}]Tf_2N$ und b) in $[EMIm]Tf_2N$.

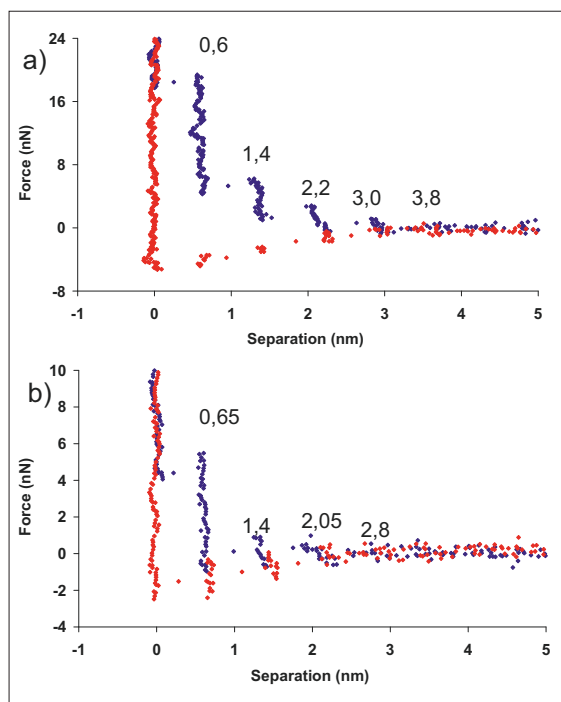


Abb. 3. Kraft-Abstands-Kurven von Au(111) a) in $[\text{Py}_{1,4}]\text{Tf}_2\text{N}$ und b) in $[\text{EMIm}]\text{Tf}_2\text{N}$.

gestellt.²⁴⁾ Nicht nur der enge Größenbereich sondern auch die Einfachheit des Prozesses, der von dem vernachlässigbaren Dampfdruck der meisten ionischen Flüssigkeiten profitiert, sind verblüffend.

Eine weitere Möglichkeit, metallische Nanopartikel herzustellen, ist die Plasmaelektrochemie: Elektronen eines Plasmas reduzieren in der Flüssigkeit gelöste Metallsalze an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Plasma zu Nanopartikeln. Auch dieser Prozess profitiert vom geringen Dampfdruck.

Allerdings ist bei all diesen Verfahren noch unklar, inwieweit die Flüssigkeiten fest an der Oberfläche der Partikel adsorbiert werden und damit die Bildung der Nanopartikel begünstigen und wie Anionen-Kationen-Kombinationen diese Adsorption und damit Kristallgröße und Struktur steuern.

Elektrochemie

◆ Unser ursprüngliches Interesse an ionischen Flüssigkeiten war in deren weiten elektrochemischen Fenstern begründet: So erreicht $[\text{EMIm}]\text{Tf}_2\text{N}$ durchaus -2 V gegen Normalwasserstoffelektrode (NHE),

so dass es als Elektrolyt für die elektrochemische Abscheidung reaktiver Elemente wie Germanium oder Silicium interessant ist. Flüssigkeiten mit Pyrrolidinium- oder Tetraalkylammonium-Ionen erreichen im kathodischen Bereich -3 V versus NHE, so dass sogar die Lithiumabscheidung, z.B. für Lithiumbatterien, gelingt.²⁵⁾ Flüssigkeiten mit Tetraalkylammonium-Ionen und dem Tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphat-Anion können Potenzialfenster von $\pm 3\text{ V}$ versus NHE erreichen, so dass die Redoxpotenziale der gesamten Elementchemie abgedeckt sind. Allerdings sollte man keineswegs erwarten, Erfahrungen aus der wässrigen Elektrochemie direkt auf ionische Flüssigkeiten übertragen zu können: Will man eine 0,1-molare wässrige Salzlösung herstellen, löst man ein Salz in Wasser. Ein solcher Ansatz kann mit ionischen Flüssigkeiten schief gehen, da je nach Lewis-Acidität oder -Basizität chemische Reaktionen auftreten. So ist beispielsweise noch immer nicht vollständig geklärt, aus welcher Spezies die Aluminiumabscheidung erfolgt, wenn AlCl_3 in Flüssigkeiten mit dem Tf_2N -Anion gelöst wird.

Wir haben beobachtet, dass auch die Wahl des Kations eine Rolle spielt: Die Abscheidung von Metallen in $[\text{Py}_{1,4}]\text{Tf}_2\text{N}$ führt oft zu nanokristallinen Depositen, während in $[\text{EMIm}]\text{Tf}_2\text{N}$ mikrokristalline Deposite entstehen. Wir vermuten, dass sich auch bei der elektrochemischen Abscheidung einige Flüssigkeiten grenzflächenaktiv verhalten und somit Keimbildung und -wachstum beeinflussen. Ungeachtet dieser grundlegenden Fragen lassen sich ionische Flüssigkeiten gut für die elektrochemische Materialsynthese nutzen. Uns ist kürzlich die Abscheidung von $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ mit Bandlücken zwischen (mindestens) 1,5 und 3,2 eV gelungen,²⁶⁾ auch konnten wir templatgestützt Silicium- und Germanium-Nanodrähte²⁷⁾ sowie photonische Kristalle aus Germanium herstellen.²⁸⁾ Die elektrochemische Halbleiterabscheidung könnte für die Herstel-

lung von Solarzellen nutzbar werden.

Man sollte nicht erwarten, dass sich ionische Flüssigkeiten wie neutrale Lösemittel verhalten, im Gegenteil: Durch Wechselwirkungen mit Grenzflächen oder gelösten Spezies können sie Reaktionen massiv beeinflussen. Dies war Thema vieler Vorträge auf der Internationalen Bunsendiskussionstagung „Influence of Ionic Liquids on (Physico-)Chemical Reactions“ im November 2008. Die Zeitschrift *Physical Chemistry – Chemical Physics* wird diesem Aspekt einen Themenband widmen. Zudem sind „Ionische Flüssigkeiten“ das Hauptthema der Bunsentagung 2012.

Frank Endres studierte Chemie in Saarbrücken und promovierte dort 1996. In demselben Jahr wechselte er an die Universität Karlsruhe, wo er sich 2002 in physikalischer Chemie habilitierte. Unmittelbar nach seiner Habilitation folgte er einem Ruf an die Technische Universität Clausthal, wo er seit 2008 den Lehrstuhl für Grenzflächenprozesse leitet. Hier beschäftigt er sich mit ionischen Flüssigkeiten. Er ist Mitinitiator des DFG-Schwerpunktprogramms SPP1191 – Ionische Flüssigkeiten. www.mvt.tu-clausthal.de



Literatur

- 1) N. Plechkova, K. R. Seddon, *Chem. Soc. Rev.* 2008, 37, 123.
- 2) <http://www.dfg-spp1191.de/>
- 3) *Electrochemical Aspects of Ionic Liquids*, (Hrsg.: H. Ohno), John Wiley and Sons, Hoboken, NJ/USA, 2005.
- 4) *Electrodeposition from Ionic Liquids* (Hrsg.: F. Endres, A. Abbott, D. MacFarlane), Wiley-VCH, Weinheim, 2008.
- 5) *Ionic Liquids in Synthesis* (Hrsg.: P. Wasserscheid, T. Welton), 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim 2007.
- 6) M. J. Earle, J. M. S. S. Esperança, M.A. Gilea et al, *Nature* 2006, 439, 831.
- 7) D. H. Zaitsau, G. J. Kabo, A. A. Strechan, et al., *J. Phys. Chem. A* 2006, 110, 7303.
- 8) Y. U. Paulechka, D. H. Zaitsau, G. J. Kabo, A.A. Strechan, *Thermochim. Acta* 2005, 439, 158.
- 9) J. M. Gottfried, F. Maier, J. Rossa et al. *Z. Phys. Chem.* 2006, 220, 1439.
- 10) O. Höfft, S. Bahr, V. Kemper, *Anal. Sci.* 2008, 24, 1273.
- 11) S. Krischok, M. Eremitchenko, M. Himmerlich et al., *J. Phys. Chem. B* 2007, 11, 4801.

- 12) S. A. Meiß, M. Rohnke, L. Kienle, S. Zein El Abedin, F. Endres, J. Janek, *Chem. Phys. Chem.* 2007, 8, 50.
- 13) Y.-B. Xie, C.-J. Liu, *Plasma Processes Polym.* 2008, 5, 239.
- 14) D. Strasser, F. Goulay, M. S. Kelkar, E. J. Maginn, S. R. Leone, *J. Phys. Chem. A* 2007, 111, 3191.
- 15) G.-P. Pan, W. Freyland, *Electrochim. Acta* 2007, 52, 7254.
- 16) N. Borisenko, S. Zein El Abedin, F. Endres, *J. Phys. Chem. B* 2006, 110, 6250.
- 17) E. M. Moustafa, S. Zein El Abedin, A. Shkurankov et al. *J. Phys. Chem. B* 2007, 111, 4693.
- 18) R. Atkin, R. Hayes, S. Zein El Abedin, L. H. S. Gasparotto, N. Borisenko, F. Endres, unveröffentlicht.
- 19) M. Mezger, H. Schröder, H. Reichert et al. *Science* 2008, 322, 424.
- 20) S. Maolin, Z. Fuchun, W. Guozhong, *J. Chem. Phys.*, 2008, 128, 134504.
- 21) H. Kaper, F. Endres, I. Djerdj et al. *Small* 2007, 3, 1753.
- 22) M. Al Zoubi, H. K. Farag, F. Endres, *Aust. J. Chem.* 2008, 61, 704.
- 23) H. K. Farag, M. Al Zoubi, F. Endres, *J. Mat. Sci.*, DOI 10.1007/s10853-008-3107-y.
- 24) K.-I. Okazaki, T. Kiyama, K. Hirahara, N. Tanaka, S. Kuwabata, T. Torimoto, *Chem. Comm.* 2008, 691.
- 25) P. C. Howlett, D. R. MacFarlane, A. F. Hollenkamp, *Electrochem. Solid-State Lett.* 2004, 7, A97.
- 26) R. Al-Salman, S. Zein El Abedin, F. Endres, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2008, 10, 4650.
- 27) R. Al-Salman, J. Mallet, M. Molinari et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2008, 10, 6233.
- 29) X. Meng, R. Al-Salman, J. Zhao, N. Borisenko, Y. Li, F. Endres, *Angew. Chem.* 2009, 121, im Druck.



◆ Physikalische Chemie ionischer Flüssigkeiten: Ein Blick zurück

Vor zehn Jahren fand man bei einer Literaturrecherche mit dem Suchbegriff „Ionic Liquid“ weniger als 50 Publikationen in begutachteten Zeitschriften. Heute sind es mehr als 3000.

Ionische Flüssigkeiten sind seit den späten 40er Jahren bekannt, die ersten basierten auf AlCl_3 und sind extrem hygroskopisch; diese findet man in der Literatur unter „Room Temperature Molten Salt“ oder „Ambient Temperature Molten Salt“. Der von Ken Seddon geprägte Begriff „Ionic Liquid“, der bewusst eine Abgrenzung von Salzschnmelzen bewirken sollte, setzte sich damals erst langsam durch.

Ein Grund ist sicher, dass ionische Flüssigkeiten 1998 noch weltweit als Laborkuriosität galten – durchaus interessant, aber weit entfernt von jeglichem praktischen Interesse. Auch die Zahl der Gruppen, die hauptsächlich auf diesem Gebiet arbeiteten, umfasste nicht mehr als 20 weltweit. Nur wenige befassten sich mit physikalisch-chemischen Aspekten. Die meisten davon arbeiteten elektrochemisch. Die Messergebnisse der physikalisch-chemischen Eigenschaften wichen damals erheblich voneinander ab. So haben verschiedene Laboratorien unterschiedliche Viskositäten der gleichen Flüssigkeit gemessen. Allerdings waren

die Synthesewege für ionische Flüssigkeiten vor 1998 sehr eingeschränkt. 1992 wurden die ersten – mehr oder weniger – luft- und wasserstabilen Flüssigkeiten mit BF_4^- und PF_6^- -Anionen vorgestellt.¹⁾ Beispielsweise stellte man 1-Butyl-1-methylimidazoliumhexafluorophosphat $[\text{BMIm}]\text{PF}_6$ über die Metathesereaktion von LiPF_6 mit $[\text{BMIm}]\text{Cl}$ in wässriger Lösung her: Beide Salze werden stöchiometrisch eingewogen und in Wasser aufgelöst, die ionische Flüssigkeit setzt sich am Boden des Reaktionsgefäßes ab, in der wässrigen Phase ist LiCl gelöst. Berücksichtigt man Randlöslichkeiten, sind in diesem Beispiel noch LiCl und Wasser vollständig zu entfernen. Der Dampfdruck von $[\text{BMIm}]\text{PF}_6$ ist so gering, dass man selbst unter Hochvakuum keine nennenswerten Destillationsraten erhält. Bleibt nur, LiCl mit Wasser auszuwaschen und die Flüssigkeit unter Vakuum und erhöhter Temperatur zu trocknen. Die gelbliche Farbe der so erhaltenen Flüssigkeit kann man chromatographisch über Silikagel bis zur spektroskopischen Reinheit entfernen. Welches sind nun die Fallstricke bei dieser vergleichsweise einfachen chemischen Reaktion, welche die Widersprüche bei den physikalisch-chemischen Daten erklären?

Heute weiß man, dass es nahezu unmöglich ist, mit vertretbarem Aufwand das bei der Metathesereaktion von organischen Chloriden wie $[\text{BMIm}]\text{Cl}$ und Lithiumsalzen entstehende LiCl quantitativ zu entfernen. Spuren im ppm-Bereich bleiben. Einen Organiker stören sie vielleicht nicht, einem Grenzflächenphysikochemiker können sie leicht schlaflose Nächte bereiten. Säure-/Base-Syntheseroutinen lösen das Problem. Ferner weiß man, dass PF_6^- (oder von BF_4^-) zu HF hydrolysiert, das dann die Glaskorrosion in den Reaktionsgefäßen verursacht. Man weiß auch, dass Verunreinigungen vom Silikagel in die Flüssigkeit gelangen²⁾ und auch SiO_2 (und andere Stoffe) kolloidal gelöst werden.³⁾ Viele der widersprüchlichen Literaturdaten sind schlicht und ergreifend auf verschiedene Verunreinigungen in der gleichen Flüssigkeit zurückzuführen.

- 1) J. S. Wilkes, M. J. Zaworotko, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 1992, 965.
- 2) F. Endres, S. Zein El Abedin, N. Borisenko, *Z. Phys. Chem.* 2006, 220, 1377.
- 4) B. R. Clare, P. M. Bayley, A. S. Best, M. Forsyth, D. R. MacFarlane, *Chem. Comm.* 2008, 23, 2689.