

## Einführung

Angesichts der globalen Klimaerwärmung rücken umweltschonende Technologien näher in den Fokus der Gesellschaft. Das seit 2010 im Rahmen der UN-Klimakonferenz offiziell anerkannte 2°-Limit bis 2050 setzt voraus, dass der Treibhausgas-Ausstoß stark verringert werden muss. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen in den Industrieländern vor allem in den Bereichen Energieerzeugung und Verkehr treibhausrelevante Emissionen um mindestens 90% reduziert werden. Während der Ausbau erneuerbarer Energien seit Jahren voranschreitet, steckt die umweltfreundliche E-Mobilität noch in den Kinderschuhen. Die größten Herausforderungen bestehen bisher in der relativ geringen Reichweite der Fahrzeuge, den hohen Anschaffungskosten des Akkus und der mangelnden Infrastruktur. Den hohen Anforderungen an die Stromversorgung der Elektroautos kommt derzeit die Lithium-Ionen-Batterie (LIB) am nächsten. Diese muss jedoch weiter verbessert werden, um die Kosten zu senken und die Reichweite zu erhöhen. Aus diesem Grund haben wir die Kostenverteilung einzelner Komponenten analysiert und festgestellt, dass das Kathodenmaterial mit beinahe 50% der größte Faktor der Gesamtkosten ist.

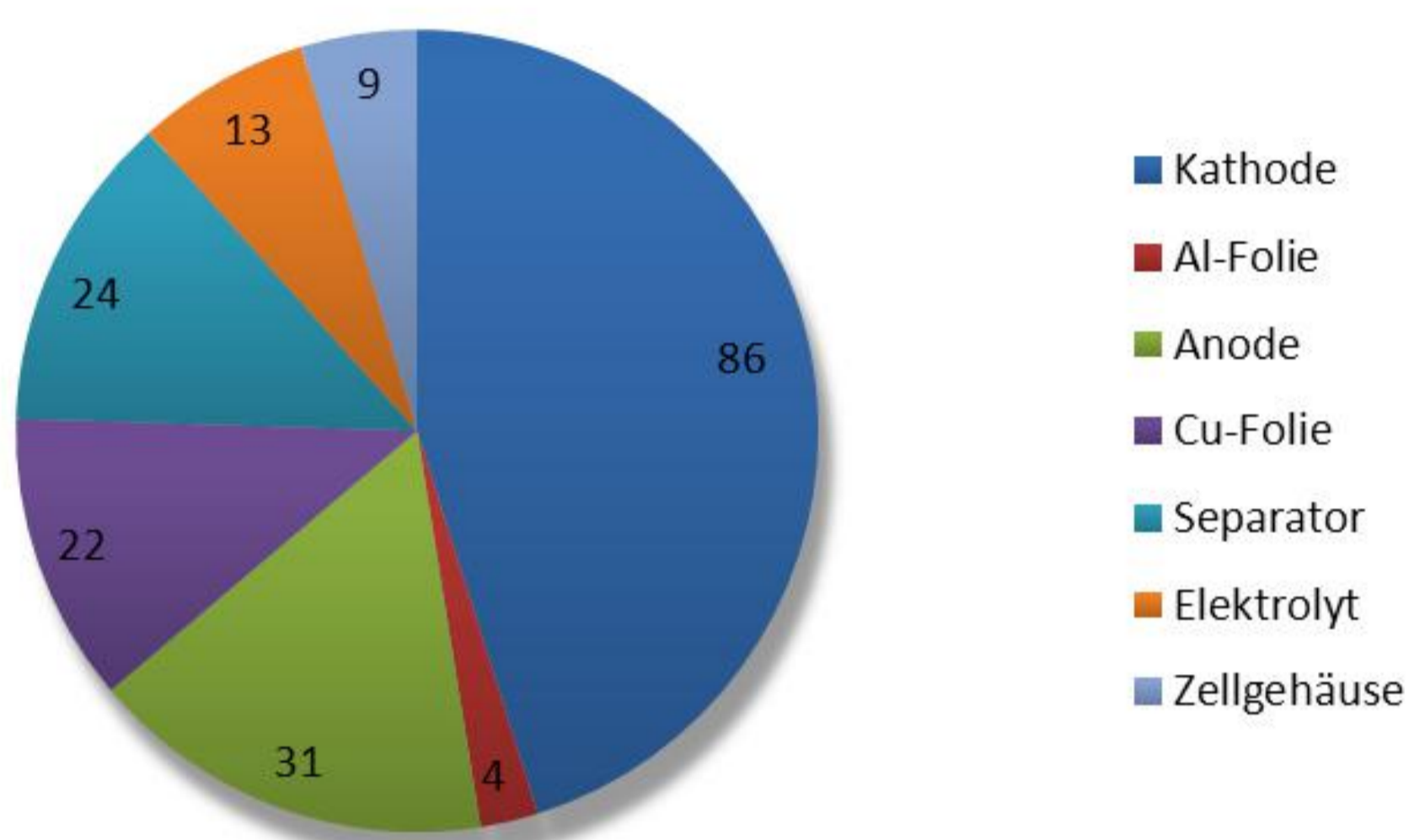


Abb. 1: Kostenverteilung (in €/kWh) einer LIB

Zudem beinhaltet diese oftmals hochgiftige Schwermetalle. Daher sehen wir in der Kathode das größte Verbesserungspotenzial und überlegten uns, ob Graphit, welches bereits als etabliertes Anodenmaterial (s. Abb. 2) verwendet wird, auch als Kathode fungieren kann (s. Abb. 3).

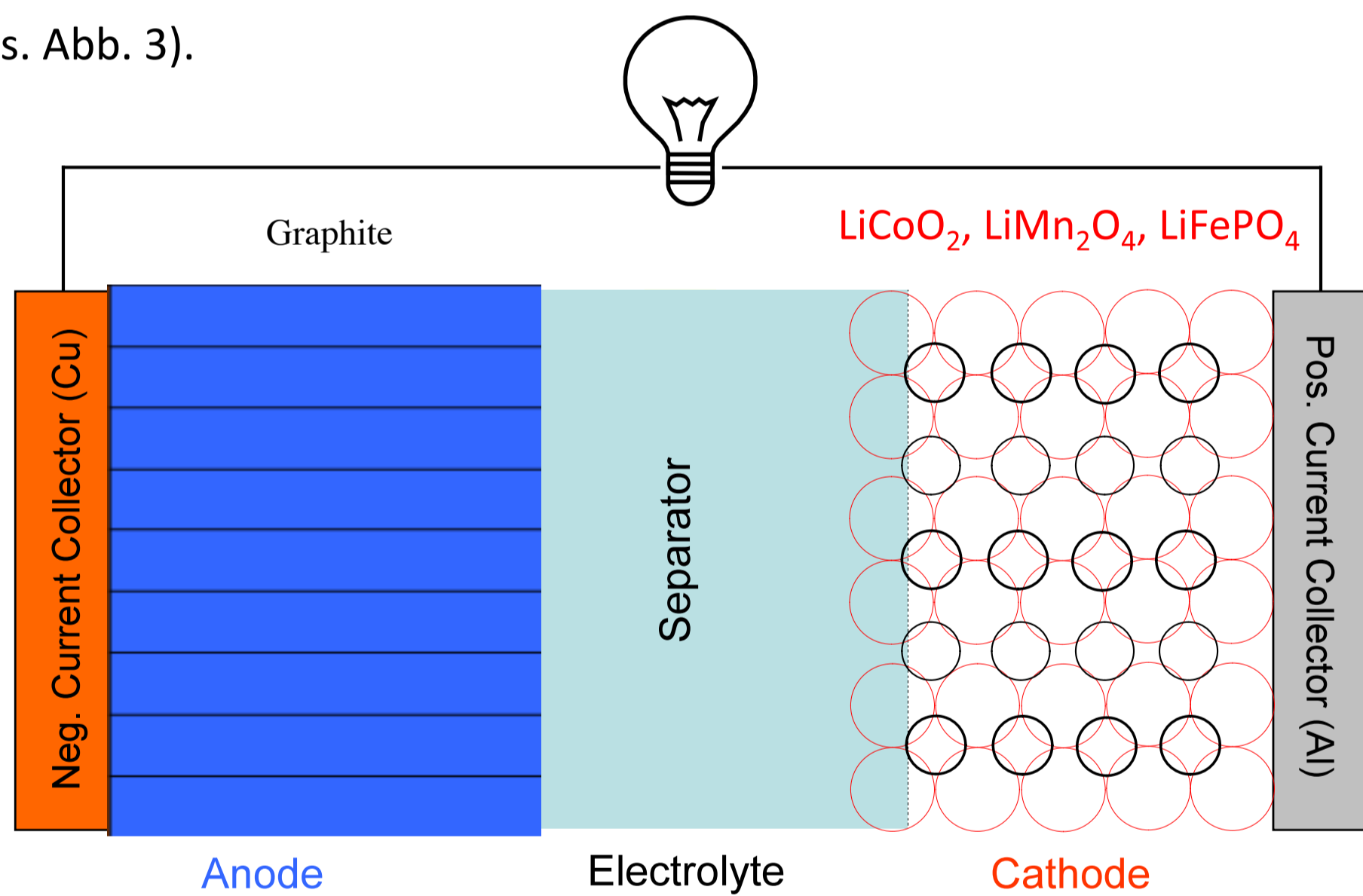


Abb. 2: Darstellung einer gewöhnlichen LIB

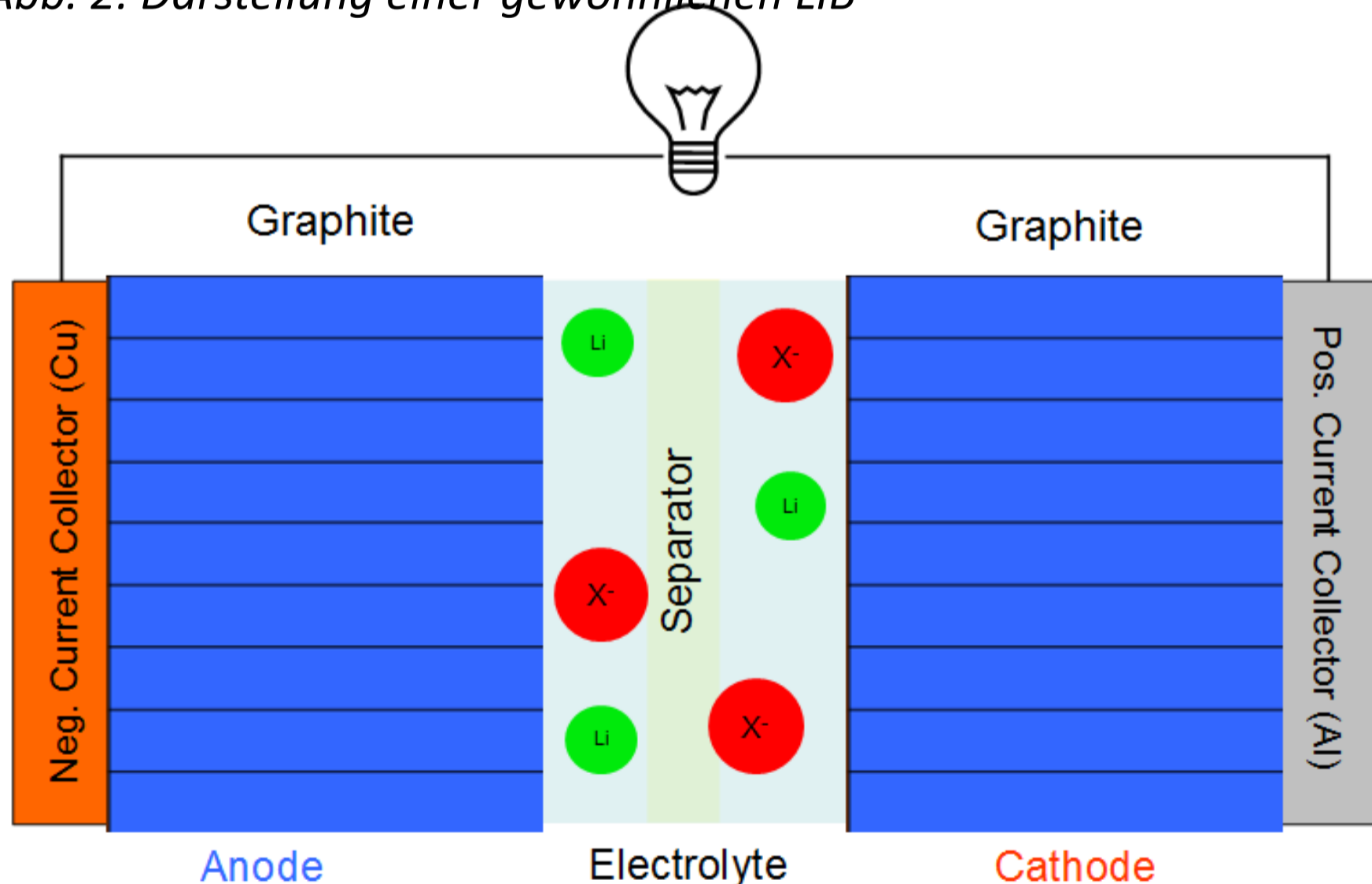


Abb. 3: Darstellung unserer LIB

Während bei einer herkömmlichen LIB die Lithium-Ionen beim Ladevorgang aus der Kathode ausgelagert, vom Elektrolyten durch den Separator an die Anode heran transportiert und in die negativ geladenen Graphitschichten interkaliert werden, liegen in unserer Testanordnung die Lithium-Ionen ursprünglich im Elektrolyten gelöst vor. Gleichzeitig werden die Anionen durch die angelegte Spannung von der positiv geladenen Kathode angezogen. Der Entladevorgang läuft in umgekehrter Richtung ab. Gelingt es, die Anionen analog der Kationen-Interkalation ins Graphit einzulagern, wäre dies ein funktionsfähiger Akkumulator.

## Experimente

Zunächst wurde eine 2 M Lithiumperchlorat-Lösung in Propylen-carbonat (PC) angesetzt. Dabei dient PC als Elektrolytlösung und die darin gelösten Li<sup>+</sup>-Kationen bzw. ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>-Anionen als Gastionen, die eingelagert werden. Zwei Graphitminen, die als Einlagerungsmaterial dienen, wurden in den Elektrolyten getaucht. Da die Graphitminen (Elektroden) einen ausreichenden Abstand (ca. 1 cm) zueinander aufwiesen, wurde zunächst auf einen Separator verzichtet. Nun konnte eine Spannungsquelle an die Elektroden angeschlossen werden, wobei bei diesem Aufbau nicht auf Polarität geachtet werden musste.

Der Akku wurde mit 5 V für einige Minuten geladen, danach wurde eine weiße LED angeschlossen und zum Leuchten gebracht. Die Speicherkapazität der Bleistiftminen stellte sich aufgrund der kleinen Oberfläche als zu gering heraus, sodass die Leuchtdauer nur wenige Minuten betrug. Als Folge daraus wurden Graphitplatten, die normalerweise als Dichtungen eingesetzt werden, als Elektroden verwendet. Diese wurden in eine Küvette getaucht und durch Papier als Separator getrennt. Der Akku wurde mit Spannungen von 3,3 V, 3,8 V, 4,2 V und 4,3 V für je 10 min geladen und mittels eines kleinen Motors entladen. Dabei wurden sowohl Spannung als auch Stromstärke aufgezeichnet. Es stellte sich heraus, dass durch das Anlegen einer Ladespannung von 4,2 V die höchste Kapazität erreicht werden konnte (s. Abb. 4).

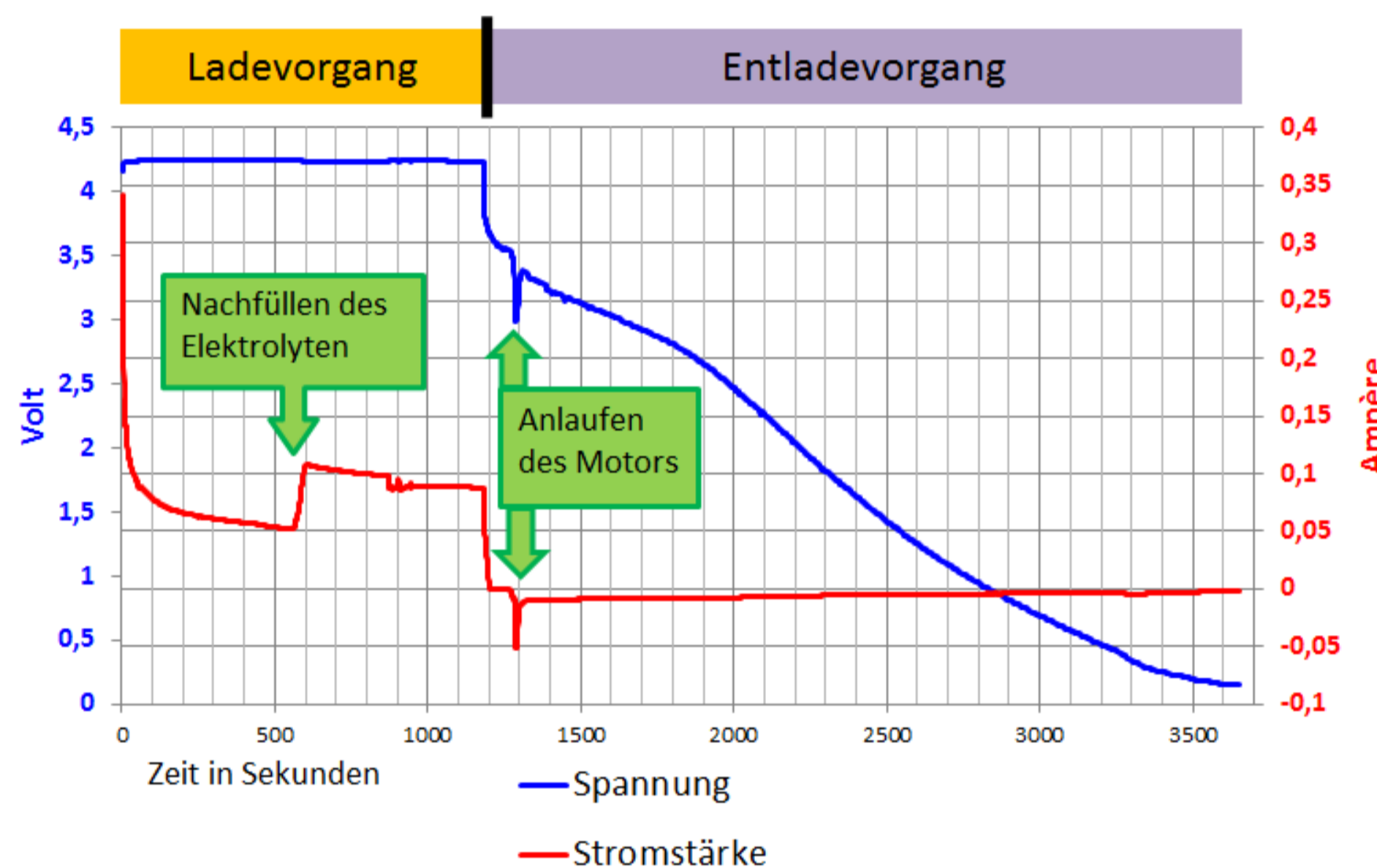


Abb. 4: Zyklus eines Akkus (geladen mit 4,2 V)

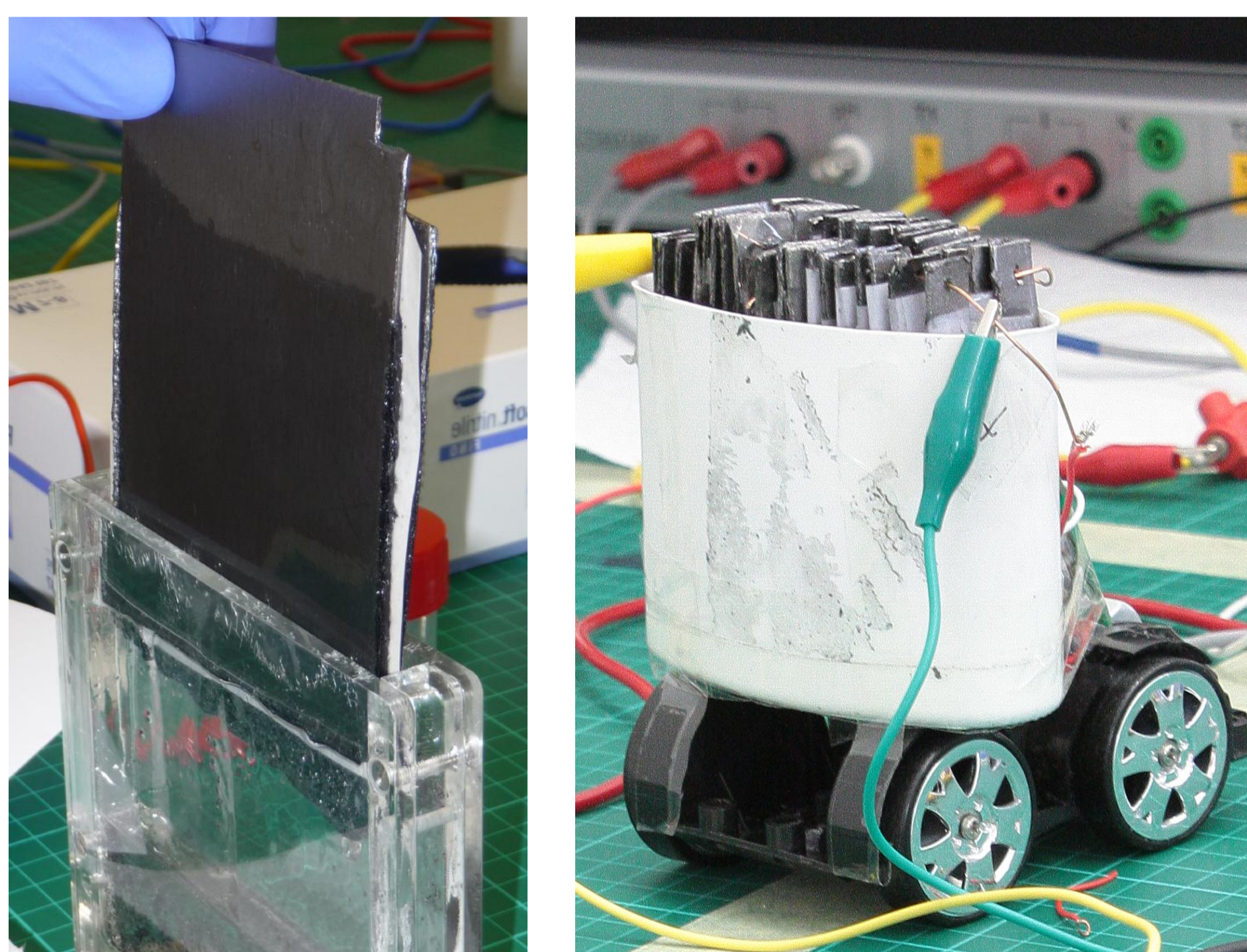


Abb. 5 (links): Graphitplatten als Elektroden mit durch den Elektrolyten durchränktem Separator in einer Küvette

Abb. 6 (rechts): Modellauto mit Akkupack

Die Leerlaufspannung der Zelle betrug 3,7 V. Mit dem so geladenen Akku konnte ein 3V-Motor ca. 45 min betrieben werden. Als nächstes wurde ein Akku mit zwei Zellen gebaut, der ein kleines Modellauto antreiben sollte. Dieses benötigt eine Spannung von 4,5 V, eine Zelle lieferte jedoch nur ca. 3 V. Deshalb mussten zwei Zellen in Reihe geschaltet werden. Jede Zelle bestand aus 20 Graphit-Elektroden, von denen jede zweite als Kathode in einen Papierseparator gehüllt wurde, damit kein Kurzschluss verursacht wurde.

Dieses Akkupack wurde mit einer Spannung von 8,4 V, 230 mA, für 10 min geladen. Also wurden die einzelnen Akkuzellen mit einer annähernd optimalen Einzelspannung von 4,2 V geladen. Diese Ladung reichte aus, um das Auto wenige Sekunden betreiben zu können. Um eine höhere Betriebsdauer erreichen zu können, ist es notwendig, den Akku länger zu laden. Darauf musste aus Zeitgründen verzichtet werden.

## Ergebnisse und Diskussion

Während der Versuche haben wir zwei wichtige Beobachtungen gemacht:

### 1. Exfoliation

Bereits nach dem ersten Zyklus wurde beobachtet, dass sich feine Graphitpartikel von der Kathode gelöst haben und abgebröckelt sind. Bei den Graphitplatten war dieser Effekt noch deutlicher zu sehen. Zusätzlich ist die Kathode um das fünffache aufgequollen und schwammartig geworden (s. Abb. 7). Es wird angenommen, dass die Perchlorat-Anionen zu groß für die Zwischenräume des Graphits sind und diese irreversibel aufgeweitet werden.

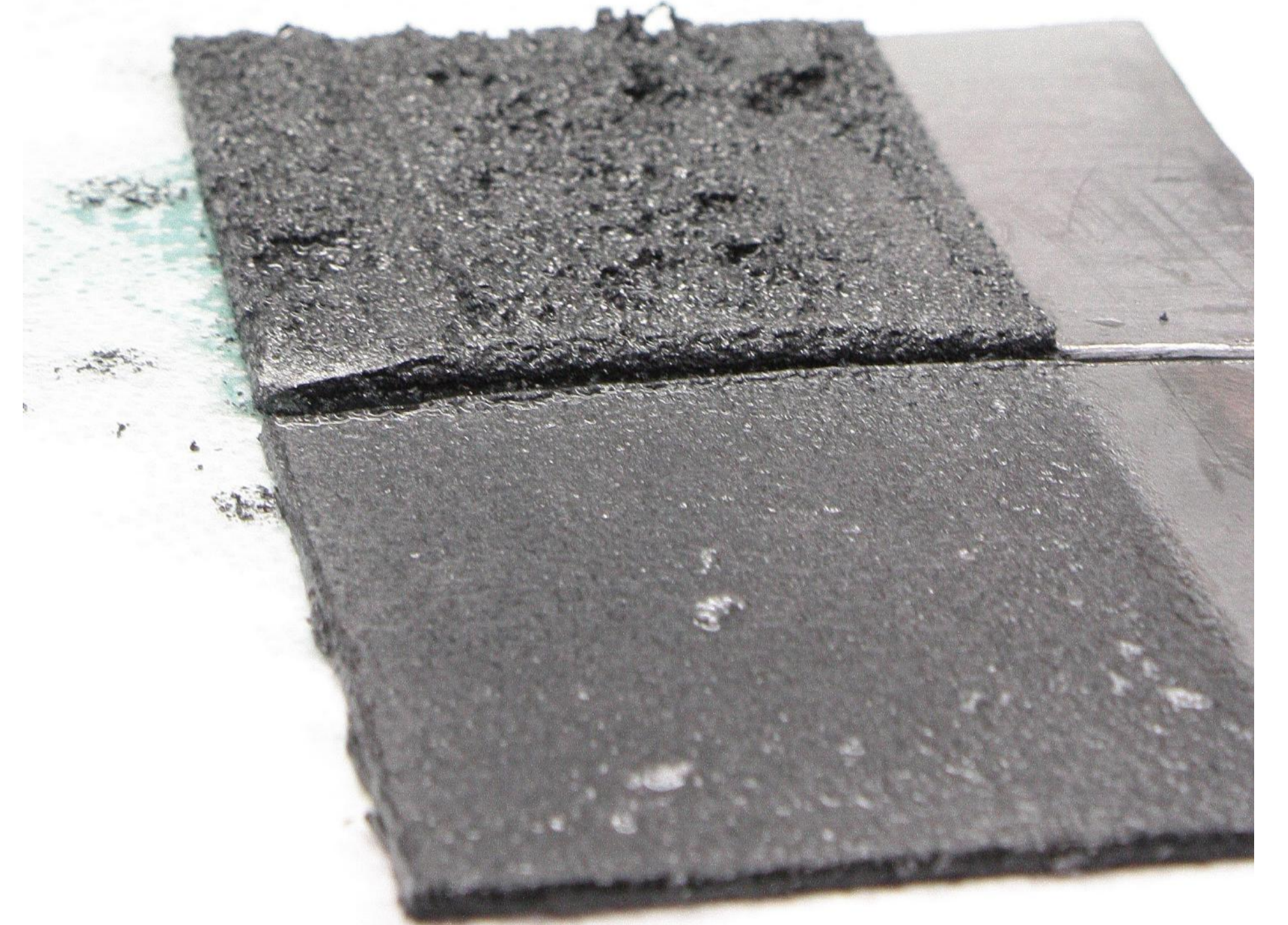


Abb. 7 Kathode (hinten) und Anode (vorne) nach dem ersten Zyklus

### 2. Feuchtigkeitsempfindlichkeit

Da ohne Feuchtigkeits- und Luftausschluss gearbeitet wurde, kam es beim Akkupack vermutlich zu Nebenreaktionen. So wurde beim Laden eine Gasentwicklung beobachtet. Dies ist möglicherweise auf die Elektrolyse von Wasser zurückzuführen, denn das hygroskopische PC konnte eventuell über Nacht Wasser ziehen. Daher konnte der Akku am nächsten Tag nicht weiter verwendet werden.

## Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass das Graphit auch als Kathodenmaterial verwendet werden kann. Den zur Zeit vorhandenen Problemen könnte entgegengewirkt werden, wenn es gelingt, die Feuchtigkeit auszuschließen. Dies könnte durch das Arbeiten unter Schutzatmosphäre gewährleistet werden. Außerdem könnte der Exfoliation entgegengewirkt werden, indem kleinere Anionen verwendet werden. Die Auswahl an Salzen ist jedoch stark eingegrenzt, da die meisten anorganischen Salze nur schwer in organischen Lösungsmitteln löslich sind.

## Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns für die Initiative und Unterstützung dieser Forschungsarbeit beim WWF Deutschland und der Robert Bosch Stiftung herzlich bedanken.

Unser Dank gilt außerdem der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (insbesondere MExLab ExperiMINTe) für den warmen Empfang und die Bereitstellung der Räumlichkeiten und Materialien. Ebenfalls möchten wir uns bei Sergej Rothermel vom Batterieforschungszentrum MEET in Münster für die intensive Betreuung und Einführung in das Thema Batterien über den gesamten Zeitraum bedanken.

Außerdem möchten wir uns bei den Stadtwerken Münster für die Bereitstellung eines Mitsubishi i-MiEV und Herrn Joan Hendrik Rüschkamp für die Bereitstellung eines Opel Ampera vom Autohaus Rüschkamp (Lünen) herzlich bedanken. Mit diesen Fahrzeugen war es uns möglich, elektrisch und emissionsfrei eine Exkursion zur Fachhochschule in Steinfurt zu unternehmen.