

4. Übung Batterien und Brennstoffzellen

1. Beschreiben Sie die Zyklisierung einer Lithium-Ionen Zelle nach einem üblichen CCCV-Ladeprotokoll. Skizzieren Sie hierfür sowohl den Verlauf der Spannung als auch des Stroms über der Zeit.
2. Sie sind angestellt bei einem großen Automobilkonzern und beschäftigen sich mit der Entwicklung neuer Lithium-Ionen-Batteriedesigns. Ihre letzte Versuchsreihe hatte das Ziel, die gleiche Zellchemie für verschiedene Anwendungsszenarien zu optimieren. Grundsätzlich möchte Ihr/e Chef*in hierbei, dass jedes Auto in etwa die gleiche Reichweite hat. Aus diesem Grund benötigt jedes Batteriesystem näherungsweise die gleiche theoretische Kapazität. Für den neuen Sportwagen müssen Sie jedoch davon ausgehen, dass die verbaute Antriebsleistung von 600 kW wiederholt vom Kunden abgerufen wird. Die Hochstromfähigkeit ist für diese Anwendung somit von großer Bedeutung. Die Entladekurven verschiedener Zellen sind dargestellt in Abbildung 1. Damit Sie besser nachvollziehen können, welche Elektrode die Performance limitiert, haben Sie alle Messungen mit einer Referenzelektrode durchgeführt, welche es erlaubt, die einzelnen Elektrodenpotentiale im Betrieb zu vermessen (siehe Abbildung 2).
 - a. Welche Rückschlüsse können Sie aus den experimentellen Daten auf limitierende Prozesse in der Zelle ziehen? Vergleichen Sie hierzu die C-Ratenfähigkeit und das Spannungsniveau der Zelle bzw. der einzelnen Elektroden.
 - b. Begründen Sie, welche Zelle für welches Anwendungsszenario besonders gut geeignet ist.
 - c. Welche Probleme auf Elektrodenebene erwarten Sie für Zelle (A)? Geben Sie ein Feedback an die Elektrodenproduktion für die nächsten Versuche, damit die Ursache für die schlechte Zellperformance dieser Zelle vermieden werden kann.
 - d. Sie wissen, dass der Sportwagen wenig Platz für eine Batterie hat. Warum könnte ein Problem auftreten, wenn Zelle (C) für den Sportwagen verwendet werden soll?
3. In einer Lithium-Ionen-Batterie werden Ionen in der Elektrolytphase durch Diffusion und Migration transportiert. Nehmen Sie an, dass die Zelle planare Elektroden mit einem Abstand von 0,1 mm verwendet. Der Spannungsabfall zwischen den Elektroden beträgt 10 mV. Der Konzentrationsgradient zwischen den Elektroden beträgt 0,67 mol/L. Der Migrations- und Diffusionsstrom verlaufen in die gleiche Richtung. Zwischen den Elektroden befindet sich ein poröser Separator mit einer Porosität von 70% und einer Tortuosität von 6. Der Diffusionskoeffizient beträgt $D=10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Die ionische Leitfähigkeit beträgt $\sigma_{ion} = 1 \text{ Sm}^{-1}$.
 - a. Nennen Sie verschiedene Optionen, um Transportverluste zu reduzieren.
 - b. Berechnen Sie, welcher Stoffstrom an Lithium in der Elektrolytphase transportiert wird.
 - c. Wie würde sich das Ergebnis ändern, wenn ein Festelektrolyt mit stationären Anionen verwendet werden würde, d.h. nur die Lithium-Ionen wären in der Elektrolytphase beweglich?
4. Beschreiben Sie die Ursache und den Effekt der elektrochemischen Doppelschicht.
5. Sie sind dafür zuständig, eine Lithium-Ionen-Batterie für die Kombination mit einem Wechselrichter auszuwählen. Die Anode ist vorgegeben, die Kathode ist mit zwei unterschiedlichen Aktivmaterialpartikelgrößen verfügbar. Unter der Annahme sphärischer Aktivmateri-

alpartikel berechnet sich die spezifische Oberfläche mit $a_s = 3\varepsilon/R_p$. Die Porosität der beiden Elektroden ist identisch und beträgt $\varepsilon = 28\%$. Da die Partikelgrößenverteilungen innerhalb der Elektroden sehr schmal sind, können Sie die Berechnung mit $R_p = 6\ \mu\text{m}$ und $R_p = 2\ \mu\text{m}$ durchführen. Die flächenspezifische Doppelschichtkapazität beträgt $c_{\text{DL}} = 0,2\ \frac{\text{F}}{\text{m}^2}$. Welche Elektrode würden Sie allein auf Basis der Doppelschichtkapazität der einzelnen Elektroden bevorzugen?

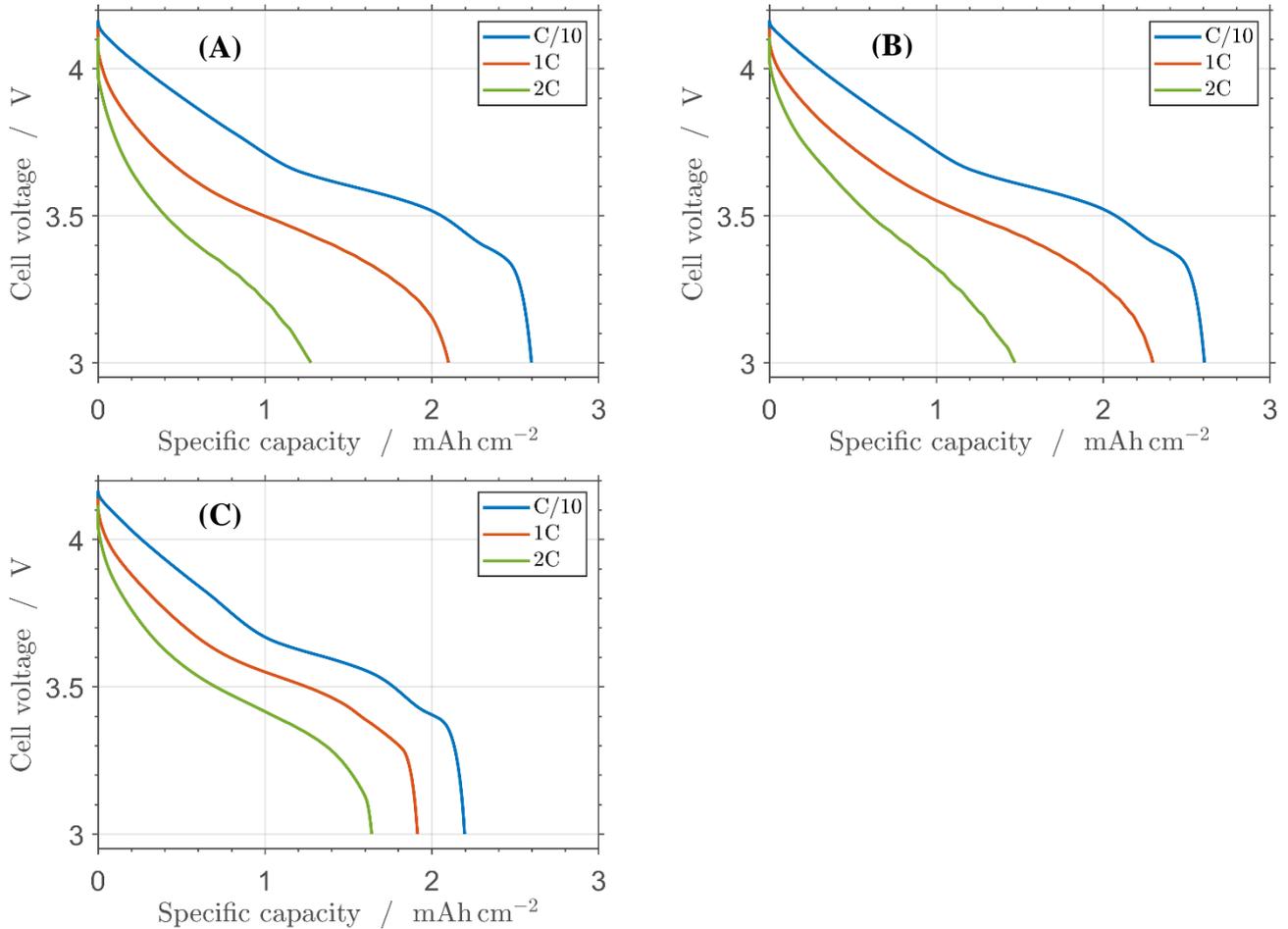


Abbildung 1: Entladekurven für 3 unterschiedliche Zelldesigns (A)-(C) bei drei verschiedenen C-Raten (gleiche Referenzkapazität). Hinweis: Eine C-Rate entspricht einer normierten Stromdichte. Die Normierungsgröße ist hierbei die theoretische Kapazität der Zelle. Eine C-Rate von C/10 ergibt somit eine theoretische Entladedauer von 10 Stunden; eine C-Rate von 2C resultiert in eine theoretische Entladedauer von 0,5 Stunden.

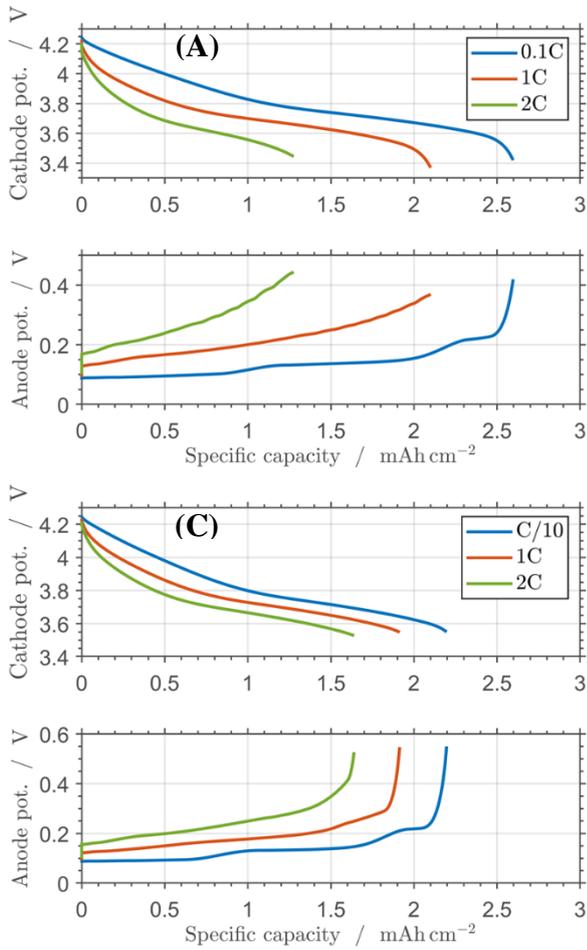


Abbildung 2: Anoden- und Kathodenhalbzellpotentiale für 3 unterschiedliche Zelldesigns (A)-(C) bei drei verschiedenen C-Raten. Hinweis: Eine C-Rate entspricht einer normierten Stromdichte.