

DAMALS *Hittorf'sche Überföhrungszahl*

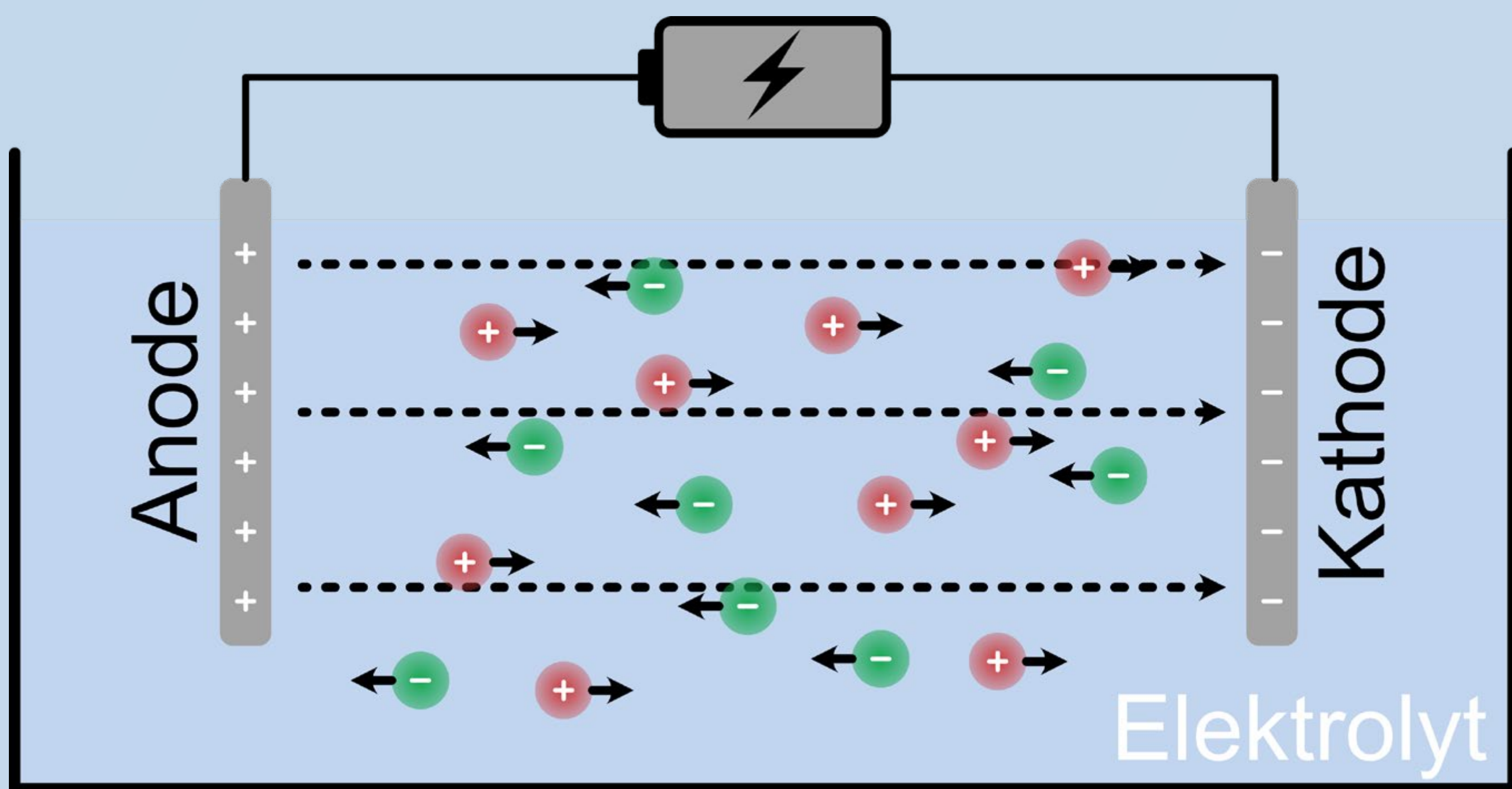
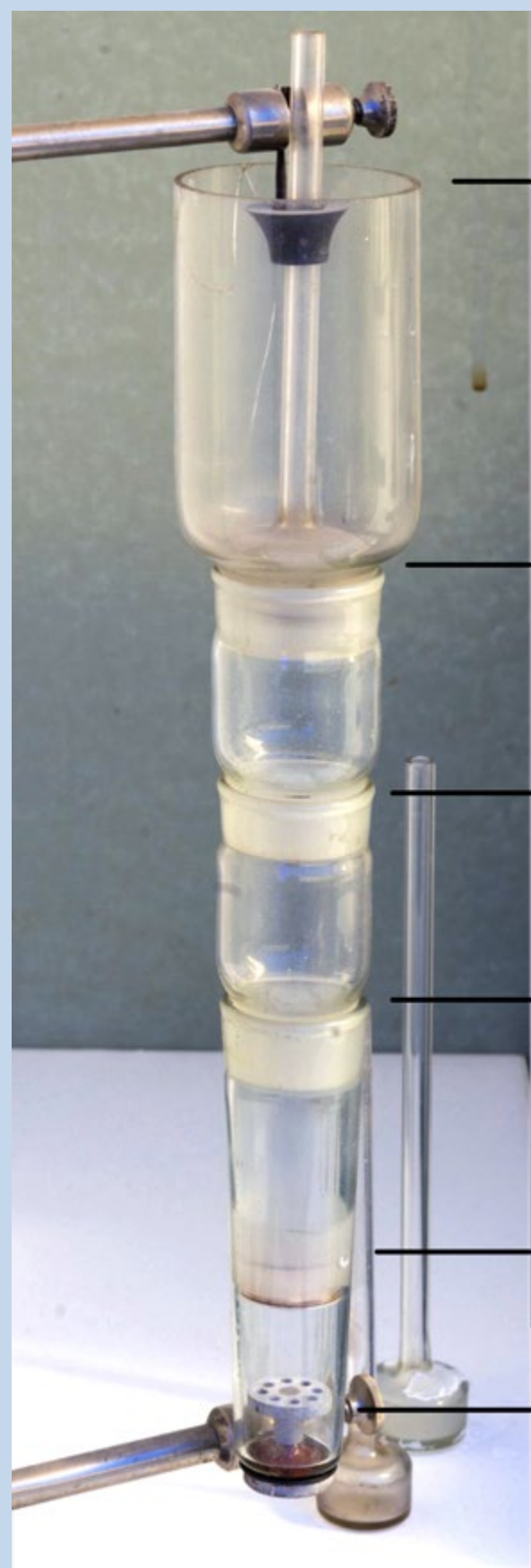


Abb. 38 Schemabild der Elektrolyse-Prozess

Beim Vorgang der Elektrolyse befinden sich zwei Metallkontakte (Anode und Kathode) in einer Flüssigkeit, dem sogenannten Elektrolyten. Wie in Abbildung 38 gezeigt, bewegen sich die positiven und negativen Ladungsträger (Ionen) durch Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen Anode und Kathode im Elektrolyten in unterschiedliche Richtungen. In einem Elektrolyten befinden sich typischerweise mehrere Ionenarten, die sich im elektrischen Feld bewegen können. Anhand einer Messung des Gesamtstroms können ihre jewei-



$$t_i = \frac{I_i}{I_{ges}}$$

Abb. 40 Formel zur Berechnung der Hittorf'schen Überföhrungszahl

Abb. 39 Original Elektrolyse Messaufbau von Wilhelm Hittorf aus dem Deutschen Museum in München  
© Deutsches Museum, Hubert Czech

ligen Beiträge allerdings nicht identifiziert werden. Hittorf entwickelte die Apparatur in Abbildung 39, in der er durch Konzentrationsmessungen in verschiedenen Segmenten unterscheiden konnte, welche Ionenart schneller im elektrischen Feld wandert und damit einen größeren Strom trägt. Er führte das Konzept der Hittorf'schen Überföhrungszahl  $t_i$  ein, die angibt, welcher Anteil des Stroms  $I_i$  von einer Ionen-sorte  $i$  am Gesamtstrom  $I_{ges}$  getragen wird (Abb. 40).

HEUTE *Batterieentwicklung* (Institut für Physikalische Chemie)

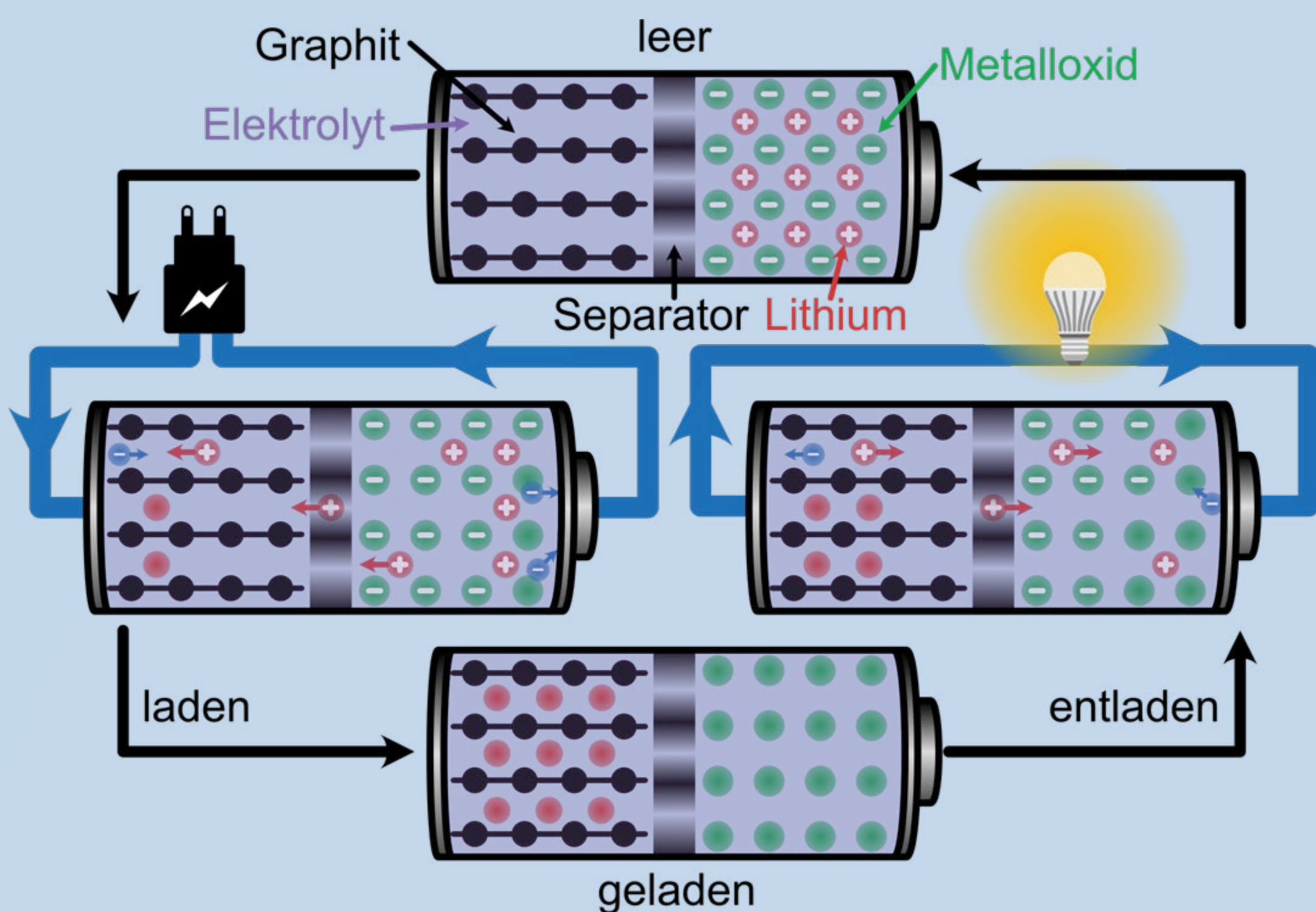


Abb. 41 Schemabild der Funktionsweise einer Lithium-Batterie  
Linke Seite: Ladevorgang. Rechte Seite: Entladevorgang

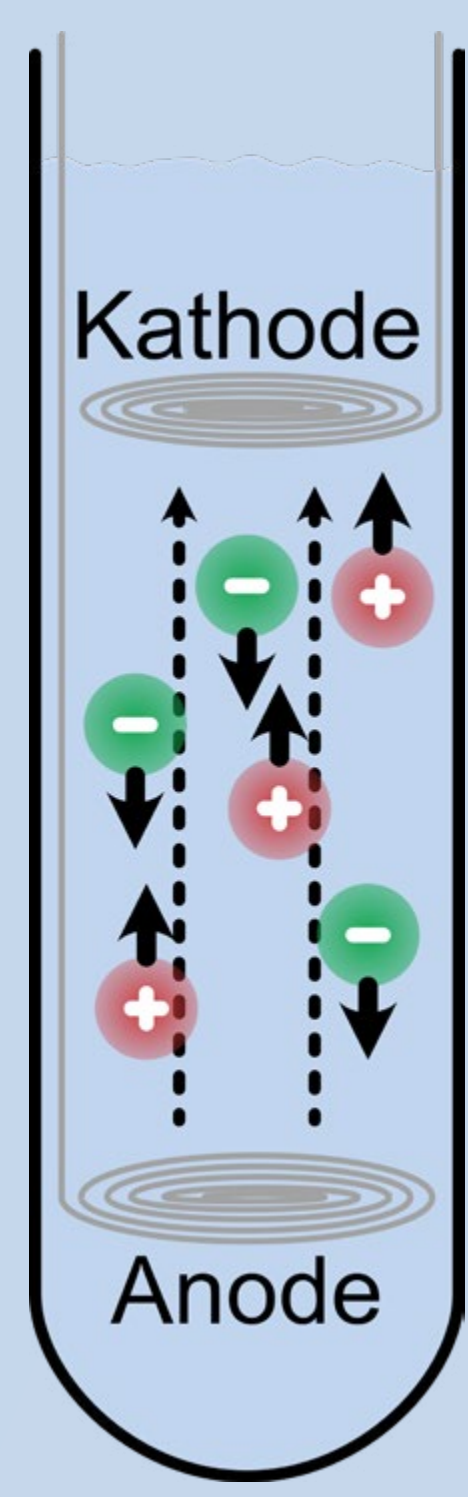


Abb. 42 Schema einer Sonde für die elektro-phorische NMR

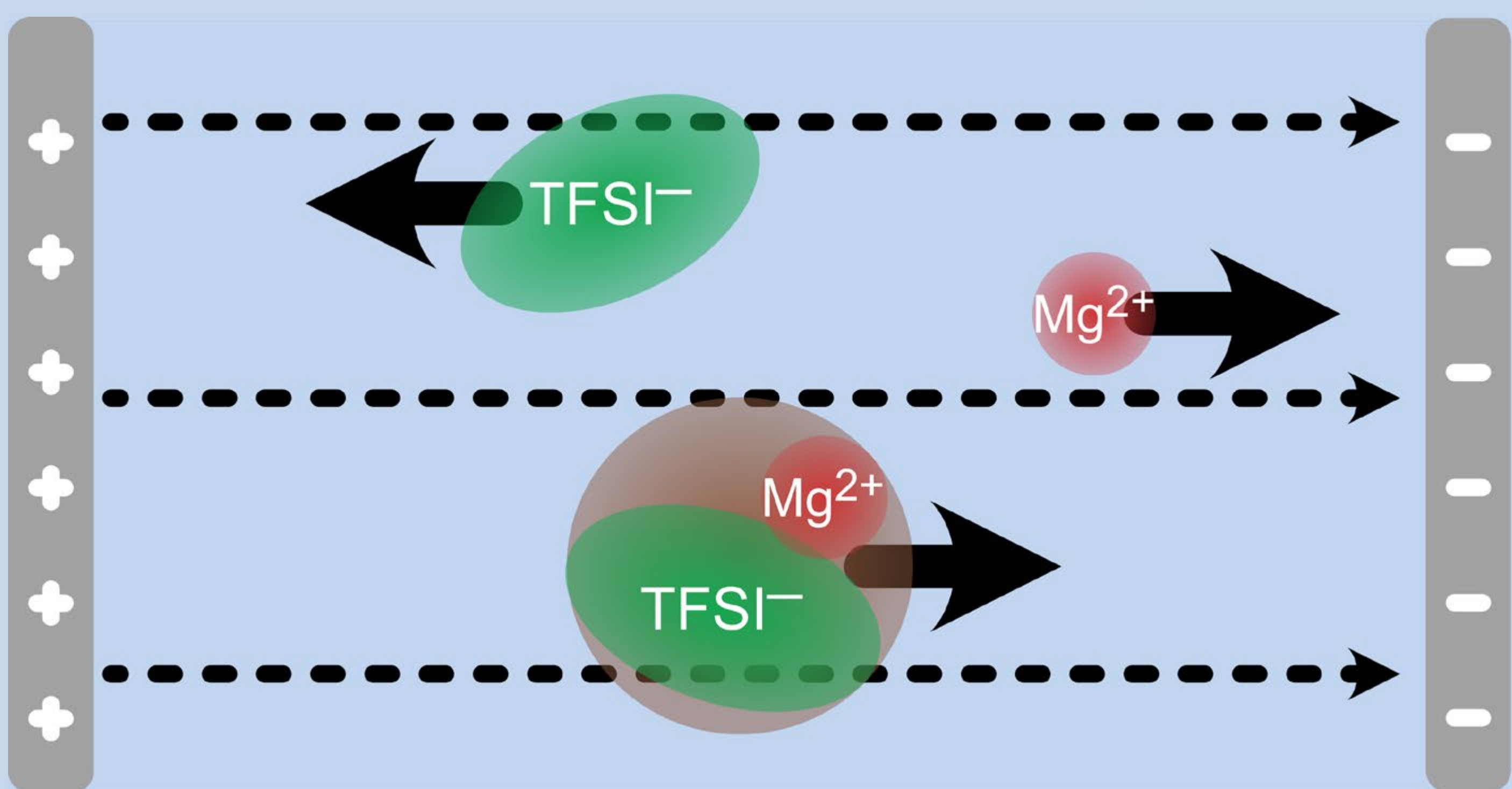


Abb. 43 Elektrolyse mit Koordinationen aus Mg und TFSI

Die in Abbildung 41 gezeigte Funktionsweise von Lithium-(Li)-Batterien basiert auf der Wanderung von Li<sup>+</sup>-Ionen in einem Elektrolyten zwischen einem Metalloxid-Kristall und Graphit. Ein dazwischenliegender Separator mit Elektrolyt lässt Ionen passieren, aber nicht Elektronen. Beim Entladen wandern die Li<sup>+</sup>-Ionen zurück in das Metalloxid. Für die Entwicklung der Lithium-Batterie wurden John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham und Akira Yoshino mit dem Nobelpreis 2019 für Chemie ausgezeichnet. Bei der Entwicklung von Batterieelektrolyten spielt die Überföhrungszahl der Li<sup>+</sup>-Ionen eine entscheidende Rolle: Für ein effizientes Laden und Entladen sollen vor allem die Li<sup>+</sup>-Ionen den Strom tragen, ihre Überföhrungszahl  $t_{Li}$  soll also so groß wie möglich sein. Überföhrungszahlen werden heute entweder elektrochemisch bestimmt oder mit Methoden der Kernspinresonanz (NMR).

Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Schönhoff verwendet elektro-phoretische NMR, mit der die Driftgeschwindigkeiten von Li<sup>+</sup>-Ionen  $v_{Li}$  und Anionen  $v_-$  in einem elektrischen Feld in einer Sonde (Abb. 42) gemessen werden können. Dazu wird der Ort eines Moleküls zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt, ähnlich wie in der Magnetresonanztomographie (MRT). Aus den Geschwindigkeiten ergibt sich die Überföhrungszahl:  $t_{Li} = v_{Li} / (v_{Li} - v_-)$  Mit dieser Methode konnte gezeigt werden, dass der Ionen-transport durch die Verbindung der verschiedenen Ladungen zu sogenannten Koordinationen dominiert werden kann. Abbildung 43 zeigt ein Beispiel für Magnesium (Mg) und Bistriflimid (TFSI). Diese Ergebnisse sind entscheidend für die Weiterentwicklung der Batterien über Lithium hinaus.

