

Ionische Flüssigkeiten als Werkstoffbasis

Konventionelle Flüssigkeiten wie z.B. Wasser bestehen überwiegend aus elektrisch neutralen Molekülen. Unter ionischen Flüssigkeiten (engl. Ionic Liquids, ILs) versteht man dagegen Salze in flüssigem Zustand, sie sind also hauptsächlich aus positiv und negativ geladenen Ionen sowie kurzlebigen Ionenpaaren aufgebaut. ILs sind im Prinzip seit über 100 Jahren bekannt, werden aber erst seit ca. 25 Jahren intensiver untersucht, als gezeigt werden konnte, dass viele von ihnen an Luft und Wasser stabil bleiben. Dabei sind sie mit einer Vielfalt physikalisch-chemischer Eigenschaften realisierbar. Heute findet ihre Untersuchung als Basis für neue Werkstoffe besonderes Interesse, z.B. für den Einsatz in der Sensorik oder auch als umweltverträglichere Explosivstoffe.

Die überwiegende Zahl an ILs, die bei niedrigen Temperaturen (unter 100 °C, Kochsalz zum Vergleich schmilzt bei ca. 800 °C) flüssig sind, besteht aus organischen Salzen. Zu ihren im Vergleich zu konventionellen Flüssigkeiten besonderen Eigenschaften zählen vernachlässigbarer Dampfdruck, hohe thermische und elektrochemische Stabilität, hohe Ionenleitfähigkeit, ein weiter Temperaturbereich des flüssigen Zustands, hohe Transparenz im sichtbaren Wellenlängenbereich sowie ein signifikantes Lösevermögen für organische, anorganische und polymere Stoffe. Aus diesen Gründen wurden sie bereits intensiv auf ihre Eignung als umweltverträglichere und vor allem maßschneiderbare Alternative zu leicht verdampfenden organischen, überwiegend toxischen Lösemitteln untersucht. Zu ihren Anwendungsfeldern gehören heute bereits viele Bereiche der sogenannten Green Chemistry. Ein weiteres wesentliches Einsatzgebiet ist Energiegewinnung und -speicherung. Hier dienen sie als sicherere Elektrolyten in Batterien, Superkondensatoren, Brennstoffzellen und Farbsolarzellen (Grätzel-Zellen).

Die oben benannten Eigenschaften der ILs haben in den letzten zehn Jahren auch das Interesse der Werkstoffforschung als dritten großen Anwendungsbereich geweckt. Insbesondere werden sie hier als vielseitig einsetzbare Basis bzw. Bausteine für neu-

artige funktionelle Werkstoffe diskutiert. Kern dieses Ansatzes ist, dass ausgewählte Moleküle bzw. funktionelle Gruppen (organische, anorganische sowie polymere Bausteine) durch Ionenaustausch oder chemische Funktionalisierung in das Gerüst der ILs eingebaut werden können. Dadurch lassen sich z.B. konventionelle Werkstoffe zu Ionenleitern modifizieren und aus ILs neuartige Funktionswerkstoffe maßschneidern. Wichtige einstellbare Stoffeigenschaften sind z.B. Viskosität, Dichte, Schmelzpunkt, Leitfähigkeit oder Löslichkeit, aber auch chemische Reaktivität.

Aktuell zeichnen sich vier große potenzielle Anwendungsfelder ab: Sensor- und Aktorwerkstoffe, energetische Werkstoffe, Stoffe mit einstellbaren optischen Eigenschaften und Hybridwerkstoffe aus ionischen Flüssigkeiten mit Nanokohlenstoffen. Von besonderem Interesse sind die drei erstgenannten. Das bislang umfangreichste Forschungsgebiet sind die Sensor- und Aktorwerkstoffe. Die Anwendbarkeit von ILs in diesem Bereich begründet sich in der Tatsache, dass ihre Eigenschaften durch Veränderung eines äußeren Reizes wie z.B. Helligkeit, Feuchtigkeit, Temperatur, Atmosphärenzusammensetzung (Gase) sowie durch ein elektrisches oder magnetisches Feld spontan oder über eine gewisse Zeitspanne hinweg geändert werden können, und das in der Regel reversibel.

Durch sichtbares sowie UV-Licht können beispielsweise Schmelzpunkt, Ionenleitfähigkeit oder das magnetische Moment verändert werden. Die relativ genaue Signalisierung von Umgebungsfeuchte gelingt durch den Einbau eines hydrophilen Anions, das Wassermoleküle in die Flüssigkeit zieht. Dadurch wird der Brechungsindex geändert, was wiederum optisch gemessen werden kann. Zusätzlich verändern diese ILs kontinuierlich mit der relativen Luftfeuchte auch ihre Farbe. Bei der Temperaturmessung lassen sich aktuell zwei Ansätze unterscheiden: Volumenänderung der ILs mit Temperaturänderung wie im klassischen Thermometer und optische Signalisierung über Farbänderung oder Lichtemission.

Für Gasmessungen scheinen ILs vor allem aufgrund der großen Löslichkeit von Gasmolekülen in ihnen sowie ihres extrem niedrigen Dampfdrucks, der eine stabile Messung über lange Zeiträume erlaubt, als besonders prädestiniert. Allerdings gibt es bislang erst ein indirektes Messverfahren (sogenannte Quarzkristall-Mikrowaage). Magnetisch responsive ILs sind neben vielfältigen weiteren Anwendungen besonders interessant für die Schwingungsdämpfung, die bei Kraftfahrzeugen und auch Maschinen essenzielle Bedeutung hat. Ihr Vorteil gegenüber konventionellen Trägerfluiden ist, dass sie magnetische Nanopartikel wesentlich besser und länger in Suspension halten können.

Energetische ILs stehen bereits seit über 15 Jahren erfolgreich im Fokus der Erforschung neuer, besser umweltverträglicher Explosivstoffe und Treibmittel und haben in der Fachliteratur bereits eine eigene Abkürzung (EIL) mit fortlaufender Numerierung. Ein primäres Ziel ist, den Sprengstoff TNT zu ersetzen. Sehr jung dagegen ist der Ansatz, mithilfe von ILs ökologisch verträgliche selbstzündende Treibstoffe für Raketen zu entwickeln.

Das gesamte Gebiet der ILs mit einstellbaren optischen Eigenschaften befindet sich noch in einem sehr frühen Forschungsstadium. Erste photonische ILs können z.B. auf das Anlegen und Variieren einer elektrischen Spannung mit einer Verschiebung der Wellenlänge ihres Reflexionsmaximums für Licht reagieren. In Bezug auf nichtlineare optische Eigenschaften, die von hoher technischer Relevanz in den Bereichen optische Kommunikation und Datenverarbeitung sind, versprechen ILs vor allem kürzere Reaktionszeiten und eine niedrigere dielektrische Konstante als konventionelle Werkstoffe.

Insgesamt können ILs als eine Art Brückenwerkstoff zwischen organischen und anorganischen, molekular und ionisch aufgebauten sowie flüssigen und festen Stoffen gesehen werden. Ihr volles Potenzial ist heute noch kaum zu überschauen.

Stefan Reschke